

Ivana Milošević, Slobodan Zdravković

DIGITALNA TELEVIZIJA

Autori:

Ivana Milošević
Slobodan Zdravković
Digitalna televizija

Recenzenti:

Miroslav Lutovac
Slavica Marinković

Obrada i priprema teksta:

Helena Mitić

Korica:

Slobodan Zdravković

Lektor i korektor:

Anđelka Sekulić

Izdavač

Visoka škola elektrotehnike i računarstva strukovnih studija
Vojvode Stepe 283, Beograd

Štamparija:

Razvojno-istraživački centar Grafičkog inženjerstva TMF-a
Karnegijeva 4, Beograd

Tiraž

30 primeraka

Nastavno veće Visoke škole elektrotehnike i računarstva strukovnih studija u Beogradu, na svojoj sednici održanoj 08.03.2018. godine, odobrilo je izdavanje i korišćenje ovog udžbenika u nastavi.

CIP - Каталогизација у публикацији - Народна библиотека Србије, Београд
621.397.2:004(075.8)

МИЛОШЕВИЋ, Ивана, 1982-

Digitalna televizija : od analogne televizije ka digitalnoj televiziji : digitalna televizija i multimediji : digitalno emitovanje i distribucija TV programa / Ivana Milošević, Slobodan Zdravković. - Beograd : Visoka škola elektrotehnike i računarstva strukovnih studija, 2018 (Beograd : Razvojno-istraživački centar grafičkog inženjerstva TMF). - 372 str. : ilustr. ; 24 cm

Tiraž 30. - Bibliografija: str. 369-372.

ISBN 978-86-7982-271-0

1. Здравковић, Сlobодан, 1943- [аутор] а) Дигитална телевизија
COBISS.SR-ID 260356364

**Ivana Milošević
Slobodan Zdravković**

DIGITALNA TELEVIZIJA

**Od analogne televizije ka digitalnoj televiziji
Digitalna televizija i multimediji
Digitalno emitovanje i distribucija TV programa**



Beograd, 2018

SADRŽAJ

1.	UVOD	13
1.1.	Od analogne televizije ka digitalnoj televiziji	13
1.2.	Princip prenosa TV slike na daljinu	17
1.3.	Prenos i distribucija digitalnih TV programa	19
1.4.	Digitalna televizija i multimediji	22
2.	PERCEPCIJA BOJE U TELEVIZIJI	25
2.1.	Osobine svetlosti i čula vida značajne za televiziju	25
2.2.	Trihromatska priroda opažanja boja	26
2.3.	Kriva osetljivosti oka	28
2.4.	Sjajnost, boja i zasićenje boje	29
2.5.	Kontrast	30
2.6.	Gama faktor TV sistema	32
2.7.	Grasmanovi zakoni	33
2.8.	Kolorimetar	34
2.9.	Standardni izvori bele svetlosti	35
2.10.	Aditivno mešanje svetlosti	36
2.11.	Suptraktivno mešanje boja	36
2.12.	Jednačina smeše svetlosti	37
2.13.	Krive za mešanje boja standardnog posmatrača	38
2.14.	Vektorska predstava boja	40
2.15.	Standardni CIE sistem	41
2.16.	Zajedničko predstavljanje sva tri kolorimetrijska parametra	45
2.17.	Ključni pojmovi	46
2.18.	Pitanja i zadaci za obnavljanje gradiva	46
3.	FORMIRANJE VIDEO-SIGNALA	47
3.1.	Analiza TV slike	47
3.1.1.	Progresivna analiza TV slike	49
3.1.2.	Analiza TV slike sa proredom	50

3.2.	Izbor vertikalne i horizontalne učestanosti TV sistema	52
3.3.	Rezolucija TV sistema	53
3.3.1.	Vertikalna rezolucija TV sistema	54
3.3.2.	Horizontalna rezolucija TV sistema	54
3.4.	Određivanje maksimalne učestanosti video-signala	56
3.5.	Spektar video-signala	57
3.6.	Složeni video-signal za crno-belu sliku	59
3.6.1.	Signal zamračenja za crno-belu sliku	59
3.6.2.	Sinhronizacioni signali za crno-belu sliku	60
3.7.	CCD senzori slike	62
3.7.1.	FT CCD senzori slike	63
3.7.2.	IT CCD senzori slike	64
3.7.3.	FIT CCD senzori slike	65
3.7.4.	HAD CCD senzori slike	66
3.7.5.	Parametri za ocenu kvaliteta senzora slike	66
3.8.	Ključni pojmovi	70
3.9.	Pitanja i zadaci za obnavljanje gradiva	70
4.	PRETVARANJE POKRETNIH SLIKA U BOJI	
	U ANALOGNE VIDEO-SIGNALE	71
4.1.	Komponentni oblici video-signala	71
4.1.1.	RGB komponente video-signala	72
4.1.2.	Direktno povezivanje RGB signala s kamere sa RGB monitorom	74
4.1.3.	YUV komponente video-signala	74
4.2.	Kompozitni oblici video-signala	77
4.2.1.	NTSC i SECAM TV sistemi	78
4.2.2.	PAL TV sistem	78
4.2.3.	PAL koder	79
4.2.4.	Generator sinhronizacionih impulsa u PAL sistemu	80
4.2.5.	Izbor učestanosti nosećeg signala boje u PAL sistemu	81
4.2.6.	Složeni sinhronizacioni signali u PAL sistemu	82
4.2.7.	Sinhronizacioni signal boje u PAL sistemu	85
4.2.8.	Izostavljanje sinhronizacionog signala boje u vertikalnom intervalu	87
4.2.9.	Vektorski dijagram hrominentnih signala u PAL i NTSC sistemima	88
4.2.10.	Kompenzacija faznog izobličenja u PAL sistemu	91
4.2.11.	Redukcija amplitude hrominentnih signala	92
4.2.12.	Test-signal s kolor-barom	95
4.2.13.	Test-signal s multiberstom	97

4.2.14.	Prenos PAL i NTSC video-signala po jednom koaksijalnom kabl	99
4.2.15.	Konverzija TV standarda i TV sistema	99
4.3.	Kolorimetrijski standardi koji se koriste u TV produkciji	100
4.4.	Ključni pojmovi	103
4.5.	Pitanja i zadaci za obnavljanje gradiva	103
5.	AUDIO-SIGNAL	105
5.1.	Osnovne tehničke karakteristike zvuka	105
5.2.	Spektar složenog zvuka	106
5.3.	Psihoakustički model ljudskog uva	107
5.4.	Percepcija zvuka	109
5.5.	Referentne vrednosti audio-signala Z , P_0 , U_0 , I_0 , decibel i neper	110
5.6.	Audio-mikseta, linijski nivo, mikrofonski nivo	111
5.7.	Instrumenti za kontrolu i merenje nivoa audio-signala	115
5.8.	Akustička obrada audio-režije	116
5.9.	Ključni pojmovi	117
5.10.	Pitanja i zadaci za obnavljanje gradiva	117
6.	RADIODIFUZIONI PRENOS ANALOGNIH TV SIGNALA	119
6.1.	Zemaljska analogna TV difuzija	120
6.2.	Amplitudska modulacija nosioca slike i frekvencijska modulacija nosioca tona	122
6.3.	Televizijske norme i kanali	124
6.4.	Emitovanje analognih TV programa posredstvom satelita	125
6.5.	Ključni pojmovi	127
6.6.	Pitanja i zadaci za obnavljanje gradiva	128
7.	DIGITALIZACIJA AUDIO-SIGNALA	129
7.1.	Odmeravanje audio-signala	129
7.2.	Kvantovanje i kodovanje audio-signala	132
7.3.	Šum kvantovanja i dider-signal	134
7.4.	Standardne frekvencije koje se koriste za odmeravanje audio-signala	137
7.5.	Ključni pojmovi	137
7.6.	Pitanja i zadaci za obnavljanje gradiva	138
8.	DIGITALIZACIJA VIDEO-SIGNALA	139
8.1.	Odmeravanje, kvantovanje i kodovanje video-signala	139
8.2.	Greška kvantovanja	143
8.3.	Dider-signal	144

8.4.	Digitalna televizija standardne definicije – SDTV	146
8.4.1.	Odnos između analognih komponenata i digitalnih odmeraka video-signala	149
8.4.2.	Bitski protok i memorijski kapacitet za razne digitalne formate video-signala	150
8.5.	Digitalna televizija visoke definicije – HDTV	152
8.6.	Digitalizacija kompozitnog PAL video-signala	154
8.7.	Digitalna televizija veoma visoke definicije – Ultra HDTV	157
8.8.	Ključni pojmovi	162
8.9.	Pitanja i zadaci za obnavljanje gradiva	162
9.	SPREZANJE DIGITALNIH UREĐAJA PREMA STANDARDU ITU-R BT.656	165
9.1.	Serijski digitalni interfejs – SDI	165
9.2.	Digitalna TV linija generisana prema standardu ITU-R BT.656	167
9.3.	SDI deserijalajzer	168
9.4.	Serijski digitalni interfejs – SDTI	169
9.5.	Prenos digitalnih signala po jednom koaksijalnom kablu	170
9.6.	Rutiranje SDI/SDTI paketa unutar TV centra	171
9.7.	Ključni pojmovi	173
9.8.	Pitanja i zadaci za obnavljanje gradiva	173
10.	PRIMENA RAČUNARA U TELEVIZIJI	175
10.1.	Elektronska grafika	176
10.2.	Digitalni formati za generisanje i prikazivanje slika na računaru	177
10.3.	Predstavljanje boja u računaru	178
10.4.	Generisanje i prikazivanje teksta na računaru	179
10.5.	Rezolucija i formati digitalne slike	181
10.6.	Video-kartice	182
10.7.	Video-kartice za akviziciju i distribuciju video-signala	185
10.8.	Digitalna obrada slike i manipulacija slikom u prostoru i vremenu	187
10.9.	Virtuelni studio	189
10.10.	Ključni pojmovi	189
10.11.	Pitanja i zadaci za obnavljanje gradiva	190
11.	KOMPRIMOVANJE VIDEO-SIGNALA	193
11.1.	Komprimovanje sa estimacijom i predikcijom sjajnosti i pokreta	194
11.2.	Formiranje više slojeva u MPEG strimu	196

11.3.	MPEG familija za komprimovanje video-signala	197
11.4.	MPEG-2 MPML standard za prenos komprimovanih podataka u digitalnim video-signalima	199
11.5.	Subjektivna procena kvaliteta komprimovanih slika	201
11.6.	Paketizacija komprimovanih TV programa i transportni strim	203
11.7.	Ključni pojmovi	205
11.8.	Pitanja i zadaci za obnavljanje gradiva	205
12.	PRIKAZIVANJE TELEVIZIJSKE SLIKE	207
12.1.	Formati filmske i televizijske slike	208
12.2.	LCD TV ekrani	211
12.2.1.	Princip rada LCD ekrana	211
12.2.2.	Karakteristike LED LCD ekrana	215
12.3.	Plazma TV paneli	217
12.3.1.	Princip rada plazma panela	218
12.3.2.	Karakteristike plazma TV ekrana	220
12.4.	OLED paneli	221
12.4.1.	Princip rada OLED panela	221
12.4.2.	Karakteristike OLED ekrana	225
12.5.	Poređenje tehničkih karakteristika TV ekrana	226
12.6.	Video-projektori	229
12.7.	Ključni pojmovi	230
12.8.	Pitanja i zadaci za obnavljanje gradiva	230
13.	DIGITALNI TV CENTAR	231
13.1.	Magnetoskopi. Princip magnetnog snimanja i reprodukcije video-signala	231
13.2.	Digitalno snimanje na magnetnu traku	234
13.3.	Formati magnetoskopa. Digitalni magnetoskopi	237
13.4.	DVCPRO format digitalnog magnetoskopa	238
13.5.	Optički video-diskovi. Princip zapisivanja i očitavanja digitalnih podataka	240
13.6.	Primena optičkih DVD diskova u multimedijima	243
13.7.	ENG/SNG prikupljanje vesti s terena	245
13.8.	ENG snimanje s kamkorderima bez pokretnih mehanizama	247
13.9.	Video-serveri	249
13.10.	Digitalni TV centar sa istovremenim pristupom centralnim resursima	251
13.11.	Digitalni TV centar sa SDI/IP infrastrukturom	253
13.12.	Računarom upravljana i umrežena priprema informativnog programa	254

13.13. Ključni pojmovi	255
13.14. Pitanja i zadaci za obnavljanje gradiva	255
14. DIGITALNA ZEMALJSKA TELEVIZIJA DVB-T/DVB-T2	257
14.1. Druga generacija digitalne zemaljske televizije – DVB-T2	262
14.2. Struktura digitalnog televizijskog sistema DVB-T2	263
14.3. Emisioni sistem DVB-T2	267
14.4. Prijem signala kod zemaljske digitalne televizije DVB-T2	269
14.5. Prijemni antenski sistem za zemaljsku TV difuziju	270
14.6. Merenje odnosa S/N i merenje BER-a	272
14.7. Ključni pojmovi	273
14.8. Pitanja i zadaci za obnavljanje gradiva	273
15. DIGITALNA SATELITSKA TELEVIZIJA DVB-S/DVB-S2	275
15.1. Frekvencijski opsezi satelitskih signala	277
15.2. Model ostvarivanja veze Zemlja–satelit	278
15.3. Satelitske antene	280
15.3.1. Karakteristike satelitskih antena	283
15.4. Digitalni satelitski predajnik DVB-S	285
15.5. Digitalni satelitski prijemnik	285
15.6. Standardi i parametri za satelitsku televiziju	287
15.7. Ključni pojmovi	288
15.8. Pitanja i zadaci za obnavljanje gradiva	288
16. KABLOVSKA TELEVIZIJA DVB-C	291
16.1. Frekvencijski opseg kablovsko-distribucionog sistema	292
16.2. Prijemni antenski sistem kablovsko-distribucionog sistema	294
16.3. Glavna stanica kablovsko-distribucionog sistema	295
16.4. Mreže za distribuciju multimedijalnih i interaktivnih servisa	296
16.4.1. Koaksijalne mreže	297
16.4.2. HFC mreže	297
16.5. Kablovski modemi	302
16.5.1. ADSL kablovski modem za internet	305
16.5.2. Upoređivanje ADSL mreže sa HFC mrežom	307
16.6. Prenos multimedijalnih signala putem elektroenergetske mreže	308
16.6.1. Topologija i osnovni elementi PLC mreže	309
16.6.2. Elektromagnetno zračenje PLC sistema	311
16.7. Bežične mreže za distribuciju televizijskih, multimedijalnih i interaktivnih servisa	312
16.8. FTTH mreže	314
16.9. Intermodulacioni produkti	315

16.10.	Proračun nivoa signala na aktivnim i pasivnim elementima HFC mreže	316
16.11.	Ključni pojmovi	321
16.12.	Pitanja i zadaci za obnavljanje gradiva	321
17.	POSTUPCI MODULACIJE DIGITALNIH SIGNALA U DVB-T, DVB-C I DVB-S TELEVIZIJI	323
17.1.	Digitalni modulacioni postupci	324
17.2.	Digitalna amplitudska modulacija	325
17.3.	Digitalna frekvencijska modulacija	325
17.4.	Digitalna fazna modulacija	326
17.5.	Određivanje brzine prenosa	331
17.6.	OFDM modulacije	331
17.7.	Ključni pojmovi	334
17.8.	Pitanja i zadaci za obnavljanje gradiva	334
18.	INTERNET-PROTOKOL TELEVIZIJA – IPTV	335
18.1.	Mrežna platforma za distribuciju IPTV signala	341
18.2.	Kućna mreža za prenos IPTV signala	342
18.3.	Hibridna radiodifuzno-širokopojasna televizija HbbTV	345
18.3.1.	Arhitektura HbbTV sistema	348
18.4.	Isporuka video-sadržaja OTT tehnologijom	349
18.5.	Mobilna televizija	350
18.6.	Ključni pojmovi	352
18.7.	Pitanja i zadaci za obnavljanje gradiva	353
19.	VIDEO-NADZOR	355
19.1.	Analogni sistemi video-nadzora	356
19.2.	Digitalni sistemi video-nadzora	357
19.3.	IP kamere za digitalni video-nadzor	360
19.4.	Mreže koje se koriste u sistemima digitalnog video-nadzora	365
19.5.	Propusni opseg računarske mreže i kapacitet snimača	367
19.6.	Ključni pojmovi	368
19.7.	Pitanja i zadaci za obnavljanje gradiva	368
	LITERATURA	369

1 | Uvod

Video-signal i zvučni signal iz prirode menjaju se najčešće kontinualno u vremenu, a naša čula vida i čula sluha percipiraju ih analogno prirodnim pojavama, kao što su slike koje vidimo i zvuci koje čujemo. Međutim, i slike i zvuci, kao i naša čula i mozak, složeni su sistemi u kojima se prepliću i kontinualne i diskretne strukture kao integralne celine. Slika koja se formira u našem vizuelnom sistemu sastoji se od konačnog broja diskretnih elemenata slike ili piksela (*Picture elements*) čiju sjajnost i boju naše oko može da razlikuje. Naš vizuelni sistem prestaje da vidi diskretne elemente slike iznad njihove određene gustine i takvu sliku zapažamo kao integralnu celinu analogno vizuelnim pojavama u okruženju.

Zvuk (*sound*) predstavlja sve što mi registrujemo čulom sluha. Po fizičkoj definiciji, zvuk je treperenje ili oscilovanje čestica u gasovitim, tečnim i elastičnim čvrstim materijama. Veličina koja predstavlja broj zvučnih oscilacija u sekundi naziva se frekvencija, a jedinica je herc, Hz. Naše „prosečno” uvo reaguje na oscilacije diskretnih čestica vazduha čija je frekvencija približno između 20 Hz i 20.000 Hz, što predstavlja ograničenu širinu zvučnog opsega koje čovečije čulo sluha može da percipira kao integralne zvučne signale analogne zvučnim signalima iz okruženja.

1.1. OD ANALOGNE TELEVIZIJE KA DIGITALNOJ TELEVIZIJI

Crno-bela televizija razvijena je u Americi 1941. godine, a analogna televizija u boji pojavila se 1971. godine. Sedamdesetih godina 20. veka započet je razvoj prve generacije digitalne televizije. Međunarodna telekomunikaciona unija – ITU (*International Television Union*) zvanično je 1982. godine publikovala standard kojim su definisani najvažniji parametri za digitalizaciju i razvoj prve generacije digitalne televizije standardne definicije – SDTV (*Standard Definition TV*).

U savremenoj digitalnoj televiziji koriste se i kontinualni, tj. analogni elektronski signali i diskretni, tj. digitalni elektronski signali, kao i odgovarajući analogni i digitalni uređaji za obradu tih signala. Osnovni tehnički parametri u televiziji prilagođavaju se nameni i mogućnostima ljudske percepcije boje i sjajnosti u pokretnim slikama, kao i mogućnostima percepcije zvuka jer čovek je krajnji korisnik u lancu generisanja, obrade i ekonomičnog prenosa pokretnih slika u boji i zvuka do TV prijemnika. Pošto slike i zvuke čovek zapaža kao integralne celine analogno prirodnim pojavama iz okruženja, na ulazu TV lanca pojavljuju se analogni signali, a na izlazu TV prijemnika, kao i potpuno digitalizovanog TV lanca, TV signali moraju da se rekonvertuju u analogni oblik, koji treba što vernije da odgovara analognom TV signalu na ulazu. Teoretski posmatrano, analogni uređaji mogu biti precizniji od digitalnih. Međutim, njihovu preciznost nije moguće praktično iskoristiti zato što se analogni signali ne mogu obrađivati, očitavati, memorisati ili na bilo koji način interpretirati s tako visokom preciznošću. S druge strane, digitalni podaci se lako obrađuju, memorišu i očitavaju. Signali prevedeni u digitalnu formu znatno su manje osetljivi na šum i smetnje i mogu se koristiti sa mnogo više tačnosti i postojanosti. Digitalni uređaji su neuporedivo manji od analognih, brži su, kompleksniji i omogućuju ekonomičniju realizaciju i eksploataciju i, što je veoma važno, pružaju i neiscrpne operativne mogućnosti i efekte, koji se ne mogu ostvariti pomoću analognih uređaja.

Poznavanje „tehničkih” mogućnosti naših čula vida i čula sluha postaje još značajnije u digitalnoj obradi video i audio signala. Televizija u boji je i razvijena na osnovu osobina svetlosti i „tehničkih” nesavršenosti čovečijeg oka pri prepoznavanju nijansi sivoga i boje objekata koji nas okružuju. Mnogi aspekti generisanja i prikazivanja televizijske slike, koji su uslovljeni našim viđenjem, počeli su detaljno da se razmatraju i standardizuju tek uvođenjem digitalne televizije standardne definicije – SDTV, sa odnosom stranica slike 4 : 3, i zatim, televizije visoke definicije – HDTV (*High Definition TV*), sa odnosom stranica slike 16 : 9.

Prevođenje analognih signala stvarnog sveta u veštačke, diskretne ili digitalne signale, i obratno, obavlja se pomoću analogno-digitalnih A/D i digitalno-analognih D/A konvertora. Na slici 1.1 prikazan je uprošćeni blok-dijagram, kojim se ilustruje postupak digitalne obrade video-signala koji se koristi u TV produkciji. Na ulaz se priključuje analogni video-signal, koji se menja kontinualno u vremenu. Njegov frekvencijski opseg ograničava se niskopropusnim filtrom i vodi u A/D konvertor gde se analogni video-signal konvertuje i koduje u digitalni binarni ekvivalent trenutne vrednosti ulaznog analognog video-signala. Zbog toga se ceo A/D konvertor označava i kao digitalni koder. Digitalizovani

signal vodi se dalje u digitalni video-procesor. Tu se obavljaju potrebna obrada video-signala, korekcija vremenske baze u digitalnom domenu i koduje video-signal u nekom standardizovanom digitalnom formatu, koji se može emitovati ili snimiti na digitalnom magnetoskopu, ali ga čovečije oko ne može percipirati u takvom digitalnom obliku. Zbog toga, obrađeni digitalni video-signal vodi se dalje u D/A konvertor. Signal sa izlaza D/A konvertora propušta se kroz izlazni niskopropusni filter radi otklanjanja visokofrekvencijskih spektralnih komponenata i uravnavanja stepenastih napona koji se dobijaju pri digitalizaciji, tako da na izlaz prolazi rekonstruisani ulazni analogni video-signal. Ovaj blok označava se i kao digitalni dekodler. Obrađeni izlazni analogni video-signal, koji mi možemo da percipiramo samo u analognom obliku, može se prikazivati na TV monitorima, emitovati ili snimati.



Slika 1.1. Princip digitalne obrade video-signala u TV produkciji

Udruženje za audio-tehniku – AES (*Audio Engineering Society*) i Evropska unija za radio-difuziju – EBU (*European Broadcasting Union*) zajedno su razvili AES/EBU standarde za digitalni audio-signal. Ovi standardi su osnov za razvoj analogno-digitalne A/D i digitalno-analogne D/A konverzije audio-signala, kao i za dalji razvoj digitalnih audio-uređaja.

Kompletnan proces digitalizacije TV signala može se umetnuti u televizijski lanac, tako da se na izlazu i ne vidi da su audio i video signali bili interno obrađivani u digitalnoj formi. Korisnici najčešće i ne znaju, niti treba da znaju, da su slike i zvuci digitalno obrađivani u obliku impulsnih binarnih ekvivalenata njihovih trenutnih vrednosti. Bitno je da se karakteristike sjajnosti i boje originalnih i reprodukovanih elemenata slika u boji što više podudaraju u kolorimetrijskom smislu i sjajnosti i da se zvuk što vernije reprodukuje na izlazu. To, naravno, nije lako ostvariti. Ovaj princip ima i nedostataka jer je kolorimetrija koja se koristi pri obradi TV slike zasnovana na standardnom prosečnom posmatraču, a i uslovi gledanja realne slike i slike na ekranu TV prijemnika razlikuju se. U TV produkciji izvode se veoma uspešno i razne elektronske korekcije pomoću kojih mogu da se poboljšaju svi parametri kojim se određuje kvalitet televizijske slike, kao što su oštrina, tj. rezolucija TV slike, kontrast, vernost reprodukcije boja i odnos signal–smetnje. Reprodukovanе slike mogu da izgledaju jasnije, kolorimetrijski čistije i sa manje smetnji nego što ih zapažamo na realnoj sceni.

Pretvaranjem kontinualnih, analognih audio i video signala u digitalni oblik omogućena je i primena digitalnih računara u obradi TV signala. Pošto digitalni računari mogu da se umrežavaju, to znači da i TV kapaciteti mogu da se umrežavaju. Za te potrebe razvijene su posebne audio i video kartice za računare, tako da je računar postao generator i izvor TV signala i jedan od najvažnijih televizijskih uređaja. Time je ubrzan dalji, veoma kompleksan i dinamičan razvoj savremene digitalne televizije, koja je u potpunosti zamenila analognu televizijsku tehniku. To je povratno uticalo i na dalji razvoj digitalnih računara i računarskih mreža jer video-signal ima najvišu učestanost koju treba obrađivati u digitalnim računarima.

Tradicionalni način rada u TV centru baziran je na magnetoskopskim trakama sa sekvencijalnim pristupom snimljenom materijalu. Korisnik mora da čeka da se premota prilog koji želi da koristi, a sledeći korisnik tog istog materijala mora da čeka da prethodni korisnik završi svoj posao. Novi način rada u digitalnim TV centrima oslobađa televiziju od takvih ograničenja analogne televizije. U digitalnim TV centrima naglašava se značaj višestrukog istovremenog pristupa TV resursima na nivou digitalnih fajlova, koji su svakom učesniku dostupni iz kompjuterski upravljane i umrežene centralne memorije velikog kapaciteta. Ovakvim načinom rada omogućeni su veća interoperabilnost i maksimiziranje tehničkih kapaciteta i ljudskih talenata, a kao konačan rezultat dobijaju se veća produkcija i kvalitet TV programa, kao i realizovanje novih poslova i efekata. Učesnicima na pojedinim radnim stanicama ostaje više vremena i tehničkih mogućnosti za inventivniji i kreativniji rad, pri čemu oni ne moraju da poznaju sve tehničke detalje na svojoj radnoj stanici, niti na celoj mreži.

Poboljšanje kvaliteta TV slike u analognoj televiziji bilo je veoma ograničeno, a sa prenosom kroz telekomunikacione sisteme i višestrukim uzastopnim presnimavanjem degradacija analogne TV slike progresivno se pogoršava. TV prijemnici sa odnosom stranica 4 : 3 dovode do određenih gubitaka površine slike koja se prikazuje. Klasični TV prijemnici, s teškim katodnim cevima, visokim naponom od 25.000 volti i s rendgenskim zračenjem, geometrijskim izobličenjima koja unose u TV sliku i drugim nedostacima, postali su najlošija karika u celom TV lancu. Pošto je televizijski gledalac poslednja karika u TV lancu, razvijani su sve noviji formati TV slike i novi uređaji za prikazivanje TV slike u skladu s novim TV standardima sa ciljem da se TV gledaocima omogući što verniji utisak realnosti reprodukovanih slika na TV ekranima.

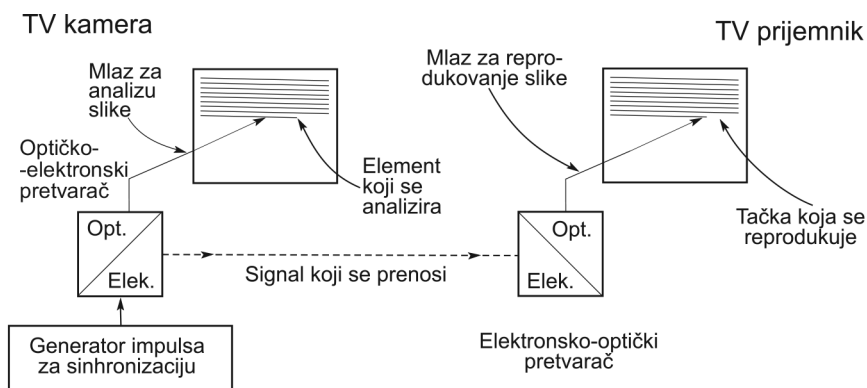
Digitalizovana TV slika, digitalizovani TV prijemnici i nove tehnologije TV ekrana doneli su niz novih kvantitativnih i kvalitativnih poboljšanja TV slike. Povećani broj linija i novi format TV slike, sa odnosom stranica

16 : 9 u sistemima sa visokom rezolucijom – HDTV, omogućuju znatno oštriju sliku i finije strukture sa prikazivanjem sitnijih detalja u TV slici. Slika u boji digitalizuje se tako što se za svaki piksel binarno koduje odgovarajuća sjajnost i boja tog piksela, odnosno elementa slike. Gustina piksela po jedinici površine određuje rezoluciju slike koja se prikazuje na ekranu određenih dimenzija. Naravno, što više piksela, to i veća rezolucija i bolji kvalitet slike u boji. Međutim, ljudsko oko ne može da razlikuje dve susedne boje kodovane sa dva susedna binarna broja jer to premašuje osetljivost našeg oka. Takođe, naše oko prestaje da razlikuje i linijsku strukturu ako se broj linija poveća preko 900.

1.2. PRINCIP PRENOSA TV SLIKE NA DALJINU

Na svakoj crno-beloy slici, kao reprodukciji neke realne scene, mogu se realizovati detalji na osnovu razlike u količini svetlosti koja se s njih emituje ili reflektuje. Najsitniji detalji u reprodukovanoj slici koji mogu da se razlikuju nazivaju se elementi slike, tj. pikseli. Svaki element reprodukovane slike ima određenu sjajnost, koja je ravnomerno raspoređena po njegovoj površini, a čiji intenzitet zavisi od srednje sjajnosti odgovarajuće površine na prirodnoj sceni. Broj elemenata slike koji se mogu preneti nekim telekomunikacionim sistemom određuje rezoluciju, tj. moć razlaganja tog sistema. Na primer, poznato je da filmska slika formata 35 mm sadrži približno 1.000.000 elemenata slike, filmska slika formata 16 mm sadrži oko 200.000 elemenata slike, dok filmska slika formata 8 mm sadrži samo oko 50.000 elemenata slike. Poređenja radi, TV slika u digitalnoj televiziji standardne definicije – SDTV, čija je učestanost odmeravanja video-signala 13,5 MHz, ima rezoluciju približno jednaku rezoluciji filmske slike formata 16 mm, a digitalna TV slika u sistemu visoke definicije – HDTV, čija je učestanost odmeravanja video-signala 5,5 puta veća i iznosi 74,25 MHz, ima rezoluciju koja odgovara rezoluciji filmske slike formata 35 mm.

Da bi optička slika s realne scene bila prenet na daljinu televizijskim sistemom, na predajnoj strani u TV kameri, slika 1.2, optičko-elektronski pretvarači pretvaraju pojedine elemente optičke slike u odgovarajuće električne signale, tj. informacije, u zavisnosti od njihovog osvetljaja. Posle odgovarajuće obrade formira se video-signal, koji se zatim moduliše sa nosećim učestanostima. Tako dobijene električne informacije prenose se telekomunikacionim sistemom do krajnjih korisnika.



Slika 1.2. *Princip televizijskog prenosa na daljinu*

Na prijemnoj strani u TV prijemnicima obavlja se obrnuti postupak. Elektronske informacije priključuju se na elektronsko-optičke pretvarače i na ekranu TV prijemnika reprodukuje se optička slika u skladu sa raspodelom osvetljaja s realne scene, kao i s odgovarajućom bojom pokretnih slika u boji sadržanom u prenetom elektronskom signalu. Ovaj signal treba da bude što vernija reprodukcija slika s realne scene koja se snima. Pri prenosu TV slike na daljinu mora se obezbediti da reprodukovane slike na prijemnoj strani budu sinhronne sa snimljenim i generisanim slikama na predajnoj strani. Zbog toga se zajedno s video-signalom šalju i sinhronizacioni impulsi iz sinhronizacionog generatora, slika 1.2. Oni se na prijemnoj strani izdvajaju u sinhronizacionom separatoru da bi se obezbedio sinhronizam u kretanju elektronskih mlazeva u TV kameri i u TV prijemniku.

Pošto se pri digitalizaciji video-signala ne digitalizuju sinhronizacioni impulsi, radi sinhronizacije video-signala između predajnika i prijemnika koriste se kodne reči za početak digitalizovanog aktivnog dela video-signala – **SAV** (*Start of Active Video*) i kraj digitalizovanog aktivnog dela video-signala – **EAV** (*End of Active Video*). Digitalizovanom video-signalu na predajnoj strani dodaje se i digitalizovani audio-signal, kao i drugi digitalni dodatni podaci (*ancillary data*), kao što su informacije za vremensko usaglašavanje digitalnih paketizovanih TV programa za neophodnu sinhronizaciju koda za komprimovanje video-signala na predajnoj strani i sinhronizaciju dekodera za dekomprimovanje video-signala na prijemnoj strani. Komprimovanje informacija u digitalizovanom video-signalu obavlja se radi smanjenja ukupne količine potrebnih digitalnih informacija koje treba prenositi telekomunikacionim kanalima.

1.3. PRENOS I DISTRIBUCIJA DIGITALNIH TV PROGRAMA

S vremenom je nastalo zasićenje u pogledu broja programa koji se mogu emitovati analognim radiodifuznim prenosom u određenim propusnim opsezima, kao i u pogledu pokrivenosti teritorije na koju pretenduje sve veći broj TV emitera. Krajem 20. veka razvijeni su i dobili dominantni značaj sistemi za digitalno emitovanje TV programa posredstvom satelita, digitalni zemaljski distributivni sistem, kao i distribuiranje TV programa preko kablovskih mreža. Na ovo opredeljenje uticao je i prelazak s analogne televizije na digitalnu. U prelaznom periodu mora se imati u vidu upotreba i kombinacija više digitalnih sistema za emitovanje, distribuciju i kontribuciju TV programa i raznih informacionih multimedijalnih i interaktivnih servisa.

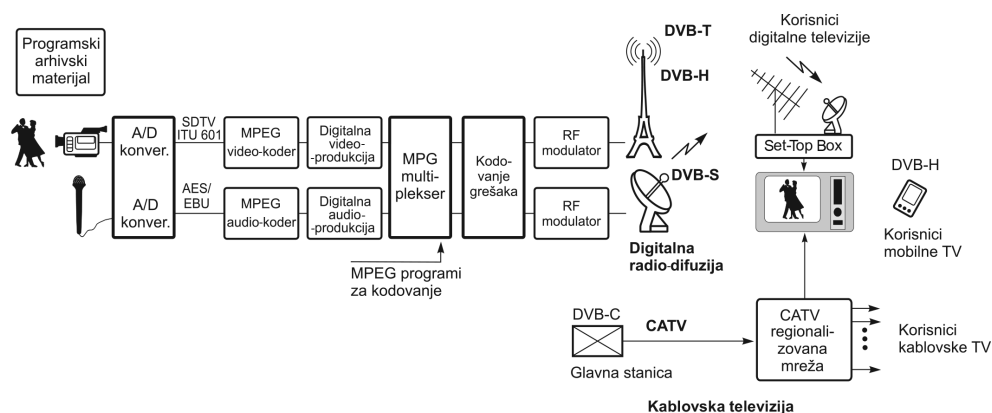
Geostacionarni sateliti kruže istom brzinom kojom se i Zemlja okreće, tako da je za posmatrača sa Zemlje ovakav satelit stacionaran. Njihova putanja je na visini od oko 36.000 kilometara od Zemlje i sa te visine mogu da pokriju oko 36% njene površine. To znači, da bi se pokrila cela površina, potrebno je najmanje 3 geostacionarna satelita. Zona pokrivanja zemljine površine signalom jednog satelitskog predajnika, tj. transpondera, može da obuhvati više država ili čitave kontinente, pa satelitski transponderi mogu da zamene celokupne zemaljske radiodifuzne mreže i da u svakom trenutku ostvare pokrivenost cele zemljine površine. Na taj način mnogostruko su prevaziđene i proširene lokalne granice i medijske mogućnosti pojedinih TV emitera. U zavisnosti od vrste primenjene kompresije digitalnih podataka, unutar opsega jednog satelitskog transpondera može se smestiti 6 do 16 standardnih TV programa, čime se smanjuje i cena zakupa transpondera.

Emitovanje TV programa posredstvom satelita označava se skraćeno **DBS** (*Direct Broadcast by Satellite*). Prema podacima međunarodne astronautičke federacije **IAF** (*International Astronautical Federation*), od 1957. do 1995. godine lansirano je više od 5.000 satelita, od kojih 496 geostacionarnih, a od tog broja 113 komunikacionih, koji se koriste za TV difuziju. Od 1996. do 2006. godine lansirano je još 300 komunikacionih satelita i satelita namenjenih TV difuziji. Termin geostacionarni satelitski releji, ili konstelacije, odnosi se na hiljade satelita koji lete brzo na manjim visinama, pa za samo 2 sata oblete zemljinu kuglu. Ovi sateliti koriste se za internet, mobilne telefone i mobilnu televiziju. Prijem programa sa satelita obavlja se pomoću parabolične antene i satelitskog prijemnika sa čijeg se izlaza signal priključuje na klasičan TV prijemnik.

U Evropi je 1993. godine započet projekat za digitalnu difuziju – **DVB** (*Digital Video Broadcasting*), koji je činila grupa od preko 200 članica proizvođača TV programa, distributera i satelitskih i kablovskih operatera

i organizacija iz 25 država. Projekat DVB obuhvata razvoj i usaglašavanje sa zemaljskim sistemom za digitalno emitovanje TV programa prema standardu **DVB-T** (*Terrestrial*), razvoj standarda za digitalno emitovanje TV programa posredstvom satelita prema standardu **DVB-S** (*Satellite*) i razvoj standarda za kablovski prenosni i distribucionni sistem prema standardu **DVB-C** (*Cable*).

Na slici 1.3 ilustrovan je pojednostavljeni prikaz celog lanca digitalnog televizijskog sistema – od scene koja se snima, pa do krajnjih korisnika digitalne televizije. Video i audio snimci s realne scene koja se snima, ili programski arhivski analogni snimci, najpre se pretvaraju u digitalni oblik pomoću odgovarajućih A/D konvertora i prema odgovarajućim standardima, SDTV 601 za video-signal i AES/EBU za audio-signal. Ovi signali se zatim komprimuju u video i audio koderima **MPEG**. Posle obrade u odvojenim digitalnim video i audio produkcijama, oba signala se spajaju u MPEG multiplekseru u jedinstvenu programsku i transportnu povorku, ili strim, odnosno u kodovanu digitalnu povorku bita.



Slika 1.3. Uprošćeni prikaz digitalnog televizijskog sistema za emitovanje i distribuciju televizijskog programa

Da bi se obezbedio pouzdan prenos digitalnih podataka s velikom količinom bita, primenjuju se zaštitni kodovi za kodovanje mogućih grešaka. Ovako obrađeni signali, preko odgovarajućih RF modulatora, prosleđuju se na predajnike za digitalnu zemaljsku radio-difuziju – DVB-T i digitalnu radio-difuziju posredstvom satelita DVB-S, kao što je ilustrovano na slici 1.3. Krajnji korisnici digitalne televizije treba da u svom digitalnom TV prijemniku imaju instaliran digitalni tjuner – **Set-Top Box**, koji ima zadatak da obavi prijem, konverziju i prilagođenje spoljašnjih digitalnih signala.

Kablovska televizija – KATV, slika 1.3, predstavlja veoma rasprostranjen oblik prenosa i distribucije TV programa i dodatnih servisa do gledalaca, a naročito u urbanim sredinama. Distribucija TV programa do korisnika kablovske televizije obavlja se preko kablovskih mreža prema standardu DVB-C za kablovske digitalne sisteme. Pri tome, zemaljski i satelitski TV programi predstavljaju osnovni izvor programa za distribuciju preko kablovskih mreža. Većina tih programa zaštićena je postupkom skremblovanja da bi se omogućila sigurna prodaja tih programa ovlašćenim pretplatnicima.

Internet-televizija jeste jedan od oblika digitalne televizije. Emituje se preko globalnih širokopojasnih integrisanih sistema za digitalni prenos sa internet-pristupom kojim se omogućuje krajnjim korisnicima praćenje digitalnih televizijskih i radio kanala, kao i korišćenje raznovrsnih multimedijalnih i interaktivnih sadržaja. Da bi se omogućilo gledanje internet-televizije, potrebna je stabilna internet-veza s minimalnom bitskom brzinom od 5 Mbps.

Tehnologija bežičnog prenosa – Wi-Fi (*Wireless Fidelity*), omogućila je da se internet-televizija može slati i kroz bežičnu mrežu pomoću povorke bita određene bitske brzine, tj. strima koji se formira u koderu emitera i koji se može primiti bežičnim putem, tj. strimingom (*streaming*) i prikazivati na laptop računarima, kao i na mobilnim „pametnim” telefonima (*smart phone*), na mobilnim tabletima i drugim prenosnim uređajima sa odgovarajućim hardversko-softverskim aplikacijama i plejerom za praćenje TV programa. Kapacitet mobilnog striming-servisa ograničen je propusnom moći servera u telekomunikacionoj kompaniji, pa je ograničen i broj korisnika koji mogu istovremeno da koriste usluge tog provajdera, dok difuzni servis može da koristi neograničen broj korisnika u istom vremenu.

Razvojem internet-televizije, i zatim treće i četvrte generacije mobilnih telefona 3G/4G, kao i odgovarajućih mobilnih Wi-Fi mreža, proizvođači digitalne televizijske opreme usmerili su razvoj i distribuciju digitalnih televizijskih programa ka individualnim krajnjim korisnicima. Mobilna televizija je, u tehničkom smislu, servis mobilne telefonije preko 3G/4G mobilnih mreža, čime je omogućena difuzija digitalnog televizijskog programa bežičnim vezama na prenosne uređaje. Mobilna televizija je nastala kao odgovor na nove zahteve korisnika, koji u jednom mobilnom uređaju žele da imaju istovremeno i komunikaciju i informisanost i zabavu, kao i da obavljaju najveći broj poslovnih, finansijskih i administrativnih poslova u odlaznom i dolaznom smeru.

Razvijene su raznovrsne dodatne usluge koje omogućuje internet-televizija, kao što su snimanje sadržaja, pretraga TV sadržaja po TV kanalima

i TV emisijama, gledanje propuštenih TV programa „premotavanjem” određenog broja sati unazad, interaktivni prikaz TV emisija na zahtev (*video on demand*), roditeljsku zaštitu i mnoge druge mogućnosti. To znači da mobilna televizija omogućuje korisnicima da praćenje TV programa ponesu sa sobom. U uslovima pristupa ovako raznovrsnim TV programima i raznim informaciono-komunikacionim i multimedijalnim servisima, kućni TV prijemnik, kao i mobilni telefon, postaju višenamenski terminali.

Može se reći da će druga polovina 20. veka ostati zapamćena po eksploziji razvoja i masovnoj primeni digitalne televizije, računara i računarskih mreža, informaciono-komunikacionih sistema, interneta, interaktivnih multimedijalnih sistema, mobilne telefonije, mobilne televizije i satelitskih radiodifuznih sistema. Globalni efekti tih naglih promena već se vide, ali njihov uticaj na savremenu civilizaciju veoma je veliki i kompleksan u svim oblastima ljudskih delatnosti, pa sociolozi i istoričari tek treba da ga prouče.

1.4. DIGITALNA TELEVIZIJA I MULTIMEDIJI

Proces digitalizacije audio i video signala, sofisticirani postupci za njihovu digitalnu obradu, primena računara i računarskih mreža u televiziji i digitalno emitovanje čine jednu celinu koja je poznata kao **digitalna televizija**. Pošto su računari postali jedan od osnovnih generatora i izvora TV signala, time je ostvarena čvrsta sprega digitalne televizije s računarima i računarskim mrežama, pa nije lako ni utvrditi da li su se računari ugradili u televizijske sisteme ili se televizija ugradila u računarske sisteme.

Poslednjih godina 20. veka počelo je naglo objedinjavanje digitalne televizije i sa informaciono-komunikacionim sistemima. Najstariji i još uvek najpoznatiji informaciono-komunikacioni medij jeste pisani tekst. Ostali informacioni i komunikacioni sistemi javljali su se s razvojem tehnologija, kao što su telefon, radio, televizija, kablovske mreže, sateliti, računari i računarske mreže. S vremenom je došlo do kombinovanja i objedinjavanja svih pomenutih informaciono-komunikacionih tehnologija u jedinstvene kompleksne medije, koji su dobili naziv **multimediji**. Da bi se informacije distribuirale do korisnika, multimedijalne komunikacije koriste kombinaciju računarskih podataka, teksta, slike i tona. Ovi informacioni servisi mogu biti prenošeni pomoću antenskih difuznih predajnika, lokalnih i globalnih računarskih mreža, satelitskih difuznih sistema, kablovskih distribucionih sistema, kao i integrisanim telefonskim mrežama. Radi komunikacije i prenosa audio i video signala i raznih servisnih i informacionih digitalnih podataka, televizijski kapaciteti na teritoriji grada ili regiona povezuju se i umrežavaju optičkim kablovima i optičkim mrežama. TV centri mogu da koriste i nacionalnu

telekomunikacionu mrežu i internet. Primena računara i računarskih mreža usmerena je na projektovanje globalnih širokopojasnih integrisanih sistema za digitalni prenos, kao što su **ISDB** (*Integrated Service Digital Broadcasting*), **ADSL** (*Asymetric Digital Subscriber Lines*) i **HDSL** (*High Speed Digital Subscriber Lines*). Najpoznatiji i najrasprostranjeniji globalni širokopojasni integrisani sistem za digitalni prenos podataka jeste svakako internet. U Americi je razvijena odgovarajuća širokopojasna mreža **ATM** (*Asinhronous Transfer Mode*). Ovakve mreže spajaju u sebi karakteristike telefonskih mreža i digitalnih paketskih mreža za prenos podataka i koriste se za ostvarivanje telefonskih komunikacija, za digitalne pretplatničke linije **DSL** (*Digital Subscriber Line*), za pristupne mreže za internet, za prenos raznih digitalnih podataka i informaciono-komunikacionih servisa, kao i za prenos radio i televizijskih programa. Za prenos svih tipova digitalnih podataka i audio i video signala unutar TV centara, ili na manja rastojanja koriste se lokalne računarske mreže – **LAN** (*Local Area Network*). Za povezivanje različitih LAN mreža i regionalnih računarskih mreža ili za računarsku mrežu širokog područja koja pokriva šire područje grada, regiona ili države koriste se **WAN** (*Wide Area Network*) mreže. Ponekad se izraz WAN koristi za mreže koje koriste rutere i javne komunikacione veze za potrebe jedne ili više kompanija ili pojedinca, ili za potrebe internet-provajdera, koji je koriste kako bi omogućili pristup interneta lokalnim mrežama i računarima pojedinačnih korisnika.

Korisnici mogu sami da biraju i kreiraju svoj informacioni sadržaj koji žele da prate ili koriste na neki od dostupnih načina. Televizija se u tim sistemima koristi za proizvodnju i emitovanje audio i video programa koji sadrže i tekstualne i grafičke sadržaje. Digitalna televizija je omogućila obradu ovih signala u realnom vremenu zahvaljujući razvoju sve složenijih audio i video kartica. Time su računari postali jedan od generatora i izvora audio i video sadržaja, a pošto računari mogu i da se umrežavaju, ostvarena je čvrsta sprega televizije i računara i računarskih mreža. Novi i sve složeniji zahtevi u ovoj oblasti naglo i dramatično se uvećavaju. Kompresijom audio i video signala omogućen je protok ogromne količine podataka. Pošto video-signal zahteva najviše učestanosti za obradu u računarima, on je pokrenuo i nagli razvoj hardverskih arhitektura, softvera i moćnih multiprocesorskih veoma brzih računara i računarskih mreža, globalnih integrisanih širokopojasnih mreža, memorijskih sistema velikog kapaciteta i baza podataka, automatizovanih i robotizovanih kontrolno-upravljačkih sistema. Trodimenzionalnim 3D grafičkim modelima objekata mogu se zadati prostorne i vremenske koordinate za „pokretanje” tih objekata u prostoru i vremenu. Pri tome, računar preračunava sve promene u realnom vremenu zadatih prostornih i vremenskih koordinata, uglova viđenja i

senki. Na taj način ostvaruje se oživljavanje, tj. animacija tih objekata. Ovakvi program našli su masovnu i veoma značajnu primenu u grafičkim simulacijama objekata i procesa koji se ne mogu simulirati u realnim uslovima, kao na primer u medicini, hemiji, fizici, saobraćaju, arhitekturi, mašinstvu, u procesnim tehnologijama i mnogim drugim oblastima ljudskih delatnosti. Razvijeni su i programi za kombinovanje grafičkih slika s realnim pokretnim slikama, tako da je njihovo kretanje sinhronizovano i jedinstveno na nivou pokretnih televizijskih slika. Na taj način ostvaruje se virtuelna stvarnost sa nestvarnim i fascinantnim sadržajima.

Dali se sve ovo može nazvati novom televizijom, ili će se digitalna televizija i dalje razvijati i opstati paralelno sa informaciono-komunikacionim i interaktivnim multimedijalnim sistemima, pokazaće se, verovatno, u bliskoj budućnosti. U svakom slučaju, digitalna televizija i multimediji predstavljaju fenomen današnjice prisutan u životu svakog pojedinca, svakog preduzeća, svake države, kao i u svim vojnim industrijama. Individualnim korisnicima i preduzećima omogućen je praktično neograničen pristup svim vrstama informacija iz celog sveta. Interaktivnom multimedijalnom tehnologijom omogućuje se da se istim sistemom mogu proizvoditi, primati i slati informacije u svet sa mogućnošću kontrole informacionih ili video servisa koji se koriste. To predstavlja novi revolucionaran način komuniciranja među pojedincima i preduzećima i ima neprocenjiv značaj za njihove korisnike. Korisnici mogu u svom stanu sebi da omoguće informisanost, edukaciju, zabavu, kao i da obavljaju najveći broj poslovnih, finansijskih i administrativnih poslova.

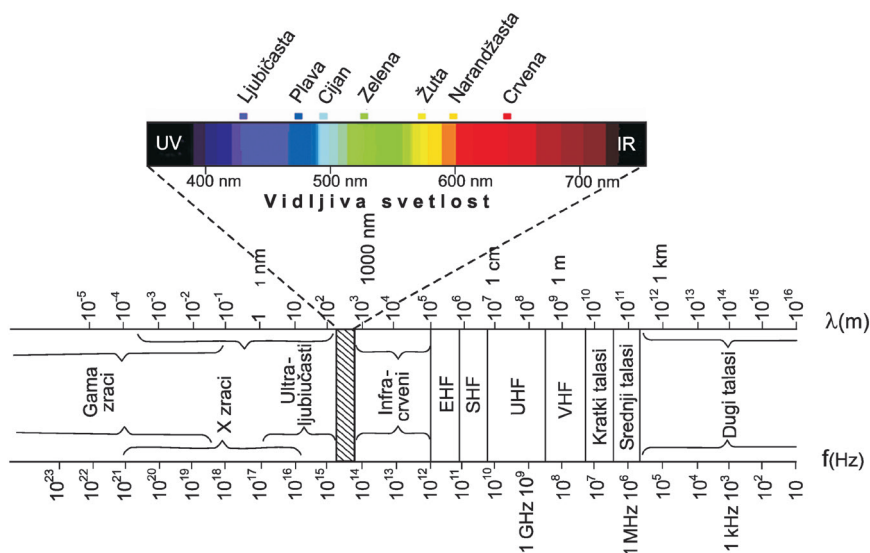
Trebaposebno naglasiti da supored korisnih posledica moguće i negativne posledice i zloupotrebe manipulacijom televizijskim i multimedijalnim snimcima i montiranim sadržajima u prostoru i vremenu, što je postalo predmet mnogih pedagoških i socioloških istraživanja u svetu.

Televizija u boji razvijena je na osnovu osobina svetlosti i „tehničkih” mogućnosti čovečijeg oka da raspoznaje nijanse sivoga i boju objekata koji nas okružuju. Iako se kolorimetrija već duže vreme razvija i primenjuje u televiziji, mnogi aspekti generisanja i prikazivanja televizijske slike, koji su uslovljeni našim viđenjem pokretnih slika u boji, počeli su da se razmatraju i standardizuju tek uvođenjem digitalne televizije i posebno televizije visoke definicije – HDTV. Postavlja se pitanje do koje granice oko može da raspoznaje sve sitnije detalje strukture televizijske slike i pod kojim uslovima čovek najpotpunije percipira pokretne televizijske slike u celini.

2.1. OSOBINE SVETLOSTI I ČULA VIDA ZNAČAJNE ZA TELEVIZIJU

Svetlost je fizička pojava koja se predstavlja vizuelno-psihološkim procesom. Većina informacija koje primamo iz spoljašnjeg sveta dolazi preko vizuelnog sistema, koji može da primi neuporedivo veću količinu informacija u jedinici vremena nego ostala naša čula, pa je slika veoma značajna za našu komunikaciju sa okruženjem. Čovek raspoznaje objekte u okolini samo na osnovu razlike u količini svetlosti koja se s njih emituje ili reflektuje, kao i spektralne karakteristike svetlosti koja određuje njenu boju. Boja predmeta koju vidimo predstavlja, u stvari, vizuelni fenomen stvoren u našem oku delovanjem izračene elektromagnetne energije. Prirodni izvor te energije je Sunce, a veštački izvori mogu biti metali grejani do tačke isijavanja, električni lukovi, hemijske supstance koje zrače, kao što je i fosfor na zastoru televizijskih katodnih cevi.

Vidne mogućnosti ljudskog oka veoma su ograničene. Ono može da vidi samo hiljaditi deo jednog procenta od ukupnih elektromagnetskih radijacija koje emituje Sunce, kao što je na slici 2.1 prikazano. Šrafirana površina na slici označava deo ovog spektra elektromagnetskih talasa koje ljudsko oko raspoznaje kao svetlost u boji, od infracrvene (IR) do ultraljubičaste (UV).



Slika 2.1. Spektar elektromagnetskih talasa

U fizičkom smislu, brzina svetlosnih talasa v (ni), iznosi 300.000 km/s, a talasna dužina λ (lambda) izražava se u metrima i izračunava prema poznatoj formuli $\lambda = v / f$, gde je f frekvencija odgovarajućih talasa izražena u hercima (Hz).

2.2. TRIHROMATSKA PRIRODA OPAŽANJA BOJA

Na slici 2.2 ilustrovan je poprečni presek oka, kao i poprečni presek dela retine u predelu žute mrlje i optičkog nerva kojim se svetlosni nadražaji prenose do mozga, gde se naše vizuelno iskustvo memoriše i kompletira.

U suštini, naš vid omogućuju dve grupe fotoreceptorskih ćelija za viđenje boja, koje se nalaze u retini ili mrežnjači oka. Približno od 110.000.000 do 130.000.000 štapićastih ćelija (*rods*) adaptirano je tako da omogućuju viđenje ahromatične svetlosti pri slabom i noćnom svetlu. Štapići imaju visoku osetljivost i omogućuju da vidimo i detalje slike sa visokom rezolucijom. Druga vrsta ćelija je kraća i deblja, sa kupastim završetkom (*cones*). Približno od 6.000.000 do 7.000.000 kupastih ćelija omogućuju viđenje srednje i jake dnevne svetlosti, kontrasta i boje. Utvrđeno je da postoje specijalizovani tipovi kupastih ćelija, koji su osetljivi posebno na crvenu, zelenu i plavu boju. Fotoreceptorske ćelije nisu ravnomerno raspoređene u retini.

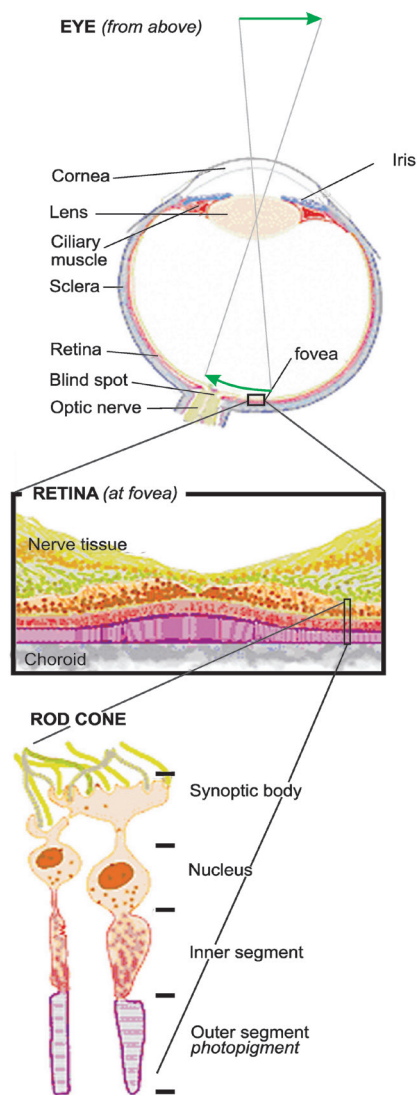
Kupaste ćelije nalaze se koncentrisane na jednom malom delu retine u blizini gde optički nerv ulazi u oko. Zbog žutog pigmenta kojim je obavijen,

ovaj deo mrežnjače naziva se žuta mrlja. U centralnom delu žute mrlje, koji se naziva *fovea*, retina je nešto stanjena i u tom delu je najveća koncentracija kupastih ćelija, a štapićastih ćelija nema. Idući ka periferiji, broj kupastih ćelija opada, a štapićastih raste. Svaka kupasta ćelija u centru žute mrlje vezana je posebnim nervom sa centralnim sistemom, a idući ka periferiji retine, sve veći broj ćelija osetljivih na svetlost spojen je zajedno i povezan samo jednim zajedničkim optičkim nervom. Informacije dobijene iz receptorskih ćelija pretvaraju se u kôd, koji je pogodan sa prenos tih informacija nervnim vlaknima. Ustanovljeno je da se podaci o slici iz levog dela vidnog polja obrađuju u desnom delu mozga, i obratno.

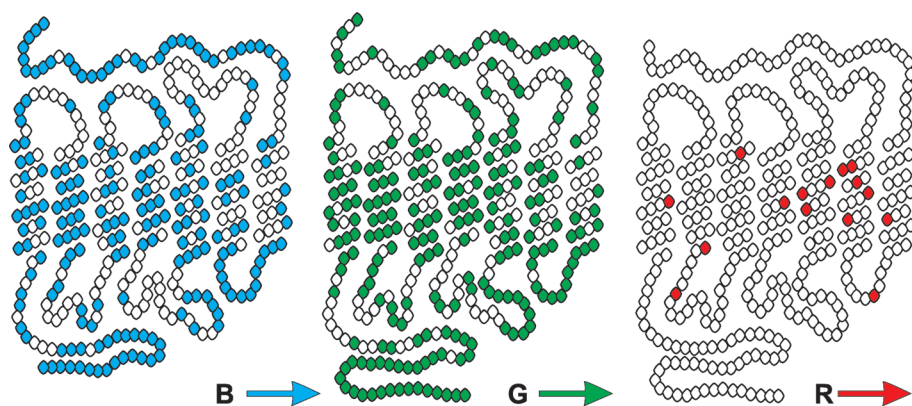
Danas je moguće egzaktno merenje električnih odziva u nervnim vlaknima korišćenjem specijalnih mikroelektroda. Signali na izlazima fotoreceptora imaju oblik analognog električnog potencijala, koji je posledica elektrohemijских procesa. Međutim, signali koji odlaze u očni živac pomoću izlaznih ganglijskih ćelija pretvaraju se u impulsni oblik amplitude oko 100 mV i trajanja oko 1 ms. Pri promeni pobude u vidnom polju menja se samo učestanost ovih impulsa. To znači da se prenos vizuelnih podataka očnim nervom obavlja impulsnom frekvencijskom modulacijom, koja predstavlja veoma pouzdan način prenosa informacija.

Ustanovljeno je da celokupni nervni sistem razmenjuje informacije pomoću impulsne frekvencijske modulacije, a mozak određuje mesto nastanka i karakter tih informacija na osnovu puteva kojima signali dolaze. Iz ovog opisa može se zaključiti da je retina ili mrežnjača, po svojoj strukturi i ulozi u obradi podataka o slici, morfološki produžetak mozga.

Sve teorije o našem viđenju boja i kolorimetriji zasnivaju se na fotohemijскоj prirodi fotopigmenata i njihovoj reakciji na svetlost, kao i na kombinacijama viđenja boja ovih receptorskih ćelija.



Slika 2.2. Poprečni presek oka i retine u predelu žute mrlje i tkiva optičkog nerva



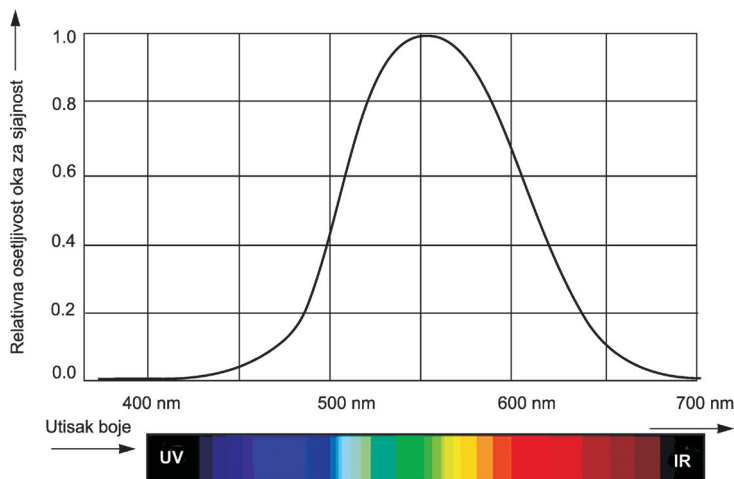
Slika 2.3. Ilustracija tri tipa molekula fotopigmenata koji su pretežno osjetljivi na crvenu R, zelenu G i plavu svetlost B

Eksperimentalno je, dakle, utvrđeno da **ljudski vid ima trihromatsku prirodu** i da u oku postoje tri vrste fotoreceptora za boju, pretežno osjetljivih na **crveni R (Red)**, **zeleni G (Green)** i **plavi B (Blue)** opseg talasnih dužina. Na slici 2.3 ilustrovani su molekuli ovih fotopigmenata. Oni omogućuju da razlikujemo na milione raznih boja. Trihromatska priroda opažanja boja navela je na zaključak da se i pri TV prenosu u boji mogu koristiti svetlosti crvene, zelene i plave boje. Precizne vrednosti talasnih dužina ovih monohromatskih boja odredila je CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage*) 1931. godine i definisala ih kao standardne ili **primarne boje u televiziji**, koje se koriste pri kolorimetrijskim merenjima i proračunima. Njihove vrednosti izabrane su iz spektra žive i iznose za crvenu boju 700 nm, za zelenu boju 546,1 nm i za plavu boju 435,8 nm, uz pretpostavku da ovaj spektar ima ravnomernu raspodelu energije za sve tri talasne dužine. Ovako definisani primari označavaju se sa R, G, B.

2.3. KRIVA OSETLJIVOSTI OKA

Talasne dužine svetlosti koje ljudsko oko može da vidi nalaze se u opsegu od 380 nm do 760 nm. Osetljivost oka izvan ovog opsega zanemarljivo je mala. Poznato je da površine koje reflektuju ceo spektar vidljive svetlosti vidimo kao bele, a površine koje upijaju ceo spektar vidljive svetlosti vidimo kao crne. Ako se pri refleksiji s nekog predmeta ovaj odnos promeni, taj deo predmeta videćemo u boji. Raspodela tog emitovanog ili reflektovanog svetlosnog fluksa po talasnim dužinama pojedinih komponenata iz tog vidljivog spektra boja naziva se **spektralna karakteristika vidljive svetlosti**. Ona zavisi od prirode svetlosnog izvora i predstavlja jednu od najvažnijih karakteristika televizije u boji.

Merenjem obavljenim na velikom broju posmatrača pokazano je da osetljivost oka raste, počev od plavog dela spektra iznad 400 nm, dostiže maksimum oko 555 nm u zelenom delu spektra i ponovo opada ka crvenom delu spektra do 700 nm. Tako je ustanovljena kriva osetljivosti oka standardnog posmatrača u zavisnosti od talasne dužine elektromagnetskih talasa, koja izgleda kao na slici 2.4. Osetljivost svakog pojedinog oka razlikuje se bar malo od ovako standardizovane krive.



Slika 2.4. Kriva osetljivosti oka standardnog posmatrača

2.4. SJAJNOST, BOJA I ZASIĆENJE BOJE

Ako je izvor svetlosti jednobojan, ili monohromatski, njegov vizuelno-psihološki efekat može se prikazati dvema veličinama. Jedna je **sjajnost izvora svetlosti** (*Luminance*), ili **nijanse sivog**. Ona pokazuje da li je izvor svetlosti više ili manje svetao. Odgovarajuća fizička veličina je **radijanca**, koja definiše jačinu elektromagnetskih radijacija izvora svetlosti u određenom smeru. Druga vizuelno-psihološka veličina jednobojnog izvora svetlosti jeste **boja** (*Hue*), koja je fizički određena **dominantnom talasnom dužinom svetlosnog zračenja**.

Za izvor svetlosti koji nije jednobojan, već predstavlja smešu radijacija različitih talasnih dužina, ustanovljena je i treća vizuelno-psihološka veličina, koja se zove **zasićenje boje** (*Saturation*). Ona određuje kolika je zastupljenost bele boje u nekoj boji koju naše oko zapaža. Odgovarajuća fizička veličina je **čistoća boje**, kojom se definiše odnos sjajnosti jednobojne komponente i sjajnosti cele smeše. Vrlo zasićene boje vidimo kao jarke, a malo zasićene boje vidimo kao blede, zbog većeg prisustva bele boje u njima.

Spektralna karakteristika oka ne zavisi samo od talasnih dužina elektromagnetskih radijacija već na nju utiču i dimenzije svetlosnog izvora, intenzitet radijacija i mogućnost prilagođenja oka, što je, takođe, veoma važno za televiziju.

Pojedine vidljive radijacije potpuno različito utiču na oko, što je i uslovalo uvođenje vizuelno-psiholoških veličina koje povezuju psihološki i fizički aspekt kvantiteta vidljivih elektromagnetskih radijacija. Ove veličine su poznate i kao **fotometrijske veličine** i zasnovane su na standardnoj karakteristici oka. Tako, na primer, pri malom intenzitetu vidljivih radijacija, to jest pri slaboj svetlosti, kriva spektralne osetljivosti oka pomera se nalevo, ka kraćim talasnim dužinama.

Jedna od najvažnijih fotometrijskih veličina jeste **sjajnost izvora svetlosti**. Ako se dva monohromatična izvora svetlosti nalaze jedan pored drugog, menjanjem njihovih radijanci moguće je postići vizuelno izjednačenje, tako da posmatraču oba izvora izgledaju jednako svetla. Međutim, pri tome se mora uzeti u obzir i relativna osetljivost oka.

Još jedna fotometrijska veličina značajna za televiziju jeste **osvetljaj površine** (*Brightness*). U fizičkom smislu, osvetljaj površine se definiše **gustinom svetlosnog fluksa po jedinici površine**.

Za televiziju su veoma važne i osobine oka u vezi s graničnim sjajnostima koje oko može da oseti, kao i mogućnost raspoznavanja sitnih delova i zapažanja pojedinih boja.

2.5. KONTRAST

Opseg sjajnosti koje oko može da vidi vrlo je veliki. Odnos najveće sjajnosti pri sunčevoj svetlosti i najslabije sjajnosti u mraku iznosi i do $1:10^3$. Međutim, eksperimentalno je utvrđeno da oko ne zapaža apsolutne vrednosti sjajnosti, nego relativne odnose sjajnosti kao nijanse sivog. Ovaj relativni osećaj odnosa maksimalne i minimalne sjajnosti, koji se naziva **kontrast**, isti je za različite apsolutne nivoe sjajnosti. Zahvaljujući baš ovoj osobini oka, na TV ekranu je moguće reprodukovati sliku čija se srednja sjajnost znatno razlikuje od srednje sjajnosti prirodne scene. **Reprodukovana TV slika biće verna ako je relativni odnos reprodukovane sjajnosti isti kao na originalnoj sceni**, zapravo, ako je kontrast verno reprodukovao kao relativni odnos maksimalne i minimalne sjajnosti susednih površina na sceni.

Osetljivost kontrasta zavisi od više faktora. Detalji slike najbolje se raspoznaju kada je sjajnost njihove pozadine jednaka srednjoj sjajnosti slike na koju je oko prilagođeno. Mogućnost raspoznavanja detalja naglo

opada kada detalji obuhvataju vidni ugao manji od 10 ugaonih minuta, kao i u neposrednoj blizini granice dveju površina različitih sjajnosti.

Sposobnost oka da raspozna sitne detalje na slici naziva se **moć razlaganja oka**. Merenje sposobnosti oka da razlikuje detalje obavlja se određivanjem udaljenosti s koje se dve tačke postavljene jedna do druge ne mogu više posebno razlikovati. Na ovaj način se određuje i minimalni vidni ugao pod kojim se dva detalja još uvek posebno vide, što, naravno, zavisi i od oštine vida posmatrača. Osim od vidnog ugla, raspoznavanje sitnih detalja zavisi i od nivoa srednjeg osvetljaja slike, kao i od kontrasta posmatranih detalja u odnosu na pozadinu.

Raspoznavanje sitnih detalja zavisi i od dinamike slike. Broj detalja koji se vidi na nekom objektu mnogo je veći kada je taj objekat nepokretan nego kada se brzo kreće. Ako scena sadrži pokretne objekte, onda se sjajnost menja i u prostoru i u zavisnosti od vremena, pa je pri prenosu slike mnogo teže obezbediti informacije o sjajnosti i boji svakog elementa slika koje se snimaju. Zbog toga projektanti televizijskih uređaja modeliraju čitav televizijski lanac od scene do uređaja za reprodukciju, primenom višedimenzionalne matematičke analize, da bi se što vernije prenele informacije o sjajnosti i boji svakog elementa slike.

Sposobnost oka za raspoznavanje crno-belih detalja mnogo je veća od moći raspoznavanja detalja boje. Eksperimentalno je ustanovljeno da je u oku izraženiji osećaj kontrasta pri višim učestanostima. Takođe je konstatovano da zapažanje boja na nekoj površini zavisi i od vidnog ugla pod kojim se ta površina vidi. Za vidne uglove veće od 20 minuta naš vid je trihromatski i mi percipiramo sve boje. Za vidne uglove između 10 i 20 minuta naš vid postaje dihromatski i u tom pravcu vidnog polja oko ne razlikuje sve boje. Za uglove manje od 10 minuta normalno oko uopšte ne raspozna boje i postaje monohromatsko. Detalji u slici se vide samo u nijansama sivog.

Moć raspoznavanja detalja boje zavisi i od odnosa sjajnosti susednih površina koje se razlikuju po boji. Ako je taj odnos manji od 3:1, potrebno je znatno povećati širinu spektra signala koji nosi podatke o boji da bi oština slike bila zadovoljavajuća. Srećom, u prirodi se znatno češće dešava da je odnos sjajnosti susednih površina koje se razlikuju po boji veći od 3 : 1. Zbog ovoga je moguće smanjiti propusni opseg signala koji prenosi podatke o boji u odnosu na propusni opseg signala koji prenosi podatke o sjajnosti, a da se ukupna oština slike ne smanji. Ovo je od suštinskog značaja za TV prenos u boji.

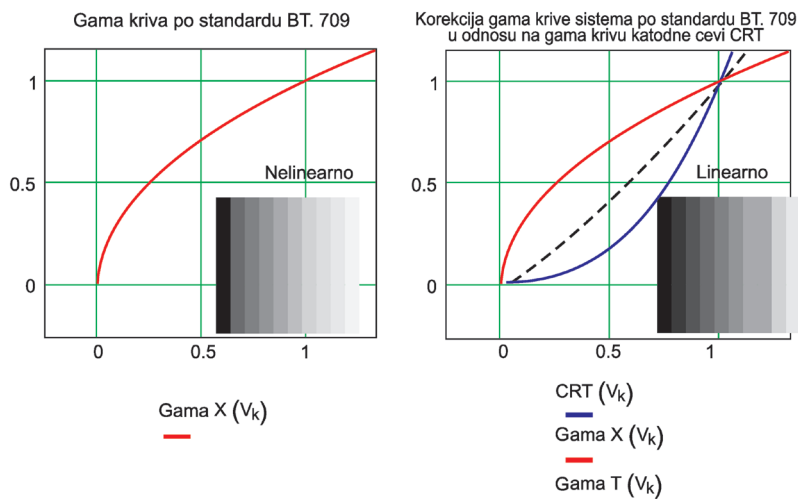
2.6. GAMA FAKTOR TV SISTEMA

Najmanja promena sjajnosti koju oko može da zapazi zavisi i od apsolutne veličine sjajnosti. Pri slaboj svetlosti potrebna je mnogo veća promena sjajnosti da bi oko moglo da je zapazi. Ova nelinearnost u televizijskom sistemu izražava se pomoću **gama faktor sistema**, ili sa γ , koji određuje nagib prenosne karakteristike izražene logaritmom reprodukovane sjajnosti u funkciji logaritma originalne sjajnosti. Nelinearnost postoji duž celog televizijskog lanca, počev od osvetljaja scene i optičko-elektronskih pretvarača u kameri, preko mnogobrojnih uređaja za obradu i prenos video-signala, pa sve do nelinearne karakteristike katodne cevi TV prijemnika – CRT (*Cathode Ray Tube*).

Postoje dva značajna razloga da se gama korekcija celog TV sistema izvrši na početku TV lanca, u samoj TV kameri. Na taj način se povećava vizuelni odnos signal–šum u tamnijim delovima slike, gde su kolorimetrijska izobličenja slike najizraženija. I drugo, ako bi se gama korekcija obavljala u TV prijemniku, onda bi trebalo da se u svaki prijemnik ugrade složena nelinearna kola, što nije opravdano ni iz ekonomskih razloga, niti zbog kontrole grešaka u reprodukovanoj slici. Zbog toga je u svim televizijskim sistemima usvojeno **da se gama korekcija obavlja u kameri**, tako da se koriguje inverzna nelinearna karakteristika katodne cevi TV prijemnika i da rezultatna gama karakteristika celog TV sistema bude približno linearna.

Na slici 2.5 a) prikazana je nelinearna prenosna karakteristika TV sistema $X(V_k)$, a na slici 2.5 b) prikazana je inverzna nelinearna karakteristika reprodukovane sjajnosti katodne cevi CRT(V_k) i rezultatna korigovana linearna prenosna karakteristika sistema $T(V_k)$, koja je približno linearna. Za prenosne funkcije i pobudni napon V_k uzete su normalizovane vrednosti od 0 do 1 u odnosu na izvor referentnog svetla i standarde za obradu video-signala koji su primenjeni u tom TV sistemu. Na primer, krive na slici 2.5 u skladu su sa standardom ITU-R BT.709, koji predstavlja dominantan standard za komponentni digitalni video-signal visoke definicije – HDTV.

Nelinearnost je najviše izražena na početnom i krajnjem delu prenosne karakteristike, dok je pri srednjem osvetljaju prenosna karakteristika približno linearna. Ako se ne bi izvršila korekcija nelinearnosti prenosne karakteristike, nastalo bi sabijanje kontrasta i gubljenje detalja u najtamnijim i najsvetlijim delovima reprodukovane slike, kao što se to može zapaziti na skali sivog koja je prikazana na slici 2.5 a). Ovo bi izazvalo i znatna kolorimetrijska izobličenja na reprodukovanim slikama u boji na kraju TV lanca, koja bi se videla i na TV prijemniku. Na slici 2.5 b) i na skali sivog vidi se da je rezultatna linearnost celog TV sistema znatno poboljšana.



Slika 2.5. Korekcija CRT i gama karakteristike sistema

Nelinearnost katodnih cevi kreće se između 2,2 i 2,8, a većina katodnih cevi ima faktor 2,5. Subjektivnom procenom kvaliteta slike ustanovljeno je da je pri uobičajenim uslovima gledanja pogodno da rezultatni gama faktor celog TV sistema bude malo veći od jedinice, čime se povećava zasićenje većine reprodukovanih boja. Tako su omogućeni povoljni uslovi gledanja, iako se, sa strogo kolorimetrijske tačke gledišta, unose izobličenja u slici. U praksi se gama faktor sistema najčešće postavlja na 1,2.

Značajna je i osobina oka da razlike na granici dveju susednih površina na slici, ili konture delova slike, oko vidi oštrije nego na prirodnoj sceni, što je poznato kao **bočna** ili **lateralna inhibicija**. Zahvaljujući ovoj osobini oka, u stanju smo da na slici vidimo konture na granici dveju susednih površina čije se sjajnosti ili boje razlikuju, tj. ako između tih površina postoji kontrast. Raspoznavanje kontura je veoma važno zbog povećanja oštrote slike. Zbog toga se efekat kontura u televiziji posebno ističe i veštački, pomoću specijalnih elektronskih kola za konturne i apečer (*Aperture*) korekcije za povećanje oštrote detalja slike.

2.7. GRASMANOVI ZAKONI

Vizuelno-psihološke veličine – sjajnost, boja i zasićenje, poznate su kao kolorimetrijske veličine i one se ne mogu egzaktno meriti. Njima odgovarajuće fizičke veličine – radianca, talasna dužina i čistoća boje, mogu se egzaktno meriti. Kolorimetrija predstavlja sponu između fizičkih i vizuelno-psiholoških veličina i omogućuje izražavanje našeg osećaja boje u funkciji fizičkih podražaja.

Osnovne zakone kolorimetrije postavio je nemački naučnik Grasman, još krajem 19. veka, na osnovu do tada poznatih teorijskih i eksperimentalnih istraživanja. Grasmanovi zakoni glase:

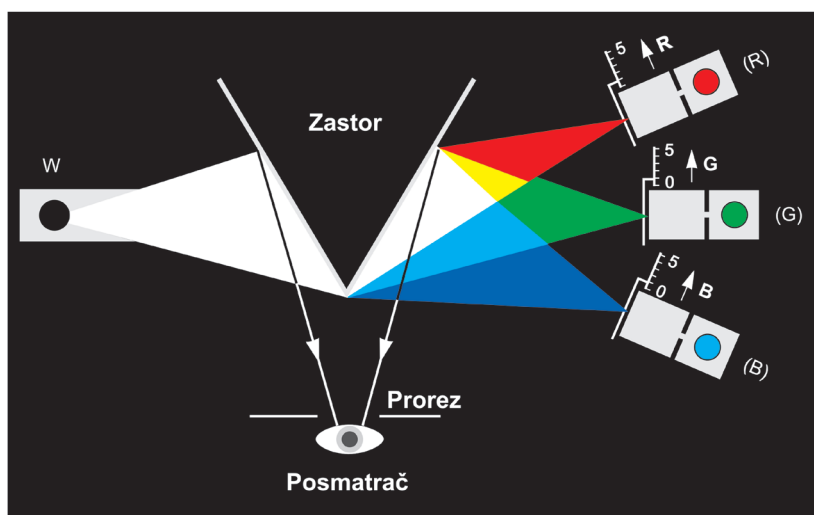
1. Oko može da razlikuje samo tri parametra svetlosti, koji se mogu izraziti sjajnošću, dominantnom talasnom dužinom i čistoćom boje.
2. Boja dvokomponentne svetlosti menja se kontinualno ako se jedna komponenta menja kontinualno a druga zadržava konstantno.
3. Svetlosti iste boje stvaraju identičan efekat u smeši, bez obzira na njihove spektralne karakteristike.
4. Ukupna sjajnost smeše jednaka je zbiru sjajnosti pojedinih izvora svetlosti.

Iz Grasmanovih zakona vidi se da mešanje boja svetlosti ima linearnu prirodu, što omogućuje da se, matematički, boje mogu predstavljati pomoću vektora boja i da se kombinacije boja određuju primenom vektorske algebre. Svaka boja može se predstaviti pomoću orijentisane duži i ugla koji ta duž zahvata u odnosu na neku referentnu osu, odnosno pomoću jednog vektora u prostoru. Prvi i četvrti Grasmanov zakon od fundamentalnog su značaja za televiziju u boji.

2.8. KOLORIMETAR

Kolorimetrijska merenja i specifikacija boja obavljaju se pomoću kolorimetra, čiji je izgled prikazan na slici 2.6. Slaganje svetlosti postiže se uravnoteženjem kolorimetra, koje se dobija mešanjem sjajnosti i talasnih dužina monohromatskih izvora R, G, B svetlosti dok se na desnoj strani kolorimetra ne dobije bela svetlost vizuelno jednaka standardnoj beloј svetlosti na levoj strani. Na ovaj način se u kolorimetru može specifikovati bilo koja boja.

Talasne dužine monohromatskih svetlosti koje u smeši stvaraju ahromatsku belu svetlost nazivaju se komplementarnim talasnim dužinama. I u opštem slučaju, bilo koje dve svetlosti ili boje koje u smeši stvaraju belu svetlost, ili belu boju, nazivaju se komplementarnim bojama.



Slika 2.6. Dijagram kolorimetra

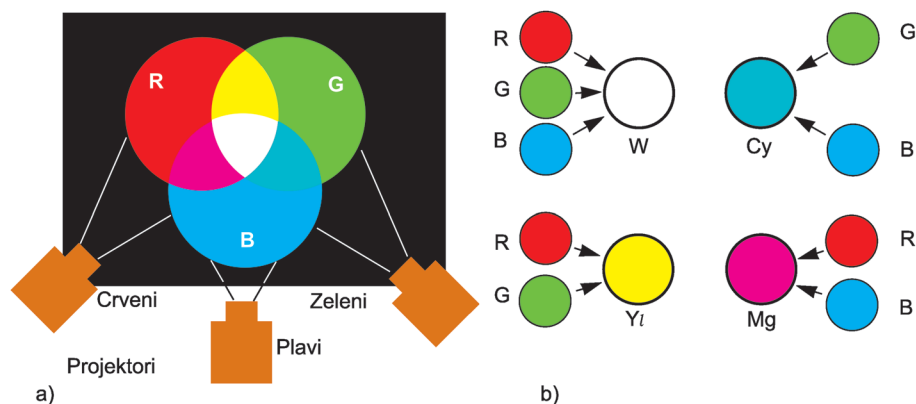
2.9. STANDARDNI IZVORI BELE SVETLOSTI

Ako posmatraču dve boje izgledaju jednake pri jednoj svetlosti, izgledaće mu približno jednake i pri drugoj svetlosti, ukoliko se spektralne karakteristike svetlosnih izvora ne razlikuju mnogo. Dovoljno je, dakle, upoređivati ili meriti boje samo pri jednoj svetlosti. Da bi se merenja boja izvršena na raznim mestima mogla međusobno upoređivati, ustanovljeno je nekoliko realnih veštačkih **standardnih izvora bele svetlosti** s precizno definisanim spektralnim karakteristikama. Ovi izvori su označeni sa A, B, C, D6.500 i W. Izvor bele svetlosti **D6.500**, tj. **D65**, označava standard koji je 1965. godine predložila Međunarodna komisija za osvetljenje – CIE. Ovaj izvor bele svetlosti predstavlja srednju dnevnu svetlost označenu slovom D (*Daily*). Usvojena standardna korelaciona temperatura ovog izvora bele svetlosti jeste 6.504 stepeni Kelvina, pa se ovaj izvor zbog toga i označava sa D6.500. **Korelaciona temperatura** je ona temperatura do koje treba zagrejati crno telo da bi njegova boja kolorimetrijski bila najbližnja boji izvora srednje dnevne sunčeve svetlosti. Za televiziju je značajno da se svetlost slična ovoj može ostvariti korektnom smešom svetlosti tri fosfora na ekranu TV kolor-cevi.

Osim realnih svetlosnih izvora, za računske svrhe koristi se i fiktivni izvor svetlosti s pretpostavljenom ravnomernom raspodelom energije za sve talasne dužine elektromagnetskih talasa u vidljivom domenu. Ovakav fiktivni izvor svetlosti uveden je kao standard i označava se sa **W**.

2.10. ADITIVNO MEŠANJE SVETLOSTI

Mešanjem odgovarajućih količina svetlosnih primara iz pogodno odabranih izvora svetlosti crvene, zelene i plave boje na crnoj podlozi i u odsustvu bele svetlosti, u oku je moguće ostvariti vizuelni osećaj širokog opsega boja i svih tonova sivog, što je grafički ilustrovano na slici 2.7 a). Površina osvetljena sa sve tri svetlosti u određenom odnosu daje utisak bele boje. Mešanjem crvene i zelene svetlosti stvara se utisak žute svetlosti, zelena i plava daju cijan, a crvena i plava daju utisak purpurne ili magenta svetlosti, slika 2.7 b). Ovakav način mešanja svetlosti dodavanjem, tj. adicijom svetlosti na crnu podlogu, naziva se **aditivno mešanje svetlosti** i na njemu se zasniva reprodukcija TV slike u boji. Pri aditivnom mešanju svetlosti crvena, zelena i plava svetlost nazivaju se aditivnim primarima.

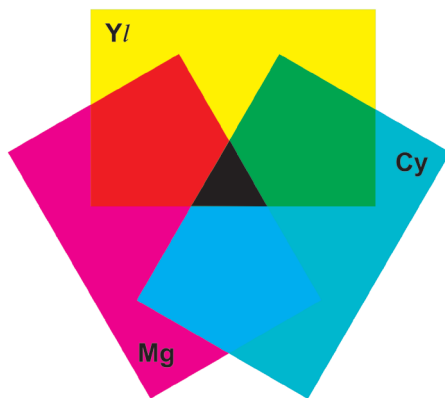


Slika 2.7. Aditivno mešanje svetlosti

2.11. SUPTRAKTIVNO MEŠANJE BOJA

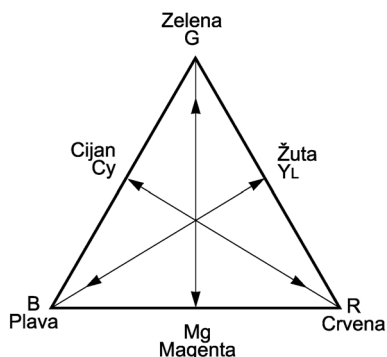
U slikarstvu, štamparskoj tehnici, kao i pri izradi filma u boji, koriste se obojene materije i pigmenti.

Kada bela svetlost obasjava bojene materije, nastaje apsorbovanje ili oduzimanje ili suptrakcija određenih talasnih dužina iz bele svetlosti, tako da je reflektovana svetlost obojena. Ovakav proces poznat je kao **suptraktivno mešanje boja**. Na primer, crveno obojena površina reflektuje samo onaj deo spektra



Slika 2.8. Suptraktivno mešanje boja

koji se nalazi u okolini njene dominantne talasne dužine, dok će ostali deo spektra apsorbovati. Kada ovakvim postupkom nastupi potpuna apsorpcija celog vidljivog dela spektra, gledalac ima utisak crnog, kao što je ilustrovano na slici 2.8. Cijan, magenta i žuta nazivaju se suptraktivnim primarima, i one su komplementarne boje aditivnim primarima – crvenoj, zelenoj i plavoj boji. Na slici 2.9 prikazan je dijagram na kom je ilustrovan tok dvostruke inverzije između primarnih i njima komplementarnih boja. Na temenima trougla označene su primarne boje R, G, B, a na sredinama stranica njima odgovarajuće komplementarne boje cijan ili C_y , magenta ili M_g i žuta ili Y_l . One se mogu dobiti kao smeša primarnih boja na temenima odgovarajuće stranice. Na primer, crvena i zelena na toj stranici daju žutu, a žuta je inverzna plavoj na suprotnom temenu. Ovakav tok dvostruke inverzije ostvaruje se pri eksponiranju i razvijanju kolor-filma inverzijom gustina bojenih pigmenata unutar filma.



Slika 2.9. Dijagram dvostruke inverzije komplementarnih boja

2.12. JEDNAČINA SMEŠE SVETLOSTI

Da bi se u kolorimetru mogla egzaktno specifikovati bilo koja boja, prethodno se moraju odrediti količine primara potrebne za slaganje referentne bele svetlosti izražene nekom od fotometrijskih veličina, na primer svetlosnim fluksom ili sjajnošću. Na taj način, svetlost S definisana je smešom $k(S)$ odgovarajućih količina primarnih svetlosti, odnosno smešom od R -jedinica crvenog primara (R), G -jedinica zelenog primara (G) i B -jedinica plavog primara (B). **Jednačina smeše svetlosti** u kolorimetru izražava se tada pomoću četvrtog Grasmanovog zakona i ona glasi:

$$k(S) = R(R) + G(G) + B(B).$$

Pošto se boja svetlosti može meriti nezavisno od njene sjajnosti, za specifikaciju bilo koje boje dovoljno je poznavati samo relativni odnos primarnih boja R , G , B u smeši, a sjajnost referentne bele svetlosti koja se koristi u kolorimetru može se normalizovati na 1. Takođe, mogu se normalizovati i apsolutne vrednosti količina R , G , B i koristiti njihove relativne količine, koje se obeležavaju sa r , g , b . **Normalizovane relativne vrednosti** ovih kolorimetrijskih vrednosti iznose:

$$r = R/(R + G + B), g = G/(R + G + B) \text{ i } b = B/(R + G + B).$$

Izraz za relativnu vrednost sjajnosti referentne bele svetlosti koja je normalizovana na jediničnu vrednost tada postaje:

$$r + g + b = 1.$$

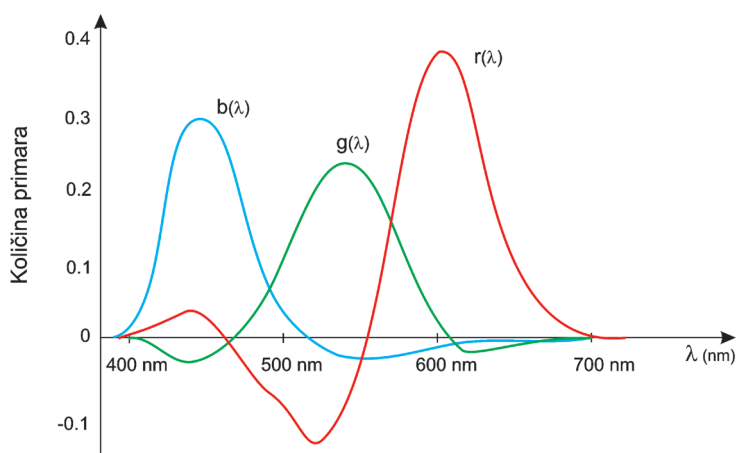
Specifikacija boja prema normalizovanim i relativnim količinama primara postaje jednostavnija. Pored toga, boja se sada može prikazati i u nekom koordinatnom sistemu, na primer Dekartovom, pa se veličine r , g , b nazivaju i **koordinate boja**.

Iz drugog Grasmanovog zakona se vidi da se boje mešaju po linearnim zakonima, pa se i boje i njihove koordinate mogu predstaviti linearnim zakonima, a to znači i **vektorima boja** koji se mogu translirati u prostoru, dok se kombinacije boja mogu određivati primenom jednostavne linearne algebre.

Poseban značaj u kolorimetriji, kao i u televiziji u boji, ima određivanje koordinata boja za svetlost čija je spektralna raspodela poznata. Da bi se to postiglo, moraju se odrediti količine primara r , g , b koje su potrebne za slaganje svetlosti s ravnomernom raspodelom energije. Te količine primara nazivaju se **težinske funkcije** ili **distribicioni koeficijenti**.

2.13. KRIVE ZA MEŠANJE BOJA STANDARDNOG POSMATRAČA

Matematičkim uprosečavanjem rezultata velikog broja merenja pri ispitivanju velikog broja posmatrača, Međunarodna komisija za osvetljenje CIE standardizovala je **krive za mešanje boja standardnog posmatrača** (*Colour mixture curves*), koje izgledaju kao na slici 2.10.



Slika 2.10. Krive za mešanje boja standardnog posmatrača

Površine koje obuhvataju pojedine krive sa apscisom moraju biti jednake jer se pošlo od pretpostavke da referentna svetlost ima ravnomernu raspodelu energije. Boja se kao vizuelni doživljaj ne meri direktno, već prema karakteristikama viđenja boja fiktivnog standardnog posmatrača. Zbog toga, količine primara potrebne za izjednačavanje s nekim podražajem boje na kolorimetru ne daju egzaktnu veličinu ni kvalitet, već su samo potvrda vizuelne jednakosti od strane standardnog posmatrača. Negativni deo crvenog primara na slici 2.10 ne znači da postoji negativna svetlost, već je taj rezultat dobijen formalnom matematičkom ekvivalencijom.

U televizijskim kamerama primarni izvori R, G, B svetlosti mogu se dobiti razlaganjem ulazne bele svetlosti pomoću dihroidnih prizama, uz pretpostavku da rasveta scene zadovoljava uslov da njena svetlost ima ravnomernu raspodelu energije. Problem negativnih delova krivih za mešanje boja u elektronskim kamerama može se rešiti jer je elektronskim sredstvima moguće realizovati negativne delove karakteristika, mada ne identične onima na slici 2.10. Kompromisno rešenje predstavlja korišćenje samo pozitivnih delova krivih za mešanje boja, uz rizik da će se pri reprodukovanju slike u boji pojaviti izvesno izobličenje na kraju crvenog spektra, što se, srećom, retko događa u TV slici.

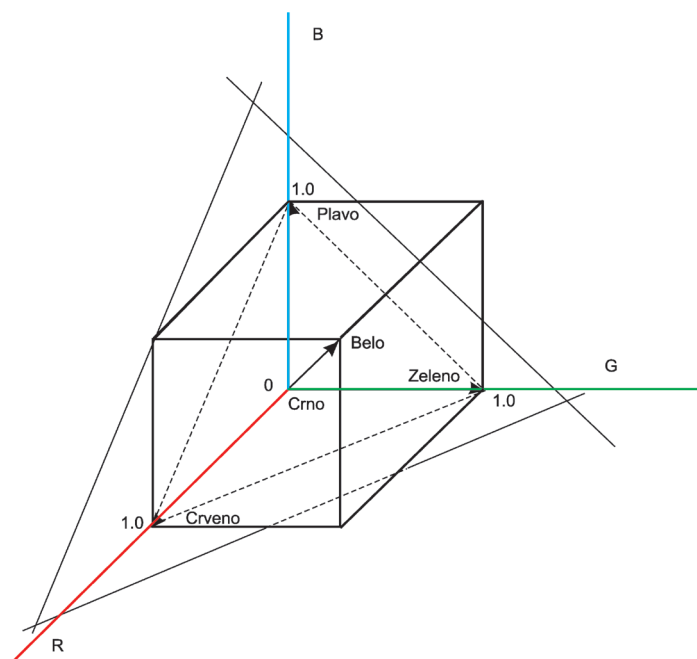
Veoma dobri izvori primarnih svetlosti crvene, zelene i plave boje, u kolorimetrijskom smislu, dobijaju se i pomoću svetlosti R, G i B fosfora u katodnim cevima TV prijemnika. Polazeći od krivih za mešanje boja standardnog posmatrača koje je definisala CIE, kao na slici 2.10, Evropska unija za radio-difuziju, EBU (*European Broadcasting Union*), preporučila je krive za mešanje boja za svetlosti primara koje emituju R, G, B fosfori u TV kolor-cevi. Ove krive moraju odgovarati krivama za mešanje boja standardnog posmatrača kako bi kolorimetrijska izobličenja slike na TV prijemniku u boji bila što manja. Drugim rečima, televizijski sistem će biti korektan ako se karakteristike svetlosti s originalnih i reprodukovanih elemenata slike podudaraju u kolorimetrijskom smislu. Ovaj princip, naravno, ima i nedostataka jer je kolorimetrija zasnovana na standardnom prosečnom posmatraču, a i uslovi gledanja originalne slike i slike na ekranu prijemnika veoma se razlikuju. Pri realizaciji televizijskih kolor-sistema bitno je da se zadovolje definisani tehnički kolorimetrijski uslovi. Naravno, u TV produkciji se veoma uspešno izvode i razne elektronske korekcije, u zavisnosti od realnih uslova u kojima se snimaju i prenose TV signali.

2.14. VEKTORSKA PREDSTAVA BOJA

Linearna priroda mešanja boja, izražena Grasmanovim zakonima, omogućuje da se boje matematički predstavljaju pomoću vektora i da se kombinacije boja određuju primenom vektorske algebre. Svaka boja se može predstaviti pomoću orijentisane duži i ugla koji ta duž zahvata u odnosu na neku referentnu osu.

Ako se za jedinične vektore svetlosnih primara usvoje oznake (R), (G), (B), kolorimetrijska jednačina dobija vektorski oblik. Boja je tada određena prostornim vektorom, koji se dobija vektorskim zbirom njegovih komponenata duž osa nekog koordinatnog sistema. Ako je koordinatni sistem pravougli i ako se na osama označe jedinični vektori primara, onda se može nacrtati **jedinična kocka boja**, kao na slici 2.11.

Za relativne veličine kolorimetrijskih podataka jedinična kocka predstavlja prostor u kome se nalaze sve boje koje se mogu dobiti mešanjem pozitivnih količina primara. Koordinatni početak označava crnu boju, a vrh dijagonale belu boju, dok se nijanse sivog nalaze duž dijagonale. Dužina vektora proporcionalna je sjajnosti posmatrane svetlosne tačke.



Slika 2.11. Jedinična kocka boja

Pravac vektora i položaj posmatrane svetlosne tačke u odnosu na referentno belo određeni su njenom dominantnom talasnom dužinom i zasićenjem. Vektori koji predstavljaju fizički ostvarljive boje, ali za čije

su ostvarenje potrebne negativne vrednosti nekih primarnih boja, nalaze se izvan oktanta u kojem je smeštena jedinična kocka. Ravan na kojoj se nalaze vrhovi tri jedinična vektora naziva se **jedinična ravan**. Ova ravan ima poseban značaj zato što presek vektora boja sa ovom ravni određuje dominantnu talasnu dužinu i zasićenje boja jer je sjajnost normalizovana na 1. Ako se određivanjem distribucionih koeficijenata u koordinatnom sistemu prikažu vektori monohromatskih radijacija jedinične snage, preseki ovih vektora s jediničnom ravni obrazuju geometrijsko mesto tačaka u obliku krive karakterističnog potkovičastog oblika, na kojem se nalaze sve čiste spektralne boje zasićene 100%, kao što je ilustrovano na slici 2.12 b).

2.15. STANDARDNI CIE SISTEM

Da bi se izbegle komplikacije s negativnim vrednostima krivih za mešanje boja, CIE je odredila nove koordinate boja označene sa X, Y i Z, koje imaju samo pozitivne vrednosti. One ne mogu biti realna svetla, već predstavljaju matematičke aproksimacije, ali s kojima može biti opisano bilo koje realno svetlo. Pošto su X, Y i Z fiktivne veličine, dogovoreno je jedno značajno uprošćenje. Dva primara izabrana su tako da je njihova sjajnost jednaka nuli, pa oni određuju samo boju bez sjajnosti, dok treća komponenta određuje samo vrednost sjajnosti bez boje. Tako je dobijen standardni CIE sistem za specifikaciju boja u kome se dominantna talasna dužina i zasićenje prikazuju na jediničnoj ravni, a projekcija potkovičaste spektralne krive u ravni X, Y predstavlja **standardni dijagram boja**, koji ima izgled kao na slici 2.12 b). Ova **potkovičasta spektralna kriva boja** obuhvata ceo spektar boja, s centrom koji predstavlja tačku belog. Na ovaj način se s prostornog prikaza dijagrama boja prešlo na površinski prikaz. I u ovom slučaju koriste se normalizovane vrednosti sjajnosti i količina primara, pa je:

$$x + y + z = 1.$$

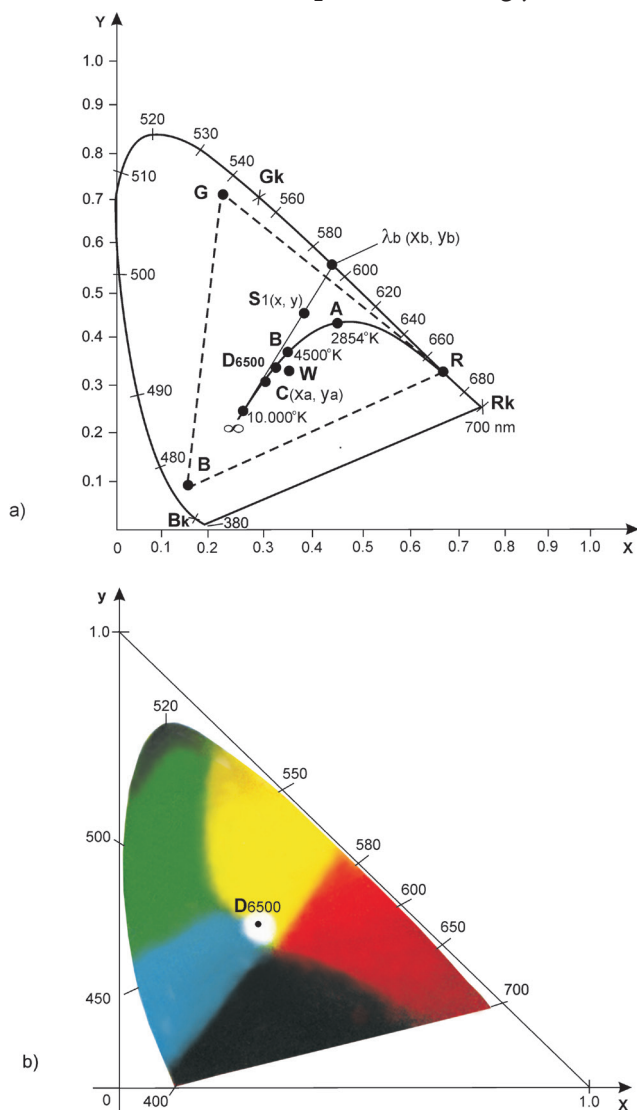
Normalizovane vrednosti primara jesu:

$$x = X / (X + Y + Z), y = Y / (X + Y + Z), z = Z / (X + Y + Z).$$

Tačka $C(x_a, y_a)$ na slici 2.12 a) predstavlja referentnu belu boju sistema. Na dijagramu boja prikazan je i grafički način određivanja dominantne talasne dužine i zasićenja proizvoljne svetlosne tačke S1. Od tačke C povuče se linija kroz tačku S1 i produži do preseka sa spektralnom krivom. Talasna dužina određena ovim presekom, $\lambda_b(x_b, y_b)$, predstavlja dominantnu talasnu dužinu boje za svetlosnu tačku S1. To znači da sve boje na ovoj pravoj imaju

istu talasnu dužinu, ali različito zasićenje. Naravno, zastupljenost bele boje povećava se idući ka tački C.

Na potkovičastoj krivoj locirane su sve čiste spektralne boje počev od crvene, čija je talasna dužina 700 nm. Unutar dijagrama boja na slici 2.12 a) prikazana je kriva sa označenim korelacionim temperaturama različitih standardnih izvora svetlosti bele boje. S porastom temperature dijagram boja se pomera po naznačenoj krivoj, zdesna nalevo, počev od tačke označene sa 700 nm, pa prema beskonačnosti. Tačka W ne nalazi se na ovoj krivoj pošto ne postoji takva realna temperatura pri kojoj bi crno telo isijavalo svetlost s ravnomernom raspodelom energije.

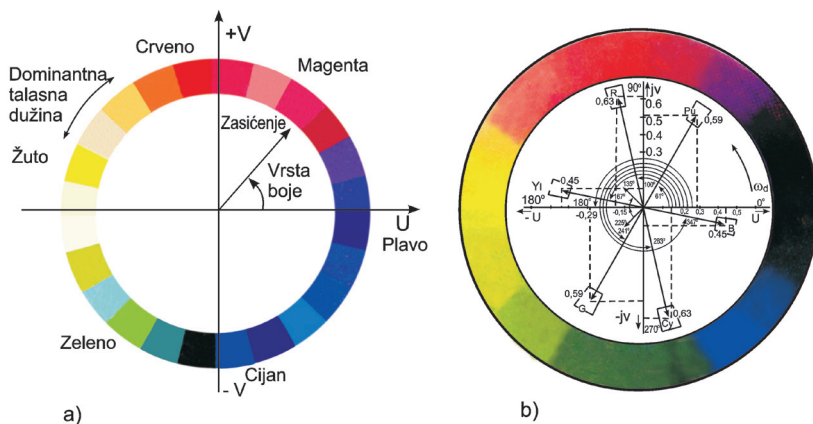


Slika 2.12. Standardni dijagram boja prema CIE sistemu

Ako bi se u televiziji primenili CIE kolorimetrijski monohromatski primari R_k , G_k i B_k , s talasnim dužinama 700, 546,1 i 435,8 nm, slika 2.12 a), postojao bi jedan veliki praktični problem. Sjajnost plave i crvene svetlosti koje fosfori u prijemniku mogu dati bila bi vrlo mala. Ukoliko je boja manje zasićena, ona sadrži više bele svetlosti, pa je i njena sjajnost veća. Zbog toga, bilo je potrebno napraviti kompromis između opsega boja koji se može ostvariti sa fosforim izvorima primarnih svetlosti u ekranima i zadovoljavajuće sjajnosti slike na ekranu. Tako je 1953. godine, prema američkim normama FCC (*Federal Communications Commission*), umesto monohromatske crvene boje, usvojena narandžastocrvena boja s koordinatama $x = 0,67$ i $y = 0,33$. Umesto monohromatske plave boje, usvojena je manje zasićena plava boja s koordinatama $x = 0,14$ i $y = 0,08$. Umesto monohromatične zelene boje, usvojena je manje zasićena žutozelena boja s koordinatama $x = 0,21$ i $y = 0,71$. Ove vrednosti su prihvaćene kao **televizijski primari R, G, B**. Ako se njihove vrednosti unesu u dijagram boja na slici 2.12 a), dobiće se nov položaj televizijskih primara R, G, B. Od velike je praktične važnosti da površina unutar trougla boja R, G, B obuhvata boje koje se najčešće sreću u prirodi. Sve ove boje mogu se uspešno reprodukovati pomoću fosfora u kolor-cevima TV prijemnika. Boje izvan trougla boja R, G, B ne mogu se ni ostvariti u TV prenosu.

Tabela 2.1. CIE vrednosti koordinata (x , y) za različite TV formate

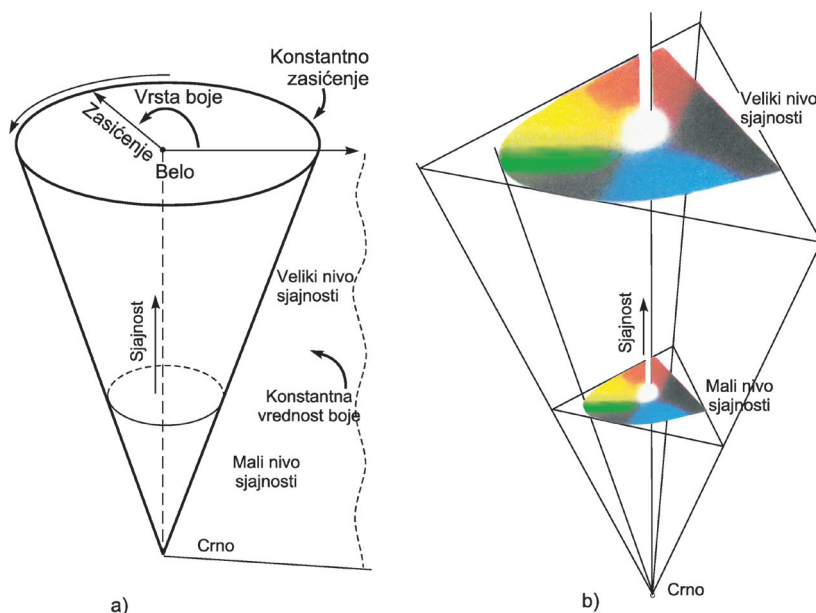
NTSC	RED		GREEN		BLUE	
(1953)	Xr	Yr	Xg	Yg	Xb	Yb
	0.670	0.330	0.210	0.710	0.140	0.080
Illuminat C	$x = 0.3101$		$y = 0.3162$			
EBU	RED		GREEN		BLUE	
Rec 709	Xr	Yr	Xg	Yg	Xb	Yb
	0.640	0.330	0.300	0.600	0.150	0.060
Illuminat D65	$x = 0.3127$		$y = 0.3290$			
PAL/SECAM	RED		GREEN		BLUE	
	Xr	Yr	Xg	Yg	Xb	Yb
	0.640	0.330	0.290	0.60	0.150	0.060
Illuminat D65	$x = 0.3127$		$y = 0.3290$			
SMPTE	RED		GREEN		BLUE	
	Xr	Yr	Xg	Yg	Xb	Yb
	0.630	0.340	0.310	0.595	0.155	0.070
Illuminat D65	$x = 0.3127$		$y = 0.3290$			



značaj u televiziji jer omogućuje da se na ekranu osciloskopa s polarnim koordinatama, ili vektorskopa, čija je građirana skala prikazana na slici 2.13 b), prikazuju oscilogrami, koji u svakom trenutku daju ugao i amplitudu vektora boja video-signala.

2.16. ZAJEDNIČKO PREDSTAVLJANJE SVA TRI KOLORIMETRIJSKA PARAMETRA

Sva tri kolorimetrijska parametra: sjajnost, vrsta boje i zasićenje mogu se prostorno predstaviti u obliku kolor-kupe, kao na slici 2.14 a).



Slika 2.14. Zajedničko predstavljanje sva tri kolorimetrijska podatka

Sjajnost se povećava po vertikali odozdo nagore, a po kružnici kolor-kruga nalazi se spektar zasićenih boja, tako da ugao vektora u toj ravni u odnosu na koordinatni početak predstavlja vrstu boje, tj. dominantnu talasnu dužinu, a amplituda tog vektora predstavlja zasićenje te boje. Na periferiji kruga nalazi se spektar 100% zasićenih vidljivih boja. Idući od periferije ka centru, zasićenje boja opada. Centar kruga predstavlja tačku belog. Promene ova tri kolorimetrijska podatka mogu se ilustrovati i u boji, pomoću potkovice boja i piramide boja, kao na slici 2.14 b).

2.17. KLJUČNI POJMOVI

Nijanse sivoj. Percepcija boje. Kolorimetrija. Vizuelno-psihološki proces. Spektral elektromagnetskih talasa. Vidljivi deo spektra boja. Trihromatska priroda opažanja boja. Fotoreceptorske ćelije. Primarne boje RGB. Kriva osetljivosti oka. Sjajnost. Boja. Zasićenje boje. Osvetljaj. Kontrast. Monohromatska svetlost. Vidni ugao. Gama faktor. Grasmanovi zakoni. Kolorimetar. Standardni izvori bele svetlosti D6.500. Aditivno mešanje svetlosti. Suptraktivno mešanje boja. Primarne boje. Komplementarne boje. Krive za mešanje boja. Dihroidna prizma. EBU. Vektor boje. Potkovičasta spektralna kriva. Koordinate boja. Koordinate D65. Televizijski primari. Trougao boja RGB. Kolor-kupa.

2.18. PITANJA I ZADACI ZA OBNAVLJANJE GRADIVA

1. Na osnovu čega su izabrane primarne boje u televiziji i kolike su njihove talasne dužine prema CIE standardu?
2. Navesti tri vizuelno-psihološke veličine izvora svetlosti i njima odgovarajuće fizičke veličine.
3. Kako se definiše kontrast i zašto je on važan u televiziji?
4. Kako glase Grasmanovi zakoni?
5. Kako se definiše standardni izvor bele svetlosti D6.500?
6. Kako se postiže aditivno mešanje svetlosti i suptraktivno mešanje boja?
7. Kako se nazivaju dve boje koje u smeši stvaraju belu boju?
8. Napisati jednačinu smeše svetlosti.
9. Kako se definišu koordinate boja r , g , b ? Da li se koordinate boja r , g , b mogu predstaviti pomoću vektora boja i zašto?
10. Kako se došlo do potkovičaste spektralne krive boja prema preporukama CIE? Zašto je važan RGB trougao?
11. Kako su definisani televizijski primari R , G , B ?
12. Napisati vrednosti koordinata (x, y) za standardni izvor bele svetlosti D6.500 i za primarne boje R , G , B prema preporukama EBU 709.
13. Analizirati zajedničko predstavljanje sva tri kolorimetrijska parametra pomoću kolor-kupe.

Pokretne optičke slike su funkcija dve prostorne i jedne vremenske promenljive, pa je neophodno formirati **video-signal koji zavisi samo od vremena** da bi se omogućio prenos preko samo **jednog telekomunikacionog televizijskog kanala**. Ovaj postupak obavlja se analizom pokretnih optičkih slika.

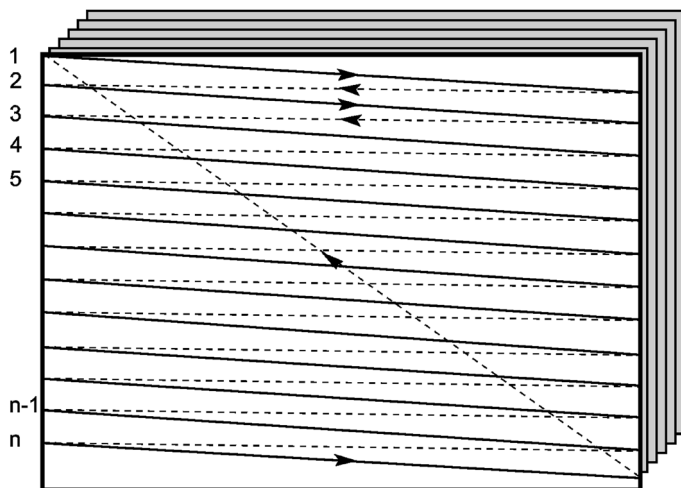
U prvobitnim kamerama sa analizatorskim cevima, kao što su bile plumbikon, vidikon, satikon i druge, analiza slike obavljana je pomoću elektronskog mlaza. U savremenim kamerama analizatorske cevi su u potpunosti zamenjene poluprovodničkim CCD (*Charge Coupled Devices*) senzorima slike, ali se analiza slike pomoću cevni senzora i dalje koristi za prikazivanje principa pretvaranja pokretnih optičkih slika u električne signale i formiranje video-signala.

3.1. ANALIZA TV SLIKE

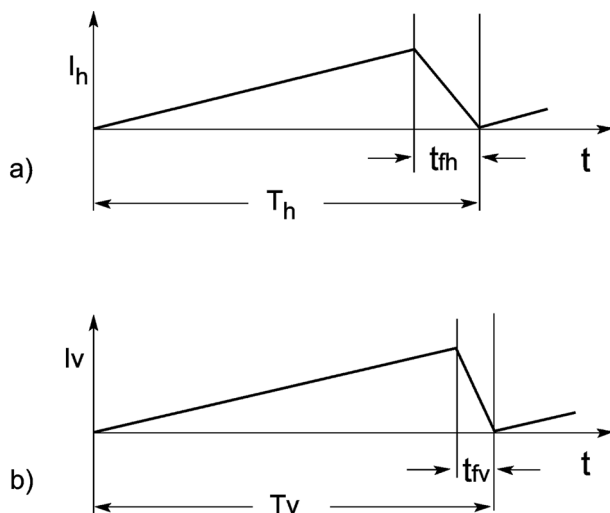
Analiza slike direktno zavisi od oblika slike. U početku razvoja televizije format TV slike je preuzet iz kinematografije, pa je usvojeno da i televizijska slika bude pravougaonog oblika, kao filmska slika, sa odnosom stranica (*aspect ratio*) 4 : 3 ili 1,33 : 1. Na taj način omogućena je jednostavna analiza optičke slike u TV kameri i reprodukcija odgovarajuće slike u TV prijemniku. Takođe, na taj način je omogućeno i jednostavno korišćenje postojećeg filmskog materijala u televiziji, imajući u vidu da su u tom vremenu bile razvijene samo filmske kamere za snimanje i memorisanje video i audio materijala na filmskoj traci, kao i filmski projektori za reprodukciju tih snimaka.

Optička slika s realne scene projektuje se na zastor analizatorske cevi gde se analizira elektronskim mlazom, koji se kreće jednosmerno pravolinijski s konstantnom brzinom od elementa do elementa slike duž paralelnih linija, tako da je smer kretanja mlaza za analizu sleva nadesno i od vrha ka

dnu, kao iščitavanje linija na stranici knjige, slika 3.1. Ovakav način analize prihvaćen je u svim televizijskim standardima u svetu. Pri tome, očigledno je da se mlaz mora kretati istovremeno i u horizontalnom i u vertikalnom pravcu. Skretanje mlaza obavlja se pomoću promenljivih električnih ili magnetnih polja, tako da signali za analizu slike i povratak mlaza u horizontalnom i vertikalnom pravcu, poznati kao **skretni** (*deflection*) **signali**, imaju karakterističan testerasti oblik, kao na slici 3.2.



Slika 3.1. *Progresivna analiza TV slike*



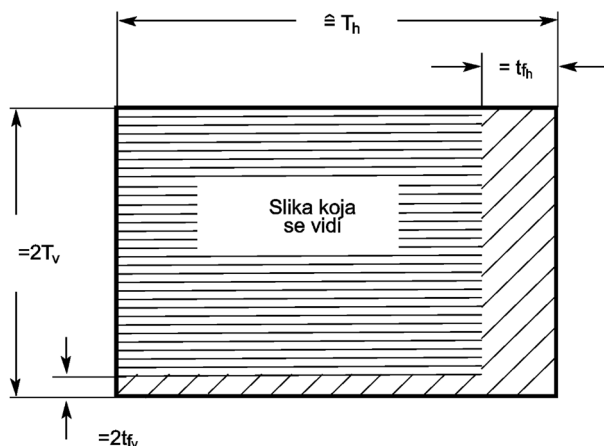
Slika 3.2. *Talasni oblici horizontalnog i vertikalnog mlaza za analizu slike s povratnim intervalima*

3.1.1. PROGRESIVNA ANALIZA TV SLIKE

Na kraju prve linije pri analizi slike kao na slici 3.1 smer kretanja se naglo promeni i brzina poveća, i mlaz se za mnogo kraće vreme vrati s desne strane na levu u intervalu **horizontalnog povratnog intervala** t_h (*flyback interval*). Pri povratku mlaz se zamračuje na odgovarajući način i time se onemogućuje obavljanje analize. Ukupno trajanje analize horizontalne linije i povratka mlaza iznosi T_h , slika 3.2 a). Pošto se mlaz istovremeno kreće i u vertikalnom pravcu, njegov položaj u trenutku povratka na levu stranu biće niži od početnog. U tom trenutku mlaz ponovo menja smer i započinje analizu druge linije.

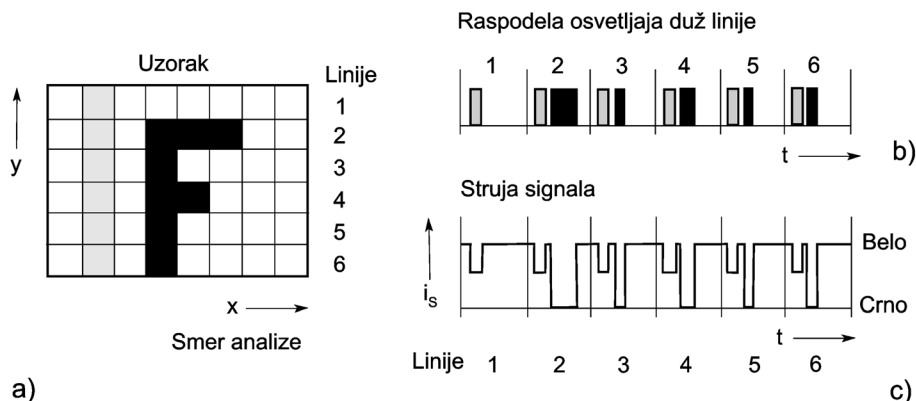
Elektronski mlaz tako opisuje linije jednu za drugom i kad dođe do kraja poslednje linije n , analiza jedne slike je završena. Površina obuhvaćena analizatorskim linijama poznata je kao **raster TV slike**. Nakon završetka analize cele slike mlaz se vraća u vremenu **vertikalnog povratnog intervala** t_v , slika 3.2 b), iz desnog donjeg ugla na levi gornji ugao, isprekidane linije na slici 3.1 i započinje analizu sledeće slike. Ukupno vreme potrebno za analizu slike, zajedno s vertikalnim povratnim intervalom, iznosi T_v . Analiza slika se ponavlja periodično zbog prenosa pokreta u slici jer se na taj način raspodela sjajnosti na senzoru menja s vremenom. Ovakav način analize naziva se **progresivnom analizom**.

Za vreme horizontalnog i vertikalnog povratnog intervala zamračuje se mlaz i pri usnimavanju i pri očitavanju slike. Jasno je da se zbog zamračenja pri prenosu informacije o TV slici koriste skraćeni intervali za aktivni deo slike, odnosno raster vidljivog dela slike, što je ilustrovano na slici 3.3 gde je, iz praktičnih razloga i zbog geometrije TV slike, prikazano kao da je interval horizontalnog zamračenja veći od vertikalnog, što nije tačno.



Slika 3.3. Površina rastera TV slike umanjena horizontalnim i vertikalnim intervalima zamračenja

Ako se uzorak slike predstavljen kao na slici 3.4 a) analizira progresivno linija po linija, sa ukupno 6 linija, i u svakoj liniji se razlikuje po 8 elemenata slike, onda će raspodela osvetljaja po linijama izgledati kao na slici 3.4 b), a talasni oblici strujnog signala na optičko-elektronskim pretvaračima imaće oblik kao na slici 3.4 c).



Slika 3.4. Raspodela osvetljaja po linijama i talasni oblici strujnog signala na optičko-elektronskim pretvaračima pri analizi optičke slike

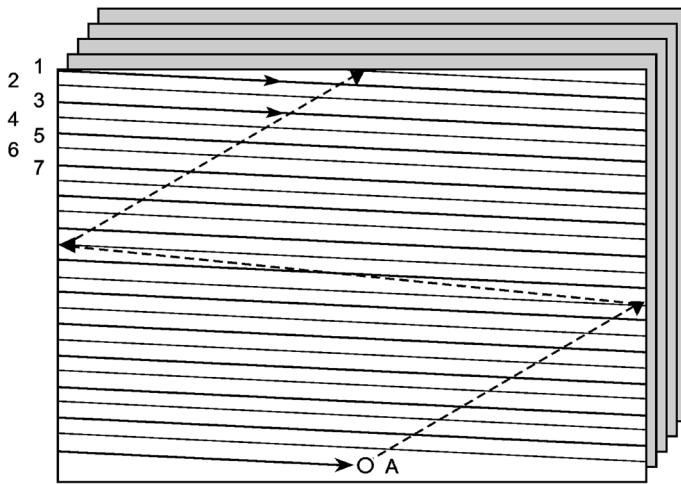
3.1.2. ANALIZA TV SLIKE SA PROREDOM

Progresivnom analizom ne može se jednostavno rešiti problem treperenja linija koje ljudsko oko zapaža. Eksperimentalno je utvrđeno da se linijska struktura TV slike ne primećuje pri reprodukciji od 400 do 900 linija u slici pri normalnoj udaljenosti od ekrana sa odnosom stranica 4 : 3 na rastojanju od 6 do 8 visina slike.

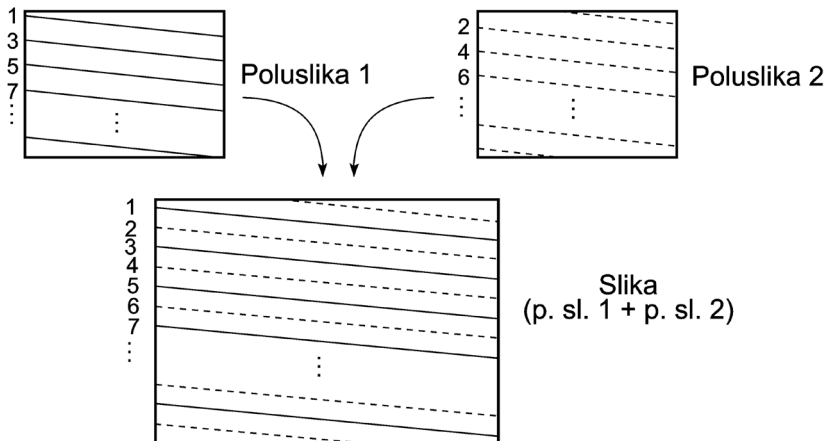
Za prenos pokreta u slici potrebno je preneti veći broj slika u sekundi. Eksperimentalno je utvrđeno da granična učestanost promena slika u sekundi iznad koje oko ne primećuje treperenje iznosi 48 Hz, kao kod filmskih projektor. Postoji potreba da učestanost slike mora biti sinhronizovana i sa učestanošću mreže, koja u Evropi i kod nas iznosi 50 Hz, da se ne bi javljao vertikalni brum u slici. Zbog toga bi najprostije rešenje ovog problema bilo ako bi se za učestanost slike usvojilo 50 Hz. Ali, povećanjem učestanosti slika povećao bi se i broj prenetih elemenata slike u jedinici vremena, odnosno ukupne učestanosti video-signala, a time i propusni opseg celog sistema, što je tehnički teško ostvarljivo. Zbog toga ovo rešenje nije prihvaćeno i pronađen je drugi način da se otkloni treperenje u slici a da se ne povećava učestanost video-signala.

Ako mlaz analizira najpre samo neparne linije, jasno je da će stići dva puta brže od vrha slike do dna slike. Pošto parne linije nisu analizirane,

potrebno je da se mlaz vrati na početak i da pri sledećem kretanju naniže analizira samo parne linije, slika 3.5. Prema tome, jedna kompletna analiza TV slike završena je tek kada se mlaz po drugi put vrati na dno. Za razliku od progresivne analize, ovakva analiza slike naziva se **analiza sa proredom** (*interlaced scanning*). Promena redosleda analiziranja nema nikakvog značaja jer je, zbog persistencije oka, sporedno kojim će se redom reprodukovati linije. Da bi se analiza sa proredom korektno ostvarila, svaka TV poluslika mora imati neki ceo broj analizatorskih linija, plus jednu polovinu linije. To znači da ukupan broj linija mora biti neparan.



Slika 3.5. Analiza TV slike sa proredom



Slika 3.6. Učešljavanje TV poluslika pri analizi sa proredom

Kod analize sa proredom, TV slika (*Frame*) deli se na dve poluslike. Poluslika 1 (*Field 1*) sadrži samo neparne linije, a poluslika 2 (*Field 2*)

samo parne linije. Dve poluslike se sabiraju, tj. **učešljavaju** (*Interlace*) jedna između druge, tako da formiraju jednu celu sliku, kao što je ilustrovano na slici 3.6.

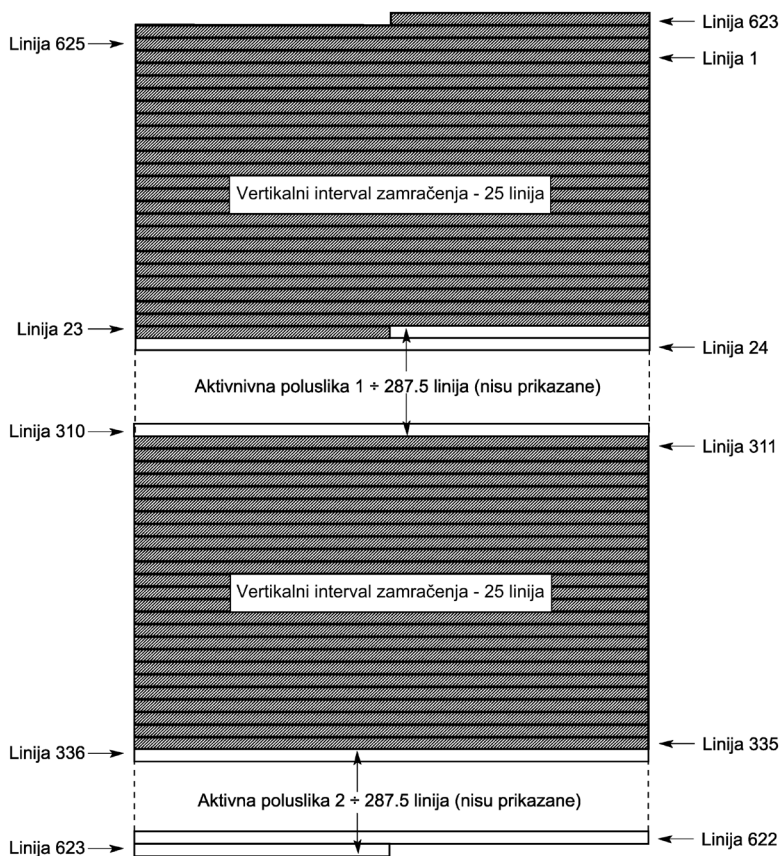
Poluslika se može smatrati slikom sa duplo manjim brojem linija. Pošto je učestanost poluslika dva puta veća, ovakav način analize, u pogledu treperenja slike, ekvivalentan je sistemu u kom bi se broj slika dva puta povećao. On je čak i bolji jer je svetlost linija dva puta veća. Zbog toga se analiza sa proredom primenjuje u celom svetu jer se tako, na relativno prost način i ne povećavajući učestanost propusnog opsega sistema, rešava problem treperenja slike.

Nedostatak analize sa proredom jeste u njenoj smanjenoj sposobnosti da prenosi sitne detalje na objektima koji su u pokretu zbog toga što se slika analizira u dva vremenska trenutka u kojima se objekat nalazi u dva različita položaja, pa su detalji u jednoj poluslici malo pomereni u odnosu na iste detalje u drugoj poluslici.

3.2. IZBOR VERTIKALNE I HORIZONTALNE UČESTANOSTI TV SISTEMA

Osnovni amplitudski, vremenski i frekvencijski parametri za televizijski sistem usvojeni su prema preporukama Internacionalnog komiteta za standarde – CCIR (*Committee Consultative International Radiocommunications*) Report 624. Nekoliko godina kasnije CCIR je zamenjen Internacionalnom unijom za telekomunikacije – ITU, (*International Telecommunication Union*), a odgovarajući standard označen je sa ITU-R BT.470-4,5,6).

Za TV sisteme u Evropi, kao i u našoj zemlji, usvojen je broj slika u sekundi 25, broj poluslika 50, broj linija po jednoj slici je 625, a po jednoj poluslici 312,5 linija. To znači da se prenosi 50 poluslika sa po 312,5 linija, umesto 25 slika po 625 linija, a ponavljanje poluslika ili vertikalna učestanost iznosi 50 Hz. Međutim, za vertikalni povratni interval po jednoj poluslici potrebno je 25 linija, a za obe poluslike 50 linija. To znači da je raster za vidljivi deo slike smanjen na 575 aktivnih linija. Trajanje jedne poluslike je $T_{ps} = 1/50 \text{ Hz} = 20 \text{ ms}$, a jedne slike je $T_s = 1/25 \text{ Hz} = 40 \text{ ms}$. Ukupna horizontalna ili linijska učestanost TV signala f_h , tj. f_l jednaka je proizvodu broja horizontalnih linija u jednoj slici i broja slika u sekundi, što iznosi $f_h = 625 \times 25 = 15.625 \text{ Hz}$, a vremenski interval trajanja jedne horizontalne linije iznosi $T_h = 1/f_h = 1/15.625 = 64 \mu\text{s}$. Prema CCIR preporukama trajanje horizontalnog povratnog intervala iznosi $t_{fh} = 0,18T_h = 11,52 \mu\text{s}$, a trajanje vertikalnog povratnog intervala iznosi $t_{fv} = 0,08T_v = 1,6 \text{ ms}$.



Slika 3.7. *Ilustracija analize slike u 625/50 standardu sa intervalima vertikalnog zamračenja*

Na slici 3.7 ilustrovana je analiza obe poluslike s detaljima vertikalnog zamračenja za standard 625/50. Iz ove slike se vidi da trajanje vertikalnog intervala zamračenja poluslika iznosi 25 linija, a za celu sliku 50 linija, kao i da broj aktivnih linija po slici, koje na slici 3.7 nisu prikazane, iznosi $625 - 50 = 575$ linija.

3.3. REZOLUCIJA TV SISTEMA

Statička rezolucija ili moć razlaganja predstavlja sposobnost televizijskog sistema da prenese sitne detalje strukture slike. Na graničnoj rezoluciji senzor slike više ne razlikuje susedne tačke u slici.

Dinamička rezolucija je sposobnost očuvanja detalja za vreme kada slika sadrži objekat koji je u pokretu, a kamera miruje, ili ako se kamera kreće.

Vremenska rezolucija je sposobnost da se razlikuju događaji koji su raspoređeni u vremenu.

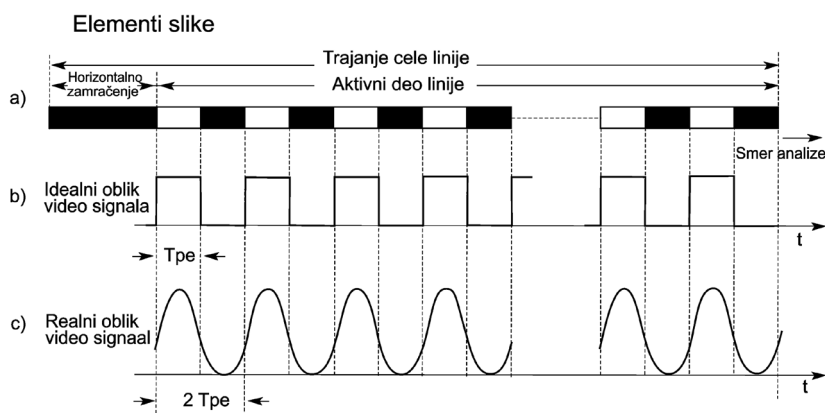
Struktura televizijske slike u vertikalnom i horizontalnom pravcu je različita, pa se zbog toga razlikuju vertikalna i horizontalna rezolucija.

3.3.1. VERTIKALNA REZOLUCIJA TV SISTEMA

Struktura televizijske slike u vertikalnom pravcu određena je samim načinom analize. Veći broj linija u vidljivom delu slike omogućio bi veću vertikalnu rezoluciju. Najveća teorijska vrednost vertikalne rezolucije ne može biti veća od ukupnog broja horizontalnih linija u TV slici. U praksi, vertikalna rezolucija uvek je manja jer se analiza ne obavlja u svim linijama. Videli smo da je za povratak mlaza s kraja na početak svake nove poluslike, po evropskim normama, potrebno 25 linija, a za obe poluslike 50 linija. U ovim linijama se ne obavlja analiza slike. Broj horizontalnih linija ograničen je debljinom horizontalnih linija, koja je određena konačnim prečnikom analizatorskog mlaza. Analizatorske linije nisu ni potpuno horizontalne, nego su malo zakošene, pa i to smanjuje ukupan broj horizontalnih linija. Takođe, vertikalna rezolucija zavisi i od trenutnog položaja elemenata slike u odnosu na analizatorske linije. Očigledno je da se izvestan broj elemenata slike u trenutku analize može naći između analizatorskih linija, pa ti elementi neće biti snimljeni. Iz navedenih razloga, eksperimentalno je ustanovljen **Kelov faktor** $k = 0,7$, kojim treba pomnožiti broj aktivnih linija da bi se dobila efektivna vertikalna rezolucija. Broj aktivnih linija, prema evropskom standardu, iznosi $625 - 50 = 575$, pa je vertikalna rezolucija $N_v = 575 \times 0,7 = 402,5$ ili 402 LPH (*Line Per Height*), odnosno linije po visini aktivnog dela slike.

3.3.2. HORIZONTALNA REZOLUCIJA TV SISTEMA

Horizontalna rezolucija određena je brojem elemenata slike koji se može preneti u jednoj horizontalnoj liniji. Najmanja veličina elementa koja se može preneti određena je konačnim prečnikom analizatorskog mlaza. Pretpostavimo da se duž analizatorske linije nalaze naizmenično poređani crno-beli kvadratići čija je stranica jednaka debljini linije, slika 3.8 a), da je presek analizatorskog mlaza četvrtast i da tačno odgovara debljini linije, tako da se reprodukuje svaki element s linije. Pri idealnoj analizi ovih elemenata dobio bi se idealni oblik video-signala pravougaonog oblika, kao na slici 3.8 b). Ako je maksimalna učestanost koju sistem može preneti jednaka prvom harmoniku video-signala, onda će njegov realni oblik imati sinusoidan oblik, kao na slici 3.8 c). S ove slike se vidi da jednoj periodi video-signala T_{vs} odgovaraju dve periode elemenata slike T_{es} .



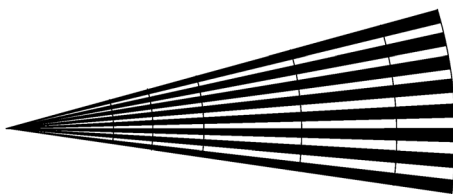
Slika 3.8. Odnos između horizontalnih piksela i odgovarajućih električnih signala

Znamo da u analizi sa proredom broj linija mora biti neparan. Osim toga, potrebno je da se ovaj broj može rastaviti na proste činioce zbog stabilnosti rada delitelja u sinhronizacionom generatoru. Najbliži broj koji zadovoljava oba ova uslova jeste 625 jer je $625 = 5 \times 5 \times 5 \times 5$. Ako bi TV slika bila u obliku kvadrata sa 625 linija, s takvim kvadratnim elementima slike i idealnom analizom, onda bi duž jedne linije bilo 625 elemenata slike, a po vertikali bilo bi 625 linija. Pošto odnos širine i visine slike (*aspect ratio*) u standardnoj televiziji iznosi 4 : 3, ukupan **broj elemenata na takvoj TV liniji iznosi $625 \times 4/3 = 833$** .

Ovde treba napomenuti da horizontalna rezolucija, odnos vertikalne i horizontalne rezolucije, kao i efektivni broj detalja u slici koji se realno može preneti, predstavljaju znatno složeniji problem. Potrebno je uzeti u obzir i subjektivni osećaj oštine u slici, persistenciju oka i broj linija koje je moguće reprodukovati u određenom vremenu analiziranja.

Horizontalna rezolucija se određuje brojem belih i crnih linija koje se u reprodukovanoj slici mogu posebno razlikovati, a proporcionalna je maksimalnoj učestanosti video-signala. Faktor proporcionalnosti poznat je kao faktor horizontalne rezolucije. Takođe je važno da horizontalna i vertikalna rezolucija budu jednake pri odgovarajućem odnosu širine i visine TV slike. Za standard 625/50 i veličinu slike 4 : 3 najmanja učestanost video-signala pri kojoj horizontalna i vertikalna rezolucija mogu biti jednake iznosi $1/T_p = 1/0,194 \mu s = 5,15 \text{ MHz}$, gde je T_p period jednog piksela. Ako se uzme u obzir i Kelov faktor, odnosno 402 linije po visini aktivnog dela slike, onda se za faktor horizontalnog razlaganja dobija $402 \text{ LPH} / 5,15 \text{ MHz} = 78$ linija po jednom megahercu (*LPH – Line per Picture Height*). To znači da **na 5 MHz horizontalna rezolucija iznosi $N_h = 5 \times 78 = 390$ linija**.

Za subjektivnu procenu horizontalne rezolucije može se koristiti i takozvani rezolucioni klin, kao na slici 3.9. Idući ka tački na vrhu klina, linije su sve tanje, a razmak između njih sve manji i sve teže uočljiv. Duž klina obeležene su i rastuće vrednosti učestanosti. Posmatranjem reprodukovane slike rezolucionog klina posmatrač vizuelno procenjuje na kojoj učestanosti prenosni sistem ne može više da razloži kose linije, na primer na 4,5 MHz. Ovakav test-signal koristi se na rezolucionim test-kartama za podešavanje kamera, kao i na kombinovanim elektronskim test-signalima, za subjektivnu procenu i horizontalne i vertikalne rezolucije, odnosno rezolucije po dijagonali, što je, takođe, veoma važno.



Slika 3.9. *Rezolucioni klin*

3.4. ODREĐIVANJE MAKSIMALNE UČESTANOSTI VIDEO-SIGNALA

Minimalna učestanost u spektru video-signala jednaka je nuli, pa je za definisanje ukupnog propusnog opsega potrebnog za prenos video-signala dovoljno odrediti samo maksimalnu graničnu učestanost video-signala koju treba prenositi.

Maksimalna učestanost video-signala može se jednostavno odrediti ako se pođe od rezolucije televizijskog sistema. Pretpostavimo da je cela TV slika, u idealizovanom slučaju, sastavljena od 625 linija, kao na slici 3.8 a), i da crno-beli kvadratići imaju šahovsku strukturu po njenoj pravougaonoj površini sa odnosom stranica 4 : 3. Da bismo odredili maksimalnu učestanost video-signala, treba najpre izračunati ukupan broj kvadratića, odnosno elemenata slike koji se mogu reprodukovati. Videli smo da u jednoj liniji ima 833 elementa slike, pa ukupan broj elemenata u jednoj takvoj slici iznosi $625 \times 833 = 520.625$. Pošto se u jednoj sekundi prenosi 25 celih slika, onda ukupan broj elemenata slika koji se prenosi u jednoj sekundi iznosi $520.625 \times 25 = 13.015.625$. Ovo je ujedno i maksimalan broj elemenata slike, s obzirom na pretpostavljene idealizovane uslove za analizu slike. Videli smo da se u jednoj periodu video-signala reprodukuju 2 elementa slike, slika 3.8 a), pa je maksimalna učestanost video-signala duplo manja od maksimalnog broja elemenata slika koji se prenosi u jednoj sekundi, odnosno $f_{\max} = 13.015.625/2 \text{ MHz}$, što približno iznosi $f_{\max} = 6,5 \text{ MHz}$.

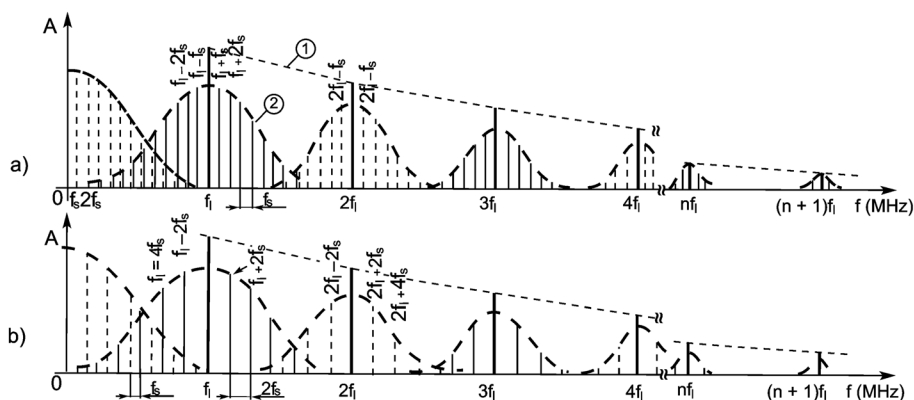
U posmatranom intervalu od jedne sekunde nisu uzeti u obzir povratni intervali na nove linije i nove poluslike u kojima se ne analizira aktivni deo slike. Takođe, pretpostavljeno je da su svi elementi pri analizi obuhvaćeni analizatorskim linijama, što u praksi nije slučaj. Uzimajući i ove činjenice u obzir, maksimalan broj prenetih elemenata slike biće manji, pa će manja biti i maksimalna učestanost video-signala. U CCIR normama za 625/50 sistem usvojena je maksimalna učestanost propusnog opsega za video-signal u iznosu od $f_{\max} = 5 \text{ MHz}$. Ona je dovoljno velika da omogući da se i sitni detalji sa slika reprodukuju sa zadovoljavajućom oštrinom.

3.5. SPEKTAR VIDEO-SIGNALA

Svaka složenoperiodična funkcija vremena, pa i video-signal, može se pomoću **Furijeove analize** razložiti na određeni broj prostoperiodičnih komponentata ili harmonika u funkciji učestanosti f . Iz takvog harmonijskog spektra vidi se ne samo koje su harmonijske komponente sadržane u složenoj funkciji nego i relativni odnos njihovih amplituda i faza u zavisnosti od učestanosti, kao i vrednosti jednosmernih komponentata, ukoliko postoje. Takođe, na osnovu izgleda ovakvih spektara može se zaključiti da iznad neke granične učestanosti vrednosti svih ostalih komponentata naglo opadaju na višim učestanostima i da se mogu zanemariti pri prenosu video-signala, tako da se on može verno reprodukovati na prijemnoj strani. Zbog toga se može zaključiti da je opsegom učestanosti od nule do te granične učestanosti određena **širina propusnog opsega prenosnog sistema** koji utiče na vernost reprodukcije video-signala. Pri tome, niže komponente u tom spektru učestvuju u grubom oblikovanju video-signala, a više komponente, zajedno sa nižim, daju konačan izgled sa sitnijim detaljima.

Slike koje treba prenositi putem televizijskih prenosnih kanala najčešće su veoma dinamične jer se njihov sadržaj znatno menja u vremenu, tako da se može reći da su one pseudoperiodične funkcije vremena. Da bi se uočile osnovne karakteristike spektra video-signala, posmatra se statična slika. Međutim, i takav signal je složenoperiodična funkcija vremena jer se pri analizi statične slike periodično ponavlja analiza svake linije i svake poluslike. Tipičan oblik **spektra video-signala** pri analizi statične slike bez proreda ima izgled kao na slici 3.10 a).

Karakteristične komponente igličastog oblika ponavljaju se sa multiplima linijske učestanosti nf_s . Oko svake od njih postoje prateće harmonijske komponente, pri čemu je razlika učestanosti između svake dve susedne komponente jednaka učestanosti slika $f_s = 25 \text{ Hz}$. Amplitude linijskih, kao i pratećih harmonijskih komponentata opadaju po eksponencijalnom zakonu sa porastom učestanosti.



Slika 3.10. Izgled spektra video-signal: a) pri analizi bez proreda, b) pri analizi sa proredom.

Ako bi se menjao sadržaj statične slike, ne bi se menjale pozicije spektralnih komponenta, već bi se menjale samo amplitude i faze pojedinih linijskih i pratećih harmonika. Pri analizi dinamične slike svaka od spektralnih komponenta proširila bi se u mali dodatni spektar, čija širina zavisi od brzine pokreta.

Pri analizi sa proredom statične slike, položaj linijskih komponenta na f osi ostaje isti kao i pri analizi bez proreda, jer se nije promenila linijska učestanost. Međutim, razmak između dveju susednih pratećih harmonijskih komponenta koje pripadaju pojedinim linijskim harmonicima duplo je veći u ovom slučaju, slika 10 b), i jednak je učestanosti poluslika $f_p = 50$ Hz. Pri analizi sa proredom dolazi i do učešljavanja ovih pratećih komponenta koje pripadaju susednim parnim i neparnim linijama. Učešljavanje je postignuto izborom neparnog broja analizatorskih linija, odnosno pogodnim izborom učestanosti broja slika u sekundi i broja linija u slici. Na taj način se izbegava preklapanje pratećih harmonika i grešaka koje zbog toga mogu nastati. U spektru sa slike 3.10 mogu se uočiti makroanvelopa (1), koja obuhvata vrhove linijskih komponenta, i mikroanvelopa (2), koja obuhvata vrhove pratećih harmonika. Što je broj linijskih komponenta obuhvaćen makroanvelopom veći, preneće se više sitnih detalja sa slike u horizontalnom pravcu, a što je broj pratećih harmonijskih komponenta obuhvaćen mikroanvelopom veći, biće preneto više detalja u vertikalnom i dijagonalnom pravcu slike. Pri tome, **komponente niskih učestanosti** u spektru video-signal nose podatke o sjajnosti krupnih detalja u slici, a **komponente visokih učestanosti** nose podatke o sjajnosti sitnijih detalja u slici.

Ako se posmatra spektar video-signal, može se uočiti još jedna veoma važna činjenica, da pri višim učestanostima između linijskih harmonika

postoji prazan prostor u spektru. U tim praznim prostorima ne prenose se značajniji podaci o sjajnosti detalja slike. Zbog toga se u ovim intervalima mogu ubaciti spektralne komponente koje nose potrebne informacije o boji slike, a da se time ne proširuje dodatno spektar potreban za crno-belu sliku. Na taj način omogućen je istovremeni **kompatibilni prenos slike u boji** postojećim kanalima za prenos crno-bele slike.

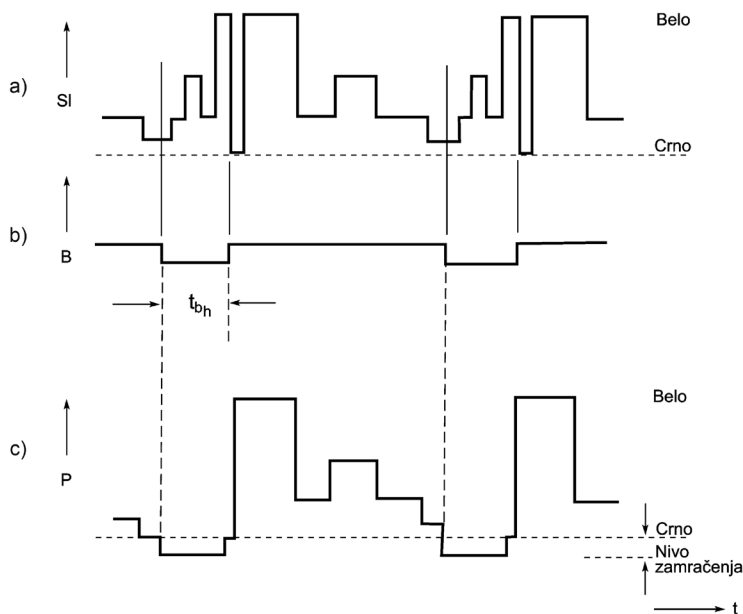
3.6. SLOŽENI VIDEO-SIGNAL ZA CRNO-BELU SLIKU

Složeni video-signal – SVS, tj. kompozitni video-signal – CVS (*Composite Video Signal*) za crno-belu sliku jeste kompletan video-signal i sastoji se od tri komponente:

- signala analizirane slike SI (*Scanned Image*),
- signala za horizontalno i vertikalno zamračenje B (*Blanking signal*) i
- signala za horizontalnu i vertikalnu sinhronizaciju S (*Sync signal*).

3.6.1. SIGNAL ZAMRAČENJA ZA CRNO-BELU SLIKU

Iz postupka analize slike videli smo da se zamračenje video-signala obavlja za vreme svih horizontalnih i vertikalnih povratnih intervala u skretnim signalima za analizu slike, slika 3.11, kako u postupku snimanja, tako i u postupku reprodukcije TV slike.

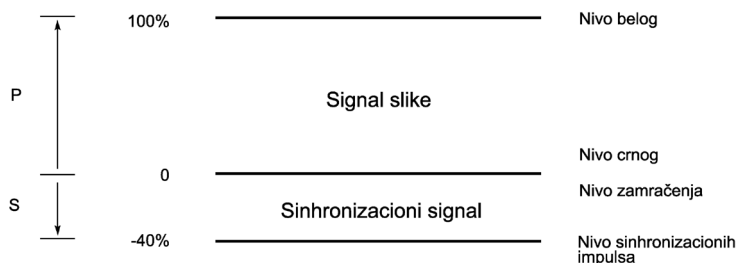


Slika 3.11. Signal horizontalnog zamračenja i generisanje video-signala crno-bele slike

Na slici 3.11 prikazano je generisanje signala slike mešanjem, odnosno kodovanjem signala analizirane slike SI, slika 3.11 a), sa signalom zamračenja B duž jedne horizontalne linije, slika 3.11 b). Signali koji se koriste za zamračenje sastoje se od impulsa za **horizontalno zamračenje** čija je širina jednaka $t_{bh} = 0,18T_h$ i impulsa za **vertikalno zamračenje** širine $t_{bv} = 0,08T_v$. Nivo zamračenja (*Blanking level*) jednak je **nivou crnog** (*Black level*) video-signala ili je nešto niži od njega, kao što je prikazano na slici 3.11 b). Na slici 3.11 c) vidi se da je generisani signal analizirane slike SI u potpunosti zamračen pomoću impulsa zamračenja, odnosno za vreme povratnih intervala mlaza za analizu slike.

3.6.2. SINHRONIZACIONI SIGNALI ZA CRNO-BELU SLIKU

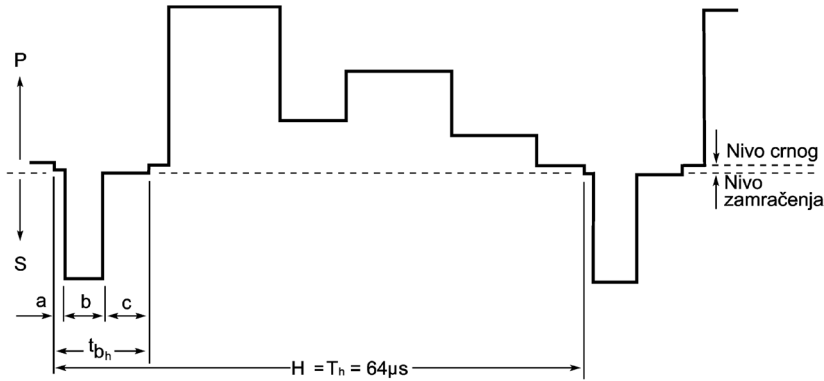
Povratni horizontalni interval u kome je zamračen video-sadržaj koristi se za prenos **horizontalnih sinhronizacionih impulsa**, a u **povratnom vertikalnom intervalu** u kome je, takođe, zamračen video-sadržaj, prenose se **vertikalni sinhronizacioni impulsi**. Pomoću ovih impulsa ostvaruje se sinhronizacija rada skretnih sistema u TV prijemniku, po istom redosledu kao i pri analizi slike u kameri. Na taj način se ostvaruje sinhronizam analize i sinteze televizijske slike. **Nivo sinhronizacionih impulsa** je niži i od nivoa zamračenja. Na slici 3.12 prikazani su nivoi kompozitnog video-signala za opsege signala slike i sinhronizacionih signala. Razlika u učestanosti omogućuje da se horizontalni i vertikalni sinhronizacioni impulsi posebno generišu i prenose unutar naznačenih nivoa, pri čemu se mora obezbediti i mogućnost njihovog korektnog razdvajanja na prijemnoj strani.



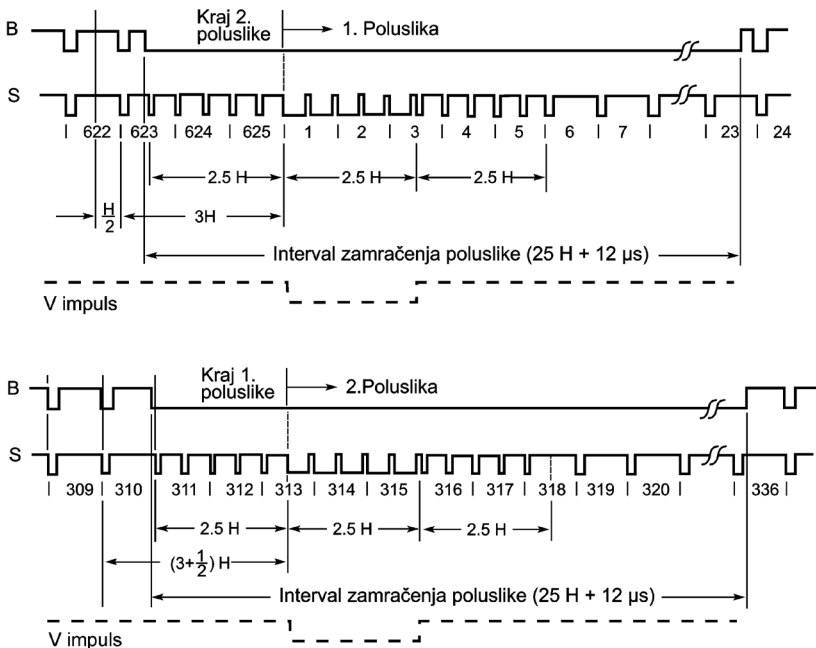
Slika 3.12. Nivoi opsega kompozitnog video-signala

Prednja ivica horizontalnog sinhronizacionog impulsa određuje početak sinhronizacije i ona kasni u odnosu na početak povratnog intervala za $1,5 \mu s$. Ovaj interval, obeležen sa a na slici 3.13, naziva se **prednji prag** (*Front porch*) i njim se otklanja mogući uticaj sadržaja slike na sinhronizaciju. Trajanje horizontalnog sinhronizacionog impulsa, označeno sa b na slici 3.13 iznosi $4,5$ do $5 \mu s$. Deo povratnog impulsa posle

zadnje ivice horizontalnog sinhronizacionog impulsa naziva se **zadnji prag** (*Back porch*) i on se koristi za prenos signala za sinhronizaciju boje, što će biti prikazano u narednim poglavljima. Vertikalni sinhronizacioni impulsi prenose se u intervalu zamračenja poluslika. Na slici 3.14 oznakom B (*Blanking*) prikazane su komponente zamračenja, a oznakom S (*Sync*) prikazane su komponente sinhronizacionih impulsa. Vertikalni sinhronizacioni impuls prikazan je isprekidanim linijama. On je poznat i kao **široki impuls** (*broad pulse*). Trajanje vertikalnog sinhronizacionog impulsa iznosi $2,5 H$ perioda, ili $2,5 \times 64 \mu s$.



Slika 3.13. Horizontalni sinhronizacioni signal za crno-belu sliku



Slika 3.14. Vertikalni sinhronizacioni signal za crno-belu sliku

Da bi se osiguralo neprekidno korektno ponavljanje horizontalnih sinhronizacionih impulsa, vertikalni sinhronizacioni impuls je isprekidan u intervalima $H/2$. Na slici 3.14 prikazane su ivice impulsa koje su potrebne za kontinuitet horizontalne sinhronizacije u intervalu vertikalnog impulsa.

Pošto se vertikalni sinhronizacioni impuls u TV prijemniku izdvaja integracijom iz mešovitog sinhronizacionog signala, postoje različiti uslovi za početak integracije za dve poluslike, u zavisnosti od **polulinijskog ofseta**, što bi moglo da prouzrokuje greške u rasterskim linijama. Zbog toga se formira **pet izjednačavajućih impulsa** (*preequalizing pulses*) periode $H/2$, koji se dodaju pre vertikalnog sinhronizacionog impulsa, čime se ostvaruju isti početni uslovi u svakoj poluslici. Na sličan način se dodaje i pet izjednačavajućih impulsa posle vertikalnog sinhronizacionog impulsa (*postequalizing pulses*), koji obezbeđuju uniformnu zadnju ivicu pri izdvajanju vertikalnih sinhronizacionih impulsa.

Prva poluslika počinje s prednjom ivicom vertikalnog sinhronizacionog impulsa i sadrži 312,5 linija. Prvih 22,5 linija se nalazi unutar intervala zamračenja poluslike. Posle 312,5 linija počinje druga poluslika, takođe s početnom ivicom vertikalnog sinhronizacionog impulsa u sredini 313. linije i završava se sa 625. linijom. Posle zadnje grupe izjednačavajućih impulsa sledi sedamnaest linija u svakoj poluslici, u čijim se aktivnim intervalima ne prenose nikakve video-informacije. Zbog toga je moguće da se u nekim od ovih linija prenose kontrolni signali, koji se koriste za testiranje, merenje i podešavanje prenosnih kanala i uređaja. Neke od tih linija se koriste i za prenos raznih informacija u obliku teleteksta.

Kompletan **složeni**, tj. **kompozitni video-signal** ostvaruje se mešanjem, to jest kodovanjem složenog sinhronizacionog signala sa signalom slike, pri čemu se, naravno, strogo vodi računa o korektnim vremenskim i naponskim nivoima, a prema utvrđenim međunarodnim standardima. Na taj način omogućuje se istovremeni **prenos video-signala po jednom telekomunikacionom kanalu**, kao i da se i sinteza slike u TV prijemniku može obavljati istim redosledom kao i pri analizi slike u TV kameri. Kasnije ćemo videti da se u TV predajniku po istom kanalu sa signalom slike prenose i odgovarajući zvučni signali, kao što su govor, muzika i prateći zvučni efekti.

3.7. CCD SENZORI SLIKE

Pri analizi slike s analizatorskim cevima elektronski mlaz kontinualno skenira zastor analizatorske cevi u horizontalnom smeru, dok je u vertikalnom smeru analiza diskretna i zavisi od broja analizatorskih linija. Kod CCD (*Charge Coupled Devices*) senzora slike analizatorska površina

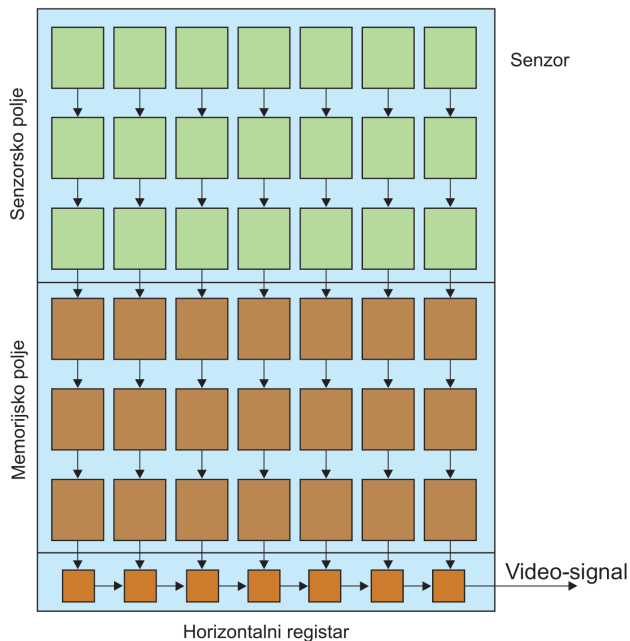
je sačinjena od konačnog broja diskretnih elemenata i po horizontali i po vertikalni, tako da je proces analize diskretan u oba smera.

U savremenim kamerama isključivo se koriste poluprovodnički CCD optičko-elektronski pretvarači, ili senzori slike. Osnovni element CCD senzora slike jesu fotoosetljive diode sa izraženom inercijom, tako da se one ponašaju kao MOS (*Metal Oxide Semiconductor*) kondenzatori, koji akumuliraju određenu količinu naelektrisanja. Da bi se izvršila analiza slike s poluprovodničkim CCD pretvaračima, na odgovarajući način se projektuje električno punjenje **MOS kondenzatora** i njihovo iščitavanje. Zbog toga se oni povezuju u nizu, tako da formiraju pomeračke šift-registre. U aktivnom intervalu linije serijski se iščitava električni naboj duž pomeračkih registara, dok se vreme povratnog intervala koristi za prebacivanje naelektrisanja iz fotoosetljivih površina MOS kondenzatora u pomeračke registre. Na taj način se CCD senzori formiraju u obliku redova, pri čemu jedan red generiše jednu liniju TV slike, a svaka ćelija šift-registra predstavlja jedan piksel. Spajanjem većeg broja linijskih senzora formira se površinski senzor slike. Tako se na CCD senzoru generiše električni ekvivalent optičke slike koja se analizira. Jasno je da je za reprodukciju više detalja s analizirane slike potreban veći broj piksela i da su njihove dimenzije što manje. Smanjenje veličine piksela ograničeno je tehnologijom izrade CCD elemenata i brzinom rada kola za iščitavanje sadržaja, odnosno za analizu slike. Skuplje TV kamere imaju tri CCD senzora za RGB kanale, a jeftinije kamere imaju samo jedan zajednički CCD senzor. U upotrebi su tri različite arhitekture CCD senzora.

3.7.1. FT CCD SENZORI SLIKE

Na slici 3.15 prikazana je struktura FT (*Frame Transfer*) CCD senzora s prenosom u slikama. Gornji deo predstavlja senzorsko polje, gde se u fotoosetljivim MOS elementima akumuliraju elementi slike u obliku naelektrisanja. Donje memorijsko polje je zaštićeno od svetla neprovidnim slojem. Za vreme intervala vertikalnog zamračenja slike naelektrisanje iz senzorskog polja prebacuje se u memorijsko polje, čime se senzorsko polje oslobađa za novi proces akumulacije slike. Dok traje integracija sledeće slike za vreme horizontalnog zamračenja slike, sadržaj iz memorijskog bloka se pomera naniže, liniju po liniju, u horizontalni registar. Za vreme aktivnog intervala linije obavlja se iščitavanje horizontalnog registra i to piksel po piksel. Postupak se ponavlja, linija po linija, dok se ne obavi prenos cele slike. Pošto se integracija slika ne zaustavlja, svetlost pada na senzore i za vreme prebacivanja naelektrisanja iz senzorskog polja u memorijsko polje. Za to vreme nastaje i mešanje ovih naelektrisanja, zbog čega može da se javi

greška poznata kao **razmazivanje u slici** ili smiring (*Smearing*). Smiring bi se u slici video kao vertikalna crvena ili bela linija iznad i ispod jako osvetljenih delova slike. Ovaj problem se rešava uvođenjem mehaničkog sektora (*Shutter*), koji štiti senzorsko polje od osvetljavanja za vreme prebacivanja naelektrisanja u memorijsko polje.



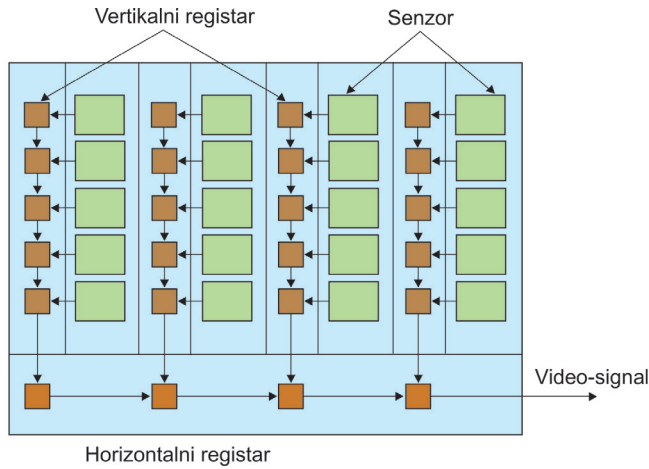
Slika 3.15. Struktura FT CCD senzora slike

3.7.2. IT CCD SENZORI SLIKE

Kod IT (*Interline Transfer*) CCD senzora slike jedan piksel se sastoji od parova sa po dve ćelije, od kojih jedna služi kao senzor, a druga je zaštićena od svetla i predstavlja element vertikalnog registra, slika 3.16.

Naelektrisanje iz senzora prebacuje se u vertikalni registar za vreme vertikalnog povratnog intervala. Za vreme horizontalnog povratnog intervala sadržaj iz registra se pomera liniju po liniju naniže, a najniža linija se prebacuje u horizontalni registar. Proces iščitavanja piksel po piksel za vreme aktivnog dela linije sličan je onome kod FT senzora.

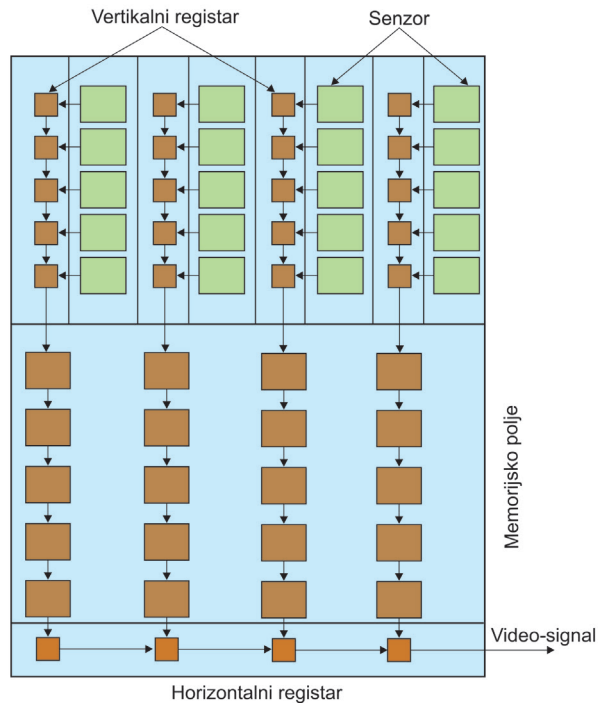
Pošto su elementi vertikalnog registra učesljani s elementima senzora, fotoosetljivi deo piksela je manji, pa je i osetljivost IT senzora manja i do 50%. Zbog toga se na svaki element senzora postavljaju minijturna sočiva, koja fokusiraju svetlo na njih i time povećavaju njihovu osetljivost. Prenos opterećenja u vertikalni registar obavi u kratkom vertikalnom povratnom intervalu, pa je vertikalni smiring znatno manji.



Slika 3.16. Struktura IT CCD senzora slike

3.7.3. FIT CCD SENZORI SLIKE

U arhitekturi FIT (*Frame Interline Transfer*) CCD senzora slike koristi se kombinovani prenos naelektrisanja. Na slici 3.17 prikazana je struktura FIT CCD senzora slike.



Slika 3.17. Struktura FIT CCD senzora slike

Za vreme integracije slike gornji deo senzora funkcioniše kao IT CCD senzor. U početku vertikalnog zamračenja svi pikseli se pomeraju u vertikalni registar, a zatim se brzo pomere naniže u zatamnjeno memorijsko polje. Ovi prenosi se obavljaju s učestanošću koja je jednaka šezdesetostrukoj linijskoj učestanosti, što znači da je vertikalni smiring 60 puta manji. Pošto imaju poseban deo za skladištenje slike, FIT CCD senzori su veći i skuplji.

3.7.4. HAD CCD SENZORI SLIKE

Osnovni problem CCD senzora slike jeste što je samo deo površine fotoosetljiv. Zbog toga su proizvođači CCD senzora s vremenom poboljšavali njihove karakteristike.

HAD (*Hole Accumulated Diode*) CCD senzori su fotodiodni tip senzora sa specijalnom vrstom podloge, koja povećava osetljivost i rezoluciju i smanjuje odnos signal–šum.

Postoje i hiper HAD CCD senzori, gde se koriste mala sočiva iznad senzorskih elemenata slike. Ova sočiva fokusiraju svetlo na elemente slike i tako dvostruko povećavaju njihovu osetljivost. Povećana osetljivost HAD CCD senzora slike omogućuje snimanje pri mnogo nižim nivoima svetla, a da se pri tome ne povećava nivo šuma.

3.7.5. PARAMETRI ZA OCENU KVALITETA SENZORA SLIKE

Tehničke karakteristike televizijske kamere određene su, pre svega, karakteristikama analizatorskih cevi, odnosno CCD senzorima slike. Karakteristike analizatorskih cevi zavise prvenstveno od osobina fotoosetljivog sloja na zastoru (*target*), dok karakteristike CCD senzora slike zavise od načina iščitavanja naelektrisanja, broja elektroda za iščitavanje i postojanja dodatnih kanala, zatim od geometrijskog rasporeda elemenata fotoosetljivih senzora, prenosnih kanala i same tehnologije izrade senzora. Osnovne razlike između cevni senzora i CCD senzora slike jesu u načinu formiranja električnog signala, vremenu ekspozicije, inerciji, manipulaciji velikom svetlosnom pobudom i u osetljivosti. Sve karakteristike senzora slike povezane su s prenosnom karakteristikom celog televizijskog sistema, kao i s mogućnostima našeg vida. U daljem tekstu navedeni su najvažniji parametri na osnovu kojih se procenjuje kvalitet senzora slike.

Prenosna karakteristika senzora slike predstavlja zavisnost generisane struje signala od intenziteta svetlosti na fotoosetljivoj ploči. Ukupna prenosna karakteristika televizijskog sistema treba da je linearna da bi se sjajnost slike verno reprodukovala, odnosno da nagib prenosne karakteristike bude 45%, to jest da je gama faktor 1 ili $\gamma = 1$. Zbog toga se u crno-beljoj televiziji

nelinearna prenosna karakteristika katodne cevi televizijskog prijemnika kompenzuje nelinearnošću prenosne karakteristike senzora slike. Da bi se kompenzovala ukupna nelinearnost, gama faktor senzora slike treba da bude 0,33 do 0,5. Linearnost celog televizijskog lanca ima posebnu važnost u televiziji u boji zbog toga što omogućuje korektan prenos boja pri raznim nivoima osvetljaja.

Spektralna karakteristika senzora slike određena je veličinom generisane struje u amperima po vatu, A/W, monohromatskih elektromagnetnih radijacija, odnosno talasnih dužina pojedinih monohromatskih svetlosti. Teorijski, ova karakteristika pokazuje da maksimalno moguća struja raste s povećanjem talasne dužine. Međutim, spektralni odziv zavisi od mnogih faktora, a na prvom mestu od načina apsorpcije svetlosti, zbog čega i nastaje odstupanje od teorijske karakteristike. Kao rezultat, spektralna karakteristika senzora slike nelinearna je. Idealno bi bilo kada bi fotoosetljivi sloj imao istu spektralnu karakteristiku kao oko. U tom slučaju bi se u crno-beloj slici verno reprodukovale nijanse skale sivog.

Inercija senzora slike je kašnjenje u odzivu video-signala posle promene osvetljenosti senzora. Inercija se izražava vremenom koje je potrebno za uspostavljanje novog ravnotežnog stanja. Naime, nakon naglog prestanka osvetljaja i dalje postoji video-signal. Kod cevni senzora slike odziv je eksponencijalan zbog otpornosti analizatorskog snopa i kapacitivnosti fotoosetljivog sloja. Kod CCD senzora slike inercija je posledica nepotpunog prenosa naelektrisanja iz jednog elementa u drugi i njihovog uticaja superponiranjem na električno opterećenje u poluslikama koje slede.

Vreme ekspozicije senzora slike jeste vremenski interval u kome se naelektrisanje akumulira između dva sukcesivna iščitavanja senzora slike. Kao rezultat analize s preredom, vreme ekspozicije je 1/25 s. Međutim, s obzirom na to da analizatorski snop kod cevni senzora nije konačnih dimenzija i da zahvata i susedne linije iz druge poluslike, ekspozicija je praktično 1/50 s. Kod IT CCD senzora ekspozicija je 1/25 s. Kod FT CCD senzora u jednom trenutku se samo jedna slika akumulira u vremenu, tako da je vreme ekspozicije 1/50 s, ali ako se uzme u obzir vreme potrebno za prenos između fotoosetljive zone i zone za skladištenje naelektrisanja, efektivno vreme ekspozicije je još kraće, 1/100 s. Kod CCD senzora svih tipova moguće je menjati vreme ekspozicije kontrolisanjem vremena akumulacije opterećenja u fotoosetljivoj zoni. Tako se kod IT CCD senzora, umesto u kanale zaštićene od svetlosti, naelektrisanje prebacuje lateralno ili aksijalno (dubinski), kao kod HAD senzora, i svodi na nulti potencijal, a kod FT CCD senzora u delu trajanja poluslike obavlja se prebacivanje naelektrisanja u smeru suprotnom od uobičajenog. Kontrola ekspozicije promenom vremena skladištenja naelektrisanja u fotoosetljivom delu i promenom načina iščitavanja naziva se elektronska ekspozicija.

Rezolucija senzora slike može biti statička, dinamička i vremenska. *Statička rezolucija senzora slike* jeste sposobnost optoelektronskog pretvarača da reprodukuje sitne detalje. Granična rezolucija je ona pri kojoj senzor slike više ne razlikuje susedne elemente u slici, odnosno kada više nema odziva na sitne detalje u slici. Rezolucija se definiše kao odziv na parove crno-belih televizijskih linija koje se mogu reprodukovati televizijskim uređajima na dužini koja odgovara visini slike. Tako se, na primer, kaže da je horizontalna rezolucija televizijskog sistema 400 TV linija, što ukazuje na broj parova vertikalnih crno-belih linija koje se mogu reprodukovati na televizijskom prijemniku. Za merenje rezolucije TV kamera koriste se rezolucione test-karte koje sadrže pakete horizontalnih i vertikalnih linija, rezolucione klinove, skale sivog i druge elemente za kontrolu i podešavanje kamera.

Rezolucija kod cevnih i CCD senzora razlikuje se zbog načina iščitavanja senzora. Naime, kod cevi elektronski snop skenira analizatorsku ploču u horizontalnom smeru kontinualno, dok je u vertikalnom smeru analiza diskretna i zavisi od broja analizatorskih linija. Kod CCD senzora formira se matrica diskretnih elemenata fiksiranih u određenom položaju s konačnim brojem elemenata, pa je u oba smera analiza diskretna. CCD senzori daju odziv i na vertikalne pruge koje su gušće od Nikvistove učestanosti. Da bi se ovi nedostaci koji se javljaju kod gustih pruga otklonili, kod CCD kamera se uvode niskopropusni filtri čija je granična učestanost jednaka Nikvistovoj učestanosti.

Dinamička rezolucija senzora slike jeste sposobnost očuvanja detalja za vreme kretanja. Ona je značajna u slučaju kada se kamera kreće i u slučaju kada kamera miruje a slika sadrži objekat koji je u pokretu. Zbog toga, na rezoluciju utiče i pokret koji nastaje i za vreme ekspozicije. Kod cevnih kamera na dinamičku rezoluciju znatno utiče inercija. Kod CCD senzora treba razmatrati samo vreme ekspozicije jer nema inercije. S obzirom na to da je kod CCD senzora moguće kontrolisati vreme ekspozicije, CCD senzori imaju bolju dinamičku rezoluciju. Dinamička rezolucija se meri tako što se rezoluciona karta s vertikalnim crno-belim linijama pokreće ispred senzora slike različitim brzinama.

Vremenska rezolucija senzora slike jeste sposobnost da se razlikuju događaji koji su raspoređeni u vremenu. CCD kamere s vremenom ekspozicije kraćim od standardne vrednosti, tj. manjem od $1/50$ s, postižu bolje rezultate kod stop kadra jer slika nije razmazana. Međutim, pri usporenoj reprodukciji postiže se lošiji rezultat u kontinuitetu pokreta nego kada se reprodukuje snimak načinjen sa standardnom ekspozicijom jer je pokret detektovan u kratkom vremenskom intervalu.

Manipulacija velikom svetlosnom pobudom. Kada se analizatorska cev osvetli svetlosnim snopom velikog intenziteta, generiše se suvišan elektricitet i potrebno je da elektronski mlaz pređe više puta analizatorsku ploču da bi se taj elektricitet neutralisao. Kod svetlosnog izvora velikog intenziteta koji se kreće javlja se efekat „povlačenja” (*Comet tail*). Drugi efekat je „cvetanje” (*Blooming*), kada analizatorski snop biva privučen površinom koja je naelektrisana. Kod CCD senzora „cvetanje” nastaje kada se nosioci elektriciteta prelivaju u susedne elemente. Ovaj efekat je rešen tako što se između ćelija pomeračkih struktura CCD senzora postavljaju pregradni kanali ili se CCD senzori realizuju u HAD tehnologiji.

Treći efekat karakterističan za CCD FT senzore jeste „razlivanje po vertikali”. Naime, za vreme prenosa slike iz zone za formiranje slike u zonu za skladištenje slike nastavlja se optoelektronska transformacija u zoni za formiranje slike. Razlivanje po vertikali otklanja se detektovanjem komponente razlivanja i elektronskom kompenzacijom ili regulacijom optičke ekspozicije.

Osetljivost senzora slike jeste veličina kojom se opisuje odziv, ili nivo električnog signala na fotoosetljivom materijalu po jedinici svetlosne pobude. Osetljivost zavisi od elektrooptičkih karakteristika fotoosetljivog materijala i povećava se s površinom. Kod CCD senzora osetljivost zavisi i od efikasnosti prenosa naelektrisanja duž prenosnog kanala, od izvora šumova i sličnih efekata.

Opseg kontrasta senzora slike jeste odnos izlaznog signala pri zasićenju i efektivne vrednosti šuma u mraku, zapravo, odnos maksimalne i minimalne sjajnosti koju senzor slike može da reprodukuje. Idealno bi bilo kada bi se posredstvom televizijskog lanca na prijemniku reprodukovao isti opseg kontrasta kao kada se gleda realna scena. Dok opseg kontrasta scene može da bude veći od 1.000 : 1, opseg u televiziji je samo reda 30 : 1, a ograničenje unosi, pre svega, televizijski prijemnik.

Šum senzora slike. Kod cevnih senzora šum nastaje uglavnom zbog neravnomerne emisije elektrona iz katode. Kod CCD senzora slike izvori šuma su fotonski šum, kao posledica emisije fotona iz bilo kog slučajnog svetlosnog izvora, zatim, generisanje fotoelektrona u prenosnom kanalu, šum struje mraka ili termičko generisanje parova elektron–šupljina, šum pri prenosu elektrona unutar pomeračke strukture i šum izlaznog pojačivača na izlazu iz prenosnog kanala. Šum CCD senzora se pojačava s porastom temperature. Odnos signal–šum kod senzora slike ograničen je izlaznom kapacitivnošću i izlaznim pretpojačivačem. CCD senzori imaju veoma malu kapacitivnost, a pretpojačivač se nalazi na istom supstratu, pa je zbog toga kod njih odnos signal–šum tri ili više puta veći nego kod cevnih senzora slike.

Defekti senzora slike mogu se javiti u vidu oštećenih mesta, odnosno fizičkih defekata fotoosetljive površine koji prouzrokuju pogrešan izlazni signal. Kod cevnih senzora to su nehomogenost signalne ili senzorske elektrode. Kod CCD senzora slike to su defekti poluprovodničkih elemenata. Sadržaj defekta se određuje u mraku, kada je senzor zaštićen od upadne svetlosti, i pri naponu koji je 50% manji od maksimalnog izlaznog napona iz senzora. Kod CCD senzora razlikuju se dva tipa defekata: tačkasti defekti u obliku malih svetlih ili tamnih površina, ne većih od tri fotoosetljiva elementa, i linijski defekti u obliku belih ili crnih vertikalnih linija ili delova linija različitih dužina.

3.8. KLJUČNI POJMOVI

Analiza slike. Analizatorske linije. TV slika. TV poluslika. Raster TV slike. Format slike. Video-signal. Horizontalna linija. Talasni oblik video-signala. Broj slika u sekundi. Vertikalna učestanost. Horizontalna učestanost. Maksimalna učestanost video-signala. Spektar video-signala. Vremensko trajanje video-signala. Povratni interval. Signal zamračenja. Sinhronizacioni signali. Prenosni signali. TV standardi. Rezolucija TV sistema. Naponski nivoi video-signala. Složeni video-signal – SVS. CCD senzori slike. Parametri senzora slike.

3.9. PITANJA I ZADACI ZA OBNAVLJANJE GRADIVA

1. Nacrtati odgovarajuće dijagrame za progresivnu analizu i analizu sa priredom.
2. Napisati sve vrednosti za osnovne frekvencijske i vremenske parametre za TV sisteme u Evropi i našoj zemlji prema preporukama CCIR Report 624.
3. Šta je Kelov faktor i kolika je vertikalna rezolucija TV slike?
4. Šta je faktor horizontalnog razlaganja i kolika je horizontalna rezolucija TV slike na 5 MHz?
5. Izračunati maksimalni broj elemenata TV slike koji se prenosi u jednoj sekundi.
6. Izračunati maksimalnu učestanost video-signala prema normama CCIR 625/50.
7. Od čega se sastoji složeni video-signal za crno-belu sliku?
8. Objasniti ulogu izjednačavajućih impulsa.
9. Šta se postiže Furijeovom analizom video-signala?
10. Objasniti princip rada raznih tipova CCD senzora slike.
11. Navesti najvažnije parametre za ocenu kvaliteta CCD senzora slike.

4 |

PRETVARANJE POKRETNIH SLIKA U BOJI U ANALOGNE VIDEO-SIGNALE

Pokretne slike u boji i zvuci u prirodnom okruženju pretežno su u analognom obliku pa se i na ulazu digitalnih audio i video uređaja pojavljuju analogni elektronski signali. Oni se pretvaraju u digitalni oblik pomoću analogno-digitalnih konvertora da bi mogli dalje da se digitalno obrađuju. Zbog toga je neophodno poznavati kolorimetrijske uslove i načine formiranja raznih oblika analognih audio i video signala, koji se koriste u analognoj televiziji, ali koji predstavljaju polazne postavke i savremene digitalne televizije.

Prema četvrtom Grasmanovom zakonu, rezultatna količina svetlosti smeše jednaka je zbiru pojedinačnih primarnih svetlosti, videti poglavlje **2.12. Jednačina smeše svetlosti**. Po istom zakonu i **rezultatna sjajnost smeše svetlosti** jednaka je zbiru sjajnosti pojedinačnih izvora svetlosti:

$$k(S) = R(R) + G(G) + B(B),$$

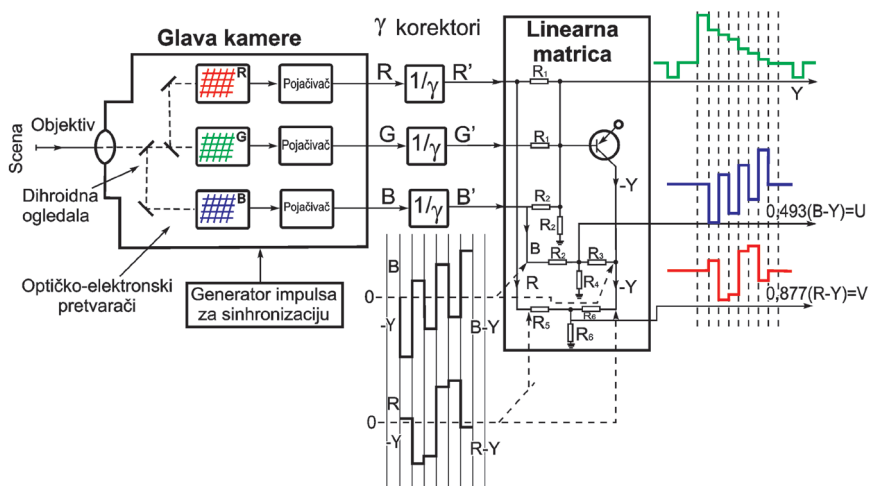
gde su **R, G i B koeficijenti sjajnosti televizijskih primara (R), (G) i (B), respektivno**, koji određuju relativan doprinos sjajnosti pojedinačnih primarnih izvora svetlosti u rezultatnoj sjajnosti smeše svetlosti. Takođe, konstatovano je da se sve boje unutar R, G, B trougla boja, slika 2.12, ili kruga boja, slika 2.13, kao i bela svetlost slična standardnoj beloj svetlosti D6.500, mogu uspešno reprodukovati odgovarajućom smešom R, G, B svetlosti koja se dobijaja pomoću dihroidnih prizama u TV kameri. Zbog toga se izvori svetlosti R, G, B i nazivaju **televizijski svetlosni primari**.

4.1. KOMPONENTNI OBLICI VIDEO-SIGNALA

Postoje dva komponentna oblika analognih elektronskih video-signala od kojih se polazi i pri digitalizaciji video-signala.

4.1.1. RGB KOMPONENTE VIDEO-SIGNALA

Princip rada televizijske kamere za pretvaranje pokretnih slika u boji u **R, G, B** i **Y, U, V** komponentne analogne elektronske video-sigale može se objasniti pomoću blok-dijagrama na slici 4.1. Svetlost sa realne scene koja se snima ulazi u glavu kamere pomoću optičkog sistema, gde se pomoću **dihroidnih prizama** optički razlaže na crvenu, zelenu i plavu primarnu svetlost **R, G** i **B**, pod pretpostavkom da ulazna bela svetlost koja osvetljava scenu ima linearnu raspodelu energije. Pretpostavlja se i da je TV kamera linearan sistem i da su njene spektralne karakteristike idealne, što u stvarnosti nije slučaj, ali se karakteristike kamere mogu elektronski korigovati. Zbog toga se može smatrati da za kameru važi **princip konstantne sjajnosti**, što znači da se luminentni signal, odnosno reprodukovana sjajnost, neće menjati kada se menjaju hrominentni signali.



Slika 4.1. Blok-dijagram TV kamere za pretvaranje slike u boji u analogne komponentne **Y, U, V** video-sigale

Primarne svetlosti **RGB** padaju na tri senzora slike, koji pretvaraju optičke signale u elektronske postupkom analize slike. Proces analize u optičko-elektronskim pretvaračima u kameri obavlja se pod kontrolom impulsa za sinhronizaciju slike. Elektronski signali na izlazima senzora nose u sebi informacije o sjajnosti i boji svih elemenata slike analiziranih duž svake analizatorske linije. Zbog toga se ovi signali nazivaju i **televizijskim elektronskim primarima** i obeležavaju se sa **RGB**, a svaki signal koji nosi video-informaciju naziva se **video-signal**.

Pomoću elektronskih gama korektora koriguje se nelinearnost koju unose optičko-elektronski pretvarači u kameri. Pošto katodne cevi CRT u

TV prijemnicima imaju nelinearnu prenosnu karakteristiku, kompenzacija te nelinearnosti obavlja se još u kameri radi poboljšanja odnosa signal –šum u tamnijim delovima slike i smanjenja cene TV prijemnika. Zbog toga gama korektori u kameri imaju inverznu karakteristiku $1/\gamma$ u odnosu na gama karakteristiku CRT. **Gama korigovani elektronski primari** obeleženi su sa **R', G' i B'**, kao na slici 4.1.

Sabiranjem potrebnih iznosa elektronskih primara R', G' i B' pomoću jednostavne mreže otpornika R_1, R_2, R_3 i R_4 u linearnoj matrici, kao što je ilustrovano na slici 4.1, može se formirati signal E'_y , koji je proporcionalan sjajnosti originalne scene. Zbog toga se E'_y naziva **luminentni signal** i najčešće se obeležava sa **Y'**, ili samo sa **Y**. Eksperimentalno je ustanovljeno da i za elektronski luminentni signal E'_y važi ista zakonitost kao i za sjajnost smeše, po četvrtom Grasmanovom zakonu. Pomoću standardizovanih koordinata (x, y) televizijskih svetlosnih primara R, G, B i referentne bele svetlosti C, usvojenih prema FCC i CIE preporukama, dobijene su vrednosti koeficijenata sjajnosti televizijskih primara:

$$R = 0,299 \quad G = 0,587 \quad B = 0,114,$$

pa za luminentni signal važi jednakost:

$$Y' = 0,299R' + 0,587G' + 0,114B'.$$

Ova jednačina je osnovna jednačina u televiziji.

RGB signali imaju u sebi modulisanu sadržaje pokretnih slika koje kamera snima na realnoj sceni. Na osnovu ovih signala, posle odgovarajućih prenosnih puteva, u kolor-cevi TV prijemnika obavlja se modulacija odgovarajućih RGB elektronskih mlazeva. Oni pobuđuju RGB fosfore na zastoru katodne cevi, takođe pod kontrolom impulsa za horizontalnu i vertikalnu sinhronizaciju slike, koji se prenose zajedno s video-signalom, tako da je kretanje mlaza u kolor-cevi usklađeno s analizom elemenata slike u kameri, kao što je na slici 4.1 ilustrovano. Aditivnim mešanjem njihovih svetlosti na ekranu TV prijemnika reprodukuju se slike u boji koje odgovaraju sekvencijalnom nizu slika koje kamera analizira na realnoj sceni. Zahvaljujući persistenciji, odnosno tromosti oka, ne primećuje se treperenje brzo promenljivih linija i slika, tako da reprodukovane slike vidimo analogno slikama s realne scene koja se snima.

Ceo televizijski lanac biće korektan ako se karakteristike svetlosti s originalnih i reprodukovanih elemenata slike podudaraju u kolorimetrijskom smislu. Pri tome, mora se uzeti u obzir da su kolorimetrijske veličine subjektivne prirode i da uslovi gledanja realne scene i reprodukovanih slika na TV monitoru nisu isti.

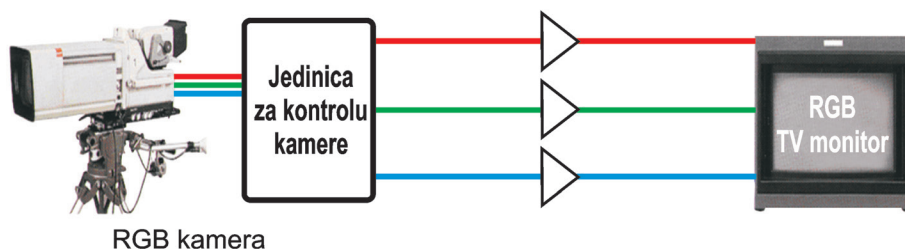
Da bi se smanjile kolorimetrijske greške pri prenosu slika, u kamere se ugrađuju i kolorimetrijske matrice kojima se obavlja korekcija koordinata boja r , g , b u skladu s jednačinama:

$$r = k_1R + k_2G + k_3B, g = k_4R + k_5G + k_6B, b = k_7R + k_8G + k_9B.$$

Koeficijenti k_i ($i = 1, \dots, 9$) mogu imati i pozitivne i negativne vrednosti. Različiti proizvođači kamera ugrađuju različite kolorimetrijske matrice. Podešavanjem kolorimetrijskih matrica mogu se ujednačavati kamere različitih proizvođača. U telekinima se kolorimetrijske matrice koriste da bi se usaglasile kolorimetrijske karakteristike filma sa izobličenjima koja elektronika telekina unosi pri reprodukciji filma.

4.1.2. DIREKTNO POVEZIVANJE RGB SIGNALA S KAMERE SA RGB MONITOROM

Sa blok-dijagrama kolor-kamere na slici 4.1 vidi se da su tri nezavisna RGB signala prirodni oblik elektronskog signala slike u boji na izlazu TV kamere, što je direktna posledica trihromatske prirode ljudskog opažanja boja. Prikazivanje ovako dobijene elektronske slike može se ostvariti direktnim povezivanjem RGB signala s kamere pomoću tri koaksijalna kabla sa ulazima RGB video-monitora, kao što je ilustrovano na slici 4.2.



Slika 4.2. Direktno povezivanje RGB signala s kamere sa RGB monitorom

Da bi se odredila i leva ivica i vrh slike na TV monitoru, informacija o sinhronizaciji između monitora i kamere može se dodati samo zelenom kanalu ili u sva tri kanala. Na ovaj način dobija se visoki kvalitet reprodukovane slike, ali se mora voditi računa o pojačanju, vremenskom kašnjenju i frekventnoj karakteristici na sva tri odvojena kanala.

4.1.3. YUV KOMPONENTE VIDEO-SIGNALA

Iz kolorimetrije smo videli da se boja svetlosti može meriti nezavisno od njene sjajnosti pomoću dve veličine koje nose podatke o vrsti boje i

zasićenju boje. Na osnovu toga, u tehničkim sistemima za formiranje i prenošenje slike u boji, pored komponentnih signala E'_R , E'_G , E'_B i lumentnog signala E'_Y , ustanovljena su još dva komponentna signala:

$$E'_U = (E'_B - E'_V),$$

$$E'_V = (E'_R - E'_Y).$$

Oni su poznati kao **signali razlike boja** i u PAL sistemu označavaju se sa $B'-Y'$, $R'-Y'$ ili E'_B-Y , E'_R-Y ili E'_U , E'_V ili sa U' i V' , ili samo sa U i V . Nijedan od ova dva signala ne nosi samo podatak o vrsti boje ili samo o zasićenju, već se oba podatka o boji implicitno sadrže i u jednom i u drugom signalu razlike boja. Zbog toga su poznati i kao **hrominentni signali**. Na taj način su tri bazične komponente R' , G' , B' pretvorene u tri druge bazične komponente Y' , $B'-Y'$, $R'-Y'$. Njihovi matematički izrazi sa FCC/CIE vrednostima koeficijenata sjajnosti televizijskih primara glase:

$$Y' = 0,229R' + 0,587G' + 0,114B',$$

$$U' = B' - Y' = -0,299R' - 0,587G' + 0,886B',$$

$$V' = R' - Y' = 0,701R' - 0,587G' - 0,114B'.$$

Ako se vrednosti koeficijenata sjajnosti televizijskih primara izraze u procentima, ove jednačine će imati sledeći oblik:

$$Y' = 30\%R' + 59\%G' + 11\%B',$$

$$U' = B' - Y' = -30\%R' - 59\%G' + 89\%B',$$

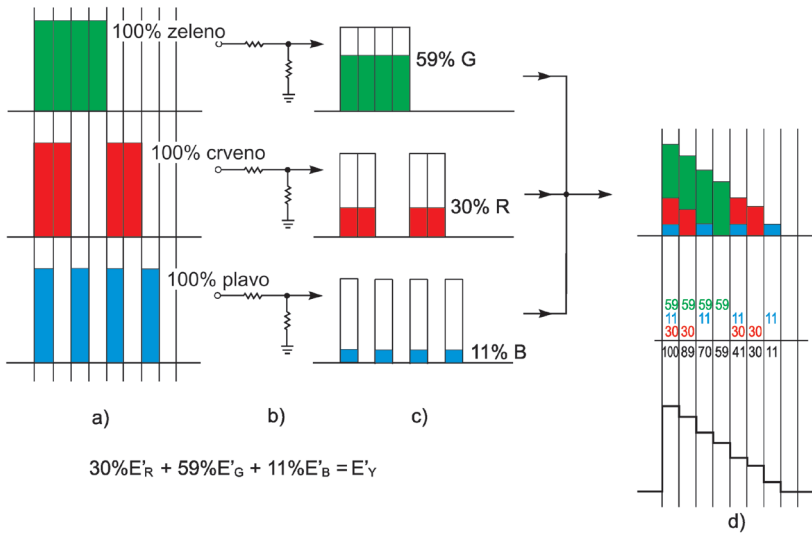
$$V' = R' - Y' = 70\%R' - 59\%G' - 11\%B'.$$

Prema ovim jednačinama, formiranje elektronskih signala E'_Y i razlike boja E'_U i E'_V realizuju se jednostavno pomoću otporničke mreže u **linearnoj matrici**, kao što je detaljnije prikazano na slikama 4.3, 4.4 i 4.5. Na slici 4.3 d) vidi se da su vrednosti koeficijenata sjajnosti televizijskih primara R , G i B , prema FCC i CIE preporukama, izabrani tako da stepenasti oblik lumentnog signala E'_Y ima linearnu karakteristiku. U protivnom, u video-signalu koji TV kamera snima pojavila bi se nelinearna izobličenja sjajnosti i kolorimetrijska izobličenja u odnosu na realnu scenu koja se snima.

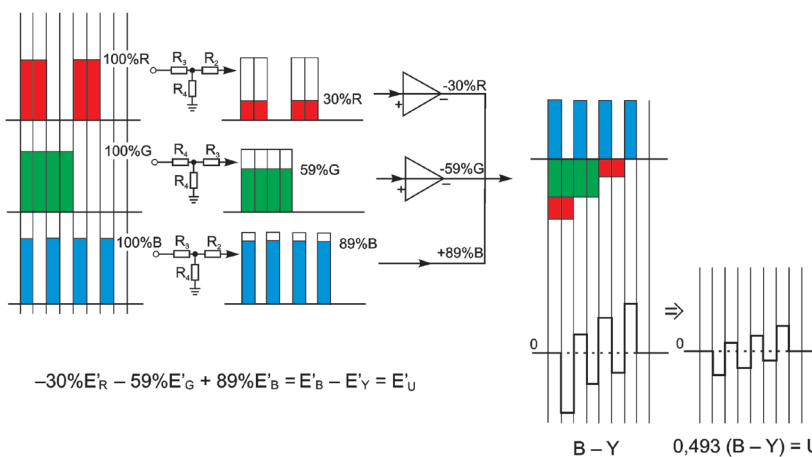
Signal U' redukuje se po amplitudi deljenjem sa 2,03, tako da iznosi: $(B' - Y')/2,03 = 0,493(E'_B - E'_Y) = U'$, kao što je prikazano na slikama 4.1 i 4.4, s tim što je apostrof izostavljen. Tako se pomoću jednostavne otporničke mreže u linearnoj matrici realizuje redukovana vrednost $U = 0,493(B - Y)$. Na sličan način se smanjuje po amplitudi i signal razlike boja V' , tako da se dobija redukovana vrednost

$(E'_R - E'_Y)/1,14 = 0,877(E'_R - E'_Y) = 0,877(R' - Y') = V'$, ili $V = 0,877(R - Y)$, kao što je prikazano na slikama 4.1 i 4.5, gde je apostrof takođe izostavljen. Redukcijom U i V signala smanjuju se samo amplitude hrominentnih signala, a ne smanjuje se amplituda luminentnog signala zato što je oko manje osetljivo na promene boje nego na promene sjajnosti. Na taj način se zadržava ukupna oštrina slike i linearnost luminentnog signala, čime se izbegavaju kolorimetrijska izobličenja u reprodukovanoj slici. Kako i zašto se određuju iznosi faktora redukcije 0,493 i 0,877, videti u poglavlju 4.2.11.

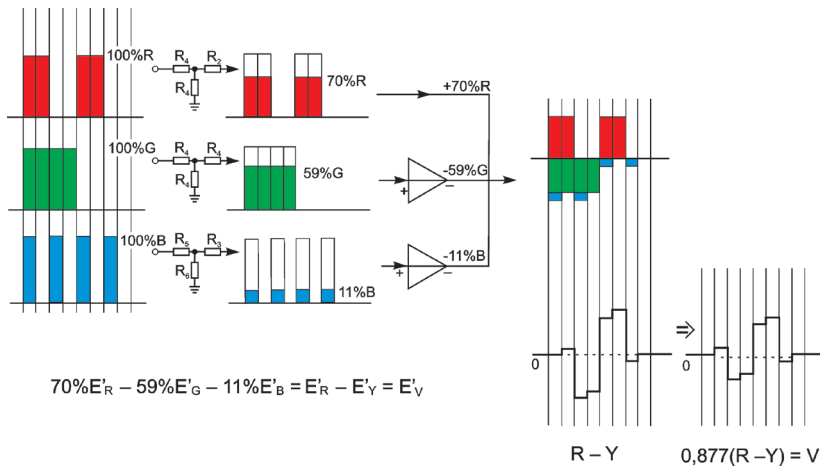
Redukcija amplitude hrominentnih signala.



Slika 4.3. Grafički prikaz formiranja luminentnog E'_Y signala



Slika 4.4. Grafički prikaz formiranja $E'_U = (E'_B - E'_Y)$ signala



Slika 4.5. Grafički prikaz formiranja $E'_V = (E'_R - E'_Y)$ signala

Y, U, V komponente video-signala imaju dve značajne prednosti nad R, G, B komponentama. Prvo, za signale razlike boja U i V dovoljan je duplo manji propusni opseg učestanosti za prenos potrebnih informacija jer se fini detalji u slici prenose pomoću luminentnog signala Y. Drugo, nelinearne smetnje, diferencijalna faza i diferencijalno pojačanje na signalima razlike boja znatno manje utiču na izobličenje boja i zasićenje boja u reprodukovanoj slici, na koja je oko vrlo osjetljivo, nego što je to slučaj sa izobličenjima u RGB komponentama. Zbog toga su YUV komponente veoma značajne u televiziji i s malim razlikama koriste se kao osnova u svim komponentnim video-formatima, kao i za sve kompozitne video-standarde. Takođe, u svim digitalnim komponentnim formatima digitalizuju se komponente YUV umesto RGB zbog velike uštede u količini potrebnih bita i bitskom protoku.

4.2. KOMPOZITNI OBLICI VIDEO-SIGNALA

Prenos slike u boji na daljinu po jednom telekomunikacionom kanalu nalaže potrebu za kombinovanjem oba hrominentna signala zajedno s luminentnim signalom i složenim sinhronizacionim signalom. Oni se koduju u jedan složeni video-signal – SVS, tj. kompozitni video-signal – CVS (*Composit video signal*), u vremenskom, frekventnom i amplitudnom domenu. Ovo je veoma kompleksan tehnički problem. U klasičnoj televizijskoj difuziji razvijena su tri različita sistema koji se koriste u svetu.

4.2.1. NTSC I SECAM TV SISTEMI

Prvi sistem za prenos slike u boji po jednom kablu ustanovio je 1953. godine američki Nacionalni komitet za televizijski sistem (*National Television System Committee*), po kome je i dobio naziv **NTSC**. Za analizu TV slike u NTSC sistemu usvojena je vertikalna učestanost od 60 Hz, tj. 60 poluslika u sekundi, da se ne bi pojavljivao vertikalni brum u slici od učestanosti mreže koja u Americi iznosi 60 Hz. Precizna vrednost za broj poluslika u sekundi je 59,94, a broj slika u sekundi iznosi 29,97. Broj horizontalnih linija iznosi 525. Zbog toga se ovaj standard za analizu TV slike i označava sa 525/60. Linijska učestanost je $f_h = 15.734,264$ Hz. Trajanje jedne cele horizontalne linije iznosi $1_h = 63,555 \mu s$, trajanje aktivnog dela linije iznosi $52,856 \mu s$, a trajanje horizontalnog zamračenja ili blenkinga, iznosi 10,7 plus ili minus 0,1 μs . Analiza slike se obavlja s proredom. Broj poluslika iznosi 30, sa učešljavanjem neparne i parne poluslike u jednu punu sliku. Broj aktivnih linija po slici iznosi 485 jer se za povratak mlaza po jednoj poluslici koristi 20 linija, što predstavlja vreme zamračenja jedne poluslike, a za obe poluslike ukupno 40 linija.

U Francuskoj je 1960. godine *Henri d' Frans* predložio novi sistem – **SECAM** (*Sequential Couleurs A Memoire*), u kom se u jednoj liniji prenose luminentni signal i samo jedan hrominentni signal razlike boja. Drugi hrominentni signal razlike boja prenosi se u narednoj liniji. Korišćenjem voda za kašnjenje u trajanju od jedne linije u prijemniku se dobijaju istovremeno oba signala razlike boja. Na ovaj način smanjuje se uticaj faznih izobličenja na promenu vrste boje, dok se vertikalna rezolucija neznatno smanjuje, ali ljudsko oko manje zapaža takve promene.

4.2.2. PAL TV SISTEM

Ubrzo po uvođenju NTSC sistema pokazalo se da je on osetljiv na greške u promeni vrste boje, koje nastaju zbog faznih izobličenja pri istovremenom prenosu oba hrominentna signala. Zbog toga je *Valter Bruh* 1963. godine u Nemačkoj izvršio poboljšanje NTSC sistema radi korekcije grešaka u boji. Ovaj sistem dobio je naziv **PAL** (*Phase Alternation Line*). Sistemi NTSC i PAL zasnivaju se na istoj ideji: da se praznine u luminentnom signalu na višim učestanostima iskoriste za prenos informacija o boji učešljavanjem oba hrominentna signala unutar luminentnog spektra da bi se ostvario kompatibilni prenos crno-bele slike i slike u boji, po istom televizijskom kanalu.

U zavisnosti od razlika u prenosnim karakteristikama, kao što su ukupan propusni opseg RF kanala za emitovanje od 7 ili 8 MHz sa širinom video-kanala u osnovnom opsegu od 5, 5,5 ili 6 MHz, u upotrebi je veći

broj PAL verzija. U našoj zemlji koristi se **PAL/B** ili **PAL 625/50** sa širinom propusnog opsega od 7 MHz za područje VHF (*Very High Frequency*) od 30 do 300 MHz, odnosno od 174 do 230 MHz za kanale od 5 do 12, dok se za UHF (*Ultra High Frequency*) područje od 470 do 862 MHz koristi širina propusnog opsega od 8 MHz, pa se za njega koristi oznaka **PAL/G**. Zajednička oznaka za ova dva PAL sistema jeste **PAL/B, G** i oba se koriste u našoj zemlji.

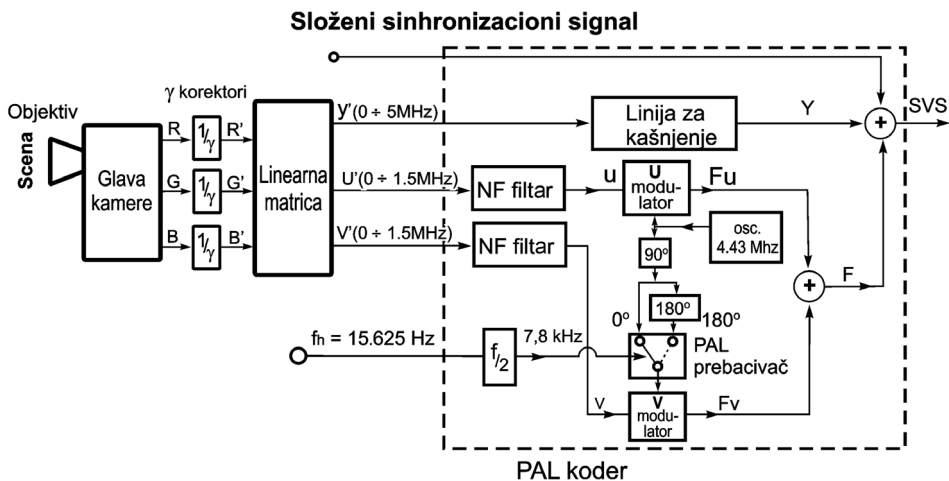
Koriste se još i PAL D, PAL H, PAL I. Postoje i dva nekompatibilna PAL sistema: PAL/M za 525/60, koji se koristi samo u Brazilu, i PAL/N za 625/50 sa uskim propusnim opsegom, koji se koristi samo u Argentini.

Najpotpunija definicija PAL standarda definisana je preporukama CCIR 624. CCIR je kasnije zamenila unija ITU (*International Telecommunications Union*), koja je ustanovila standard ITU-R BT.470-4, 5, 6, u kojim su specificirani svi amplitudni, vremenski i frekvencijski parametri za analizu slike i kodovanje PAL signala.

Noseća učestanost boje f_{sc} (*subcarrier*) ista je za sve evropske verzije PAL-a i, što je veoma važno, na studijskom nivou postoji samo jedan zajednički PAL, tako da su isti i svi talasni oblici u horizontalnom, vertikalnom i amplitudnom domenu koji se prikazuju na mernim instrumentima u TV centrima. Zbog toga će u daljem tekstu biti korišćen samo zajednički termin PAL sistem.

4.2.3. PAL KODER

Kombinovanje lumentnog signala zajedno sa oba hrominentna signala i složenim sinhronizacionim signalom obavlja se u PAL koderu. Blok-dijagram PAL kodera prikazan je na slici 4.6.



Slika 4.6. Blok-dijagram PAL koderu

Kao što već znamo, propusni opseg luminentnog signala Y je od 0 do 5 MHz, dok je propusni opseg hrominentnih signala U i V manji i iznosi od 0 do 1,5 MHz. Ova mogućnost zasnovana je na činjenici da je ljudsko oko manje osetljivo na promene u boji nego na promene u intenzitetu sjajnosti. Eksperimentalno je ustanovljeno da je naš vid monohromatičan za komponente video-signala iznad 1,5 MHz.

Spektri signala U i V ograničavaju se NF filtrima i zatim vode u balasne modulatore U i V, gde će biti modulisani pomoću učestanosti nosećeg signala boje $f_{sc} = 4,43$ MHz. Ova učestanost generiše se u oscilatoru O_{sc} stabilisanom kristalom kvarca. Signal iz ovog oscilatora vodi se direktno u U-modulator, a posle promene faze za 90 stepeni u V-modulator. Zbog toga je komponenta V pod pravim uglom, ili u kvadraturi s komponentom U, zbog čega je ovakva modulacija i poznata kao **kvadratura modulacija** pri učestanosti nosećeg signala boje f_{sc} . Specifičnost PAL sistema u tome je što se od linije do linije dodatno menja faza modulisanom signalu F_v za 180 stepeni. Ovo se postiže pomoću elektronskog **PAL preklopnika**, kojim upravljaju takozvani identifikacioni PAL impulsi. Njihova učestanost jednaka je polovini linijske učestanosti, čime se obezbeđuje prebacivanje PAL preklopnika svake druge linije. Zbog toga je vektor signala V pomenen za 90 stepeni u jednoj liniji, a za 270 u narednoj liniji. Sabiranjem modulisanih signala F_u i F_v dobija se zbirni hrominentni signal F, koji je amplitudno i fazno modulisan i nosi podatke o vrsti i zasićenju boje koja se prenosi. Pre dovođenja na izlazni sabirač, luminentni signal se vodi kroz liniju za kašnjenje od 0,4 mikrosekunde da bi se izjednačio vremenski sa hrominentnim signalom. Ovim signalima se superponira i složeni sinhronizacioni signal, tako da se na izlaznom sabiraču dobija **složeni, tj. kompozitni PAL video-signal**, koji u sebi sadrži sledeće signale:

- luminentni signal, koji nosi podatke o sjajnosti;
- hrominentni signal, koji nosi podatke o vrsti i zasićenju boje;
- složeni sinhronizacioni signal kojim se sinhroniše rad skretnih sistema u PAL prijemniku;
- sinhronizacioni signal boje, ili berst (*burst*).

4.2.4. GENERATOR SINHRONIZACIONIH IMPULSA U PAL SISTEMU

Generator sinhronizacionih impulsa jedan je od osnovnih uređaja u svakom TV centru. U njemu se generišu sinhronizacioni signali precizno određenih oblika i učestanosti, pomoću kojih se vremenski usaglašava ili sinhronizuje rad svih uređaja unutar svih tehničkih odeljenja. Time se omogućuje montaža i miksovanje TV signala iz raznih internih ili eksternih izvora, tako da se pripremljeni programski materijal snima ili

emituje kao celina bez prekida, skokova ili pomeraja. Naime, vremenska razlika između vertikalnih sinhronizacionih impulsa slike prouzrokovala bi potpuno ispadanje slike. Velika vremenska razlika između linijskih ili horizontalnih sinhronizacionih impulsa, koja je poznata i kao **greška horizontalne faze**, prouzrokovala bi horizontalne pomeraje jedne slike u odnosu na drugu, a vremenska razlika između sinhronizacionih signala boje, poznata i kao **greška sistem-faze**, prouzrokovala bi greške u boji na pojedinim slikama.

Radi što veće preciznosti, svi sinhronizacioni signali generišu se u zajedničkom visokostabilnom generatoru sinhronizacionih impulsa. Osnovna učestanost oscilatora mnogo je viša od granične učestanosti video-signala i Nikvistovog uslova jer je tada manja i perioda osnovnog takt-impulsa. Zbog toga su manje i vremenske greške koje nastaju u deliteljima prilikom generisanja svih sinhronizacionih impulsa na nižim učestanostima. Na taj način ostvaruje se minimalna i neprimetna vremenska greška pri obradi i emitovanju video-signala.

4.2.5. IZBOR UČESTANOSTI NOSEĆEG SIGNALA BOJE U PAL SISTEMU

Izbor učestanosti nosećeg signala boje f_{sc} u PAL sistemu zavisi od više činilaca, među kojima su najvažniji:

- da se ona nalazi u delu spektra pri višim učestanostima između linijskih harmonika lumentnog video-signala gde postoji prazan prostor u spektru. Naime, u tom prostoru ne prenose se značajniji podaci o sjajnosti detalja slike. Zbog toga se u ovim intervalima mogu ubaciti spektralne komponente, koje nose potrebne informacije o boji slike, a da se time ne proširuje dodatno spektar potreban za crno-belu sliku. Na taj način je omogućen istovremeni prenos slike u boji postojećim kanalima za prenos crno-bele slike;
- da vidljivo kretanje tačkaste strukture nadole bude što manje uočljivo;
- da učestanost f_{sc} bude u direktnoj sprezi s linijskom, tj. horizontalnom učestanošću f_h .

Za PAL sistem 625/50 učestanost nosećeg signala boje mora biti multipl linijske učestanosti umanjen za četvrtlinijski pomak. Taj odnos izražen je relacijom:

$$f_{sc} = (n - 1/4)f_h.$$

Ova učestanost uvećana je u PAL sistemu još za učestanost slike $f_s = 25$ Hz, koja je poznata kao **offset (offset) 25 Hz**. Na taj način se smanjuje vidljivo kretanje tačkaste strukture nadole, tako da se dobija izraz:

$$f_{sc} = (n - 1/4)f_h + f_s.$$

Brojna vrednost konstante n uslovljena je primenjenim televizijskim sistemom i za PAL sistem 625/50 ona iznosi $n = 284$. Kako je u PAL sistemu $f_h = 15.625$ Hz i $f_s = 25$ Hz, dobija se da je:

$$f_{sc} = 283,75f_h + 25 \text{ Hz} = 4.433.618,75 \text{ Hz} = 4,433 \text{ 618 75 MHz}.$$

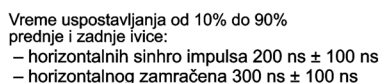
Ova učestanost mora se održavati stabilnom i prema standardu, ne sme se menjati više od ± 1 Hz. Zbog toga mora da se usvoji mnogo viša učestanost osnovnog oscilatora u generatoru sinhronizacionih impulsa jer je tada i perioda osnovnog takt-impulsa koji se koristi u deliteljima za formiranje sinhronizacionih impulsa veoma mala, pa je mala i vremenska greška koja pri toj obradi može nastati. Na primer, ako učestanost osnovnog oscilatora iznosi $4f_{sc} = 17,734475$ MHz, tada su odnosi između pojedinih učestanosti kod PAL sistema precizno određeni i iznose:

- učestanost poluslika ili vertikalna učestanost: $f_v = 50 \text{ Hz} = 2f_s = 2f_h/625$;
- učestanost slika: $f_s = 25 \text{ Hz} = f_v/2 = f_h/625$;
- linijska ili horizontalna učestanost:
 $f_h = 15.625 \text{ Hz} = 625f_v/2 = 4f_{sc}/(1.135 + 4/625)$;
- učestanost PAL preklapnika: $f_p = 7.812,5 \text{ Hz} = 15.625/2 \text{ Hz} = f_h/2$;
- učestanost nosioca boje: $f_{sc} = 4.433.618,75 \text{ Hz} = 283,75f_h + f_h/625$;
- broj ciklusa nosećeg signala boje f_{sc} po jednoj slici iznosi:
 $f_{sc}/25 = 177.344,75$;
- broj ciklusa f_{sc} unutar 4 slike iznosi: $4 \times 177.344,75 = 709.379$.

4.2.6. SLOŽENI SINHRONIZACIONI SIGNALI U PAL SISTEMU

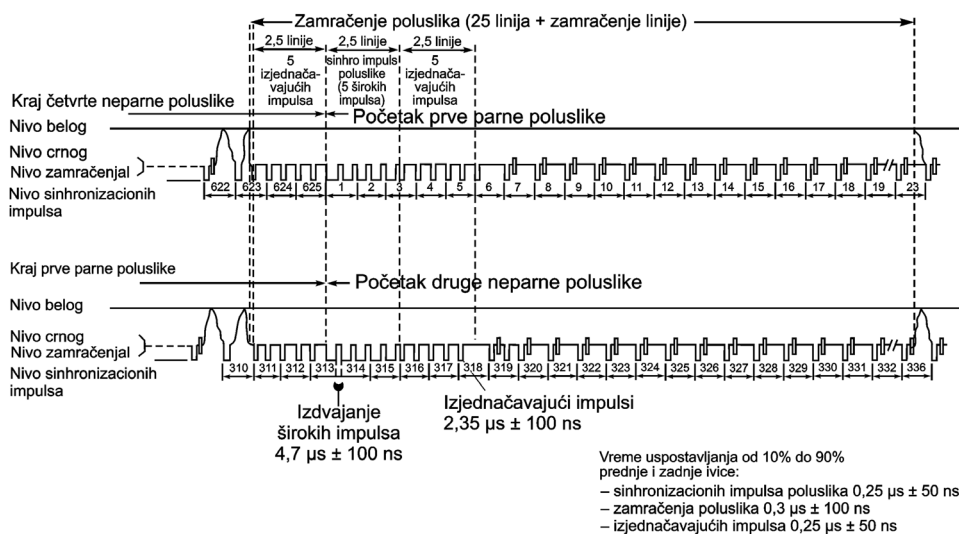
U PAL generatoru sinhronizacionih impulsa generišu se složeni sinhronizacioni impulsi, složeni impulsi za zamračenje video-sadržaja (*Blanking*), kao i sinhronizacioni impulsi boje (*burst*). Ovi talasni oblici prikazuju se na televizijskim osciloskopima i vektorskopima s kalibrisanim horizontalnim i vertikalnim vremenskim bazama u mikrosekundama i građuisanim maskama za amplitudske nivoe u milivoltima. Osnovni zadatak svih TV tehničara i inženjera jeste da dobro poznaju ove standardne vrednosti, da ih što preciznije i što brže provere i podese koristeći kalibrisane TV instrumente kako bi svi interni i dolazni video-signalni bili sinhroni i sinfazni i da se korektno miksuju, snimaju i razmenjuju s drugim TV centrima. Najpotpunije i najšire prihvaćene norme za vremenske i amplitudske parametre PAL signala definisane su u preporukama *CCIR Report 624*. U uporednoj tabeli 4.1 prikazani su najvažniji standardni parametri za analizu slike u PAL i NTSC sistemima.

Karakteristični talasni oblici složenih PAL signala u horizontalnom domenu, sa odgovarajućim standardnim vremenskim i amplitudskim karakteristikama, prikazani su na slici 4.7.



Slika 4.7. Talasni oblik jedne horizontalne linije sa standardnim vremenskim i amplitudnim karakteristikama prema preporukama CCIR Report 624 za PAL sistem

Kao što je na slici 4.7 prikazano, početak i kraj povratnog intervala u svakoj slici precizno su definisani pravougaonim impulsima za zamračenje video-sadržaja. Unutar ovih impulsa, a ispod nivoa crnog koji se nalazi na +0,3 V, na mesta precizno određena prednjim i zadnjim stepenikom dodaju se horizontalni sinhronizacioni impulsi tačno određene širine. Na sredini prednje silazne ivice horizontalnog impulsa označena je **horizontalna vremenska referentna tačka**. Nivo belog je na nivou 1 V, tako da se modulacija vidljivog dela video-signala menja od 0,3 V do 1 V. Na zadnjem stepeniku se dodaje sinhronizacioni signal boje, ili berst, čije su karakteristike prikazane u narednim poglavljima.

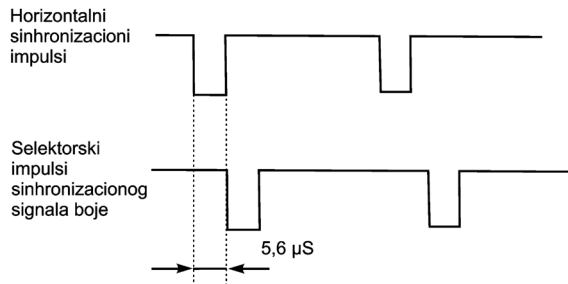


Slika 4.8. Talasni oblici vertikalnih sinhronizacionih signala prema specifikacijama CCIR Report 624 za PAL sistem

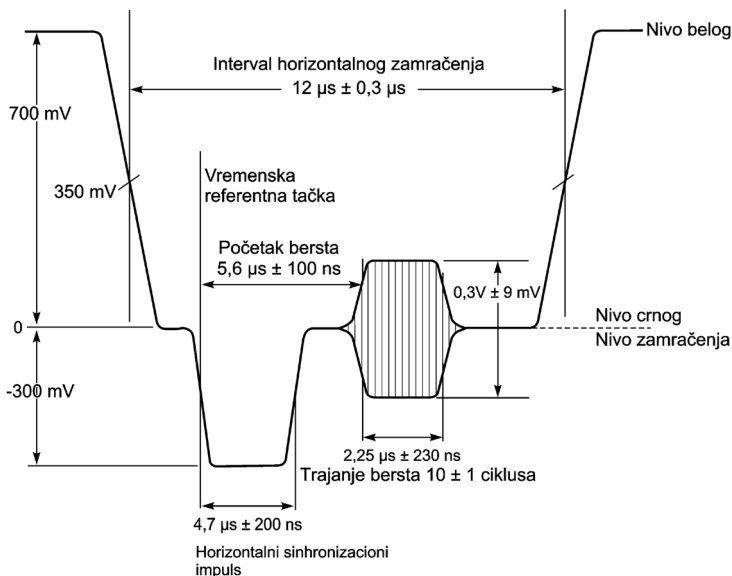
Na slici 4.8 prikazani su talasni oblici vertikalnih sinhronizacionih signala zamračenja unutar kojih su insertovani impulsi za izjednačenje i vertikalni sinhronizacioni impulsi sa precizno definisanim pozicijama, oblicima i trajanjem. Unutar vertikalnih intervala zamračenja poluslika insertovano je pet širokih impulsa širine $H/2$, koji čine vertikalni sinhronizacioni impuls ukupnog trajanja $2,5 H$. Ispred njega i iza njega insertovano je po pet izjednačavajućih impulsa. Na taj način nastavlja se linijska struktura sa 25 linija i obezbeđuju isti uslovi za izdvajanje vertikalnih sinhronizacionih impulsa postupkom integracije u svim poluslikama u TV prijemniku. U protivnom, izgubio bi se sinhronitet video-signala. Na slici 4.8 naznačeno je da se u linijama od 16 do 20 i od 329 do 333 za vreme vertikalnog zamračenja mogu insertovati i identifikacioni, kontrolni ili test-signal, kao i teletext-podaci.

4.2.7. SINHRONIZACIONI SIGNAL BOJE U PAL SISTEMU

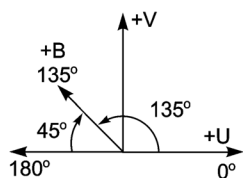
U dekoderu PAL prijemnika mora se, takođe, menjati faza modulisanom signalu F_v za 180 stepeni. Zbog toga i u PAL dekoderu mora postojati PAL prebacivač, čiji rad mora biti sinhronizovan s PAL prebacivačem u koderu. U protivnom, u prijemniku bi se reprodukovale sasvim pogrešne boje. Za ove svrhe se i generiše **sinhronizacioni signal boje – berst**. U sinhronizacionom generatoru generišu se selektorski impulsi sinhronizacionog signala boje (*Burst flag*). Oni se sastoje od povorke pravougaonih impulsa učestanosti 15.625 Hz. Ti impulsi kasne 5,6 mikrosekundi u odnosu na prednju ivicu horizontalnih sinhronizacionih impulsa, kao što je na slici 4.9 prikazano, dok su po trajanju nešto kraći. Ovi selektorski impulsi nose podatak o položaju i trajanju sinhronizacionog signala boje – bersta. Sinhronizacioni signal boje postavlja se na zadnji stepenik u intervalu horizontalnog zamračenja slike, s vremenskim i amplitudnim parametrima za PAL sistem, koji su prikazani na slici 4.10.



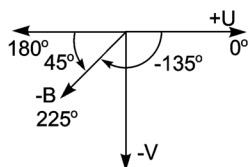
Slika 4.9. Selektorski impulsi sinhronizacionog signala boje



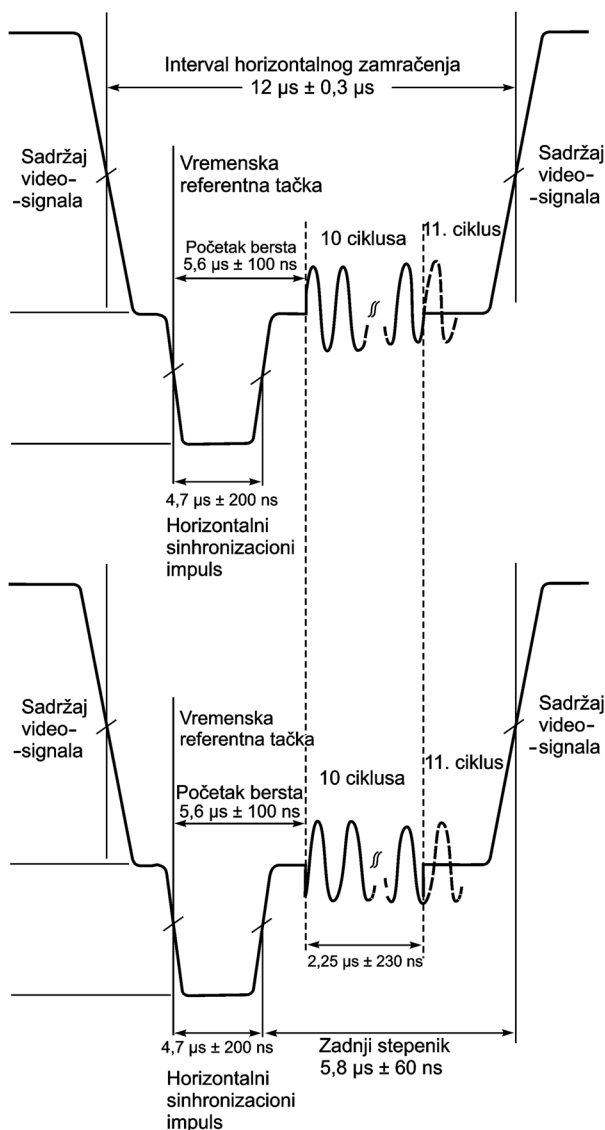
Slika 4.10. Talasni oblik sinhronizacionog signala boje (bersta) s vremenskim i amplitudnim parametrima za PAL sistem



a) Berst faza linije n



b) Berst faza linije (n + 1)

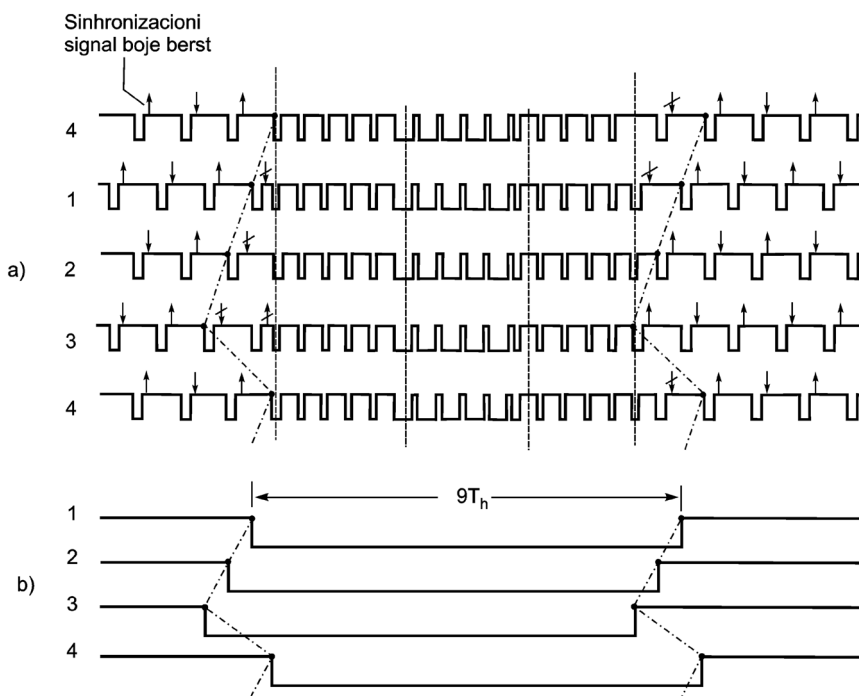


Slika 4.11. Promena faze bersta u dve susedne linije

Berst se sastoji od 10 ili 11 sinusoida učestanosti nosećeg signala boje f_{sc} . Početna faza bersta, zapravo ovih sinusoida, menja se pomoću PAL prebacivača, videti sliku 4.11, stalno od linije do linije na vrednosti 180 ± 45 stepeni, tako da je u nekoj liniji n početna faza bersta 135 stepeni, a u narednoj (n + 1) liniji 225 stepeni, kao što je ilustrovano na slici 4.11. Referentna faza bersta od 180 stepeni dobija se kao srednja vrednost ove dve vrednosti.

4.2.8. IZOSTAVLJANJE SINHRONIZACIONOG SIGNALA BOJE U VERTIKALNOM INTERVALU

Na slici 4.12 vidi se kako vektor signala boje V menja polaritet od linije n do linije $(n+1)$. Ciklus ovih promena traje 4 poluslike sa učestanošću ponavljanja od 12,5 Hz (**Four Field Sequence**). Sinhronizacioni signal boje – berst, ne insertuje se za vreme vertikalnih intervala da ne bi ometao vertikalnu sinhronizaciju. Zbog toga nastaju duži prekidi u sinhronizaciji generatora nosećeg signala boje f_{sc} u TV prijemniku. Ovi prekidi mogu se kompenzovati ako se obezbedi uslov da početna faza sinhronizacionog signala boje – bersta, u svakoj poluslici bude konstantna. Ovakav uslov se obezbeđuje pogodnim izborom elemenata u kolu faznog diskriminatora. Promena početne faze bersta u poluslikama nepovoljno utiče i na ispravnost elektronskog reza pri elektronskoj montaži u TV centru. Ako se pri rezu usnimi pogrešna faza bersta, javlja se greška u boji. Ispravnost početne faze bersta u svakoj poluslici ne može se ostvariti ako se berst izostavlja samo u vertikalnim intervalima označenim vertikalnim isprekidanim linijama. Ovaj nedostatak se otklanja pogodnim načinom izostavljanja bersta, koji je prikazan kosim crtkastim linijama na slici 4.12 a).



Slika 4.12. Izostavljanje bersta u intervalu Bruhovog blenkinga

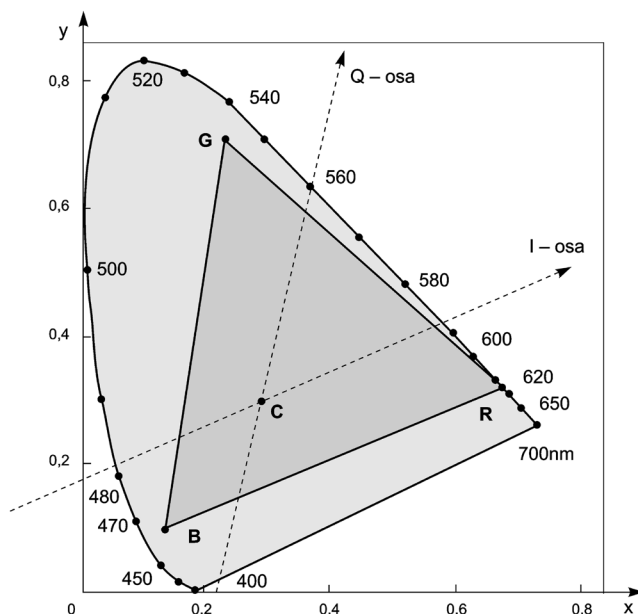
To omogućuju vertikalni selektorski impulsi prikazani na slici 4.12 b), koji se generišu u generatoru sinhronizacionih impulsa. Širina ovih impulsa je konstantna i iznosi 9 linija, ali se njihov početak pomera određenim redosledom od po pola linije u 4 poluslike. Ovakav način izostavljanja bersta u vertikalnim intervalima poznat je kao **Bruhov blenking**. Međutim, promena polariteta V signala uslovljava i promenu faze bersta, kao što je prikazano na slici 4.11. Da bi dve PAL slike bile potpuno identične, i faza berst signala na početku obe slike takođe mora da bude ista. Najkraća sekvenca koja zadovoljava i ovaj uslov iznosi 8 poluslika i naziva se **PAL sekvenca** od 8 poluslika (**Eight Field Sequence**). PAL sekvenca ponavlja se sa učestanošću od $25 : 4 \text{ Hz} = 6,25 \text{ Hz}$. Na osnovu Bruhovog blenkinga, posmatranjem na osciloskopu mogu se prepoznati prva i treća poluslika u odnosu na drugu i četvrtu polusliku, odnosno prva i peta poluslika.

Pošto se PAL slika potpuno obnavlja tek posle 8 poluslika, znači da je deveta PAL poluslika potpuno ista kao prva, odnosno tek posle 709.379 ciklusa učestanosti nosećeg signala boje. U toku svih tih brojnih ciklusa treba održavati visoku preciznost i strogi sinhronitet unutar složenog video-signala, koji se i dalje mora neprekidno održavati tokom svih obrada, prenosa i prikazivanja televizijske slike u boji.

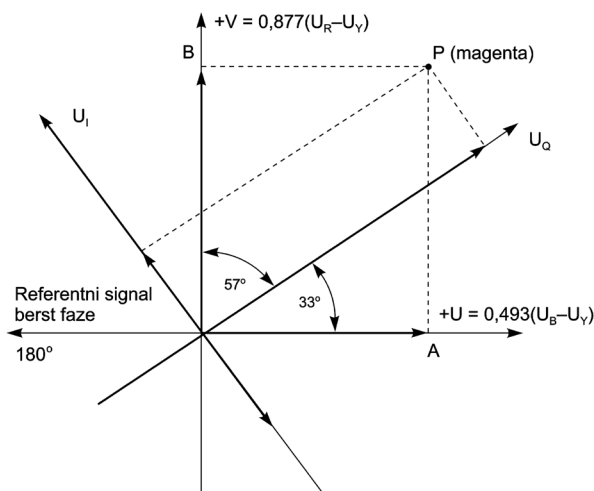
4.2.9. VEKTORSKI DIJAGRAM HROMINENTNIH SIGNALA U PAL I NTSC SISTEMIMA

Hrominentni signali razlike boja u NTSC sistemu, isto kao i u PAL sistemu, formiraju se od primarnih napona E'_R , E'_G i E'_B i sa istim faktorima redukcije, videti tabelu 4.1. Od ovih signala komponuju se dva hrominentna signala razlike boja $E'_B - Y = 0,493(E'_B - E'_Y)$ i $E'_R - Y = 0,877(E'_R - E'_Y)$, koji su potpuno jednaki kao i u PAL sistemu.

Na osnovu eksperimentalnih podataka, u cilju optimalnog korišćenja prenosnih karakteristika, jedna NTSC osa je postavljena u pravcu veće rezolucije oka u smeru crveno-zelenog dela spektra. Prema modulacionoj tehnici sa zajedničkom učestanošću nosećeg signala boje f_{sc} , ona se označava sa I (I_n phase). Druga osa je postavljena u pravcu manje osetljivosti oka i u kvadraturi je sa osom I, pa se obeležava sa Q (*Quadrature phase*). Položaj I i Q osa, u odnosu na televizijske primare R, G, B u x-y dijagramu boja, prikazan je na slici 4.13. Kao što je već rečeno, sve boje unutar trougla RGB najčešće se sreću u prirodi i uspešno se mogu reprodukovati pomoću fosfora u kolor-cevima TV prijemnika, a boje izvan trougla RGB ne mogu se lako ni ostvariti u TV prenosu.



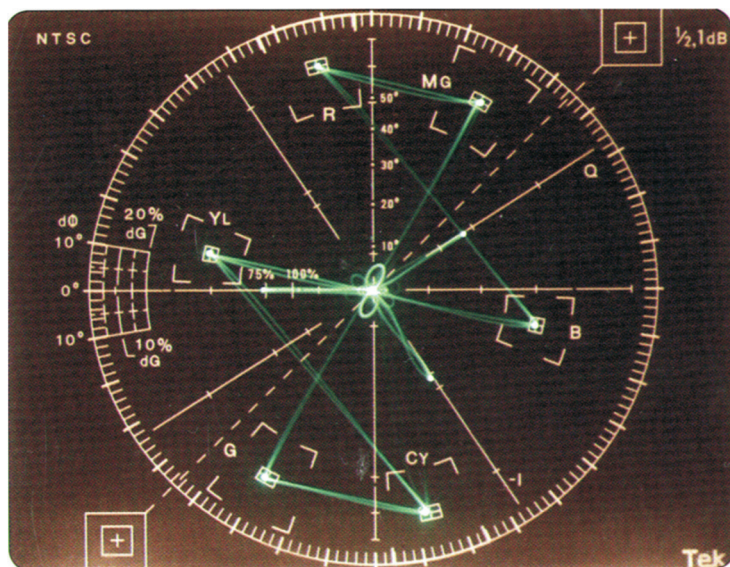
Slika 4.13. Položaj I i Q osa u odnosu na televizijske primare RGB u x-y dijagramu boja



Slika 4.14. Vektorski dijagram redukovanih signala razlike boja u PAL i NTSC sistemu

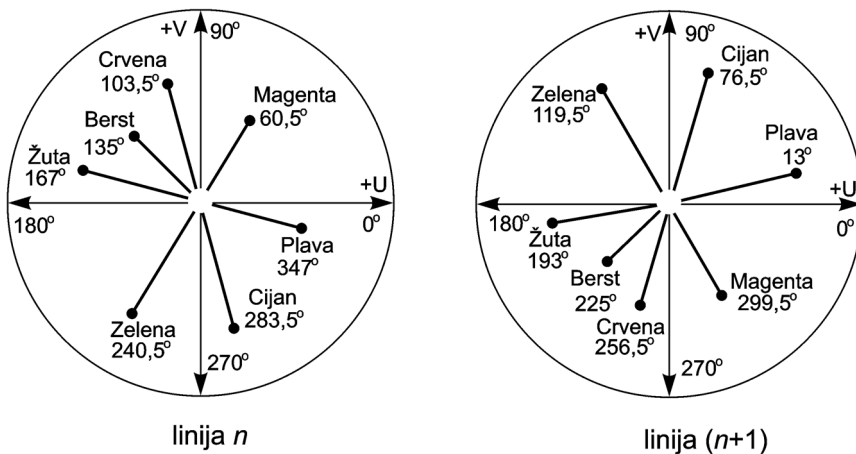
U PAL sistemu se vektori redukovanih hrominentnih signala U i V postavljaju u pravcu x i y ose u Dekartovom koordinatnom sistemu, slika 4.14. Koordinate ostalih vektora boja, kao na primer vektora boje u tački P, dobijaju se projekcijom na U i V ose, tačke A i B, respektivno.

Sa slike 4.14 vidi se da su I i Q ose zarotirane za +33 stepena u odnosu na U i V komponente. Za razliku od PAL sistema, faza vektora Q u NTSC sistemu ne menja se za 180 stepeni od linije do linije. To je, u osnovi, i jedina razlika između PAL i NTSC sistema.



Slika 4.15. Vektori primarnih boja u NTSC sistemu na graduisanoj skali vektorskopa

U polarnom koordinatnom sistemu vektori boja su određeni amplitudom vektora u datoj tački i uglom koji taj vektor zaklapa s referentnom osom.

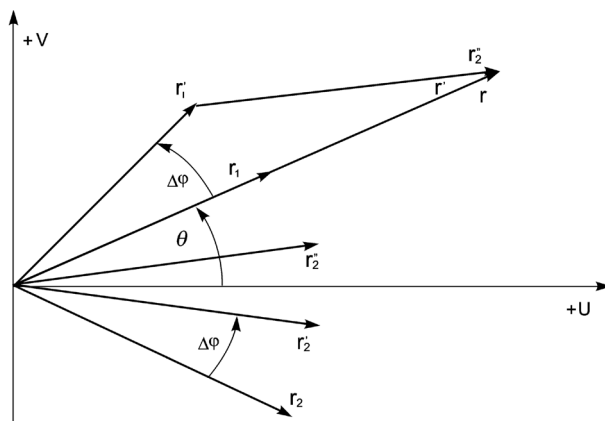


Slika 4.16. Grafički prikaz vektora primarnih boja i bersta u dve susedne PAL linije

Na NTSC graduisanoj skali vektorskopa koja je prikazana na slici 4.15 vide se položaji vektora primarnih boja R, G, B, YL, CY i MG, a na slici 4.16 dat je grafički prikaz promena vektora primarnih boja i bersta u zavisnosti od promene faze hrominentnog signala V za 180 stepeni u dve susedne linije n i n + 1 u odnosu na referentnu +U-osu u PAL sistemu.

4.2.10. KOMPENZACIJA FAZNOG IZOBLIČENJA U PAL SISTEMU

Promenom faze V signala za 180 stepeni u PAL koderu i PAL dekoderu koji se nalazi u PAL TV prijemniku omogućena je kompenzacija promene faze noseće učestanosti boje, odnosno kompenzacija greške u boji koja može nastati u prenosnom sistemu. Upravo ovo i predstavlja značajnu prednost PAL sistema u odnosu na NTSC sistem. Pojednostavljeni princip ove osobine PAL sistema može se prikazati pomoću vektorske interpretacije koja je prikazana na slici 4.17.



Slika 4.17. Vektorski prikaz kompenzacije izobličenja boje u PAL sistemu

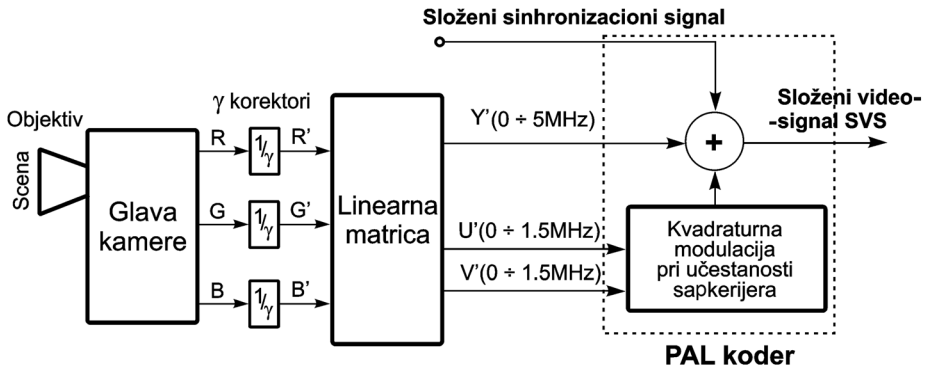
Neka je r_1 vektor neke boje u liniji n, a r_2 odgovarajući vektor boje u narednoj liniji n + 1. Polazi se od pretpostavke da se video-sigali u ove dve vremenski uzastopne linije ne razlikuju mnogo, što najčešće i jeste slučaj u praksi. Ako zbog izobličenja diferencijalne faze nastupi promena faznog stava nosećeg signala, na prenosnom putu nastaje greška u fazi $\Delta\varphi$ u istom smeru u obe uzastopne linije. Faza u linji sa +V-komponentom povećaće se, a u liniji sa - V-komponentom smanjiće se, tako da će nastati vektori r'_1 i r'_2 . Posle razdvajanja signala, njihove demodulacije i vraćanja faze V-komponente u demodulatoru TV prijemnika, od vektora r'_2 dobiće se vektor r''_2 . Vektorskim sabiranjem vektora r'_1 i r''_2 dobija se rezultatni vektor r' , koji sa U-osom zaklapa ugao θ . Ovaj ugao je jednak uglu vektora r koji bi se dobio zbirom signala r_1 i r_2 da nije bilo izobličenja. Zbog inertnosti oka

i velike brzine reprodukovanih linija, oko prima aritmetičku sredinu boja dveju uzastopno reprodukovanih linija koje su vremenski malo pomerene, vektor r' na slici 4.17. Oko gledaoca vidi ih zbirno s poništenim razlikama boja u dve uzastopne linije, pa se na taj način postiže kompenzacija izobličenja reprodukovanih boja u PAL sistemu. Međutim, amplituda vektora r' biće nešto manja od amplitude vektora r . Pošto je zasićenje boje proporcionalno amplitudi hrominentnog signala (videti zajedničko predstavljanje sva tri kolorimetrijska podatka), i zasićenje reprodukovane boje biće nešto manje, ukoliko je u prenosnom sistemu nastalo izobličenje diferencijalne faze. Na primer, umesto narandžaste boje, u oku će se stvoriti utisak o narandžastoj boji s malo smanjenim zasićenjem. Ovakav način kompenzacije izobličenja boja integracionim dejstvom oka poznat je kao jednostavni PAL sistem (*simple PAL*), ali on se više praktično ne koristi.

Umesto da se oku prepusti kombinacija boja susednih linija, takva operacija se obavlja elektronskim putem pomoću linije za kašnjenje i odgovarajućih elektronskih kola. Ova ideja preuzeta je iz SECAM sistema. Da bi se elektronskim putem izvršilo sabiranje trenutnih vrednosti boja susednih linija, potrebno je istovremeno raspolagati podacima o bojama obe linije. Ako informacija prve linije zakasni dovoljno dugo dok ne stigne informacija o sledećoj liniji, onda se te dve linije mogu sabrati na elektronskom sabiraču. Za PAL sistem, gde je horizontalna učestanost $f_h = 15.625 \text{ Hz}$, linija za kašnjenje mora da iznosi tačno $64 \mu\text{s}$.

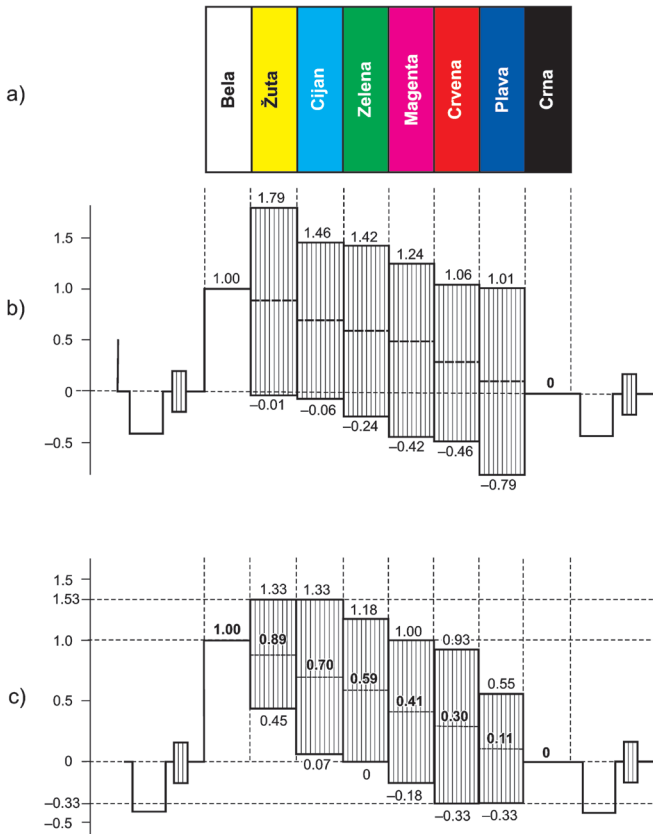
4.2.11. REDUKCIJA AMPLITUDE HROMINENTNIH SIGNALA

Videli smo da se u PAL sistemu za analogno kodovanje složenog, tj. kompozitnog video-signala prenose zajedno luminentni signal, oba hrominentna signala i složeni sinhronizacioni signal, slika 4.18. U električnom smislu, to znači da se luminentnom signalu superponira i noseći signal boje, pa se ukupna amplituda električnog signala povećava. Zbog toga mogu nastati nelinearna izobličenja video-signala u TV predajnicima, pa i njihovo ispadanje, jer prevelika modulacija može da ugrozi prenos sinhronizacionih impulsa. Da bi se ustanovilo koliko povećanje ukupne amplitude kompozitnog PAL video-signala može da se toleriše, analizirani su uslovi prenosa zasićenih boja. Za tu svrhu najpogodnije je odabrati upravo primarne boje: crvenu, zelenu i plavu, kao i njima komplementarne boje: cijan, magentu i žutu, respektivno.



Slika 4.18. Pojednostavljeni blok-dijagram kodovanja složenog video-signala u PAL sistemu

Pretpostavimo da se pred kolor-kamerom nalazi test-karta s kolor-barom s vertikalnim prugama navedenih zasićenih boja, kao što je grafički ilustrovano na slici 4.19 a). Kompozitni PAL video-signal, dobijen analizom vertikalnih pruga zasićenih boja, izgledao bi kao na slici 4.19 b).



Slika 4.19. Kompozitni kolor-bar signal

Na amplitudi bele boje na prvoj pruži levo vidi se da su dozvoljene normalizovane granične vrednosti za crno-beli signal od 0 do 1, a da superponiranjem hrominentnih signala dolazi do premašenja od +1,79 na drugoj pruži sa žutom bojom i -0,79 na sedmoj pruži sa plavom bojom. Očigledno je da bi se ovaj problem mogao najjednostavnije rešiti smanjivanjem amplitude celog video-signala do granične vrednosti 1 za crno-beli signal. Međutim, zato što ljudsko oko znatno više zapaža promene sjajnosti nego promene boje, ne sme se smanjivati amplituda luminentnog signala i ukupna oštrina slike, niti kvariti linearnost luminentnog signala, jer bi se tim prouzrokovala i kolorimetrijska izobličenja u reprodukovanoj slici.

Rešenje je dobijeno iz eksperimentalnog iskustva, prema kome se zasićene boje velike sjajnosti vrlo retko pojavljuju u televizijskim programima, samo oko 1%, kao i da ljudsko oko manje zapaža promene u boji nego promene sjajnosti. Eksperimentalnom analizom takođe je utvrđeno da u kratkim intervalima prenosa zasićenih boja signal u boji može preći granice crno-belog signala za 33% u oba smera, kao na dijagramu kolor-bara na slici 4.19 c), a da pri tome ne nastanu ozbiljnija izobličenja. Zbog toga je odlučeno da se smanjuju amplitude hrominentnih signala, a da se ne smanjuje amplituda luminentnog signala. Time se ne pogoršava ukupna oštrina slike, zadržava se linearnost luminentnog signala, kao i princip konstantne sjajnosti, što znači da se reprodukovana sjajnost neće menjati ako se hrominentni signali menjaju kratkoročno za 33%.

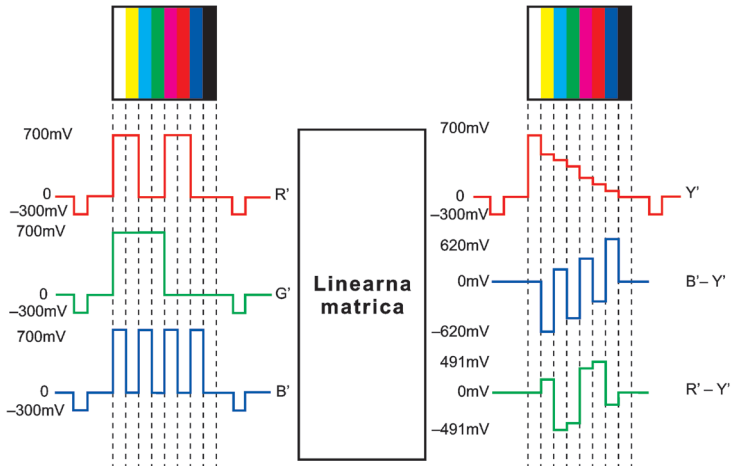
Iz navedenih razloga, uvedeni su faktori redukcije za signale razlike boja: $k = 0,493$ za E'_U i $h = 0,877$ za E'_V , tako da redukovane vrednosti signala razlike boja iznose:

$$E'_U = 0,493(E'_B - E'_V),$$

$$E'_V = 0,877(E'_R - E'_V).$$

Ovako redukovane vrednosti signala razlike boja, kao što smo već videli, lako se realizuju pomoću otporničke mreže u linearnoj matrici. Ako kamera s PAL koderom ima ovako podešenu matricu i snima kolor-bar test-kartu sa zasićenim bojama, talasni oblici gama korigovanih R'G'B' elektronskih signala pre matrice imaće oblik kao na slici 4.20 levo, a talasni oblici Y', B'-Y', R'-Y' posle formiranja u matrici imaće oblik kao na slici 4.20 desno. Naponski opsezi prikazani na ovim dijagramima, kao i navedeni faktori redukcije hrominentnih signala, koriste se u PAL sistemu za analogno kompozitno kodovanje video-signala. Sa slike 4.20 vidi se da je nivo crnog na 0V, a amplitude sinhronizacionih impulsa menjaju se od 0 do -300 mV. Amplitude R', G', B' i Y' signala menjaju se od 0 do +700 mV. Amplituda redukovanog B'-Y' signala menja se u opsegu od -620 mV do

+620 mV, a amplituda redukovanog $V'-Y'$ signala menja se u opsegu od -491 mV do +491 mV. Na dijagramu lumentnog Y' -signala vidi se da su redosled i amplitude pojedinih boja podešeni tako da njihova sjajnost postepeno opada, tako da stepenasta kriva ima potreban linearan oblik.

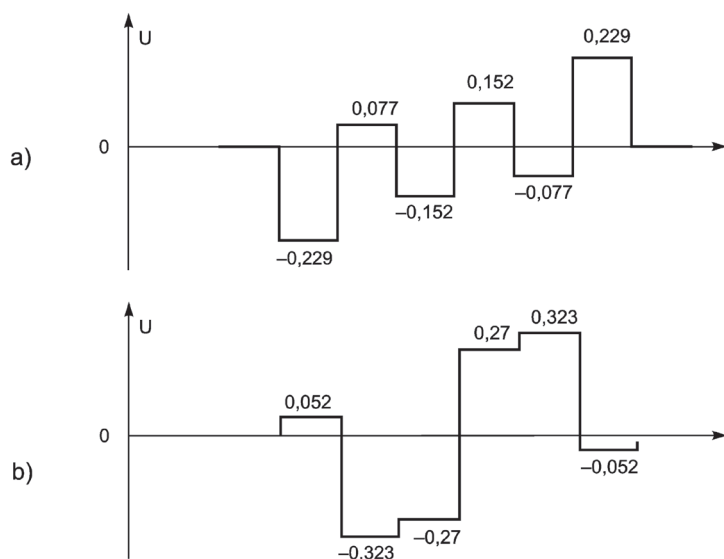


Slika 4.20. Talasni oblici signala R' , G' , B' i signala razlike boja, sa odgovarajućim naponskim opsezima za analogno kodovanje video-sig-nala

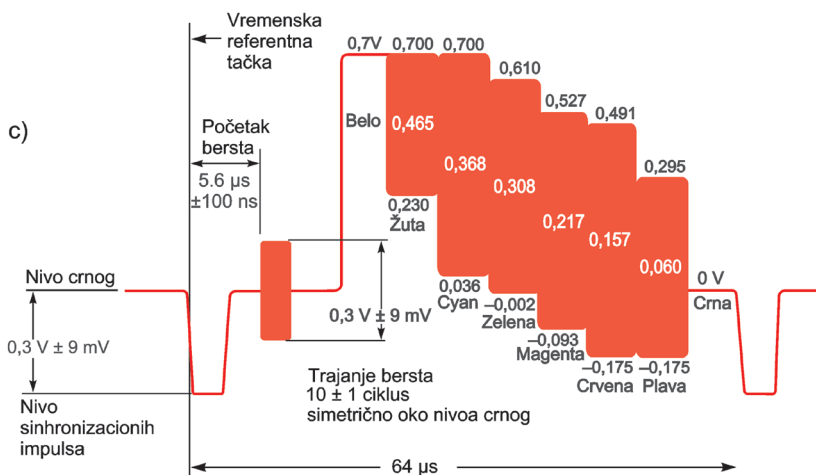
4.2.12. TEST-SIGNAL S KOLOR-BAROM

Množenjem hrominentnih signala E'_U i E'_V sa $0,7 \times 0,75 = 0,525$, dobijaju se oblici signala kao na slici 4.21. S dijagrama c) vidi se da su amplitude hrominentnih signala redukovane tako da su amplitude za žutu i cijan boju izjednačene s amplitudom lumentnog signala od 0,7 V. Kolor-signal na slici 4.21 c) najčešće se koristi u televizijskoj tehnici kao osnovni test-signal i poznat je kao **EBU** (*European Broadcasting Union*) **signal s kolor-barom**. Pored ovog, u upotrebi su još tri tipa signala s kolor-barom: 100% kolor-bar (sa amplitudama 100% i zasićenjem 100%), 95% kolor-bar (sa amplitudama 100% i zasićenjem 95%) i 75% kolor-bar (sa amplitudama 75% i zasićenjem 100%). Na slici 4.22 prikazani su talasni oblici tri kolor-bara i način njihovog realizovanja pomoću odgovarajućih naponskih iznosa R' , G' i B' signala, čije su amplitude 700 mV.

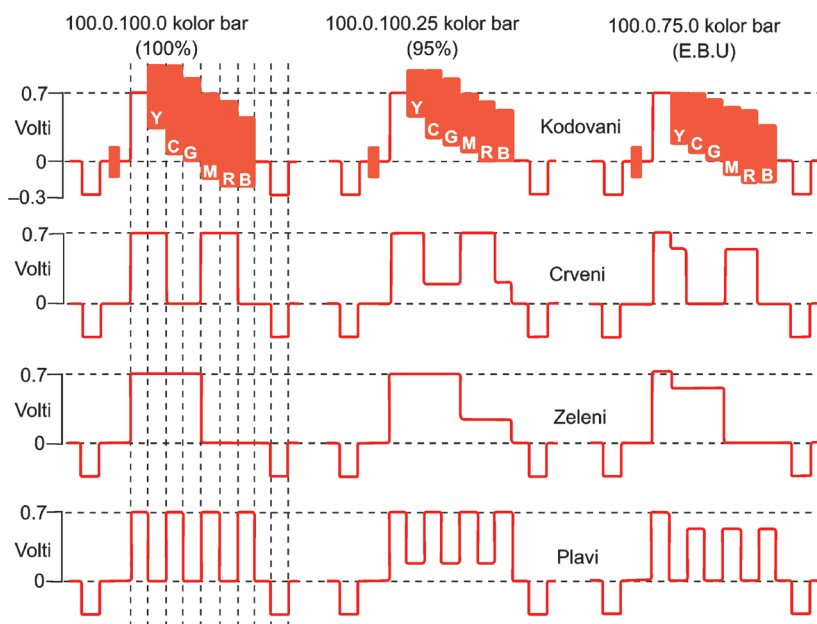
Sa srednjeg dijagrama se vidi da se 95% zasićenja dobija tako što se amplitude hrominentnih signala boja povećavaju s nivoa crnog za 25% na nivo sivog prema nivou belog, čime se dominantnim talasnim dužinama svih primarnih boja dodaje belo, tako da se njihovo zasićenje smanjuje sa 100% na 95%.



Vreme uspostavljanja od 10% do 90% amplitude:
 – horizontalnog sinhro impulsa $250 \text{ ns} \pm 50 \text{ ns}$
 – intervala horizontalnog zamačenja $300 \text{ ns} \pm 100 \text{ ns}$



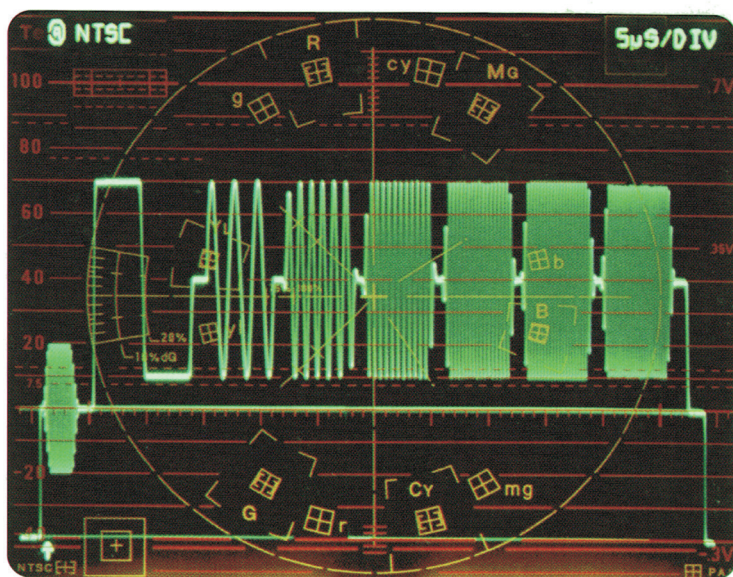
Slika 4.21. Generisanje EBU signala s kolor-barom pomoću redukovanih U i V komponentata, dijagrami a) i b), i talasni oblik signala s kolor-barom u jednoj TV liniji, dijagram c)



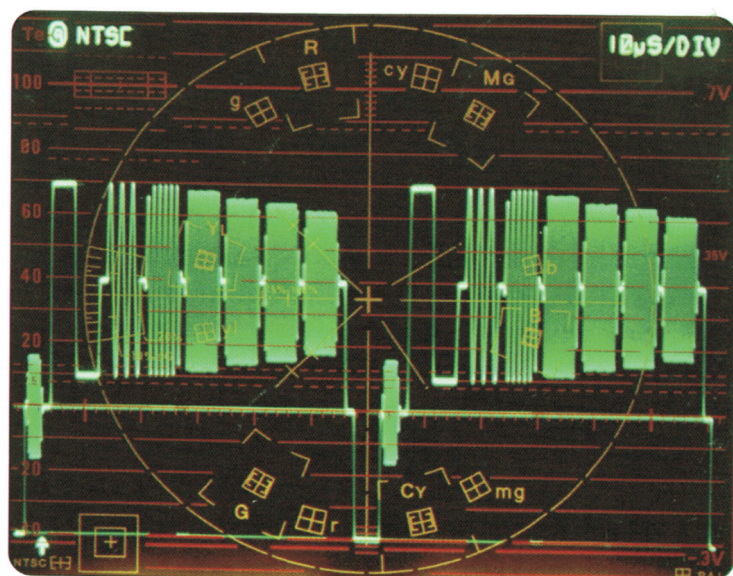
Slika 4.22. Talasni oblici tri PAL signala s kolor-barom i odgovarajući naponski nivoi R' , G' i B' signala

4.2.13. TEST-SIGNAL S MULTIBERSTOM

Pored test-signala s kolor-barom, još jedan od osnovnih test-signala koji se često koristi u TV centrima jeste test-signal s multiberstom (*Multiburst*), koji je prikazan na slici 4.23. On se sastoji od 6 paketa učestanosti od 0,5 do 5,8 MHz, koji su unutar propusnog opsega video-signala. Multiberst-signal se koristi za subjektivnu procenu horizontalne rezolucije. Posmatranjem oscilograma multiberst-signala na osciloskopu procenjuje se do koje učestanosti se mogu razlikovati horizontalne linije. Na primer, da li se horizontalne linije jasno razlikuju u paketu od 5 MHz koji sadrži 390 linija. Takođe, ovaj test-signal se koristi da se na jednostavan vizuelan način proveri da li je frekventna karakteristika (*Frequency response*) ostala ravna do kraja propusnog opsega posle prolaska video-signala kroz neki prenosni kanal, kao što je to slučaj na slici 4.23, ili se na višim učestanostima amplituda smanjila, kao što se to može zapaziti na oscilogramu na slici 4.24, gde su prikazane dve TV linije. Na osciloskopima postoje i naponski kursori pomoću kojih se može izmeriti pad napona u milivoltima ili izračunati u decibelima. Na boljim osciloskopima to smanjenje se može direktno očitati u decibelima. Multiberst-signal može da se koristi i u vertikalnom intervalu zamračenja kao kontrolni signal.



Slika 4.23. Oscilogram test-signala s multiberstom na kalibrisanoj skali TV osciloskopa s jednakim amplitudama na svim učestanostima



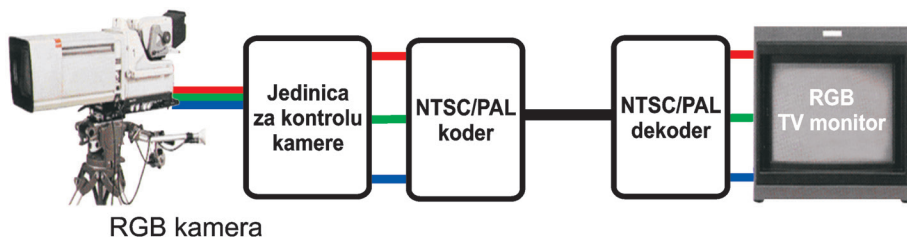
Slika 4.24. Multiberst-signal u 2 linije, gde se vidi smanjenje amplitude s porastom učestanosti

Pored navedenih osnovnih test-signala, u televizijskoj tehnici, kako u analognoj tako i u digitalnoj, koristi se veliki broj specifičnih test-signala i mernih postupaka za kontrolu i precizna merenja linearnih i nelinearnih izobličenja pri prenosu video-signala.

4.2.14. PRENOS PAL I NTSC VIDEO-SIGNALA PO JEDNOM KOAKSIJALNOM KABLU

Videli smo da je potreba za prenosom video-signala na daljinu po jednom koaksijalnom kablu usloвила potrebu za kombinovanjem oba hrominentna signala zajedno s luminentnim signalom i složenim sinhronizacionim signalom. Oni se koduju u složen, tj. kompozitni video-signal, i to u vremenskom, frekventnom i amplitudnom domenu.

Prenos kompozitnih signala NTSC i PAL po jednom koaksijalnom kablu i njihovo prikazivanje na RGB monitoru ilustrovani su na slici 4.25. Sistem je veoma jednostavan i video-signali se lako prenose unutar TV centra. Međutim, frekventna karakteristika i vremenska kašnjenja se pogoršavaju i moraju se kontrolisati na dužim TV putanjama. Luminentni signal i oba hrominentna signala i u NTSC i u PAL kompozitnom signalu dele energiju zajedničkog propusnog opsega, od 4,2 MHz za NTSC i 5 ili 5,5 MHz za PAL signal. Zbog toga nastupa progresivna degradacija video-signala pri višestrukum kodovanju i dekodovanju, pa to treba izbegavati.



Slika 4.25. *Prenos NTSC/PAL video-signala po jednom koaksijalnom kablu*

4.2.15. KONVERZIJA TV STANDARDA I TV SISTEMA

U svim zemljama sveta ne primenjuje se isti sistem za generisanje i prenos video-signala. Zbog toga se javlja problem konverzije jednog sistema u drugi prilikom međunarodne razmene TV programa. To je bio veoma težak tehnički problem u analognoj televiziji. S razvojem digitalne tehnike pojavili su se digitalni konvertori televizijskih standarda i sistema, koji ove probleme uspešno rešavaju.

Za rad u TV centrima najvažnija je konverzija iz NTSC sistema u PAL sistem. U tabeli 4.2 prikazani su osnovni parametri ova dva sistema.

Očigledno je da je najveća razlika u vertikalnoj učestanosti. Na svakih šest PAL poluslika dolazi pet NTSC poluslika. Čini se da bi se ova razlika mogla izbeći jednostavnim izostavljanjem svake šeste PAL poluslike. Međutim, ako u slici postoji pokret, kada se šesta slika izostavi, u pokretu

bi nastao iznenadan skok. Da bi se rešio ovaj problem, primenjuje se postupak **interpolacije pokreta**, pri čemu se koristi određena srazmera dve susedne ulazne poluslike. Tako se od dve ulazne poluslike dobija jedna izlazna poluslika. Proces interpolacije je poznat u matematici kao nalaženje nove vrednosti funkcije koja leži između poznatih vrednosti.

Tabela 4.2. Osnovni parametri NTSC i PAL sistema

	NTSC 525/60	PAL 625/50
Vertikalna učestanost	60 Hz	50 Hz
Broj linija	525	625
Trajanje linije	63,555 μ s	64 μ s
Trajanje aktivne linije	52,856 μ s	52 μ s

S druge strane, trajanje PAL linije nešto je duže od trajanja NTSC linije, pa je trajanje PAL linije potrebno vremenski prilagoditi. Pri konverziji broja linija od 525 na 625 pogodno je što su oba broja deljiva sa 25. Taj odnos broja linija iznosi 21 : 25. To znači da informacija koja zauzima 21 liniju u ulaznom signalu mora biti „proširena” po vertikali tako da zauzme 25 linija u 625-linijskom signalu. Ova praznina u linijama rešava se, takođe, metodom interpolacije linija, odnosno generisanjem nedostajućih linija. Kada se konvertuje u suprotnom smeru, smanjivanje linija vrši se metodom „skraćivanja” ili decimacije. Elektronski postupak realizacije konverzije broja poluslika i interpolacije linija veoma je kompleksan, a nije ni potrebno prikazivati ga ovde.

Degradacije koje mogu nastati usled konverzije broja linija jesu treperenje sitnih detalja, tkaninasta struktura i pojavljivanje stepenastih oblika kod približno horizontalnih linija.

Konverzija SECAM sistema u PAL sistem, i obrnuto, znatno je jednostavnija zbog toga što nema potrebe za konverzijom TV parametara postupkom interpolacije. Tu je moguće jednostavnije prebacivanje, transkodovanjem iz jednog televizijskog sistema u drugi, pa se ovakvi uređaji i nazivaju transkoderi.

4.3. KOLORIMETRIJSKI STANDARDI KOJI SE KORISTE U TV PRODUKCIJI

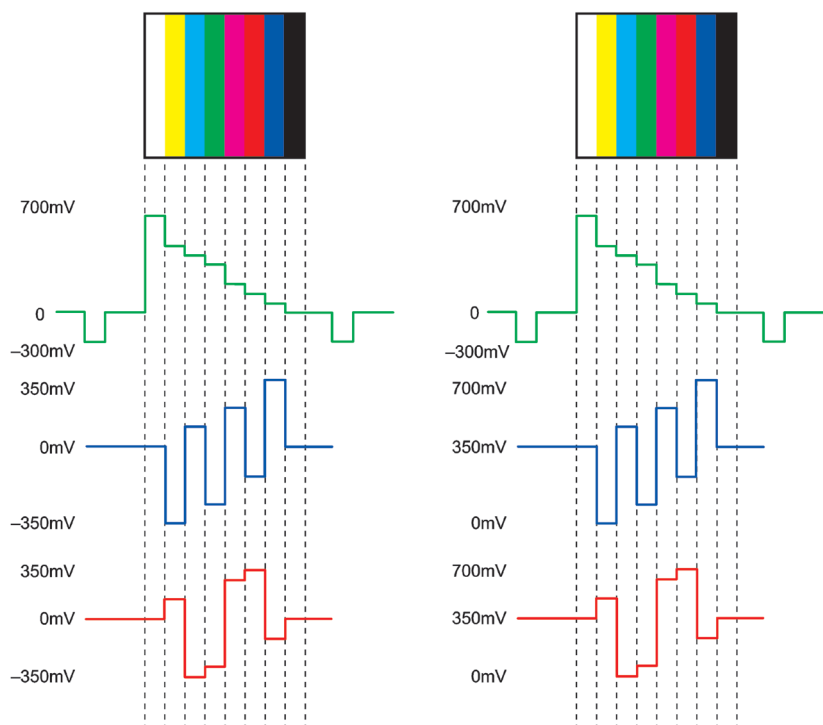
U tabeli 4.3 prikazani su različiti kolorimetrijski standardi koji se koriste u raznim sistemima i analogne i digitalne televizije. Iz pregleda datog u ovoj tabeli mogu se uporediti razlike vrednosti koordinata boja (x, y) za R, G, B primare i referentno belo svetlo, kao i razlike matričnih koeficijenata za E'_y , E'_u i E'_v za sva tri analogna komponentna TV sistema

PAL B, G, NTSC i SECAM, kao i za sistem komponentne digitalne televizije standardne definicije – SDTV, standard ITU-R BT.601 i komponentne digitalne televizije visoke definicije HDTV, standard ITU-R BT.709. Vidi se da je NTSC usvojio vrednost 2,2 za gama faktor katodne cevi CRT, a SECAM i PAL standardi su usvojili vrednost 2,8. Digitalni standardi izvode kompleksnije kolorimetrijske jednačine u odnosu na linearne RGB signale da bi se kompenzovala CRT nelinearnost, kao i uticaj šuma na reprodukovane slike, jer je poznato da je vidljivost šuma u slici za ljudsko oko mnogo veća u tamnim delovima slike nego u svetlim, što se još više ističe i nelinearnošću katodne cevi TV prijemnika. Prikazane vrednosti u tabeli označene zvezdicom nisu precizno određene.

Tabela 4.3. Različiti kolorimetrijski standardi koji se koriste u TV produkciji

Standardi	Kolor primari X Y		Prenosne karakteristike (Gama)	Matrični koeficijenti
ITU-R BT.470-4 NTSC Kompozitni analogni format	Red	0,670 0,330	Gamma = 2,2	$E'_Y = 0,59E'_G + 0,11E'_B + 0,30E'_R$
	Green	0,210 0,710		$E'_{B-Y} = 0,493 (E'_B - E'_Y)$
	Blue	0,140 0,080		$E'_{R-Y} = 0,877 (E'_R - E'_Y)$
	White (C)	0,310 0,310		
ITU-R BT.470-4 (PAL B, G) Kompozitni analogni format	Red	0,640 0,330	Gamma = 2,8	$E'_Y = 0,587E'_G + 0,114E'_B + 0,299E'_R$
	Green	0,290 0,600		$E'_{B-Y} = 0,493 (E'_B - E'_Y)$
	Blue	0,155 0,060		$E'_{R-Y} = 0,877 (E'_R - E'_Y)$
	White (D65)	0,313 0,329		
SMPTE 170M Kompozitni analogni format	Red	0,630 0,340	$V = 1,099Lc^{0,45} - 0,099$ for $1 \geq Lc \geq 0,018$ $V = 4,5Lc$ for $1,018 \geq Lc \geq 0$	$E'_Y = 0,587E'_G + 0,114E'_B + 0,299E'_R$
	Green	0,310 0,595		$E'_{B-Y} = 0,493 (E'_B - E'_Y)$
	Blue	0,155 0,070		$E'_{R-Y} = 0,877 (E'_R - E'_Y)$
	White (D65)	0,3127 0,329		
ITU-R BT.601 Kompo- nentni digitalni SDTV	Red	*0,630 *0,340	$*V = *1,099Lc^{0,45} - 0,099$ for $1 \geq Lc \geq 0,018$ $*V = 4,5Lc$ for $1,018 \geq Lc \geq 0$	$E'_Y = 0,587E'_G + 0,114E'_B + 0,299E'_R$
	Green	*0,310 *0,595		$E'_{B-Y} = 0,564 (E'_B - E'_Y)$
	Blue	*0,155 *0,070		$E'_{R-Y} = 0,713 (E'_R - E'_Y)$
	White (D65)	*0,3127 *0,329		
ITU-R BT.709 Kompo- nentni digitalni HDTV	Red	0,640 0,330	$V = 1,099Lc^{0,45} - 0,099$ for $1 \geq Lc \geq 0,018$ $V = 4,5Lc$ for $1,018 \geq Lc \geq 0$	$E'_Y = 0,7152E'_G + 0,0722E'_B + 0,2126E'_R$
	Green	0,300 0,600		$E'_{B-Y} = 0,5389 (E'_B - E'_Y)$
	Blue	0,150 0,060		$E'_{R-Y} = 0,635 (E'_R - E'_Y)$
	White (D65)	0,3127 0,329		
*Nisu specificirane				

Takođe, u ovoj tabeli uočava se da pri digitalizaciji komponentnih analognih signala RGB, standard SDTV, za potrebe digitalizacije ne koriste se iste vrednosti za redukciju analognih signala razlike boja kao za kodovanje PAL signala. U ovom slučaju redukovani analogni hrominentni signali obeležavaju se sa P'_b , P'_r i njihove vrednosti su $P'_b = 0,564(B' - Y')$ i $P'_r = 0,713(R' - Y')$, ali se njihove naponske vrednosti skaliraju da bi se menjale u naponskom opsegu od ± 350 mV, kao što je prikazano na slici 4.26 levo.



$$Y' = 0,587G' + 0,114B' + 0,299R'$$

napon od 0 do 700 mV, sink -300 mV

$$P'_b = 0,564(B' - Y')$$

napon od -350 do +350 mV

$$P'_r = 0,713(R' - Y')$$

napon od -350 do +350 mV

$$Y' = 0,587G' + 0,114B' + 0,299R'$$

napon od 0 do 700 mV, sink -300 mV

$$C'_b = 0,564(B' - Y') + 350 \text{ mV}$$

napon od 0 do 700 mV

$$C'_r = 0,713(R' - Y') + 350 \text{ mV}$$

napon od 0 do 700 mV

Slika 4.26. Signali razlike boja s naponskim skaliranjem i ofsetom za digitalnu kvantizaciju

Pri samoj digitalizaciji za ove signale razlike boja uvodi se još i naponski ofset od +350 mV da bi oni imali isti naponski opseg od 0 do +700 mV kao i luminentni signal Y' , slika 4.26 desno. Za signale razlike boja sa ovakvim naponskim opsezima i ofset naponom upotrebljavaju se oznake C'_b, C'_r , slika 4.26 desno. Oznake za komplet gama korigovanih signala $Y'C'_bC'_r$ koriste se u svim digitalnim komponentnim formatima.

Iz tabele 4.3 može se zaključiti da, u pogledu kolorimetrijskih principa zasnovanih na mogućnostima čovečje percepcije boje, koncept za digitalni komponentni video-signal, kako za digitalnu televiziju standardne definicije – SDTV, tako i za digitalnu televiziju visoke definicije – HDTV, predstavlja samo proširenje koncepta za analogni komponentni video-signal.

4.4. KLJUČNI POJMOVI

Komponentni video-signal. Sjajnost smeše svetlosti. RGB komponente video-signala. TV kamera. Glava kamere. Linearna matrica. Gama korektori. Video-signal. Luminentni signal. Koeficijenti sjajnosti televizijskih primara. Osnovna jednačina u televiziji. RGB monitor. YUV komponente video-signala. Signali razlike boja. Hrominentni signali.

Kompozitni video-signal. Složeni video-signal. NTSC. PAL. SECAM. 525/60. 625/50. CCIR. ITU. Noseća učestanost boje fsc. 4.43 MHz. PAL koder. PAL dekode. U-modulator. V-modulator. U, V komponente. Kvadratura modulacija. PAL preklopnik. Sinhronizacioni signal boje – berst. Generator sinhronizacionih impulsa. Greška horizontalne faze. Greška sistem-faze. Složeni sinhronizacioni signal. Impulsi za zamračenje. Horizontalni sink. Vertikalni sink. Izjednačavajući impulsi. TV PAL prijemnik. Faza bersta. Bruhov blenking. PAL sekvenca. I, Q ose. Ose x, y. Redukovani hrominentni signali. Osciloskop. Vektorskop. Kompenzacija izobličenja boje. Kolor-bar. Zasićene boje. Faktori redukcije hrominentnih signala. Test-signal s multiberstom. Frekventna karakteristika. Linearna izobličenja. Nelinearna izobličenja. Prenos video-signala. Prenos po jednom kablju. Međunarodna razmena TV programa. Kolorimetrijski standardi u TV produkciji. Digitalna televizija. SDTV. HDTV. $P_b, P_r, C_b, C_r, YC_bC_r$.

4.5. PITANJA I ZADACI ZA OBNAVLJANJE GRADIVA

1. Šta određuju koeficijenti sjajnosti televizijskih primara?
2. Koji su najvažniji delovi TV kamere za pretvaranje slike u boji u analogne komponentne Y, U, V video-sigale?

3. Kakva je razlika između televizijskih svetlosnih primara, televizijskih elektronskih primara i korigovanih elektronskih primara?
4. Kolike su vrednosti koeficijenata sjajnosti televizijskih primara prema FCC i CIE preporukama?
5. Napisati osnovnu jednačinu u televiziji.
6. Napisati jednačine signala razlike boja.
7. Napisati jednačine za Y' , U' i V' ako se vrednosti koeficijenata sjajnosti televizijskih primara izraze u procentima.
8. Kako se realizuju elektronski signali $E'_{Y'}$, $E'_{U'}$ i $E'_{V'}$?
9. Koje značajne prednosti imaju Y, U, V komponente video-signala u odnosu na R, G, B komponente?
10. Objasniti principe rada NTSC, SECAM i PAL sistema.
11. Koja je uloga PAL preklopnika i na kojoj učestanosti on radi?
12. Na osnovu kojih činilaca je izabrana učestanost nosećeg signala boje f_{sc} ?
13. Izračunati brojnu vrednost f_{sc} .
14. Kako se generiše sinhronizacioni signal boje berst?
15. Kako se menjaju faza V-signala i faza bersta?
16. Šta je Bruhov blenking?
17. Koliko poluslika iznosi puna PAL sekvenca?
18. Kako se postiže korekcija izobličenja boja u PAL sistemu?
19. Nacrtati vektorski dijagram redukovanih signala razlike boja u PAL i NTSC sistemu.
20. Zašto se obavlja redukcija amplitude hrominentnih signala, a ne smanjuje se amplituda luminentnog signala?
21. Šta se prikazuje na kalibrisanoj skali TV vektorskopa, a šta na kalibrisanoj skali TV osciloskopa?
22. Koja je razlika između hrominentnih signala (U' , V'), (P'_b , P'_r) i (C'_b , C'_r)?

Kad uključi TV prijemnik, svaki gledalac dobija sliku s pratećim zvukom. To je moguće zato što se tako združeni slika i zvuk emituju iz jednog TV centra. U izvornom formiranju u TV centrima slika i zvuk se odvojeno stvaraju i kreiraju, slika u video-režijama, a zvuk u audio-režijama.

Audio-režija je tehnička prostorija koja se nalazi pored ostalih režija u sastavu TV studija ili reportažnih kola. Osnovna uloga audio-režije jeste da se u njoj formira i kreira zvuk koji, uz odgovarajuću sliku, treba preneti do gledaoca. U većim TV centrima postoje režije za produkciju, postprodukciju i emitovanje zvuka, dok u manjim TV centrima postoji samo jedna audio-režija.

Da bi ostvarila svoju osnovnu namenu, audio-režija mora da sadrži čitav niz audio-uređaja. Standardni audio-pretvarači su razne vrste mikrofona i zvučnik. Oni na svojim izlazima generišu analogne audio-signale, koji se menjaju kontinualno u vremenu. Pored njih, u audio-režiji nalaze se audio-mikseta, uređaji za slušanje zvuka i gledanje slike, odnosno audio i video monitoring, uređaji za snimanje i reprodukciju zvuka, uređaji za zvučne efekte, uređaji za distribuciju audio-signala, prespojno (*patch*) polje, uređaji za komunikaciju, uređaji za signalizaciju i drugi uređaji. Svi navedeni uređaji mogu biti proizvedeni u analognoj i digitalnoj tehnologiji ili mešovito. U daljem tekstu opisani su teorijski osnovi analognog audio-signala čije poznavanje je neophodno i pri razvoju i pri eksploataciji analognih i digitalnih audio-uređaja.

5.1. OSNOVNE TEHNIČKE KARAKTERISTIKE ZVUKA

Zvuk (*sound*) u užem smislu reči predstavlja sve ono što čujemo, odnosno registrujemo čulom sluha. Po fizičkoj definiciji **zvuk** je, zapravo, treperenje ili oscilovanje čestica u gasovitim, tečnim i čvrstim elastičnim materijama. Da bi se zvuk čuo, potrebno je da broj tih oscilacija ili promena u sekundi bude približno između 20 i 20.000. Veličina koja predstavlja broj oscilacija

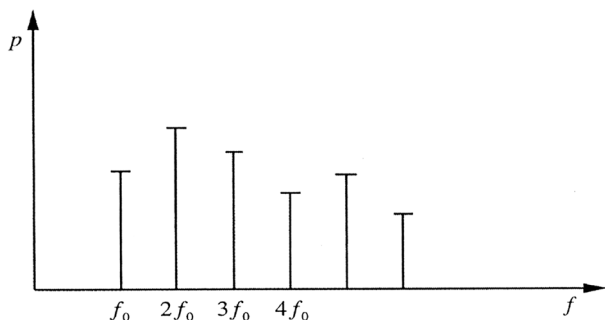
u sekundi naziva se **frekvencija**, a jedinica je **herc**, Hz. Naše „prosečno” uvo, dakle, reaguje na oscilacije čestica vazduha čija je frekvencija između **20 Hz i 20 000 Hz**, što predstavlja širinu zvučnog opsega čoveka. U prirodi je vrlo redak zvuk koji ima samo jednu frekvenciju. Sinusoida je najprostiji talasni oblik zvučnih oscilacija jedne određene frekvencije. Najčešće se susrećemo sa složenim zvukom, koji u sebi sadrži mnogo frekvencija, i može se podeliti na dve grupe:

- periodični zvuk,
- aperiodični zvuk.

Periodični zvuk stvara u našem uvu nepromenjen osećaj zvuka bez obzira koliko dugo traje. Aperiodični zvuk je ono što nazivamo šumom ili bukom i obično su to kratkotrajne pojave. Muzika i govor su zvukovi koji mogu biti poželjni, a šum i buka su najčešće nepoželjni zvukovi.

5.2. SPEKTAR SLOŽENOG ZVUKA

Predstavljanje raspodele snage zvuka, odnosno zvučnog signala na pojedinim frekvencijama, naziva se **spektar zvučnog signala**. Svaka periodična oscilacija može se matematički predstaviti pomoću Furijeovih redova kao zbir prostih sinusnih oscilacija čije su frekvencije celi umnošci osnovne frekvencije, a i u fizičkoj stvarnosti je tako. Na slici 5.1 ilustrovan je spektar složenog zvuka, gde je sa f_0 označena frekvencija osnovnog harmonika. Sa $2f_0$, $3f_0$, $4f_0$, ... , označene su frekvencije viših harmonika, koje su multipli osnovne frekvencije. Ovakvo predstavljanje periodičnog signala naziva se **linijski spektar**. Šum ima tzv. **kontinualni spektar**. S obzirom na to da su šumovi neperiodični signali, može se smatrati da je njihova perioda, ili vreme ponavljanja, beskonačno velika, a samim tim je frekvencija prvog ili osnovnog harmonika beskonačno mala. Viši harmonici su beskonačno gusto raspoređeni i zato se ne mogu izdvojiti pojedine linije, nego se može prikazati samo obvojnica vrhova tih komponenata.



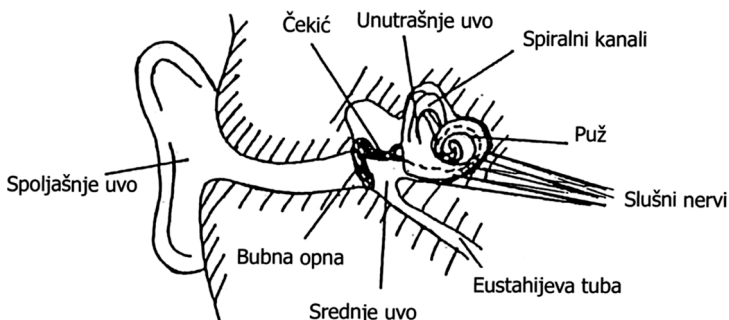
Slika 5.1. Spektar složenog zvuka

Analiziranjem spektara samoglasnika i suglasnika govornog signala uočava se da su spektri samoglasnika linijski, a suglasnika kontinualni. Signali muzičkih instrumenata takođe imaju linijski spektar. Može se zapaziti da u spektru govornog i muzičkog signala postoji izvesno grupisanje snage u dva ili više područja na osi učestanosti. Ta područja nazivaju se **formanti**. Treba napomenuti da čovek složeni zvuk konstatuje kao **ton** samo ako je razlika učestanosti njegovih komponenata veća od 25 Hz. Ako je frekventno rastojanje manje od 25 Hz, čovek takav zvuk konstatuje kao šum.

5.3. PSIHOAKUSTIČKI MODEL LJUDSKOG UVA

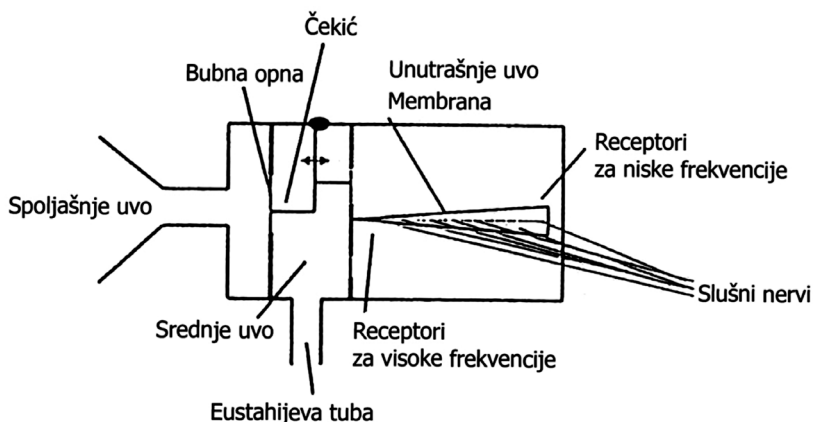
Anatomija ljudskog uva ilustrovana je na slici 5.2. Na uvu se razlikuju tri glavna dela: spoljašnje uvo, srednje uvo i unutrašnje uvo. Spoljašnjim uvom ostvaruju se funkcije prilagođenja impedanse i prostiranja zvuka kroz vazdušni deo, i ono deluje kao filter sa rezonancom u opsegu oko 3 kHz. Upravo u tom opsegu od 3 kHz do 4 kHz ljudsko uvo je i najosetljivije. Bubna opna, zatim, pretvara zvučne talase u mehaničke vibracije, koje se prenose do senzora u unutrašnjem uvu. Pobuda na ovim sensorima mora precizno da odgovara vazdušnom pritisku ispred bubne opne, što omogućuje cev, ili tuba, koja spaja regiju iza bubne opne s donjim delom uva. Ova cev se zove Eustahijeva tuba. Poznat je problem povećanja pritiska u uvu kada se penjemo na veće visine. Tada sluzava membrana u Eustahijevoj tubi omogućuje kompenzaciju tog povećanog pritiska mehanizmom gutanja.

U unutrašnjem uvu nalazi se nekoliko vlažnih ispupčenja i puž. Puž je glavni slušni organ, kojim direktno percipiramo zvuk. U spiralnoj unutrašnjosti puža nalaze se senzori za visoke, srednje i niske frekvencije. Puž se sastoji od spiralnog kanala s malom membranom u spiralnom prolazu koji se širi prema spoljašnjem delu. Na unutrašnjosti membrane nalaze se senzori za selekciju frekvencija, s kojih slušni nervi vode prikupljene i transformisane zvučne informacije dalje u mozak.



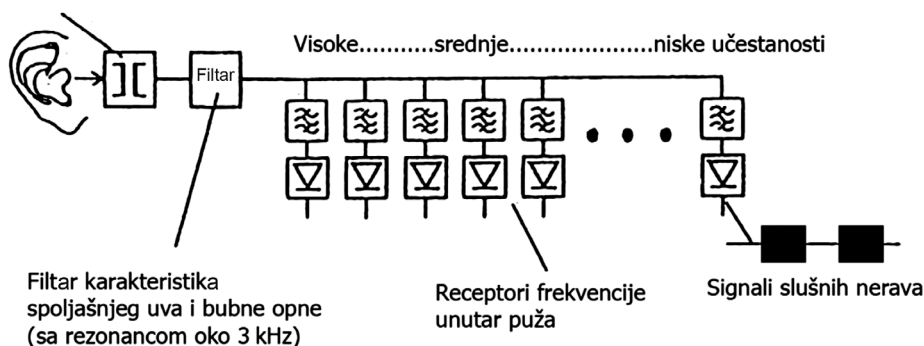
Slika 5.2. Anatomija ljudskog uva

Slušnim nervima prenose se električni signali u obliku impulsa čija je amplituda približno 100 mV. Učestanost ponavljanja tih impulsa je oko 1 kHz. Informacije koje se sadrže u tom nizu impulsa predstavljaju intenzitet tona za primljene frekvencije. Veća učestanost impulsa prouzrokuje glasniji ton. Svaki frekvencijski senzor komunicira sa mozgom pomoću posebne neuronske linije ili veze. Frekvencijska selektivnost senzora je veća pri niskim frekvencijama i opada prema visokim frekvencijama. Na slici 5.3 ilustrovan je odgovarajući tehnički model ljudskog uva, a na slici 5.4 prikazana je mehaničko-elektronska interpretacija modela ljudskog uva.



Slika 5.3. Tehnički model ljudskog uva

Spoljašnje uvo = transformator mehaničke impedanse



Slika 5.4. Mehaničko-elektronski model ljudskog uva

5.4. PERCEPCIJA ZVUKA

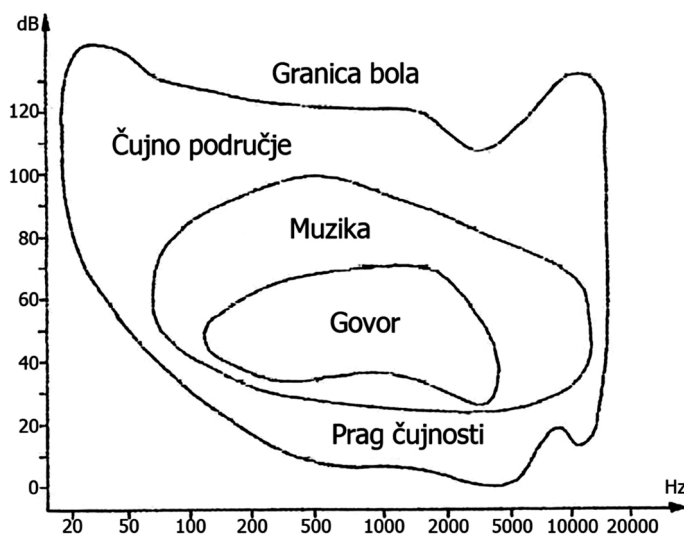
Iz opisanih psihoakustičkih mogućnosti ljudskog uva proističu i sve „tehničke” mogućnosti formiranja i kodovanja elektronskih audio-signala. Zvučni signali ispod 20 Hz i iznad 20 kHz praktično su nečujni. Maksimalna osetljivost uva je u opsegu od 3 kHz do 4 kHz i izvan tog opsega opada prema višim i nižim frekvencijama do praga čujnosti. Zvuke ispod i iznad praga čujnosti ljudsko uvo ne može da percipira.

Pored vremenskog trajanja zvuka, uvo razlikuje i tri osnovne karakteristike zvuka: **visinu**, **boju** i **jačinu**.

Osećaj **visine zvuka** je subjektivna karakteristika po kojoj se zvuk ocenjuje kao „niži” ili „viši” i zavisi od frekvencije. **Visina** složenog zvuka zavisi od frekvencije njegove osnovne komponente, odnosno najnižeg harmonika. Osećaj **boje zvuka** uslovljen je zastupljenošću i intenzitetom harmonika u složenom zvuku. Prema rasporedu i veličini komponentata uvo oseća da pojedini muzički instrumenti i samoglasnici ljudskog glasa imaju različitu boju zvuka i kada im je osnovna frekvencija ista. To znači da kod složenog zvuka visinu tona određuje učestanost osnovnog harmonika, dok mu ostali harmonici daju boju. Osećaj **jačine** zvuka zavisi od veličine zvučnog pritiska, odnosno od intenziteta zvuka. Subjektivno ocenjena jačina složenog zvuka zavisiće od intenziteta pojedinih komponentata, odnosno signala u celini. Čovek nema osećaj da su zvuci iste jačine ako su im nivoi isti a učestanosti različite. Zbog toga se za subjektivno merenje jačine zvuka ne koriste objektivne jedinice, već je uvedena jedinica **fon**. Eksperimentalno su dobijene tzv. izofonske linije, pomoću kojih se jačina zvuka računa u fonima.

Postoji u akustici i jedinica **son**, kojom se meri glasnost. Uobičajeno je da se intenzitet i nivo zvuka izražavaju u decibelima, jačina u fonima, a glasnost u sonima.

Smanjenjem zvučnog pritiska dolazi se do granice ispod koje uvo više ne oseća postojanje zvuka. Ova granica predstavlja **prag čujnosti**. Postoji i **granica bola**, koja predstavlja zvučni pritisak iznad kojeg zvuk izaziva fizički bol i može da ošteti čulo sluha. Čujno područje uva može se ilustrovati dijagramom na slici 5.5. **Dinamičko područje uva**, kao odnos najvećeg i najmanjeg intenziteta zvuka na koji uvo normalno reaguje, proteže se između granice bola i praga čujnosti.



Slika 5.5. Govor i muzika u okviru čujnog područja uva

Sa slike se jasno može uočiti da je dinamika uva različita na različitim frekvencijama. To je posledica nejednake osetljivosti uva na različitim frekvencijama, što je očigledno ako se pogleda linija praga čujnosti.

5.5. REFERENTNE VREDNOSTI AUDIO-SIGNALA Z , P_0 , U_0 , I_0 , DECIBEL I NEPER

Na slici 5.5 uočavamo da je intenzitet zvuka izražen u decibelima, tj. u brojnim vrednostima **dB**. To je nova veličina, koja je uvedena umesto zvučnog pritiska ili intenziteta. Pomoću nje se definiše **nivo zvuka L** izražen u decibelima, koji je definisan kao:

$$L = n(\text{dB}) = 20 \log p/p_0.$$

Sa n (dB) izražava se brojna vrednost u decibelima, kao na primer 46 dB.

Ma koji zvučni pritisak p upoređuje se s pritiskom na takozvanom **pragu čujnosti p_0** , a njihov logaritamski odnos se izražava u decibelima, tj. u brojnim vrednostima dB. Zašto baš logaritamski odnos? Jedna od najvažnijih osobina ljudskog uva, po **Weber–Fehnerovom** zakonu, jeste logaritamaska zavisnost između osećaja i fizičke pobude koja ga izaziva, po principu

$$\text{Osećaj} = K \log(\text{pobuda}),$$

gde je K konstanta srazmernosti, koja zavisi od izbora jedinica za osećaj i pobudu. Znači, **kada je promena pobude logaritamaska, osećaj uva je**

linearan. Uzimanje decibela kao jedinice za nivo nije slučajno. Jedan decibel je, naime, približno ona najmanja promena nivoa zvuka koju naše uvo lako razlikuje. Decibel se vrlo često koristi na ovaj način za razne veličine, kao što su snaga, napon i struja. To je moguće zato što je električni signal na izlazu mikrofona, koji mehaničke oscilacije vazduha pretvara u električne, srazmeran intenzitetu vazdušnog pritiska na membranu. Na primer, ako referentnu snagu signala obeležimo sa P_0 , a snagu posmatranog signala sa P , onda se nivo signala može izraziti kao

$$L = 10 \log P / P_0.$$

Kako je snaga signala definisana odnosom: $P = U^2 / Z = I^2 Z$, prethodni izraz dobija oblik:

$$L = 10 \log(U^2/Z) / (U_0^2/Z) = 20 \log U / U_0,$$

odnosno:

$$L = 10 \log(I^2 Z) / (I_0^2 Z) = 20 \log I / I_0,$$

jer se sve posmatra na istoj karakterističnoj impedansi, koja za referentne vrednosti za P_0 , U_0 i I_0 iznosi:

$$Z = 600 \text{ oma, kada je } P_0 = 1 \text{ mW, } U_0 = 0,775 \text{ V, } I_0 = 1,29 \text{ mA.}$$

Ako se kao referentna vrednost uzima snaga signala od $P_0 = 1 \text{ mW}$, da bi se to naznačilo, oznaka dB dobija prefiks m, pa se piše u formi **dBm**. Ako je pak referentni napon $U_0 = 0,775 \text{ V}$, oznaka za napon je **dB_u**, a za struju **dB_i**.

Treba naglasiti i to da se u telefoniji ne uzima logaritamski odnos sa osnovom 10 kao u audio-tehnici, već se koristi prirodni logaritam čija je osnova $e = 2,71828$. Takav odnos se izražava u N_p (**neperima**). Odnos dB i N_p može se izraziti relacijama:

$$1 N_p = 8,686 \text{ dB} \quad 1 \text{ dB} = 0,1151 N_p.$$

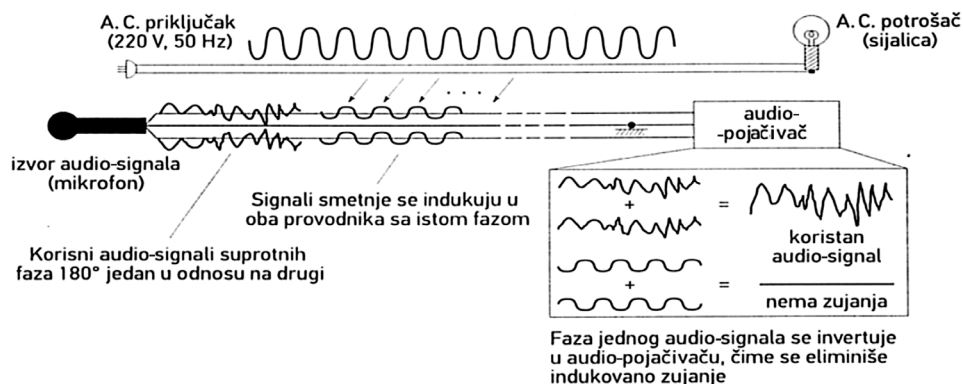
Iz istog razloga i skale na audiomernim uređajima baždare se po logaritamskoj skali.

5.6. AUDIO-MIKSETA, LINIJSKI NIVO, MIKROFONSKI NIVO

Za audio-miksetu može se slobodno reći da predstavlja „srce” audio-sistema. Naime, svi elektronski audio-signalizatori iz studija i ostalih audio-izvora TV centra, koji učestvuju u formiranju konačnog audio-signala, stižu do ulaza audio-miksete. Uloga audio-miksete jeste da primi te signale, koriguje njihove osnovne parametre, kao što su nivo, frekvencija i faza, kako bi se omogućilo njihovo združivanje, mešanje ili miksovanje da bi se formirao

i kreirao konačni elektronski audio-signal. Naravno, to je moguće ostvariti uz striktno poštovanje određenih zakonitosti i konvencija koje važe za audio-signal. Tako, na primer, po nivou razlikujemo linijski i mikrofonski signal. **Linijski nivo** je nivo signala standardne amplitude od **0,775 V**, na impedansi od **600 oma**, što predstavlja **0 dBm**. **Mikrofonski nivo** je nivo signala na izlazu mikrofona i u zavisnosti od vrste mikrofona kreće se od **-66 dBm** do **-46 dBm**. Signali koji dolaze iz samog studija obično su mikrofonskog nivoa, a ostali su linijskog nivoa. Zato na svakom ulazu audio-miksete postoje konektori za mikrofonski i linijski signal, ili postoji jedan konektor sa preklopnikom za jedan ili drugi signal. To je neophodno zato što se nivo mikrofonskog signala mora, pomoću takozvanog mikrofonskog pretpojačivača, izdignuti na nivo linijskog signala da bi dalja obrada bila ista za oba signala. Sve ovo važi za analogne audio-signale.

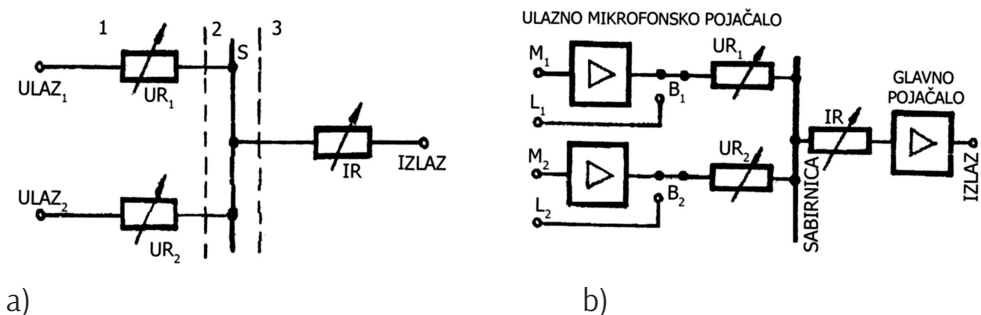
Za profesionalni televizijski (*broadcast*) audio-sistem potrebna su tri provodnika, odnosno trolpolni kabl i odgovarajući konektor za svaku audio-liniju. Korisni audio-signal se prenosi kroz dva provodnika, dok se treći provodnik spaja sa električnim uzemljenjem, kao što je ilustrovano na slici 5.6. Ovo je poznato kao balansirana (*balanced*) audio-linija i ona se razlikuje od neprofesionalne, kućne audio-opreme, gde se audio-signali prenose po samo jednom provodniku, a drugi provodnik se uzemljuje. Audio-signali se najčešće moraju prenositi na velika rastojanja preko studija i režije, gde se pored njih nalaze i mnogobrojni kablovi sa visokim naponima i strujama, kao što su kablovi s naponom napajanja od 220 V, 50 Hz. Zbog toga jake struje iz takvih kablova indukuju slabe struje u audio-kablovima, što se čuje kao neprijatno zujanje. Unutar audio-pojačivača jedan od dva indukovana signala zujanja u jednom provodniku fazno se invertuje i zatim sabira sa indukovanim signalom zujanja u drugom provodniku. Na taj način eliminiše se zujanje, a korisni audio-signal se pojačava, kao što je ilustrovano na slici 5.6.



Slika 5.6. Balansirana audio-linija

Da bi se lakše razumeo rad audio-miksete, pogodnije je posmatrati sve njene funkcije u analognoj tehnologiji, mada isti principi važe i za rad s digitalnom audio-miksetom. Osoba koja rukuje audio-miksetom naziva se **mikser tona** ili **ton-majstor**. Da bi mogao da obavlja ovaj složen posao, mikser tona mora pre svega da poznaje akustičke i električne karakteristike audio-signala, kao i sve uređaje potrebne za formiranje i kreiranje zvuka. Osim tehničkog obrazovanja, mikser tona treba da poseduje i takozvano umetničko obrazovanje iz oblasti govora i muzike. Ono je važno zato što je konačni zvuk proizvod ne samo tehničkih mogućnosti sistema već i subjektivnih mogućnosti miksera tona ili ton-majstora. Pre nego što pristupi radu sa miksetom, svaki ton-majstor mora da obavi ozbiljne organizacione i tehničke pripreme za snimanje i emitovanje emisije. To se, pre svega, odnosi na odabir i postavku mikrofona u zavisnosti od toga da li se snima na otvorenom ili u zatvorenom prostoru, da li se snima monolog, dijalog, drama ili neki muzički program; zatim da li se snima u mono, stereo ili višekanalnoj okružujućoj (*surround*) tehnici. Naravno, mora da se vodi računa i o ozvučenju, kako celog prostora gde se snima, tako i ozvučenju scene gde su postavljeni muzičari i ostali učesnici velikih šoua. S obzirom na to da se scenografija menja od emisije do emisije, uslove snimanja treba prilagoditi i uskladiti novim akustičkim uslovima prostora u kome se snima.

Da bismo najjednostavnije objasnili kako mikseta radi, posmatrajmo jednu tipičnu analognu audio-miksetu u monofonskoj verziji. To je složen elektronski uređaj i sastoji se iz više identičnih ulaznih modula i nekoliko izlaznih modula. Veza između ulaznih i izlaznih modula ostvaruje se pomoću takozvanih sabirnica ili magistrala. Sam princip miksovanja ili mešanja može se objasniti pomoću slike 5.7. Detaljniji blok-dijagram audio-miksete ilustrovan je na slici 5.8.

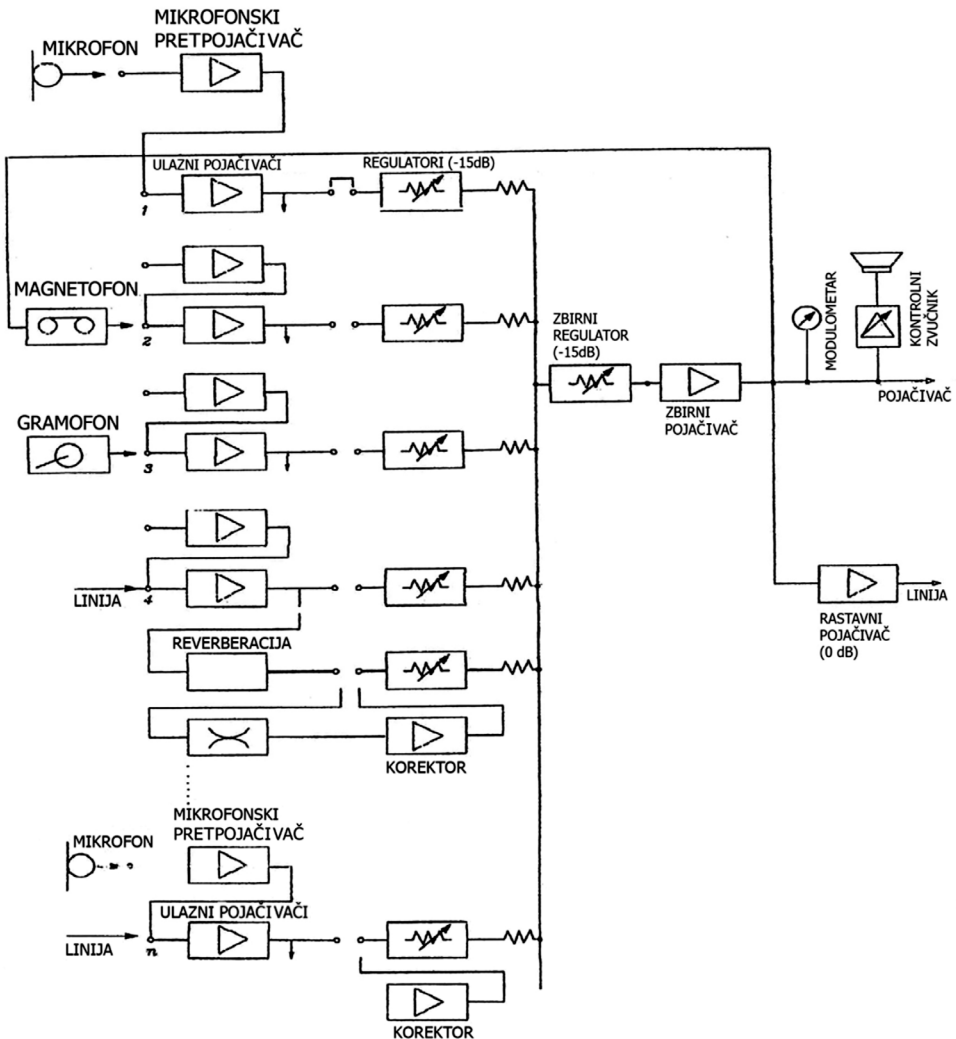


Slika 5.7. Blok-dijagram principa mešanja audio-signala

Na ulazne regulatore UR dovode se ulazni audio-signal. Nakon propuštanja kroz ulazne regulatore, signali se sabiraju u sabirnoj tački ili sabirnici S, sa koje se, preko izlaznog regulatora IR, prosleđuju na izlaz miksete. Kako se na ulaz miksete priključuju signali koji se međusobno razlikuju po nivou, a i po drugim parametrima, nisu na mikseti dovoljni samo regulatori nivoa. Prolazeći kroz miksetu, signali slabe po nivou, pa je neophodno pojačati ih, (slika 5.7 b).

Kao što se vidi na slici 5.8, na svakom ulazu mogu postojati mikrofonski signal, linijski signal, ili signal s internog generatora test-signal. Test-signal se koristi za identifikaciju, a ponekad i za brzu proveru pojedinih delova ili cele miksete. Preklopnikom se određuje koji od ulaznih signala se prosleđuje dalje. Samim tim signal se slabi ili pojačava do određenog nivoa kako bi dalja obrada mogla da se odvija jednim istim putem. Bolje miksete, naročito za emitovanje, imaju funkciju predslušanja na ulaznim modulima, što omogućuje da se svaki dolazeći signal čuje pre nego što se propusti u proces miksovanja. Signal se dalje vodi na klizni regulator nivoa ili regler. Pre ili posle reglera signal može da se prosledi u deo za faznu i frekvencijsku korekciju. Tako pripremljen signal vodi se do jedne sabirnice ili više takvih sabirnica, gde se obavlja osnovno mešanje ili miksovanje. Od ulaza do izlaza miksete mora da se održi stalni kompromis između odnosa signal–šum i zaštite od premodulacije, odnosno prevelikog nivoa, koji stvara izobličenja. Zato se signali međusobno i mešaju na malom nivou da bi se očuvao taj odnos. Tako miksovan signal dalje se priključuje na jedan glavni izlaz, ili više njih, kao i na izlaze za monitoring ili slušanje i druge pomoćne izlaze. Svi navedeni izlazi imaju svoje regulatore nivoa, mogućnost uticaja na faznu i frekvencijsku karakteristiku miksovanog signala, kao i mogućnost propuštanja signala kroz kompresor i limiter. Važno je napomenuti i to da su svi regulatori nivoa, kako ulaznih tako i izlaznih signala, konstruisani tako da mogu da kontrolišu celu dinamiku signala.

Razvojem tehnologije omogućena je digitalizacija svih audio-uređaja, tako da oni mogu da rade i s analognim i s digitalnim audio-signalima. Samim tim moraju da se poštuju i nove zakonitosti i principi koji važe za digitalni signal i za digitalne audio-miksete. Treba istaći da su digitalne miksete mnogo većih mogućnosti od analognih. One omogućuju mnogo veći komfor i fleksibilnost u radu, naročito u složenim poslovima produkcije i postprodukcije.



Slika 5.8. Detaljniji blok-dijagram audio-miksete

5.7. INSTRUMENTI ZA KONTROLU I MERENJE NIVOAA AUDIO-SIGNALA

Da bi se omogućio lakši i efikasniji rad mikseru tona, svaka audio-mikseta treba da ima odgovarajuće kontrolno-merne instrumente. To su instrumenti koji optički prikazuju vrednosti akustičkih i električnih parametara signala, kao i njihov međusobni odnos. To su, pre svih, instrumenti za merenje vršnih vrednosti signala ili **pikmetri** i instrumenti koji reaguju na srednju vrednost signala ili **vumetri**. Bolje miksete za emitovanje i snimanje stereo ili višekanalnog okružujućeg (*surround*)

signala imaju takozvane **audioskope**, na čijim se ekranima prikazuje prostorna raspodela signala po nivou, a istovremeno se očitavaju i vršne i srednje vrednosti svakog kanala zasebno, kao i njihov fazni odnos. Postoje i **spektrometri**, koji prikazuju promenu spektralne karakteristike, kako ulaznih tako i izlaznih signala. Treba istaći da svi instrumenti imaju logaritamsku karakteristiku očitavanja, čime se ostvaruje prilagođavanje fiziološkoj osobini ljudskog uva za percepciju zvuka.

5.8. AKUSTIČKA OBRADA AUDIO-REŽIJE

Audio-mikseta jeste najvažniji uređaj u audio-režiji, ali su neophodni i drugi audio-uređaji koji omogućuju ispunjenje svih zahteva pri emitovanju i snimanju emisija. Da bi kontrola audio-signala bila potpuna, nije dovoljno imati samo optičku kontrolu, pomoću instrumenata na samoj mikseti, već je neophodno imati i slušnu kontrolu. Jedino slušna kontrola, uz dobar i izvežban sluh, može omogućiti mikseru tona pravi uvid u kvalitet miksovanog zvuka. Za to je potrebno da su ispunjena dva osnovna uslova:

- dobra akustička obrada prostorije audio-režije,
- odgovarajući i kvalitetni zvučnici i pojačala.

Akustička obrada prostorije podrazumeva građevinske zahvate i upotrebu građevinskih materijala koji će, za dati volumen audio-režije, dati određene akustičke parametre za dobro slušanje mono, stereo ili višekanalnih signala. Zavisno od toga, vrši se odabir i postavka odgovarajućih zvučnika i pojačala koji čine sastavni deo monitorskog sistema audio-režije.

Pored audio-monitoringa, potreban je i video-monitoring kako bi mikser zvuka u svakom trenutku mogao da formira i kreira zvuk adekvatno postojećoj slici.

Uređaji za reprodukciju i snimanje zvuka neizbežan su deo sistema audio-režije. Često se koriste kao delimični izvor zvuka, ili za potpuno formiranje konačne zvučne slike. Naročito je značajno višekanalno snimanje, koje postaje novi izvor zvuka za kasniji remiks i postprodukciju. S razvojem tehnologije menjali su se nosači zvuka i povećale tehničke mogućnosti, a samim tim i principi snimanja i reprodukcije. U početku su **gramofoni** i **magnetofoni** činili standardnu opremu audio-režije, a kasnije su se pojavili **CD reproduktori**, **DAT rikorderi**, **DVD** i **hard-disk rikorderi**.

Za rad audio-režije svakog studija danas su veoma bitni i uređaji za audio-efekte. Njihova glavna uloga jeste da nadoknade akustičke nedostatke i eliminišu mane ambijenta i izvora zvuka, kao i da omoguće potrebne

transformacije pojedinih parametara signala. Postoji mnogo različitih uređaja za audio-efekte, u zavisnosti od namene i tehničkih mogućnosti.

Konačno formiran i kreiran zvuk, sa izlaza audio-miksete prosleđuje se preko mastera i programske režije do terminala da bi se, združen sa slikom, emitovao preko prenosnog sistema.

5.9. KLJUČNI POJMOVI

Zvuk. Percepcija zvuka. Ton. Šum. Audio-signal. Audio-režija. Audio-mikseta. Ton-majstor. Muzika. Govorni signali. Zvučni pritisak. Spektar zvučnog signala. Psihoakustički model uva. Visina zvuka. Boja zvuka. Jačina zvuka. Fon. Son. Decibel. Neper. Weber-Fehnerov zakon. $Z = 600 \text{ oma}$. $P_0 = 1 \text{ mW}$. $U_0 = 0,775 \text{ V}$. $I_0 = 1,29 \text{ mA}$. Linijski nivo. Mikrofonski nivo. Balansirana audio-linija. Miksovanje audio-signala. Signal-šum. Premodulacija. Pikmetar. Vumetar. Audioskop. Spektrometar. Akustička obrada. Zvučnik. Pojačivač. Gramofon. Magnetofon. CD reproduktor. DAT rikorder. DVD rikorder. Hard-disk rikorder. Audio-efekti.

5.10. PITANJA I ZADACI ZA OBNAVLJANJE GRADIVA

1. Kada čovek konstatuje složeni zvuk kao ton, a kada kao šum?
2. U kom opsegu frekvencija je maksimalna osetljivost čovečijeg uva?
3. Kako se definiše spektar zvučnog signala?
4. Koje tri osnovne karakteristike zvuka razlikuje čovečije uvo, pored vremenskog trajanja zvuka?
5. Od čega zavisi osećaj visine zvuka, boje zvuka i jačine zvuka?
6. U kojim jedinicama se izražavaju intenzitet zvuka, jačina zvuka i glasnost zvuka?
7. Napisati matematički izraz za logaritamsku zavisnost između osećaja zvuka i fizičke pobude koja ga izaziva. Kako se naziva taj zakon?
8. Kako se definiše intenzitet ili nivo zvuka L izražen u decibelima?
9. Napisati vrednosti karakteristične impedanse Z , referentne vrednosti snage zvučnog signala P_0 , referentnog napona U_0 i referentne struje I_0 .
10. Kako se definiše neper i kakav je odnos između decibela i nepera?
11. Kako se definiše linijski nivo audio-signala?
12. U kojim vrednostima u decibelima se dobija nivo signala na izlazu mikrofona, u zavisnosti od vrste mikrofona?
13. Zašto se u profesionalnoj audio-tehnici koriste balansirane audio-linije?

14. Koji se instrumenti s logaritamskom karakteristikom očitavanja koriste za kontrolu i merenje nivoa audio-signalata?
15. Na kom nivou se međusobno mešaju (miksaju) audio-signali da bi se održao stalni kompromis između odnosa signal–šum i zaštita od premodulacije?
16. Gde se snima i formira audio-signal. Navesti najvažnije uređaje i funkcije audio-režije. Da li konačno formirani zvuk zavisi od subjektivnih mogućnosti ton-majstora i zašto?

6 |

RADIODIFUZIONI PRENOS ANALOGNIH TV SIGNALA

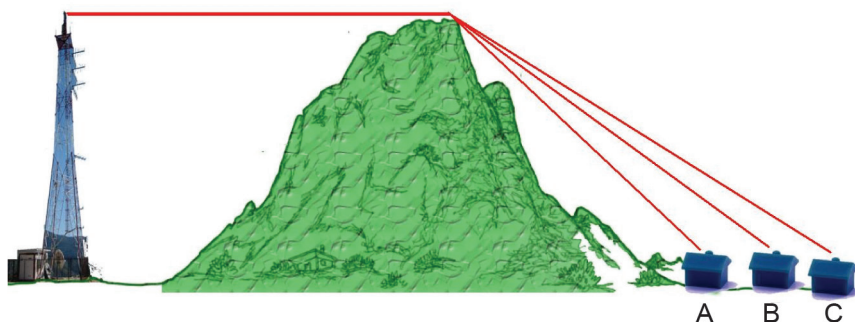
Iz teorije telekomunikacija poznato je da se prenošenje video i zvučnih informacija do velikog broja korisnika na najekonomičniji način postiže pomoću radio-talasa.

Zemaljska (terestrijalna) analogna TV difuzija predstavlja prenos televizijskog signala od jednog predajnika ka velikom broju TV prijemnika pomoću radio-talasa. Prostiranje radio-talasa zavisi od njihove frekvencije. Pri nižim frekvencijama, oni lako zaobilaze prepreke manje od talasnih dužina, ali im snaga naglo opada s rastojanjem (u vazduhu opada približno s kvadratom rastojanja). Pri višim frekvencijama, radio-talasi teže se prostiru pravolinijski, a mogu da se odbijaju i od prepreka. Osetljivi su na vremenske uslove, a može delimično da ih apsorbuje i kiša.

Za prenos televizijskog signala koriste se noseći radio-talasi koji se prostiru kroz donje slojeve atmosfere, tj. talasi čija je učestanost iznad 40 MHz. Ova učestanost predstavlja, približno, granicu iznad koje nema refleksije od visokih jonosferskih slojeva. S porastom učestanosti, slabljenje površinskih talasa naglo raste, zato učestanosti nosećih signala ne smeju biti veće od 1.000 MHz. Prostiranje televizijskog signala od predajne do prijemne antene obavlja se pravolinijski. Do prijemne antene talasi mogu da dođu i indirektno, usled refleksije od zemljine površine i drugih objekata, ili refleksije u samoj atmosferi, ako se njena dielektrična konstanta naglo menja. Mogu da stignu i usled difrakcije, tj. savijanja talasa oko ivica neke prepreke koja se nalazi između predajne i prijemne antene.

Da bi na mestu prijema bio siguran prijem, potrebno je da postoji optička vidljivost između predajne i prijemne antene. Izdizanjem predajne ili prijemne antene na veću visinu, povećava se domet talasa, tj. postiže se da antene i iza neke fizičke prepreke imaju optičku vidljivost. U stvarnosti, elektromagnetni talasi se ne prostiru potpuno pravolinijski, već se malo savijaju ka površini zemlje, što je uslovljeno nehomogenošću atmosfere. Zahvaljujući ovoj osobini talasa, moguć je prijem signala i u slučajevima

kada se prijemna antena nalazi iza neke niže prepreke, prijem u senci, pod uslovom da nije duboko u senci, slika 6.1. Međutim, kod projektovanja i realizacije ne treba se oslanjati na ovu osobinu talasa.



Slika 6.1. *Prijem signala u senci*

Jačina televizijskog signala na mestu prijema može da se menja i u zavisnosti od vrste terena preko kojeg se prostiru elektromagnetni talasi. Ovo se dešava zbog toga što teren upija (apsorbuje) elektromagnetne talase. Kao posledica upijanja javlja se slabljenje signala, pa se može desiti da je nemoguće ostvariti zadovoljavajući prijem, uprkos optičkoj vidljivosti i maloj udaljenosti predajnika.

Nivo signala na prijemnoj anteni zavisi od snage TV predajnika, karakteristike, visine i položaja predajne i prijemne antene i od učestanosti TV signala, tj. kanala na kojem se prima program.

6.1. ZEMALJSKA ANALOGNA TV DIFUZIJA

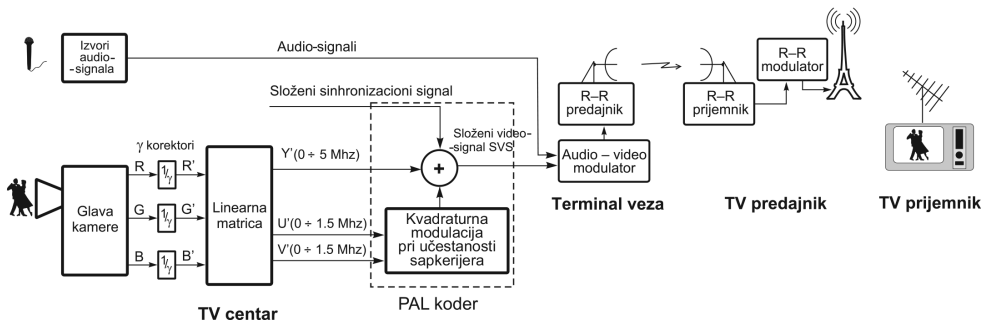
Zemaljska analogna TV difuzija dostigla je zasićenje, zbog malog broja programa koji mogu da se emituju, skupa je, omogućuje malu pokrivenost teritorije, zahteva relativno velike snage predajnika i osetljiva je na interferentne smetnje i refleksije. Za zemaljski radiodifuzni prenos koriste se VHF i UHF opsezi, za koje je karakteristično pravolinijsko prostiranje talasa, pa je za kvalitetan prijem potrebno obezbediti optičku vidljivost između emisije antene predajnika i prijemne antene TV prijemnika. Zbog toga se koriste mreže s većim brojem TV predajnika i repetitora da bi se obezbedila pokrivenost većeg prostora, izbegla zakrivljenost Zemlje i otklonile „mrtve” zone u brdsko-planinskim oblastima. U UHF i VHF opsezima može da se smesti do 60 analognih televizijskih kanala.

U analognoj TV difuziji u svetu se koriste tri sistema: **NTSC**, **PAL** i **SECAM**. Postoji više varijanata ovih sistema, zavisno od zemlje gde se

koriste. U Evropi i u Srbiji koristi se PAL sistem i to PAL B/G sistem. Širina kanala u PAL B/G sistemu za VHF područje jeste 7 MHz, a za UHF 8 MHz.

Kod zemaljske analogne TV difuzije za prenos signala od predajnika ili repetitora do prijemne antene za sliku koristi se negativna amplitudna modulacija s potisnutim donjim bočnim opsegom, a za ton frekvencijska modulacija. Negativna amplitudna modulacija koristi se kada se tokom prenosa pojave impulsne smetnje, one se u slici na TV prijemniku reprodukuju kao tamne, pa ih oko manje zapaža. U Srbiji od 17. juna 2017. više se ne emituje analogni televizijski program.

Za potrebe emitovanja analognih TV signala bežičnim putem pomoću zemaljskih radiodifuznih predajnika složeni video-signal kombinuje se sa audio-signalom u zajednički TV signal pomoću audio-video modulatora u terminalu veza, koji se nalazi u TV centru, slika 6.2. Usmerenom prenosnom radio-relejnem R-R vezom ovaj signal se šalje do TV predajnika, gde se postupkom modulacije „utiskuje” u visokofrekvencijski signal, takozvani nosilac. Ovako modulisani signal pojačava se u visokofrekvencijskom bloku VF do određenog nivoa snage potrebne za napajanje emisije antene. Antena pretvara modulisane signale slike i zvuka u elektromagnetske talase, koji se prostiru okolnim prostorom brzinom svetlosti i tako stižu do mnogobrojnih prijemnih antena TV prijemnika, slika 6.2.



Slika 6.2. Uprošćeni prikaz zemaljskog radiodifuznog emitovanja TV programa

U prenosnim linkovskim analognim radio-relejnim R-R vezama koristi se frekvencijska modulacija FM za usmereni prenos video i audio signala. Usmereni linkovski prenos koristi se zbog smanjenja interferentnih smetnji drugih prenosnih sistema, kao i zbog mogućnosti rada s manjom emisijom snagom. Mikrotalasni frekvencijski opseg koji se koristi za prenos usmerenih linkovskih veza i kapacitet linkovskih kanala za video i audio signale razlikuju se za analogne i digitalne linkovske veze.

6.2. AMPLITUDSKA MODULACIJA NOSIOCA SLIKE I FREKVENCIJSKA MODULACIJA NOSIOCA TONA

U RF modulatoru predajnika amplituda visokofrekvencijskog nosioca slike menja se u ritmu promene složenog video-signal, čime se taj VF signal amplitudno moduliše složenim video-signalom. U konvencionalnim analognim radiodifuznim predajnicima i odgovarajućim TV prijemnicima amplitudska modulacija AM koristi se zbog prednosti amplitudske modulacije nosioca slike jer omogućuje uži propusni opseg i veći broj TV kanala za video-signal, koji ima veliku širinu spektra. Amplitudska modulacija je pogodnija i u pogledu smetnji, mada se i s njom javljaju višestruke refleksije u vidu višestrukih slika, ali se one mogu svesti na minimalnu meru.

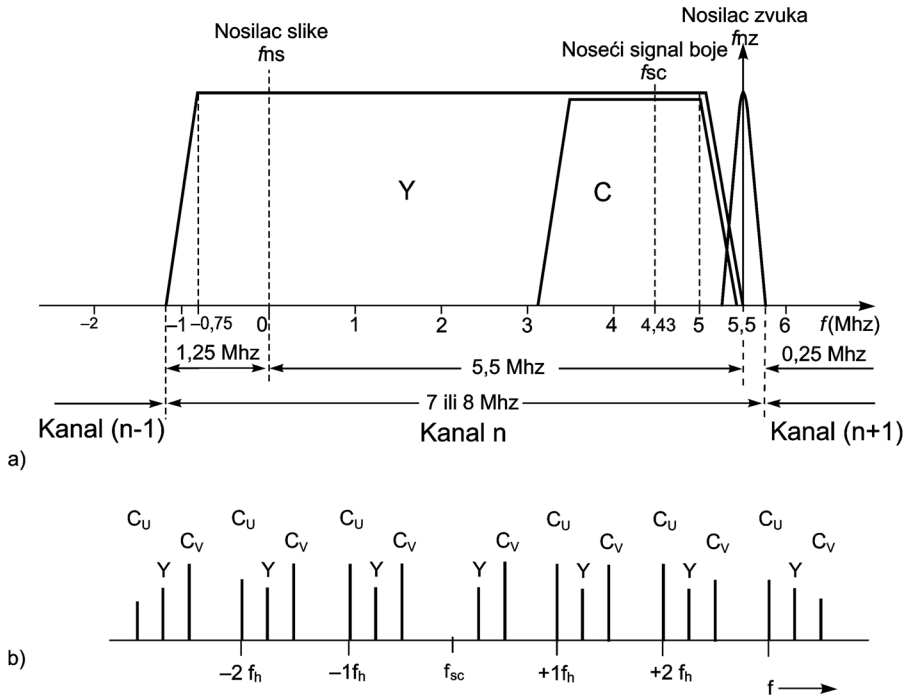
U radiodifuznom prenosu TV signala koriste se dve vrste amplitudske modulacije. Ako najvećoj sjajnosti elementa slike odgovara najmanja amplituda modulisanog signala, to je **negativna amplitudska modulacija**. Ako amplituda modulisanog signala raste s povećanjem sjajnosti elementa slike, onda je to **pozitivna amplitudska modulacija**. U našoj zemlji koristi se negativna amplitudska modulacija.

Videli smo da frekvencijski spektar video-signal zauzima opseg od 0 do 5 MHz, a spektar zvučnih audio-signal nalazi se u opsegu od 30 do 15.000 Hz. Kada bi se ova dva signala direktno sabrala i takvim signalom modulisao visokofrekvencijski nosilac u TV predajniku, nastalo bi preklapanje spektara video i audio signala, pa se u TV prijemniku ne bi moglo obaviti njihovo razdvajanje. Zbog toga se u TV predajniku posebno generišu VF nosilac slike i VF nosilac zvuka. Pri tome, učestanosti ovih nosilaca moraju biti razmaknute da se ne bi javilo preklapanje modulisanih signala slike i zvuka. Modulisani signali slike i zvuka zajedno obrazuju televizijski ili **TV signal**, koji se prenosi do TV prijemnika, slika 6.2. Opseg učestanosti u kome se nalazi kompletan spektar TV signala naziva se televizijskim, tj. **TV kanalom**. Nosioci slike i zvuka biraju se tako da širina TV kanala bude što manja.

Modulišući složeni video-signal sa širinom osnovnog frekvencijskog opsega od 5 MHz zahtevao bi prenosni propusni opseg od 10 MHz. U principu, koristi se samo jedan bočni opseg (*Single Side Band Amplitude Modulation*, SSB/AM), pošto bi dva bočna opsega imala isti sadržaj signala.

U našem radiodifuznom sistemu širina jednog bočnog opsega video-signal iznosi 5 MHz, a širina ostatka donjeg bočnog opsega 1,25 MHz, slika 6.3 a). Po našim normama, učestanost nosioca zvuka $f_{nz} = 5,5$ MHz viša je od učestanosti nosioca slike f_{ns} za 5,5 MHz. Širina zvučnog opsega je $\pm 0,25$ MHz i znatno je veća od maksimalne devijacije zvučnih signala, koja

iznosi samo 50 kHz. Na taj način se smanjuje uticaj bočnih komponentata zvučnih signala na reprodukciju slike.



Slika 6.3. Frekvencijski opsezi koje zauzimaju spektri složenog PAL signala slike i signala zvuka u radiodifuznom TV predajniku

Za radiodifuzni prenos zvuka, u većini zemalja i kod nas primenjuje se frekvencijska modulacija. U FM modulatoru se menja frekvencija učestanosti nosioca zvuka u ritmu zvučnih signala i na taj način se na izlazu dobija frekvencijski modulisan VF signal. Primenom frekvencijske modulacije pri prenosu zvuka efikasnije se otklanjaju smetnje i dobija bolji odnos korisnog signala prema šumu. Frekvencijskom modulacijom dobija se kvalitetnija reprodukcija zvuka u odnosu na prenos zvuka amplitudskom modulacijom. Pored toga, FM predajnicima je potrebna mnogo manja izlazna snaga u odnosu na snagu AM predajnika.

Kao što je iz analize spektra video-signala zaključeno, pri višim učestanostima između linijskih harmonika ne prenose se značajniji podaci o sjajnosti detalja slike. Zbog toga se u ovim intervalima mogu insertovati spektralne komponente koje nose informacije o boji slike, a da se time ne proširuje dodatno spektar za crno-belu sliku. Na dijagramu 6.3 a) vidi se da se ceo hrominentni spektar C nalazi unutar luminentnog spektra Y na učestanostima iznad 3 MHz. Na slici 6.3 b) ilustrovan je detalj učešćavanja

Y , C_u i C_v signala u okolini nosećeg signala boje f_{sc} u PAL sistemu, koja se ponavljaju s multiplima linijske učestanosti f_h unutar opsega noseće učestanosti boje f_{sc} . Na taj način je omogućen istovremeni kompatibilni prenos slike u boji postojećim kanalima za prenos crno-bele slike.

6.3. TELEVIZIJSKE NORME I KANALI

Da bi se omogućila korektna modulacija, za radiodifuzni prenos TV signala izabrano je područje ultrakratkih talasa **UKT** kako bi se zadovoljio uslov da učestanost visokofrekvencijskih nosilaca mora biti mnogo veća od maksimalne učestanosti u spektrima niskofrekvencijskih signala. Ovakvim izborom učestanosti omogućuje se verno prenošenje informacija i o najsitnijim detaljima u slici.

Za prenos televizijskih signala preko zemaljskih radiodifuznih predajnika koriste se četiri opsega učestanosti, koji se označavaju I, III, IV i V. Opseg II, od 87,5 do 108 MHz, rezervisan je za radiodifuzni FM prenos zvuka.

U skladu sa CCIR standardom za radiodifuzne TV prenose, opsezi I i III pripadaju području **VHF** (*Very High Frequency*) od 30 do 300 MHz. Širina televizijskog kanala u ovom području iznosi 7 MHz. Opseg I zauzima frekvencijsko područje od 41 do 68 MHz i u njemu su smešteni kanali 2, 3 i 4. Kanal 1, od 41 do 47 MHz, rezervisan je za službene svrhe. Opseg III zauzima učestanosti od 174 do 230 MHz i u njemu su smešteni kanali 5 do 12.

Opsezi IV i V smešteni su od 470 do 862 MHz. Ovo područje naziva se **UHF** (*Ultra High Frequency*). Širina jednog televizijskog kanala u UHF području jeste 8 MHz, pa se u njemu može smestiti ukupno 49 kanala, koji se označavaju brojevima od 21 do 69.

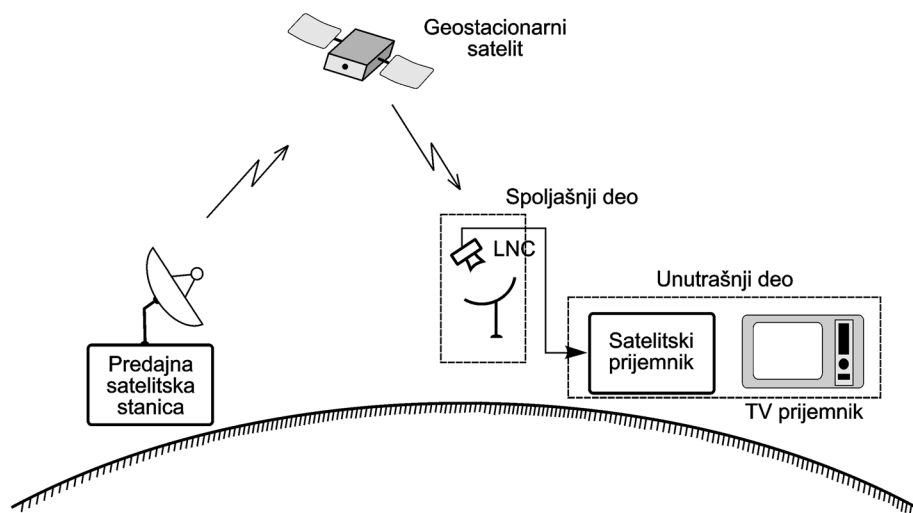
Da bi se TV programom prekrila cela teritorija jedne veće države, potreban je veći broj pogodno raspoređenih TV predajnika i repetitora. Pri tome treba voditi računa da dva predajnika ne rade na istoj učestanosti kako se ne bi javljale povremene ili stalne smetnje na TV prijemnicima zbog interferencije nosećih učestanosti iz različitih predajnika. Mreža TV predajnika planira se i prema dogovoru sa susednim državama, kao i prema međunarodnim normama. U većini država Zapadne Evrope, kao i u našoj državi, ove norme preporučio je Međunarodni konsultativni komitet za radio-komunikacije CCIR, na konferenciji u Ženevi 1950. godine.

6.4. EMITOVANJE ANALOGNIH TV PROGRAMA POSREDSTVOM SATELITA

S vremenom je u mnogim zemljama nastalo zasićenje u pogledu broja TV programa koji se mogu emitovati zemaljskim radiodifuznim predajnicima u navedenim propusnim opsezima, kao i u pogledu pokrivenosti teritorije na koju pretenduje sve veći broj TV emitera. Pošto se za zemaljski radiodifuzni prenos koriste VHF i UHF opsezi, za koje je karakteristično pravolinijsko prostiranje radio-talasa, stoga je za kvalitetan prijem potrebno obezbediti optičku vidljivost između emisione antene predajnika i prijemne antene TV prijemnika. Zbog toga se koriste mreže s većim brojem TV predajnika i repetitora da bi se obezbedila pokrivenost većeg prostora, izbegla zakrivljenost Zemlje i otklonile „mrtve zone” u brdsko-planinskim oblastima.

Prelaskom s analogne televizije na digitalnu, krajem 20. veka, razvijeno je i dobilo dominantan značaj radiodifuzno emitovanje televizijskog programa posredstvom satelita. Geostacionarni satelit kruži istom brzinom kojom se i Zemlja okreće. Geostacionarna putanja nalazi se na visini od oko 36.000 kilometara od Zemlje i s te visine može da pokrije oko 36% njene površine. To znači, da bi se pokrila cela površina, potrebno je najmanje tri geostacionarna satelita.

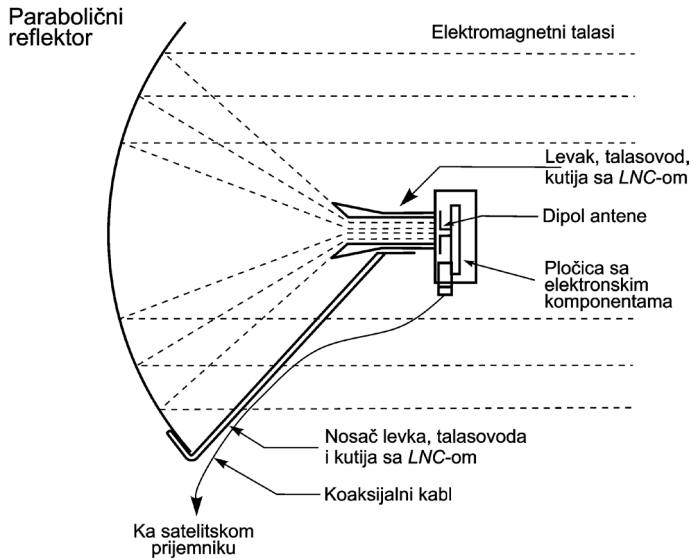
Za emitovanje signala preko satelita koristi se frekventijska modulacija koja zahteva neuporedivo manju snagu za rad prijemno-predajnog uređaja, tj. **transpondera** na geostacionarnim telekomunikacionim satelitima. Ovo je značajno pošto se energija na satelitima obezbeđuje iz solarnih električnih generatora. S druge strane, frekventijska modulacija zahteva širi propusni opseg prenosnih kanala od amplitudske modulacije. Za difuziju televizijskog signala posredstvom satelita, koja se označava skraćeno sa **DBS** (*Direct Broadcast by Satellite*), u Evropi se koristi mikrotalasni opseg frekvencija od 10,7 do 12,75 GHz. Širina frekventijskog opsega je reda 1.050 MHz i podeljena je na kanale čija je širina najčešće između 26 i 36 MHz. U njima se primenjuje frekventijska modulacija s linearnom vertikalnom ili horizontalnom, ili kružnom polarizacijom. Da bi se sprečio neželjeni uticaj jednog kanala na drugi, u susednim kanalima se primenjuju naizmenično različite polarizacije.



Slika 6.4. Princip emitovanja TV signala posredstvom geostacionarnog satelita

S jednog mesta na Zemlji emituje se TV program pomoću predajne stanice i **ap-linka** (*Up-link*), koji radi u opsegu od oko 14 GHz. Prijemno-predajni uređaj na satelitu, transponder, prima te signale sa Zemlje i reemituje ih ka Zemlji pomoću **daun-linka** (*Down-link*) na učestanosti koja se razlikuje od dolaznog signala. Na slici 6.4 prikazan je pojednostavljeni princip telekomunikacijskih veza pri radiodifuznom emitovanju TV programa posredstvom geostacionarnih telekomunikacionih satelita.

Distribucija na Zemlji obavlja se pomoću prijemne **parabolične antene** i satelitskog prijemnika, sa čijeg izlaza se signal priključuje na klasičan TV prijemnik, kao što je ilustrovano na slici 6.4. **Analogni satelitski prijemnik** sastoji se od spoljašnjeg i unutrašnjeg dela i koristi se za prijem analognih složenih video-signala kodovanih u PAL, NTSC ili SECAM sistemima. Prvi sklop u prijemnom lancu je malošumni konvertor učestanosti, koji se označava sa **LNC** (*Low Noise Converter*). Njegova uloga je da primljene modulirane signale sa satelita na koji je usmerena parabolična antena selektuje po vertikalnoj V, horizontalnoj H ili kružnoj polarizaciji, zatim pojača i translira iz opsega 10,7 do 12,75 GHz u kojem ih emituje satelit, u opseg 950 do 2.150 MHz, iz kojeg satelitski prijemnik može da ih izdvoji po svakom TV kanalu posebno. Detaljniji izgled antenskog dela prijemne satelitske stanice prikazan je na slici 6.5. Dolazni modulirani elektromagnetni talasi prikupljaju se i koncentrišu pomoću paraboličnog reflektora i levka i preko talasovoda dovode na dipol-antenu. Posle obrade u elektronskom sklopu, ovi signali se vode ka satelitskom prijemniku, gde se konačno obrađuju i pojačavaju, tako da se primljeni satelitski TV programi mogu prikazivati na TV prijemniku.



Slika 6.5. Antenski deo prijemne satelitske stanice

Drugi tip satelitskih prijemnika jeste **digitalni satelitski prijemnik**, koji se koristi za prijem digitalnih signala formiranih prema MPEG-2 standardu za digitalnu televiziju, što će biti opisano u narednim poglavljima.

Raspored, organizacija i broj kanala u satelitima za komercijalni prenos TV programa zavisi od tipa satelita, kao što su ASTRA, EUTELSAT, HOT BIRD, SIRIUS i mnogi drugi. Svaki od ovih satelita ima veći broj transpondera različitih predajnih snaga, koji sa usmerenim antenama pokrivaju određena područja na Zemlji. Na taj način racionalno se pokrivaju zone koje su od interesa i smanjuje nepotrebno trošenje snage satelitskih predajnika. Zona pokrivanja zemljine površine signalom sa samo jednog transpondera može da obuhvati više država, pa i čitave kontinente.

Distribucija televizijskih programa preko kablovskih mreža predstavlja sve rasprostranjeniji oblik prenosa TV programa i raznih video-servisa do gledalaca, a naročito u urbanim sredinama. Pri tome, satelitski programi predstavljaju osnovni TV program za distribuciju putem kablovskih mreža.

6.5. KLJUČNI POJMOVI

Radiodifuzni prenos. Audio-video modulator. TV terminal. Emisiona tehnika. Radio-relejne R-R veze. Amplitudska modulacija. Frekvencijska modulacija. TV kanal. SSB/AM. Ultrakratki talasi. UKT. VHF. UHF. TV opsezi. Satelitski TV program. DBS. Vertikalna, horizontalna i kružna polarizacija. Ap-link. Daun-link. Malošumni konvertor učestanosti. LNC. Transponder. Satelitska prijemna antena. Talasovod. Satelitski prijemnik.

6.6. PITANJA I ZADACI ZA OBNAVLJANJE GRADIVA

1. Gde se kombinuju video i audio signali u zajednički TV signal?
2. Kako se modulisani video i audio signali iz TV centra šalju do TV predajnika?
3. Kako se modulisani video i audio signal pretvara u elektromagnetske talase u TV predajniku?
4. Čime je omogućen istovremeni kompatibilni prenos slike u boji postojećim kanalom za prenos crno-bele slike?
5. Kojom brzinom kruži geostacionarni satelit oko Zemlje?
6. Zašto se u TV predajniku generišu posebno VF nosilac slike i posebno VF nosilac zvuka?
7. Zašto je za radiodifuzni prenos TV signala izabrano područje ultrakratkih talasa – UKT?
8. Kolika je širina TV kanala u UHF područjima I i III i koji TV kanali su smešteni u ovim područjima?
9. Na kojim učestanostima su smešteni UHF kanali IV i V? Kolika je širina TV kanala u UHF područjima i koliko TV kanala se može smestiti u UHF područja?
10. Koja modulacija se koristi za video-signal u analognim radiodifuznim TV predajnicima i odgovarajućim TV prijemnicima i zašto?
11. Koja modulacija se koristi za radiodifuzni prenos zvuka i zašto?
12. Šta sve sadrži TV kanal?
13. Koja modulacija se koristi za radiodifuzno emitovanje TV signala posredstvom geostacionarnih telekomunikacionih satelita i zašto?
14. Koji mikrotalasni opseg frekvencija se koristi u Evropi za radiodifuzno emitovanje TV programa posredstvom satelita i kolika je širina frekvencijskog opsega tih TV kanala? Kakva frekvencijska modulacija se koristi u njima?
15. Za šta se koriste ap-link, transponder i daun-link?
16. Za šta se koristi malošumni konvertor učestanosti LNC?
17. Koja je razlika između analognog satelitskog prijemnika i digitalnog satelitskog prijemnika?
18. Na kakav TV prijemnik se priključuje TV signal sa satelitskog TV prijemnika?

7 |

DIGITALIZACIJA AUDIO-SIGNALA

Udruženje za audio-tehniku AES (*Audio Engineering Society*) i Evropska unija za radio-difuziju EBU (*European Broadcasting Union*) zajedno su razvili AES/EBU standarde za digitalni audio-signal. Ovi standardi su osnov za razvoj analogno/digitalne A/D i digitalno/analogne D/A konverzije audio-signala, kao i za dalji razvoj digitalnih audio-uređaja.

Zvuci u prirodnom okruženju su pretežno u analognom obliku, pa se i na ulazu digitalnih audio-uređaja pojavljuju analogni audio-signal. Oni se pomoću A/D konvertora pretvaraju u digitalni oblik da bi mogli dalje da se digitalno obrađuju. Uprkos neznatnoj degradaciji pri digitalizaciji audio-signala, digitalna tehnika se primenjuje zbog veoma značajnih prednosti pri obradi audio-signala, kao i pri snimanju i prenosu audio-signala. Digitalni signal na izlazu mora da se konvertuje ponovo u primarni analogni oblik pogodan za našu percepciju zvuka.

7.1. ODMERAVANJE AUDIO-SIGNALA

Na izlazu standardnih audio-pretvarača, kao što su mikrofoni i zvučnici, pojavljuju se analogni signali, koji se menjaju kontinualno u vremenu. Konverzija analognih signala u vremenski diskretni numerički format obavlja se pomoću A/D konvertora. Razvoj teorije i prakse telekomunikacione tehnike doveo je do saznanja da između diskretnih i kontinualnih signala postoji veza. Prema teoremi odmeravanja, svaki kontinualni signal, čiji je frekvencijski spektar ograničen od 0 do f_g , gde je f_g gornja granična učestanost signala, može se potpuno specificirati svojim odgovarajućim vrednostima u diskretnim vremenskim intervalima. Ako se kroz prenosni sistem prenose diskretne vrednosti signala u vremenskim intervalima koji su jednaki ili manji od polovine periode najviše spektralne komponente f_g , moguće je na prijemnoj strani rekonstruisati originalni signal bez gubitaka informacija. Ovaj postupak naziva se odmeravanje

ili smplovanje (*sampling*). **Odmeravanje** se sastoji u merenju amplitude trenutnih vrednosti kontinualnog analognog signala u kratkim periodičnim intervalima pomoću impulsa za odmeravanje. Preciznost odmeravanja zavisi od frekvencije impulsa za odmeravanje. Ovaj postupak, poznat i kao impulsna amplitudna modulacija – **IAM**, prikazan je u vremenskom domenu na slici 7.1. Iz ove slike se lako može zaključiti da bi se idealno odmeravanje dobilo u slučaju kada bi trajanje impulsa za odmeravanje težilo nuli.

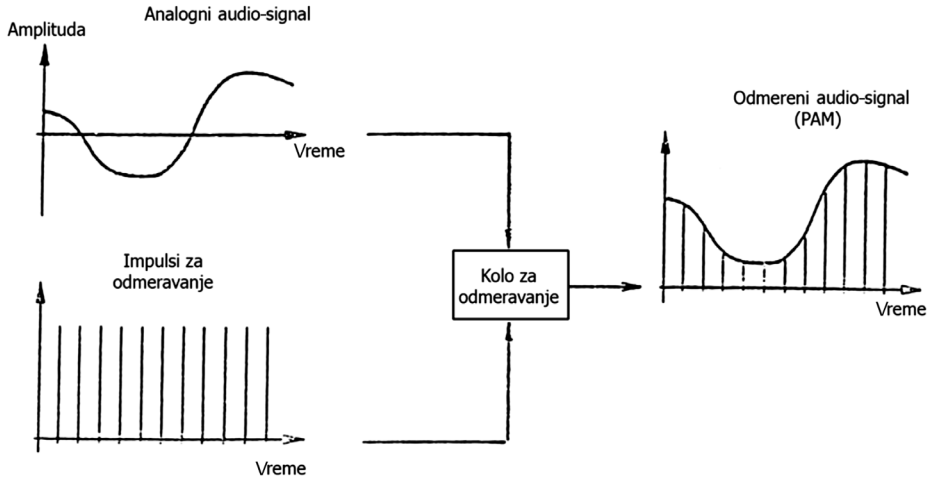
Spektar funkcije odmerenog audio-signala može se, pomoću Furijeove analize, razložiti na određeni broj prostoperiodičnih komponenata u funkciji frekvencije, odnosno u frekventnom domenu. Ako se sve funkcije sa slike 7.1 predstave u frekventnom domenu, dobijaju se dijagrami kao na slici 7.2.

Na slici 7.2. vidi se da modulisani spektar u frekventnom domenu prikazuje bočne opsege kao multiple učestanosti odmeravanja analognog signala. Ako je $f_{\max}$ maksimalna spektralna komponenta analognog audio-signala i f_s učestanost odmeravanja, onda su najniži i najviši bočni opsezi ograničeni učestanostima $(f_s + f_{\max})$ i $(f_s - f_{\max})$ respektivno.

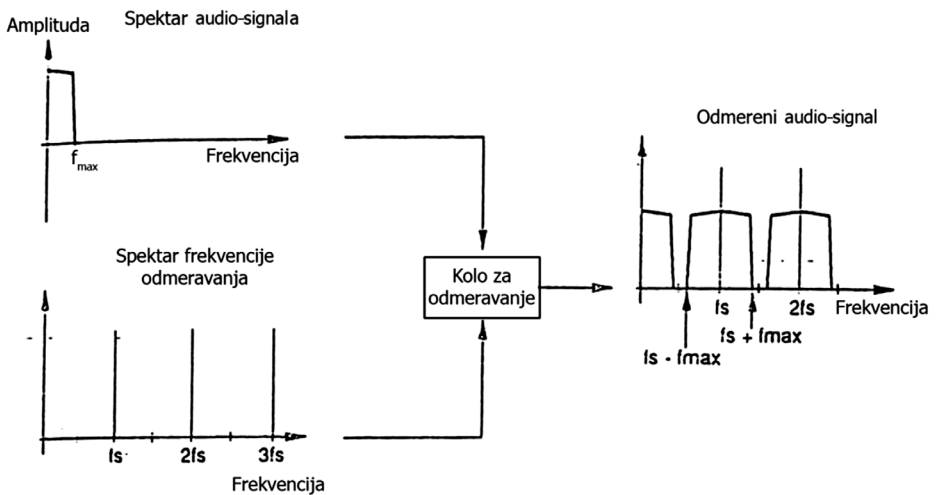
Iz slike 7.3 može se lako razumeti i obratni proces: anvelopa primarnog analognog audio-signala može se rekonstruisati u D/A konvertoru, bez gubitaka iz odmerenog ulaznog analognog audio-signala pomoću jednostavnog niskopropusnog filtra, kao što je na slici 7.3 prikazano. Pri tome, učestanost odmeravanja mora biti jednaka dvostrukoj vrednosti ili veća od dvostruke vrednosti najviše spektralne komponente $f_{\max}$ kontinualnog, u ovom slučaju audio-signala, inače bi susedni bočni opsezi bili preklapljeni i tačno filtriranje ne bi bilo moguće. Ovo je poznati **Nikvistov uslov**, koji u telekomunikacijama ima fundamentalni značaj, i koji se izražava nejednakošću:

$$f_s \geq 2f_{\max}$$

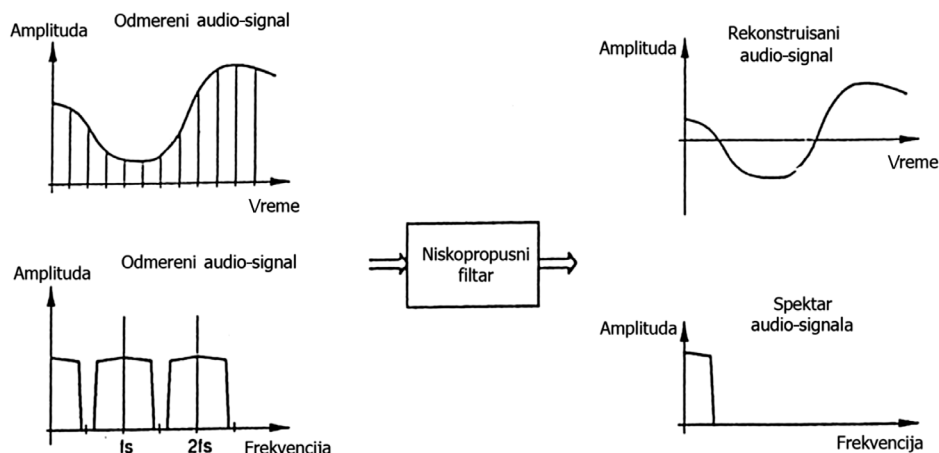
Odmeravanje prikazano na slici 7.3 podrazumeva da je trajanje impulsa za odmeravanje približno jednako nuli. U realnim uslovima, da bi se omogućilo vreme potrebno za A/D konverziju, amplituda svakog impulsa za odmeravanje drži se na toj vrednosti (*sampling and hold process*) sve dok ne stigne sledeći impuls za odmeravanje.



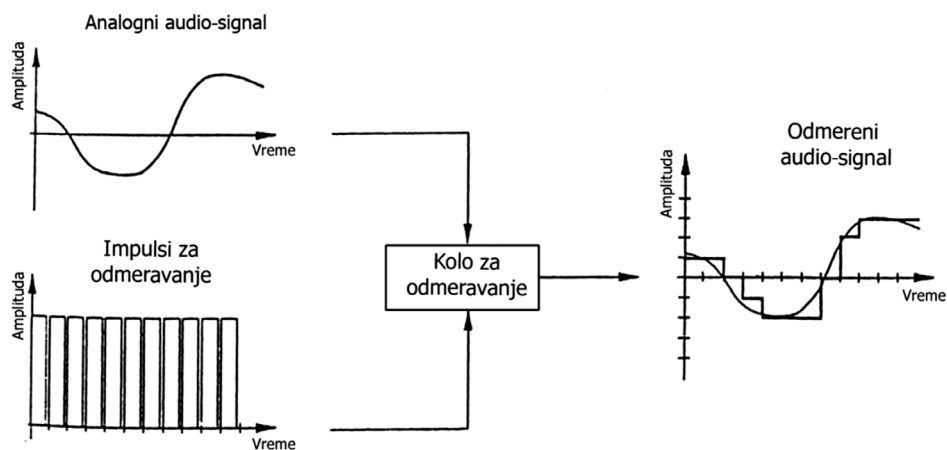
Slika 7.1. Odmeravanje analognog signala prikazano u vremenskom domenu



Slika 7.2. Odmeravanje analognog signala prikazano u frekventnom domenu



Slika 7.3. Rekonstrukcija analognog audio-signala



Slika 7.4. Dijagram realnog odmeravanja (sampling and hold process)

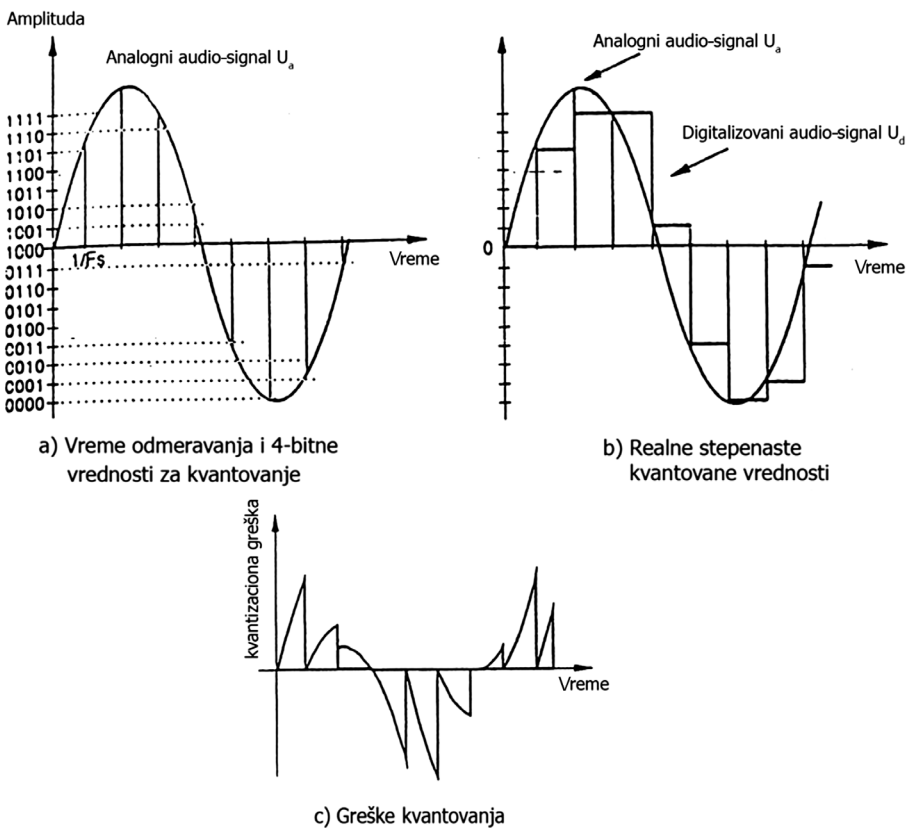
Zbog toga se generiše stepenasta reprezentacija analognog audio-signala, kao što je prikazano na slici 7.4. Trajanje stepenika je jednako periodu učestanosti semplovanja $T = 1/f_s$.

7.2. KVANTOVANJE I KODOVANJE AUDIO-SIGNALA

Kada se izvrši odmeravanje analognog signala, dobijaju se odmerci čija je amplituda srazmerna amplitudi analognog signala u momentu odmeravanja. Dalji postupak A/D konverzije sastoji se u **kvantovanju** trenutne naponske amplitude svakog odmerka u odgovarajućem trenutku,

tako što se njegova vrednost izražava brojem usvojenih mernih jedinica i ta vrednost naziva se **kvant amplitude**. Za jedan kvant se može usvojiti 1 V ili 1 mV, ili neka druga vrednost, u zavisnosti od vrste signala. Ovaj postupak se obavlja u uređaju koji se zove kvantizer.

Završna operacija digitalizacije ulaznog analognog kontinualnog signala obavlja se pretvaranjem kvantova svakog odmerka u binarni broj pomoću nekog binarnog koda, slika 7.5 a). Ovaj postupak naziva se **kodovanje** i obavlja se u uređaju koji se naziva koder. Tako se dobija binarni broj, ili binarna reč za svaki odmerak na izlazu A/D konvertora. Ovi binarni brojevi su, dakle, samo brojni digitalni ekvivalenti trenutnih vrednosti ulaznog analognog signala U_a , u određenim trenucima odmeravanja. Tek pri rekonstrukciji ovako kodovanog analognog signala U_a , u D/A konvertoru na prijemnoj strani, svaka binarna reč konvertuje se u odgovarajući naponski nivo. Digitalizovani kvantovani signal imaće karakterističan stepenasti talasni oblik U_d , slika 7.5 b).



Slika 7.5. Proces odmeravanja i greške kvantizacije u 4-bitnom A/D sistemu

Na primer, neka dinamički opseg nekog analognog audio-signala U_a iznosi 15 V i neka on ima oblik pravilne sinusoide kao na slici 7.5 a). Ako se za vrednost jednog kvanta usvoji 1 V, tada je potrebno 4 bita, $2^4 = 16$, da bi se u binarnom brojnom sistemu moglo kodovati svih 16 naponskoih nivoa, počev od 0 V pa do 15 V, koji su odmeravani u 16 vremenskih intervala.

Bit-pozicija u binarnom broju s najmanjom težinskom vrednošću, 0000, označava se sa LSB (*Last Significant Bit*), a bit-pozicija s najvećom težinskom vrednošću, 1111, obeležava se sa MSB (*Most Significant Bit*). Signali koji imaju i pozitivne i negativne vrednosti mogu se kodovati tako što se koristi poseban bit da indicira polaritet, ili se signal pretvara u unipolarni dodavanjem jednosmernog napona, tako da signal ima samo pozitivne vrednosti.

Realni digitalizovani kvantovani signal U_d imaće stepenasti talasni oblik, kao na slici 7.5 b), sa odgovarajućim binarnim vrednostima za svaki odmerak.

Posle propuštanja kroz niskopropusni filter u D/A konvertoru, radi uravnavanja stepenastih neravnina, rekonstruisani analogni signal biće samo aproksimacija stvarnog ulaznog analognog signala U_a .

7.3. ŠUM KVANTOVANJA I DIDER-SIGNAL

Iz postupka digitalizacije jasno je da one vrednosti analognog signala koje su se nalazile između celih brojeva kvantova i koje su zaokružene na prvi veći broj ne mogu ni biti rekonstruisane. Ovim se pravi greška koja se zove greška kvantovanja, **greška kvantizacije**, ili šum kvantizacije. Maksimalna vrednost greške kvantovanja jednaka je amplitudi kvanta, odnosno naponu rezolucije. Za dati opseg dinamike analognog signala sistemaska greška kvantovanja biće utoliko manja ukoliko je kvant manji i binarna reč sadrži veći broj bita. Pošto sa n bita može da se koduje 2^n diskretnih nivoa, to će veličina jednog kvanta iznositi:

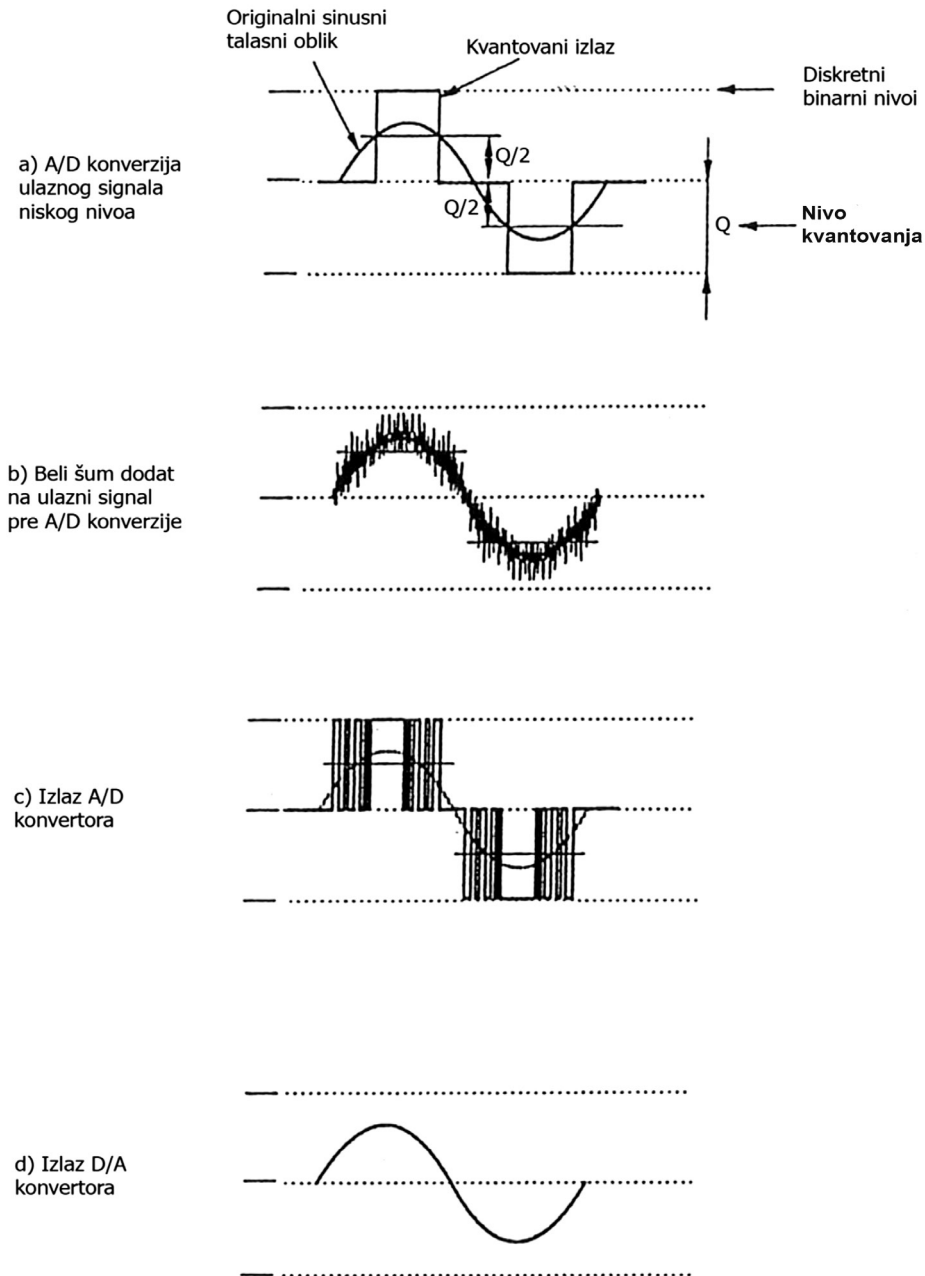
$$k = U_{\max} / 2^n - 1,$$

gde je $U_{\max}$ najveća vrednost analognog napona na ulazu A/D konvertora. Talasni oblik kvantizacionog šuma određuje se razlikom trenutnih vrednosti kontinualnog signala na ulazu u A/D konvertor i kvantovanog signala na izlazu D/A konvertora.

Na slikama 7.5 b) i c) može se jasno videti da greška kvantovanja odgovara razlici između originalne vrednosti audio-signala i odgovarajuće vrednosti rezultatnog stepenastog talasnog oblika odmerenog audio-signala.

Posle prolaska kroz niskopropusni filter, signal na izlazu D/A konvertora sadrži korisni signal i šum kvantizacije. Kvantizacioni šum proizvodi

smetnje u obliku brujanja i kliktanja u zvuku. Da bi se poboljšao odnos signal–šum kvantovanja, naročito kod signala malih vrednosti kod kojih je greška kvantovanja više izražena, koristi se postupak dodavanja **dider** (*dither*) **signala** u obliku belog šuma. Pri tome, važno je da amplituda dodatnog šuma ne bude veća od trećine kvantizacionog intervala.



Slika 7.6. Dodavanje dider-signal na analogni signal malog nivoa

Na slici 7.6 a) prikazan je sinusoidalni analogni signal malog nivoa, koji je digitalizovan. Kvantizaciona greška je veoma značajna i bila bi rekonvertovana u analogni signal na izlazu D/A konvertora. Na slici 7.6 b) prikazan je dider-signal u obliku belog šuma, koji se superponira analognom signalu u A/D konvertoru. Zbog toga će se izlaz A/D konvertora prebacivati shodno amplitudama superponiranog signala između dva kvantizaciona nivoa, kao što je prikazano na slici 7.6 c). Na slici 7.6 d) prikazan je signal na izlazu D/A konvertora. Igličaste smetnje se filtriraju i originalni signal se aproksimativno rekonstruiše.

Pozitivni uticaj dider-signala jeste što redistribuiru kvantizacionu grešku u ravnomerni proizvoljni šum i na taj način smanjuje efekat oštih kvantizacionih nivoa.

Svi analogni signali koji se odmeravaju i čije se amplitude odmeraka kvantuju sa određenim brojem bita, posle toga se koduju u nekom od binarnih kodova koji najviše odgovaraju formi analognog signala, kao i uslovima za snimanje i prenos digitalizovanih signala. Najčešće korišćeni sistemi za kodovanje audio-signala jesu impulsna kodovana modulacija **PCM**, impulsna širinska modulacija **PWM**, adaptivna delta modulacija **ADM**, kodni sistem sa pokretnom tačkom (*floating point system*) i diferencijalni PCM ili **DPCM**. Poslednja dva kodna sistema koriste se i za kompresiju audio-signala. PCM se najviše koristi za kodovanje audio-signala, mada je on najmanje efikasan. PCM kvantuje linearno sve kvantizacione nivoe sa fiksnom skalom za ceo opseg amplituda ulaznog signala. Veličine svih kvantova su jednake, pa se ovakav postupak naziva uniformno kvantovanje.

Rezolucija A/D konverzije pri **uniformnom kvantovanju** određena je brojem kvantizacionih intervala. Međutim, kod nekih signala, kao na primer kod govornih signala, trenutne vrednosti signala s malim amplitudama češće se pojavljuju nego trenutne vrednosti signala velikih amplituda. U ovakvim slučajevima uniformna kvantizacija nije optimalna u pogledu odnosa signal-šum kvantovanja. Jasno je da će u ovakvim slučajevima relativno velike vrednosti kvanta nepovoljno uticati pri malim nivoima govornih signala koji se najčešće pojavljuju. Ako se želi poboljšati odnos signal-šum kvantovanja, potrebno je povećati broj kvantizacionih nivoa, što je, s druge strane, nepovoljno jer zahteva veće brzine rada i širi propusni opseg. U ovakvim slučajevima može da se koristi **neuniformno kvantovanje**, pri kome se fino kvantuju, sa većim brojem manjih kvantova, male vrednosti signala koje se češće pojavljuju, dok se grubo kvantuju velike vrednosti signala koje se retko pojavljuju i čiji je uticaj na ukupan šum kvantizacije manji. Na ovaj način, neuniformno (nelinearno) kvantovanje

omogućuje smanjenje broja bita, a time i brzinu prenosa informacija, ili bitsku brzinu izraženu u broju bita u sekundi.

Posle vraćanja odmerenog signala u analogni oblik, pri neuniformnom kvantovanju, mora se izvršiti njegova ekspanzija, ukoliko se želi da se obnovi prvobitni odnos trenutnih vrednosti ulaznog audio-signala.

7.4. STANDARDNE FREKVENCIJE KOJE SE KORISTE ZA ODMERAVANJE AUDIO-SIGNALA

Standardizovane su tri frekvencije koje se koriste za odmeravanje audio-signala u različitim primenama:

- 32 kHz je jedna od najranijih učestanosti odmeravanja za digitalni audio-signal, koja je ustanovljena za primenu u zemljama koje koriste FM stereo radiodifuzne predajnike;
- 4,1 kHz je frekvencija odmeravanja ustanovljena kao korisnički standard za upotrebu u NTSC ili PAL U-Matic magnetoskopima, ili video tejp-rikorderima VTR, koji su opremljeni sa PCM adapterima za snimanje i reprodukciju digitalnih audio-signala koji su transformisani u pseudovideo talasne oblike. Kasnije su ovi VTR-ovi korišćeni i pri izradi master kompakt diskova CD. Frekvencija odmeravanja 44,1 kHz je postala standard koji se takođe koristi u R-DAT reproduktorima;
- 4 8 kHz je audio-standard za radio-difuziju. Ova frekvencija ima jednostavan odnos prema frekvenciji 32 kHz, što olakšava uslove konverzije standarda. Time je omogućena i primena audio-signala čiji je propusni opseg do 22 kHz.

7.5 KLJUČNI POJMOVI

Digitalni audio-signal. AES/EBU. A/D konverzija. D/A konverzija. Odmeravanje audio-signala. Kvantovanje audio-signala. Kodovanje audio-signala. Impulsna amplitudna modulacija. PCM. DPCM. PWM. ADM. Učestanost odmeravanja. Nikvistov uslov. Kvant amplitude. Binarna reč. LSB. MSB. Greška kvantovanja. Kvantizacioni šum. Dider-signal. Neuniformno kvantovanje. Bitska brzina. Bitski protok. Standardne frekvencije za odmeravanje audio-signala.

7.6. PITANJA I ZADACI ZA OBNAVLJANJE GRADIVA

1. U čemu se sastoji postupak odmeravanja i od čega zavisi preciznost odmeravanja?
2. Kakva veza postoji između diskretnih i kontinualnih signala?
3. Kako glasi Nikvistov uslov i zašto je on važan?
4. Šta je kvantovanje i šta je kvant amplitude?
5. Šta se radi u koderu?
6. Šta se dobija na izlazu pri A/D konverziji analognog audio-signala?
7. Kako se dobija konačna naponska aproksimacija ulaznog analognog audio-signala posle njegove digitalizacije?
8. Koliko diskretnih nivoa može da se koduje sa n bita?
9. Koliko bita je potrebno da se u binarnom brojnom sistemu koduju svi naponski nivoi analognog audio-signala čiji je dinamički opseg 15 volti, ako se za 1 kvant usvoji 1 volt?
10. Šta je šum kvantizacije i za šta se koristi dider-signal?
11. Koji sistemi se najčešće koriste za kodovanje audio-signala? Šta je uniformno kvantovanje audio-signala?
12. Kada se koristi neuniformno kvantovanje audio-signala?
13. Šta je bitska brzina i zašto je ona važna?
14. Koje standardne frekvencije se koriste za odmeravanje audio-signala?

8 |

DIGITALIZACIJA VIDEO-SIGNALA

Video-signal je delom već diskretan po vremenu jer se po vertikalnoj y-osi sastoji od sekvencijalnog niza od po 25 slika u sekundi i 575 vidljivih linija po slici, u PAL sistemu. Potrebno je još samo obaviti diskretizaciju određenim brojem odmeraka po horizontalnoj x-osi, to jest po horizontalnim linijama. Ovi odmerci bi upravo i predstavljali diskretne elemente slike koji se zovu pikseli ili pelovi (*picture elements*). Zbog velikog propusnog opsega video-signala, pri digitalizaciji video-signala dobija se ogromna količina binarnih podataka pa se javlja potreba za velikom **bitskom brzinom**, tj. bitskim protokom u jedinici vremena. Zbog toga je neophodno pristupiti smanjenju ukupne količine informacija raznim hardverskim i softverskim rešenjima. Ako se opredelimo za rad s manjim brojem linija i piksela, ili s manjom rezolucijom, dobićemo kvalitet koji može zadovoljiti industrijske i kućne multimedijalne potrebe, ali ne i profesionalne televizije. Zadovoljavajući kompromis između kvaliteta slike i potrebne količine bita može se postići ako se digitalizuju YUV, a ne RGB komponente. Ovu mogućnost opravdava i već pomenuta činjenica da oko više zapaža promene u nijansama sivog nego promene u boji.

8.1. ODMERAVANJE, KVANTOVANJE I KODOVANJE VIDEO-SIGNALA

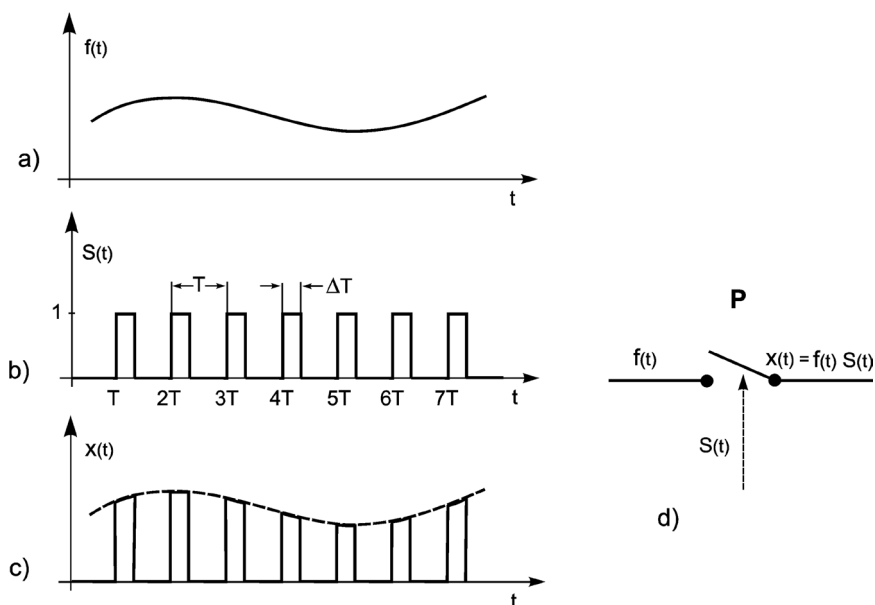
Pod digitalizacijom se podrazumeva pretvaranje ili konvertovanje kontinualnih analognih signala u niz diskretnih digita (*digit*), tj. cifara. Radi žičnog ili bežičnog prenosa niz digita se predstavlja nizom impulsa, koji su električni ekvivalent digita.

Amplitude diskretnih impulsa odgovaraju trenutnim naponskim vrednostima koje analogni signal ima u pojedinim vremenskim intervalima. Da bi se realizovala ovakva digitalizacija, potrebno je obaviti tri osnovne operacije: odmeravanje, kvantovanje i kodovanje.

Razvojem teorije i prakse telekomunikacione tehnike ustanovljeno je da između diskretnih ili digitalnih i kontinualnih ili analognih elektronskih

signala postoji veza. Svaki analogni signal čiji je spektar ograničen od 0 do neke gornje granične učestanosti f_g može se konvertovati u niz impulsa s trenutnim naponskim vrednostima u diskretnim vremenskim intervalima. Kontinualni analogni signal najpre se odmerava u diskretnim trenucima pomoću impulsa određene učestanosti, tako da amplituda svakog impulsa odgovara trenutnoj vrednosti analognog signala u trenutku **odmeravanja** (*sampling*).

U električnom smislu, odmeravanje se može ilustrovati na pojednostavljenom modelu elektronskog prekidača, kao na slici 8.1 d). Pretpostavimo da se na ulaz prekidača dovodi analogni signal $f(t)$, koji se menja kontinualno u vremenu, kao na slici 8.1 a). Povorka uskih pravougaonih impulsa jedinične amplitude, koji izgledaju kao na slici 8.1 b), naziva se funkcijom odmeravanja $S(t)$. Period ponavljanja ovih impulsa obeležen je sa T , a recipročna vrednost od T predstavlja **učestanost odmeravanja** $f_s = 1/T$. Prekidač P se elektronski zatvara za vreme trajanja jednog impulsa odmeravanja. U pauzi između ovih impulsa prekidač je otvoren. Jasno je da će se na izlazu prekidača pojaviti odmereni, ili semplovani signal $x(t)$, koji se matematički može izraziti kao proizvod analognog signala $f(t)$ i funkcije odmeravanja $S(t)$, ili $x(t) = f(t)S(t)$. Grafički izgled ovakvog signala prikazan je na slici 8.1 c). Sa ove slike se zapaža da vrhovi impulsa predstavljaju anvelopu ulaznog analognog signala. Ovi impulsi nazivaju se **digitalnim odmercima** ulaznog analognog signala u odgovarajućim vremenskim intervalima.



Slika 8.1. Ilustracija odmeravanja analognog signala

Shodno **teoremi odmeravanja**, ako se diskretni odmerci prenose kroz prenosni sistem, u vremenskim intervalima koji su jednaki polovini ili manji od polovine perioda T učestanosti odmeravanja, na prijemnoj strani je moguće izdvojiti anvelopu ulaznog napona, pomoću niskopropusnog filtra. Na taj način je moguće rekonstruisati originalni ulazni analogni signal bez gubitka informacija, ako se ulazni signal ne menja značajno u vremenskim intervalima manjim od polovine perioda najviše spektralne komponente f_g ulaznog analognog napona. Ovo postaje i fizički jasno sa slike 8.1, na kojoj se vidi da ne može biti značajnih gubitaka informacija pri prenosu tako odmerenog digitalizovanog signala ako se ulazni analogni signal ne menja mnogo u vremenskim intervalima manjim od T .

Sve funkcije sa slike 8.1, izražene u funkciji vremena, mogu se, pomoću Furijeove analize, predstaviti u zavisnosti od promene učestanosti, ili u frekventnom domenu. Pri ovoj matematičkoj konverziji važi princip reciprociteta.

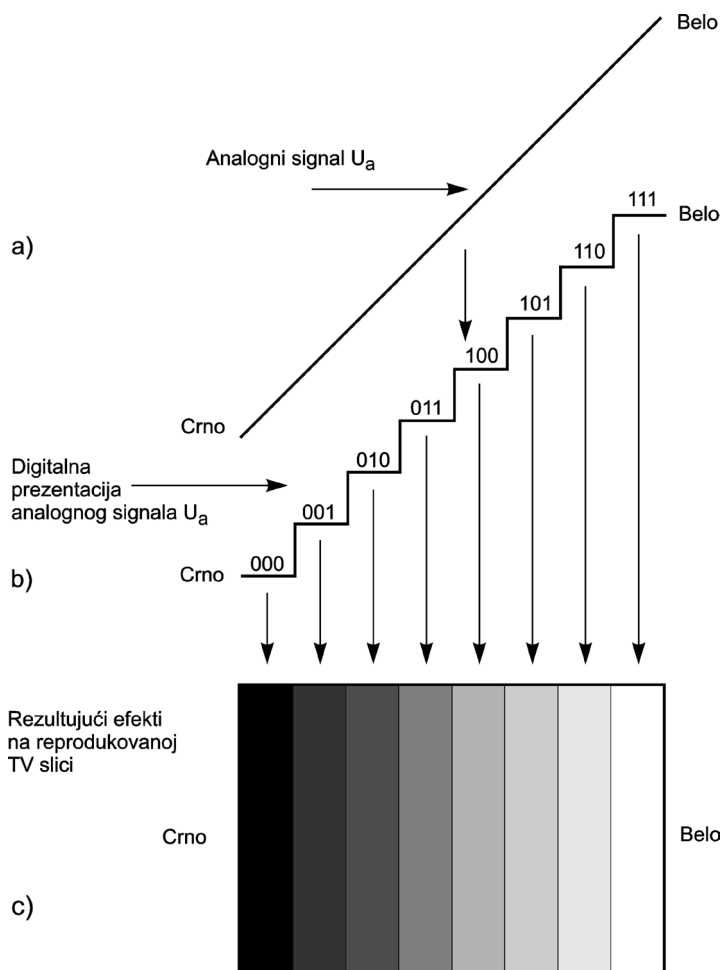
Na sličan način, pomoću Furijeove analize, može se i funkcija odmerenog signala $x(t)$, koji predstavlja povorku pravougaonih impulsa u vremenskom domenu, kao na slici 8.1 c), razložiti na određeni broj prostoperiodičnih komponenata u funkciji učestanosti, odnosno u frekventnom domenu. To će zavisiti od perioda T i od širine impulsa ΔT . U opštem slučaju, svaka složenoperiodična funkcija vremena, pa i video i audio signal, može se pomoću Furijeove analize razložiti na određeni broj prostoperiodičnih komponenata, ili harmonika u funkciji učestanosti. Fizički smisao ovakve vremenskofrekventne konverzije jeste u tome što prostoperiodični harmonici u frekventnom domenu pokazuju koje se prostoperiodične komponente sadrže u nekom složenom signalu, što se može izvršiti njihova analiza i što se može odrediti relativni odnos njihovih amplituda i faza u zavisnosti od učestanosti, kao i vrednosti jednosmernih komponenata, ukoliko postoje. Upravo iz takve analize može se i matematički izvesti zaključak da se anvelopa ulaznog analognog video-signala može izdvojiti bez gubitaka iz odmerenog ulaznog video-signala, pomoću niskopropusnog filtra, ako je učestanost odmeravanja jednaka dvostrukoj vrednosti ili veća od dvostruke vrednosti najviše spektralne komponente f_g video-signala koji se odmerava, odnosno ako je:

$$f_s \geq 2f_g$$

Ovo je poznati **Nikvistov (Nyquist) uslov**, koji ima fundamentalni značaj u digitalnoj tehnici i telekomunikacijama.

Dalji postupak A/D konverzije sastoji se u **kvantovanju** trenutne naponske amplitude svakog odmerka u odgovarajućem trenutku tako

što se njegova vrednost izražava brojem usvojenih mernih jedinica i ova vrednost se naziva **kvant amplitude**. Za jedan kvant može se usvojiti 1V, 1 mV ili neka druga vrednost, u zavisnosti od vrste signala. Ovaj postupak se obavlja u **kvantizeru**.



Slika 8.2. Ilustracija kvantovanja sa 3 bita po odmerku

Završna operacija digitalizacije ulaznog analognog signala obavlja se pretvaranjem kvantova svakog odmerka u odgovarajući binarni broj postupkom **kodovanja** pomoću nekog binarnog koda, što se obavlja u **koderu**. Tako dobijena binarna reč na izlazu A/D konvertora predstavlja, dakle, samo **brojni, digitalni ekvivalent trenutne vrednosti ulaznog analognog signala**. Pri žičnom ili bežičnom prenosu digitalnih podataka ne prenose se precizni elektronski strujni signali koji su podložni slabljenju i smetnjama, nego samo digitalni ekvivalenti trenutnih vrednosti ulaznog

analognog signala. **Na prijemnoj strani se svaka binarna reč kodovanog analognog signala rekonvertuje u odgovarajući izvorni naponski nivo.**

Na primer, neka dinamički opseg nekog analognog signala U_a iznosi 7 V i neka se njegova amplituda linearno povećava od nivoa crnog do nivoa belog, kao na slici 8.2 a). Ako se za vrednost jednog kvanta usvoji 1 V, tada je potrebno 3 bita da bi se u binarnom brojnom sistemu moglo predstaviti, ili kodovati svih 8 naponskih nivoa od 0 V do 7 V jer kombinacije od 3 bita, od kojih svaki može biti 0 ili 1, daju $2^3 = 8$ različitih binarnih brojeva. Oni predstavljaju 8 odmeraka analognog signala U_a , koji su odmeravani u intervalima od 1T do 8T. Svaki odmerak je kvantovan s određenim brojem kvantova, u ovom slučaju brojem volti, a zatim je svaki odmerak kodovan jednim binarnim brojem od 000 do 111, koji su prikazani na vrhovima odmeraka na slici 8.2. b).

8.2. GREŠKA KVANTOVANJA

Kvantovani signal U_k uvek ima stepenasti oblik, a veličina stepenika zavisi od veličine primenjenog kvanta. Posle propuštanja kroz niskopropusni filter radi uravnanja ovih stepenastih neravnina, rekonstruisani analogni signal biće, naravno, samo aproksimacija stvarnog ulaznog analognog signala U_a . One vrednosti analognog signala koje se u trenutku odmeravanja nađu između dva susedna impulsa za odmeravanje ne koduju se, a njihova vrednost se približno predstavlja prvom većom ili manjom susednom brojnom binarnom vrednošću, pa one i ne mogu biti verno reprodukovane. Na primer, ako trenutna vrednost amplitude signala U_a u intervalu odmeravanja iznosi 6,457 V, ona se kvantovanjem može zaokružiti na 7 V, ili na 6 V. Ovim se, naravno, pravi **greška kvantovanja**. Na slici 8.2 c) grafički je ilustrovan rezultujući efekat na reprodukovanoj TV slici zbog veoma grubog kvantovanja sa samo 3 bita po odmerku. U TV slici će se pojaviti pruge različitih nivoa sjajnosti, od potpuno crne pruge, koja odgovara odmerku 000, do potpuno bele pruge, koja odgovara odmerku 111. Svaka pojedinačna pruga imaće ravnomernu sjajnost. Maksimalna vrednost greške kvantovanja iznosi 1 kvant, a u primeru sa slike 8.2 ona iznosi 1 V. Prema tome, greška kvantovanja će biti utoliko manja ukoliko je kvant manji, odnosno ako se kvantovanje obavlja s većim brojem bita za dati opseg dinamike analognog signala. Na primer, ako se neki odmerak kvantuje sa 7 bita, dobiće se $2^7 = 128$ kvantovanih nivoa, a maksimalna greška kvantovanja će biti 1/127, što je manje od 1%. U digitalnoj televiziji standardne definicije – SDTV koristi se 8 i 10 bita za kvantovanje video-odmeraka. Ako realni signal ima i pozitivne i negativne vrednosti, može

se koristiti poseban bit, koji označava polaritet signala, ili se signalu može dodati jednosmerni napon, tako da signal ima samo pozitivne vrednosti.

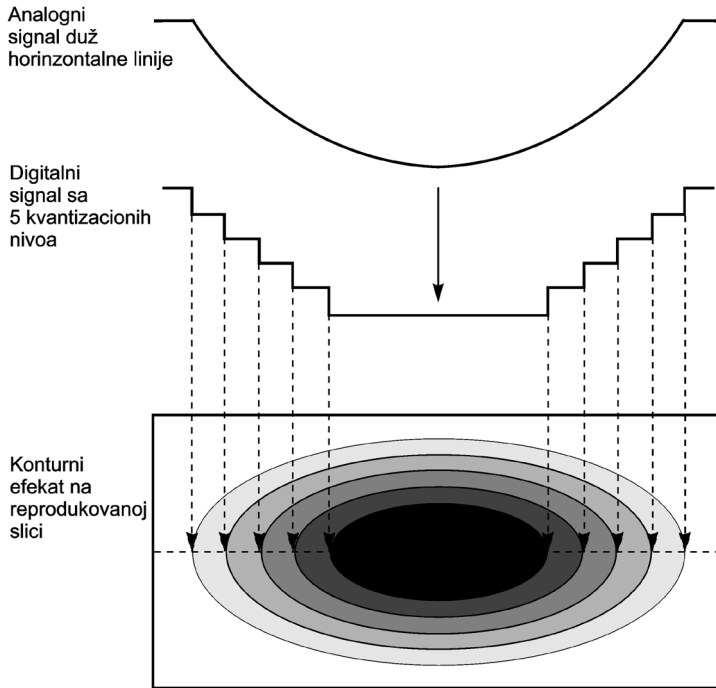
U opisanim postupcima kvantovanja amplitude svih odmeraka kvantuju se sa istim brojem bita. Takvo kvantovanje naziva se uniformnim. Kod nekih signala, kao na primer kod govornih signala, trenutne vrednosti signala s malim amplitudama češće se pojavljuju nego trenutne vrednosti signala velikih amplituda. U takvim slučajevima uniformno kodovanje nije optimalno u pogledu odnosa signal–šum kvantovanja. U takvim slučajevima može se primeniti neuniformno kvantovanje. Male trenutne vrednosti signala, koje se češće pojavljuju, kvantuju se fino s većim brojem bita jer one treba da budu što vernije reprodukovane, a velike trenutne vrednosti, koje se ređe pojavljuju, što je i manje značajno za vernost reprodukovanog govora, kvantuju se grubo s manjim brojem bita. Na taj način smanjuje se ukupan broj potrebnih bita, a time i brzina prenosa informacija kroz prenosne kanale, ili bitska brzina izražena u broju prenetih bita u sekundi.

A/D konvertori mogu se tehnički realizovati na mnogo različitih načina, počev od prostih mehaničkih sistema, do kompleksnih poluprovodničkih realizacija u obliku integrisanih kola, naročito kada su u pitanju A/D konvertori video-signala.

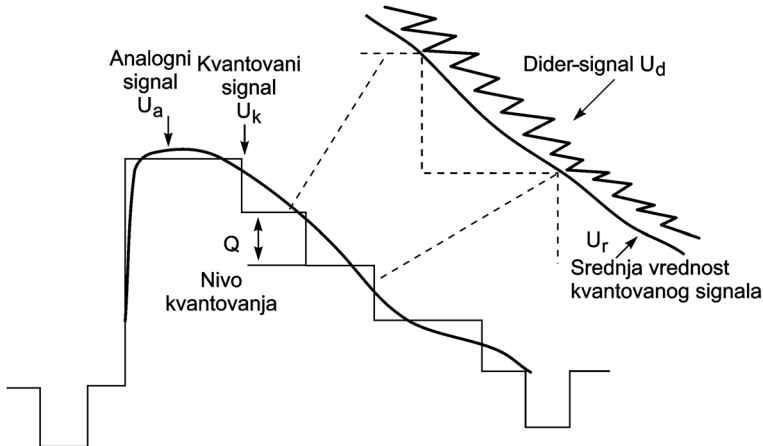
8.3. DIDER-SIGNAL

U slučaju kada je razlika između dva susedna kvantna nivoa velika, u slici na video-monitoru biće uočljive stepenaste promene nivoa, kao pojava pruga na prethodnoj slici, a na zakrivljenim površinama će se pojaviti konture istog osvetljaja, kao na slici 8.3.

Da bi se ovakva uočljiva struktura kvantovanja u obliku pruga i kontura (*banding/contouring*) ublažila, kvantovanom signalu se, pre kodovanja, može pažljivo dodati mali nivo signala „statističkog šuma”, koji se zove **dider** (*dither*) **signal**. Njihovim superponiranjem dobija se nova rezultatna srednja vrednost korigovanog kvantovanog signala, čime se postiže subjektivno bolja slika s neznatno lošijim odnosom signal–šum. Na slici 8.4 ilustrovan je kvantovani video-signal na izlazu U_k sa uočljivom strukturom kvantovanja. Njemu se superponira dider-signal unutar nivoa kvantovanja Q da bi se u korigovanom kvantnom signalu, koji će predstavljati srednju vrednost kvantovanog signala U_k i dider-signala, pojava kontura učinila manje uočljivom posle A/D i D/A konverzije.



Slika 8.3. Grafička ilustracija konturnih efekata u reprodukovanoj TV slici



Slika 8.4. Dodavanje dider-signala da bi se ublažila uočljiva struktura kvantovanja

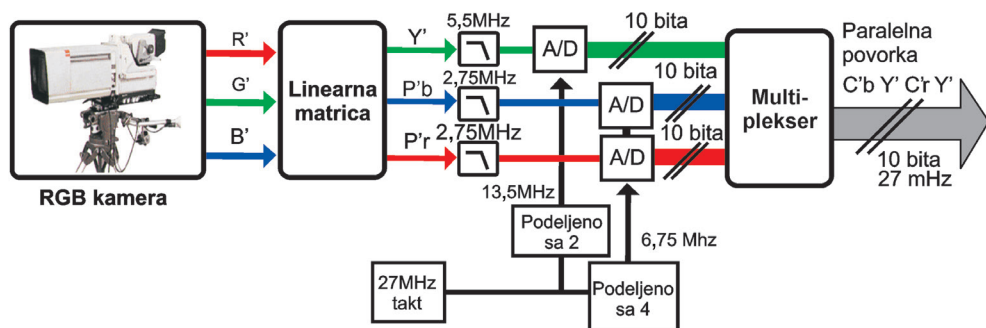
Subjektivno još bolja slika može se postići izborom posebnih oblika dider-šuma, pri čemu se ne kvari dodatno ukupan odnos signal – šum posle dekodovanja. Na primer, ako se kao dider-signal upotrebi kontinualna povorka pravougaonih impulsa čija je učestanost jednaka polovini učestanosti odmeravanja $f_s/2$, a čija je amplituda duplo manja od nivoa kvantovanja Q , onda se događa interesantan efekat udvostručenja

kvantovanih nivoa, kao da je kvantovanje urađeno s jednim bitom više. Prilikom dekodovanja i uobličavanja analognog signala na prijemnoj strani, odgovarajućim filtrom uklanja se štetni uticaj pravougaonog dider-signal. Pravougaoni dider-signal upotrebljava se samo ako je broj bita za kvantovanje odmeraka nedovoljan, pa je veoma uočljiva greška diskretizacije. Kada to nije slučaj, statistički šum koji se interpolira u slici obavlja ulogu dider-signal poboljšavajući subjektivno oštrinu krivolinijskih kontura na višim učestanostima. Radi povećavanja oštine ivica na konturama, što je veoma važno za oštrinu slike, prave se i posebna elektronska kola za isticanje kontura, poznata kao apečer korekcija (*apecher correction*).

8.4. DIGITALNA TELEVIZIJA STANDARDNE DEFINICIJE – SDTV

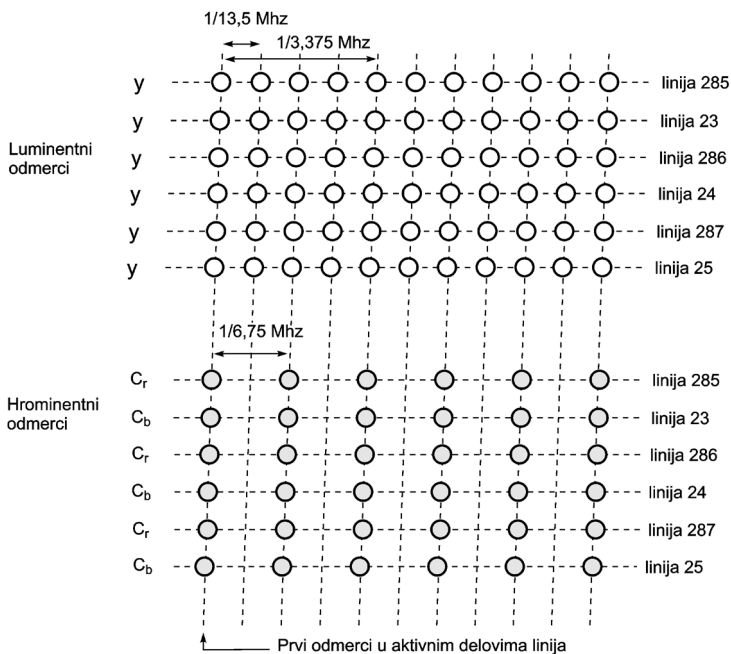
Osnovu za digitalizaciju komponentnog video-signal u digitalnoj televiziji standardne definicije – **SDTV**, predstavlja internacionalni standard **ITU-R BT.601**, koji se koristi i za 625 i za 525 linijski sistem. On definiše sistem odmeravanja, vrednosti za matricu i karakteristike niskopropusnih filtara za digitalizaciju video-signal predstavljenog u oba analogna komponentna oblika i za Y, B-Y, R-Y i RGB komponente. Odgovarajući evropski standard je **EBU 3246E**, a američki standard je **SMPTE 125M**.

Na slici 8.5 prikazan je blok-dijagram kolor-kamere za digitalizaciju video-signal u komponentnom obliku. Gama korigovani R'G'B' signali konvertuju se u linearnoj matrici u lumentni Y' i dva redukovana i naponski skalirana hrominentna signala P'_b i P'_r, slika 8.5. Koordinate x i y za komponente RGB i za referentno belo D65, matične funkcije E'_Y, E'_B – Y, E'_R – Y i faktori redukcije za hrominentne signale za standard ITU-R BT.601 prikazani su u tabeli 4.3.



Slika 8.5. Blok-dijagram kamere za digitalizaciju RGB signala

Za signal Y' usvojen je propusni frekvencijski opseg od 5,5 MHz, za format SDTV, a za hrominentne signale duplo manji, odnosno 2,75 MHz. Sva tri signala se propuštaju kroz niskopropusne filtre da bi se eliminisale frekvencije više od frekvencija video-signala, koje bi mogle da prouzrokuju smetnje u procesu odmeravanja. U A/D konvertoru lumentni signal se odmerava sa učestanošću od 13,5 MHz da bi se zadovoljio Nikvistov uslov, kao i uslov da je 13,5 MHz multipl od 2,25 MHz, što je najmanja zajednička učestanost i za PAL 625/50 i za NTSC 525/60. Na izlazu A/D konvertora formira se povorka, tj. **strim** (*stream*) od 10 paralelnih bita, sa bitskom brzinom od 13,5 MB/s. Oba filtrirana hrominentna signala odmeravaju se sa duplo manjom učestanošću, od 6,75 MHz u A/D konvertorima, proizvodeći paralelni strim sa bitskom brzinom od 6,75 MB/s. Ovakav odnos učestanosti odmeravanja obeležava se sa 4 : 2 : 2 gde broju 4 odgovara učestanost odmeravanja lumentnog Y-signala od 13,5 MHz, a broju 2 odgovara duplo manja učestanost odmeravanja hrominentnih C_b i C_r signala od 6,75 MHz. Pošto je 13,5 ceo umnožak od učestanosti linija, što iznosi $864 \times 15.625 = 13,5$ MHz, za PAL, i $858 \times 15.734,264 = 13,5$ MHz, za NTSC, to će se odmerci po vertikali naći tačno jedan ispod drugog za sve linije, poluslike i slike koje se neprekidno ponavljaju, što obezbeđuje **prostorno statičnu ortogonalnu strukturu odmeraka** u PAL i NTSC sistemu, kao što je ilustrovano na slici 8.6. Odmerci C_b i C_r pridruženi su u svakoj liniji neparnim odmercima Y.



Slika 8.6. Struktura odmeraka (4 : 2 : 2) za prostorno statičnu ortogonalnu strukturu odmeravanja

Ukupan broj odmeraka, ili piksela, na celoj dužini odmerene horizontalne linije iznosi upravo 864 za PAL i 858 za NTSC. Za vreme aktivnog dela horizontalne linije od 52 μ s za PAL sistem dobija se **720 lumentnih odmeraka duž aktivnog dela horizontalne linije**. Broj hrominentnih odmeraka za celu liniju iznosi duplo manje, 432 za PAL i 429 za NTSC, a **za aktivni deo linije broj hrominentnih odmeraka je 360 i za PAL i za NTSC sistem**. Ukupan broj odmeraka, ili piksela, za aktivni deo linije iznosi **720 + 360 + 360 = 1.440** za oba sistema, što znači da su PAL i NTSC sistemi kompatibilni u domenu aktivnog dela linije. Ovo je veoma značajno sa aspekta međunarodne razmene programa.

Eksperimentalnim rezultatima pokazano je da, ako se kvantovanje video-signala obavlja sa manje od 8 bita po odmerku, na zakrivljenim linijama u reprodukovanoj slici pojavljuju se uočljive stepenaste promene nivoa zbog greške kvantovanja. Zbog toga je standardom ITU-R BT.601 predviđeno da se kvantovanje može obavljati i sa 8 i sa 10 bita po odmerku i za lumentni signal i za oba hrominentna signala da ne bi bile uočljive greške kvantovanja u obliku stepenastih pruga i kontura, koje se mogu javiti zbog nedovoljnog broja kvantnih nivoa.

Tabela 8.1. *Uporedni pregled najvažnijih parametara za odmeravanje PAL i NTSC video-signala*

Standard za analizu slike	625/50 za PAL	525/60 za NTSC
Kodovani signali	$E'_Y = 0,587 E'_G + 0,114 E'_B + 0,299 E'_R$ $E'_{Cb} = 0,493 (E'_B - E'_Y)$ $E'_{Cr} = 0,877 (E'_R - E'_Y)$	isti za PAL i NTSC
Broj odmeraka po celoj liniji	Y: 864 C _b : 432 C _r : 432 za PAL Ukupno: 1 728	858 429 429 za NTSC 1716
Broj odmeraka po aktivnoj liniji	Y: 720 C _b : 360 C _r : 360 Ukupno: 1 440	isti za PAL i NTSC
Struktura odmeravanja	Ortogonalna, s ponavljanjem u linijama, poluslikama i slikama; Cb i Cr su pridruženi neparnim Y uzorcima u svakoj liniji. Ista za Pal i NTSC	
Učestanost odmeravanja	Y: 864 x 15.625 = 13,5 Mhz; 858 x 15.734,264 = 13,5 MHz C _b i C _r : 432 x f _H = 6,75 Mhz; 429 x f _H = 6,75 MHz	
Kodovanje	Uniformno PCM kodovanje; isto za PAL i NTSC	
Rezolucija kvantovanja	8 ili 10 bita po uzorku za lumentni i oba hrominentna signala Isti za PAL i NTSC	

Ako se, dakle, kvantovanje svakog odmerka uradi sa 8 ili 10 bita, svakom odmerku će odgovarati po jedna osmobitna ili desetobitna reč. Biti nose oznake od 0 do 7, ili od 0 do 9. Amplituda svakog odmerka koduje se u binarnom brojnem sistemu sa $2^8 = 256$ kvantnih nivoa, ili $2^{10} = 1.024$ kvantna nivoa. Pošto trenutne vrednosti signala C'_b i C'_r mogu biti i pozitivne i negativne, njihov kvantizacioni opseg raspoređuje se simetrično oko nivoa 128 za 8-bitno kodovanje, što odgovara nivou crnog u analognom signalu.

U tabeli 8.1 prikazan je uporedni pregled najvažnijih parametara za odmeravanje PAL i NTSC video-signala.

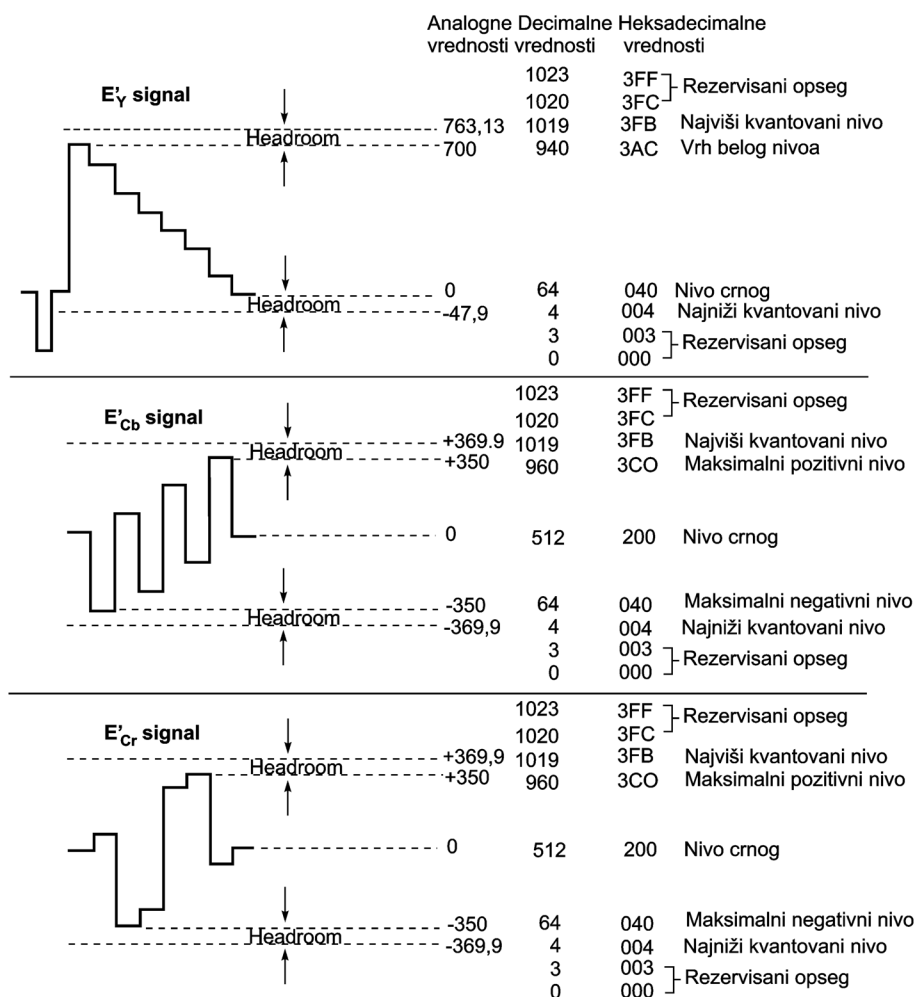
8.4.1. ODNOS IZMEĐU ANALOGNIH KOMPONENATA I DIGITALNIH ODMERAKA VIDEO-SIGNALA

Na slici 8.7 prikazan je odnos između analognih komponenata $Y'E'_U'E'_V$, koje odgovaraju signalu s kolor-barom bez redukcije amplituda, čiji se naponski nivoi izražavaju u milivoltima, i brojnih vrednosti u decimalnom i heksadecimalnom brojnem sistemu, za 10-bitne digitalne odmerke $Y'C'_bC'_r$, kao što je specificirano u standardu ITU-R BT.601 za SDTV. U 10-bitnom sistemu ima 1.024 kvantna nivoa u nizu od 0 do 1.023 u decimalnom brojnem sistemu, a 000 do 3FF u heksadecimalnom brojnem sistemu. Nivoi 000, 001, 002, 003 i 3FC, 3FD, 3FE, 3EF rezervisani su za indikaciju vremenskih referenci. Na slici se vidi da se sinhronizacioni impulsi ne odmeravaju, pa maksimalni opseg za kvantizaciju iznosi 1.016 nivoa od 4. do 1.019. Ovi kvantizacioni brojni nivoi predstavljaju digitalni ekvivalent analognog video-signala.

Normalizovani nivoi od 0 do 700 mV za Y signal obuhvaćeni su proširenim opsegom brojnih vrednosti od 64 do 940, a od toga kvantuje se ukupno 877 nivoa. Opseg koji se nalazi od 940. do 1.019. nivoa u gornjem delu i opseg od 4. do 64. nivoa u donjem delu (*Headroom*) rezervisani su za naponska premašnja iznad nivoa belog i ispod nivoa crnog.

Normalizovane vrednosti od 0 do 700 mV za hrominentne signale C_b i C_r obuhvaćene su proširenim opsegom od 64 do 960, a ukupan broj kvantizacionih nivoa je 897. Rezervisani opseg s nivoima koji se ne kvantuju nalazi se od 960. do 1.019. i od 4. do 64. nivoa.

Sistem sa 8-bitnim kvantovanjem imao bi 220 kvantizacionih nivoa za lumentnu komponentu Y i 225 kvantizacionih nivoa za obe hrominentne komponente C_b i C_r .



Slika 8.7. Odnos između analognih komponenta Y , E'_Y , E_V , izraženih u milivoltima, i numeričkih vrednosti 10-bitnih digitalnih odmeraka Y , C_b , C_r

8.4.2. BITSKI PROTOK I MEMORIJSKI KAPACITET ZA RAZNE DIGITALNE FORMATE VIDEO-SIGNALA

U multipleksu digitalne kamere u boji, kao na slici 8.6, sva tri kanala se vremenski multipleksuju u jedinstvenu povorku komponenta $C'_b Y' C'_r Y'$... sa paralelnih 8 ili 10 bita po odmerku za standardni ITU-BR BT.601 sistem, sa ukupnom učestanošću od:

$$13,5 \text{ MHz} + 6,75 \text{ MHz} + 6,75 \text{ MHz} = 27 \text{ MHz}.$$

Ako se kvantovanje obavlja sa 10 bita, dobija se ukupna bitska brzina, ili bitski protok:

$$(13,5 \times 10^6 \text{ Hz}) \times (10 \text{ bita}) (Y) + (6,75 \times 10^6 \text{ Hz}) \times (10 \text{ bita}) (U) + (6,7510^6 \text{ Hz}) \times (10 \text{ bita}) (V) = 270 \text{ MB/s.}$$

Za kvantovanje sa 8 bita, ukupna bitska brzina iznosi:

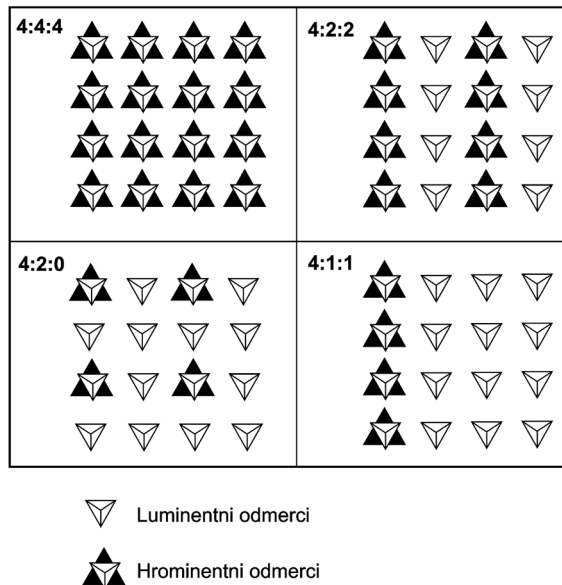
216 MB/s.

Za jednu aktivnu PAL sliku koja se kvantuje sa 8 bita, u skladu s ITU-R BT.601, potrebno je:

$$(720 \times 8 + 2 \times 360 \times 8) \times 576 = 829.440 \text{ Bajta, ili približno } 830 \text{ KB}$$

memorije po jednoj nekomprimovanoj slici. Ovaj podatak korisno je znati ako želimo da memorišemo nekomprimovane PAL slike pojedinačno ili u nizu koji predstavlja video-signal u određenom trajanju. Na primer, za memorisanje video-signala kvantovanog sa 8 bita u trajanju od jedne sekunde potrebna je memorija kapaciteta 830×25 , ili približno **21 MB**. Za jedan minut potrebno je $21 \times 60 = 1,26 \text{ GB}$ ili, što nam je nekada važnije znati, **na jedan GB memorije može se snimiti 47 sekundi nekomprimovanog video-signala kvantovanog sa 8 bita.**

Radne grupe za standarde i razmenu TV programa preporučuju za upotrebu i druge strukture odmeravanja pored 4 : 2 : 2. Na slici 8.8 preklapanjem i crnih i belih trouglova ilustrovan je zajednički prikaz i lumentnih i hrominentnih odmeraka za različite odnose učeštanosti odmeravanja, odnosno različite digitalne formate video-signala.



Slika 8.8. Zajednički prikaz i lumentnih i hrominentnih odmeraka za razne digitalne formate

U formatu 4 : 1 : 1, broj 1 pokazuje da se hrominentni signali odmeravaju sa 4 puta manjom učestanošću u odnosu na luminentni signal, odnosno sa 3,375 MHz.

U formatu 4 : 2 : 0, Y se takođe odmerava sa 13,5 MHz, a oba hrominentna signala sa 6,75 MHz, ali se jedna linija odmerava sa 4 : 0 : 0. Time se broj odmeraka smanjuje za 25% u odnosu na format 4 : 2 : 2, ali je rezolucija jednaka i u horizontalnom i u vertikalnom pravcu. Zbog toga se odnos učestanosti odmeravanja 4 : 2 : 0 primenjuje kada postoji potreba za znatnom redukcijom video-podataka, a da se pri tome slika previše ne degradira primenom nekog postupka za kompresiju slike.

Iako ima samo četvrtinu broja odmeraka za hrominentne signale, struktura odmeravanja 4 : 1 : 1 primenjena je u digitalnim magnetoskopima DVCPRO na 25 Mb/s, koji se koriste za kratke vesti i manje sportske prenose. Format DVCAM na 25 Mb/s koristi strukturu odmeravanja 4 : 2 : 0.

Alfa kanal odmerava se takođe sa 13,5 MHz, što se obeležava sa 4 : 2 : 2 : 4. Još kompleksniji uređaji rade sa strukturom odmeravanja 4 : 4 : 4 : 4. Uređaji visoke definicije rade i sa strukturom odmeravanja 8 : 8 : 8 : 8.

Važno je napomenuti da se u svim digitalnim uređajima obavlja progresivna vertikalna analiza bez proreda (*Non Interlaced*), odozgo nadole 50 puta u sekundi za PAL sistem. Postoje multisken-monitori na kojima se može prikazati i takav signal. Međutim, mora se voditi računa o tome da se u standardnim TV PAL monitorima koristi analiza s proredom. Zbog toga svi digitalni uređaji imaju ugrađene interlejs-korektore na izlazu, koji progresivno analizirane slike razdvajaju na parne i neparne poluslike, koje međusobno učešljavaju i pretvaraju ih tako u signal s proredom, (*Interlaced*), koji se može prikazati na TV PAL monitoru.

8.5. DIGITALNA TELEVIZIJA VISOKE DEFINICIJE – HDTV

Preporuke za komponentnu digitalnu televiziju visoke definicije – HDTV, sadržane su u standardu **ITU-R BT.709** za formate 1.250/50 i 1.125/60, u kojima se definišu vrednosti i struktura odmeravanja 4 : 2 : 2 i 4 : 4 : 4 i format slike 16 : 9. Učestanost odmeravanja je 74,25 MHz za luminentni signal, kao i za RGB signale, a hrominentni signali razlike boja C_b i C_r odmeravaju se sa duplo manjom učestanošću, 37,125 MHz. U svim slučajevima predviđeno je i 8 i 10 bita za kvantovanje odmeraka. Kolorimetrijske vrednosti za ITU-R BT.709 prikazane su u tabeli 4.3.

U dopunjenim preporukama **ITU-R BT.709-4** predviđen je HDTV sistem sa 1.080 aktivnih linija i 1.920 piksela po liniji, sa veličinom slike 16 : 9 i progresivnom analizom sa učestanošću slika (*frame rates*) 25 i 30 Hz, što se skraćeno obeležava sa:

HDTV 1.920 × 1.080 25(30) 1 : 1 16 : 9,

kao i sa analizom sa preredom i učestanošću poluslika (*field rates*) 50 i 60 Hz, što se skraćeno obeležava sa:

HDTV 1.920 × 1.080 50(60) 2 : 1 16 : 9.

Kao što se iz prethodnog vidi, svi navedeni formati u aktivnom delu digitalne slike (*Digital Active Line*) imaju isti broj linija 1.080 i isti broj piksela 1.920 po liniji. Razlike postoje samo u intervalima zamračenja video-signala, gde su u analognom obliku video-signala smešteni sinhronizacioni signali, koji se u komponentnim digitalnim sistemima ne koduju. U intervalu horizontalnog zamračenja (*Digital Line Blanking*) koduju se umesto sinhronizacionih impulsa prateći digitalni podaci (*Ancillary Data*), kao što su audio-signali i informacije za vremensko usaglašavanje digitalnih paketizovanih TV programa i za neophodnu sinhronizaciju MPEG dekodera za dekompresiju video-signala na prijemnoj strani. Za označavanje početka digitalne aktivne video-linije koriste se 4 kodne reči **SAV** (*Start of Active Video*), a za označavanje kraja digitalne aktivne video-linije koriste se 4 kodne reči **EAV** (*End of Active Video*). Na ovaj način postignuto je da se HDTV format 1.920 × 1.080 preporučuje kao osnova za zajednički format slike CIF (*Common Image Format*), koji je pogodan kako za HDTV proizvodnju tako i za međunarodnu razmenu programa.

Iz navedenih razloga u **Evropi** je prihvaćen HDTV format s veličinom slike 16 : 9, učestanošću odmeravanja od 74,25 MHz za analizu sa preredom 2 : 1 i učestanošću poluslika od 50 Hz, što se skraćeno obeležava:

HDTV, 1.920 × 1.080 50 2 : 1, 16 : 9, 74,25 MH.

Za progresivnu analizu 1 : 1 znamo da je potrebna duplo veća učestanost odmeravanja. Ona za ovaj HDTV format iznosi čak 148,5 MHz, što se skraćeno označava:

HDTV, 1.920 × 1.080 50 1 : 1, 16 : 9, 148,5 MHz.

Treba uočiti razliku u označavanju kompatibilnih HDTV formata gde je učestanost mreže 60 Hz, a koji se slično obeležavaju:

HDTV, 1.920 × 1.080 60 2 : 1, 16 : 9, 74,25 MHz

i

HDTV, 1.920 × 1.080 60 1 : 1, 16 : 9, 148,5 MHz.

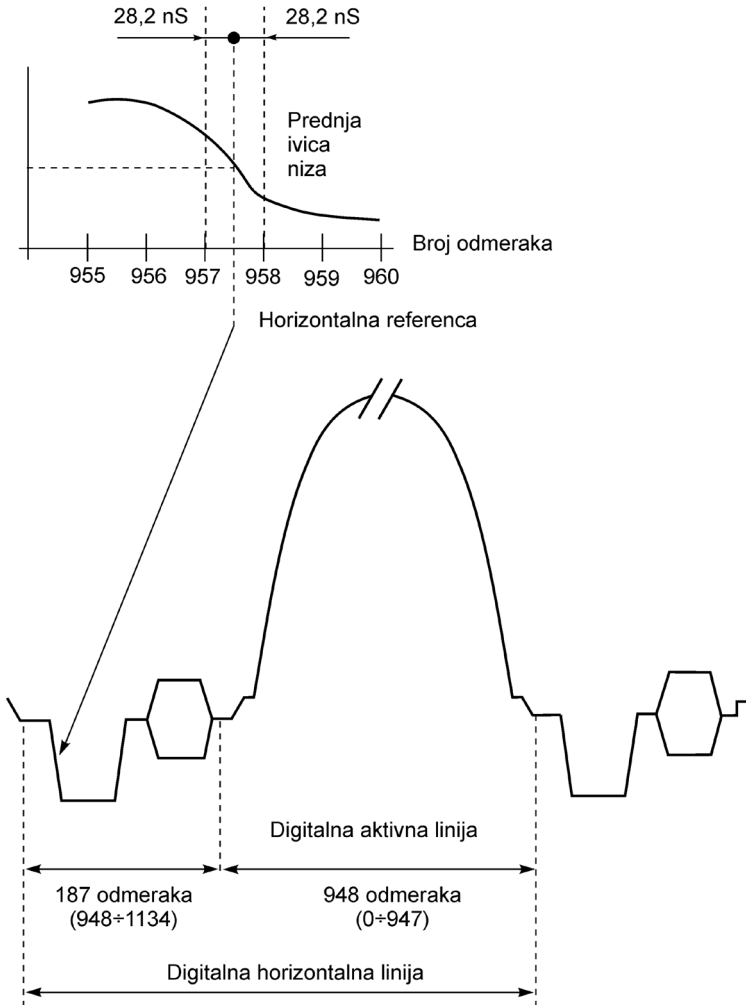
Vidi se da je učestanost odmeravanja 74,25 MHz za HDTV format ITU 709 čak 5,5 puta veća od učestanosti 13,5 MHz koja se koristi u SDTV standardu ITU-R BT.601. Međutim, i pored mnogo većeg frekvencijskog

opsega i bitskog protoka, kao i većih problema u elektronskoj realizaciji, iz tabele 4.3 može se zaključiti da je, u smislu osnovnih principa rada i kolorimetrijskih uslova, ovaj komponentni digitalni HDTV format samo proširena forma prikazanog standarda ITU-R BT.601 za komponentni digitalni SDTV format. Isto se može reći i za formate ITU-R BT.709-4.

8.6. DIGITALIZACIJA KOMPOZITNOG PAL VIDEO-SIGNALA

Razvojem digitalizacije video-signala omogućen je razvoj čitavog niza digitalnih komponentnih uređaja, počev od kamere, komponentnih magnetoskopa, uređaja za elektronsku montažu, sve do otpreme signala na predajnik bez potrebe za formiranjem složenih televizijskih signala. Međutim, u prelaznom periodu, pre potpune digitalizacije, digitalni uređaji treba da se sprežu s analognim uređajima koji rade s kompozitnim PAL i NTSC signalima. Da bi se izbeglo višestruko dekodovanje signala na komponente i ponovno kodovanje u kompozitni oblik, kod nekih digitalnih uređaja pogodnije je vršiti odmeravanje kompozitnog video-signala, kao, na primer, kod kompozitnih digitalnih magnetoskopa. Za razliku od digitalizacije komponentnih video-signala, pri čemu se ne prenose sinhronizacioni impulsi, kada se digitalizuje kompozitni video-signal, moraju se digitalizovati i impulsi za potiskivanje video-signala, zajedno sa ugrađenim sinhronizacionim impulsima, kao i sinhronizacioni signal boje. Odmeravanje kompozitnog signala sa učestanošću koja je umnožak samo linijske učestanosti a ne i učestanosti pomoćnog nosioca boje, nastalo bi specifično izobličenje koje se zove izbijanje oblika (*Bit Patterning*). Ovo izobličenje nastaje zbog intermodulacije učestanosti pomoćnog nosioca boje i učestanosti odmeravanja. Ovo izobličenje u potpunosti se otklanja izborom učestanosti odmeravanja, koja je istovremeno jednaka celobrojnom umnošku i horizontalne učestanosti, i učestanosti pomoćnog nosioca boje. U NTSC sistemu ovaj odnos iznosi tačno 4. Za PAL sistem tačna učestanost odmeravanja morala bi biti mnogo visoka, što bi zahtevalo preveliku brzinu rada kola i bitski protok. Zbog toga je i za PAL sistem usvojena približna vrednost učestanosti odmeravanja $f_0 = 4f_{sc} = 17.734.475,00$ Hz, pa je ovaj sistem i poznat kao **digitalni $4f_{sc}$ PAL standard**. Struktura odmeravanja koja odgovara ovoj učestanosti približno je ortogonalna, pa se odstupanje može zanemariti. Iz te učestanosti odmeravanja sledi da broj odmeraka u jednoj liniji iznosi f_0/f_h jednako približno **1.135**, sa 4 dodatna odmerka koja se pojavljuju unutar jedne slike zbog toga što učestanost odmeravanja nije tačan umnožak linijske učestanosti. Ukupan broj odmeraka u slici iznosi **$1.135 \times 625 = 709.379$** . Ovde je važno uočiti da je ovaj broj upravo jednak broju sapkerijer ciklusa u 4 slike ili 8 poluslika (*Eight Field Sequence*), jer

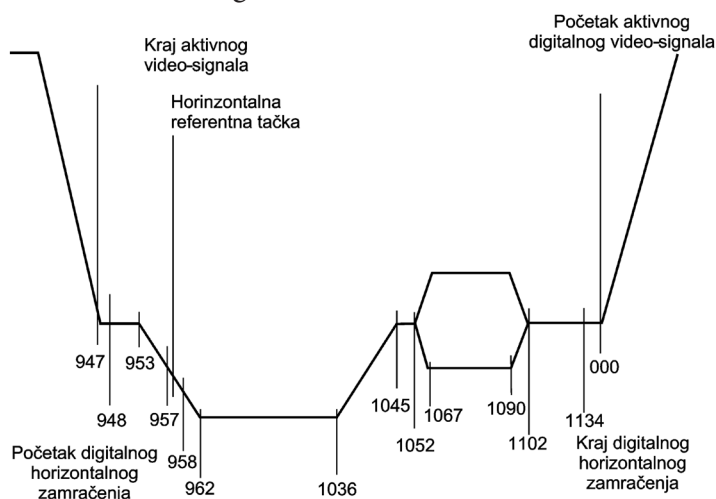
se PAL slika u potpunosti ponovi posle 8 poluslika, računajući i promene vektora V za 180 stepeni od linije do linije, $f_{sc}/25 = 177.344,75$ ciklusa po slici, pa je $4 \times 177.344,5 = 709.379$. Ovo je veoma važno za precizno određivanje PAL faze na mestu elektronskog reza pri elektronskoj montaži s magnetoskopima.



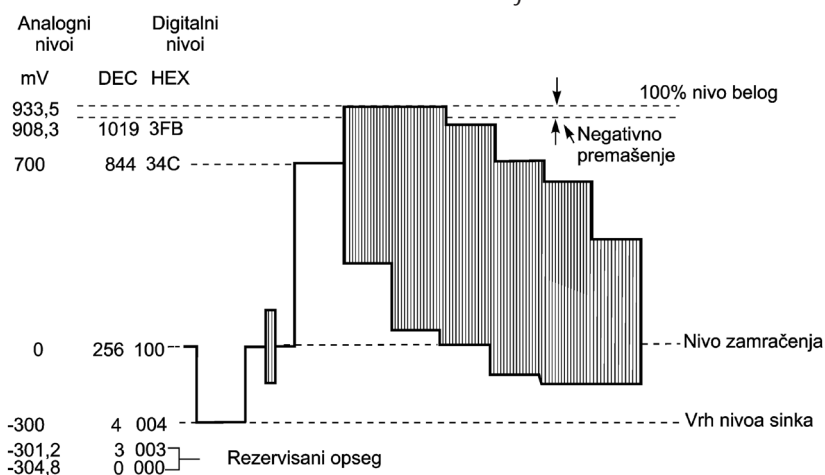
Slika 8.9. Digitalni $4f_{sc}$ PAL odmerci duž horizontalne linije

Broj odmeraka u digitalnoj aktivnoj liniji iznosi **948**. Očigledno je da je ova učestanost odmeravanja znatno viša od učestanosti za standard $4 : 2 : 2$, što znači da je potrebna i veća brzina rada kola i bitski protok. Na slici 8.9 prikazana je raspodela digitalnih $4f_{sc}$ PAL odmeraka duž jedne horizontalne linije. Na slici 8.10 prikazana je vremenska lokacija nekih karakterističnih odmeraka u intervalu horizontalnog zamračenja sa

ugrađenim horizontalnim sinhronizacionim impulsom i sinhronizacionim signalom boje. Digitalni $4f_{sc}$ PAL odmerci mogu se, takođe, kvantovati sa 8 ili 10 bita po odmerku. Na slici 8.11 prikazan je odnos između nivoa analognih PAL signala izraženih u mV i kodnih vrednosti za amplitude 10-bitnih odmeraka za signal s kolor-barom sa 100% zasićenim bojama pruga i 100% zasićenim amplitudama pruga, izraženih u decimalnom i heksadecimalnom brojnom sistemu. Kvantizacioni nivoi iznad 1.019 predstavljaju marginu za slučaj premašenja nivoa belog, a kvantizacioni nivoi od 0 do 3 i 1.023 rezervisani su za kontrolne svrhe i ne pojavljuju se kao amplitudna vrednost signala.



Slika 8.10. Lokacija nekih značajnih odmeraka unutar horizontalnog intervala zamračenja



Slika 8.11. Odnos između analognih PAL nivoa i vrednosti 10-bitnih odmeraka za stopocentni signal s kolor-barom

8.7. DIGITALNA TELEVIZIJA VEOMA VISOKE DEFINICIJE – ULTRA HDTV

Sedamdesetih godina 20. veka započet je razvoj digitalne televizije a međunarodna telekomunikaciona unija ITU zvanično je tek 1982. publikovala standard ITU-R BT.601 za prvu generaciju digitalne televizije standardne definicije – SDTV (720 x 576). Videli smo da su ovim standardom definisani najvažniji parametri za digitalizaciju komponentnih video-signala YCbCr za oba linijska TV sistema – PAL625 i NTSC525. Luminentni video-signal odmerava se sa 13,5 MHz, što je ceo umnožak linija i za PAL i za NTSC sistem. Struktura odmeravanja video-signala je 4 : 4 : 4, čime se dobija prostorno statična ortogonalna struktura odmeravanja. Pošto se tako dobija veliki broj digitalnih podataka, i pošto je ljudsko oko osjetljivije na smanjenje elemenata slike u sjajnosti nego u boji, broj hrominentnih piksela može da se smanji, pa su nastali i formati 4 : 2 : 2 i 4 : 2 : 0, čime se rezolucija boja smanjuje 2, odnosno 4 puta. Pošto se slike na ekranu moraju u potpunosti rekonstruisati za svaki piksel do pune RGB rezolucije, u televizorima se koristi interpolacija da bi se popunile informacije koje nedostaju. Duž aktivnog dela horizontalne linije dobija se 720 luminentnih odmeraka, tj. piksela, a po vertikali ima 576 aktivnih linija. Pošto luminentni signal, odnosno komponenta Y, određuje maksimalnu rezoluciju slike, stoga prostorna rezolucija slike u SDTV formatu iznosi $576 \times 720 = 414.720$ piksela po jednoj slici. Za aktivni deo linije broj odmeraka za oba hrominentna signala Cb i Cr je 360 i za PAL i za NTSC sistem. Odnos stranica slike je 4 : 3, tj. 1,33 : 1, gde visinu slike predstavlja 576 linija, a širina slike određena je sa 720 odmeraka na svakoj liniji. Svaki odmerak koduje se sa 8 ili 10 bitova.

Drua generacija digitalne televizije poznata je kao HDTV sa punom rezolucijom (*Full HDTV*), a ITU je 1990. godine publikovala zvanični HDTV format ITU-R BT. 709 sa najznačajnijim parametrima i kolorimetrijskim vrednostima. Videli smo da učestanost odmeravanja u HDTV sistemu s analizom sa proredom iznosi 74,25 MHz, što je, čak, 5 puta više od učestanosti 13,5 MHz koja se koristi u SDTV sistemu. To znači da HDTV televizija ima i 5,5 puta više elemenata slike i za toliko veću rezoluciju od SDTV televizije. Širina frekvencijskog opsega za hrominentni signal u SDTV sistemu je od 1 do 1,5 MHz, a u HDTV sistemu je od 7 do 10 MHz. Zbog toga su HDTV pokretne slike u boji mnogo vernija replika pokretnih slika s realne scene. U Evropi je prihvaćen HDTV standard za analizu slike sa proredom 2 : 1, sa učestanošću poluslika od 50 Hz, sa 1.920 piksela po liniji i 1.080 aktivnih linija po vertikali, pa je prostorna rezolucija takve HDTV slike $1.920 \times 1.080 = 2.073.600$ piksela po jednoj

slici, a veličina slike je 16 : 9. Ova dva kompatibilna HDTV formata s analizom sa proredom 2 : 1 i učestanošću mreže i poluslika 50 Hz i 60 Hz obeležavaju se zajedničkom oznakom:

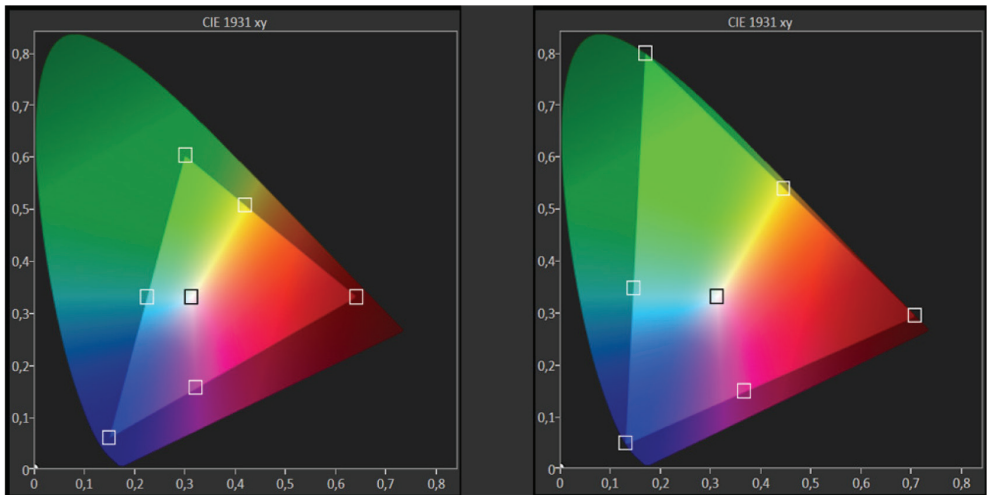
HDTV 1.920 × 1.080 50(60) 2 : 1 16 : 9 74,25.

Odgovarajući kompatibilni HDTV sistemi sa istom rezolucijom slike 1.920 × 1.080 i veličinom slike 16 : 9, ali sa progresivnom analizom slike 1 : 1 i sa učestanošću 25 Hz i 30 Hz, gde je potrebna duplo veća učestanost odmeravanja, tj. 148,5 MHz, prema dopunjenim preporukama ITU-R BT.709-4), obeležava se zajedničkom oznakom:

HDTV 1.920 × 1.080 25(30) 1 : 1 16 : 9 148,5.

Daljim poboljšanjem tehnologije u elektronskoj realizaciji televizijskih kola i kompresiji video-signala omogućeno je povećanje frekvencijskog opsega za odmeravanje video-signala i ukupne rezolucije u digitalnoj televiziji. Poznata japanska televizijska mreža NHK predložila je i treću generaciju digitalne televizije veoma visoke rezolucije pod nazivom **ULTRA HDTV** ili **UHDTV**. To je komponentni video-format sa veličinom slike 16 : 9 i sa progresivnim skeniranjem sa 10 ili 12 bitova po svakom digitalnom odmerku video-signala. Internacionalna televizijska unija ITU definisala je i odobrila 2012. godine odgovarajuće parametre i preporučila standard sa oznakom: **ITU-R BT.2020**. Razvijene su dve verzije ovih formata, od kojih prva ima rezoluciju video-signala sa duplo većim brojem piksela po jednoj liniji ($2 \times 1.920 = 3.840$) i duplo većim brojem vertikalnih linija ($2 \times 1.080 = 2.160$) u odnosu na drugu generaciju digitalne HDTV televizije. Prostorna rezolucija **UHDTV** slike je $3.840 \times 2.160 = 8.294.400$ piksela po jednoj slici, što je približno 4 puta više nego u *Full HDTV* formatu. Zbog toga je ovaj format dobio naziv **Quad Full HDTV**, a radi lakše identifikacije označava se oznakom **UHDTV 4K**.

Druga verzija ovog formata ima još 2 puta veću rezoluciju od **UHDTV 4K** sa 7.680 piksela po jednoj liniji i 4.320 vertikalnih linija. Prostorna rezolucija u ovom formatu je $7.680 \times 4.320 = 33.177.600$ piksela po jednoj slici, pa se radi lakše identifikacije ovaj format označava sa **UHDTV 8K**. Ovaj format ima 16 puta više piksela i 16 puta veću prostornu rezoluciju po jednoj slici od *Full HDTV* formata.



Slika 8.12. Na standardnom dijagramu boja CIE 1931 xy, na levom dijagramu prikazan je raspon boja za preporuke 709, a na desnom dijagramu prikazan je raspon boja namenjen UHDTV televizorima

Standardom ITU-R BT.2020 obuhvaćeno je 75,8% koordinatnog sistema na standardnom dijagramu boja prema standardu CIE 1931 xy, što znači da je RGB trougao boja na ovom dijagramu, slika 8.12, proširen i obuhvata veći spektar čistih zasićenih boja koje ljudsko oko može da vidi, a koje se najčešće i sreću u prirodi. Centar predstavlja referentnu belu svetlost D65, videti poglavlje 2.15. **Standardni CIE sistem** i sliku 2.12. Prema standardu ITU-R BT.2020 koordinate x i y hrominentnih signala za crveni primar R jesu $x = 0,708$ i $y = 0,292$, za zeleni primar G su $x = 0,170$ i $y = 0,797$, za plavi primar B su $x = 0,131$ i $y = 0,046$, a koordinate za referentnu belu svetlost D65 su $x = 0,3127$ i $y = 0,3290$. U linearnoj matrici kamere vrednosti FCC/CIE koeficijenata sjajnosti za luminentni signal biraju se tako da digitalizovani stepenasti oblik luminentnog signala koji kamera snima ima linearnu karakteristiku, čime se obezbeđuje velika ukupna oštrina slike, a dva hrominentna signala redukuju se po amplitudi, čime se zadovoljava princip konstantne sjajnosti u kameri da ne bi nastala izobličenja sjajnosti, kao ni kolorimetrijska izobličenja u reprodukovanoj slici u odnosu na realnu scenu koja se snima, videti poglavlje 4.2.11. **Redukcija amplitude hrominentnih signala** i tabelu 4.3.

Matematički izrazi za luminentni signal i 2 hrominentna signala sa offset naponima, prema standardu ITU-R BT.2020 jesu:

$$Y' = 0,2627R' + 0,6780G' + 0,0593B',$$

$$C'_b = (B' - Y')/1,9814,$$

$$C'_r = (R' - Y')/1,4746.$$

Standard UHDTV ITU-R BT.2020 podržan je novim MPEG HEVC/AVC koderima za kompresiju video-signala i neophodnu sinhronizaciju MPEG dekodera za dekompresiju video-signala na prijemnoj strani.

Znatno povećanom rezolucijom UHDTV 4K i 8K formata omogućuje se znatno veća količina informacija na ekranu televizora, a time i realističniji prikaz televizijske slike, posebno na ekranima sa dijagonalama većim od 140 centimetara, tj. 55 inča. Na standardnom dijagramu boja CIE 1931 xy, slika 2.12 i slika 8.12 na levoj strani slike, prikazan je raspon boja unutar površine trougla RGB koje se najčešće sreću u prirodi i koje se mogu uspešno reprodukovati pomoću fosfora u kolor-cevima TV prijemnika, prema preporukama 709. Na desnom dijagramu prikazan je znatno veći RGB trougao i veći raspon boja namenjen UHDTV televizorima. Zbog toga su vodeći proizvođači televizora odmah od 2012. godine započeli razvoj novih HDTV televizora, koji mogu da prikazuju i UHDTV 4K i 8K snimke. Na slici 8.13 prikazan je uporedni snimak HDTV slike, levo i UHDTV slike, desno.



Slika 8.13. Uporedni prikaz HDTV slike, levo i UHDTV slike, desno

Statični snimak u UHDTV rezoluciji izgleda veoma jasno, sa mnogo više detalja i mnogo više realnih boja iz prirode koje se mogu uspešno reprodukovati u statičnoj slici, ali čim kamera počne da se pomera, broj detalja u slikama se smanjuje zbog ograničenja tehnologije ekrana, posebno na LCD ekranima bez mogućnosti interpolacije slika, kao zbog ograničenih vizuelnih mogućnosti oka. Poboljšanje se postiže povećanjem broja slika u

sekundi, čime se povećava i broj detalja na objektima u pokretu. Znamo da naš vizuelni sistem prestaje da razlikuje sjajnost i boju diskretnih susednih elemenata slike iznad određene gustine, pa takvu sliku zapažamo kao integralnu celinu, koja je analogna snimljenim detaljima s realne scene. Naše oko prestaje da razlikuje i linijsku strukturu ako se broj linija poveća preko 900 linija. Zbog toga, ako se na UHDTV ekran televizora priključi sadržaj slike s veoma visokom HD rezolucijom, takav sadržaj slike mora se prilagoditi tehničkim mogućnostima ekrana. Taj process naziva se **skaliranje**. I pored veoma usavršene UHDTV tehnologije, televizori će morati da se zadovolje skaliranjem, odnosno prilagođenom slikom ulaznog UHDTV video-signala.

Znatno veća oštrina detalja na UHDTV ekranu omogućuje da posmatrač može da posmatra slike i sa manje udaljenosti. Pošto je karakteristika čula vida šira u horizontalnom nego u vertikalnom pravcu, slika će izgledati realnije ako se gleda na širem ekranu sa odnosom stranica 16 : 9. Preporučljivo rastojanje posmatranja ekrana sa odnosom stranica 4 : 3 jeste 7,1 H, gde je H visina ekrana, a rastojanje posmatranja 16 : 9 ekrana smanjeno je na 3,3 H. S obzirom na veoma veliku gustinu piksela, UHDTV slike mogu da se posmatraju i sa udaljenosti koja nije veća od dve dijagonale, radi uočavanja svih detalja u slici na televizorima čije su dijagonale ekrana veće od 140 centimetara, tj. 55 inča. UHDTV televizori koriste HDMI (*High Bandwidth Digital Multimedia Interface*) softverske ulaze verzije 2.0, koji podržavaju UHDTV signale do 60 slika u sekundi.

Pored mnogo prednosti koje donosi televizija UHDTV 4K i 8K, postoje i neki nedostaci, kao i na početku razvoja svake nove tehnologije. Kompleksnost i cene UHDTV uređaja su povećane, a nije precizno definisano ni koju strukturu odmeravanja je bolje koristiti u UHDTV standardu, da li 4 : 2 : 2 ili 4 : 2 : 0, kao ni koliki broj bitova koristiti za kodovanje sjajnosti crvene, zelene i plave boje, odnosno koliku dubinu boje koristiti. Smatra se da će daljim razvojem i usavršavanjem, kroz iskustva u sadašnjem UHDTV 4K i 8K u potpunosti potisnuti iz upotrebe prethodni HDTV sistem.

8.8. KLJUČNI POJMOVI

Digitalni video. A/D konverzija. D/A konverzija. Odmeravanje. Kvantovanje. Kodovanje. Učestanost odmeravanja. 13,5 MHz. 6,75 MHz. Nikvistov uslov. Odmerak. Furijeova analiza. Kvant amplitude. Kvantovanje sa 8 ili 10 bita po odmerku. ITU-R BT.601. Binarna reč. Struktura odmeravanja. Prostorno statična ortogonalna struktura odmeravanja. $Y C_b C_r$. Format 4 : 2 : 2. Format 4 : 1 : 1. Format 4 : 4 : 4. Luminentni odmerci. Hrominentni odmerci. Ukupan broj odmeraka duž aktivnog dela horizontalne linije $720 + 360 + 360 = 1.440$. Greška kvantovanja. Dider-signal. Digitalna kamera. SDTV. HDTV. Bitski protok 270 MB/s ili 216 MB/s. Memorisanje video-signala. Format slike 16 : 9. SAV. EAV. 1.920×1.080 50 2 : 1 16 : 9, 74,25 MHz. Digitalna horizontalna linija. Digitalna aktivna linija. Broj odmeraka. UHDTV, UHDTV 4K i 8K, UHDTV televizori. Skaliranje.

8.9. PITANJA I ZADACI ZA OBNAVLJANJE GRADIVA

1. Da li se analogni PAL video-signal digitalizuje i po vertikali i po horizontali?
2. Zašto je povoljnije digitalizovati YUV komponente video-signala umesto RGB komponentata?
3. Koje operacije je potrebno obaviti da bi se realizovala digitalizacija kontinualnih analognih signala?
4. Kako glasi teorema odmeravanja?
5. Na šta se može konvertovati svaka složenoperiodička funkcija vremena, pa i video i audio signala, pomoću Furijeove analize i kakav je fizički smisao takve konverzije?
6. Objasniti princip odmeravanja na pojednostavljenom modelu elektronskog prekidača.
7. U čemu se sastoji postupak kvantovanja?
8. U čemu se sastoji postupak kodovanja?
9. Šta predstavlja binarna reč na izlazu A/D konvertora?
10. Da li se pri žičnom ili bežičnom digitalnom prenosu prenose strujni ili naponski signali?
11. Koliko digitalnih odmeraka se može kodovati sa n bita?
12. Ako se amplituda linearnog analognog signala menja od 0 mV do 15 mV i ako se za 1 kvant amplitude upotrebi 1 mV, napisati sve vrednosti digitalnih odmeraka u binarnom brojnom sistemu.

13. Koliko iznosi maksimalna vrednost greške kvantovanja?
14. Na koji način se ublažava uočljiva stepenasta struktura kvantovanja?
15. Kolika je učestanost odmeravanja lumentnog Y-signala i hromincentnih C_b i C_r signala prema internacionalnom standardu ITU-R BT.601?
16. Na koji način je obezbeđena prostorno statična ortogonalna struktura odmeraka pri digitalizaciji PAL i NTSC video-signala prema internacionalnom standardu ITU-R BT.601?
17. Koliki je broj odmeraka po celoj liniji, a koliki po aktivnoj liniji za PAL i NTSC sistem, prema internacionalnom standardu ITU-R BT.601?
18. Izračunati ukupnu bitsku brzinu ako se video-signal kvantuje sa 10 bita prema internacionalnom standardu ITU-R BT.601.
19. Izračunati koliko je potrebno kilobajta memorije po jednoj nekomprimovanoj slici, koja se kvantuje sa 8 bita u skladu sa ITU-R BT.601.
20. Izračunati koliko sekundi nekomprimovanog video-signala, kvantovanog sa 8 bita u skladu sa ITU-R BT.601, može da se snimi na 1 GB memorije.
21. Za koliko se smanjuje broj odmeraka u formatu odmeravanja 4 : 1 : 1 i 4 : 2 : 0 u odnosu na format odmeravanja 4 : 2 : 2?
22. Šta se obeležava skraćeno sa HDTV 1.920 × 1.080 25(30) 1 : 1 16 : 9, 148,5 MHz?
23. Koji HDTV standard je prihvaćen u Evropi?
24. Koliko puta je veća učestanost odmeravanja u HDTV standardu ITU-R BT.709 u odnosu na učestanost odmeravanja u SDTV standardu ITU-R BT.601?
25. Kolika je učestanost odmeravanja video-signala u $4f_{sc}$ PAL standardu?
26. Kolike su prostorne rezolucije slika za formate SDTV, HDTV, UHDTV 4K i UHDTV 8K.
27. Koliki procenat čistih zasićenih boja je obuhvaćen UHDTV standardom na RGB trouglu boja prema standardu CIE 1931 xy?

9 |

SPREZANJE DIGITALNIH UREĐAJA PREMA STANDARDU ITU-R BT.656

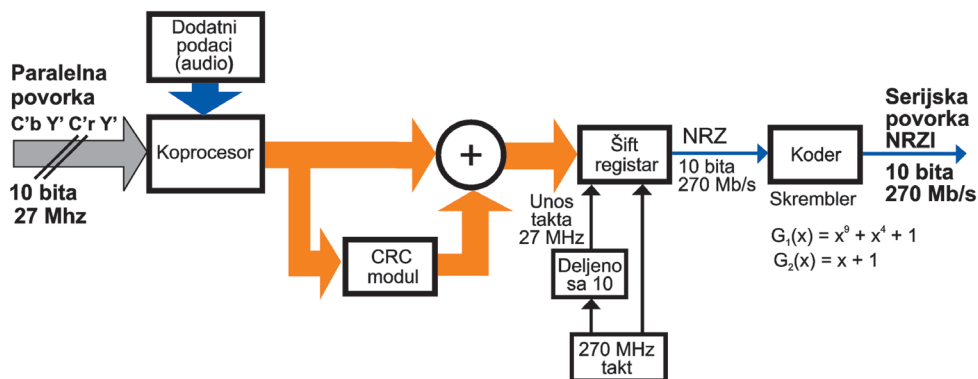
Povezivanje digitalnih uređaja pomoću paralelnog interfejsa i istovremenim prenošenjem svih bita jedne kodne reči zahteva veliki broj kablova i višepinske konektore, pa nije praktično za velike dužine. Zbog toga se paralelni interfejs koristi za povezivanje komponentnih digitalnih ostrva s kablovima ne dužim od 50 metara.

Postoji očigledna potreba da se digitalni video-signal prenoše na veće udaljenosti jednim koaksijalnim kablom, što nije lako ostvariti, naročito za velike bitske brzine. Paralelni digitalni video-podaci koji se dobijaju na izlazu digitalne kamere, kao na slici 8.5, ne mogu biti jednostavno konvertovani u serijsku povorku bita. Serijski signal mora pre prenosa da se modifikuje tako da omogući njegovo vraćanje u osnovni oblik, da obezbedi pravilne ivice signala da bi se pouzdano prepoznao takt-signal, da se smanji uticaj smetnji pri prenosu i slično.

9.1. SERIJSKI DIGITALNI INTERFEJS – SDI

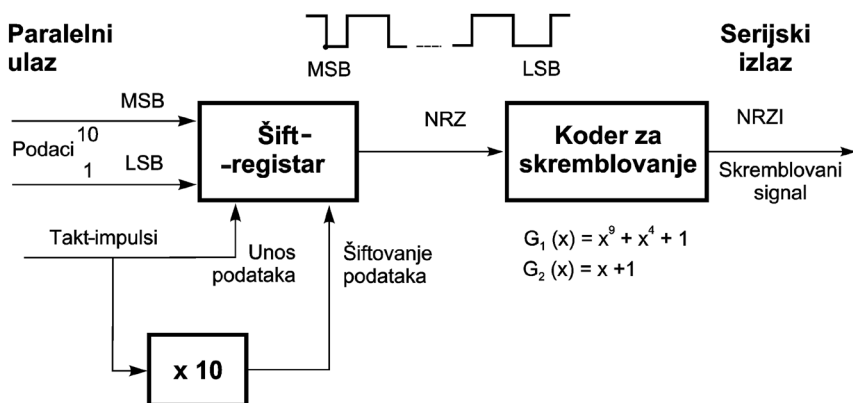
Da bi se rešili problemi prenosa digitalnih komponentnih signala po jednom koaksijalnom kablom, danas se koristi kanalno kodovanje 10-bitnim skremblovanim interfejsom nezavisnim od polariteta signala. Ovaj postupak poznat je kao serijski digitalni interfejs – **SDI** (*Serial Digital Interface*), prihvaćen u Americi kao **SMPTE 259M** i u Evropi kao **EBU Tech.3267**. Ovaj standard definisan je za bitski protok nekomprimovanog video-signala od 270 Mb/s, strukturu odmeravanja 4 : 2 : 2 i kvantizaciju sa 10 bita, a u skladu sa standardom ITU-R BT.601. Pošto se pri digitalizaciji komponentnih video-signala ne digitalizuju sinhronizacioni impulsi, radi sinhronizacije video-signala između predajnika i prijemnika koriste se kodne reči za početak – **SAV** (*Start of Active Video*) i kraj aktivnog videa – **EAV** (*End of Active Video*). Svi navedeni uslovi za međusobno sprezanje digitalnih uređaja, kao i uslovi

za multipleksovanje digitalnih Y' , C'_b , C'_r video-podataka unutar 1.440 reči aktivnog dela horizontalne linije, definisani su međunarodnim standardom ITU-R BT.656, tako da se na izlazu dobije samo jedan serijski signal.



Slika 9.1. Blok-dijagram SDI serijalizera

Kompletan blok-dijagram za serijalizaciju paralelnih 10-bitnih C'_b , Y' , C'_r , Y' podataka **učestanosti 27 MHz**, sa izlaza kamere kao na slici 8.6, koji predstavljaju odmerke ulaznog analognog video-signal, obavlja se prema blok-dijagramu na slici 9.1. Koprosesor se koristi da se paralelnom strimu ulaznih podataka dodaju vremenski referentni signali, digitalni audio-signali formirani prema AES/EBU standardu, kao i drugi dodatni podaci (*ancillary data*). CRC modul (*Cyclic Redundancy Check*) koristi se za prepoznavanje grešaka u digitalnim podacima. Zatim se ova povorka od 10 paralelnih bita uvodi u šift-registar, serijski jedan po jedan bit sa učestanošću takt-impulsa od 27 MHz, počev od bita s najnižom težinskom vrednošću **LSB** (*Least Significant Bit*), do desetog bita s najvišom težinskom vrednošću **MSB** (*Most Significant Bit*), slika 9.2.



Slika 9.2. Paralelno-serijska konverzija

Iščitavanje iz šift-registra obavlja se u ritmu takt-impulsa od 270 MHz, koji je 10 puta veći od učestanosti impulsa na ulazu u šift-registar, tako da se na izlazu šift-registra dobija **bitska brzina od 270 Mb/s**. Ako je ulazni video-odmerak kodovan sa paralelnih 8 bita, ovaj serijalizator će usnimiti dve logičke nule na prva dva LSB mesta da bi se kompletirala puna 10-bitna serijska reč na izlazu šift-registra. Serijski digitalni strim na izlazu šift-registra, koji je u impulsnom NRZ kodu, vodi se u koder za skremblovanje, koje se obavlja po matematičkom algoritmu na osnovu dve funkcije:

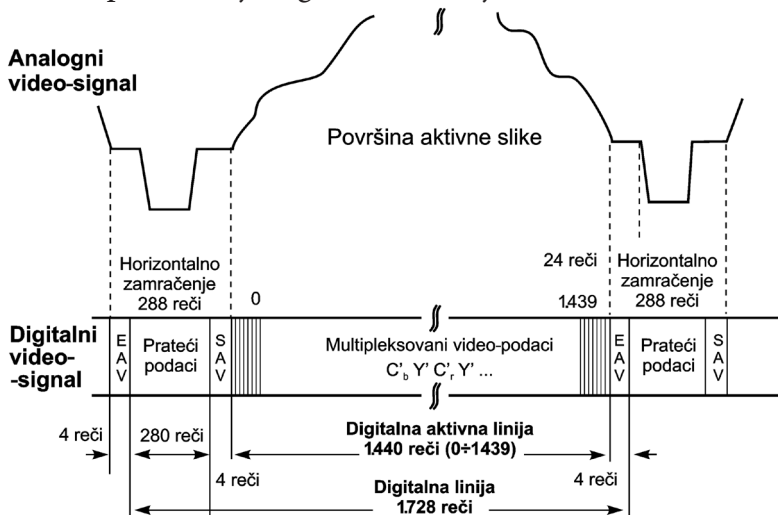
$$G1(X) = X^9 + X^4 + 1 \text{ i } G2 = X + 1.$$

Na izlazu koder za skremblovanje dobija se serijska 10-bitna reč u NRZI kodu, bitske brzine 270 MB/s.

9.2. DIGITALNA TV LINIJA GENERISANA PREMA STANDARDU ITU-R BT. 656

Pošto se u digitalnom strimu ne prenose sinhronizacioni impulsi, u intervalu horizontalnog zamračenja za označavanje početka aktivnog videa prenose se 4 kodne reči SAV, a za označavanje kraja aktivnog videa 4 kodne reči EAV.

Posle EAV-a u preostalom intervalu horizontalnog zamračenja, dužine 280 kodnih reči, prenose se **prateći podaci** (*ancillary data*), od kojih su svakako najznačajniji digitalni audio-signali, vremenski kodovi za vremenske reference neophodni za sinhronizaciju paketa na prijemnoj strani i drugi prateći podaci koji su definisani standardom ITU-R BT.656 za međusobno povezivanje digitalnih uređaja.



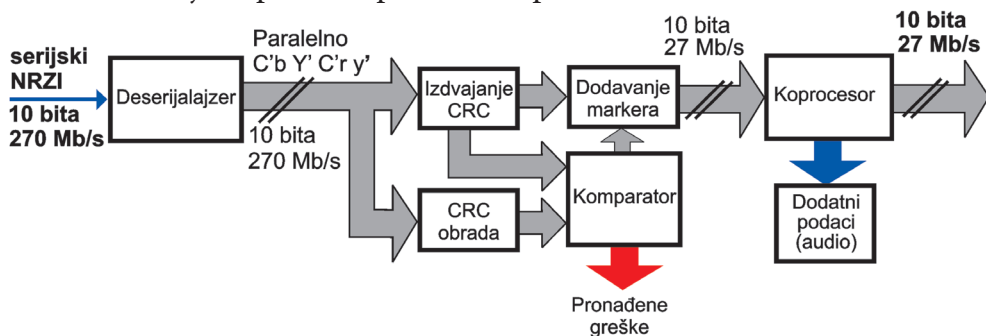
Slika 9.3. Uporedni prikaz jedne digitalne linije i analogne 625/50 linije

Na slici 9.3 ilustrovan je uporedni prikaz vremenskih odnosa jedne **digitalne linije generisane prema standardu ITU-R BT.656** i odgovarajuće analogne 625/50 linije. Digitalna linija počinje sa 280 digitalnih reči za prateće audio i druge podatke. Za identifikovanje početka digitalne video-linije koriste se 4 SAV reči. Digitalna aktivna linija, koja odgovara površini aktivne slike u analognoj video-liniji, sastoji se od 1.440 **multipleksovanih** video-podataka $C'_b Y' C'_r Y'$. Multipleksovanje se izvodi na poseban način u skladu sa standardom za kompresiju video-signala. Kraj digitalne linije identifikuje se sa 4 reči EAV. Ukupno, cela digitalna linija sastoji se od 1.728 digitalnih reči. Sa slike 9.3 vidi se da se interval horizontalnog zamračenja analogne video-linije koduje sa ukupno 280 digitalnih reči predviđenih za EAV, prateće podatke i SAV. Ovim standardom definisane su i električne karakteristike interfejsa, kao i mehanički detalji konektora za povezivanje digitalnih uređaja.

9.3. SDI DESERIJALAJZER

Na prijemnoj strani mora se obaviti inverzija ovog algoritma pomoću odgovarajućeg deserijalajzera i postupka deskremblovanja da bi se na njegovom izlazu dobili korektni paralelni 10-bitni digitalni podaci učestanosti 27 MHz, identični onima na ulazu u serijalajzer, odnosno pre prenosnog puta. Blok-dijagram SDI deserijalajzera ilustrovan je na slici 9.4.

NRZ je poznati kôd gde se promena polariteta impulsa koduje tako što se viši naponski nivo impulsa koduje sa „1” a niži sa „0”. Na prijemnoj strani detektuje se polaritet prenetih impulsa.



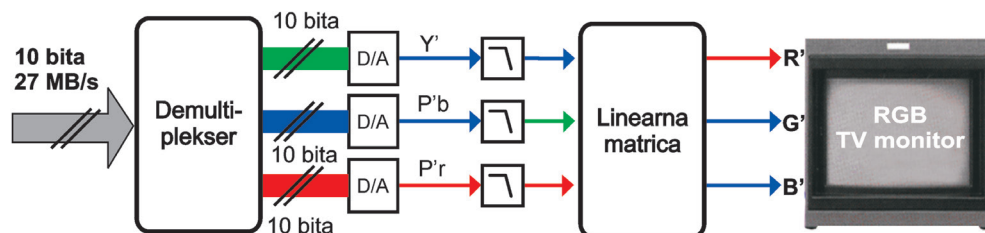
Slika 9.4. SDI deserijalajzer

Pri prenosu velikog broja bita postiže se veća pouzdanost ako se na prijemnoj strani detektuju promene logičkih nivoa, a ne njihov polaritet.

NRZI kôd obavlja invertovanje na „0” u ritmu takt-impulsa, uvek kada je ulazni podatak na nivou logičke jedinice, dok se invertovanje sa

„2” na „1” ne obavlja. Zbog toga se ulazni podaci prenose i detektuju na prijemniku samo kada su na nivou „1”, a ne prenose se kada su na nivou „0” Iz tog razloga je uvedeno i **skremblovanje**, jer se na taj način obezbeđuje kompletan i pouzdan prenos digitalnih podataka i u slučajevima kada se prenosi velika količina bita.

SDI je, dakle, omogućio prenos nekomprimovanih video i audio signala između uređaja na veoma velika rastojanja. Ako bismo sada želeli da ocenimo kvalitet SDI prenete R'G'B' slike, prikazane na slici 9.5, onda treba da je uporedimo sa izvornom analognom slikom sa RGB kamere na RGB monitoru, slika 4.2.



Slika 9.5. Rekonvertovanje paralelnih digitalnih podataka u analogne R'G'B' signale

Da bi se dobili R'G'B' signali od paralelnih 10-bitnih podataka bitske brzine 27 MB/s sa izlaza deserijalizera, ovi podaci se najpre **demultipleksuju** u luminentni strim i dva hrominentna digitalna strima, koji se zatim konvertuju u analogne signale pomoću tri D/A konvertora. Ovi signali se, zatim, propuštaju kroz niskopropusne filtre da bi se eliminisale stepenaste ivice koje zaostaju posle D/A konvertora i uobličili analogni oblici signala i, na kraju, u linearnoj matrici ovi signali vraćaju se u originalni R'G'B' oblik, kao što je ilustrovano na blok-dijagramu 9.5.

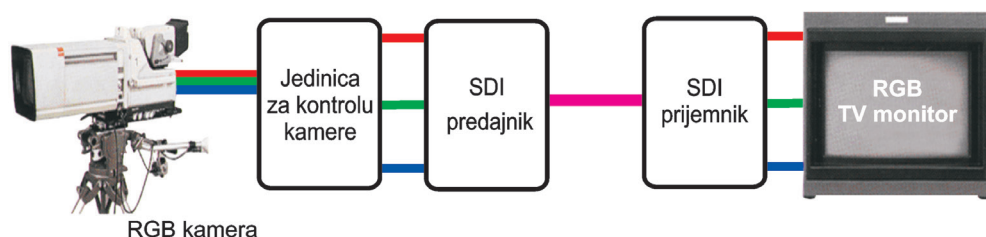
9.4. SERIJSKI DIGITALNI INTERFEJS – SDTI

SDI jeste omogućio jednosmerni prenos nekomprimovanih video i audio signala između uređaja, ali bez mogućnosti kontrole i ponovnog slanja oštećenih informacija. Međutim, s pojavom digitalnih formata za komprimovanje video-signala: DV, DVCAM, DVCPRO, Betacam SX, Digital S, MPEG-2 video i MPEG-2 audio, pojavila se i potreba za prenosom komprimovanih i paketizovanih povorki video i audio signala. Zbog toga je razvijen novi standardni interfejs **SDTI** (*Serial Digital Transport Interface*), označen kao **SMPTE 305M**. SDTI je razvijen na bazi SDI i u skladu sa standardima za Sonijev digitalni kamkorder **DVCAM** interfejs QSDI, Sonijev digitalni magnetoskop **BETACAM SX** interfejs SDDI i Panasonicov digitalni magnetoskop **DVCPRO** interfejs CSDI, a urađene

su i direktne kodne mape za digitalne kamkordere **HD-CAM**, DV-DIFF i Digital S, kao i za transportne strimove MPEG-2. Zbog toga su ustanovljene i kodne reči i **za nekomprimovane i za komprimovane video-signale**, koji se prenose unutar vremenskog intervala i povorke aktivnog dela video-signala sa **bitskim protokom od 200 Mb/s, na prenosnom kanalu od 270Mb/s**. U jednom SDTI paketu može se prenositi više komprimovanih video-signala po istoj mreži bez **kolizije paketa**, odnosno preopterećenja protoka, **čime se postižu protoci veći od realnog televizijskog vremena**. Takođe, mogu se prenositi i multipleksovani komprimovani signali pri emitovanju. SDTI omogućuje i uspostavljanje jednosmerne veze, kao i SDI, pri prenosu komprimovanih podataka od predajnika ka prijemniku. Pri tome, nisu potrebni nikakvi mehanizmi rukovanja niti protokol potvrde prijema. Takođe, **SDTI koristi standardne 75-omske koaksijalne kablove i BNC konektore** za uspostavljanje fizičke veze i prenos signala između digitalnih uređaja. Zbog svega navedenog, **SDI i SDTI mogu zajedno da se upotrebljavaju u TV centru koristeći iste distribucione pojačivače i SDI/SDTI rutere**, pri čemu postoji dodatna kodna informacija na osnovu koje se identifikuju video-linije koje nose SDTI informacije.

9.5. PRENOS DIGITALNIH SIGNALA PO JEDNOM KOAKSIJALNOM KABLU

Serijski digitalni interfejs – SDI, omogućio je, dakle, prenos digitalnih video-signala na veoma velika rastojanja po jednom koaksijalnom kablju. Ako sada želimo da ocenimo kvalitet ovako prenetih digitalizovanih slika po jednom koaksijalnom kablju od SDI predajnika do SDI prijemnika, onda je treba uporediti sa kvalitetom prenosa NTSC/PAL slika po jednom koaksijalnom kablju od NTSC/PAL kodaera do NTSC/PAL dekodera, kao na slici 4.25.



Slika 9.6. Prenos digitalnih komponentnih signala po jednom koaksijalnom kablju

Posmatranje R'G'B' signala na RGB monitoru posle SDI prenosa na velike udaljenosti može se predstaviti uprošćenom vezom, kao na slici 9.6. Oznaka SDI predajnik (*SDI Transmitter*) odnosi se na serijalajzer, a

deserijalizator i rekonvertor paralelnih digitalnih podataka u analogne signale R'G'B' označeni su zajedničkom oznakom SDI prijemnik (*SDI Receiver*). Ovakva veza prenosa digitalnih SDI video-signala nije mnogo kompleksnija od prenosa NTSC/PAL video-signala, slika 4.25, ali ima mnogo bolje performanse.

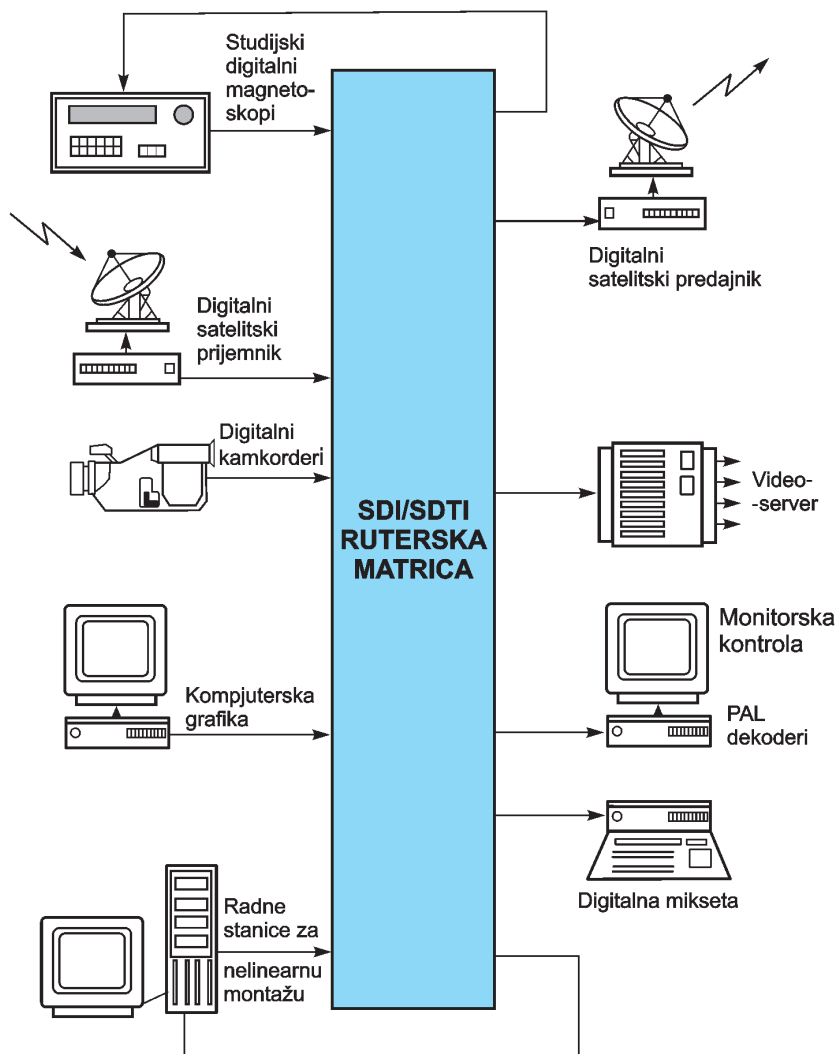
Energija u jednom prenosnom koaksijalnom kابلu sada je sadržana u digitalnim podacima čija je bitska brzina 270 MB/s za signale standardne definicije SDTV, a 1.485 MB/s za signale visoke definicije HDTV, uz pouzdan prenos velike količine bita, što se obezbeđuje postupkom skremblovanja. HDTV signali moraju se najpre komprimovati ako želimo da ih prenosimo sa klasičnim propusnim opsegom NTSC/PAL kanala, dok se SDTV signali mogu direktno prenositi klasičnim koaksijalnim kablovima unutar TV centra, kojima se prenose i NTSC/PAL signali.

9.6. RUTIRANJE SDI / SDTI PAKETA UNUTAR TV CENTRA

SDI se koristi za rastojanja i do 300 metara za prenos digitalnih video-signala bakarnim koaksijalnim 75-omskim kablovima sa standardnim BNC konektorima, kao i za analogni PAL signal, što je veoma praktično. Pomoću optičkih kablova prenos se može obavljati i na rastojanjima do 20 kilometara. Za postizanje većih rastojanja mogu se koristiti SDI repetitori. SDI omogućuje brzo **rutiranje** pomoću serijske digitalne SDI komutacione matrice na direktnim vezama tačka-tačka.

SDTI ima mogućnost adresiranja i komutiranog prenosa bez kolizije paketa, što omogućuje raznovrstan saobraćaj različitog intenziteta od tačke do više tačaka. Ipak, prenos u takvim mrežama je ograničen na nekoliko desetina linija da bi se obezbedio pouzdan prenos paketa bez oštećenja. Programi obično sadrže potpunu dokumentaciju o podacima i zaglavlje s kontrolnim paketom za prijemni uređaj. Takođe, programi se štite od oštećivanja podataka i primenom **FEC** (*Forward Error Correction*) zaštite. Pored velike prednosti SDTI što može da prenosi i nekomprimovane i komprimovane TV pakete u bilo kom formatu komprimovanja, on može i direktno da se spreže sa PC video-karticama pomoću dodatnih SDI/SDTI adapterskih kartica, a postoje adapteri i za internet-protokol – IP. Na taj način je omogućeno da se SDI/SDTI paketi mogu rutirati od izvora, kao što su digitalne kamere, magnetoskopi, grafičke stanice, nelinearne montaže, IP izvori, satelitski digitalni prijemnici, do svojih destinacija unutar TV centra, kao što su digitalne video-miksete, video-serveri, sistemi za arhiviranje, dekoderi na PAL monitorima, digitalni satelitski predajnici i drugi uređaji. Na slici 9.7 ilustrovan je tipična **SDI/SDTI infrastruktura** u jednom potpuno digitalnom TV centru.

Primarna i najznačajnija primena interfejsa SDI/SDTI jeste transfer digitalnih video i audio materijala od računarskih nelinearnih montaža i ka njima u video-server okruženju u potpuno digitalizovanim i umreženim TV centrima. Na taj način se ostvaruje ceo digitalni lanac za prikupljanje i razmenu TV materijala i neposredan brz interoperabilan prenos i digitalna montaža u TV produkciji sa višestrukim istovremenim pristupom digitalnim datotekama u video-serveru, kao i brza priprema za distribuciju i digitalno emitovanje TV programa.



Slika 9.7. Tipična SDI/SDTI infrastruktura u digitalnom TV centru

9.7. KLJUČNI POJMOVI

Sprezanje digitalnih uređaja. ITU-R BT.656. Serijski digitalni interfejs. SDI. SDTI. SAV. EAV. Serijalizacija. Deserijalizacija. Digitalni strim. Skremblovanje. Bitski protokol. LSB. MSB. Takt-impulsi. NRZ. NRZI. Digitalna TV linija. Digitalna aktivna linija. Multipleksovanje. Demultipleksovanje. Komprimovani video-signal. Nekomprimovani video-signal. Prenos digitalnih signala. Digitalni ruter. SDI predajnik. SDI prijemnik. Digitalni paket. SDI/SDTI paket. Digitalni TV centar. Digitalni magnetoskop. Digitalni kamkorder. Računarska grafika. Radna stanica. Digitalna mikseta. Digitalna nelinearna montaža. Internet-protokol – IP. Video-server. Umreženi TV centar.

9.8. PITANJA I ZADACI ZA OBNAVLJANJE GRADIVA

1. Koji uslovi su definisani međunarodnim standardom ITU-R BT.656?
2. Kako se ostvaruje serijalizacija paralelnih 10-bitnih ili 8 bitnih digitalnih $C'_b Y'_r C'_r Y'$ podataka učestanosti 27 MHz?
3. Za šta se koriste 4 kodne reči SAV i 4 kodne reči EAV?
4. Nacrtati i objasniti uporedni prikaz jedne digitalne linije generisane prema standardu ITU-R BT.656 i analogne PAL/NTSC linije.
5. Da li se SDI paket može prenositi koaksijalnim 75-omskim kablom sa BNC video-konektorom i do kojih rastojanja?
6. Kako se ostvaruje postupak deserijalizacije?
7. Za šta se koristi serijski digitalni interfejs SDTI?
8. Da li SDI i SDTI mogu koristiti zajedničke rutere?
9. Koje su prednosti prenosa digitalnog SDI video-signala po jednom kabl u odnosu na prenos analognog PAL/NTSC video-signala po jednom koaksijalnom kabl u?
10. Da li se SDI i PAL video-signali mogu prenositi istim koaksijalnim kablovima?
11. Do kojih rastojanja se mogu prenositi SDI signali bakarnim koaksijalnim kablovima, a do kojih rastojanja optičkim kablovima?

10 | PRIMENA RAČUNARA U TELEVIZIJI

Nagli razvoj digitalne elektronike, a zatim i digitalnih računara u drugoj polovini 20. veka, uticali su na široku primenu i u televizijskoj tehnici. Tranzicijom prema digitalnim tehnologijama klasična televizija je oslobođena od ograničenja rada s analognim signalima i uređajima i operativnost i efikasnost infrastrukture u televiziji znatno su povećane. U računarima se može generisati TV slika i video-signal. Pored toga, digitalnom obradom video-signala mogu se poboljšati svi parametri koji određuju kvalitet televizijske slike, kao što su oštrina ili rezolucija slike, kontrast, vernost reprodukcije boja i odnos signal–smetnje.

Digitalnom obradom video-signala moguće je ostvariti promene geometrije slike, kao što su promena dimenzija slike, rotacija, pomeranje, savijanje i izobličavanje slike, kombinovanje realne slike s grafičkim slikama. Na taj način ostvaruju se novi vizuelni efekti, koje nije moguće praktično ostvariti analognim televizijskim uređajima. Takođe, u računaru se može obrađivati video-signal u realnom vremenu. A pošto računari mogu da se umrežavaju, to znači da i televizijski kapaciteti mogu da se umrežavaju, što ima neprocenjivi značaj.

Može se reći da proces digitalizacije audio i video podataka, sofisticirani postupci za njihovu digitalnu obradu, zajedno s primenom računara i računarskih mreža u televiziji, čine celinu koja je danas poznata kao **digitalna televizija**.

Potreba za primenom računara u obradi video-signala delovala je povratno i uslovlila poboljšanja u tehnologiji hardvera, arhitekturi i softveru računara jer obrada i prenos video-signala zahtevaju najveću učestanost i bitski protok od svih drugih primena računara. Zbog toga je ostvareno povećanje brzine rada računara, povećanje memorijskih medija, povećanje kompleksnosti i brzine rada kontrolera za prikazivanje i obradu statičkih i pokretnih slika u realnom vremenu na računaru.

Poslednjih godina 20. veka evidentno je naglo objedinjavanje digitalne televizije s računarima i računarskim mrežama, kao i sa informaciono-komunikacionim sistemima, od kojih je svakako najpoznatiji **internet**. Svi ovi objedinjeni sistemi nazvani su jednim imenom **multimediji**. Kod njih nije lako ni utvrditi da li se televizija ugradila u računarske sisteme ili su se računari ugradili u televizijske sisteme. Činjenica je da se sve noviji i složeniji zahtevi u ovoj oblasti naglo i dramatično uvećavaju. Razvijaju se sve kompleksnije hardverske arhitekture i softveri, video-serveri i velike arhive video i audio materijala i tekstualnih baza podataka, elektronska grafika i animacije, automatizovani i robotizovani kontrolno-upravljački sistemi, integrisane širokopojasne globalne mreže. Informaciono-komunikacioni sistemi i interaktivni multimedijalni servisi počeli su da se primenjuju u skoro svim oblastima ljudskih delatnosti.

Kućni multimedijalni centri omogućuju individualnim korisnicima praktično neograničen pristup svim vrstama informacija, ne samo iz jednog grada ili države nego iz celog sveta. Interaktivna multimedijalna tehnologija omogućuje da se istim sistemom informacije mogu i dobijati i slati u svet sa mogućnošću kontrole informacionih ili video servisa koji se koriste. To predstavlja novi način komuniciranja među pojedincima i preduzećima i ima neprocenljiv značaj za njihove korisnike. Na ovaj način se korisniku pruža prilika da u svom stanu, pomoću svog multimedijalnog centra, omogući sebi informisanost, edukaciju, zabavu, ali i poslovne aktivnosti, i u smislu kupovine i u smislu prodaje, pa i obavljanja administrativnih i finansijskih poslova.

Dali se sve ovo može nazvati novom televizijom, ili će se digitalna televizija i dalje razvijati i opstati paralelno sa informaciono-komunikacionim i interaktivnim multimedijalnim sistemima, pokazaće se, verovatno, u bliskoj budućnosti. U svakom slučaju, digitalna televizija i multimediji predstavljaju fenomen današnjice prisutan u svakom preduzeću i u životu svakog pojedinca.

10.1. ELEKTRONSKA GRAFIKA

Elektronska, računarska ili kompjuterska grafika obuhvata generisanje elektronskih slika i teksta u računaru, obradu slika unetih u računar, elektronsku animaciju, nelinearnu montažu realnih i animiranih slika, kao i način njihove primene u televiziji. Grafički sistemi se razlikuju po mogućnostima generisanja **2D** i **3D grafike** i grafičke animacije. Kada je neki grafički oblik generisan, on se može bojiti, pomerati, skalirati, tj. uvećavati i smanjivati, rotirati i na njemu se mogu obavljati razne kompjuterske nelinearne transformacije. Kod 3D grafike najpre se matematički uvodi

treća dimenzija (perspektiva) i definiše se vidljivost pojedinih delova objekta u prostoru, pa se operativnim komandama u odgovarajućem grafičkom programu realizuju ti zahtevi.

Animacijom se povezuje niz pojedinačnih slika tako da se njihov sadržaj menja u realnom vremenu, slično kao pri izradi crtanih filmova.

Osnovne karakteristike elektronskog grafičkog sistema jesu boja i rezolucija generisane slike.

Kada se koriste računari u radnim stanicama za elektronsku grafiku, za nelinearnu montažu, u računarskim mrežama i mnogim drugim TV uređajima, onda se javlja potreba da se na računarskim monitorima prikazuju operativni meniji, tekstualni i grafički podaci, a na TV PAL monitoru se prikazuje izlazni video-signal, kombinovan sa ostalim video-signalima iz kamera, s magnetoskopa i drugih video-uređaja. Video-signal ima široki propusni opseg, što zahteva da procesor računara prihvati i obradi ogromne količine digitalnih podataka. To je uslovilo nagli razvoj personalnih računara, naročito u smislu povećanja radne učestanosti procesora, brzine magistrale, povećanja kapaciteta poluprovodničkih i disk memorija, kao i brzih kontrolera za prikazivanje slike na računarskim monitorima.

10.2. DIGITALNI FORMATI ZA GENERISANJE I PRIKAZIVANJE SLIKA NA RAČUNARU

U elektronskoj grafici se koriste dva digitalna formata za generisanje i prikazivanje pune slike na računarskom monitoru. Prvi način je da se slika predstavi u obliku pravougaonika, koji se izdela na mrežu kvadratića. Pojedini kvadratići predstavljaju elemente slike ili piksele, a cela mreža naziva se raster ili bit-mapa slike. U opštem slučaju, ni pikseli ni cela slika ne moraju biti kvadratnog oblika. Ovakvi digitalni formati slike poznati su kao **bitmapirani** ili **rasterski formati slike**. Jasno je da izgled ovakvih formata slike odgovara monitorskom ekranu. Zbog toga su svi monitori i drugi ulazni i izlazni elektronski uređaji zasnovani na bitmapiranom formatu slike, jer slika na monitoru ima konačni izgled onakav kako je čovek vidi.

Drugi način za generisanje slike na računaru jeste upotreba jednostavnih grafičkih objekata, kao što su trougao, krug, duž i krive linije raznih oblika. Svaki od tih grafičkih objekata ima svoj tip i atribut koji ga opisuju. Na primer, za tip krug, atributi mogu biti koordinate centra kruga, dužina poluprečnika, debljina i boja linije kružnice, kao i boja kojom je krug ispunjen. Digitalni formati slike koji se zasnivaju na takvom modelu slike

poznati su kao **vektorski formati slike**. Vektorski formati slike sadrže informacije u obliku vektora podataka o strukturi onoga što se na slici nalazi, a ne samo u obliku jednostavnih nizova bitova koji odgovaraju obojenim tačkama. Razvijeni su i složeni metavektorski formati slike, koji su dati u obliku matematičkih izraza. Oni omogućuju precizno definisanje boja i slika duž krivih linija. Ako se deo neke slike ne vidi, iz vektorskog formata se može zaključiti da li je taj deo zaklonjen nekim drugim objektom. Takođe, vektorski formati omogućuju širenje i skupljanje slike ili skalabilnost, kao i druge geometrijske transformacije slike, lakše nego bitmapirani formati. Zbog toga se vektorski formati slike pretežno koriste u složenijim programima za generisanje i obradu slika pomoću računara.

10.3. PREDSTAVLJANJE BOJA U RAČUNARU

Za definisanje boje u kolorimetriji potrebne su tri komponente. Ovaj uslov zasniva se na činjenici da u oku postoje tri vrste receptora, osetljivih na crveni, zeleni i plavi opseg talasnih dužina. Na osnovu takve trihromatske prirode viđenja boja i boja piksela u računarskoj grafici najčešće se koduje sa tri RGB komponente. Mešanjem određenih količina svetlosti crvene, zelene i plave boje na crnoj podlozi u odsustvu bele svetlosti, u oku se stvara utisak neke rezultatne boje ili nijansi sivog. Ovakav postupak aditivnog mešanja bojenih svetlosti primenjuje se i na zastoru trikolor-cevi u računarskim monitoru. Ako jedan piksel kodujemo samo jednim bitom, onda taj piksel može biti predstavljen ili samo nulom ili samo jedinicom i može biti crn ili beo. Ako koristimo 4 bita po pikselu, taj element slike moći ćemo da obojimo jednom od 16 unapred definisanih boja. Ukoliko se za jednu komponentu boje koristi 8 bita za kodovanje, ta komponenta boje može se odrediti jednim binarnim brojem od 0 do 255 ili 2^8 . Korišćenjem po 8 bita za svaku RGB boju, dobija se ukupno $2^{3 \times 8} = 2^{24}$, što iznosi ukupno 16.777.216 ili približno 16.700.000 binarnih brojeva za kodovanje sve tri RGB boje. Ovo su **formati slike s punom bojom** (*true color*). Mogući broj bita za svaki piksel naziva se **dubina boje** (*color depth*) i ona je određena brojem bita koji se koristi za kodovanje boja za jedan piksel. U našem slučaju je to $3 \times 8 = 24$ bita po pikselu.

Još moćniji video-kontroleri specificiraju 32-bitnu dubinu boje, gde se $3 \times 8 = 24$ bita rezervišu za RGB signale, a još 8 bita za **ki-signal** (*key*), koji je poznat i kao **alfa signal**. Ki-signal se koristi za generisanje transparentnosti grafičkog objekta prema pozadini, kao i za kodovanje ivica generisanog grafičkog objekta. Ivice mogu biti u obliku oštarih bordura, senčene i bojene. Naravno, ljudsko oko ne može da razlikuje dve susedne boje kodovane sa dva susedna binarna broja jer to premašuje osetljivost našeg oka.

Boje se mogu kodovati i pomoću različitih kombinacija u redosledu bitova, bajtova ili redova u bitmapiranom formatu slike. Na primer, broj osnovnih boja može biti samo 8, ali se njima može dodati mogućnost korišćenja palete od, na primer, 256 boja, tako da se 8 osnovnih boja može kombinovati sa 256 boja iz palete.

Pored kodovanja boja RGB komponentama, boje se mogu predstaviti i podatkom za dominantnu talasnu dužinu ili vrstu boje (*Hue*). Za drugi podatak se uzima zasićenost boje (*Saturation*). Znamo da je zasićenost boje određena prisustvom bele boje i da se smanjuje dodavanjem bele boje, a da u 100% zasićenoj boji uopšte nema bele boje. Treći podatak određuje intenzitet ili sjajnost boje (*Intensity* ili *Luminosity*). Boje u senci su manjeg intenziteta, to jest sjajnosti. Takvo predstavljanje boja poznato je kao **HSI** ili **HSL** format slike.

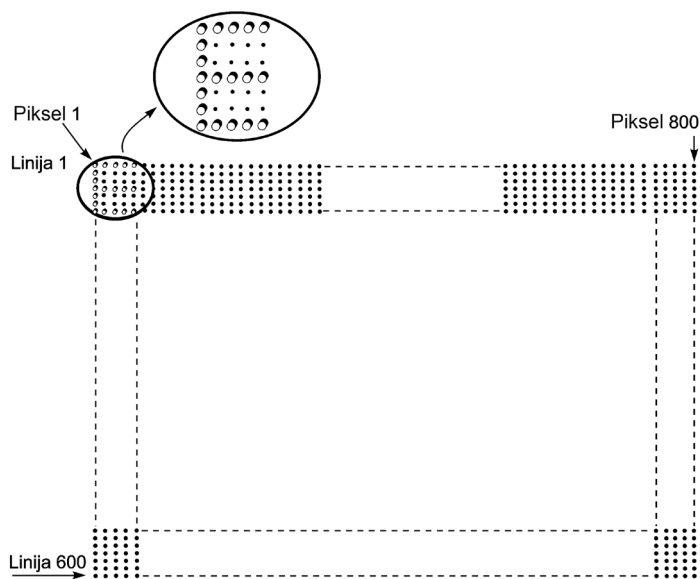
Za predstavljanje boja u računarskim programima za elektronsku grafiku koristi se i treći metod, pomoću YUV komponentata. Slika se boji menjanjem vrednosti pojedinih komponentata u navedenim formatima ili određivanjem vrste boje, osvetljaja i zasićenja boje.

U štamparstvu se koriste cijan, magenta, žuta i crna boja, što se obeležava kao **CMYK** format slike, gde je sa K obeležena crna boja (*Black*). Ove oznake i metode izrade grafičkih elemenata koriste se i u programima za elektronsku grafiku. Međutim, ovako kodovane komponente ne koriste se za prikazivanje boja generisane slike na računarskom ekranu, aditivnim mešanjem RGB svetala koja emituju RGB fosfori. U kompjuterizovanim štamparskim uređajima **CMYK** komponente se koriste kao brojne vrednosti na osnovu kojih se mešaju štamparske boje, tako da se pri štampanju dobije željena fotografija u boji metodom suptraktivnog mešanja štamparskih boja.

10.4. GENERISANJE I PRIKAZIVANJE TEKSTA NA RAČUNARU

Razvijeni su posebni digitalni i bitmapirani i vektorski formati za generisanje, obradu i prikazivanje teksta na računaru. Oni sadrže različiti broj piksela za predstavljanje pojedinih slova ili karaktera, što utiče na kvalitet reprodukovanoog teksta. Na slici 10.1 prikazan je jedan primer bitmapiranog predstavljanja teksta u obliku pravougaonih polja sa ukupno 800 piksela po horizontalnoj liniji i 600 takvih linija po vertikali. Generisanje teksta može se, naravno, uraditi i u nekom drugom rezolucionom modu, na primer: 256×256 , 640×480 , 1.024×1.024 , 1.920×1.080 . Važno je da svaki od ovih piksela procesor u računaru može nezavisno da adresira radi kontrole njegove sjajnosti i obojenosti. Sve što se na računarskom monitoru prikazuje kreirano je i generisano pomoću piksela na ovakav način,

na primer slovo E na slici 10.1. Kada je slika u potpunosti iskodovana, kontroler slike daje komande za usnimavanje kodnih vrednosti u upisno-čitajuću memoriju video-RAM (*Random Access Memory*), za svaki piksel nezavisno. Glavni računarski procesor CPU daje tada komandu za prikazivanje slike na ekranu računarskog monitora pomoću odgovarajućeg grafičkog formata VGA, SVGA ili drugih novijih i kompleksnijih formata.



Slika 10.1. Digitalni bitmapirani format za prikazivanje teksta

Vektorski formati su složeniji, ali pružaju veće operativne mogućnosti za pripremu teksta, kao što je ispisivanje teksta u svim pravcima, kontinualna promena veličine teksta, izrada karaktera u tri dimenzije i druge. Pomoću posebnih programa i generatora, koji su poznati kao **karakter-generatori** ili **font-generatori**, mogu se generisati pojedini alfanumerički karakteri i usnimiti u ROM memoriju računara kao **fontovi** prema odgovarajućim azbukama i stilovima, na primer helvetica, tajms i mnogi drugi. Fontovi se ne moraju generisati u računaru, već se mogu usnimiti i iz spoljne memorije. Raspored pojedinih karaktera na tastaturi, tj. ki-mapa, određuje se pomoću posebnih programa.

Digitalna reč za kodovanje alfanumeričkih znakova obično se sastoji iz dva dela. U prvom delu se koduje podatak o karakteru selektovanom sa tastature, a s bitima drugog dela kodne reči koduju se atributi karaktera, kao što su boja karaktera, boja pozadine, ivice, senka i drugi. Dodatno su definisane univerzalne, tj. unikodne tabele (*unicod*) za pojedine fontove. Prilikom unosa teksta sa tastature, softver računara automatski generiše pojedine karaktere prema izabranom fontu. Podaci se šalju direktno u

video-memoriju, iz koje se prikazuju na ekranu računarskog monitora. Video-kontroler ih periodično očitava da bi se osvežio njihov prikaz na ekranu. Postoje specijalizovani uređaji za elektronsku obradu teksta u televiziji, poznati kao karakter-generatori.

10.5. REZOLUCIJA I FORMATI DIGITALNE SLIKE

Rezolucija digitalne slike generisane u nekom digitalnom formatu u računaru izražava se u broju piksela. Na primer, 300 piksela po inču, ili 300 **dpi** (*dots per inch*) znači da slika ima 300 piksela na svakih 2,54 cm širine i visine. Naravno, što više piksela, to veća rezolucija i bolji kvalitet slike. Ali za veću rezoluciju potrebni su i veći kapaciteti memorije i složeniji zadaci procesoru za obradu slike. Pošto za različite namene nije potreban podjednako visok kvalitet slike, rezolucija i digitalni format slike određuju se prema nameni. Na primer, za prikazivanje slike na računarskom monitoru dovoljna je rezolucija od 100 dpi, dok je za štamparske primene potrebno najmanje 300 dpi i digitalni formati s punom bojom (*true color*).

Slika u boji prilikom skeniranja digitalizuje se tako što se za svaki piksel binarno koduje odgovarajuća sjajnost i boja. Gustina piksela po jedinici površine određuje rezoluciju slike koja se prikazuje na ekranu monitora određenih dimenzija. Standardni ekrani od 15 inča imaju efektivnu širinu slike oko 27 cm i visinu oko 20 cm. Na njemu se mogu prikazivati slike sa rezolucijom 640 x 480 piksela (*piksel ratio*) ili 800 x 600 ili 1.024 x 768 piksela ili 1.920 x 1.080 piksela za HDTV format slike. Postoje, naravno, ekrani i mnogo većih dimenzija od 15 inča. Pri rezoluciji digitalne slike od 800 x 600 piksela, na jednom centimetru ima 30 piksela, a na jednom inču **75 piksela** ili **75 dpi**. Pošto rezolucija digitalne slike od 800 x 600 piksela odgovara približno rezoluciji standardne TV slike, koja je ograničena horizontalnom i vertikalnom učestanošću televizijskog sistema standardne definicije – SDTV, to znači da se u standardnom SDTV sistemu ne preporučuje prikazivanje digitalnih slika čija je rezolucija veća od **75 dpi**. Na većim ekranima i u HDTV sistemu može se, naravno, prikazati digitalna slika sa znatno većom rezolucijom.

Od mnogobrojnih digitalnih formata slike koji se koriste u grafičkim i drugim programima u personalnim računarima i mrežama, pomenimo samo neke od najčešće korišćenih:

- JPEG (*jpg*), predstavlja dominantni format za prenos i arhiviranje digitalizovanih fotografija i standard za kompresiju slike;
- GIF (*Graphics Interchange Format*) koristi se za razmenu grafičkih podataka na računarskim mrežama;

- Bitmap (*bmp*), Majkrosoftov rasterski format;
- CDR, Corel Draw vektorski grafički format;
- TARGA (*tga*), jedan od najčešće upotrebljivanih formata slike u elektronskoj grafici;
- Psd format u programu PHOTOSHOP;
- CLP, Windows Clipart format;
- TIFF (*Target Image File Format*) osnovni je bitmapirani format fajla za skenirane slike,
- Postscript (*ps*) i Adobe (*pdf*) programi za opis strane teksta i dokumenata, koji koriste i bitmapirani i vektorski format i predstavljaju standard u izdavaštvu.

Format slike se bira između kvaliteta slike i memorijskog kapaciteta koji slika zauzima. Na primer, grafički format GIF koristi najviše 256 boja, pa takav format ne odgovara za fotografije, niti za velike slike na kojima može da bude i više miliona boja. Ali ako želimo da prikazujemo ili prenosimo sličice ili ikonice, onda će nam i GIF format u potpunosti odgovarati. GIF format je dugo bio glavni za korišćenje na internetu, dok se nije pojavio JPEG format, koji sa zadovoljavajućim brojem bita za memorisanje i prenos daje finiju strukturu slike nego GIF. Naziv JPEG nastao je po grupi eksperata (*The Joint Photographic Experts Group*), koji su razvili JPEG algoritam za kompresiju slike. Razlika u kvalitetu JPEG slike između stepena kompresije 1% i 50% skoro je neprimetna. Stepenn kompresije 50% znači da je 50% sadržine slike uključeno u algoritam za kompresiju, što znatno smanjuje broj potrebnih bita za memorisanje i prenos slike. Zbog toga je JPEG format postao dominantni format za prenos i arhiviranje digitalizovanih fotografija i standard za kompresiju slike.

Pošto u raznim programima za elektronsku grafiku postoje različiti formati slika, postoje i programi za konverziju, odnosno za preračunavanje podataka slike iz jednog formata u drugi.

10.6. VIDEO-KARTICE

Pomoću video-kartice sliku generisanu i obrađenu u računaru iz digitalnog oblika moguće je pretvoriti u analogni video-signal i prikazati je na računarskom monitoru. To su veoma značajni i kompleksni zadaci. Problemi potiču od ogromne količine podataka potrebnih za generisanje i obradu slike, kao i od različitih video-standarda kojim računarski i PAL monitori prikazuju sliku. Zbog toga video-kartice moraju da sadrže A/D i D/A konvertore i moćne procesore za kontrolu i obradu slike. Slika u

digitalnom obliku mora da se komprimuje da bi se ceo postupak učinio tehnički ostvarljivim i jeftinijim.

Kada je slika u potpunosti iskodovana, kontroler slike na video-kartici daje komande za usnimavanje kodnih vrednosti u video RAM memoriju, za svaki piksel nezavisno. Na osnovu tih informacija, glavni računarski procesor CPU šalje komande za prikazivanje slike na ekranu računarskog monitora pomoću posebnih digitalnih formata za prikazivanje slike, koji se često nazivaju i displej-formati ili interfejs-formati, odnosno **formati za prikazivanje slike na računarskom monitoru**. Prvobitne formate za prikazivanje slike na računarskom monitoru razvila je firma IBM. Prvi format poznat je kao **CGA (Color Graphics Array)**. On je definisao rezoluciju slike od samo 320×200 piksela sa samo 4 boje. Popularni format **VGA (Video Graphics Array)**, uveden 1987. godine, definiše 15 modova za prikazivanje slike i teksta sa rezolucijom 640×480 piksela. Po njemu su i računarski monitori dobili naziv VGA. Super VGA, odnosno **SVGA**, uveo je rezoluciju od 800×600 piksela, a kasnije su razvijene znatno moćnije video-kartice, kao na primer **UXGA** sa rezolucijom displej formata 1.600×1.280 i sa maksimalnim brojem od 16.700.000 boja, **QXGA** sa rezolucijom 2.048×1.536 . Međutim, svi složeniji formati koji su kasnije razvijeni, kompatibilni su sa prvobitnim IBM formatima, koji su iz edukativnih razloga prikazani u tabeli 10.1.

Tabela 10.1. Prvobitni IBM formati za prikazivanje slike i teksta

STANDARD	VGA	SVGA	SVGA	SVGA	SVGA	SXGA
Rezolucija HxV	640x480	640x480	800x600	800x600	1024x768	1280x1024
Maksimalan broj boja	16	256	16	256	16/256	16
Broj aktivnih linija	480	480	600	600	768	1024
Ukupan broj linija	525	525	666	628	806	1068
Hor. učestanost, Khz	31,469	37,8	48,077	37,879	56,476	76,02
Trajanje aktivne linije, μ s	25,422	20,317	16	20	13,653	10,119
Vertikalna učestanost, Hz	59,94	72,2	72,188	60,316	70,060	71,18
Učestanost piksela, Mhz	25,2	31,5	50	40	75	126,5
Propusni opseg, Mhz	12,6	15,75	25	20	37,5	63,24

Povećanje rezolucije i kompleksnosti rada elektronske grafike ograničeno je brzinom procesorskih čipova i veličinom memorije na video-kartici. U početku su korišćene dinamičke RAM ili DRAM kartice, koje su imale samo jedan port i za upis i za čitanje podataka. Sledeći tip su video RAM ili VRAM, koje omogućuju istovremeni pristup i za upis i za čitanje podataka.

Na primer, da bi video-kartica prikazala jednu sliku u SDTV rezoluciji $1.024 \times 76 = 786.432$ piksela i sa samo 256 boja, ili 8-bitnom bojom, to iznosi 786.432×8 ili približno **786 KB**. Ako se broj bita poveća za punu

boju ili $3 \times 8 = 24$ -bitnu boju, onda je potrebno 768×3 ili približno **2,3 MB** za jednu sliku.

Najvažniji deo video-kartica jeste procesor koji obrađuje sve potrebne podatke. Video-koprocessori su programabilni čipovi čiji drajveri mogu da kontrolišu način na koji će video-kartica obrađivati digitalizovanu sliku. Video-koprocensor prihvata naredbu od CPU i time preuzima veliki deo poslova pri obradi slike.

Na kvalitet i cenu video-kartica utiče i tip **magistrale** ili **basa** (*Bus*), za koju je video-kartica projektovana i koju može da podržava. Širina magistrala menja se od 16 do 64 bita, a bitski protok od 16 MB/s do 264 MB/s. Prvobitni tipovi magistrala bili su **ISA** (*Industry Standard Architecture*), zatim **EISA** (*Extended ISA*), pa **PCI bas** (*Peripheral Component Interconnect bus*), zatim **VL bas**, (*Video Electronics Standard Association Local bus*), **AGP** (*Advanced Graphic Port*), **PCIe** (*express*) i složenije arhitekture koje su projektovane namenski za elektronsku grafiku, brzu obradu video-signala i mrežne aplikacije. Standardna PCI magistrala ima širinu od 32 bita, radi na brzinama od 33 MHz, što daje bitski protok od $33 \times 32 = 33 \times 4 \times 8 = 132$ MB/s. Poboljšane verzije PCI magistrale mogu da rade sa 64 bita, što omogućuje bitski protok od 264 MB/s. I druga poboljšanja personalnih računara, kao što je dvomagistralna arhitektura, a naročito razvoj moćnih video-kartica, adaptera za računarske mreže, rad sa disk-uređajima i brzim perifernim jedinicama, uslovila je upravo primena računara u obradi video-signala zbog visokih učestanosti, velikog broja podataka i bitskih brzina. Brzina hard-diska i keš-memorija koja se koristi za njegov rad takođe veoma značajno utiču na ukupnu brzinu računara. Operativni programi često pomoću hard-diskova nadoknađuju nedovoljno RAM-a (virtuelni RAM) radi povećanja brzine rada. Kapacitet hard-diskova se dramatično brzo uvećava. Za komuniciranje hard-diska s računarnom zadužen je interfejs, koji postaje sve brži i „inteligentniji”. Standardni IBM interfejs za komuniciranje između računara i hard-diskova jeste **ATA/IDE** (*Attachment/Integrated Drive Electronics*). Za komuniciranje s disk jedinicama koristi se i brži interfejs **SCSI** (*Small Computer Systems Interface*), kao i ultra SCSI, koji podržava protok od 80 MB/s. Pored hard-diskova, na SCSI magistralu se mogu priključiti i kompakt-diskovi, štampači, kao i drugi računari koji mogu međusobno da komuniciraju preko zajedničke SCSI magistrale. Na interfejs SCSI mogu da se priključe i **RAID** memorije (*Redundant Array of Independent Disks*). One predstavljaju redundantnu grupu nezavisnih standardnih diskova. RAID memorije imaju i svoje kontrolere i koriste se za poslove koji zahtevaju velike memorijske kapacitete, brzinu rada, kao i pouzdanost jer imaju mogućnost usnimavanja kopija, detekcije i korekcije grešaka i oštećenja diskova.

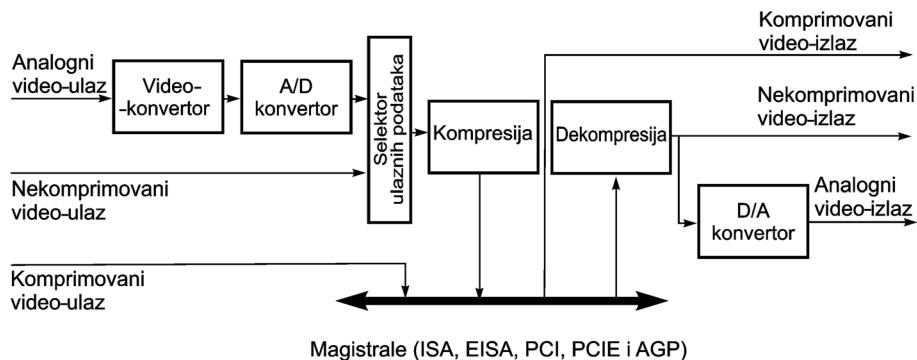
Na kraju, video-kartice moraju iz nekog digitalnog formata, kao što su VGA, SVGA i drugi, da obezbede i analogni video-signal za prikazivanje slike i na PAL monitoru. To nije jednostavan zadatak, iako i PAL i VGA monitor koriste katodnu cev za prikazivanje slike. **Standardom RS-343A** definišu se uslovi za 8-bitnu D/A konverziju u analogne komponente RGB video-signala koji se koriste za prikazivanje slike na PAL monitoru. Horizontalna i vertikalna učestanost i aktivno trajanje linije kod računarskih monitora imaju različite vrednosti u odnosu na odgovarajuće parametre kod PAL monitora. Razlike nisu samo u navedenim učestanostima već i u drugim bitnim karakteristikama. Konvertor učestanosti slike usklađuje i **učestanost za osvežavanje računarske slike** (*refresh rate*) s vertikalnom učestanošću koja se koristi u TV sistemu. Pošto se digitalne slike u računaru uvek progresivno skeniraju, **interlejs-konvertor** na izlazu svakog digitalnog uređaja obezbeđuje korektno učešljavanje neparne i parne poluslike radi prikazivanja na PAL monitoru. Komponentni RGB signali se po potrebi koduju pomoću **analognih kodera** u kompozitni PAL signal.

10.7. VIDEO-KARTICE ZA AKVIZICIJU I DISTRIBUCIJU VIDEO-SIGNALA

U početku su video-kartice imale samo izlaz. Modernije video-kartice imaju i ulaz i izlaz. One mogu da digitalizuju video-signal koji se priključuje na ulaz, tako da se može snimiti u obliku digitalnih fajlova na računarskom disku i da na izlazu omoguće D/A konverziju video-fajlova radi prikazivanja na PAL monitoru i snimanja na analognom magnetoskopu. Prvobitne kartice mogle su da digitalizuju i snime samo jednu po jednu sliku ili frejm iz ulaznog video-signala, zbog čega su poznate kao **frejm-greber** (*frame grabber*) kartice. Te slike se memorišu u obliku standardnih grafičkih fajlova koji se koriste u PC računarima, kao što su **TARGA** (*tga*), **PHOTOSHOP** (*psd*), **JPEG** (*jpg*) i mnogi drugi.

Kasnije su razvijene video-kartice koje mogu u realnom vremenu da digitalizuju i memorišu ulazni analogni video-signal, to jest da izvrše njegovu akviziciju, da ga digitalno obrade primenom programa s raznovrsnim grafičkim mogućnostima, digitalnim efektima, kombinovanjem s drugim signalima i da ga na izlazu distribuiraju u obliku različitih digitalnih i analognih formata radi daljeg korišćenja u računarskoj mreži ili preko TV kablova. Na slici 10.2 prikazan je blok-dijagram video-kartice s video-ulazom i raznim standardnim izlazima. Ako je na ulazu analogni video-signal, kartica mora da ima A/D konvertor. Zbog velike količine informacija koje sadrži digitalizovani video-signal, video-kartice moraju primeniti kompresiju da bi radile u realnom vremenu i u rezoluciji

CCIR 601, kao i da bi video-materijal mogao biti snimljen na računarski disk. Za te svrhe razvijeni su novi tipovi hard-diskova. Najviše zbog toga da se ne bi morali koristiti digitalni magnetoskopi, koji su mnogo sporiji jer imaju sekvencijalni pristup insertima, pa zahtevaju veliko vreme za premotavanje, na primer pri nelinearnoj montaži, a i mnogo su skuplji.



Slika 10.2. Blok-dijagram video-kartice za akviziciju i distribuciju video-signalâ

Za snimanje digitalnih video-signalâ, koje obezbeđuju ovako moćne video-kartice, razvijeni su i novi optički digitalni video-diskovi poznati kao **DVD** (*Digital Versatile Disk*). Oni imaju mnogo veći kapacitet i pouzdanost od konvencionalnih CD-ova. Razvijeni su i DVD diskovi koji omogućuju snimanje video-materijala sa MPEG-2 kompresijom, kao i dvokanalnog stereooptičkog digitalnog 16-bitnog audio-signalâ, sa učestanošću odmeravanja 48 KHz, prema AES/EBU standardu za digitalni audio.

Na izlazu video-kartica mora se obaviti proces dekompresije i D/A konverzije da bi se digitalno obrađeni analogni video-signal mogao ponovo koristiti u TV okruženju.

Kada se koriste računari u televiziji, kao na primer u radnim stanicama za elektronsku grafiku, za nelinearnu montažu, u video-serverima i mrežama, i sličnim uređajima, na računarskom VGA monitoru prikazuju se operativni meniji, tekstualni i grafički podaci, a na TV PAL monitorima prikazuje se izlazni video-signal, koji se kombinuje sa ostalim TV signalima s kamera, magnetoskopa i drugih TV uređaja.

Neke video-kartice imaju dodatnu mogućnost da prikažu video-signal u skalabilnom prozoru na računarskom monitoru (*Live Overlay*). Takve video kartice ugrađuju se i u koder TV prijemnika i uglavnom se i koriste za kućnu upotrebu.

Profesionalne video-kartice koriste se danas masovno u televiziji, multimedijima i raznim video-servisima, pa se može reći da su upravo one omogućile punu primenu računara u televiziji.

10.8. DIGITALNA OBRADA SLIKE I MANIPULACIJA SLIKOM U PROSTORU I VREMENU

Pod digitalnom obradom slike podrazumeva se raspoznavanje oblika u sadržaju slike i poboljšanje u kvalitetu slike. Raspoznavanje oblika ima primenu u sistemima za zaštitu objekata s malim digitalnim CCD kamerama, koje mogu da snimaju pri malom intenzitetu svetlosti. Dovoljno je da se na takvim snimcima raspoznaju oblici i promene kretanja u slici. Digitalne kamere za raspoznavanje oblika koriste se i u medicini, ako se slika s digitalne kamere spreže sa elektronskim mikroskopom, kao i za snimanja terena iz vazduha radi pravljenja geografskih karata, snimanja privrednih resursa ili u vojne svrhe.

Poboljšanje kvaliteta televizijske slike postiže se primenom digitalne obrade video-signala. Osnovni parametri za ocenu kvaliteta televizijske slike jesu:

- oštrina slike ili rezolucija;
- kontrast ili relativni odnos maksimalne i minimalne sjajnosti susednih površina na realnoj sceni ili snimljenoj slici;
- vernost reprodukcije boja;
- odnos korisnog signala i šuma S/N (*Signal/Noise*).

Digitalnom obradom video-signala i primenom računarske obrade slike i odgovarajućih algoritama može se popraviti svaki od ovih parametara slike. Primenom raznih 2D i 3D programa za elektronsku grafiku takođe se može poboljšati kvalitet televizijske slike. Crno-bele slike se mogu obojiti, a slike u boji se mogu retuširati i na taj način znatno poboljšati, pa i promeniti izgled.

Digitalnom obradom i filtriranjem može se poboljšati odnos signal–šum u slici. Postoje i specijalni programi za digitalnu restauraciju audio i video snimaka. Povećana zrnasta struktura na filmskoj traci može se poboljšati digitalnom redukcijom zrna. Postoje i složeni digitalni uređaji (*Da Vinči, Arhangel, Pandora, Kopernikus*) pomoću kojih se može, postupkom interpolacije, u realnom vremenu izvršiti korekcija boja i mogu restaurisati oštećenja na snimcima koji se reprodukuju s filmske ili s magnetoskopske trake kako bi se presnimili na neki drugi nosač slike, na primer na magnetnu traku s digitalnim zapisom ili na digitalni video-disk. Svrha digitalne restauracije slike i starih audio-snimaka nije samo otklanjanje oštećenja i poboljšanje kvaliteta, već i zaštita i arhiviranje starih snimaka iz televizijskih dokumentacija koje imaju veliki istorijski i kulturološki značaj i predstavljaju deo međunarodne civilizacijske baštine.

Raznim kolorimetrijskim transformacijama i prostornim manipulacijama, kao što su promena dimenzija slike, rotacija, savijanje, promena položaja i oblika slike, mogu se postići novi i nestvarni oblici slika u prostoru. Na taj način postižu se novi vizuelni, takozvani digitalni efekti sa slikom, koje svakodnevno vidimo u televizijskim programima. Postoje posebni uređaji za digitalne efekte, a u novijim digitalnim video-miksetama takvi digitalni generatori efekata ugrađuju se u samu video-miksetu.

Ako se najpre nacрта prostorni 3D model nekog objekta sa određenim prostornim matematičkim koordinatama, onda se u postupku digitalne nelinearne montaže mogu zadati i prostorne i vremenske koordinate za pokretanje tog objekta u prostoru i vremenu. Pri tome računar preračunava sve promene zadatih prostornih i vremenskih koordinata, uglova viđenja i senki. Na taj način se ostvaruje oživljavanje ili animacija tog objekta. Na primer, u trodimenzionalnom grafičkom programu 3D studio dobar dizajner može nacrtati 3D model novog automobila. Zatim, u programu za digitalnu nelinearnu montažu, na primer Premijer Pro, koji imaju instaliran u svojim kućnim računarima mnogi ljubitelji računarske grafike, dobar animator može zadati program za simuliranje kretanja tog novodizajniranog automobila, sve do sudara sa nekom čvrstom preprekom, gde se simulira i ponašanje tog automobila u eventualnom sudaru. Ovakav način rada poznat je kao dizajniranje pomoću računara **CAD** (*Computer Added Design*).

Animacija se može realizovati i tako da posmatrač obilazi i posmatra taj objekat u prostoru spolja ili iznutra, zumiranjem detalja, čime se stiče i utisak kao da pokretna kamera snima taj objekat (*camera mooving*). Na primer, arhitekta je projektovao novu zgradu u programu Arhiked da bi pomoću tog modela i animacije pokazao sebi, a i zainteresovanim kupcima, kako zgrada treba da izgleda i spolja i iznutra sa prikazivanjem i važnih detalja u krupnom planu. Ovakvi programi za prostornu manipulaciju slikom imaju veliku i veoma značajnu primenu u grafičkim simulacijama objekata i procesa koji se ne mogu realno simulirati u mašinstvu, arhitekturi, hemiji, fizici, medicini i mnogim drugim oblastima ljudskih delatnosti.

Postoje programi i za kombinovanje grafičkih slika s realnim pokretnim slikama, tako da je njihovo kretanje jedinstveno i sinhronizovano na nivou televizijske slike (*key framing*). Na taj način dobija se fascinantna virtuelna televizijska stvarnost sa nestvarnim sadržajima.

10.9. VIRTUELNI STUDIO

Jedna od primena prostorne 3D manipulacije sa elektronskom grafikom jeste i realizacija virtuelnih studijskih scenografija. Razvijeni su specijalni programi za elektronsku grafiku pomoću kojih se može grafički realizovati, tj. generisati dekor i scena u studiju. Postupak postavljanja ovakve nestvarne **virtuelne scenografije** poznat je kao virtuelni studio.

Osnovni problem kod generisanja virtuelne scene jeste uspostavljanje odnosa između vidnog ugla kamere prema postojećoj realnoj sceni i nove virtuelne scene koja se generiše pomoću elektronske grafike. Postojeća realna scena mora biti uniformno obojena i osvetljena da bi voditelj u kadru mogao da se potpuno neprimetno odvoji od nje pomoću **hroma-ki** efekta. Zbog toga se pod i zid boje plavom ili zelenom bojom, a posebna pažnja se posvećuje i rasveti u studiju, tako da se izbegnu senke, oštre ivice i drugi neželjeni efekti. U tako pripremljenoj sceni moraju se postaviti i specijalni plavo obojeni markeri, na osnovu kojih se računarski određuje položaj, vidni ugao i kretanje kamere (*camera tracking*). Kamera može biti opremljena i specijalnim senzorima za određivanje njenog položaja, kao i potrebnih vrednosti objektiva. U realnoj sceni mogu se dodati i plavo ili zeleno obojeni objekti, koji služe kao orijentiri za kretanje voditelja i drugih učesnika na sceni.

Na osnovu ovako pripremljene scene, programom za elektronsku grafiku generiše se trodimenzionalna virtuelna scena u prostoru. Obrada svih promenljivih podataka obavlja se računarski u realnom vremenu. Voditelj i ostali učesnici mogu se tako naći u prostorima koji se kopiraju iz prirode, u kosmosu, ali i u virtuelnoj stvarnosti i raznim neverovatnim fascinantnim enterijerima.

10.10. KLJUČNI POJMOVI

Digitalna televizija. Multimediji. Internet. Informaciono-komunikacioni sistemi. Elektronska grafika. 2D, 3D grafika. Digitalni formati slike. Rasterski format slike. Vektorski format slike. Dubina boje. Rezolucija digitalne slike. Broj piksela po inču – **dpi**. Kapacitet video-memorije. Karakter-generatori. Fontovi. Računarski monitor. Video-kartice. Format za prikazivanje slike na računarskom monitoru. VGA. VGA monitor. Tip magistrale. PCI bus. Hard-disk. Interfejs. RAID memorije. Video-kartice za akviziciju i distribuciju video-signala. Digitalizacija u realnom vremenu. Računarska nelinearna montaža. Digitalni efekti. Računarska animacija. Virtuelni studio.

10.11. PITANJA I ZADACI ZA OBNAVLJANJE GRADIVA

1. Koliko komponenata je potrebno za generisanje boje u kolorimetriji i u računarskoj grafici, i od čega to zavisi?
2. Ako jedan element slike (piksel) kodujemo sa samo jednim bitom, kako možemo obojiti taj element slike. Kako možemo obojiti element slike koji kodujemo sa 4 bita i sa 8 bita?
3. Koji se sve formati koriste u elektronskoj grafici za generisanje i prikazivanje slike na računarskim VGA monitorima?
4. Ako se koristi po 8 bita za svaku RGB boju, koliko se dobija ukupno binarnih brojeva za kodovanje sve tri RGB boje? Kako se nazivaju ovakvi formati slike?
5. Za šta se koristi ki-signal, ili alfa signal, u elektronskoj grafici?
6. Kako se obavlja generisanje i prikazivanje teksta u računarima?
7. Kako se izražava rezolucija digitalne slike?
8. Pri rezoluciji digitalne slike od 800×600 piksela, koliko piksela ima na jednom centimetru, a koliko na jednom inču?
9. Zašto se u standardnoj SDTV televiziji ne preporučuje prikazivanje digitalnih slika rezolucije veće od 75 dpi?
10. Navesti neke od najpoznatijih digitalnih formata slike koji se koriste u grafičkim programima u računarima i računarskim mrežama.
11. Za šta se koriste video-kartice u računarima?
12. Navesti neke od najpoznatijih formata za prikazivanje digitalnih slika na računarskim monitorima.
13. Šta se podrazumeva pod nelinearnom montažom NLE?
14. Koliko bita je potrebno za memorisanje slike rezolucije 1.024×768 piksela sa 8-bitnom bojom, a koliko za sliku sa $3 \times 8 = 24$ -bitnom bojom?
15. Ako standardna PCI magistrala ima širinu od 32 bita i radi na brzinama od 33 MHz, koliki bitski protok se ostvaruje izražen u bajtima? Koliki bitski protok se ostvaruje ako PCI magistrala radi sa 64 bita?
16. Izračunati kapacitet memorije video-kartice u bajtima da bi se memorisala i prikazala jedna digitalna slika u SDTV rezoluciji 1.024×768 piksela sa 8-bitnom bojom, i sa punom 24-bitnom bojom.
17. Kojim standardom se definišu uslovi za D/A konverziju 8-bitne digitalne slike u analogni komponentni RGB video-signal radi prikazivanja analogne slike na TV PAL monitoru?

18. Zašto se na izlazu svakog digitalnog uređaja za prikazivanje TV slike koriste interfejs-konvertori?
19. Da li video-kartice mogu da digitalizuju, memorišu i obrađuju ulazni analogni video-signal u realnom vremenu?
20. Objasniti programe za prostornu manipulaciju slikom i grafičku simulaciju objekata i procesa.
21. Kako se realizuje digitalna animacija slika u prostoru i vremenu?
22. Kako se realizuje virtuelna scenografija u TV studiju?
23. Šta se prikazuje na VGA monitorima, a šta na TV PAL monitorima u radnim stanicama za elektronsku grafiku i nelinearnu montažu?

11 |

KOMPRIMOVANJE VIDEO-SIGNALA

Videli smo da se digitalizacijom video-signala dobija ogromna količina binarnih podataka, što zahteva i velike bitske brzine. Znatna ušteda u broju bita postiže se digitalizacijom YUV umesto digitalizacijom RGB komponenata. S odnosom učestanosti odmeravanja $4 : 2 : 2$ u standardnom CCIR-601 formatu redukuje se već 50% bitskih informacija o boji, a sa odnosom učestanosti odmeravanja $4 : 2 : 0$ broj bita se smanjuje još 25% u odnosu na format $4 : 2 : 2$ jer se jedna linija odmerava sa $4 : 0 : 0$, pri čemu se zadržava ista rezolucija i u horizontalnom i u vertikalnom pravcu. Zatim, pri digitalizaciji video-signala obrađuje se samo aktivni deo slike i koduje u digitalnu povorku, a za potrebe sinhronizacije ne prenose se celi sinhronizacioni impulsi, nego samo dve umanjene kodne reči SAV i EAV. Krajnji cilj smanjenja ukupne količine potrebnih bita jeste smanjenje kapaciteta potrebnih memorija za memorisanje slika, smanjenje količine i brzine binarnih podataka koje procesori treba da obrađuju, kao i smanjenje frekvencijskog opsega telekomunikacionih kanala kojim treba prenositi digitalne TV video i audio signale. Najveća količina redukovanja istih ili nepotrebnih elemenata slike irelevantnih za TV sliku može se postići na osnovu male ili nikakve razlike u sjajnosti susednih tačaka na delovima iste slike. Redukovanje takvih redundantnih elemenata unutar iste slike naziva se **intrafrejm-komprimovanje**. Analizom se može uočiti velika sličnost između nekih susednih slika, kao i male ili nikakve razlike u sjajnosti odgovarajućih tačaka na susednim slikama. Redukcija redundantnih elemenata na susednim slikama naziva se **interfrejm-komprimovanje**. Tačke iste sjajnosti mogu se proglasiti suvišnim ili redundantnim, pa se ne moraju kodovati jer signal koji se ne menja ne sadrži nikakvu informaciju. Na primer, ako se prenosi stacionarna slika, svaka sledeća slika jednaka je prethodnoj, tako da posle prve slike ne treba prenositi nove podatke. Zapravo, smanjenje količine podataka postiže se ako se registruju i koduju samo promene sjajnosti između pojedinih delova iste slike ili odgovarajućih tačaka na susednim slikama. Na taj način može se drastično komprimovati

ili smanjiti ukupan broj bita potreban za kodovanje jedne slike ili niza susednih slika. Cilj svakog postupka komprimovanja jeste da se prepozna i pošalje samo promenljivi, odnosno koristan deo ulaznog signala, koji se naziva entropija, a da se ne prenosi ostali nepromenljivi deo signala, koji se naziva **redundansa**.

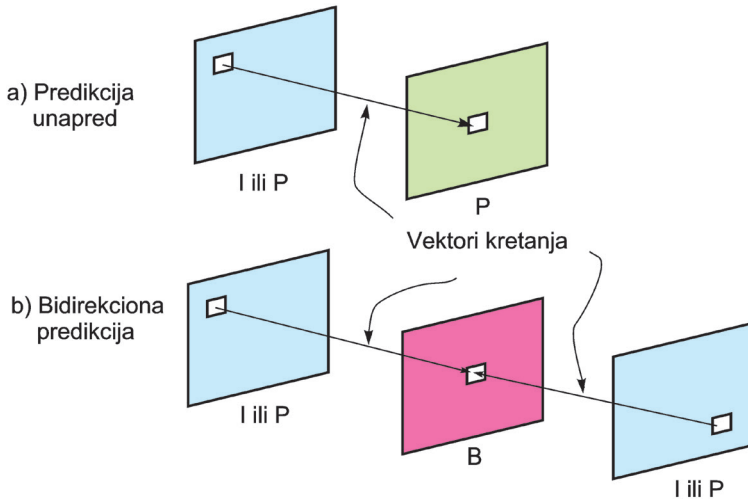
U realnim uslovima prenosa poželjno je preneti i deo redundanse da bi se omogućila lakša rekonstrukcija informacija koje se mogu izgubiti u prenosu. Drugim rečima, prenos signala je otporniji na smetnje ako izvesna redundansa postoji. Sve odluke o odvajanju entropije od redundanse i o načinu i stepenu kompresije obavljaju se u koderu na predajnoj strani, a na prijemnoj strani realizuje se dekodek, kao sklop potpuno inverzan koderu, da bi mogao da obavi dekodovanje primljenog signala što je moguće bolje.

Pošto komprimovanje, u načelu, redukuje broj bita digitalne reči, to neminovno prouzrokuje smanjenje rezolucije i pogoršanje kvaliteta u prenetom signalu. Zbog toga se kompresija mora sprovoditi obazrivo kako šum ne bi postao nepoželjno uočljiv. Greška koja se pojavi u prenosu samo jedne slike biće vidljiva i u svim sledećim slikama, tj. nastaće propagacija greške.

Kompresija koja uzima u obzir procenu, tj. estimaciju, kao i predviđanje, tj. predikciju sadržaja susednih slika, naziva se kodovanje s predviđanjem sadržaja slika ili **komprimovanje s prediktivnim kodovanjem**. Zbog moguće propagacije greške, povremeno se prenose slike dobijene samo kodovanjem unutar jedne slike. Postupak kodovanja između slika nije pogodan ni za prenos video-signala u kojem postoje nagli pokreti jer su razlike između slika prevelike da bi se mogle kvalitetno komprimovati i kodovati. Usled toga nastaje potreba za nadoknađivanjem pokreta upoređivanjem prethodne i trenutne slike i merenjem pomaka područja slike. Koder, zatim, modeluje objekat na novom položaju i upoređuje modelovane i stvarne slike. Za potrebe nadoknade pokreta slika se rastavlja u pravougaona područja, koja se nazivaju makroblokov.

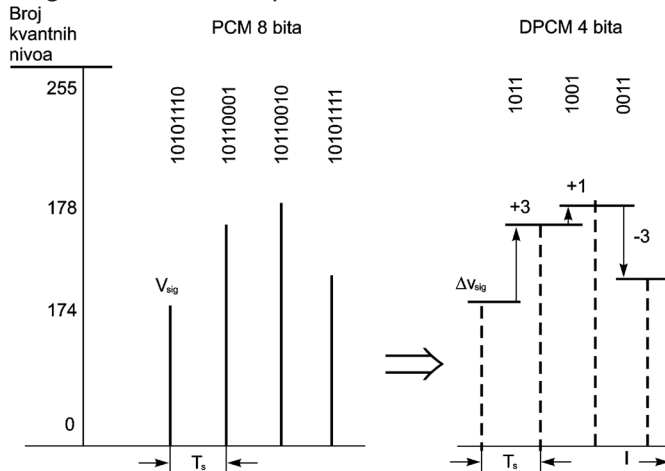
11.1. KOMPRIMOVANJE SA ESTIMACIJOM I PREDIKCIJOM SJAJNOSTI I POKRETA

Ako se objekat u nizu slika pomera, promene sjajnosti tačaka u susednim slikama su veće. U tom slučaju se obavlja estimacija i predikcija i sjajnosti i pokreta u susednim slikama. Pri tome, predikcija sadržaja susednih slika kod interfrejm-komprimovanja može se obavljati kretanjem samo unapred (*Forward Prediction*), slika 11.1 a), a može i kretanjem i unapred i unazad (*Bi-directional Prediction*), slika 11.1 b). Slike su obeležene sa I (*Intra-frame*), sa P (*Forward Prediction-frame*) i sa B (*Bi-directional-Prediction frame*).



Slika 11.1. Ilustracija interfrejm-komprimovanja

Poseban slučaj prediktivnog kodovanja jeste diferencijalna impulsna kodovana modulacija ili DPCM. Pri DPCM kodovanju, sjajnost jedne tačke koja je kodovana sa PCM odmerkom sa 8 bita, oduzima se od sjajnosti prethodne tačke iste slike i koduje se, memoriše i prenosi samo ova razlika sa DPCM i svega 4 bita, kao što je na slici 11.2 ilustrovano.



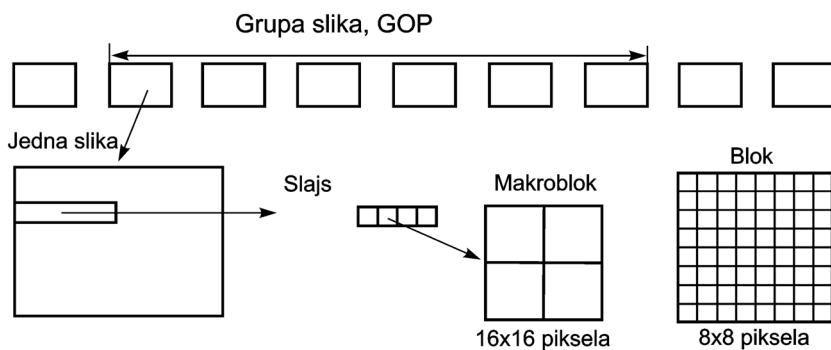
Slika 11.2. Prelaz sa 8-bitnog PCM kodovanja na 4-bitno DPCM kodovanje

Opisani postupci komprimovanja informacija u digitalizovanom video-signalu postali su delovi specijalnih metoda za komprimovanje nepokretne slike poznate kao **JPEG** (*Joint Photographic Experts Group*) i za komprimovanje pokretne slike poznate kao **MPEG** (*Moving Picture Experts Group*). Oznake JPEG i MPEG nastale su prema nazivima grupa

stručnjaka koji su razvili te standarde. S obzirom na masovnu primenu računara u televiziji, JPEG i MPEG kompresiju TV slike ne treba mešati s komprimovanjem podataka u računaru, koja se masovno primenjuje pri memorisanju velikih količina podataka. To su softverski kompresori, kao na primer ZIP, ARJ i drugi, koji za komprimovanje i dekomprimovanje podataka ne zahtevaju hardverski koder i dekodek, već taj postupak obavlja softverski sam procesor računara. Ti kompresori najčešće rade s odnosom kompresije 2 : 1, mada su razvijeni i kompresori slike sa znatno većim odnosom kompresije, i do 200 : 1. Naravno, što se primeni veći stepen kompresije, veća je verovatnoća i da se izgube korisne informacije. Maksimalni stepen kompresije koji se može primeniti bez gubljenja informacija zavisi od brzine rada magistrale u računaru i brzine rada hard-diska.

11.2. FORMIRANJE VIŠE SLOJEVA U MPEG STRIMU

Za realizaciju JPEG i MPEG komprimovanja razvijene su veoma složene metode digitalne obrade slike, zasnovane na matematičkim transformacijama. Proces komprimovanja deli se u nekoliko faza ili slojeva. Slika se najpre u koderu deli na **makroblokove** veličine 16 x 16 piksela, koji se organizuju u nizove ili trake (*Slice*) od više uzastopnih makroblokova po horizontali. Makroblokovi se dele na 4 još manja bloka veličine 8 x 8 piksela, koji još uvek sadrže prepoznatljive delove cele slike. Na slici 11.3 grafički je ilustrovano više slojeva u jednoj MPEG povorci video-podataka ili video-strimu.

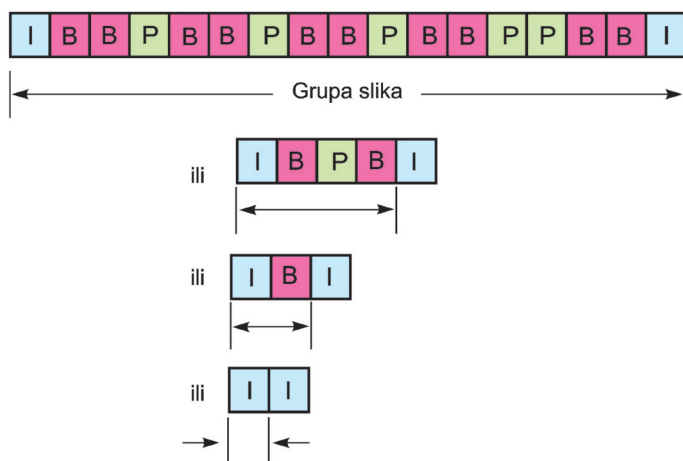


Slika 11.3. Formiranje više slojeva u MPEG video-strimu

Pri komprimovanju sa predikcijom, svaki od ovih blokova transformiše se matematičkim postupcima korišćenjem digitalne kosinusne transformacije DCT (ili nekom drugom transformacijom). U nekim multimedijalnim standardima obrade se mogu obavljati na celoj slici, na primer primenom Furijeovih transformacija, vejvlet (*Wavelet*) funkcija i

drugih matematičkih metoda. Kao rezultat ovakvih transformacija dobija se transformacioni koeficijent za obrađene slike, čijim se kvantovanjem i zatim kodovanjem može znatno smanjiti potrebna količina bita.

MPEG je grupa postupaka za interfrejm i intrafrejm komprimovanje, projektovana da pokrije široki opseg zahteva, od VHS kvaliteta do HDTV, nizom kompresionih algoritama baziranih na tehničkim karakteristikama i rezoluciji pojedinih digitalnih formata slike. Koristi se i intrafrejm-komprimovanje da se uklone redundantni podaci iz pojedinačnih slika, kao i interfrejm-komprimovanje da se ukloni redundantnost u nizu susednih slika, tako što se formiraju i obrađuju grupe slika, odnosno **GOP**, (*Groups Of Pictures*). Na slici 11.4 prikazana je jedna tipična MPEG grupa uzastopnih slika grupisanih u više grupa GOP.



Slika 11.4. Ilustracija GOP struktura kod MPEG komprimovanja

Broj slika u GOP-u može biti i veći i manji, kao što je na ovoj slici ilustrovano. Duže grupe su kompleksnije, pa su i efikasnije u pogledu kompresije, ali smanjuju sigurnost pri elektronskoj montaži na nivou frejma.

11.3. MPEG FAMILIJA ZA KOMPRIMOVANJE VIDEO-SIGNALA

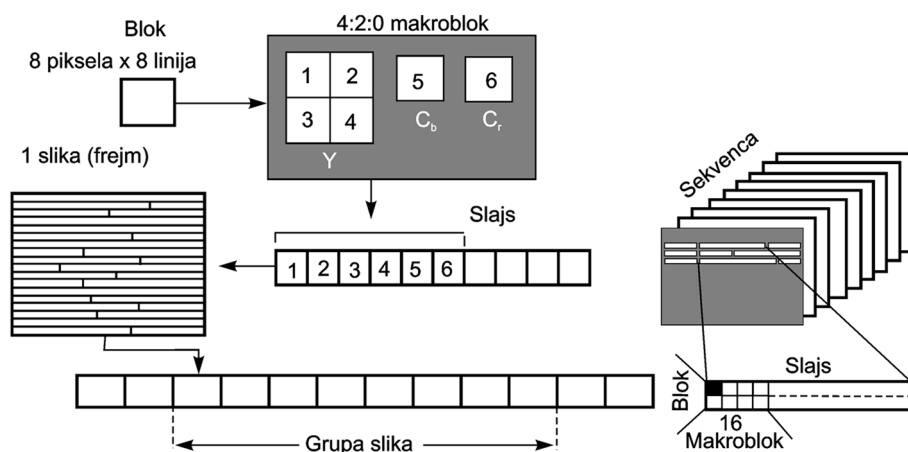
Familiju MPEG čine nekoliko postupaka komprimovanja.

MPEG-1 postupak komprimovanja namenjen je multimedijalnim aplikacijama sa rezolucijom 352 x 24.

MPEG-2 komprimovanje nudi punu ITU-R BT.601 rezoluciju za profesionalnu televiziju, sa bitskim protocima koji mogu da se kreću od 4 Mbita/s za televiziju niske rezolucije – **LDTV** (*Low Definition Television*), do 300 Mbita/s za HDTV signale.

MPEG-4 namenjena je multimedijima i najčešće se primenjuje sa četvrtinom rezolucije od 352 x 240. MPEG-4 verzija 10, poznata kao H.264 AVC, namenjena je za prenos TV signala preko interneta i za potrebe mobilne televizije (DVB-H). Zbog malog protoka, pri istovremeno dobrom kvalitetu, koristi se i u HDTV prenosu, sa protocima do 6 Mbita/s.

MPEG-7 specificira set deskriptora za multimedijalne informacije i obezbeđuje standardizaciju sadržaja multimedijalnih deskriptora. Materijali mogu sadržati statične slike, 2D grafiku i 3D modele, audio-sadržaje, kao i informacije o tome kako su ovi elementi kombinovani u digitalnim bazama podataka.



Slika 11.5. Arhitektura video-strima za MPEG-2, format slike 4 : 2 : 0

MPEG-2 standard strogo definiše sintaksu bitskog toka koja će biti realizovana u MPEG-2 koderu, ali i sve informacije koje će biti potrebne MPEG-2 dekoderu na prijemnoj strani. Postoji 6 slojeva hijerarhijske strukture podataka. Luminentni Y i hrominentni podaci C_b i C_r odvojeni su u blokove dimenzija 8 x 8 (*broj piksela puta broj linija*). Makroblok čine 4 bloka dimenzija 8 x 8 u prozoru 16 x 16, koji zajedno sa pridruženim C_b i C_r blokovima duž jedne horizontalne trake nose informacije o originalnoj slici, videti sliku 11.5. Broj pridruženih hrominentnih blokova određen je strukturom odmeravanja 4 : 4 : 4 ili 4 : 2 : 2 ili 4 : 2 : 0. Slajs je sastavljen od više kontinualnih makrobloka po horizontali i ima dužinu od 16 horizontalnih linija. Cela slika, dakle, predstavljena je sa više takvih slajsova, koji u sebi nose kodovane sve neophodne informacije i za koder i za dekoer. Grupa slika, ili GOP, sastavljena je od sekvence ili uzastopnog niza različitih kombinacija I, P ili B slika, što zavisi od primenjene interfrejm-kompresije s predikcijom i od sadržaja slika. GOP

sekvence najčešće nisu duže od 15 slika. Video-sekvencu ili video-strim započinje kodnim zaglavljem za start strima, zatim slede jedna ili više GOP sekvenci, koje nose korisne informacije o slici, a na kraju se koduje oznaka za kraj video-strima. Na slici 11.5 ilustrovana je arhitektura video-strima za MPEG-2 sa formatom digitalne slike 4 : 2 : 0. Odnos učestanosti 4 : 2 : 0 se upravo i primenjuje u MPEG-2 kompresiji zato što se sa takvom digitalizacijom broj piksela smanjuje 25% u odnosu na format 4 : 2 : 2 jer se jedna linija odmerava sa 4 : 0 : 0, pri čemu se zadržava jednaka rezolucija i u horizontalnom i u vertikalnom pravcu.

11.4. MPEG-2 MPML STANDARD ZA PRENOS KOMPRIMOVANIH PODATAKA U DIGITALNIM VIDEO-SIGNALIMA

Neizbežno komprimovanje video i audio signala postavlja dodatne uslove, kako za njihovu obradu u TV centrima, tako i za njihov prenos i distribuciju do krajnjih korisnika.

Evropski sistem za digitalnu televiziju **DVB** (*Digital Video Broadcasting*) usvojio je standard MPEG-2 *Main Profile@Main Level*, ili skraćeno **MPEG-2 MPML**, za prenos komprimovanih podataka u digitalnim video-signalima. Njime se definišu postupci kompresije digitalnih video-podataka, ali i postupci za redukciju bita koji se mogu primeniti u samom formatu slike, kao i druge informacije neophodne za sinhronizaciju i dekodovanje video i audio-signala za vreme reprodukcije na prijemnoj strani. Rezolucija se bira tako da se obezbedi, u najgorem slučaju, standardni PAL kvalitet slike, koja je ograničena učestanošću podnosioca boje $f_{sc} = 4,43$ MHz. Familija MPEG-2 MPML parametara definisana je sa 6 profila i 4 nivoa, koji su prikazani u tabeli 11.1. U 4 nivoa, i to HL (*High Level*), H14L (*H 1.440 Level*), ML (*Main Level*) i LL (*Low Level*), specificiran je maksimalni bitski protok, koji određuje i brzinu prenosa TV programa i rezoluciju sistema (koja je određena brojem odmeraka po liniji, brojem linija po slici i brojem slika u sekundi).

Profili definišu način rada, odnos učestanosti odmeravanja i način kompresije slika I, P ili B. Profili su označeni sa SP (*Sample Profile*), MP (*Main Profile*), SNRP (*Signal to Noise Ratio Profile*), SP (*Spatial Profile*), HP (*High Profile*) i 422 (4 : 2 : 2 *Profile*). Za profile s manjim bitskim protokom i s nemogućnošću bidirekciono predikcije B koriste se jednostavniji i jeftiniji MPEG-2 koderi na strani predajnika i MPEG-2 dekoderi na strani prijemnika. MPEG-2 dekoderi se projektuju sa rastućom kompatibilnošću, što znači da dekodirani višeg profila i nivoa mora biti u stanju da dekoduje sadržaje nižih profila i nivoa. Obrnuta kompatibilnost nije moguća. Razlike

između pojedinih profila i nivoa su previše velike, tako da praktično nije moguće realizovati univerzalne MPEG-2 kodere i dekodere.

Tabela 11.1. MPEG-2 MPML standardizovane vrednosti za profile i nivoe

NIVOI (Levels) specifikacije		PROFILI (Profiles) - oznake					
		Niži profil SP	Glavni profil MP	SNR profil SNRP	Prostorni profil SP	Visoki skalabilni profil HSP	4:2:2 profil 422 P
	Odnos učestanosti odmeravanja Predikcija slika	4:2:0 I,P	4:2:0 I,P,B	4:2:0 I,P,B	4:2:0 I,P,B	4:2:0 ili 4:2:2 I,P,B	4:2:2 I,P,B
Visoki nivo HL Maks. bitski protok Odmeraka po liniji Linija po slici Slika u sekundi	Primeri primene: HDTV, 16:9 1920x1152x25, DVB-T 1920x1080x25, DVB-T 1920x1080x30, ATSC 1920x1152x30, ATSC		80 Mb/s 1920x1152x25 1920x1080x25			100 Mb/s 1920x1152x25 1920x1080x25 1920x1080x30 1920x1152x30	300 Mb/s 1920x1152x25 1920x1080x25 1920x1080x30 1920x1152x30
Visoki 1440 nivo H 14 L Maks. bitski protok Odmeraka po liniji Linija po slici Slika u sekundi	Primeri primene: EDTV, 16:9 1440x1152x25, DVB-T 1440x1080x30, ATSC		60 Mb/s 1440x1152x25 1440x1080x25	60 Mb/s 1440x1152x25 1440x1080x25		80 Mb/s 1440x1152x25 1440x1080x25	
Glavni nivo ML Maks. bitski protok Odmeraka po liniji Linija po slici Slika u sekundi	Primeri primene: SDTV, 16:9 i 4:3 720x576x25, DVB-T 720x480x30, ATSC	15 Mb/s 720x576x25 720x480x30	15 Mb/s 720x576x25 720x480x30		15 Mb/s 720x576x25 720x480x30	20 Mb/s 720x576x25 720x480x30	50 Mb/s 720x576x25 720x480x30
Niski nivo LL Maks. bitski protok Odmeraka po liniji Linija po slici Slika u sekundi	Primeri primene: LDTV, 16:9 i 4:3 352x288x25, DVB-T 352x240x30, ATSC		4 Mb/s 352x288x25 352x240x30	4 Mb/s 352x288x25 352x240x30			

Kao što se iz tabele 11.1 može videti, MPEG-2 MPML kompresiju koriste TV sistemi i sa 625/50 i 525/60 formatima. Tako, na primer, glavni nivo ML i glavni profil MP koristi se za **SDTV format 720 × 576 × 25**, kao i za format 720 × 486 × 30, sa bitskim protokom od 15 Mb/s i primenom kompresije I, P, B, šrafirano polje u tabeli 11.1. Visoki nivo je predviđen za maksimalnu rezoluciju 1.920 × 1.152, definisanu međunarodnim standardom ITU-R BT.709. Profil 422P koristi odmeravanje 4 : 2 : 2 i projektovan je za profesionalnu studijsku upotrebu. On omogućuje širi propusni opseg za boju sa odnosom odmeravanja 4 : 2 : 0, pa se ova kompresija koristi i za potrebe postprodukcije. Tabela 11.1.

Šest profila i četiri nivoa omogućuju 24 kombinacije u MPEG-2 MPML standardu. Do sada je realizovano 13 kombinacija koje se koriste za LDTV, SDTV i HDTV, kao i u DVD video-tehnici, javnim multimedijalnim sistemima i kućnim multimedijalnim centrima. MPEG-2 MPML kompresija koristi se i u evropskim DVB digitalnim sistemima za distribuciju TV programa, kao i u američkom sistemu ATSC (*Advanced Television Systems Committee*) za digitalni prenos TV programa. Skalabilnost u kodovanju parametara znači da se iz signala najvišeg nivoa HDTV može dobiti signal

koji je po hijerarhiji nižeg ranga, kao što su televizija poboljšane rezolucije **EDTV** (*Enhanced-Definition TV*), SDTV i LDTV (*Low-definition TV*). Razne kombinacije u MPEG-2 MPML standardu omogućuju i projektantima i korisnicima digitalnih uređaja da se opredele za optimalan izbor parametara u zavisnosti od primene koju žele da realizuju, pri čemu mogu da se odluče za kompromis između tehničkih performansi i cene. Tako, na primer, TV sistem niske rezolucije (LDTV) sa 352 odmerka po liniji, 288 aktivnih linija po slici i bitskim protokom od 4 Mb/s može biti pogodan za primenu u mobilnoj DVB-T televiziji.

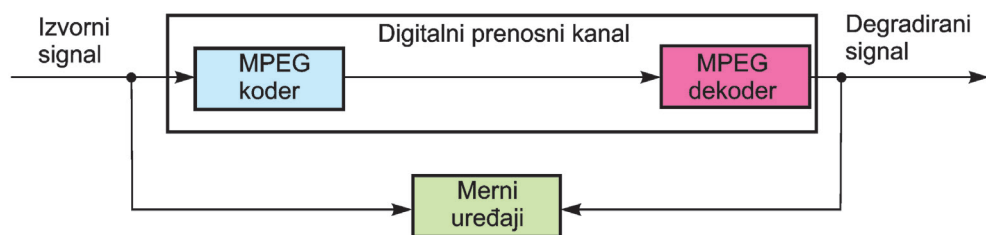
Za prenos audio-signala potreban je bitski protok oko 100 puta manji od bitskog protoka za prenos video-signala. Međutim, i digitalni audio-signalni podvrgavaju se kompresiji podataka zbog uštede u širini opsega transmisionih kanala. Za kompresiju podataka u audio-signalima definisana su tri audio MPEG-2 kodna sloja ili lejera.

11.5. SUBJEKTIVNA PROCENA KVALITETA KOMPRIMOVANIH SLIKA

U zavisnosti od odnosa komprimovanja, javlja se i manje ili više uočljiva degradacija slike, koja može da iritira gledaoca. Stepen komprimovanja bira se u zavisnosti od sadržaja slike i željenog kvaliteta komprimovanog signala. Zbog toga se pažljivo balansiraju sadržaj i kvalitet slike s faktorom komprimovanja.

Za subjektivnu procenu kvaliteta komprimovanih digitalnih slika uvedeni su međunarodni standardizovani testovi **ITU-R BT.500**. Na slici 11.6 prikazan je pojednostavljeni blok-dijagram sistema za testiranje komprimovanih digitalnih slika na jednom prenosnom kanalu. Metoda se sastoji u subjektivnom upoređivanju izvorne nekomprimovane slike na ulazu s dekomprimovanom slikom na izlazu prenosnog kanala, na primer u formatu SDI, 4 : 2 : 2 i 270 Mb/s. S obzirom na činjenicu da koder i dekoder nisu u principu na istom mestu, neophodan je i dodatni prenosni kanal za dovođenje signala do mernih uređaja, koji, nažalost, unosi i neizbežnu grešku pri merenju. Sve to uslovljava nove kriterijume za ocenu kvaliteta slike. Prema standardu su definisani vremenski intervali u kojima se posmatraču prikazuje referentna scena, a zatim i odgovarajuća scena nakon prenosa i dekodovanja. Kvalitet prenete slike sa unetom degradacijom ocenjuje se sa 5 stepeni gradacije:

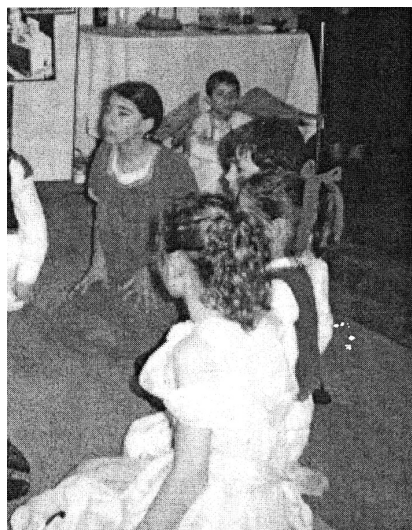
1. veoma uočljiva,
2. uočljiva,
3. neznatno uočljiva,
4. može se zapaziti, ali nije mnogo uočljiva,
5. neuočljiva.



Slika 11.6. Blok-dijagram sistema za testiranje komprimovanih slika



a) JPG format, kompresija 1%, 59.854 bajta



b) JPG format, kompresija 50%,
7.409 bajta



c) JPG format, kompresija 99%,
1.927 bajta

Slika 11.7. Ista slika u JPG formatu sa različitim stepenima kompresije

Radi preciznije procene, posmatraču se može prikazivati u određenim vremenskim intervalima i više referentnih i degradiranih slika, koje on treba da oceni brojnomo vrednosti prema definisanoj skali. Na slici 11.7 ilustrovani su primeri sa manje ili više uočljivom diskretnom strukturom slika u zavisnosti od primenjenog postupka i odnosa komprimovanja. Prikazana je ista slika sa dečje priredbe, kodovana u JPEG formatu sa stepenom komprimovanja od 1%, slika 11.7 a), koja zauzima memorijski prostor na hard-disku od 59.854 bajta, zatim sa stepenom komprimovanja od 50%, slika 11.7 b), za koju je potrebno mnogo manje memorijskog prostora na hard-disku, odnosno 7.409 bajta. Na prvi pogled se vidi da razlika u kvalitetu slike nije velika i da su i jedna i druga slika sasvim upotrebljive za određene primene. Međutim, smanjenje broja bita je veoma veliko.

Jasno je da stepen kompresije od 50% znači da je 50% sadržine slike uključeno u algoritam za kompresiju. Postavlja se pitanje šta će biti sa slikom ako se primeni stepen kompresije od 99%, za koju je potrebno samo 1.927 bajtova? Ona će izgledati veoma loše, kao na slici 11.7 c), ali je za neke posebne primene možda baš takva slika dovoljna i poželjna.

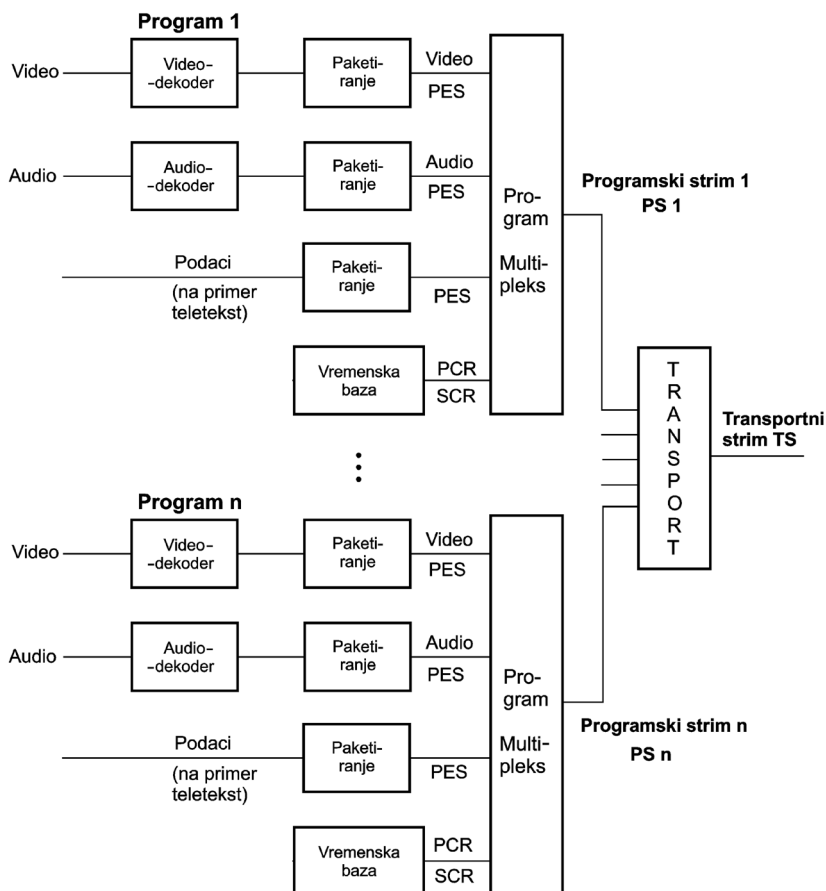
11.6. PAKETIZACIJA KOMPRIMOVANIH TV PROGRAMA I TRANSPORTNI STRIM

Povorka bita koja se generiše u video i audio MPEG koderima naziva se elementarni strim za video-podatke i elementarni strim za audio-podatke. Radi prenosa ovih podataka na veće udaljenosti, oni se formiraju u paket ili paketizuju u posebnom modulu, na čijem izlazu se dobija **paketizovani elementarni strim** ili **PES**. **Video-paket PES**, sadrži sve potrebne podatke za komprimovanu sliku. Maksimalna dužina video PES-a može biti $(2^{16}-1) = 65.535$ bajtova. Svaki paket počinje fiksnim zaglavljem dužine 6 bajtova. Sa prva 3 koduje se komanda za startovanje paketa. Četvrtim bajtom označava se da li se prenosi video ili audio informacija, a petim i šestim bajtom označava se bitska dužina paketa.

Programski strim, odnosno PS, formira se od paketizovanih video i audio strimova s dodatkom podataka za teletext i specifičnih programskih informacija za vremensko usaglašavanje programa **PCR** (*Program Clock Reference*), kao i za neophodnu sinhronizaciju MPEG dekodera na prijemnoj strani **SCR** (*System Clock Reference*), videti sliku 11.8.

Transportni strim formira se za potrebe prenosa na veoma velike razdaljine, kao što je prenos digitalnih TV signala do gledalaca. Pošto se transportni strimovi do 40 Mb/s mogu prenositi i konvencionalnim

TV kanalom, korišćenjem kanalnog kodovanja koje je u skladu sa DVB standardom, transportni strimovi sadrže po nekoliko programskih strimova. Da bi se u potpunosti iskoristio dozvoljeni bitski protok, transportni strimovi više provajdera mogu se kombinovati u multiplekseru za transportni strim i formirati jedinstven transportni strim na izlazu. Na slici 11.8 prikazane su sve faze formiranja više programskih strimova i jedinstvenog transportnog strima na izlazu.



Slika 11.8. Blok-dijagram formiranja više programskih strimova PS i jednog transportnog strima TS

Dužina transportnih strimova je fiksna i iznosi tačno $4 + 184 = 188$ bajtova da bi bila ceo umnožak od dužine ćelija širokopojasne integrisane mreže ATM. Dužina ATM ćelija je 47 bajtova, pa je $4 \times 47 = 188$ bajtova. Prva 4 bajta se koriste za kodovanje komande za startovanje transportnog paketa, a ostala 184 bajta nose korisne TV informacije. Smatra se da će ATM mreža biti dominantna u budućnosti u odnosu na druge

širokopojasne paketske mreže s mogućnostima prenosa video-signala i velikog broja integrisanih usluga zbog mogućnosti prenosa svih tipova digitalnih podataka po jednoj mreži i kompatibilnosti i transparentnosti sa postojećim tehnikama prenosa.

Takođe, primenjuje se i zaštita podataka skremblovanjem da bi se omogućila prodaja TV programa ovlašćenim pretplatnicima. Skremblovanje se bazira na sekvencama od po 8 bajtova, tako da se ukupna dužina strima koji nosi TV informacije deli na $23 \times 8 = 184$ bajta.

Pri reprodukciji paketizovanog programa na prijemnoj strani prvo se dekoduju pojedinačni elementarni strimovi, a zatim sinhrono video i audio signali. Radi vremenskog usaglašavanja i sinhronizacije, u prijemniku se izdvajaju i potrebni podaci iz SCR i PCR.

11.7. KLJUČNI POJMOVI

Redundansa. Ušteda u broju bita. Entropija ili promenljivi deo video-signala. Redundantni ili nepromenljivi deo video-signala. Odvajanje entropije od redundanse. Intrafrejm-komprimovanje. Interfrejm-komprimovanje. Komprimovanje unapred. Bidirekciono komprimovanje. Stepent komprimovanja. Gubitak korisnih informacija. Smanjenje rezolucije. Propagacija greške. Procena ili estimacija. Predviđanje ili predikcija. Predikcija sjajnosti i pokreta. Prediktivno kodovanje. Digitalna kosinusna transformacija – DCT. Furijeove transformacije. Kompresioni algoritam. Grupa slika – GOP. Makrobloкови. MPEG povorka. Video-strim. Slajs. JPEG. MPEG. MPEG-1. MPEG-2. MPEG-4. MPEG-7. Nekomprimovana slika. Komprimovana slika. Dekomprimovana slika. Stepent degradacije slike. Prenosni kanal. Procena kvaliteta komprimovanih slika.

11.8. PITANJA I ZADACI ZA OBNAVLJANJE GRADIVA

1. Koliko bita se uštedi digitalizacijom YUV komponentata umesto RGB komponentata sa odnosom učestanosti 4 : 2 : 2 i odnosom učestanosti 4 : 2 : 0?
2. Zašto se obavlja komprimovanje video-signala i koji su krajnji ciljevi?
3. Šta je entropija u video-signalu, a šta redundantni deo video-signala?
4. U čemu je razlika između intrafrejm i interfreim komprimovanja?
5. Kada i kako se primenjuje komprimovanje sa estimacijom i predikcijom sjajnosti i pokreta?
6. Kako se formira više slojeva u MPEG strimu?

7. Koje MPEG komprimovanje se koristi za profesionalnu televiziju?
8. Za šta se koriste MPEG-1, MPEG-4 i MPEG-7 komprimovanja?
9. Kako se procenjuje kvalitet komprimovanih slika na jednom prenosnom kanalu?
10. Šta sadrži video PES i kolika je njegova maksimalna dužina u bajtovima?
11. Šta se koduje sa 6 bajtova u fiksnom zaglavlju na početku svakog paketizovanog elementarnog strima?
12. Šta sve sadrži programski strim, PS?
13. Šta sadrži transportni strim, TS?

12 | PRIKAZIVANJE TELEVIZIJSKE SLIKE

Prikazivanje televizijske slike je poslednji korak u lancu generisanja, obrade i ekonomičnog prenosa slike do TV prijemnika. Sva poboljšanja tehničkih mogućnosti televizijskih uređaja, od TV kamere do TV prijemnika, usmerena su na konačno poboljšanje kvaliteta reprodukovane slike. Uslovi gledanja pokretnih slika na realnoj sceni, na bioskopskom platnu pri optičkoj projekciji i na TV prijemniku, naravno, nisu isti. Međutim, zahvaljujući mogućnostima adaptacije oka, moguće je ostvariti utisak realnosti reprodukovane slike i na ekranu TV prijemnika. Vernost reprodukovanih TV slika povezana je sa vizuelnim mogućnostima oka da raspoznaje sitne detalje u strukturi reprodukovanih slika koje se menjaju u prostoru i vremenu i mogućnošću adaptacije oka da na reprodukovanoj slici bude zadovoljen relativni osećaj sjajnosti susednih površina i odnos prema sjajnosti okoline, kao i da prati učestalost promena sjajnosti u pokretnim slikama. Dovoljno je da kontrast uvek bude kao na originalnoj sceni i da se slike podudaraju u kolorimetrijskom smislu.

Videli smo da je vizuelni sistem oka veoma složen za percepciju boja zbog ograničenih optičkih mogućnosti oka i konačne gustine receptorskih ćelija. Oko zapaža promene u boji znatno slabije od promena nivoa sjajnosti. Dve boje razlikujemo samo ako je kontrast između njih veći od 3 : 1, što je, srećom, u prirodi najčešći slučaj. Zapažanje boja zavisi od osvetljenosti objekata, ali i od vidnog ugla pod kojim se boje gledaju. Naš vid je trihromatičan samo pri vidnim uglovima većim od 20 minuta. Pri vidnom uglu manjem od 10 minuta oko ne vidi boje, već samo nijanse sivoga. Pri posmatranju slika na ekranu TV prijemnika sa rastojanja od šest visina ekrana ugao pod kojim se vidi ceo ekran po širini iznosi oko 13 stepeni. Osetljivost oka zavisi i od pravca pod kojim se menja sjajnost i smanjuje se 10% do 20% u pravcu dijagonale ekrana. Oko je osetljivo i na treperenje u slici, na duple slike (duhove), koje nastaju zbog reflektovanih talasa, kao i na šum i druge smetnje u slici.

12.1. FORMATI FILMSKE I TELEVIZIJSKE SLIKE

Sve okolnosti u vezi sa vizuelnim mogućnostima oka uzimaju se u obzir pri formiranju i prenosu televizijskih slika. Jedan od bitnih uslova za poboljšanje televizijske slike jeste određivanje oblika i veličine, ili formata televizijske slike, a time i oblika i veličine ekrana TV prijemnika. Osnovni preduslov za to jeste da slika odgovara najpogodnijem vidnom uglu čovečjeg oka, tako da se gledaocu omogućí da što potpunije apsorbuje televizijsku sliku. U početku razvoja televizije usvojeno je da televizijska slika bude pravougaonog oblika sa odnosom stranica 4 : 3 ili 1,33 : 1. Ovakav odnos stranica (*aspect ratio*) TV slike preuzet je iz kinematografije. Na taj način bilo je omogućeno direktno korišćenje postojećeg filmskog materijala za emitovanje preko TV sistema, u tom vremenu kada još nisu postojale elektronske TV kamere, niti bilo koji drugi medij za memorisanje televizijske slike.

Poboljšanje kvaliteta analogne TV slike veoma je ograničeno, a s prenošenjem kroz komunikacione sisteme i višestrukim uzastopnim presnimavanjem degradacija analogne TV slike sve je progresivnija. S druge strane, TV prijemnici s odnosom stranica 4 : 3 dovode do određenih gubitaka površine slike koja se prikazuje. Klasični TV prijemnici s teškim katodnim cevima, visokim naponom, rendgenskim zračenjem, geometrijskim izobličenjima i drugim nedostacima, postali su najlošija karika u celom TV lancu.

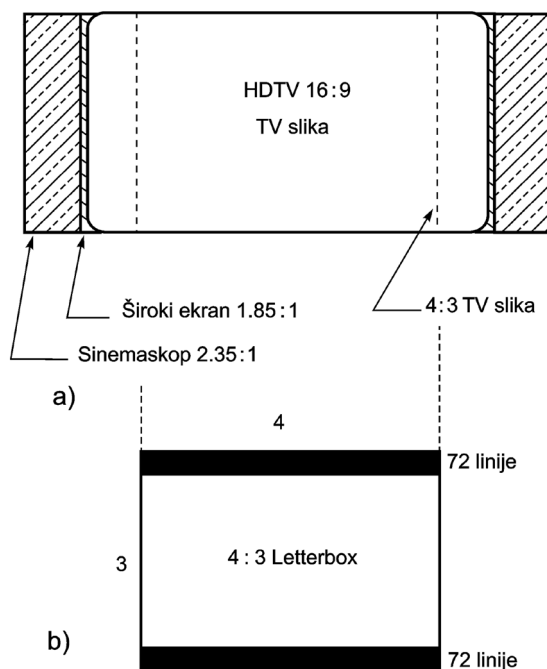
Digitalizovana TV slika, digitalizovani TV prijemnici i nove tehnologije pločastih ekrana doneli su niz kvantitativnih i kvalitativnih novina u pogledu ukupnog poboljšanja kvaliteta televizijske slike. Povećani broj linija i novi format TV slike u sistemima sa visokom rezolucijom omogućuju oštrij sliku, finije strukture s prikazivanjem sitnijih detalja u slici. Naravno, ljudsko oko ne može da razlikuje dve susedne boje kodovane sa dva susedna binarna broja jer to premašuje osetljivost našeg oka.

Digitalizovani video-signal i digitalizovani TV prijemnik omogućuju čitav niz novih tehnoloških postupaka za poboljšanje kvaliteta reprodukovane TV slike. Digitalizovani video-signal može se lokalno memorisati u digitalnom TV prijemniku. Time se omogućuje da se očitavanje memorisanog sadržaja susednih linija obavi u vremenskom nizu koji odgovara progresivnoj analizi TV slike u kameri (*De-interlace*), s jednakom ili većom učestanošću. Na taj način eliminiše se uočljivo treptanje u slici.

Digitalizovani signal omogućuje da se interpolacijom dveju susednih prenetih slika dobiju dodatne slike, tako da se reprodukcija može obaviti sa duplo većom vertikalnom učestanošću poluslika od 100 Hz. Time se

znatno poboljšava kvalitet reprodukovanih slika s pokretnim objektima u slici. Digitalni TV prijemnici imaju mogućnost poboljšanja i odnosa signal–smetnje, kao i mogućnost eliminacije duplih slika u slici nastalih zbog refleksije.

Zbog filmskog materijala snimljenog u sinemaskopu, ali i zbog povoljnijeg vidnog ugla i iz psiholoških razloga, gledalac ima snažniji utisak realnosti ako je slika izduženija u horizontalnom pravcu. Odnos širine i visine slike detaljno je ispitivan godinama i u uslovima optičke projekcije filma i u uslovima prikazivanja elektronske slike na TV prijemnicima. U filmskoj projekciji su uvedeni sinemaskop sa optičkim tonom i formatom ili odnosom širine i visine slike 2,35: 1, široki ekran (*Wide screen*) sa odnosom stranica 1,85 : 1.

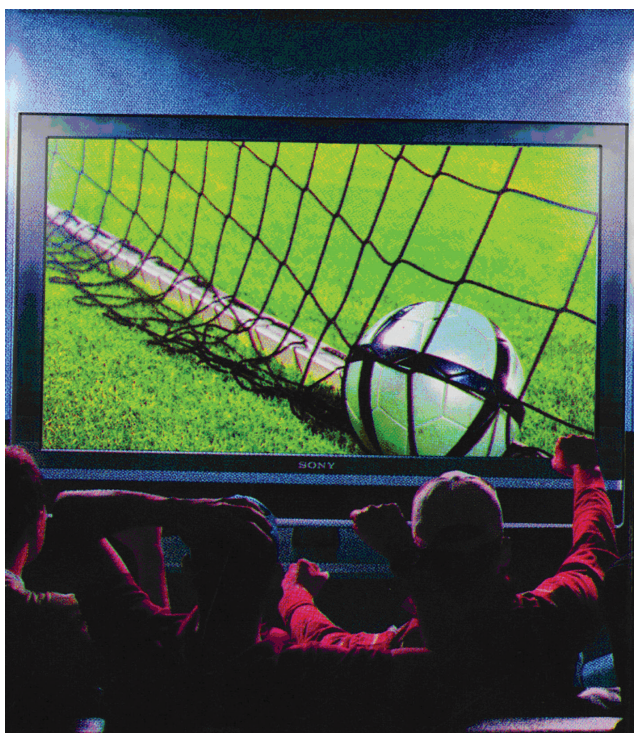


Slika 12.1. Ilustracija različitih formata filmske i televizijske slike

U televiziji je bilo nekoliko prelaznih formata od 4 : 3 ka 16 : 9, slika 12.1 a). Na primer, *letterbox*, gde se od formata 4 : 3 zatamnjuju po 72 linije na vrhu i na dnu slike, slika 12.1 b). Velike tamne površine iznad i ispod slike mnogo umanjuju sliku, uočljive su i jasno je da sinemaskop nije podesan za televiziju.

Što se tiče formata televizijske slike, utvrđeno je da je za gledaoce najpovoljnije da odnos širine i visine slike bude **16 : 9**, što je približno jednako odnosu 1,85 : 1 širokog ekrana kod filmske projekcije. Format TV

slike sa odnosom stranica 16 : 9, sa rezolucijom od **1.920 × 1.080 piksela**, sa učestanošću slika od 50 Hz i analizom sa preredom 2 : 1, usvojen je za **HDTV sistem u Evropi**, što se skraćeno označava sa **HDTV 1.920 × 1.080 50 2 : 1 16 : 9**. Povećanjem broja linija i broja piksela kod HDTV sistema dobija se slika koja ima pet puta više elemenata slike nego klasična TV slika. Time je omogućeno dobijanje slike visokog kvaliteta i na velikim ekranima. Kvalitet slike je primetno bolji i na malim ekranima, ali se prednost ispoljava tek kod ekrana većih dimenzija i kod televizijskih HDTV projektor. Razvijene su HDTV katodne cevi dijagonale do jednog metra i HDTV projektori sa širinom slike od 1,6 m, 3,5 m i 10 m. Ovako veliki elektronski projektori otvaraju mogućnost da filmska kinematografija preraste u elektronsku HDTV kinematografiju. Rezolucija elektronske HDTV slike odgovara približno rezoluciji filmske 35-milimetarske slike. Već godinama, dugometražni igrani filmovi se snimaju i elektronskim kamerama. Distribucija HDTV filmova se obavlja pomoću magnetoskopskih traka, a prikazivanje pomoću HDTV monitora i velikih HDTV projektor u filmskim dvoranama. Otvara se i mogućnost distribucije HDTV filmova elektronskim putem, pomoću gradskih širokopojasnih mreža **MAN** (*Metropolitan Area Network*), iz jednog gradskog distributivnog centra u udaljene filmske dvorane budućih elektronskih TV bioskopa.



Slika 12.2. Veliki TV prijemnik sa pločastim ekranom

Kao ideal kome se teži, proizvođači TV opreme već dugi niz godina razvijaju nove ravne ekrane u obliku ploče za prikazivanje televizijske slike, koji bi bili većih dimenzija i omogućili gledaocima što snažniji utisak realnosti.

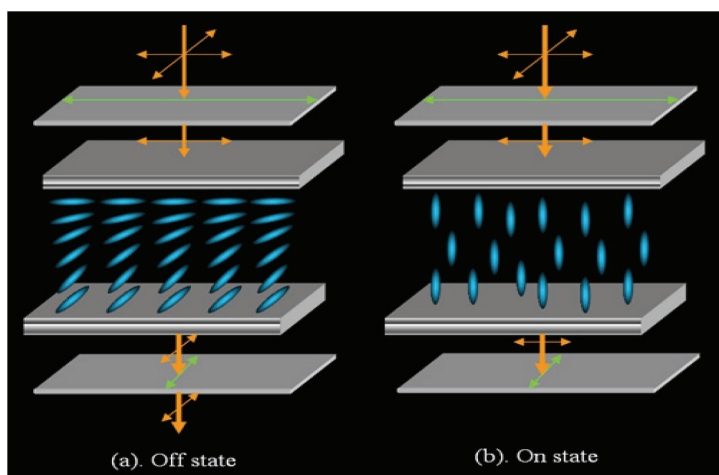
Takvi ekrani mogu da se okače na zid kao slika ili kao bioskopsko platno, tako da ih posmatra veći broj gledalaca. Na taj način postiže se kompromis između velikih bioskopskih projekcija i malih klasičnih kućnih TV ekrana, kao što je prikazano na slici 12.2. Danas se serijski proizvode TV prijemnici sa pločastim ekranima, u kojima preovlađuju LCD, plazma i OLED tehnologija za izradu pločastih ekrana.

12.2. LCD TV EKRANI

Tečni kristali imaju veoma značajne tehničke mogućnosti za izradu ekrana za širok opseg veličina. Tehnologija LCD ekrana na bazi tečnih kristala veoma je kompleksna i godinama je razvijana, a i dalje se usavršava. Masovna primena LCD ekrana za izradu TV prijemnika počela je devedesetih godina 20. veka, a već 2008. oni su potpuno potisnuli iz upotrebe CRT ekrane. LCD ekrani ne koriste visoki napon pa nemaju geometrijska izobličenja ni rendgensko zračenje kao CRT ekrani. Niska potrošnja električne energije omogućuje da se i LCD ekrani većih dimenzija mogu napajati pomoću jednosmernog napona iz baterija, pa mogu biti i prenosivi. Zbog veće operativnosti i kompaktnosti, manje debljine i težine, nižih troškova izrade, veće pouzdanosti u radu i manje štetnosti po zdravlje, LCD ekrani imaju veoma širok spektar primene, uključujući TV prijemnike, računarske monitore, instrument-panele, znakovna obeležja, satove, kalkulatore, telefone i druge uređaje.

12.2.1. PRINCIP RADA LCD EKRANA

Slika na ekranu formira se odgovarajućom polarizacijom tečnog kristala. Pošto su molekuli tečnog kristala labavi, primena električnog polja preko strukture tečnog kristala dovodi do promene optičke karakteristike kristala i njegovi molekuli se prestroje vertikalno. Otkriće TN (*Twisted Nematic*) efekta bilo je prekretnica koja je tehnologiju tečnih kristala učinila primenjivom u praksi, a njegova primena na LCD uređajima je bila moguća uz nisku potrošnju električne energije ili upotrebu baterija. TN efekat zasniva se na precizno kontrolisanom prestrojavanju molekula tečnog kristala pod dejstvom električnog polja, što se može postići primenom niskog napona. Način na koji ovaj efekat funkcioniše objašnjen je u dve situacije, tj. kada je uređaj u režimima rada „OFF” i „ON”, što je ilustrovano na slici 12.3.



Slika 12.3. Prikaz ponašanja molekula tečnog kristala u režimima „OFF” i „ON”

U režimu „OFF” nema dejstva električnog polja, a uvrnuta spiralna (*twisted*) struktura molekula tečnog kristala formira se između dva sloja staklenih ploča, koje su odvojene i prekrivene providnim elektrodama. Elektrode su presvučene slojem koji obrće molekule tečnog kristala tačno za 90° kada nema dejstva električnog polja. Ako je prednja strana uređaja izložena svetlu određene polarizacije, svetlost će proći kroz prvi polarizator i tečni kristal će se rotirati zbog spiralne strukture molekula. Svetlost je tada polarizovana na način koji joj omogućuje prolazak kroz drugi polarizator, koji je postavljen pod uglom od 90° stepeni u odnosu na prvi polarizator. Na kraju, svetlost prolazi kroz zadnju stranu uređaja i dobija se transparentna slika, tj. slika na ekranu.

U režimu „ON”, kada se električno polje primeni između dve elektrode, molekuli kristala se preraspoređuju u pravcu uticaja električnog polja. Ovo narušava spiralnu strukturu molekula tečnog kristala i ne dolazi do polarizacije svetla u tečnom kristalu. Dakle, svetlo je blokirano drugim polarizatorom i dobijena slika je neprozirna, odnosno crna. Međutim, na stepen neprozirnosti može se uticati varijacijom napona električnog polja. S povećanjem napona više kristala se preuređuje u odgovarajućem pravcu, dok se ekran u potpunosti ne uključi.

Da bi TN LCD uređaj mogao da prikaže informaciju, providne elektrode treba da budu raspoređene u oblik mreže, ili po nekom drugom šablonu, uz pomoć fotolitografije, pri čemu je dovoljno da samo jedna elektroda bude raspoređena na ovaj način.

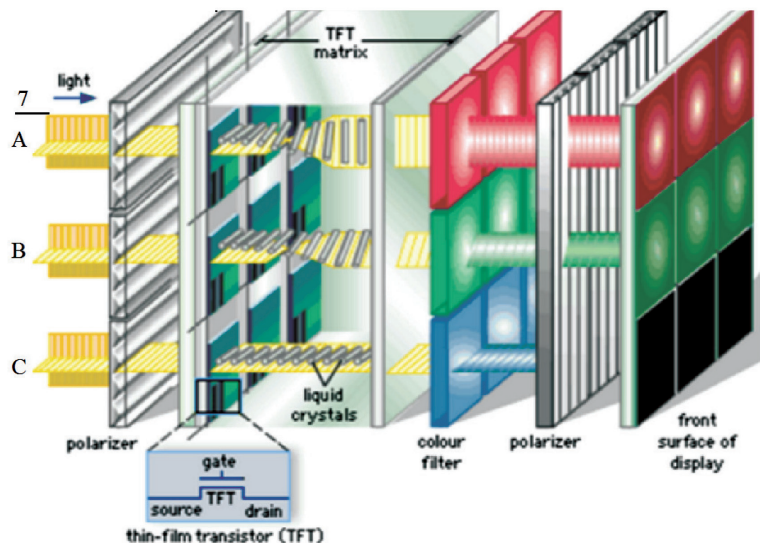
Primenom odgovarajućeg tečnog kristala, koji formira dva polarizujuća filtra koji su međusobno normalno postavljeni pod uglom od 90 stepeni

jedan naspram drugoga, može da se omogućiti i prolazak i zaustavljanje svetlosti koja bi pokušala da prođe kroz njih. Ako nema napona na takvom tečnom kristalu, svetlost prolazi, a ako napon postoji, prolazak svetlosti se zaustavlja. Pošto su monitori skoro uvek uključeni, električna energija se dodatno šteti ako se ti kristali rasporede tako da svetlost prolazi kada nema napona. Da bi se stvorile nijanse potrebne za dobijanje velikog broja RGB boja na televizijskom LCD ekranu, mora se realizovati mogućnost menjanja srednjih nivoa osvetljenosti između punog svetla i potpunog odsustva svetla koje prolazi kroz ekran. To se postiže promenom napona pod kojim se obrću tečni kristali, koji formiraju dva polarizujuća filtra, omogućujući tako da se upravlja količinom svetlosti. U TV ekranima tečni kristali se obrću brzinom koja je direktno srazmerna promenama napona u dolaznom elektronskom video-signalu, propuštajući svetlost sa RGB piksela, a njihovim aditivnim mešanjem dobija se reprodukcija snimljenih pokretnih slika u boji. Konstrukcijom kvalitetnih LCD ekrana proširena je dubina boje na traženih 24 bita radi postizanja **formata slike s punom bojom** (*true color*). Pri tome se koristi i uzastopno osvežavanje kadrova, najčešće sa učestanošću od 100 Hz, čime se održava visoki kvalitet slike. To je tehnika poznata kao kontrola brzine kadrova FRC (*Frame Rate Control*). Za kodovanje svake RGB boje, odnosno boje svakog piksela, pri čemu se svaki RGB piksel sastoji od tri dodatna „potpiksela” za crvenu, zelenu i plavu boju, koristi se po 8 bita, pa se dobija ukupno $2^{3 \times 8} = 2^{24}$, što iznosi približno 16.700.000 binarnih brojeva za kodovanje sve tri RGB boje. To znači da će i slika u boji na LCD ekranu sadržati 16.700.000 različitih boja. Pošto je **dubina boje** (*color depth*) određena brojem bita koji se koristi za kodovanje boja za jedan piksel, u ovom slučaju koristi se $3 \times 8 = 24$ bita za svaki piksel. To znači da dubina boje određuje rezoluciju boje. (Videti poglavlje 10.3. **Predstavljanje boja u računaru.**)

Adresiranje displeja je proces kojim se svetlost RGB piksela uključuje i isključuje u tečnim kristalima kako bi na LCD ekranu nastala reprodukovana slika. Adresiranje displeja zasniva na matrici TFT tranzistora (*thin-film transistor*), koji su napravljeni od amorfno silikona na tankom filmu, koji je postavljen na stakleni panel. Tranzistori imaju ulogu da brzo uključuju i isključuju LCD piksele, a to znači i svaki od tri dodatna „potpiksela” za crvenu, zelenu i plavu boju. Svaki potpiksel ima svoj tranzistor koji generiše napon, a napon menja položaj molekula tečnog kristala i time određuje količinu svetlosti koju će propustiti do polarizujućeg filtra. Ovaj process ilustrovan je na slici 12.4.

Na primer, VGA rezolucija TV ekrana je 640×480 , što zahteva oko 921.000 TFT tranzistora, dok je rezolucija full HD 1.920×1.080 , što zahteva neverovatnih 6.220.800 tranzistora, i svaki treba da besprekorno

radi. Kompletna matrica tranzistora treba da se proizvede na jednoj jedinoj skupoj silicijumskoj ploči i samo malo prisustvo nečistoća znači da cela ploča mora da bude odbačena.



Slika 12.4. *Struktura TFT LCD ekrana*

Svaki piksel slike u tehnologiji TFT displeja je mali kondenzator sa slojem izolacionog tečnog kristala smeštenog između transparentnih staklenih ploča. TFT tranzistori zauzimaju samo mali deo površine svakog piksela, a ostatak silikonskog filma realizovan je tako da omogući prolazak svetlosti kroz transparentne staklene slojeve. TFT displeji zasnovani na amorfnom silicijumu, koji se najčešće koriste zbog nižih troškova proizvodnje u poređenju s polikristalnim silikonom i nekim drugim tehnologijama čija je proizvodnja komplikovanija i skuplja. Na taj način dobijena je **TFT LCD tehnologija**, koja predstavlja najrasprostranjeniju tehnologiju LCD ekrana koja se upotrebljava kod TV prijemnika, računarskih monitora, mobilnih telefona, konzola za video-igre, TV projektora, sistema za navigaciju i sličnih uređaja.

Međutim, LCD tehnologija se neprekidno razvija i usavršava. Kasnije je umesto TFT LCD tehnologije razvijena IPS (*In-plane switching*) tehnologija za LCD panele, sa ciljem da se poboljšaju glavna ograničenja TN tehnologije u pogledu brže orijentacije i brzine paljenja i gašenja molekula u sloju tečnog kristala između staklenih podloga.

Nove verzije LCD ploča za TV ekrane znatno su tehnološki unapređene dodavanjem snažnog pozadinskog osvetljenja pomoću LED dioda. Takvi ekrani su poznati kao LED LCD pločasti TV ekrani. LED LCD ekrani

ostvaruju visoku sjajnost od 1.000, pa čak i do 1.500 lumena, kao i veoma veliku brzinu paljenja i gašenja LED svetla, čime je obezbeđen znatno veći kontrast i oštrina i brzina odziva pokretnih slika. LED modeli imaju i širok ugao vidljivosti, tako da slika nije bleđa kada se gleda pod ostrim uglom. Pozadinsko LED osvetljenje omogućuje ovim ekranima i duži vek trajanja.

12.2.2. KARAKTERISTIKE LED LCD EKRANA

LED LCD ekrani izrađuju se i sa formatom skeniranja 1.920×1.080 piksela, što zadovoljava punu rezoluciju visoke definicije (full HD). Znatno povećanom rezolucijom omogućuje se još veća količina informacija na ekranu televizora, a time i realističniji prikaz televizijske slike, posebno na ekranima sa odnosom stranica 16 : 9 i dijagonalama većim od 140 centimetara, tj. 55 inča. Međutim, ako se na ekran televizora priključi sadržaj slike sa tako visokom HD rezolucijom, ulazni sadržaj slike mora se prilagoditi tehničkim mogućnostima ekrana. To znači da televizori moraju da se zadovolje skaliranjem, odnosno prilagođenom slikom ulaznog video-signala veoma visoke rezolucije. (Videti poglavlje 8.7. **Digitalna televizija veoma visoke definicije Ultra HDTV.**)

Ako je posmatrač bliže ekranu, videće pojedinačne linje i piskele. Posmatrano s veće razdaljine, redovi i pikseli će se spajati, a celokupna slika se smanjuje kako se razdaljina povećava. Znatno veća oštrina detalja na ekranima sa visokom rezolucijom omogućuje da posmatrač može da posmatra slike i sa manje udaljenosti. Pošto je karakteristika čula vida šira u horizontalnom nego u vertikalnom pravcu, slika će izgledati realnije ako se gleda na širem ekranu sa odnosom stranica 16 : 9. Preporučljivo rastojanje posmatranja ekrana sa odnosom stranica 4 : 3 jeste 7,1 H, gde je H visina ekrana. Rastojanje posmatranja LED LCD ekrana sa odnosom stranica 16 : 9 i sa visokom HDTV rezolucijom ulaznog video-signala smanjeno je na 3,3 H, a kod UHDTV ekrana na samo 2H.

Pored mnogih dobrih tehničkih karakteristika, LED LCD ekrani skloni su i pojavi određenih vrsta defekata, koji su najčešće posledica tehnologije izrade, a s vremenom mogu se pojaviti i u toku upotrebe. LED izvori svetlosti mogu imati jedan sistemski nedostatak. Većina belih LED dioda ima spektar koji se razlikuje od spektra drugih izvora svetlosti, poput sunca ili klasičnih sijalica, pri čijoj svetlosti najčešće gledamo predmete u okruženju. Usled pojave koja se zove „metamerija”, boja nekih objekata na LED LCD ekranima može izgledati drugačije kada je taj objekat osvetljen LED diodama u odnosu na uobičajene izvore svetlosti.

Najčešći defekti LCD ekrana, zbog kojih se posebno vodi računa o kontroli kvaliteta i koje proizvođači pokušavaju da svedu na prihvatljiv

nivo, jesu defektni pikseli i pojava zamagljenja ili mure (oblaka). Kod nekih LCD ekrana mogu se pojaviti pojedini defektni pikseli koji stalno svetle – „zaglavljani pikseli”, a neki drugi mogu biti trajno ugašeni ili „mrtvi” pikseli. LCD paneli s nekoliko neispravnih piksela i dalje su upotrebljivi. Neke kompanije tolerišu do 11 mrtvih piksela na LCD panelu. Da bi regulisala stepen prihvatljivosti defekata kod LCD panela i zaštitila potrošače, organizacija ISO (*International Standard Organization*), propisala je standard ISO 13406-2. Međutim, ne pridržavaju se svi proizvođači ovog standarda, a sam standard se interpretira na različite načine. Neki proizvođači nude garanciju sa 0 defektnih piksela. Mnogi proizvođači će zameniti ekran koji ima samo 1 mrtav piksel. Veoma je bitno i gde se nalaze defektni pikseli. Ekran sa samo nekoliko defektnih piksela može biti neprihvatljiv ako se oni nalaze blizu jedan drugom.

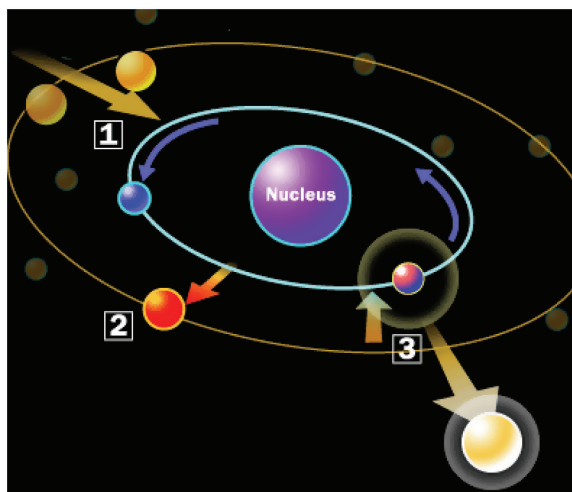
Kod nekih LCD ekrana može se pojaviti „zamazgljenje” ili „mura” (oblak), koje nastaje zbog nejednakog osvetljenja površine ekrana. To je uglavnom vidljivo pri gledanju sadržaja u prostoriji sa slabijim osvetljenjem ili kada se na ekranu prikazuju tamne slike sa mnogo crnih elemenata. Ovaj defekt pojavljuje se uglavnom kod većih LCD ekrana.

Brzina osveženja pokazuje koliko puta u sekundi ekran prikazuje date podatke, čime se poboljšava vremenska rezolucija LCD ekrana. Osveženje se najčešće radi sa 100 Hz, a noviji LCD ekrani imaju osvežavanje i do 240 Hz. To zahteva dodatnu obradu slike, kako bi frejmovi koji se dobijaju interpolacijom bili dodati, da bi dobijena slika postala kvalitetnija. Međutim, ovako brzo osveženje često ne može biti podržano odgovarajućim odzivom piksela, zbog čega se mogu pojaviti vizuelni efekti krivljenja slike.

Pošto su LED LCD TV prijemnici potpuno digitalni uređaji, oni bez ikakvih konverzija koriste digitalne video-ulaze HDMI (*High Bandwidth Digital Multimedia Interface*). Noviji LED LCD TV prijemnici imaju i integrisan digitalni tjuner (*Set-Top Box*), koji omogućuje prijem svih analognih formata slike, kao što su PAL-B/G/H, SECAM-B/G, digitalnih formata sa punom HD rezolucijom 1.920×1.080 piksela DVB-T (MPEG4-AVC, H.264), DVB-C (MPEG4-AVC, H.264), kao i PC signala XGA, WXGA, SXGA i formata s mogućnošću teleteksta.

12.3. PLAZMA TV PANELI

Princip rada plazma displej-panela, **PDP** (*Plazma Display Panel*), osmislio je mađarski fizičar Kalman Tihanji (Kalman Tihanyi) još 1936. godine. Prvi prototip plazma ekrana napravljen je 1964. godine na američkom univerzitetu u Illinoisu. Japanska firma Fudžicu (*Fujitsu*) prikazala je prvi plazma ekran u boji 1992. godine, a japanska firma Pionir (*Pioneer*) je 1997. godine počela da proizvodi plazma televizore za masovno tržište.



1. Sudar sa pokretnom česticom pobuđuje atom.
2. Elektron skače (prelazi) na viši nivo.
3. Elektron se vraća, tj. pada na svoj prethodni energetska nivo, pri čemu se otpušta dodatna energija u vidu fotona, tj. emitovanja vidljive svetlosti.

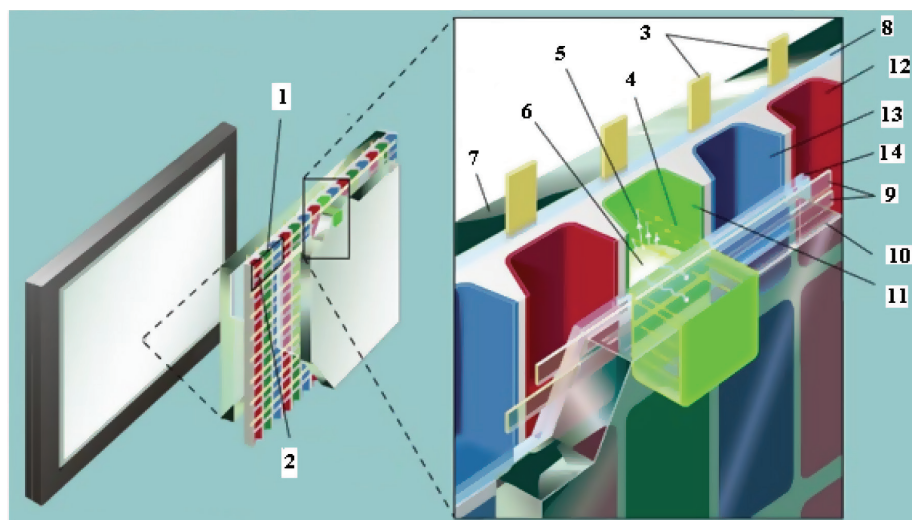
Slika 12.5. *Proces emitovanja fotona*

U plazma ekranima za primenu u televiziji koristi se princip pražnjenja jonizovanih inertnih gasova neona i ksenona. U normalnim uslovima ovi gasovi nemaju naelektrisanih čestica, što znači da se u pojedinačnom atomu gasa nalazi jednak broj protona i elektrona i oni su električno neutralni. Ukoliko se primeni napon u tim gasovima, počinju da se stvaraju slobodni elektroni, koji se sudaraju s atomima, koji otpuštaju još novih elektrona. Sa nedostajućim elektronom, atom postaje pozitivno naelektrisan jon i ti gasovi se pretvaraju u stanje plazme. Kada kroz plazmu potekne struja, negativne naelektrisane čestice kreću se u pravcu pozitivne oblasti plazme, dok se pozitivno naelektrisane čestice kreću ka oblasti koja je negativno naelektrisana. U ovoj situaciji čestice se sudaraju, pri čemu iz energetski pobuđenog atoma elektron prelazi sa svoje orbite na viši energetski nivo. Kada elektron izgubi energiju, on se vraća u svoje

prvobitno stanje, rekombinuje se, pri čemu taj atom oslobađa energiju u vidu emitovanja jednog fotona, odnosno vidljive svetlosti, kao što je ilustrovano na slici 12.5.

12.3.1. PRINCIP RADA PLAZMA PANELA

Osnovna ideja plazma panela jeste osvetljavanje obojenom, fluorescentnom svetlošću kako bi se formirala slika u boji. Svaki piksel je sačinjen od tri fluorescentne svetlosti: crvene, zelene i plave boje. Ksenon i neon, koji se koriste kod plazma TV ekrana, oslobađaju fotone ultraljubičaste svetlosti, koji su nevidljivi ljudskom oku, ali se koriste za emitovanje vidljivih svetlosnih fotona. Gasovi ksenon i neon u plazma panelima sastoje se od stotina hiljada sićušnih ćelija postavljenih između dva staklena panela.

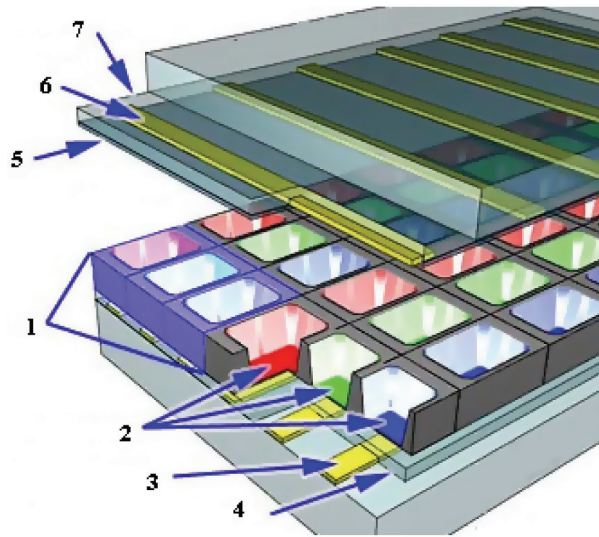


- | | | |
|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1. Piksel | 6. Plazma pražnjenje | 10. Prednja staklena ploča |
| 2. Potpiksel | 7. Zadnja staklena ploča | 11. Zeleni fosfor |
| 3. Adresne elektrode | 8. Dielektrični sloj | 12. Crveni fosfor |
| 4. Vidljivo svetlo | 9. Transparentne elektrode | 13. Plavi fosfor |
| 5. Ultraljubičasto svetlo | | 14. Dielektrični izolator |

Slika 12.6. *Struktura plazma panela*

Adresne elektrode nalaze se uz zadnji stakleni panel, slika 12.6. Iznad ćelija uz prednji stakleni panel nalaze se transparentne elektrode okružene dielektričnim materijalom i pokrivene zaštitnim slojem magnezijum-oksida. Duž celog panela postavljene su adresne i transparente elektrode. Transparentne elektrode su postavljene u horizontalnim redovima duž panela, a adresne elektrode su postavljene u vertikalnim kolonama.

Na mesto ukrštanja transparentne i adresne elektrode ćelije dovodi se naelektrisanje kako bi se gas jonizovao u datoj ćeliji. Opisani proces se izvršava hiljadama puta u samo jednom deliću sekunde. Kada se dovede naelektrisanje na ukrštene elektrode, razlika napona između njih dovodi do toga da potekne struja kroz gas u ćeliji, stimulišući atome gasa da oslobode ultraljubičaste fotone. Fosfor je materijal koji ima osobine da emituje svetlost kada je izložen nekoj drugoj svetlosti. Kada ultraljubičasti foton udari u atom fosfora u ćeliji, jedan od elektrona fosfora skoči na viši energetski nivo, dok se atom greje. Kada elektron izgubi energiju, on se vraća u svoje prvobitno stanje, pritom otpuštajući energiju u vidu vidljive svetlosti, odnosno fotona. Ova svetlost pada na fosfor u plazma panelu, koji pri tome odaje, tj. emituje obojenu svetlost. Svaki piksel sačinjen je od 3 potpiksela, slika 12.7, koji su napravljeni od fosfora crvene, zelene i plave boje. Aditivnim mešanjem obojenih svetlosti svakog potpiksela dobije se boja jednog piksela. Kontrolišući jačinu struje koja prolazi kroz različite ćelije, sistem može povećati ili smanjiti intenzitet boje svakog potpiksela, praveći tako milione različitih kombinacija crvene, zelene i plave boje. Na opisan način upravljački sistem proizvodi ceo spektar boja.



- | | | |
|---|---------------------------|----------------------------|
| 1. Piksel | 3. Adresne elektrode | 6. Transparentna elektroda |
| 2. Crveni, zeleni i plavi fosfor jednog piksela | 4. Adresni zaštitni sloj | |
| | 5. Sloj magnezijum-oksida | 7. Dielektrični sloj |

Slika 12.7. Struktura piksela u plazma panelima

12.3.2. KARAKTERISTIKE PLAZMA TV EKRANA

Nakon klasičnih televizora s katodnim cevima, s novim plazma televizorima dobijen je najbolji kvalitet slike. Svi sadržaji, pa čak i oni najveće rezolucije, na plazma televizorima su izuzetnog kvaliteta. Osnovno ograničenje plazma ekrana jeste veličina piksela. Zasad, proizvođači nisu uspjeli da realizuju veličine piksela manje od 0,3 mm. Zbog toga se plazma ekrani najviše koriste za televizore velikih dimenzija i za velike monitore od 25 inča, a često i dosta veće, za razne prezentacije za veći broj gledalaca.

Proizvodnja plazma ekrana jednostavnija je nego u slučaju LCD tehnologije. U poređenju sa TFT LCD ekranima, koji koriste fotolitografske i visokotemperaturne procese u sobama sa visokim stepenom čistoće, plazma ekrani mogu da se proizvode u manje čistim fabrikama, uz niske temperature i jeftinije direktne procese štampanja.

Prve generacije plazma ekrana imale su i kratak vek trajanja, od oko 10.000 radnih sati. Radni vek novijih plazma ekrana procenjuje se na oko 100.000 sati, ili 27 godina po 10 sati rada dnevno. Ovo je procenjeno vreme posle kojeg se osvetljenje slike smanjuje na polovinu od propisane.

Paneli plazma ekrana su debljine oko 6 cm, što omogućuje da ukupna debljina televizora bude manja od 10 cm, tako da se plazma televizori mogu okačiti na zid. Plazma monitori za specijalne prezentacije za veći broj gledalaca mogu se proizvoditi u veoma velikim dimenzijama – do 150 inča.

Najčešće rezolucije plazma ekrana jesu 853 x 480 piksela za EDTV (*Enhanced Definition Television*) rezoluciju, i 1.920 x 1.080 piksela za HDTV rezoluciju na ekranima veličine od 42 do 103 inča.

Slike koje ostaju dugo nepomične na plazma ekranu mogu da uzrokuju „utiskivanje” tog motiva. Preklapanjem tog zapamćenog motiva s narednim tekućim signalom stvara se efekat dvostuke slike (*burn-in*). Međutim, u praksi, ovaj efekat se javlja tek nakon veoma dugog vremena korišćenja plazma televizora (deset i više godina).

U pogledu potrošnje električne energije, plazma televizori troše mnogo više energije od LCD televizora. Plazma televizore može da ometa i slušanje radija na niskim talasnim frekvencijama. Prvi plazma televizori imali su loš kontrast, ali krajem devedesetih godina 20. veka u firmi *Fujitsu* ublažili su ovaj problem pomoću nove upravljačke tehnologije, što je poboljšalo odnos kontrasta sa 70 : 1 na 400 : 1. Noviji plazma televizori imaju kontrast slike od 500 : 1, s novim staklom, koje onemogućuje efekat bleštanja.

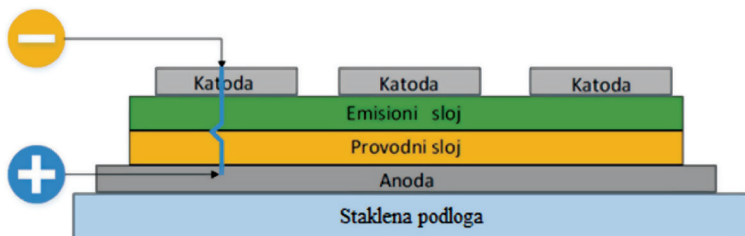
12.4. OLED PANELI

OLED (*Organic Light Emitting Diode*) vrsta je svetleće diode koja emituje svetlost i sastoji se od organskih (*Organic*) komponenata. Ugljenik je osnova svih organskih materijala. Primeri organskih supstanci na bazi ugljenika jesu šećer, drvo i većina plastike. Drugi deo akronima (LED, *Light Emitting Diode*) opisuje poznati proces pretvaranja električne energije u svetlo. Da bi OLED emitovao svetlost iz organskog materijala i stvarao sliku, neophodna je električna energija. Postoje dve vrste organskog OLED osvetljenja: mali odvojeni molekuli i polimeri. Mali molekuli u OLED tehnologiji koriste odvojene organske molekule, a polimeri koriste molekule polimera vezane u lancu.

Naučnici su 1990. godine proizveli prvu polimer LED diodu, koristeći polimer PPV (*poly-para-phenylene-vinylene*), koji je i danas najčešće korišćeni polimer u OLED strukturama. Dalji napredak uređaja na bazi polimera desio se kada je otkrivena emisija pomoću polimera na bazi PF (*Polyfluoren*). Do danas ovaj polimer ima najbolje karakteristike za komercijalnu upotrebu, pošto je po karakteristikama efikasnosti i sjajnosti veoma sličan neorganskim LED diodama. Proces proizvodnje OLED TV ekrana pomoću polimera jeftiniji je za ekrane velikih dimenzija.

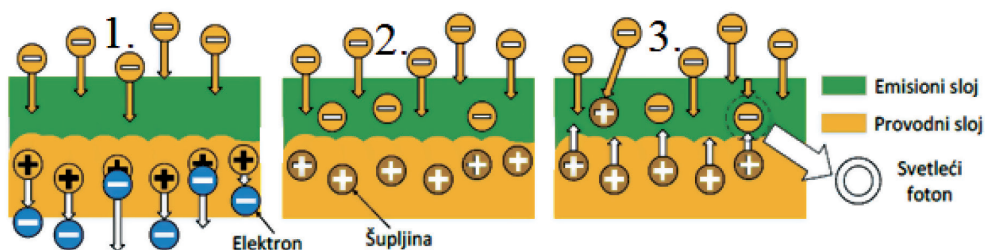
12.4.1. PRINCIP RADA OLED PANELA

OLED struktura sastoji se od staklene podloge, anode, provodnog sloja, koje čine organski molekuli ili polimer, zatim, emisionog sloja i katode, kao što je ilustrovano na slici 3.7. Staklena podloga predstavlja tanak plastični film OLED-a, dok anoda, koja je sačinjena od ITO (*Indium Tin Oxide*) materijala, služi da iz provodnog sloja privuče i eliminiše elektrone. ITO material koristi se već 60 godina i ključni je sastojak u preko 90% raznih ekrana. Provodni sloj služi kao provodnik za elektrone, a emisioni sloj je filter boja sačinjen od polimera. Katoda je najčešće od barijuma i kalcijuma i predstavlja elektrodu koja omogućuje struji da prolazi kroz OLED strukturu koja je prikazana na slici 12.8.



Slika 12.8. Tipična OLED struktura

Kada se priključi električni napon između anode i katode, dolazi do proticanja struje između njih. Ta struja prolazi kroz emisioni i provodni sloj OLED-a. Katoda pod uticajem struje daje elektrone emisionom sloju od organskih molekula, kao što se vidi na slici 12.9/1, dok anoda uklanja elektrone iz provodnog sloja od organskih molekula. Uklanjanjem elektrona iz provodnog sloja, ostaju pozitivno naelektrisane šupljine, kao što se vidi na slici 12.9/2. Na granici između emisionog i provodnog sloja, usled elektrostatičke sile, nastaje proces rekombinacije elektrona i šupljina, što je ilustrovano na slici 12.9/3. To za posledicu ima otpuštanje svetlosti u vidu svetlosnih fotona. Na taj način OLED emituje svetlost. Rekombinacija se dešava u emisionom sloju jer u organskim poluprovodnicima šupljine imaju veću pokretljivost od elektrona. Energija u vidu svetlosnih fotona otpušta se zajedno sa emisijom radijacije čija je frekvencija u vidljivom spektru. Frekvencija radijacije zavisi od energetskog procepa materijala koji se koristi. U procesu proizvodnje emisionog sloja postavlja se nekoliko tipova organskog filma na istom OLED-u kako bi se stvorio ekran u boji. Intenzitet ili sjajnost svetlosti zavisi od količine električne struje koja je primenjena – što je struja jačeg intenziteta, svetlost je sjajnija i obrnuto, kao i od tipa molekula koji čine emisioni sloj.

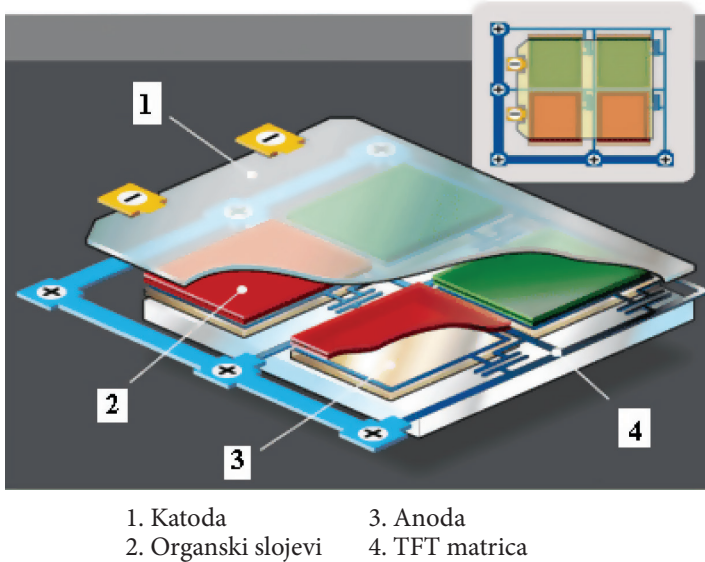


Slika 12.9. Proces emitovanja svetlosti OLED strukture

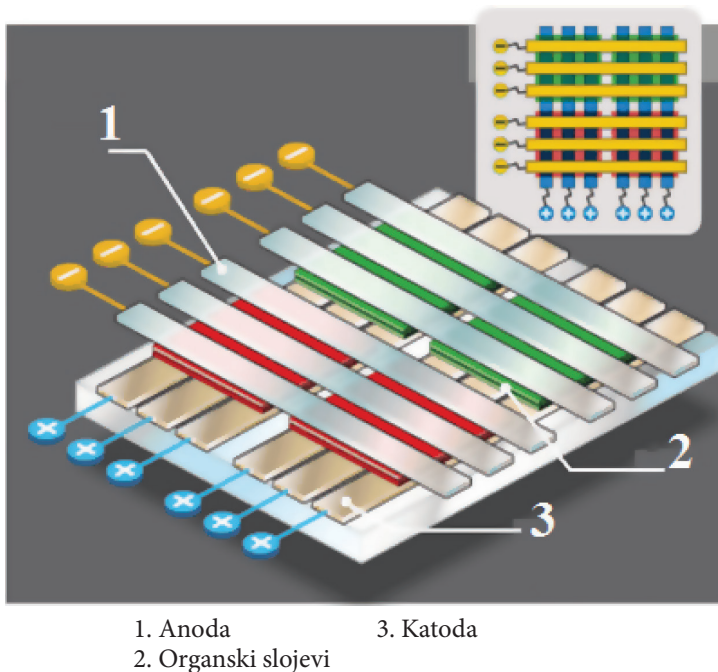
OLED TV ekrani mogu biti napravljeni sa aktivnom ili pasivnom matricom, slično kao LCD ekrani. Slojevi anode i TFT filma postavljeni su paralelno, tako da formiraju aktivnu matricu koja omogućuje da se svaki piksel svojim tranzistorom može paliti i gasiti pojedinačno. Ovo doprinosi veoma velikom kontrastu slike, koji je teorijski beskonačan, kao i mogućnosti prikaza apsolutno crne boje. TFT tranzistori korišćeni u ovom tipu ekrana, zajedno sa OLED tehnologijom, čine AMOLED (*Active Matrix Organic Light Emitting Diode*). Struktura AMOLED-a prikazana je na slici 12.10, gde su: 1. katoda, 2. organski slojevi, 3. anoda, 4. TFT matrica.

OLED ekrani koji koriste pasivne matrice nazivaju se PMOLED (*Passive Matrix Organic Light Emitting Diode*). Kod ovakvih ekrana linije anoda i katoda postavljene su horizontalno pod uglom od devedeset stepeni jedne

u odnosu na druge. Struktura PMOLED-a je prikazana na slici 12.11, gde su: 1. anoda, 2. organski slojevi, 3. katoda. PMOLED ekrani funkcionišu tako što se na preseccima anoda i katoda nalaze pikseli koji emituju svetlost u trenutku kada se na njihov presek priključi napon.



Slika 12.10. Struktura OLED TV ekrana sa aktivnom matricom (AMOLED)

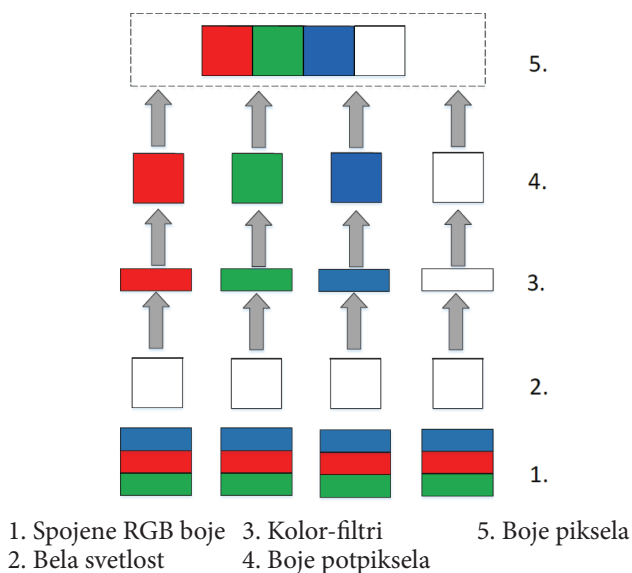


Slika 12.11. Struktura OLED TV ekrana sa pasivnom matricom (PMOLED)

PMOLED ekrani su veći potrošači električne energije od AMOLED ekrana. Zbog toga se oni ređe koriste, ali su našli primenu kod mp3 plejera, kao pomoćni ekrani mobilnih telefona i kao ekrani modernih satova. Najčešće su to ekrani veličine do 3 inča.

TV ekrani koji koriste OLED tehnologiju nemaju potrebe za pozadinskim osvetljenjem jer svaki piksel pojedinačno predstavlja izvor svetlosti. Što se tiče stvaranja svetlosti, odnosno boja, postoje dva tipa OLED ekrana: **RGB OLED** i **WOLED (white OLED)**. Rad RGB OLED ekrana najviše je sličan radu plazma ekrana, sa posebnim crvenim, zelenim i plavim OLED potpikselima, koji su napravljeni od RGB polimera. RGB polimeri predstavljaju organske polimere koji provode struju. U zavisnosti od materijala, mogu biti poluprovodnici i provodnici. Najpoznatiji polimeri su: polypyrolepolyaniline, polyactylene, a najčešće korišćeni je PVV poli (p-phenylene vinylene).

Kod WOLED ekrana crveni, zeleni i plavi OLED materijali spojeni su zajedno na nivou 1, slika 12.12. Kada se priključi napon, ovi spojeni materijali, aditivnim mešanjem njihovih bojenih svetlosti u određenim procentima, proizvode belu svetlost na nivou 2. Prolazeći kroz bojene RGB filtre na nivou 3, bela svetlost, zajedno sa njima, pravi crvene, zelene i plave potpiksele na nivou 4. Konačno, aditivnim mešanjem bele svetlosti i bojenih svetlosti RGB potpiksela dobijaju se RGB boje jednog piksela, kao što je prikazano na nivou 5. Bezbojni filter dozvoljava da bela svetlost dođe do ekrana, povećavajući njegovu ukupnu sjajnost.



Slika 12.12. Proces stvaranja boje za jedan WOLED piksel

Znamo da u televizoru rezolucije 1.920 x 1.080 ima preko dva miliona takvih piksela. U pikselu se nalazi i dodatni beli potpiksel kako bi se povećala ukupna sjajnost ekrana. Ovakvom strukturom postiže se smanjenje mogućnosti pogrešnog mešanja boja i produžava se vek trajanja TV ekrana. WOLED je bolji i jeftiniji način proizvodnje od RGB OLED-a, pa je zbog toga i zastupljeniji u primeni.

12.4.2. KARAKTERISTIKE OLED EKRANA

Jedna od glavnih prednosti OLED TV ekrana jeste mogućnost štampanja na odgovarajućoj podlozi uz pomoć inkdžet štampača. Sa ovom tehnologijom znatno se smanjuje cena OLED TV ekrana i njena proizvodnja postaje jeftinija od LCD i plazma TV ekrana. Materijali za proizvodnju OLED TV ekrana su trenutno znatno skuplji u odnosu na druge tehnologije, ali cena opada. Pomoću tehnologije pod nazivom „Roll to roll vapour” za organske uređaje, omogućuje se masovna proizvodnja, reda hiljada uređaja po minuti, uz minimalne troškove. Otežavajuća okolnost jeste što ekrani koji imaju višestruke slojeve moraju biti poređani laserski precizno, pa to prilično otežava process proizvodnje, ali radi se na usavršavanju ove tehnike za proizvodnju organskih ekrana.

Na slici 12.13 firma LG prikazuje, prvi put u svetu, OLED TV ekran u formatu Ultra HDTV 8K, veličine dijagonale 88 inča, s najvećom rezolucijom ostvarenom do tada, koja iznosi 4.320 linija i 7.680 piksela po svakoj liniji, pa je prostorna rezolucija u ovom formatu $4.320 \times 7.680 = 33.177.600$ piksela po jednoj slici. Oštrina detalja na prikazanim briljantima, nivo crnog i kontrast na ovoj slici zaista su briljantni.



Slika 12.13. TV ekran OLED 88 inča u formatu Ultra HDTV 8K

Kontrast slike kod OLED TV ekrana je neuporedivo bolji nego kod drugih tehnologija i praktično je beskonačan. Takođe, bolji je i ugao vidljivosti jer OLED pikseli emituju svetlost direktno.

Boje OLED piksela izgledaju nepromenjeno s promenom ugla gledanja, a kod LCD TV ekrana primećuje se razlika. LCD ekrani filtriraju svetlost pozadinskog osvetljenja i time dopuštaju delu svetlosti u crnim delovima slike da prođe na ekran. Neaktivni OLED elementi ne troše energiju pa i ne proizvode svetlost u crnim delovima slike. Na taj način OLED postiže potpuno crnu boju u crnim delovima slike (crno u crnom).

Prednost OLED ekrana jeste još u tome što ekrani mogu biti proizvedeni na fleksibilnoj plastičnoj podlozi, čime se njihova upotreba širi na mnoge druge primene, kao što su industrija automobila, telefona, satova, odeće i sl. Radi se na tome da materijali za podlogu budu od prirodnih materijala i lako dostupni kako bi cena proizvodnje bila niža.

Tehnologija proizvodnje OLED ekrana dozvoljava da OLED televizori budu lakši i tanji od svih drugih tehnologija za proizvodnju televizora. Ova karakteristika OLED-a omogućena je time što im nije potrebno pozadinsko osvetljenje i samim tim ima manje sastavnih komponenata.

Što se tiče vremena odziva, OLED je znatno bolji u odnosu na LCD. Odziv LCD ekrana je reda od 1 do 16 ms, gde je frekvencija osveženja od 60 do 480 Hz, a kod OLED ekrana vreme odziva ide i do 0,001 ms, a frekvencija osveženja dostiže vrednost i do 100.000 Hz.

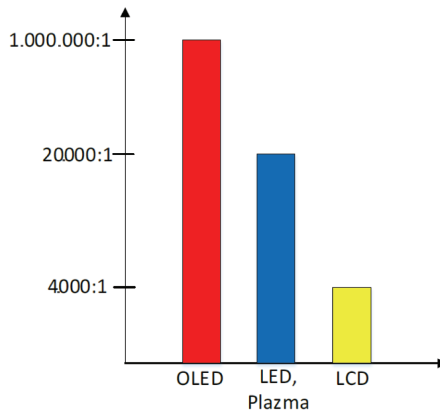
Oblast boja koje mogu da reprodukuju OLED ekrani najveća je u odnosu na druge tehnologije. Pri prikazu crne boje OLED ekrani troše 40% manje energije nego LCD ekrani, a kod najčešće prikazivanih slika troše 60% do 80% manje energije. Međutim, kada je u pitanju bela pozadina, kao na primer kod veb stranica i dokumenata, OLED troši i do tri puta više snage, što nije poželjno, pogotovo kod mobilnih uređaja.

12.5. POREĐENJE TEHNIČKIH KARAKTERISTIKA TV EKRANA

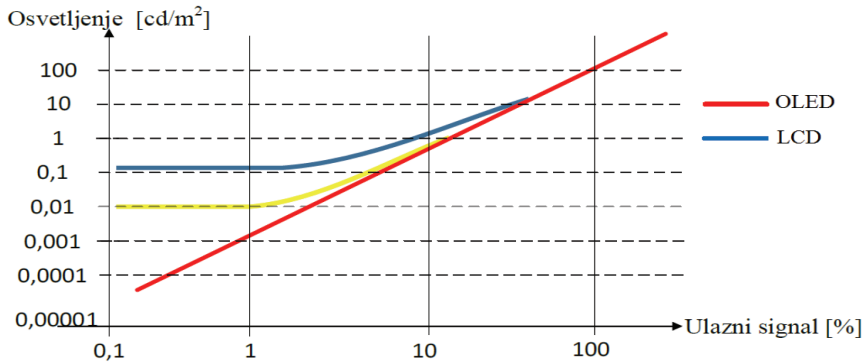
Prioritet na tržištu novih tipova televizora preuzele su nove tehnologije, poput LED LCD televizora, plazma televizora i OLED televizora. Na slici 12.14 ilustrovano je poređenje kontrasta za ova 3 tipa ekrana koji se koriste u televizorima.

Sa slike 12.14 može se videti da najveći kontrast od svih postojećih tehnologija imaju OLED ekrani. Kontrast LED ekrana, zbog korišćenja LED dioda za pozadinsko osvetljenje, na veoma je visokom nivou i kreće se oko 20.000 : 1 i približno je jednak kontrastu plazma ekrana. Ako se koriste

fluorescentne lampe za pozadinsko osvetljenje, LCD ekrani imaju najlošiji kontrast slike, koji iznosi 4.000 : 1.



Slika 12.14. Poređenje kontrasta slike različitih tehnologija ekrana



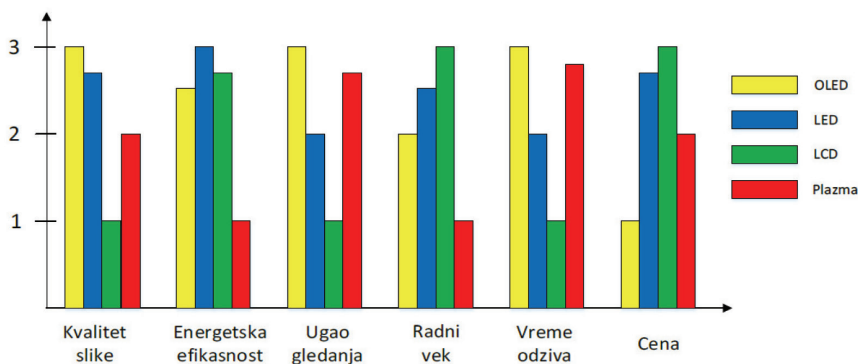
Slika 12.15. Osvetljenost ekrana u zavisnosti od uzlaznog signala

Na slici 12.15 prikazano je poređenje osvetljenosti TV ekrana (cd/m^2 – kandela po metru kvadratnom) u zavisnosti od uzlaznog signala. Sa slike se može videti da OLED TV ekrani imaju mogućnost prikazivanja potpuno crne boje, a karakteristika je linearna sa koeficijentom nagiba 1%. Kod LCD ekrana koeficijent nagiba je ispod 1% uzlaznog signala i ne postoji mogućnost prikazivanja potpuno crne boje.

Na slici 12.16 prikazane su najbitnije karakteristike opisanih TV ekrana, sa ocenama od 1 do 3. Što se kvaliteta slike tiče, najbolji su OLED ekrani. Posle njih najbolji kvalitet imaju LED LCD ekrani i plazma ekrani, dok najlošiji kvalitet imaju LCD ekrani.

Po energetskejoj efikasnosti na prvom mestu se ističu LED LCD televizori, zbog korišćenja LED dioda za pozadinsko osvetljenje. Ako je osvetljenje slike manje, manja je i potrošnja električne energije, a time je veća

energetska efikasnost. Mana OLED-a jeste to što je energetska efikasnost direktno povezana sa sjajnošću slike. Što je ekran svetliji, to se više energije troši. U ovoj kategoriji parametara plazma ekrani su najlošiji jer su zbog gasa potrebni konstantni visoki probojni naponi za pravilan rad, pa su oni i najveći potrošač električne energije.



Slika 12.16. Poređenje najbitnijih parametara različitih ekrana

Kada je reč o uglu vidljivosti, plazma i OLED ekrani su najbolji jer uglovi vidljivosti dostižu i do 180 stepeni. Zbog LCD strukture koju koriste LED LCD ekrani, slika pri većim uglovima gledanja lošija je u odnosu na konkurenciju, a najlošija je kod LCD ekrana, zbog najmanjeg kontrasta slike.

Na radni vek direktno utiče tehnologija proizvodnje. U ovoj kategoriji LCD ekrani su pobednici jer su u praksi postigli najduži broj radnih časova. Što se tiče LED LCD i OLED tehnologije, ona je prilično nova i još uvek nije dovoljno vremenski testirana da bi se utvrdio maksimalni broj radnih časova ovih ekrana, mada nisu retke deklaracije koje prikazuju da radni vek LED LCD i OLED ekrana dostiže i do 100.000 radnih časova. Plazma tehnologija ima najlošiji rezultat u ovoj kategoriji, zbog čestih „umiranja” piksela i mešanja boja, koji prouzrokuju kraći radni vek.

Vreme odziva kod LCD ekrana varira od 1 do 16 ms, gde je frekvencija osvežavanja od 60 do 480 Hz, kod OLED ekrana vreme odziva je manje od 0,01 ms, a frekvencija osvežavanja dostiže vrednost i do 100.000 Hz, što ga čini pobednikom u ovoj kategoriji. LED LCD ekrani imaju frekvenciju osvežavanja oko 100 Hz, približno LCD ekranima. Plazma ekrani imaju veoma dobar odziv, ali dosta sporiji nego OLED ekrani.

Sa slike 12.16 vidi se da su LCD ekrani pobednici u cenovnoj kategoriji, ispred LED i plazma ekrana, dok su OLED ekrani daleko najskuplji zbog toga što koriste najmoderniju tehnologiju i materijale.

Ako se svi parametri uzmu u obzir, može se zaključiti da su televizori sa LED LCD ekranima i novim tehničkim poboljšanjima trenutno najbolji izbor u pogledu kvaliteta i cene i imaju primat na tržištu televizora.

12.6. VIDEO-PROJEKTORI

Video-projektori se koriste za prikazivanje televizijske slike i multimedijalnih sadržaja s računara na velikim ekranima (*Large screen*) u prostorijama s većim brojem gledalaca, slično filmskim projekcijama. Za ove primene potrebno je obezbediti veliki osvetljaj, kontrast, oštrinu slike i vernu reprodukciju boja u salama sa prisustvom dnevne svetlosti. Klasični uređaji, kao što su ajdafor i bim uređaj sa tri katodne cevi, zamenjeni su novim tehnološkim rešenjima. Najpoznatiji su LCD projektori, zatim D-ILA (*Direct Drive Image Light Amplifier*) projektori firme JVC i projektori poznati kao DLP, koje je razvila firma *Texas Instruments*, kod kojih se osvetljaj ekrana moduliše vibracijama mikroogledala.

Video-projektori se izrađuju u raznim modelima, od malih – za prenosne primene u manjim prostorijama, do velikih – za stacionarne primene u velikim salama. Jačina sjajnosti kreće se od 500 do 3.000 lumena. Sjajnost od 1.500 lumena dovoljna je da se u prostoriji srednje veličine pri dnevnoj svetlosti dobije kvalitetna reprodukcija televizijske slike ili prezentacija multimedijalnog sadržaja. Kontrast se kreće od 150 : 1 do 2.000 : 1. Rezolucija slike je različita: 640 × 480 piksela (VGA), 800 × 600 piksela (SVGA), 1.024 × 768 piksela (XGA), 1.280 × 1.024 piksela (SXGA), 1.600 × 1.200 piksela (UXGA), 2.048 × 1.536 piksela (QXGA). To znači da bolji modeli video-projektora ispunjavaju zahtev za reprodukciju slike HDTV formata sa rezolucijom od 1.920 × 1.080 piksela, učestanošću slike od 50 Hz i veličinom slike 16 : 9, ili skraćeno HDTV 1.920 × 1.080 50 2 : 1 16 : 9. Savremeni video-projektori omogućuju da se na njih mogu priključiti svi izvori TV signala koji su u primeni, kao što su kasetni i profesionalni magnetoskopi s analognim ili digitalnim signalima u komponentnom ili kompozitnom obliku, s analizom s preredom ili sa progresivnom analizom, kao i satelitski prijemnici, računari i DVD uređaji. Neki video-projektori imaju ugrađen i tonski deo za reprodukciju mono ili stereo zvuka.

12.7. KLJUČNI POJMOVI

Vernost reprodukcije TV slike. Optička projekcija. Vizuelne mogućnosti oka. Vidni ugao. Kontrast 3 : 1. Kolorimetrijska podudarnost. Oblik i veličina TV prijemnika. Digitalni TV prijemnici. Pločasti TV ekrani. Formati TV slike. Veliki ekran. HDTV 16 : 9. Rezolucija 1.920×1.080 piksela. Elektronska HDTV kinematografija. HDTV format. LCD ekrani. LED LCD ekrani. Plazma ekrani. OLED ekrani. HDTV video-projektori. Multimedijalni sadržaji. Elektronska projekcija.

12.8. PITANJA I ZADACI ZA OBNAVLJANJE GRADIVA

1. Da li ljudsko oko bolje zapoza promene u boji ili promene nivoa sjajnosti?
2. Od čega sve zavisi vernost reprodukovanih TV slika?
3. Koja poboljšanja reprodukovanih TV slika omogućuju digitalni video-signal i digitalni TV prijemnik?
4. Koji format TV slike je usvojen za HDTV sistem u Evropi?
5. Šta se označava skraćenicom HDTV 1.920 x 1.080 50 2 : 1 16 : 9?
6. Čime je omogućena elektronska HDTV kinematografija?
7. Objasniti princip rada LED LCD ekrana.
8. Objasniti princip rada plazma panela.
9. Objasniti princip rada OLED panela.
10. Koji izvori TV signala se mogu priključiti na ulaz televizijskih projektora?

13 | DIGITALNI TV CENTAR

Tradicionalni način rada u TV centru baziran je na magnetoskopskim trakama sa sekvencijalnim pristupom snimljenom materijalu. Korisnik mora da čeka da se premota prilog koji želi da koristi, a sledeći korisnik tog istog materijala mora da čeka da prethodni korisnik završi svoj posao.

Novim načinom rada u digitalnim TV centrima televizija je oslobođena od takvih ograničenja analogne televizije. U digitalnim TV centrima naglašava se značaj višestrukog istovremenog pristupa TV resursima, koji su svakom učesniku dostupni na nivou digitalnog fajla iz računarom upravljane i umrežene centralne memorije. Ovakav način rada omogućuje veću interoperabilnost i maksimiziranje tehničkih resursa i ljudskih talenata, a kao konačan ishod dobijaju se povećana produkcija i kvalitet TV programa i realizovanje novih poslova i efekata. Učesnicima na pojedinim radnim stanicama ostaje više vremena i tehničkih mogućnosti za inventivniji i kreativniji rad, pri čemu oni ne moraju da poznaju sve tehničke detalje na svojoj radnoj stanici, niti na celoj mreži.

13.1. MAGNETOSKOPI. PRINCIP MAGNETNOG SNIMANJA I REPRODUKCIJE VIDEO-SIGNALA

Pronalaskom magnetofona, tridesetih godina 20. veka, omogućeno je snimanje i memorisanje zvuka na magnetnoj traci. To je uticalo na nagli razvoj radija jer pre toga govorne i muzičke emisije nisu mogle da se snime na tada popularne gramofonske ploče. Televizijske audio i video emisije snimane su na filmskoj traci sa filmskim kamerama, ali je to bilo nepraktično, naročito za informativni program, jer je zahtevalo dug proces razvijanja filmske trake u laboratoriji. Zbog toga je najveći broj TV emisija morao da se emituje uživo iz studija s voditeljima, orkestrima, pevačima i glumcima. Magnetofon je omogućio da se snime kompletne TV emisije i u studiju i na terenu, da se velika količina „sirovog” materijala naknadno

montira i da se tako pripremljene emisije naknadno emituju i čuvaju u programskom arhivu.

Po ugledu na magnetofone, sredinom 20. veka napravljeni su i analogni magnetoskopi, poznati i kao **VTR snimači** (*Video Type Recorder*). Oni su omogućili **snimanje, reprodukciju i elektronsku montažu audio i video emisija**, što je presudno uticalo na dalji nagli razvoj radija i televizije. Prvi magnetoskop pojavio se 1956. godine. On je koristio magnetnu traku širine 2 inča, a zbog načina snimanja dobio je naziv kvadrupleksni magnetoskop i dominirao je u upotrebi dve decenije. Zatim su razvijeni analogni helikoidalni magnetoskopi, segmentni B-format i segmentni C-format, koji koriste magnetnu traku širine 1 inč.

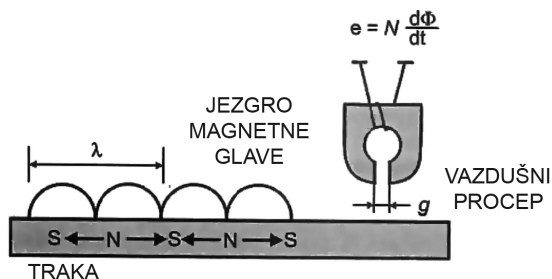
Prvi digitalni magnetoskop, ili **digitalni video-rikorder (DVR)**, pojavio se na tržištu 1986. godine i bio je poznat kao format D1. U njemu je primenjivano komponentno digitalno snimanje na magnetnoj traci širine $\frac{3}{4}$ inča. Ubrzo posle toga pojavila se čitava lepeza **kasetnih magnetoskopa – VCR** (*Video cassette recorder*), od kojih je najpoznatija familija digitalnih magnetoskopa DV, DVCAM i DVCPRO, koji koriste magnetnu traku 1 inč i različite formate zapisa video i audio signala. Zatim su se pojavili i digitalni kasetni magnetoskopi koji koriste magnetne trake $\frac{1}{2}$ inča i $\frac{1}{4}$ inča, koje su koristili i **kućni kasetni magnetoskopi – VHS** (*Video Home System*).

Jedan od najvažnijih zadataka svake televizije jeste snimanje vesti na terenu i što hitnije dostavljanje i emitovanje tih vesti iz matičnog studija. Ti zadaci postali su ostvarljivi tek pojavom malih prenosnih kasetnih magnetoskopa, kao i malih prenosnih kamera sa CCD senzorima. Zbog toga su takve kamere i kasetni magnetoskopi upakovani u jedan uređaj, koji je dobio naziv **kamkorder**. Razvijeni su i mali prenosni digitalni magnetoskopi, koji za snimanje ne koriste magnetnu traku, pa samim tim nemaju ni pokretnih mehaničkih delova koji opterećuju rad magnetoskopa, zahtevaju veliku preciznost i skloni su habanju. U takvim digitalnim magnetoskopima kao medij za snimanje audio i video signala koriste se optički video-diskovi, hard-diskovi i poluprovodničke memorijske kartice. Poslednjih godina ovakvi kamkorderi koriste se i kao stacionarni magnetoskopi u studiju i kao kamkorderi za snimanje na terenu u punoj SDTV rezoluciji, kao i punoj HDTV rezoluciji.

Uporedo sa razvojem različitih vrsta magnetoskopa i načina snimanja razvijane su i usavršavane su i različite tehnologije magnetoskopskih traka za memorisanje audio i video signala. One su se razlikovale po širini, kvalitetu i načinu usnimavanja video i audio zapisa kod različitih formata magnetoskopa. Zajednička karakteristika svih vrsta traka jeste da se na polietilenski nosač s jedne strane nanosi magnetni sloj, a sa druge strane nemagnetni zaštitni sloj. Video i audio signali usnimavaju se na

magnetni sloj magnetoskopske trake pomoću magnetoskopske glave. U toku snimanja magnetoskopska glava pretvara električni signal u magnetno polje, koje orijentiše magnetne čestice na površini magnetnog sloja trake. U toku reprodukcije magnetoskopska glava pretvara magnetno polje sa magnetne trake u električni signal. Između magnetoskopske glave i magnetne trake postoji mali vazdušni procep. Kada se u procesu snimanja magnetna traka kreće iznad magnetoskopske glave za snimanje video-signala, u vazdušnom procepu stvara se magnetno polje koje osciluje u ritmu struje koju proizvodi ulazni video-signal. Ta struja protiče kroz kalem magnetoskopske glave za snimanje i orijentiše magnetne čestice na magnetnoj traci u smeru magnetnog polja. Na taj način video-signal se trajno usnimava na magnetnoj traci.

Proces reprodukcije snimljenih video-signala sa magnetoskopske trake obratan je procesu snimanja. Kada ispod vazdušnog procepa magnetoskopske glave, slika 13.1, prolazi magnetna traka sa snimljenim signalom, usled promene fluksa u navojima kalema glave za reprodukciju indukuje se elektromagnetna sila, odnosno električni video-signal koji je snimljen na magnetnoj traci. Postoji ograničenje za reprodukciju visokih učestanosti video-signala zbog ograničene veličine nemagnetnog procepa glave za reprodukciju. Manji procep omogućuje reprodukciju viših učestanosti, ali smanjuje nivo reprodukovano signala.



Slika 13.1. Ilustracija procesa reprodukcije sa magnetoskopske trake

Do sredine sedamdesetih godina 20. veka korišćen je samo takozvani direktan način snimanja video-signala. Takav način snimanja primenjivan je kod prvobitnih kvadrupleksnih magnetoskopa, koji su koristili trake širine 2 inča, i kod helikoidalnih magnetoskopa B i C formata, koji su koristili trake širine 1 inč. Kasnije su usavršeni sledeći načini snimanja na magnetoskopsku traku:

- boja u donjem delu spektra (*Colour Under*);
- analogno-komponentni način snimanja;
- digitalni način snimanja.

Oni se međusobno razlikuju po tome da li se primenjuje analogni ili digitalni način usnimavanja ili se usnimavaju složeni ili komponentni video-signal. Pri analogno-komponentnom načinu snimanja luminentni i hrominentni signali snimaju se na dva odvojena magnetna traga. Luminentni signal se frekvencijski moduliše i usnimava na jedan trag. Hrominentni signal se razdvaja na U i V komponente, podvrgava posebnom načinu obrade pomoću vremenske kompresije i usnimava na drugi magnetni trag na traci.

13.2. DIGITALNO SNIMANJE NA MAGNETNU TRAKU

Kod svih analognih magnetoskopa primenjuje se frekvencijska modulacija za snimanje analognih video-signala na magnetnu traku. Jedan od značajnih nedostataka ovakvog načina snimanja jeste što se prilikom presnimavanja s kopije na kopiju smanjuje odnos signal–šum, što pogoršava kvalitet slike. To predstavlja veliko operativno ograničenje. Na primer, kod C formata magnetoskopa, koji je bio u masovnoj upotrebi, odnos signal–šum opadne za 7 db već kod šeste kopije, a kod desete kopije opadne za 10 db. Ta ograničenja otklonjena su kod digitalnog načina snimanja i obrade video-signala. Sa profesionalnim digitalnim magnetoskopima može se presnimati više od 20 kopija bez uočljivog pogoršanja odnosa signal–šum i izobličenja video-signala. Osim navedenih prednosti, digitalni način snimanja ima i sledeće značajne prednosti:

- Za kodovanje digitalnog signala koriste se samo 2 logička nivoa: 0 i 1, što omogućuje lako regenerisanje signala i mnogo manju osetljivost na smetnje.
- Podešavanja digitalnih magnetoskopa znatno su jednostavnija ili su potpuno eliminisana.
- Obezbeđuje se veća stabilnost u radu.
- Omogućuje se kompleksnija i kvalitetnija obrada video-signala u digitalnom obliku.

Savremene magnetne glave mogu da snimaju frekvencijski opseg do 10 oktava, a za ceo propusni opseg video-signala od 5 MHz potrebno je snimiti 20 oktava. Ovo ograničenje uslovljava izbor vrste digitalnog koda, određivanje strukture i učestanosti odmeravanja video-signala, kao i način snimanja na magnetnu traku. Učestanost odmeravanja može biti celobrojni umnožak linijske učestanosti f_h ili učestanosti podnosioca boje f_{sc} . Vezivanjem učestanosti odmeravanja za linijsku učestanost dobija se statična ortogonalna struktura odmeraka video-signala, koji zadržavaju definisane položaje u odnosu na sinhronizaciju impulse analognog

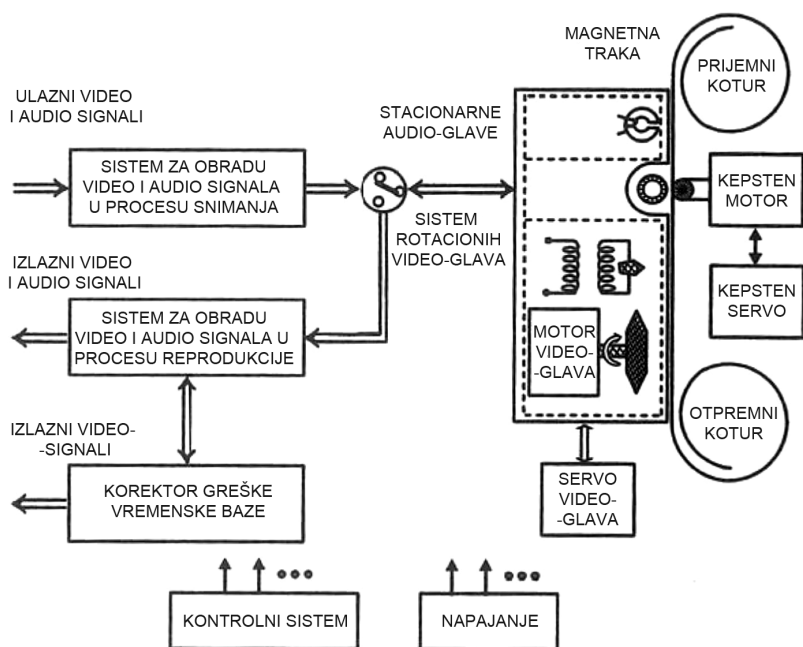
video-signala. Time se omogućuje precizna obrada video-signala u realnom vremenu. Videli smo da se ovakav način odmeravanja koristi u digitalnoj televiziji standardne definicije (SDTV), gde se luminentni signal odmerava sa učestanošću od 13,5 MHz, a oba hrominentna signala C_b i C_r odmeravaju se duplo manjom učestanošću, tj. od 6,75 MHz.

Zbog tehničke nesavršenosti digitalnog koda može nastati intermodulacija između učestanosti odmeravanja f_0 i učestanosti sapkerijera f_{sc} , zbog čega se javlja specifično izobličenje, poznato kao „izbijanje” (*Bit patterning*), koje je naročito uočljivo u delovima slike s većim zasićenjem boje. Ako bi f_0 bila celobrojni umnožak učestanosti sapkerijera f_{sc} , vidljivost izbijanja oblika bila bi znatno manja. U tom slučaju trebalo bi izabrati $f_0 = 4f_{sc} = 17,73 \text{ MHz}$ da bi se dobila potrebna ortogonalna struktura digitalnih odmeraka. Ovo proizlazi iz činjenice da je $4f_{sc}$ celobrojni umnožak učestanosti slike 50 Hz. Ovakvim izborom dobija se visoka učestanost odmeravanja, što zahteva veoma veliku brzinu rada elektronskih kola i velike bitske brzine. Naime, da ne bi bila uočljiva greška kvantizacije, pri digitalizaciji video-signala u profesionalnim televizijskim uređajima kvantizacija se obavlja sa 8 ili 10 bita po odmerku. Kada se uračuna učestanost odmeravanja, broj odmeraka po jednoj televizijskoj liniji, broj bita po jednom odmerku i broj linija u jednoj televizijskoj slici, dobija se veoma veliki broj bita koji treba usnimiti na magnetoskopsku traku za vreme samo jedne televizijske slike. Najjednostavniji način da se smanji ovako velika bitska brzina jeste da se informacije koje se nalaze u vertikalnom i horizontalnom intervalu zamračenja, kao i sinhronizacioni impulsi i sinhronizacioni signal boje, uopšte ne koduju i ne snimaju digitalno. Ti signali su veoma precizno definisani međunarodnim televizijskim standardima, pa se mogu lako rekonstruisati i dodati glavnom video-signalu pri reprodukciji. Za start i kraj aktivnog dela digitalne linije određene su kodne reči SAV (*Start of Activ Video*) i EAV (*End of Activ Video*). Na ovaj način moguće je uštedeti 16% ukupnog broja bita.

Velike bitske brzine mogu se smanjiti raspodelom bitova na veći broj glava za snimanje, što se i primenjuje kod profesionalnih digitalnih magnetoskopa. Takođe, velika bitska brzina može se smanjiti i upotrebom složenih digitalnih kodova, kao i primenom interfrejm i bidirekcionih kompresije sa procenom i predikcijom sadržaja sjajnosti i boje u susednim slikama. U realnim uslovima najčešće se koristi kombinacija više pomenutih metoda.

Pretvaranje analognog video-signala u digitalni oblik može se rešiti na dva načina. Jedan je da se direktno odmerava kompozitni video-signal, a drugi način jeste da se analogno-digitalna konverzija obavi posebno za luminentni Y-signal, a posebno za dve hrominentne komponente U i

V video-signalu. Prednosti komponentnog načina digitalnog snimanja jesu znatna ušteda u broju bita, jednostavnije kodovanje, jednostavniji su i procesi obrade video-signala u pogledu šuma i specijalnih efekata u geometriji slike i, što je veoma značajno, jednostavnija je i međunarodna razmena programa. Pri komponentnom snimanju eliminiše se sekvenca ponavljanja posle 4 televizijske slike kod PAL sistema. Takođe, pri elektronskoj montaži sirovih snimaka u komponentnom digitalnom obliku sekvenca ponavljanja od 4 TV slike, o kojoj treba voditi računa i pri pravljenju elektronskog reza, iznosi jednu sliku za sva tri TV sistema: PAL, NTSC i SECAM. Zbog toga se razmena snimljenog ili montiranog TV materijala između zemalja sa različitim TV standardima može obavljati bez komplikovanog konvertovanja iz jednog sistema u drugi.



Slika 13.2. Uopšteni blok-dijagram magnetoskopa

Princip rada profesionalnih magnetoskopa može se objasniti pomoću uopštenog blok-dijagrama prikazanog na slici 13.2, koji sadrži sve sklopove neophodne u procesu snimanja i reprodukcije video-signala ako se kao memorijski medijum koristi magnetoskopska traka. Sa slike se vidi da postoje posebni sistemi elektronskih sklopova za obradu video-signala u procesu snimanja i u procesu reprodukcije. Značajnu ulogu u procesu snimanja i reprodukcije ima servo-sistem. U toku snimanja potrebno je da se održava određeni odnos između zapisa video-tragova i longitudinalne

brzine trake. Kada toga ne bi bilo, tj. kada bi se motor video-glave ubrzao, a da se pri tome ne poveća brzina trake, nastalo bi snimanje jednog video-traga preko drugog. Da bi se obezbedilo pravilno usnimavanje video-tragova, pobuda vučnog kepsten (*Capstan*) motora, koji vuče traku, mora biti usaglašena s brzinom rotiranja glave. Elektronski sklopovi koji obavljaju ovu funkciju nazivaju se servo-sistemi.

Kvalitet reprodukovane slike zavisi od obrade video-signala u procesu snimanja i od pravilne obrade, tj. demodulacije i korekcije reprodukovanog video-signala. Greške vremenske baze reprodukovanog video-signala na izlazu magnetoskopa ispravljaju se pomoću korektora vremenske baze.

Za razliku od profesionalnih magnetoskopa, kućni magnetoskopi VHS imaju dva dodatna sklopa: VHF/UHF tjuner i RF modulator. VHF/UHF tjuner ima ulogu da televizijske signale koji se primaju preko antene pretvori u signale pogodne za dalju obradu u procesu snimanja. Ovaj tjuner sličan je tjuneru TV prijemnika. RF modulator je minijskopi TV predajnik, koji generiše jednu od odabranih frekvencija UHF područja, najčešće od 30. do 40. kanala. U nekim slučajevima RF modulator radi na 3. ili 4. kanalu prvog (I) VHF područja. Ovaj magnetoskop pripada grupi kasetnih magnetoskopa VCR koji koriste traku širine $\frac{1}{2}$ inča. Kod VHS formata primenjuje se način snimanja „boja u donjem delu spektra”, ali bez zaštitnih pojaseva, tj. trag do traga, čime se znatno smanjuje potrošnja magnetne trake jer je širina magnetnog traga znatno manja. Glave VHS formata su azimutno pomerene za $\pm 6^\circ$, što znači da je ukupna azimutna razlika između susednih tragova 12° . Na obodu bubnja nalaze se dve video-glave pod uglom od 180° . Kad jedna video-glava završava snimanje traga jedne poluslike, druga počinje snimanje susednog traga druge poluslike. To znači da se pri jednom obrtaju bubnja usnimi jedna cela slika. Pošto je kod 625/25 sistema potrebno usnimiti 25 slika u sekundi, to znači da bubanj mora da načini 25 obrtaja u sekundi, tj. 1.500 obrtaja u minutu. Ispred video-glave nalaze se glave za brisanje prethodnih snimaka. Iza bubnja sa video-glavama nalazi se postolje, koje na gornjem delu nosi tonsku glavu za snimanje audio-signala, a na donjem delu postolja je glava za snimanje kontrolnog traga.

13.3. FORMATI MAGNETOSKOPA. DIGITALNI MAGNETOSKOPI

Širina magnetoskopske trake nije jedini parametar koji određuje usvojeni format magnetoskopa. Na primer, na istoj širini trake od jednog inča proizvedena su dva nekompatibilna formata, B i C, ili na širini trake od $\frac{1}{2}$ inča urađeni su, takođe, nekompatibilni formati BETA i VHS, kao i digitalni format D5 magnetoskopa.

Format magnetoskopa određen je načinom snimanja video-signala i audio-signala na magnetoskopsku traku, širinom trake, izborom magnetoskopskih glava i drugim parametrima koji su karakteristični za određeni tip magnetoskopa.

Veliki broj i analognih i digitalnih magnetoskopa, koji su bili razvijeni i bili neko vreme u upotrebi, s vremenom su izbačeni iz proizvodnje i iz upotrebe.

Posle prvobitnih digitalnih formata D1, D2 i D5 pojavio se čitav niz novih digitalnih magnetoskopa, koji se označavaju i kao digitalni rikorderi DVR, od kojih su najpoznatiji DV, DV CAM, DIGITAL S i BETA CAM SX. Najveći svetski proizvođači magnetoskopa: *Soni*, *Panasonik*, *Filips* i drugi, organizovali su 1994. godine konferenciju da bi ustanovili jedinstvene tehničke specifikacije za digitalne kasetne magnetoskope. Na toj konferenciji razmatrani su sledeći standardi:

- formati i tehnologije magnetoskopskih traka i familije kaseti,
- standardi kompresije.

Što se tiče magnetoskopskih traka, izabrane su trake s metalnim česticama – MP (*Metal Particle*), kod kojih je moguć longitudinalni zapis, za razliku od prethodnih traka ME (*Metal Evaporated*), kod kojih to nije bilo moguće. Longitudinalni zapis je neophodan da bi se omogućilo snimanje linearnog kontrolnog traga (CTL) i kju (*Cue*) traga potrebnog za elektronsku montažu. Trake širine 6,35 mm, tj ¼ inča, smeštene su u velike L kasete dimenzija 125 × 74 × 14,6 mm, i u male kasete M čije su dimenzije 97,5 × 64,5 × 14,5 mm.

13.4. DVCPRO FORMAT DIGITALNOG MAGNETOSKOPA

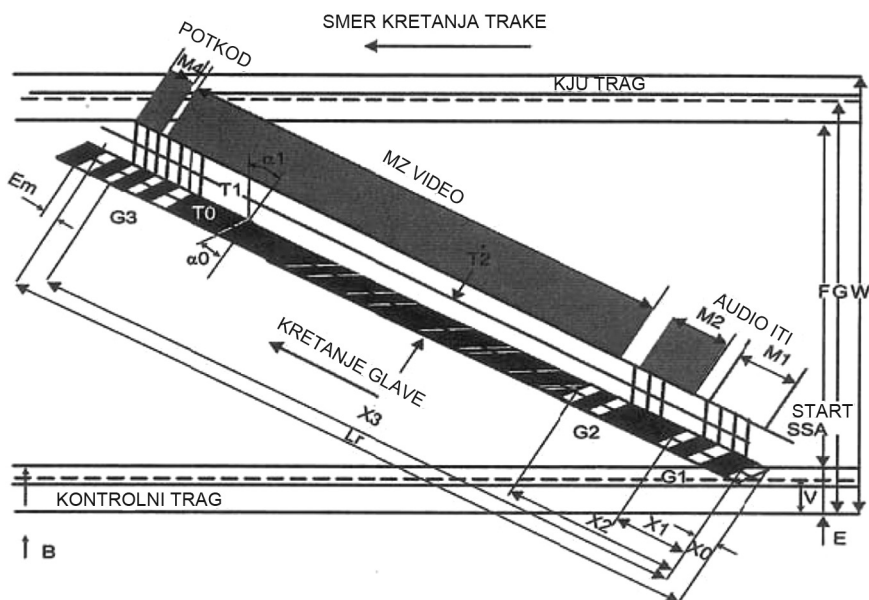
DVCPRO format digitalnog magnetoskopa dobijen je proširenjem tehničkih mogućnosti kasetnih VCR magnetoskopa za kućnu upotrebu. DVCPRO ima 3,5 puta manje dimenzije od klasičnog poluinčnog VCR magnetoskopa, tako da je ceo mehanizam sa glavama manji, a time je smanjena i potrošnja snage, kao i šum rotacije cilindra sa glavama. Ovo je imalo veliki značaj za ugradnju ovih magnetoskopa u kamkordere, zajedno s malim CCD kamerama, što je dobilo veliku praktičnu primenu za snimanja na terenu.

Digitalni magnetoskop DVCPRO proizvodi se za bitske brzine od 25 Mb/s, što ga svrstava u poluprofesionalne formate, ali se proizvode i za bitske brzine od 50 Mb/s, tako da se takvi DVCPRO magnetoskopi koriste kao profesionalni digitalni magnetoskopi visokog kvaliteta.

DVCPRO format koristi cilindar sa glavama prečnika 21,7 mm, koji rotira brzinom od 9.000 obrtaja u minuti i zapisuje 12 helikoidalnih tragova po jednoj slici, tj. frejmu, za PAL system 625/50, i 10 helikoidalnih tragova po frejmu za NTSC system 525/60. Na slici 13.3 ilustrovan je izgled magnetnih tragova na magnetoskopskoj traci digitalnog DVCPRO formata. Tragovi su podeljeni u 4 sektora:

- ITI sektor M1 za inserte i informacije o tragu,
- audio-sektor M2,
- video-sektor M3,
- potkod-sektor M4.

Sektori su međusobno odvojeni zaštitnim G-zonama. ITI sektor određuje tačnu poziciju montažnog razmaka radi kompenzovanja malih devijacija u usnimljenom tragu. Potkod sektor sadrži 12 blokova za sinhronizaciju podataka i očitavanje vremenskog (*Time*) koda prilikom brzog pretraživanja – premotvanja snimljenih podataka na traci. Najznačajnije promene u cilju dobijanja profesionalne funkcionalnosti urađene su povećanjem širine traga na 18 μm , izborom MP traka s metalnim česticama, koje omogućuju upis linearnog kontrolnog traga CTL i kju (Cue) traga na ivicama trake.



Slika 13.3. Ilustracija zapisa na magnetoskopskoj traci digitalnog DVCPRO formata

U digitalnom magnetoskopu DVCPRO, prema preporukama CCIR 601, frekvencija odmeravanja lumentnog Y-signalaja je 13,5 MHz sa odnosom učestanosti odmeravanja 4 : 2 : 2 i propusnim opsegom hrominentnih

signala od 1,5 MHz. Time je omogućen visoki kontrast. Međutim, signali razlike boja U i V filtriraju se digitalno ponaosob da bi se smanjio broj piksela za 50%. Posle ove redukcije hrominentnih signala dobija se odnos učestanosti odmeravanja 4 : 1 : 1. Ovime su postignute dve veoma značajne prednosti:

- DVCPRO radi sa intrafrejm-kompresijom za svaki frejm posebno (*Frame based compression*), i pri bitskim brzinama od 25 Mb/s, i pri bitskim brzinama od 50 Mb/s. To omogućuje mnogo lakšu montažu (*Editing*) nego sa MPEG kompresijom i nema potrebe za veštački proizvedenim pokretima, kao što je to slučaj sa iterfrejm-kompresijom.
- Odnos kompresije je smanjen na 5 : 1 s minimalnim nepovoljnim posledicama kompresije.

Prilikom reprodukcije video-signala snimljenog sa odnosom učestanosti odmeravanja 4 : 1 : 1 interpolacijom se obezbeđuje da odnos učestanosti odmeravanja izlaznog signala bude, ipak, 4 : 2 : 2, što omogućuje da se DVCPRO povezuje s drugim standardnim digitalnim uređajima i sistemima, što je veoma značajno.

Na DVCPRO traci snimaju se 2 nezavisna audio-signala, koji čine stereo audio-kanal. Frekvencijska odmeravanja stereo audio-signala realizuju se sa 48 KHz i sinhronizovana su u odnosu na video-signal. Iako se audio-signali snimaju nezavisno od video-signala, trajanje jedne audio-sekvence istog je trajanja kao i trajanje jednog odgovarajućeg frejma, tj. jedne slike.

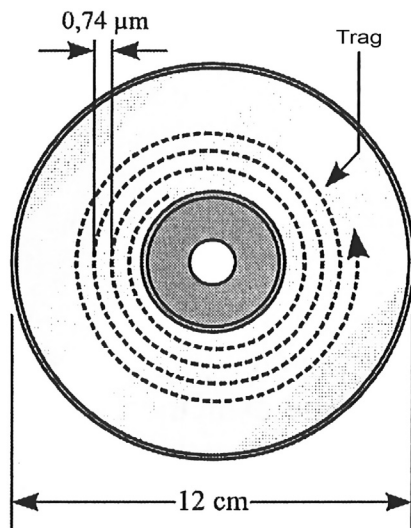
13.5. OPTIČKI VIDEO-DISKovi. PRINCIP ZAPISIVANJA I OČITAVANJA DIGITALNIH PODATAKA

Ubrzo posle razvoja magnetoskopa pojavila se i digitalna tehnologija, koja je omogućila razvoj optičkih video-diskova, koji imaju tehničke mogućnosti brzog pristupa snimljenim podacima, veliku pouzdanost, neograničen broj reprodukcija i jednostavno i jeftino održavanje.

Optički disk DVD (*Digital Versatile Disc*) ima mogućnost snimanja i očitavanja digitalnih računarskih podataka, digitalno kodovanih audio-signala (*DVD audio*) i digitalno kodovanih video-signala (*DVD video*).

Video-diskovi DVD i obični optički kompakt-diskovi (CD) veoma su slični, istih su dimenzija i rade na istom principu. Bitna razlika jeste što su DVD upisno-čitajući diskovi, a sa CD-a može samo da se očitava sadržaj koji je jednom usnimljen. Takođe, bitna razlika je i u kapacitetu podataka koji može da se snimi i očitava. Na optičkom DVD disku može da se snimi oko sedam puta više digitalnih podataka nego na optičkom CD disku, a na

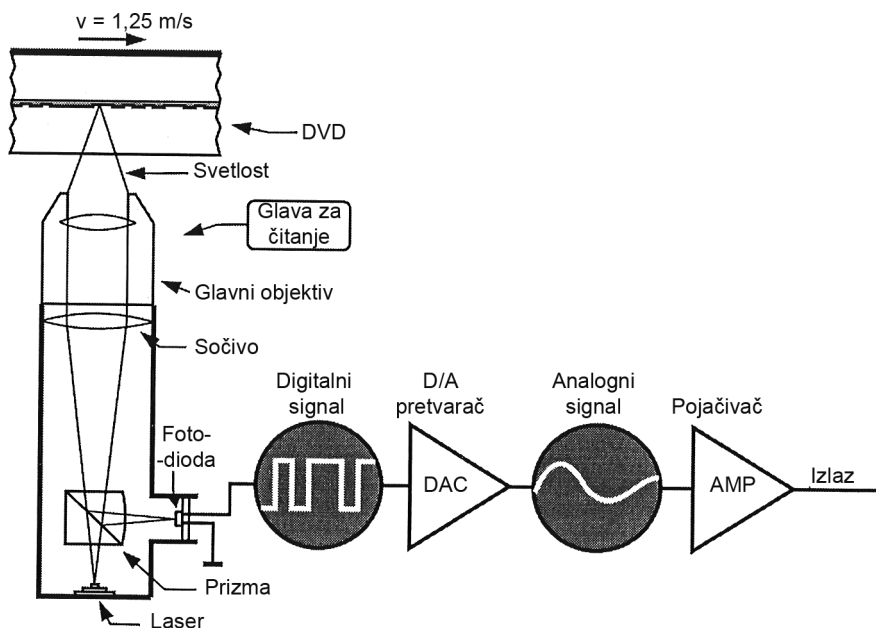
dvoslojnom dvostranom upisno-čitajućem DVD disku može da se snimi čak i trideset puta više digitalnih podataka. Tako veliki kapacitet omogućuje da se na optički DVD disk snimi kompletan dugometražni bioskopski film, kao i osam sati muzike sa mnogo drugih informacija.



Slika 13.4. Izgled i dimenzije optičkog diska

Digitalni podaci nula i jedinica snimaju se na optički DVD jedan za drugim na trag u obliku spirale, kao što je prikazano na slici 13.4. Spirala jednoslojnih diskova uvek počinje na unutrašnjem delu i završava se na spoljašnjem delu diska. To znači da disk može imati prečnik i manji od 12 centimetara, ukoliko za tim postoji potreba. Trag se sastoji od ispupčenja i praznog prostora između njih. Dimenzije ispupčenja su veoma male. Širina ispupčenja je $0,32 \mu\text{m}$, a dužina ispupčenja je $0,4 \mu\text{m}$ ili malo duža, što zavisi od podataka koji se snimaju. Takođe, malo je i rastojnje između dva susedna traga i ono iznosi $0,74 \mu\text{m}$. Mikroskopske dimenzije ispupčenja i rastojanja između njih omogućuju da spiralni trag na disku može biti veoma dugačak. Dužina traga na jednoslojnom DVD disku iznosi oko 12 kilometara, dok kod dvoslojnih dvostranih DVD diskova dostiže i 48 kilometara.

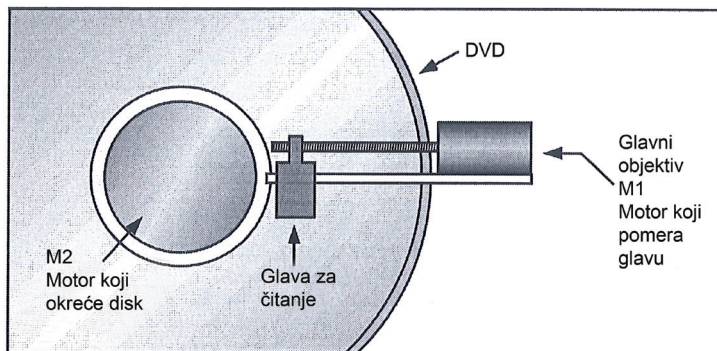
Čitanje digitalno kodovanih podataka sa optičkog diska obavlja se pomoću fokusirane svetlosti koju stvara laserska dioda. Počinje se od dela spiralnog traga najbližeg centralnom otvoru. Tada je ugaona brzina diska 500 obrtaja u minutu, a završava se na delu spirale koja je najbliža ivici diska, kada ugaona brzina diska iznosi 200 obrtaja u minutu. Neprekidnim povećanjem ugaone brzine ostvaruje se konstantna perifериjska brzina dela spirale s koje se očitavaju digitalne nule i jedinice.



Slika 13.5. Blok-dijagram očitavanja digitalnih podataka sa optičkog DVD diska

Veoma uprošćen prikaz blok-dijagrama plejera za jednoslojni DVD prikazan je na slici 13.5. U levom delu slike ilustrovana je glava za čitanje binarnih podataka sa diska. Svetlost koju stvara laserska dioda prolazi kroz optičku prizmu, fokusira se pomoću sočiva i pada na ploču diska. Pošto se odbije sa ispupčenja na disku, ta svetlost se kroz sočivo vraća na prizmu i pomoću nje usmerava na foto-diodu. Prečnik snopa svetlosti koja pada na ploču dva puta je veći od širine ispupčenja, tako da se jedan deo svetlosti stalno odbija od ravnog dela ploče. Drugi deo svetlosti odbija se ili od ravnog dela ploče ili od gornje površine ispupčenja. Visina tih udubljenja iznosi jednu četvrtinu talasne dužine svetlosti koju stvara laserska dioda. Kada se očitava deo traga na kojem je ispupčenje, svetlosni talas koji se odbija od površine diska i svetlosni talas koji se odbija od površine ispupčenja fazno su pomereni za 180 stepeni. Zbog toga se ova dva talasa delimično poništavaju, pa je jačina svetlosti koja pada na foto-diodu manja nego kada se očitava deo spirale na kome nema ispupčenja i kada jačina svetlosti nije smanjena jer nema poništavanja. Na taj način na izlazu glave za čitanje dobija se digitalni signal, koji se dalje obrađuje u elektronskom delu plejera. Najteži problem pri čitanju podataka s optičkog diska jeste precizno postizanje da svetlosni snop tačno prati spiralu s podacima na disku. Taj postupak obavlja se pomoću sistema za praćenje (*Tracking System*), čiji je veoma pojednostavljen izgled prikazan na slici 13.6. Dok se obavlja čitanje podataka, motor M1 pomera glavu za čitanje od centra diska ka periferiji

diska, a motor M2, koji okreće disk, smanjuje broj obrtaja od 500 obrtaja u minuti, kada je glava najbliža centru diska, do brzine od 200 obrtaja u minuti, kada se glava nalazi na samoj periferiji diska.



Slika 13.6. Pojednostavljeni prikaz mehaničkog dela DVD plejera

13.6. PRIMENA OPTIČKIH DVD DISKOVA U MULTIMEDIJIMA

Optički diskovi DVD stekli su veliku popularnost zahvaljujući mogućnosti da na njih može da se snimi dugometražni bioskopski film, tako da su uskoro svi noviji filmovi presnimavani na optičke DVD diskove, a na njih su presnimavani i stariji filmovi. Zbog izvanrednog kvaliteta slike i zvuka na DVD-u, može se reći da je on učinio za film ono što je CD učinio za muziku.

Iako je kapacitet optičkih DVD diskova veoma veliki, na njih ne mogu da se snime kompletni nekompresovani podaci jednog dugometražnog filma. To može da se postigne ako se digitalni podaci kompresuju. Standarde po kojima se obavlja kompresija ustanovila je grupa inženjera poznata pod oznakom MPEG (*Moving Picture Experts Group*), a kompresija filmova obavlja se po preporukama MPEG-2. Koder koji kompresuje digitalne podatke filma analizira svaku filmsku sliku, kojih ima 24 u jednoj sekundi, i „odlučuje” kako da ih koduje da bi eliminisao redundantne podatke koji nisu neophodni. Na taj način ostvaruje se smanjenje i ušteda u ukupnom broju digitalnih podataka koje treba snimiti.

Cilj svakog postupka kompresije jeste da se prepozna i koduje samo promenljivi, odnosno koristan deo slike koji nosi novu informaciju. Tačke ili delovi slike koji imaju istu sjajnost i boju mogu se proglasiti suvišnim ili redundantnim, pa se ne moraju ni kodovati jer signal koji se ne menja ne sadrži nikakvu novu korisnu informaciju. Nasuprot tome, kada se u sceni događa neka brza akcija i ima mnogo promena između susednih slika, onda se mora koristiti više kompletnih nekompresovanih slika. Kompresija redukuje broj bita digitalne reči, a time i deo sadržaja slike, što

neminovno prouzrokuje smanjenje rezolucije i smanjenje oštine i kvaliteta kompresovane slike. Zbog toga kompresija mora da se obavlja obazrivo da šum u slici ne bi postao nepoželjno uočljiv. Greška koja se pojavi u samo jednoj slici biće vidljiva i u sledećim slikama, tj. nastaće propagacija greške. Zbog toga se koriste tri različita postupka za kompresiju slika:

1. Snimaju se podaci dobijeni analizom svake slike, a ne koduju se male ili nikakve razlike u sjajnosti susednih tačaka na delovima unutar iste slike. To je intrafrejm-kompresija.
2. Kompresija koja uzima u obzir procenu, predviđanje, tj. predikciju sadržaja susednih slika, naziva se kompresija s prediktivnim kodovanjem, tj. interfrejm-kompresija. Smanjenje količine podataka postiže se analizom i kodovanjem samo promene sadržaja i sjajnosti između pojedinih delova iste slike, kao i odgovarajućih delova susednih slika. Na taj način može se drastično komprimovati, tj. smanjiti ukupan broj bita potreban za kodovanje jedne slike ili niza susednih slika.
3. Ako se objekat u nizu slika pomera, predikcija sadržaja susednih slika kod interfrejm-kompresije može se obavljati kretanjem samo unapred, a može i kretanjem i unapred i unazad. To je bidirekciona kompresija s procenom, odnosno estimacijom i predikcijom sjajnosti i pokreta. U koderu mora da se odredi novi položaj i boja svakog piksela u susednim slikama i obavi njihova interpolacija. Koja će od ovih slika biti korišćena i kodovana, zavisi od tipa scene.

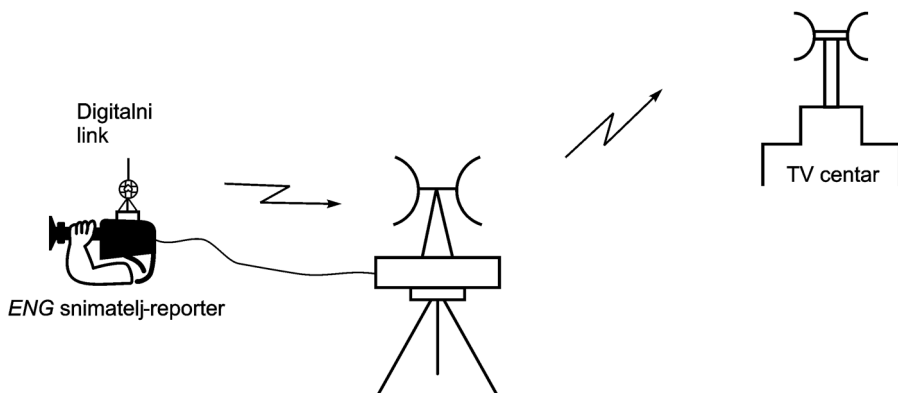
Optički DVD diskovi koriste se i u kamkorderima sa optičkim diskovima za prikupljanje vesti s terena (ENG – *Electronic News Gathering*). Savremeni kamkorderi najčešće imaju i programe za montažu snimljenog sirovog materijala, koji se, tako pripremljen na terenu daleko od matičnog TV centra, može hitno poslati na emitovanje preko zakupljenih reporterskih veza, preko satelitskih veza, kao i preko interneta.

U programskim arhivima koriste se uređaji s veoma velikim brojem optičkih DVD diskova, DVD RAM (*Random Access Memory*), koji imaju mogućnost i snimanja i očitavanja velike količine audio i video materijala. Tako velike DVD RAM biblioteke moraju imati računarske baze podataka s programima i automatizovanom i robotizovanom mehanikom za brzo pronalaženje traženih diskova, kao i pojedinačnih delova snimljenih materijala na njima. Ukupan kapacitet snimljenih digitalnih video i audio materijala na tim diskovima meri se hiljadama gigabajta. Biblioteke i računarske radne stanice umrežene su sa serverom radi objedinjavanja i kontrole svih poslova na mreži. Video i audio materijali se kompresuju u digitalnom MPEG-2 formatu. Da bi se ostvario brz pristup programskom

materijalu koji je na listi za skoro korišćenje, kao i materijalima koji se često koriste, ovi materijali ostaju na serveru, a materijali koji nisu predviđeni za skoro korišćenje ostaju arhivirani u programskom arhivu.

13.7. ENG / SNG PRIKUPLJANJE VESTI S TERENA

Potreba za brzim i kvalitetnim snimanjem vesti na terenu izvan matičnog studija, dostavljanjem i što hitnijim emitovanjem tih vesti svakako je jedan od najvažnijih zadataka svake televizije. U početku razvoja televizije, brzo prikupljanje i emitovanje vesti s terena nije bilo moguće sa filmskom kamerom jer se moralo dugo čekati na laboratorijsko razvijanje filma. Takođe, dolazak i postavljanje robustnih reportažnih kola na mesto događanja najčešće je preskupo i presporo za kratke i brze vesti. Ti zadaci postali su ostvarljivi tek pojavom malih prenosnih CCD kamera i kasetnih magnetoskopa. Kamera i rikorder upakovani su u jedan uređaj – **kamkorder**, koji ima male dimenzije, malu potrošnju električne energije i operativne mogućnosti koje su potrebne za prikupljanje vesti s terena, poznato kao **ENG** (*Electronics News Gathering*). ENG snimanje može da obavlja samo jedan dobro obučen snimatelj-reporter (*One Man Operation*). Klasičan način dostavljanja snimljenih vesti matičnom TV centru jeste prenos snimljene kasete do TV centra. Takođe, prenosni linkovi se mogu postaviti u blizini snimanja. Snimak s kamkordera se kablom vodi u link, a sa njega se ENG snimak dostavlja matičnom TV centru, kao što je ilustrovano na slici 13.7.



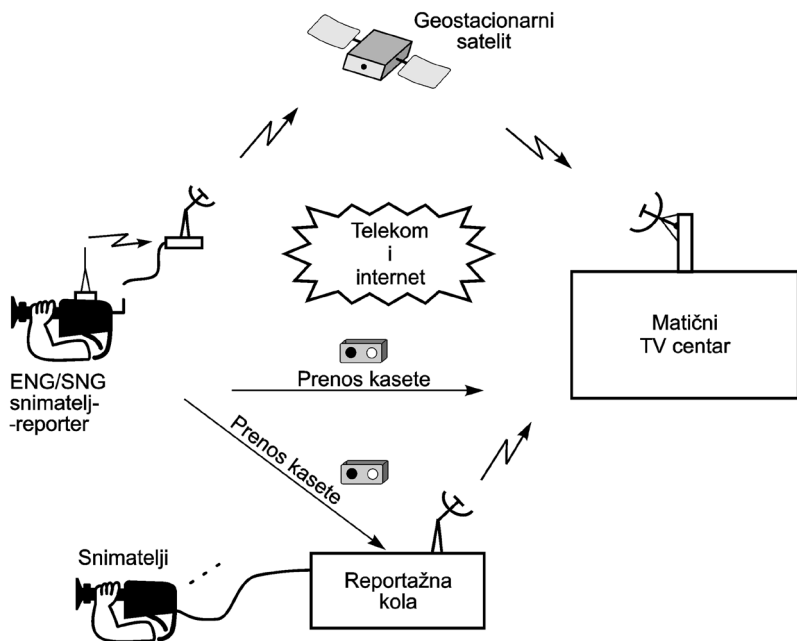
Slika 13.7. Slanje ENG snimka do matičnog TV centra

Antene i stalci prenosnih linkova moraju biti manjih dimenzija i jednostavni za montažu na terenu. Antene moraju biti sa usmerenim dijagramom zračenja, visokoefikasne i sa niskošumnim pretpojačivačima.

Kasnije su razvijeni i digitalni linkovi malih dimenzija, koji se mogu instalirati i na samom kamkorderu. Pomoću njih se signal može dostaviti i direktno do TV centra, sa rastojanja od nekoliko stotina metara, ili najpre do prenosnog linka postavljenog u blizini, kao što je ilustrovano na istoj slici.

Reportažna kola, koja predstavljaju pokretni studio, koriste se za velika snimanja sa više kamera. Usmerena predajna parabolična antena montira se na krovu reportažnih kola. Za linkovske mikrotalasne veze koristi se frekventni opseg od 2,3 do 2,5 GHz za prenose na udaljenosti do 100 kilometara i opseg od 1,9 do 13,1 GHz za kraća rastojanja. Na putu do prijemnika može doći do znatnog slabljenja signala i do interferencije sa reflektovanim talasima. Ovi problemi se rešavaju određivanjem povoljne pozicije antene, kao i izborom odgovarajućih selektivnih ili širokopojasnih antena sa horizontalnom ili vertikalnom polarizacijom, niskošumnim pojačivačima i sličnim rešenjima.

Razvojem digitalne tehnike, kompresije video-signala, kao i digitalnih modulacionih tehnika prenosa, znatno je unapređen ne samo ENG način brzog prikupljanja vesti s terena nego i korišćenje komunikacionih satelita i malih digitalnih prenosnih satelitskih linkova (*up-link*). Ovakav način rada naziva se **SNG** (*Satellite News Gathering*). Na slici 13.8 ilustrovani su alternativni načini vanstudijskih snimanja i dostavljanja materijala matičnom TV centru.



Slika 13.8. Ilustracija alternativnih načina vanstudijskih snimanja i dostavljanja materijala matičnom TV centru

Većina TV centara danas ima trajno zakupljene primopredajnike, tj. transpondere na telekomunikacionim satelitima, tako da je često pogodnije da signal koji snimaju na lokaciji svoga grada pošalju svom matičnom TV centru preko satelita, kao što je na slici 13.8 ilustrovano, nego da postavljaju linkovske skokove preko najviših zgrada u gradu.

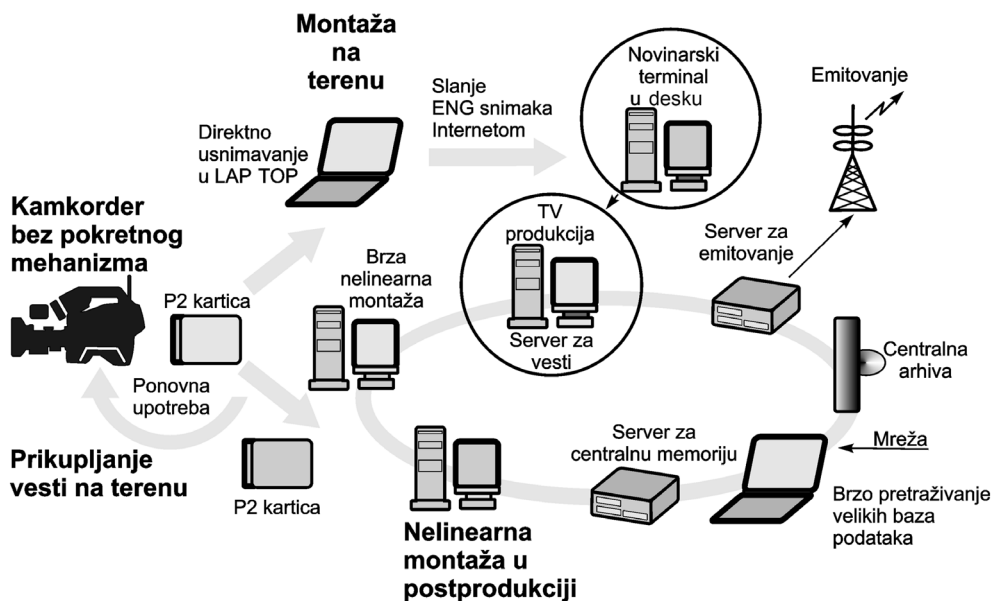
13.8. ENG SNIMANJE S KAMKORDERIMA BEZ POKRETNIH MEHANIZAMA

Za snimanje video i audio informacija, kako u stacionarnim, tako i u prenosnim magnetoskopima, korišćene su, a i dalje se koriste, magnetne trake s analognim ili digitalnim zapisom. Do snimljenih sekvenci na traci dolazi se sekvencijalno premotavanjem trake, što znatno usporava rad u nelinearnim montažama, kao i istovremeno višestruko korišćenje tog materijala, a zahteva i stacionarni magnetoskop u TV centru za reprodukciju takvog snimka. Magnetoskopi koji koriste magnetne trake imaju puno pokretnih mehanizama, koji su skloni habanju, a troškovi servisiranja su veoma skupi. Zbog toga su, kao zamena za magnetnu traku, razvijeni novi memorijski mediji za snimanje, kao što su **brzi optički blue-ray DVD diskovi**, brzi hard-diskovi i poluprovodničke memorijske kartice P2. Istovremeno su razvijeni i novi formati digitalnih kamkordera – DVCPRO, DVCAM, MPEG IMX sa snimanjem video i audio materijala u digitalnom obliku na navedene memorijske nosače.

Za profesionalni rad u televiziji potrebno je da ovi novi kamkorderi imaju bitsku brzinu veću od 50 Mb/s, potrebnu za brodkast-kvalitet rada i zadovoljavajući kapacitet snimanja. Razvijeni su ovakvi kamkorderi bez pokretnih delova za snimanja u punoj 4 : 2 : 2 SD rezoluciji sa 720 piksela po liniji i 576 linija sa kvantizacijom od 10 ili 12 bita i u HD rezoluciji sa 720 piksela i 1.080 linija i sa formatom slike 16 : 9. Snimci iz ovih kamkordera mogu direktno da se presnime u PC za nelinearnu montažu, bez upotrebe bilo kakvih reproduktora ili digitalnih kodera i dekodera. Na taj način znatno se poboljšavaju tehničke i operativne mogućnosti za prikupljanje vesti s terena, kao i efikasnost i produkcione mogućnosti rada na nelinearnim montažama u TV centrima. Postoji, takođe, i mogućnost brze montaže snimljenog materijala u kamkorderu kako bi već pripremljeni materijal mogao da se dostavi TV centru za što hitnije emitovanje. Video/audio snimak sa ovakvih digitalnih kamkordera može se direktno usnimiti u prenosivi laptop računar. Pomoću instaliranog odgovarajućeg programa za nelinearnu montažu taj snimak se može izmontirati u laptop računaru i s njega poslati direktno preko interneta svom matičnom TV centru, koji može da se nalazi u drugoj državi ili na drugom kontinentu. Ova mogućnost

je od izuzetnog značaja jer se tako postiže potrebna brzina u slanju vesti s udaljenih terena i, što je takođe važno, na taj način se izbegava angažovanje skupih unilateralnih mikrotalasnih ili satelitskih TV veza.

Na slici 13.9 ilustrovan je način dostavljanja i korišćenja video/audio materijala snimljenog kamkorderom na poluprovodničku **karticu P2**. Digitalni snimak se direktno presnimava u prenosivi laptop računar, bez potrebe za bilo kakvim presnimavanjem, kodovanjem i dekodovanjem. U njemu se obavi brza **digitalna nelinearna montaža NLE** (*Non linear Editing*), a preko **interneta** se šalje TV produkciji u matičnom digitalnom TV centru. Pristigla vest može da se ponovo izmontira u brzom nelinearnom montaži (*news cutter*), u matičnom digitalnom studiju informativnog programa i zatim kroz mrežu usnimi u server za emitovanje vesti, kao što je ilustrovano na gornjoj putanji na slici 13.9.



Slika 13.9. Ilustracija dostavljanja i korišćenja ENG snimka sa P2 kartice u digitalnom TV centru

Kada se snimatelj-reporter vrati u svoj matični digitalni TV centar, svi video/audio materijali koje je snimio na poluprovodničku karticu P2, hard-disk ili DVD mogu se direktno presnimiti u nelinearne montaže za postprodukciju i u server **centralne memorije**. Ovi materijali se kasnije koriste za pravljenje novih emisija uz korišćenje i postojećih materijala iz centralne memorije ili iz **programskog arhiva**, kao što je ilustrovano donjom putanjom na slici 13.5.

Radi komunikacije i prenosa audio i video signala i raznih servisnih i informacionih digitalnih podataka, televizijski kapaciteti na teritoriji grada ili regiona povezuju se i umrežavaju optičkim kablovima i optičkim mrežama. TV centri mogu da koriste i nacionalnu telekomunikacionu mrežu i internet. Za digitalne pretplatničke linije DSL (*Digital Subscriber Line*), pristupne mreže na internet, prenos raznih digitalnih podataka, kao i za ostvarivanje telefonskih komunikacija koriste se integrisane telefonske mreže ISDN (*Integrated Services Digital Networking*), ADSL (*Asymetric Digital Subscriber Lines*), HDSL (*High Speed Digital Subscriber Lines*).

Za prenos svih tipova digitalnih podataka i video i audio signala unutar TV centra ili na manja rastojanja koriste se lokalne računarske mreže LAN (*Local Area Network*). Najpoznatija i najviše korišćena globalna mreža je, svakako, internet ili IP (*Internet Protocol*) komunikacija. Koriste se, takođe, i integrisane širokopojasne mreže, kao što je ATM (*Asynchronous Transfer Mode*).

13.9. VIDEO-SERVERI

Termin **video-server** prvi put je upotrebljen za rad sa statičnim elektronskim slikama komprimovanim u JPEG formatu. Ubrzo posle toga video-serveri su počeli intenzivno da se koriste i za pokretne slike. Ako se želi prelazak na potpuno digitalizovani rad u TV centru, video-serveri imaju ključnu ulogu u objedinjavanju svih poslova u pripremi i emitovanju programa. Transport digitalnih signala u TV centru baziranom na video-serverima zahteva analizu ukupnog dijagrama toka svih poslova i signala od uređaja do uređaja. Postoje različiti pristupi za realizaciju ovih zadataka i oni mogu imati i svoje prednosti i svoje nedostatke. Lokalne mreže povezuju svu opremu, a pomoću video-rutera se ostvaruju sve veze video-signala između servera i raznih uređaja, kao i od glavne tehničke kontrole do prenosnih veza ka predajnicima. Za realizaciju celog ciklusa treba razmotriti:

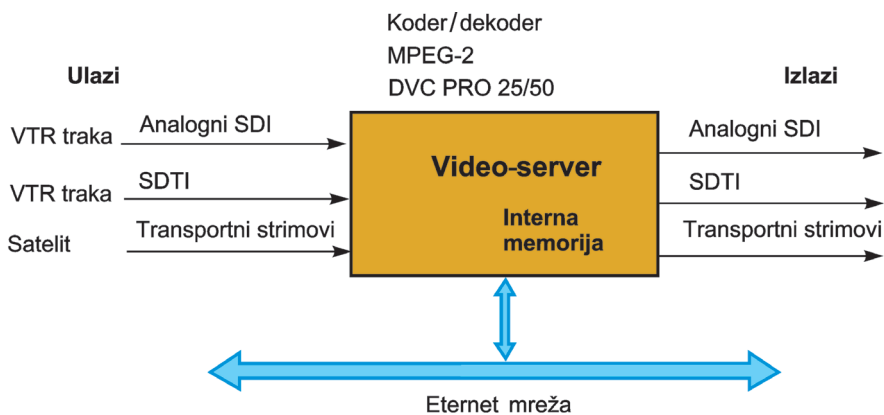
- kako se signali dobijaju u TV centru;
- koji format za kompresiju će biti korišćen – DVCPRO, MPEG ili neki drugi;
- da li će se koristiti centralizovana ili distribuirana memorija ili kombinacija obe;
- koji tip RAID memorija će biti korišćen;
- način na koji će se arhivirati programski materijali;
- na koji način i s kojim sadržajima pristupati internetu;
- da li će i kada sav video i audio materijal biti korišćen u obliku digitalnih paketa;

- kako na najekonomičniji način omogućiti prelaz na televiziju visoke definicije;
- strategiju monitoringa i kontrolu ispravnosti opreme u digitalnom TV centru.

Korisnici mogu u video-servere da unesu tri vrste programskih materijala:

1. analogne video-sigale;
2. komprimovane paketizovane video-strimove u obliku SDI/SDTI ili MPEG transportnih signala;
3. video-sigale u obliku digitalnih fajlova.

Izlazni signali s video-servera takođe mogu biti analogni, SDI, SDTI ili u obliku transportnih strimova (TS).



Slika 13.10. Blok-dijagram video-servera

Na slici 13.10 prikazan je video-server sa označenim mogućnostima za video-ulaze i izlaze, s priključkom na ethernet ili optičku mrežu i mogućnostima za kompresiju video-sigala u MPEG-2 ili DVCPRO 25/50 Mb/s standardu. Svaki video-server može imati internu memoriju velikog kapaciteta sa RAID diskovima (*Redundant Array of Independent Disks*), kao redundantnu grupu nezavisnih standardnih diskova. RAID diskovi imaju svoje kontrolere i koriste se za poslove koji zahtevaju velike kapacitete, brzine i pouzdanost u radu jer imaju mogućnost detekcije i korekcije grešaka i oštećenja diskova. RAID diskovi mogu imati jednostruki ili višestruki miroring, što znači da postoje i rezervni bekap RAID diskovi, u koje se istovremeno usnimavaju isti sadržaji, kao lik u ogledalu sa glavnim RAID diskom. Na taj način se obezbeđuje zaštita od gubitaka informacija i dramatičnih grešaka u radu.

DVCPRO je popularni kompresioni format za prikupljanje vesti koji se koristi za proizvodnju mobilnih kamkordera. Proizvode se, naravno, i studijski magnetoskopi u ovom formatu. Kompresija u DVCPRO formatu bazirana je na celoj slici, tj. frejmu i omogućuje bitski protok od 25 ili 50 Mb/s. U formatu DVCPRO 25 primenjuje se format odmeravanja 4 : 1 : 1, a u DVCPRO 50 primenjuje se format odmeravanja 4 : 2 : 2, koji je u skladu s digitalnim standardom ITU-R BT.601. Pošto je kompresija bazirana na celoj slici, DVCPRO omogućuje jednostavniji montažni rez nego MPEG-2 kompresija. Materijal koji se jedanput komprimuje memoriše se na neki od diskova. Kapacitet prvobitnih hard-diskova bio je samo 2 do 4 GB sa brzim univerzalnim interfejsom SCSI i sa bitskim protokom do 80 Mb/s. Kapacitet hard-diskova je enormno povećan na hiljade GB. Na interfejs SCSI mogu da se priključe i RAID diskovi, za poslove koji traže velike kapacitete i pouzdanost u radu. Interfejsi za optičke mreže imaju bolje karakteristike i niže cene od interfejsa SCSI.

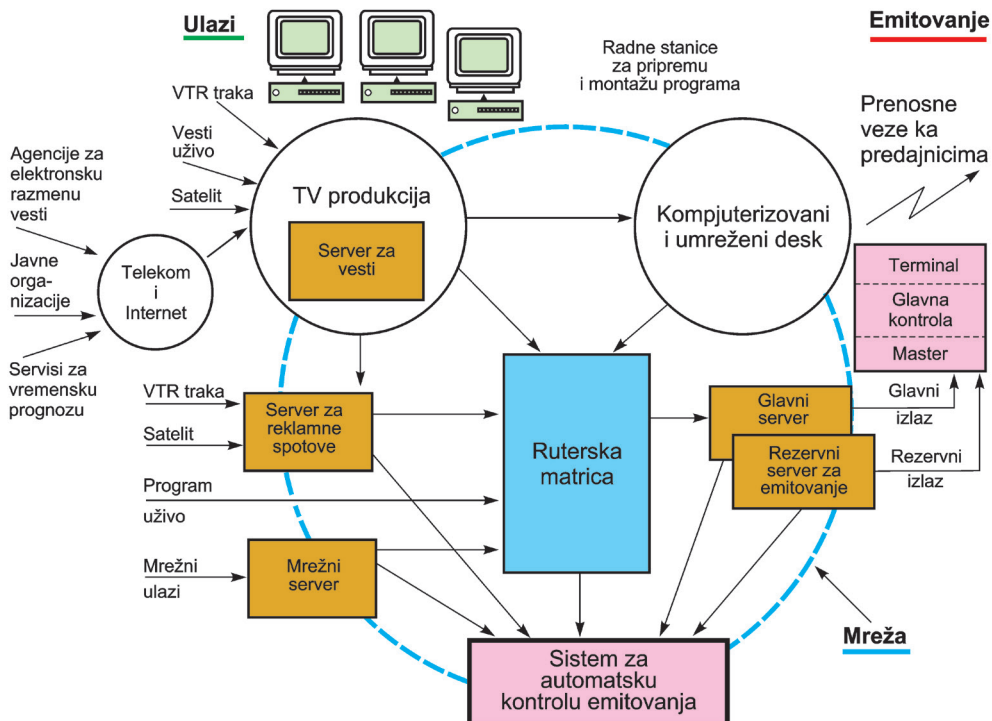
13.10. DIGITALNI TV CENTAR SA ISTOVREMENIM PRISTUPOM CENTRALNIM RESURSIMA

Pri projektovanju arhitekture digitalnog TV centra s primenom servera postavlja se pitanje da li predvideti centralizovanu memoriju, distribuiranu memoriju ili kombinaciju obe. U informativnim studijama, gde veliki broj korisnika potražuje različite video-materijale, centralizovana memorija omogućuje brži pristup. Ako bi više korisnika potraživalo istu video-sekvencu s magnetoskopa, bilo bi im za to potrebno najmanje 6 presnimavanja, a u digitalnom centru sa serverima i centralizovanom memorijom svi korisnici mogu imati istovremeni pristup. Kod distribuiranih memorija može se desiti da je ta video-sekvencu snimljena na jednom serveru pa je treba presnimavati na druge servere, ali je to, naravno, još uvek mnogo brže nego u radu sa sekvencijalnim pristupom na magnetoskopskim trakama.

Postoje i mane centralnih memorija. Ako je centralna memorija isključena, onemogućen je rad svim korisnicima. Ili, ako je željena video-sekvencu oštećena, neophodno je nasnimiti ponovo originalni materijal sa izvorne trake.

Distribuirane memorije, u principu, zahtevaju veći broj memorijskih jedinica. Dobar kompromis predstavlja sistem s kombinacijom centralne memorije i distribuiranih memorija. Za pripremu i montažu vesti može se koristiti centralizovana memorija, a kada je materijal spreman za emitovanje, on se može prebaciti u server za emitovanje, koji, po pravilu, zbog zaštite od mogućih grešaka, ima i mogućnost miroringa, čime se pored glavnog obezbeđuje i rezervni bekap izlaz za emitovanje, videti sliku

13.11. Tako su proizvodni i emisijski poslovi razdvojeni, što je operativno efikasnije i pouzdanije jer je emitovanje višestruko zaštićeno od mogućih drastičnih grešaka. Na slici 13.11 prikazana je moguća arhitektura digitalnog TV centra s mrežom i nekoliko servera za pripremu i emitovanje vesti i reklamnih spotova.



Slika 13.11. *Moguća konfiguracija umreženog digitalnog TV centra s nekoliko servera za pripremu i emitovanje vesti i reklamnih spotova*

Potreba za arhiviranjem značajnih video i audio materijala od velikog je značaja za svaki TV centar kao izvor dragocenog materijala za ponovna emitovanja, ali i za širu društvenu zajednicu, kao dragocena kulturno-istorijska dokumentacija iz prošlosti.

Kao masmemorijski mediji za arhiviranje dugometražnih video-materijala koriste se magnetne trake s digitalnim zapisom i video DVD diskovi velikog kapaciteta i velike bitske brzine potrebne za profesionalni televizijski kvalitet. Oni se organizuju u velike sisteme slične džuboksima. Ogroman broj statičnih elektronskih slika, s obzirom na neuporedivo manju ukupnu količinu potrebnih bita u odnosu na živu sliku, može se trajno memorisati i u brzim poluprovodničkim memorijama servera, i to u punoj televizijskoj rezoluciji od 75 dpi, kao i u povišenoj rezoluciji od više stotina dpi, za štamparske potrebe. Povremeno, sve slike iz

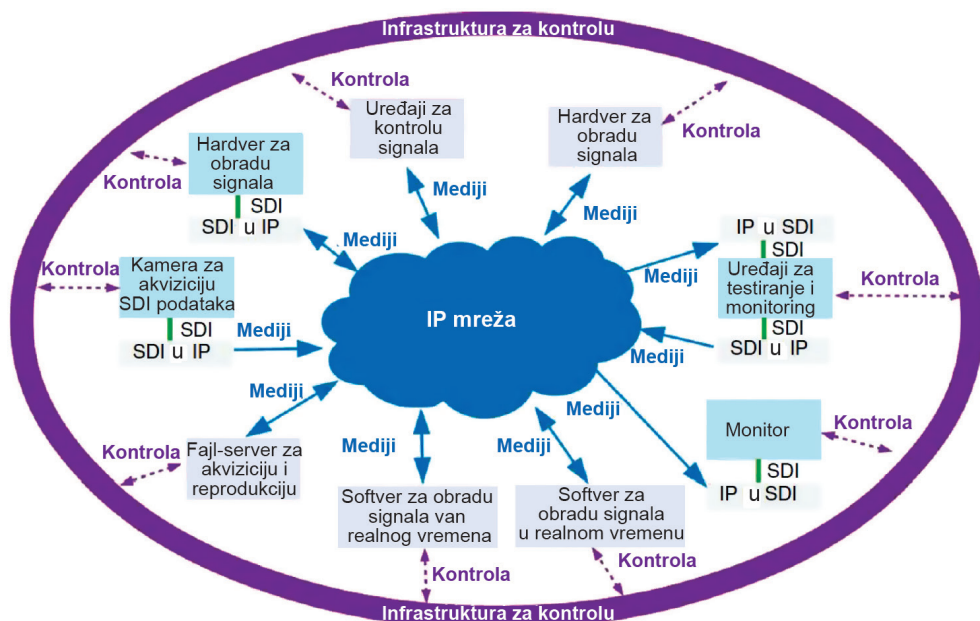
servera mogu se bekapovati na DVD iz bezbednosnih razloga, kao i zbog mogućnosti prenosa tih slika na velike udaljenosti. Što je, takođe, veoma važno, elektronske slike u serveru mogu se organizovati kao masovne baze podataka s potrebnim deskriptorima i veoma brzim pristupom. Osim toga, elektronske slike iz servera mogu biti „trenutno” dostupne u punoj rezoluciji svakom uredniku u njegovom računaru u redakciji, tako da on može napraviti montažnu edit-listu i kroz mrežu poslati izabrane slike na doradu u elektronsku grafiku ili u terminal za emitovanje.

Baze podataka mogu se ponuditi na internetu u odgovarajućem formatu radi međunarodne razmene i mogućnosti prodaje TV materijala. Takođe, video i audio materijali sa servera mogu biti brzo pripremljeni za emitovanje preko internet-televizije.

13.11. DIGITALNI TV CENTAR SA SDI/IP INFRASTRUKTUROM

Postojeći digitalni TV centri urađeni su prema SDI/SDTI infrastrukturi, koja je prikazana u poglavlju 9.6 slika 9.7, kao i u prethodnom poglavlju, slika 13.11. Kao prva faza daljeg razvoja digitalnih TV centara razvijena je SDI/IP infrastruktura u digitalnim TV centrima, kao što je ilustrovano na slici 13.12. Na levoj strani slike 13.12 ilustrovan je neophodan prelaz, tj. konverzija sa SDI formata na IP format, a na desnoj strani realizovana je potrebna konverzija sa IP na SDI format. Za realizaciju takve infrastrukture razvijen je interfejs i rutiranje audio/video podataka sa SDI formata prema audio/video podacima i produkcijskim i studijskim mrežama baziranim prema internet-protokolu (IP). Ako se u TV centru koristi isključivo materijal sa IPTV protokolom, onda i odgovarajuća digitalna mreža koja objedinjuje rad u TV centru mora biti u IPTV tehnologiji (*IP network*), slika 13.12.

Za realizaciju SDI/IP/SDI infrastrukture proizvedene su familije odgovarajućih modula, koji su projektovani tako da prihvate i konvertuju SDI signal u IP format, kao i da dekoduju ulazni SDI signal u nekomprimovani SDI signal. Takođe, napravljeni su i video-prekidači i ruteri za hardversku obradu signala u realnom vremenu na IP mreži (*IP network, The Gateway and SDI on host*). Na izlaznom delu mreže koriste se moduli za sprezanje IP mreže (*host connection*) sa odgovarajućim IP ruterima i prekidačima za prelaz sa IP signala na SDI signale, kao i za njihovu kontrolu i testiranje na izlazu.



Slika 13.12. Digitalni TV centar sa SDI/IP infrastrukturom

13.12. RAČUNAROM UPRAVLJANA I UMREŽENA PRIPREMA INFORMATIVNOG PROGRAMA

Razmena vesti između raznih medijskih agencija, njihova priprema i finalna obrada za emitovanje obavljaju se u **desku** informativnog programa. Pomoću računarskih mreža, video-servera i satelitskih prijemnika redakciji informativnog programa su na raspolaganju snimci evrovizijske razmene, agencijski servisi za razmenu vesti (*News services*), kao što su Tanjug, Beta, Rojter, FoNet i druge, zatim regionalne TV mreže i internet. U ovako računarom upravljanoj i umreženoj desci može se koristiti poseban softverski alat za pripremu i emitovanje vesti (*News room system*), kao na primer *iNews*, koji je postao standard u svetskim televizijama, kao što su CNN, BBC i druge. Servisne informacije neprekidno stižu preko agencijskih servera i protokola za razmenu **FTP** (*File Transfer Protocol*) i na raspolaganju su svim urednicima u svakom trenutku na njihovim računarskim radnim stanicama. Pomoću prilagođenih softverskih paketa *iNewsa* i video-pretraživača (*Video Browser*) velikog memorijskog kapaciteta i s menadžmentom za arhiviranje i pretraživanje programskih materijala, koji su prilagođeni i starijim hardverskim i softverskim resursima, urednici mogu da obave pretraživanja dokumentacije, formiranje košuljica i kompletnog scenarija emisija, rasporeda najavljenih događaja, organizaciju potrebnih

produkcioni i tehničkih kapaciteta, snimateljskih ekipa, studijskih kapaciteta i termina, elektronskih montaža, košuljica za emitovanje i slično. Primenom tih softverskih alata urednici mogu da obave finalnu pripremu i potpise za emitovanje emisija i da ih putem mreže dostave u video-režiju za emitovanje vesti. Korišćenje ovako računarom upravljano i umreženog deska, kao i ostalih tehničkih kapaciteta za pripremu i emitovanje vesti, zahteva, svakako, visok nivo stručnosti svih izvršilaca.

13.13. KLJUČNI POJMOVI

Digitalna televizija. Digitalni TV centar. Magnetoskopi. Sekvencijalni pristup. Kamkorderi. Digitalni fajl. Upravljanje računarom. Centralna memorija. Raid-memorija. Višestruki istovremeni pristup TV resursima. Video-server. Video-ruter. Lokalne mreže. Ethernet. Optičke mreže. Softver. Softverski menadžment. Digitalni paket. Video-strim. SDI/SDTI signali. Interfejs SCSI. Ruterska matrica. Radne stanice. Baza podataka. Programski arhiv. Medijske agencije. Internet. Računarom upravljani i umreženi desk. ENG. SNG. Matični TV centar. Reportažna kola. Komunikacioni sateliti. Satelitski link. Kamkorderi bez pokretnih mehanizama. Hard-diskovi. P2 kartice. HD kamkorderi. DVCAM. DVCPRO. MPEG IMX. Snimatelj-reporter. Laptop računari. Digitalna nelinearna montaža – NLE. Integrisane telefonske mreže – ISDN. Digitalne pretplatničke linije – DSL.

13.14. PITANJA I ZADACI ZA OBNAVLJANJE GRADIVA

1. Koje su prednosti rada u digitalnom TV centru u odnosu na tradicionalni način rada u TV centru s analognim TV uređajima?
2. Kakva je uloga video-servera u digitalnom TV centru? Nacrtati blok-dijagram video-servera.
3. Kakva je uloga lokalnih računarskih mreža u digitalnom TV centru?
4. U kom obliku se mogu dovesti programski signali u digitalni TV centar?
5. Kako se može organizovati memorija programskih materijala u digitalnom TV centru i koji tip memorija velikog kapaciteta se koristi u digitalnim TV centrima?
6. Kako se mogu obavljati vanstudijska snimanja na terenu i dostavljati snimljeni programski materijali matičnom TV centru?
7. Koji memorijski nosači se koriste u kamkorderima bez pokretnih mehanizama?

8. Koje performanse treba da zadovolje kamkorderi bez pokretnih mehanizama za rad u SDTV rezoluciji, a koje za rad u HDTV rezoluciji?
9. Šta se podrazumeva pod nelinearnom digitalnom montažom NLE i zašto je ona značajna?
10. Koji informaciono-komunikacioni kapaciteti mogu da se koriste za prenos i razmenu audio, video i raznih servisnih i informacionih digitalnih podataka na teritoriji grada, regiona i šire?
11. Prema mogućnostima, obaviti snimanja s prenosnim kamkorderom bez pokretnih mehanizama i uraditi nelinearnu digitalnu montažu tog snimljenog materijala na personalnom računaru.

14 | DIGITALNA ZEMALJSKA TELEVIZIJA DVB-T/DVB-T2

Zbog smetnji kojima je izložen analogni signal, njegovog kvaliteta na prijemnim antenama, ograničenog broja kanala (programa), kao i zagušenja spektra, Međunarodna unija za telekomunikacije je 2006, na konferenciji u Ženevi (RRC06), predložila da sve evropske zemlje do 17. juna 2015. pređu na digitalno emitovanje TV programa i time obustave analognu emitovanje (*switch off*). Usvojen je novi međunarodni plan raspodele frekvencija GE06 za potrebe digitalnog zemaljskog emitovanja radio i televizijskog programa, koji se razlikuje od frekfencijskog plana za analognu emitovanje.

U svetu postoji nekoliko standarda za digitalno emitovanje televizijskog programa. Kao što je već rečeno u Uvodu, u Evropi je 1993. godine započet projekat za digitalnu difuziju – **DVB** (*Digital Video Broadcasting*), koji je činila grupa od preko 200 članica proizvođača TV programa, distributera i satelitskih i kablovskih operatora i organizacija iz 25 država. Projekat DVB obuhvata razvoj i usaglašavanje sa zemaljskim sistemom za digitalno emitovanje TV programa prema standardu **DVB-T** (*Terrestrial*), razvoj standarda za digitalno emitovanje TV programa posredstvom satelita prema standardu **DVB-S** (*Satellite*) i razvoj standarda za kablovski distribucionni sistem prema standardu **DVB-C** (*Cable*), videti sliku 1.3 u Uvodu.

U Americi je razvijen odgovarajući standard ATSC (*Advanced Television Systems Committee*), u Japanu i Brazilu ISDB-T, a u Kini CDMB, i oni predstavljaju kombinaciju DVBT i ATSC standarda.

Da bi se izvršio nesmetan prelaz s analognog emitovanja i prešlo na digitalno emitovanje televizijskog programa, potrebno je da se za neko vreme na istoj teritoriji (zemlji) istovremeno emituje analogni i digitalni signal da bi se instalirala digitalna oprema i gledaocima dalo vreme da nabave i instaliraju prijemnu opremu. Ovo je poznato kao „*simulcast*”. Od 17. juna 2015. godine kanali na kojima je do tada emitovan analogni televizijski signal više nisu zaštićeni međunarodnim frekvencijskim planovima, koji su definisani još 1961. godine ugovorom iz Stokholma. Analogni predajnici

postali su praktično beskorisni jer više nisu štićeni međunarodnim ugovorima, a postoji i mogućnost smetnji od digitalnih predajnika.

Prvo digitalno zemaljsko emitovanje u Evropi realizovano je u Velikoj Britaniji 1998. godine, a Srbija je počela eksperimentalno da emituje digitalni program 2004. godine u standardu DVB-T. Po usvajanju DVB-T2 standarda 2009. (standard druge generacije) od strane Evropskog telekomunikacionog instituta za standardizaciju, mnoge evropske zemlje počele su da prelaze na DVB-T2 standard, među kojima i Srbija. Danas Srbija emituje digitalni televizijski program u DVB-T2 standardu. DVB-T2 je naprednija verzija DVB standarda za zemaljsko emitovanje. U poređenju sa DVB-T, DVB-T2 nudi znatno manju osetljivost na smetnje i šumove i obezbeđuje od 30% do 50% veći protok podataka, što je naročito pogodno za HDTV (*High-definition television*). Takođe je kompatibilan sa IPTV tehnologijama.

Prednosti i značaj digitalnog emitovanja televizijskog programa:

- Slika i zvuk koji se primaju na TV prijemniku mnogo su boljeg kvaliteta, slika je mnogo jasnija, sa mnogo više detalja i prirodnijih boja, a može da se prima i višekanalni zvuk, kvalitet je kao na CD medijumima ravan studijskom kvalitetu.
- Kod prijema rešen je problem fedinga i refleksija. Kod analogne televizije, što se više udaljavamo od predajnika slika je lošija, povećava se šum i slika postaje „snežna”, a kod digitalne televizije je kvalitet slike isti bez obzira na kojem se rastojanju nalazimo, jedino ako je jačina prijemnog DVB-T signala na granici prijema, onda se dešava povremeno „zamrzavanje” slike ili njeno potpuno isčezavanje.
- Digitalni signali su mnogo otporniji na smetnje i šumove koji se javljaju tokom prenosa. DVB-T prijemnik bira i obrađuje najjači signal koji njemu dolazi s antene (svejedno da li je direktni ili reflektovani). To znači, ako na DVB-T prijemniku ima slike, ona je kvalitetna, ili je uopšte nema.
- Mnogo je veći broj programa. U analognoj televiziji u UHF opsegu širina kanala je 8 MHz i tu je mogao da se prenese samo jedan televizijski program (RTS1, RTS2,...), a kod digitalne televizije zavisno od standarda – da li je DVB-T ili DVB-T2, odnosno od tehnike kompresije, da li je MPEG-2 ili MPEG-4, može da se prenese do 16 programa standardne rezolucije ili 3 do 5 programa HD (*High Definition*) rezolucije. Na ovaj način mnogo bolje je iskorišćen frekvencijski spektar.
- Digitalizacija je naročito važna za ruralne sredine, gde je kod analognog emitovanja moglo da se prima samo nekoliko programa, a kod digitalnog emitovanja, zavisno od broja multipleksa, može da se primi od 30 do 40 programa.

- Saobraćaj unutar jednog RF kanala može da se organizuje na različite načine. Daje mogućnost dodatnih servisa, kao što su: teletekst, snimanje na zahtev, gledanje propuštene emisije, interaktivna televizija, HbbTV, DAB – digitalni radio sa pratećim servisima i drugi mobilni servisi sa multimedijalnim sadržajima. Program mogu da prate i osobe sa oštećenim sluhom. Isti program može da bude titlovan ili sinhronizovan na više jezika, tako da gledalac može sam da bira jezik koji mu odgovara.
- Postoji mogućnost prijema TV signala u pokretu, vozovima, autobusima, automobilima i na drugim „pametnim” uređajima, kao što su PC, telefon, laptop, tablet, itd. Prijem može da se ostvari spoljašnjom antenom (stacionaran prijem), ali i u pokretu (mobilni prijem) i unutar objekta sa ugrađenom teleskopskom antenom. Servisna zona je najveća u uslovima stacionarnog, manja u mobilnim, a najmanja kod portabl-prijema.
- Mnogo je lakše održavanje uređaja, odnosno postoji mogućnost daljinskog održavanja.
- Evidentna je i ušteda u broju predajnika. Potreban je mnogo niži nivo prijemnog signala nego kod analogne difuzije, od oko 40 dBμV/m. Samim tim za istu zonu pokrivanja potrebna je samo jedna četvrtina, odnosno jedna petina izlazne snage digitalnog predajnika u odnosu na analogni predajnik za istu zonu pokrivanja. To znači da predajnici troše i 4 do 5 puta manje struje. U tabeli 14.1 prikazan je uporedni pregled potrošnje analognog i digitalnog predajnika za istu zonu pokrivanja.

Tabela 14.1. Potrošnje analognog i digitalnog predajnika za istu zonu pokrivanja

Izlazna snaga analognog TV predajnika	Izlazna snaga DVB-T predajnika
0,5 kW	125 W
1 kW	250 W
2 kW	500 W
5 kW	1,25 kW
10 kW	2,5 kW
20 kW	5 kW

Plan raspodela frekvencija za digitalno emitovanje prikazan je u tabeli 14.2. Iz tabele se vidi da je III (VHF) opseg, pored emitovanja televizijskog signala, predviđen i za emitovanje digitalnog radijskog signala T-DAB (*Terrestrial-Digital Audio Broadcasting*).

Tabela 14.2. *Raspodela frekvencija za digitalno emitovanje*

Naziv opsega	Opseg frekvencija u MHz	Broj kanala u opsegu	R. broj prvog kanala	R. broj poslednjeg kanala	Širina kanala u MHz	Namena
III (VHF)	174–230	8	5.	12.	7	DVB-T i T-DAB
IV i V (UHF)	470–860	49	21.	69.	8	DVB-T
IV (UHF)	470–582	14	21.	34.	8	DVB-T
V (UHF)	582–862	35	35.	69.	8	DVB-T

Na osnovu plana raspodele frekvencija teritorija Srbije podeljena je na 10 VHF, odnosno 16 UHF alotment-zona. Alotment-zona znači da se sa glavnih digitalnih predajnika u svakoj zoni emituju različiti programi. Zone raspodele, tj. alotment-zone, sa međunarodno dodeljenim kanalima prikazane su u tabeli 14.3.

Tabela 14.3. *Nazivi zona raspodele sa dodeljenim kanalima, prema GE06*

R. BR.	Zona raspodele	Kanali prema GE06
1.	Avala	22,28,33,45,57,62,64
2.	Beograd	43,50,51,53,59,68
3.	Besna kobilica	35,39,43,49,54,59,62,63,69
4.	Vršac	25,31,37,39,42,56,60
5.	Deli Jovan	23,24,41,43,52,59,63,66,68
6.	Jastrebac	27,33,38,42,45,55,57,60,64
7.	Kikinda	29,32,51,55,59,63,69
8.	Kopaonik	22,24,28,32,34,41,51,61,66
9.	Kosovo	21,31,44,46,48,58,67
10.	Tornik – Ovčar	23,36,39,50,56,59,63
11.	Rudnik – Crni vrh kod Jagodine	26,29,35,40,46,67,69
12.	Sombor	34,39,40,43,58,62,64
13.	Subotica	29,40,43,55,58,59,69
14.	Tupiza	22,25,28,31,37,44,50,58,65
15.	Cer – Maljen	32,34,37,42,47,49,52
16.	Čot – Venac	24,30,41,48,54,61,66

Iz tabele 14.3 vidi se da je za većinu zona raspodele planirano po 7 (sedam) međunarodno koordiniranih frekvencija prema GE06. Manji je broj zona raspodele na području istočne i južne Srbije, po 9 (devet) frekvencija, dok je za zonu raspodele Beograd planirano 6 (šest) frekvencija. Veliki broj frekvencija u okviru pojedinih zona raspodele omogućuje formiranje identičnog broja multipleksa i emitovanje velikog broja TV programa,

koji višestruko premašuje broj potrebnih programa u SD i HD rezoluciji. Zbog toga je izmenjen plan namene frekvencijskog UHF V opsega, tako da se deo opsega od 60. do 69. kanala koristi za drugu namenu, odnosno za uvođenje novih tehnologija i servisa.

U Republici Srbiji je planirano da se emituju 3 multipleksa u DVB-T2 standardu, sada se već emituju dva – u prvom multipleksu nacionalni programi, a u drugom regionalni i lokalni programi. Multipleks (*multiplex*) označava grupu programa koja se emituje na istoj frekvenciji. Multipleksi mogu da sadrže SD, HD programe i dodatne servise. Raspored kanala koji može da se koristi za tri multipleksa prikazan je u tabeli 14.4.

Tabela 14.4. Raspored kanala u Srbiji za I, II i III multipleks

Alotment	I MUX	II MUX	III MUX
Cer – Maljen	32CH	34CH	37CH
Rudnik – Crni vrh	26CH	29CH	35CH
Besna kobila	35CH	39CH	43CH
Kopaonik	24CH	32CH	34CH
Tupižnica	22CH	25CH	28CH
Deli Jovan	23CH	43CH	41CH
Ovčar – Tornik	23CH	36CH	39CH
Avala	22CH	28CH	45CH
Crveni čot	24CH	30CH	41CH
Jastrebac	27CH	38CH	42CH
Vršac	25CH	31CH	37CH
Kikinda	32CH	55CH	29CH
Sombor	40CH	43CH	34CH
Subotica	40CH	43CH	29CH

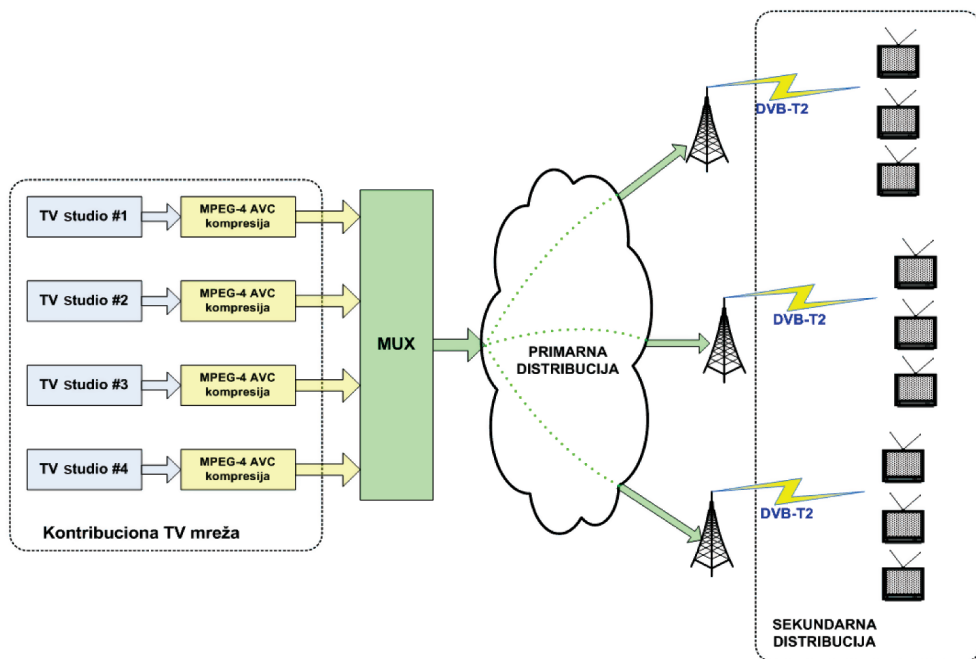
Evropa se opredelila za sistem digitalne modulacije s više nosilaca, a preporuka (ETSI 300 744) jeste da to bude (C)OFDM (*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex*) modulacija.

Mreža DVB-T predajnika može da bude jednofrekvencijska (SFN – *single frequency network*), gde se za područje jedne alotment-zone (regije) ili čitave države koristi jedan opseg učestanosti (jedan TV kanal), multifrekvencijska (MFN – *Multi Frequency Network*), gde se za područje jedne alotment-zone koristi više različitih kanala, a može da se koristi i kombinacija ove dve mreže. Jednofrekvencijska mreža naziva se još i jednokanalna mreža. Za rad u jednofrekvencijskoj mreži potreban je samo jedan kanal za pokrivanje neke teritorije, s potrebnim brojem predajnika i dopunskih repetitora male snage, koji se nazivaju gep-fileri. MFN mreža koristi se za pokrivanje teritorije programima od nacionalnog značaja. Na

nivou zone raspodele se onda koristi SFN mreža. Na lokalitetima gde se ne može obezbediti direktno primanje signala od matičnog predajnika, koristi se opet MFN mreža, odnosno rad na nekom drugom slobodnom kanalu.

14.1. DRUGA GENERACIJA DIGITALNE ZEMALJSKE TELEVIZIJE DVB-T2

Druga generacija zemaljske digitalne TV difuzije – DVB-T2, omogućuje veći broj programa u istom kanalu unapređenjem metoda kompresije i ima veću otpornost na smetnje. Veći broj programa u istom kanalu obezbeđen je korišćenjem kompresionog standarda MPEG-4, verzija 10 (H.264/AVC). Pomoću njega se vrši još veće sažimanje podataka u televizijskoj slici, tako da ona zauzima još manje mesta u okviru istog TV kanala nego što je to bio slučaj sa DVB-T standardom (MPEG-2). Na ovaj način se dodatno oslobađa mesto u jednom TV kanalu za neki drugi sadržaj, program ili servis.



Slika 14.1. Blok-dijagram emitovanja u DVB-T2 standardu

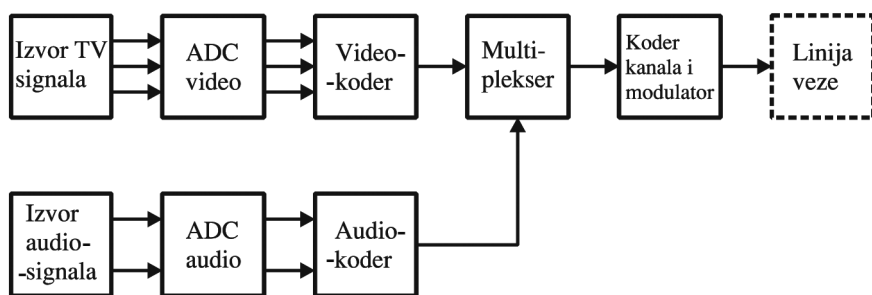
Veća otpornost na smetnje postignuta je razvojem novih modulacionih postupaka ili tehnika šema koje su prilagođene digitalnoj televiziji. Koristi se (C)OFDM modulacija. Suština ove modulacije je u tome što se ukupni opseg kanala deli na N-podopsega. U podopsegu se određuju podnosioci, gde se svaki podnosilac moduliše pojedinačnim simbolom, a podopsezi

se frekvencijski multipleksiraju. Broj podnosilaca iznosi 2K ili 8K, gde je $K = 1.024$. Pojedini podnosioci mogu da budu modulisani sa QPSK, 16-QAM, 64-QAM i 256-QAM modulacijom. Detaljnije o ovim modulacijama može se naći u priručniku za laboratorijske vežbe iz *Osnova televizije*.

Na slici 14.1 prikazan je blok-dijagram emitovanja nekoliko televizijskih programa u DVB-T2 standardu. U bloku za kontribuciju signala obavlja se distribucija signala iz različitih televizijskih kuća do multipleksera. U multiplekseru se obavlja multipleksiranje signala, a onda se odatle signal preko primarne mreže prenosi do DVB-T2 predajnika, odakle se putem radiodifuzne mreže, predajnika i antenskih sistema, šalje do gledalaca.

14.2. STRUKTURA DIGITALNOG TELEVIZIJSKOG SISTEMA DVB-T2

Blok-dijagram formiranja digitalnog televizijskog signala za prenos digitalnog televizijskog sistema DVB-T2 prikazan je na slici 14.2. Izvor TV signala može da bude analogni ili digitalni. Ukoliko je analogni, onda se prvo vrši digitalizacija signala u bloku ADC. U video-koderu se obavlja kompresija signala u cilju smanjenja bitske brzine signala i omogućavanja prenosa digitalnog televizijskog kanala postojećim prenosnim sistemima. Isti je postupak i sa audio-signalima. Opisani procesi video i audio kodovanja u literaturi se nazivaju kodovanje izvora (*Source coding*).

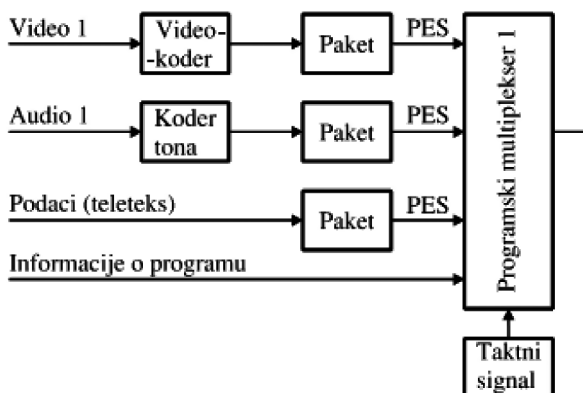


Slika 14.2. Formiranje digitalnog signala za prenos DVB-T2

Nakon kompresije signala obavlja se multipleksiranje, koje se ogleda u formiranju paketa odgovarajuće dužine koji formiraju transportni niz. Multipleksiranje je postupak objedinjavanja (multipleksiranja) digitalizovanih elementarnih nizova (audio, video i ostalih podataka različite dužine) u složeni signal – formu programskog ili transportnog strima, koji se dalje pakuju u programske ili transportne pakete podataka. Ovako formirani paket signala dovodi se na blok za kanalno kodovanje u cilju prilagođenja signala za prenos. U njemu se obavlja generisanje podataka za proveru ispravnosti primljenih podataka na prijemnoj strani

i modulacija signala. Ovaj postupak u literaturi je poznat kao kodovanje kanala (*Chanel coding*).

Programski strim (*Program Stream – PS*) formira se od paketizovanih audio i video strimova s dodatkom podataka za teletext, audio ... i drugih, i obavezno sadrži podatke za sinhronizaciju MPEG koda na prijemnoj strani, slika 14.3.



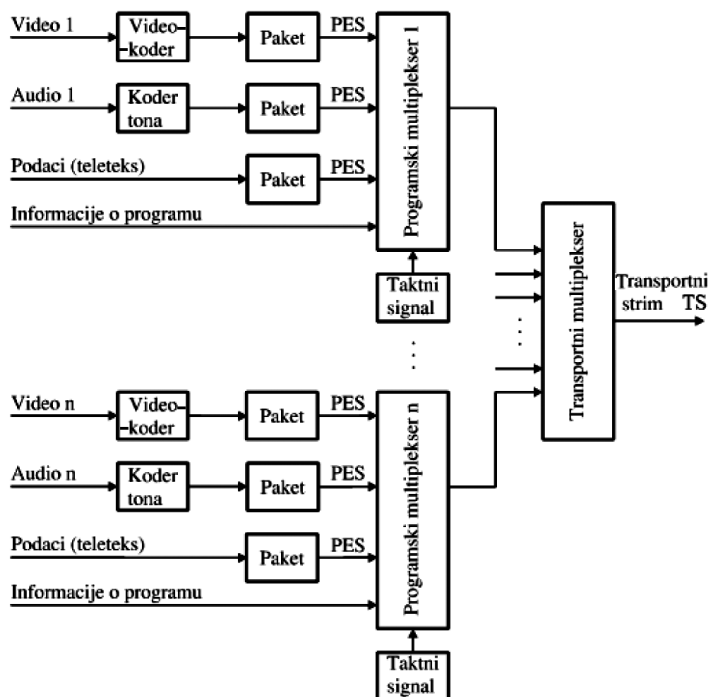
Slika 14.3. Generisanje programskog strima

Transportni strim (*Transport Stream – TS*) formira se za prenos signala na velike daljine od više programskih strimova kada se više televizijskih programa dostavlja na jedno mesto – **čvorište**. Tu se obavlja multipleksiranje i slanje multipleksiranog signala do mreže predajnika, slika 14.4. Multipleksiranje može da se obavlja korišćenjem paketa fiksne dužine – RLC ili korišćenjem paketa promenljive dužine – VLC, što zavisi od aplikacionih zahteva.

Mesto na kome se prikupljaju svi televizijski signali naziva se **hed-end** (*head-end*) **čvorište**. Postoje nacionalni hed-end čvor (Košutnjak) i regionalni hed-end čvor (Crveni čot, Ovčar, Jastrebac,...). U nacionalnom hed-end čvoru sakupljaju se TV programi koji su dobili dozvolu za emitovanja u etar kao nacionalne televizije, odakle se nakon kodovanja prosleđuju do regionalnih čvorova, gde im se pridružuju ostale regionalne i lokalne televizije. Nacionalni TV servisi u Srbiji su: RTS 1, RTS 2, RTS 3, TV Pink, Prva TV, TV B92, TV Happy, RTV 1 i RTV 2.

U nacionalno ili regionalno hed-end čvorište dovode se različiti izvori signala na ulaz MPEG-4 koda i konvertuju u IP enkapsulirane (*Single Program Transport Stream*) strimove. Izvori signala mogu da budu u SD i HD formatu sa različitim bitskim protocima, i razne vrste podataka. Svaki video-signal iz koda je definisan različitom multikast IP adresom. Za svaki program postoji radni + rezervni koder. Oba koda strimuju

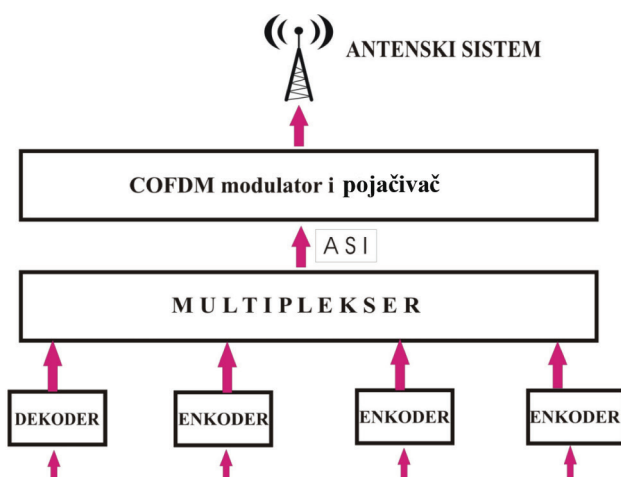
istovremeno sadržaj. Iz kodera, strim se preko IP mreže prosleđuje do rutera koji je povezan s multiplexerom.



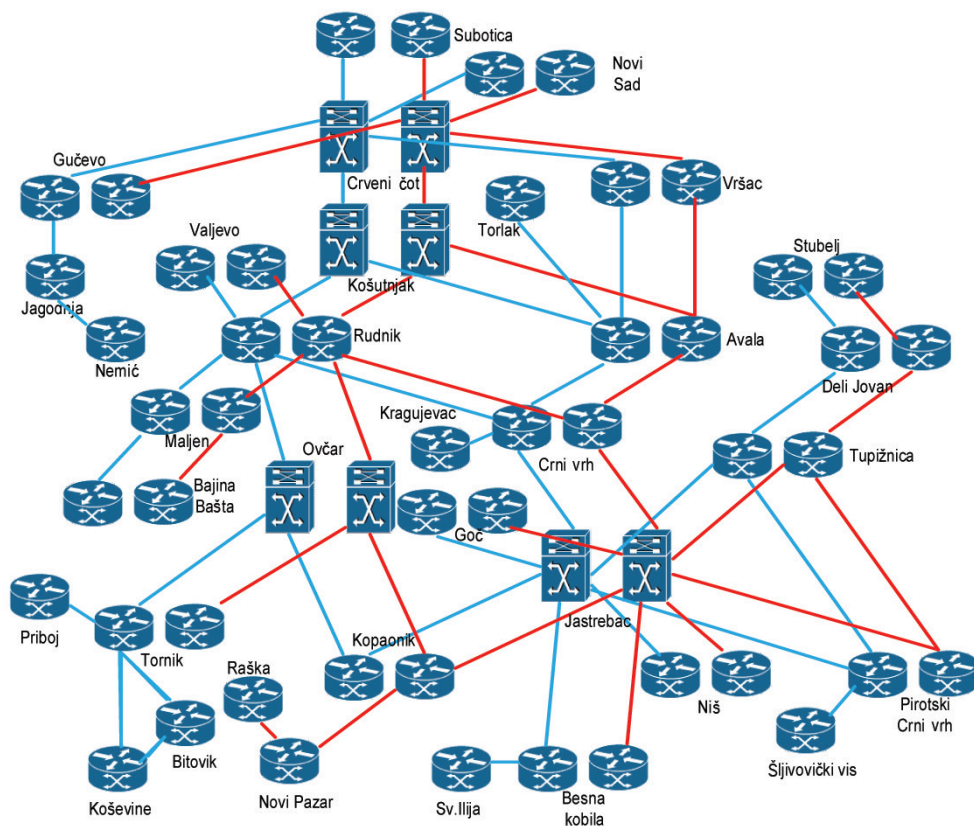
Slika 14.4. Formiranje transportnog strima

Multiplexer prima oba strima (radni i rezervni) i obavlja prebacivanje s jednog strima na drugi u slučaju nestanka servisa. Administrator može manuelno da izvrši promenu između dva strima. Do multiplexera dolazi više programskih strimova, njihov bitski protok je određen izabranim DVB-T2 modulacionim parametrima. Multiplexer generiše (*Multiprogram Transport Stream*) strim i obavlja adaptaciju određenih video-sadržaja na format neohodan za konačnu distribuciju krajnjim korisnicima. Takav signal se prenosi preko ASI (*Asynchronous serial interface*) do DVB-T2 modulatora. Signal iz modulatora se vodi na pojačivač snage, a odatle na antenski sistem, slika 14.5.

IP mrežna topologija povezivanja nacionalnih i regionalnih čvorišta u Srbiji prikazana je na slici 14.6.



Slika 14.5. Blok-dijagram predajnika



Slika 14.6. IP mrežna topologija povezivanja nacionalnih i regionalnih čvorišta u Srbiji

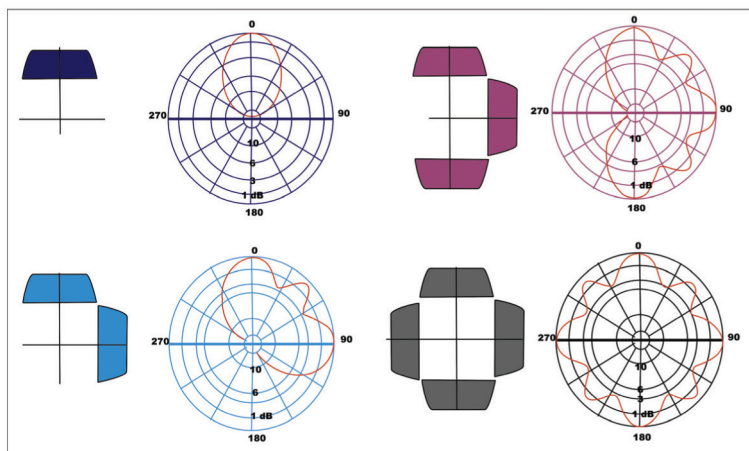
Nadzor mrežnog čvorišta može da se obavlja pomoću određenih softverskih aplikacija, koje se obično instaliraju na serveru u nacionalnom čvorištu. One prikupljaju informacije i alarme od svih mrežnih uređaja, skladište ih i prikazuju. Na svakom uređaju koji je instaliran u mreži podešeni su određeni parametri za slanje logova i alarma, tako da se ima pregled svih uređaja koji su instalirani na nekoj lokaciji.

Kada je potrebno da se na nekoj emisionoj lokaciji (nacionalno ili regionalno čvorište) iz transportnog strima iz više različitih programa eliminiše jedan i insertuje drugi, onda se obavlja transmultipleksiranje. Ovakve situacije su česte kod regionalnog emitovanja televizijskog programa, gde je potrebno da se ubaci neki lokalni ili regionalni program.

14.3. EMISIONI SISTEM DVB-T2

Za emitovanje televizijskog signala DVB-T2 koriste se: predajnik, repetitor i gep-filer (*gap-filler*). Predajnik emituje signal na određenoj frekvenciji, a dotur modulisanog signala do njega vrši se putem radio-relejnih veza, optičkih kablova, sa satelita ili interneta. Repetitor prima RF modulisani signal s predajnika na istoj frekvenciji, a taj signal emituje na nekoj drugoj frekvenciji. Gep-filer (*channel repeater*) primljeni signal emituje na istoj frekvenciji na kojoj je i primio taj signal. Koristi se za dopunsko pokrivanje teritorija koju osnovni DVB-T2 predajnik iz nekog razloga ne može da pokrije. Gep-filer se koristi za pokrivanje u tunelima i brdskim predelima. On ima nižu cenu jer nije potreban zaseban sistem za dotur modulacije. S njim se štedi i na broju kanala jer on radi na istom kanalu na kome i prima signal. Iza predajnika postavlja se filter propusnik opsega i emisiona antena. Ako se jedan isti antenski sistem koristi za različite programe, onda između njega i predajnika mora da se koristi uređaj koji vrši sabiranje signala različitih frekvencija i tako sabrane signale vodi na antenski sistem. Takav uređaj se naziva kombajner (*Combiner Spinner*).

Emisiona antena služi da VF signal koji je dobila iz predajnika pretvori u elektromagnetni talas. Može da se koristi jedna antena ili sistem antena koje se postavljaju na antenski stub. Antene mogu da zrače u svim pravcima podjednako ili da izrače snagu u jednom, dva ili tri pravca. Snaga koju neka realna antena zrači u nekom određenom pravcu dobija se kao proizvod snage kojom se ona napaja iz predajnika i dobitka te antene u odnosu na izotropni radijator. Ona se naziva ekvivalentnom izotropnom izračenom snagom (*Electric Isotropic Radiated Power*) ili ERP. Dijagram zračenja antenskog sistema u horizontalnoj ravni prikazan je na slici 14.7.



Slika 14.7. Dijagram zračenja antenskog sistema u horizontalnoj ravni

Antenski emisijski sistem može da ima jedan ili više spratova antenskih panela. Dobitak antenskog sistema G (dB) izračunava se na osnovu izraza:

$$G = G_0 + 10 \log (S) - 10 \log (P),$$

gde su: G_0 – dobitak panela na frekvenciji datog kanala, S – broj spratova antenskog sistema, P – broj pravaca antenskog sistema.

Ovaj izraz važi ukoliko su antenski paneli međusobno postavljeni pod uglom od 90° . U svim ostalim slučajevima mora da se uzme u obzir korekcionni faktor. Ako se uzme antenski sistem od 12 spratova u 2 pravca s panelima koji su međusobno postavljeni pod uglom od 90° i ako je dobitak jednog panela na datoj frekvenciji 6 dB, onda dobitak ovakvog antenskog emisionog sistema iznosi skoro 14 dB jer je:

$$G = 6 + 10 \log (12) - 10 \log (2) = 6 + 10,79 - 3,01 = 13,78 \text{ dB}.$$

Ovom prilikom nisu uzeti u obzir slabljenje kablovskih panel-sekcija, gubici na konektorima i slabljenje napojnog kabla od izlaza predajnika do ulaza u glavni razdelnik antenskog sistema. Za postavljanje TV predajnika, ukoliko to uslovi dozvoljavaju, pogodno je izabrati najvišu kotu s koje može da se pokrije signalom željeno područje.

14.4. PRIJEM SIGNALA KOD ZEMALJSKE DIGITALNE TELEVIZIJE DVB-T2

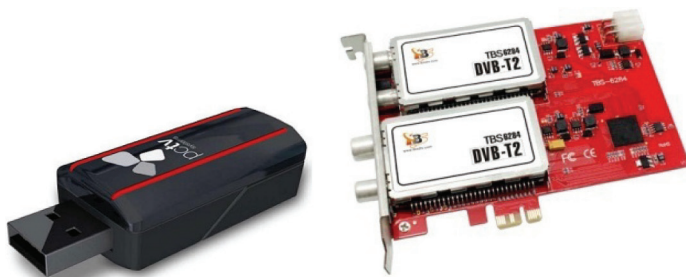
Za prijem DVB-T2 signala na TV prijemnicima (LED, plazma, TFT, LCD...) koji imaju u sebi ugrađen DVB-T2 tjuner potrebna je zemaljska prijemna antena, koja se povezuje direktno sa TV prijemnikom. Signal se iz antene direktno vodi na RF ulaz TV prijemnika. Potrebno je samo da se TV prijemnik prebaci u digitalni mod rada i da se pronađu digitalni TV kanali.

Za analogne ili digitalne TV prijemnike (LED, plazma, TFT, LCD...) koji nemaju ugrađen tjuner za prijem DVB-T2 signala potrebna je zemaljska prijemna antena, spoljna ili sobna, zavisno od nivoa prijemnog signala, i konvertor (*Set-Top Box – tjuner/dekoder*), koji se povezuje između antene i TV prijemnika. On vrši demodulaciju i dekompresiju MPEG-4 signala. Na svom izlazu može da ima interfejse za analogne video-sigale (SKART, AV), digitalni HDMI signal i RF signal, slika 14.8. Set-Top Box uređaji imaju mogućnost snimanja TV programa na USB fleš (*flash*) memoriju ili hard-disk.



Slika 14.8. *Set-Top Box*

Za prijem DVB-T2 signala na računaru potrebno je da se ima antena i PC kartica ili USB stik koji ima mogućnost prijema DVB-T2 signala, slika 14.9.



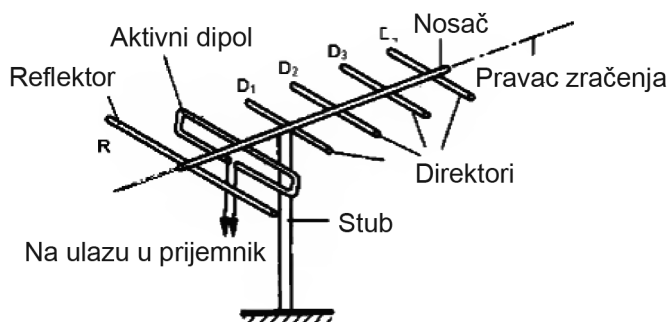
Slika 14.9. *USB stik i PC kartica za prijem DVB-T2 signala*

14.5. PRIJEMNI ANTENSKI SISTEM ZA ZEMALJSKU TV DIFUZIJU

Prijemni antenski sistem ili sama antena treba da obezbedi kvalitetan signal kako bi slika na televizijskom prijemniku bila što bolja. U televizijskoj anteni indukuje se električna struja usled postojanja elektromagnetnog polja, koje potiče od velikog broja raznih predajnika. Jačina prijemnog elektromagnetnog polja zavisi od snage predajnika, od rastojanja između predajnika i prijemne antene, usmerenosti antene i polarizacije talasa koji stiže do antene. Potrebno je da se obezbedi što veći nivo ulaznog signala, sa što manje smetnji. Za zemaljsku difuziju najčešće se koriste jagi (*yagi*) i logaritamske antene. Ukoliko je mali nivo prijemnog signala, a signal „čist”, bez smetnji, mogu da se koriste antenski malošumni pojačivači, koji se postavljaju bliže anteni.

Prijemne zemaljske antene. Za prijem radio i TV signala koriste se različite antene, koje se razlikuju po frekvencijskom području prijema i po električnim i mehaničkim rešenjima. Za zemaljsku difuziju najčešće se koriste jagi i logaritamske antene.

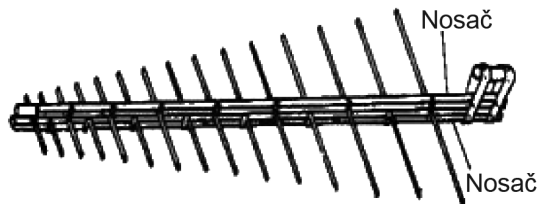
Jagi antene sastoje se iz linijskog niza više paralelnih dipola, koji su na metalnom nosaču, slika 14.10. Direktor je savijeni aktivni dipol i s njegovih priključaka odvodi se VF signal na ulaz prijemnika. Reflektori su pasivni dipoli i oni usmeravaju energiju dolazećeg talasa ka aktivnom dipolu. Okreću se u pravcu predajnika. Pojaćanje raste s povećanjem broja pasivnih elemenata, ali se sužava frekvencijska karakteristika. Jagi antene su uskopojasne antene namenjene prijemu signala s velike udaljenosti.



Slika 14.10. Jagi antena

Logaritamske antene su širokopojasne antene, koje se koriste za istovremeni prijem signala iz različitih frekvencijskih opsega (VHF+UHF). Svi dipoli paralelno se napajaju VF energijom preko napojnog voda, sa strane najkraćeg dipola. Za napojni vod koristi se koaksijalni kabl karakteristične impedanse 75Ω , koji se uvuće u metalni nosač i vezuje za

najkraći dipol. Pojačanje antena je manje nego kod jagi antena, manjih su dimenzija, ali su frekvencijski nezavisne u širokom području frekvencije. Izgled logaritamske antene prikazan je na slici 14.11.



Slika 14.11. Logaritamska antena

Antenski pojačivači koriste se za pojačanje prijemnih signala čiji nivo nije dovoljan za dalju obradu. Pojačivač treba da se poveže što bliže anteni zbog slabljenja kabla. Glavne karakteristike antenskih pojačivača jesu: pojačanje, šumni broj i dinamički opseg.

Pojačanje se izražava u dB i daje logaritamski odnos između izlazne snage (napona) i ulazne snage (napona) signala:

$$A_p = 10 \log P_{izl} / P_{ul} \text{ [dB]}, A_u = 20 \log U_{izl} / U_{ul} \text{ [dB]}.$$

Ako je $A = 40$ dB, odnos snage je $1 : 10.000$, a napona $1 : 100$.

Šumni broj pokazuje kvalitet antenskog pojačivača. Potrebno je da bude što manji, ispod 4 dB. Šumni broj izražava odnos snage signala S prema snazi šuma N na ulazu sistema, u poređenju s odnosom snage signala S prema snazi šuma N na izlazu sistema:

$$F = 10 \log F \text{ [dB]} = 10 \log ((S/N \text{ na ulazu}) / (S/N \text{ na izlazu})) \text{ [dB]}.$$

Dinamički opseg pojačivača predstavlja opseg u kome može da se menja nivo signala na ulazu pojačivača a da signal na izlazu ne pretrpi degradaciju veću od strogo definisane. Dinamički opseg s donje strane ograničen je šumnim brojem pojačivača, odnosno minimalnim dopuštenim odnosom signal–šum izlaznog signala, a sa gornje strane dozvoljenim nivoom nelinearnih izobličenja.

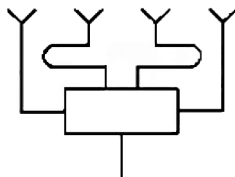
Antenski pojačivači prema frekvencijskoj karakteristici mogu biti kanalni i širokopojasni. Kanalni pojačivači koriste se za pojačanje slabih prijemnih signala samo jednog kanala. Pomoću njih postiže se optimalno pojačanje jednog kanala i imaju mali šumni broj. Fabrički su podešeni na određeni kanal i ne smeju se prepodešavati bez neophodne opreme.

Širokopojasni pojačivači koriste se za pojačanje u širokom frekvencijskom području (UHF, UKT, VHF), obično za pojačanje signala koji su se prethodno združili frekvencijskom skretnicom.

Antenske skretnice upotrebljavaju se za udruživanje (spajanje) ili razdvajanje signala različitih frekvencijskih opsega (VHF, UKT, UHF) u jedan signal, koji se koaksijalnim kablom vodi dalje, slika 14.12. Antenske skretnice koje se koriste za udruživanje kanala imaju više ulaza, a samo jedan izlaz. Mogu da budu dvostruke, trostruke, četverostruke i višestruke.

Za digitalnu zemaljsku radio-difuziju s predajnika, prema evropskom standardu DVB-T, u RF modulatoru se primenjuje odgovarajuća digitalna modulacija **OFDM** (*Coded OFDM, Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). Po jednom UHF kanalu širine 8 MHz može se emitovati 6 do 10 digitalnih televizijskih i radio programa, koji su komprimovani prema standardu MPEG-2 MPML.

Frekvencijski spektar je približno ravnomerno raspoređen po celom UHF kanalu, a bitski protok iznosi oko 20 Mb/s. Program se prima pomoću klasične širokopojasne logaritamsko-periodične antene. Za prijem digitalnog DVB-T programa pojedinačni korisnici treba da u svoj TV prijemnik instaliraju prijemni uređaj ili digitalni tjuner **Set-Top Box**, koji treba da obavi prijem digitalno moduliranih DVB-T signala, selekciju i demodulaciju COFDM signala, MPEG-2 dekodovanje, D/A konverziju i prilagođenje dolaznih signala, koji se pomoću SKART konektora dovode na klasičan televizor. Eksterni Set-Top Box uređaj može biti ugrađen i u TV prijemnik kao poseban digitalni tjuner.



Slika 14.12. Antenska skretnica

14.6. MERENJE ODNOSA S/N I MERENJE BER-A

Za meru kvaliteta kanala kojim se prenosi analogni signal koristi se logaritamski odnos između snage signala i snage šuma i izražava se u decibelima (dB), gde je S snaga signala, a N snaga šuma. Poznat je kao odnos signal–šum, tj. S/N.

Kod prijema digitalnih signala, za meru kvaliteta kanala, koristi se BER (*Bit error rate*) i on predstavlja meru digitalne greske. BER se definiše kao:

BER = broj pogrešno prenesenih bitova / ukupan broj prenetih bitova.

Parametar BER je bezdimenzionalna veličina. Na primer, kada se kod 10^6 (1.000.000) prenetih bitova pojavi jedan bit koji je pogrešno prenesen, onda je:

$$\text{BER} = \frac{1}{1.000.000} = 10^{-6}.$$

Kod digitalne televizije zahtevaju se vrlo male vrednosti BER-a, koje se kreću u granicama od 10^{-10} do 10^{-12} .

14.7. KLJUČNI POJMOVI

Terestrijalna TV difuzija. Prijemna antena. Predajna antena. Distribucija i kontribucija TV programa. Paketizovani elementarni strim. Programski strim. Transportni strim. Multipleks postupak. Digitalna modulacija. Prijemni uređaj Set-Top Box. DVB-T. DVB-T2. VHF. UHF. BER. RLC. VLC. QPSK. 16-QAM. 64-QAM. 256-QAM. Predajnik. Repetitor. Gep-filer. Alotment-zona. Kodiranje kanala. Šumni broj. Antenski sistem. Dinamički opseg. Širokopojasni pojačivač. Emisioni sistem. Hed-end. Jednofrekvencijska mreža. Multifrekvencijska mreža.

14.8. PITANJA I ZADACI ZA OBNAVLJANJE GRADIVA

1. Kako se definiše terestrijalna TV difuzija?
2. Od kojih parametara zavisi nivo signala na prijemnoj anteni?
3. Koji standardi u svetu postoje za digitalno emitovanje televizijskog programa?
4. Objasniti šta znači termin simulcast (*simulcast*).
5. Kakva je razlika između DVB-T i DVB-T2 standarda?
6. Koje su prednosti digitalnog emitovanja televizijskog programa u odnosu na analogno emitovanje?
7. Kod digitalnog emitovanja koliki je, okvirno, nivo signala na prijemnoj anteni?
8. Koji frekvencijski opseg zauzima VHF, a koji UHF područje?
9. Objasniti termin alotment-zona?
10. Koliko digitalnih televizijskih programa standardne rezolucije (720×576) može da se emituje po jednom UHF kanalu širine 8 MHz ako se za kompresiju signala koristi MPEG-2 standard?
11. Koliko digitalnih televizijskih programa HD rezolucije 1.920×1.080 može da se emituje po jednom UHF kanalu širine 8 MHz, ako se za kompresiju signala koristi MPEG-4 standard?
12. Koja se vrsta modulacije koristi za digitalno emitovanje televizijskog programa?
13. Kakva je razlika između jednofrekvencijske i multifrekvencijske mreže?
14. Gde se koriste gep-fileri?
15. Koja je uloga bloka za kontribuciju televizijskog signala?
16. Objasniti kodovanje kanala (*Chanel coding*).
17. Kako se formira programski strim (PS)?

18. Kako se formira transportni strim (TS)?
19. Kakva je razlika između repetitora i gep-filera?
20. Koja je uloga kombajnera kod antenskog sistema?
21. Od kojih parametara zavisi ekvivalentna izračena snaga antenskog sistema, ERP?
22. Kako se izračunava dobitak antenskog sistema?
23. Kako se definiše BER?
24. Koju funkciju obavlja digitalni tjuner, tj. Set-Top Box?
25. Kako se definiše šumni broj antenskog pojačivača?

15 | DIGITALNA SATELITSKA TELEVIZIJA DVB-S/DVB-S2

Današnjem satelitskom digitalnom prenosu TV signala prethodila je analogna satelitska televizija, poglavlje 6.4. Osnovna karakteristika analogne difuzije jeste da je jedan TV kanal koristio jednu frekvenciju, odnosno jedan satelitski transponder. Digitalna tehnologija omogućila je veći broj slobodnih frekvencija na jednom transponderu, a sa tim i veći broj televizijskih i radio kanala, kao i ostalih vidova komunikacije, uz digitalni kvalitet slike i tona.

DVB-S (*Digital Video Broadcasting – Satellite*), videti sliku 1.3 u Uvodu, jeste standard koji predstavlja prenos audio i video sadržaja pomoću sistema geostacionarnih satelita i odgovarajućih prijemnika. Satelitska televizija, za razliku od drugih oblika distribucije TV signala (zemaljska, kablovska, internet), pokriva mnogo šire područje. Prva generacija nosi oznaku DVB-S i uglavnom se koristi za prenos SDTV signala, a druga generacija DVB-S2 koristi se za prenos televizijske slike visoke definicije HDTV i UHD TV. U odnosu na prvu generaciju, DVB-S2 ima veći kapacitet, koristi efikasnije modulacije, MPEG-4 kompresiju i kodek AVC (H.264) i ima oko 30% bolje performanse, što daje mogućnost da se HDTV sadržaj emituje sa istim protokom koji je bio potreban za SDTV. Kao što je već rečeno, HDTV slika ima mnogo bolju rezoluciju, slika je oštija, glatkiji su pokreti, detaljnije su i življe boje, zvuk je višekanalni i u celini slika je bliža stvarnosti.

Sateliti su raspoređeni po Klarkovom pojasu, tj. po geostacionarnoj orbiti na udaljenosti od oko 36.000 km od Zemlje i međusobno su razmaknuti nekoliko stepeni. U geostacionarnoj orbiti se danas nalaze na stotine aktivnih satelita, koji rade u velikom rasponu frekvencija i koriste se za razne namene: za distribuciju televizijskih i multimedijalnih signala, za vojne svrhe, za meteorologiju, navigaciju, ispitivanje zemaljskih resursa, istraživanje svemira, brzi prenos raznih podataka, fiksnu i mobilnu telefoniju.

Ugaona brzina Zemlje oko sopstvene ose i ugaona brzina obrtanja satelita oko Zemlje međusobno su jednake. Zbog toga se satelit uvek nalazi iznad

jedne tačke na Zemlji, odnosno, posmatrano sa Zemlje, satelit se ne kreće, zato satelitske antene ne moraju da se preusmeravaju. Teoretski gledano, ako bi predajna antena na **satelitskom predajniku, tj. transponderu**, emitovala signal podjednako u svim pravcima, onda bi jedan satelit mogao da pokrije oko 40% zemljine površine. Tri satelita bi bila dovoljna da pokriju celu zemljinu površinu.

Pokrivenost dela zemljine površine od strane jednog satelita naziva se servisna zona (*foot print*). Površina pokrivenog područja može da bude oblika kruga, elipse, ili je nepravilno oblikovana. Veličina te površine zavisi od snage satelita i karakteristika predajne antene. Najjači signal je u sredini snopa. Idući prema ivičnim delovima, jačina signala opada, da bi se na ivicama toliko smanjila da se ne može primati bez korišćenja višemetarskih satelitskih antena. Ako su signali u zoni pokrivanja veći, potrebna je manja antena, i obrnuto. Što je snaga emitovanja satelita manja, to je potrebna veća antena, naročito prema ivicama zone pokrivanja.

Pomoću usmerenosti predajne antene na satelitu može se postići da se elektromagnetni talasi ne šalju svuda, i tamo gde su nepotrebni, već da se šalju prema području za koje je namenjeno emitovanje signala sa satelita. Time se jednovremeno štedi energija, te se sa raspoloživom snagom predajnika postiže znatno bolji prijem u zoni pokrivanja, na račun slabijeg prijema izvan zone pokrivanja. Snaga prijemnog signala na mestu prijema najčešće se daje u decibel-vatima (dBW), npr. 36 dBW, i obeležava se sa EIRP (*Effective Isotropic Radiated Power*).

Na jednoj poziciji može se nalaziti jedan satelit ili više njih koji su grupisani na tom mestu. Ako na nekoj poziciji ima više satelita, to se onda zove kompozicioniranje satelita na jednu poziciju. Takav je slučaj sa satelitima Astra na 19,2° E i Hot Bird na 13,0° E. Pozicije satelita u geostacionarnoj orbiti označavaju se stepenima (°) u odnosu na grinički meridijan (0°). Sateliti pozicionirani istočno od Griniča pored broja stepeni imaju oznaku E (*East*), a zapadno pozicionirani oznaku W (*west*).

Korišćenje satelita ima značajne prednosti za emitovanje i distribuciju televizijskog programa, koje se ogledaju, pre svega, u velikoj zoni pokrivanja teritorije, nepotrebnoj izgradnji mreže predajnika i repetitora, mogućnosti prenosa većeg broja kanala istim satelitom, međusobnom povezivanju udaljenih TV studija, mogućnošću međunarodnih prenosa i razmene programa.

15.1. FREKVENCIJSKI OPSEZI SATELITSKIH SIGNALA

Za prenos i prijem televizijskih signala sa satelita koriste se četiri frekvencijska opsega (banda): S, C, Ku i Ka. Da bi jedan program, tj. signal, mogao da bude primljen sa satelita, mora prethodno da bude poslat na satelit sa predajne zemaljske stanice. Signal koji se šalje prema satelitu sa zemaljske stanice naziva se **uzlazni signal** – **ap-link** (*up-link*), a signal koji se prima sa satelita naziva se **silazni signal** – **daun-link** (*down-link*) i oni se razlikuju po frekvenciji. Za slanje signala na satelit u Ku-opsegu koriste se frekvencije oko 14 GHz, a označavaju se sa 14/11 GHz ili 14/12 GHz, a za prijem signala sa satelita koriste se frekvencije oko 11 GHz i 12 GHz. Prvi broj označava opseg uzlazne frekvencije, dok drugi broj označava opseg silazne frekvencije.

U tabeli 15.1 prikazani su podaci za frekvencijske opsege koji se koriste za daun-link, tj. za prijem satelitskih TV kanala. Većina telekomunikacionih satelita radi u tzv. C-opsegu, od 3,7 do 4,2 GHz, ali se u Evropi isključivo koristi Ku-opseg, od 10,7 do 18 GHz, odnosno za televiziju njegov deo od 10,7 do 12,75 GHz.

Tabela 15.1. Frekvencijski opsezi za prijem satelitskih TV programa

Band	Frekvencijski opseg (GHz)
S	2,50–2,70
C	3,70–4,20
Ku	10,70–12,75
Ka	17,7–21,2

U odnosu na Ku-opseg, C-opseg pokriva znatno veći deo površine, ali sa znatno slabijim signalom, tako da je za prijem signala u C-opsegu potrebna antena od minimalno 3 metra u prečniku. Izuzetak čini nekoliko satelita čiji se signali mogu primati i sa znatno manjim antenama. C-opseg je preteča Ku-opsega i zastupljen je na svim kontinentima, a najmanje ga ima u Evropi.

S-opseg se koristi u Indoneziji. **C-opseg** je zastupljen prvenstveno u Americi. Za daun-link koristi se opseg od 3,7 do 4,2 GHz, dok se za ap-link koristi opseg od 5,925 do 6,425 GHz. On je otporniji na loše vremenske uslove od Ku-opsega i Ka-opsega. **Ku-opseg** se koristi u Evropi. Televizijski programi sa satelita emituju se u opsegu od 10,7 do 12,75 GHz. Za ap-link koristi se opseg od 14 do 14,5 GHz. **Ka-opseg** je zastupljen u Americi za DTH (*direct-to-home*) usluge.

Za daun-link signale koristi se opseg od 17,7 do 21,2 GHz, a za ap-link signale koristi se opseg od 27,5 do 31 GHz. Antene koje se koriste

za prijem signala manje su po dimenzijama. Ovaj band je najneotporniji na vremenske uslove. Zasad se ovaj opseg ne koristi puno ali, imajući u vidu veliku potražnju za novim kapacitetima, posebno nakon pojave interneta preko satelita i prenosa HDTV signala, dobija sve više na značaju.

Antene u Ku-bandu mnogo su manjih dimenzija od antena u C-bandu. Korišćenje S, C, Ku i Ka banda, tj. opsega u satelitskoj televiziji opravdano je iz više razloga:

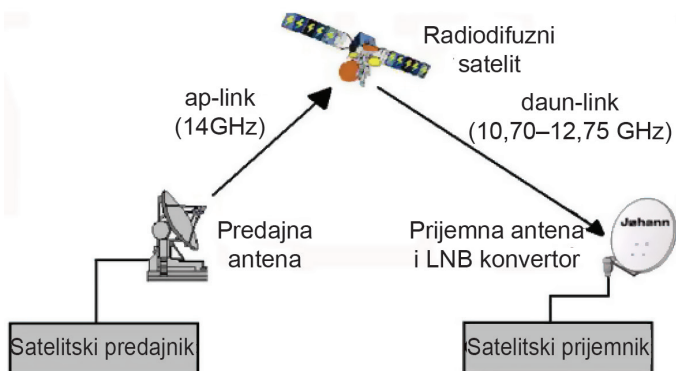
- Na raspolaganju je veća širina frekvencijskog opsega. Na taj način omogućeno je povećanje broja kanala, kao i njihovo proširenje, što omogućuje povećanje količine informacija koje se prenose posredstvom jednog satelita.
- Prilikom slanja signala sa Zemlje na satelit, moguća je bolja usmerenost predajnih antena sa Zemlje ka malom cilju (satelitu) u svemiru. Poznato je da se elektromagnetni talasi mnogo bolje mogu usmeriti (fokusirati) pomoću jedne antene, ukoliko su njene dimenzije veće od talasne dužine signala koji se emituje.
- Elektromagnetni talasi u mikrotalasnom području nisu toliko podložni uticaju šumova i smetnji pri prostiranju kao što su tom uticaju podložni signali nižih učestanosti.
- Elektromagnetni talasi u mikrotalasnom području lako prolaze kroz gornje slojeve atmosfere i svemirski prostor bez refleksije.

15.2. MODEL OSTVARIVANJA VEZE ZEMLJA–SATELIT

Signali na mestu prijema veoma su mali zbog velikih rastojanja između satelita i prijemnih satelitskih antena. Snaga emitovanih signala sa zemaljskih stanica prema satelitu smanjuje se sa kvadratom rastojanja. Uz to, uzlazni signali mogu biti dodatno oslabljeni signalima drugih zemaljskih stanica ka susednim satelitima, dok silazni signali mogu biti oslabljeni signalima koji dolaze sa drugih satelita koji su u blizini. Kiša može višestruko oslabiti satelitski signal, naročito onaj iznad 10 GHz.

Model ostvarivanja veze Zemlja–satelit prikazan je na slici 13.14. Signali iz TV režije se obrađuju u formatu koji je pogodan za slanje na satelit i dovode na satelitski predajnik, gde se pripremaju za slanje na paraboličnu antenu koja je uperena prema satelitu. Ova antena mora da bude nekoliko puta većeg prečnika (desetak metara i više) nego prijemna antena. Time se omogućuje da izračena energija sa predajne antene bude koncentrisana u vrlo uzak snop, što je neophodno da se u prijemnoj anteni na satelitu indukuje korektan signal. Na taj način ostvaruje se veća preciznost i usmerenost energije prema satelitu. Na jednom satelitu nalazi se veći broj

transpondera čiji je zadatak da prime visokofrekvencijski modulirane signale emitovane sa zemaljskih emisionih stanica, da ih pojačaju i na drugoj frekvenciji emituju ka Zemlji. Frekvencijska širina kanala satelitskog transpondera iznosi od 27 do 72 MHz, zavisno od satelita. Sateliti novije generacije imaju širinu propusnog opsega (*band-width*) transpondera 36 MHz ili 72 MHz.



Slika 15.1. Model ostvarivanja veze Zemlja–satelit

Transpodari su automatski uređaji koji primaju, pojačavaju i ponovo šalju signal na različite frekvencije. Sateliti su opremljeni različitim brojem transpondera, koji mogu da budu **fiksni** – pokrivaju određeni prostor na zemljinoj površini, i **mobilni**, čije područje pokrivenosti može da se menja.

U transponderu satelita primljeni signal najpre se pojačava, onda konvertuje u opseg silazne učestanosti (10,7 do 12,75 GHz). Kako je potrebno da snaga transpodera bude što manja, to se za prenos koriste metode modulacije koje dopuštaju uštedu na snazi, na račun proširenja frekvencijskog opsega. To su u analognoj satelitskoj difuziji frekvencijska modulacija (FM), a u digitalnoj impulsna kodna modulacija, u kombinaciji s digitalnom faznom modulacijom QPSK. Kod digitalne satelitske televizije u upotrebi je i nekoliko drugih modulacionih formata:

1. QAM (*Quadrature amplitude modulation*) u formama 4QAM, 16QAM, 64QAM;
2. PSK (*Phase-Shift Keying*): zavisno od broja faza razlikujemo dvofaznu (BPSK), četvorofaznu (QPSK) i osmofaznu (8PSK) modulaciju;
3. APSK (*Amplitude and phase-shift keying*): DVB-S2 specifikacija dozvoljava upotrebu 16APSK i 32APSK režima, što omogućuje 16 ili 32 različita simbola, respektivno).

Za digitalnu satelitsku difuziju DVB-S signal je, takođe, komprimovan prema MPEG standardu. Digitalni tjuner Set-Top Box za satelitski DVB-S program treba da omogući prijem digitalno modulisanih satelitskih radiodifuznih programa sa satelitske antene, njihovu selekciju, QPSK demodulaciju, MPEG-2 dekodovanje, D/A konverziju i prilagođenje u analogni signal, koji se preko **SKART konektora** vodi u klasičan TV prijemnik. Digitalni prenos audio i video signala preko satelita, u poređenju s analognim, omogućuje znatno bolji kvalitet reprodukovanih signala, a naročito u pogledu odnosa signal–šum i eliminisanja izobličenja usled refleksije i interferencije različitih signala.

Prenos televizijskog video-signala podržavaju sistemi veoma visoke definicije i velike bitske brzine, kao što je UHDTV 4K sa 2.160 vertikalnih linija i 3.840 piksela po jednoj liniji i UHDTV 8K sa 4.320 vertikalnih linija i 7.680 piksela po jednoj liniji. Zbog toga se koriste različiti algoritmi za kompresiju video-signala. Za UHDTV se koristi HEVC (H.265) kompresija. U tabeli 15.2 date su vrednosti bitskog protoka TV signala koji se koriste u praksi kod difuznog emitovanja, za SDTV, HDTV i UHDTV pri kompresionim standardima MPEG-2, MPEG-4 i HEVC.

Tabela 15.2. Bitske brzine komprimovanih TV signala

Standardi za video-kompresiju	TV video-rezolucija	Bitske brzine komprimovanih video/audio signala
MPEG-2	SDTV	3–5 Mb/s
	HDTV	15–20 Mb/s
MPEG-4	SDTV	1,5–2 Mb/s
	HDTV	8–10 Mb/s
HEVC	UHDTV	20–30 Mb/s

15.3. SATELITSKE ANTENE

Za prijem satelitskih signala na Zemlji koriste se parabolične antene čije dimenzije zavise od snage satelitskog predajnika i zone pokrivanja satelita. Zadatak satelitske antene jeste da skuplja signale emitovane sa satelita i da ih reflektuje i fokusira u jednu tačku, odnosno u fokus ili žarište antene.

U fokusu parabole smešten je niskošumni konvertor LNC (*Low Noise Converter*), ili LNB (*Low-Noise Black down-converter*) i SNF, na koji dolazi visokofrekvencijski signal f_{ul} sa satelita, opsega od 10,7 GHz do 12,75 GHz.

Uloga LNB konvertora jeste da skupi sve signale koje reflektuje antena, da ih pojača (oko 50 dB, tj. 100.000 puta) i prebaci u drugo frekvencijsko

područje (niže), koje je pogodno da se taj signal prenese koaksijalnim kablom do satelitskog prijemnika. Faktor šuma kod LNB konvertora treba da je što manji i iznosi oko 0,2 dB.



Slika 15.2. Vrste LNB konvertora

Na slici 15.2 prikazane su tri vrste LNB konvertora: univerzalni, dupli (*twin*) i četvoropolni (*quattro*). Svaki LNB konvertor može da se koristiti samo za jedan band, C ili Ku. Univerzalni LNB konvertor koristi se za prijem signala u celom Ku-opsegu i ima jedan izlaz za spajanje s jednim prijemnikom. Dupli (*twin*) LNB konvertor ima dva izlaza i koristi se za spajanje dva prijemnika, a četvoropolni za četiri prijemnika. Da bi LNB mogao da radi, potrebno mu je napajanje, koje dobija koaksijalnim kablom od satelitskog prijemnika, koji u LNB konvertor šalje i dodatne upravljačke signale. Napon od 12 V (kod nekih LNB konvertora taj napon je 14 V) aktivira vertikalnu polarizaciju V, a napon od 17 V (kod nekih LNB konvertora taj napon je 18 V) aktivira horizontalnu polarizaciju H. Da li će biti horizontalna ili vertikalna polarizacija, zavisi od pravca vektora električnog polja prema ekvipotencijalnoj ravni. Elektromagnetni talas predstavlja kombinaciju električnog i magnetnog polja. Ta dva polja uvek se javljaju zajedno. Ako je vektor električnog polja normalan na pravac vektora magnetnog polja, a njihov rezultantni vektor normalan na pravac prostiranja talasa, ima se linearna polarizacija (horizontalna ili vertikalna). Ukoliko vektor električnog polja nije normalan na pravac vektora magnetnog polja, ima se kružna polarizacija.

Frekvencijski opseg prijemnih signala sa satelita u Ku-bandu podeljen je na dva podopsega, niži (*low band*) od 10,7 GHz do 11,7 GHz i viši (*high band*) od 11,7 GHz do 12,75 GHz. Promena opsega vrši se dodavanjem još jednog signala učestanosti od 22 kHz naponu koji se šalje u LNB konvertor. Niži band uključen je kada nema signala od 22 kHz, a viši band kada je prisutan signal od 22 kHz. Promena prijemnog područja obavlja se u LNB konvertoru promenom učestanosti lokalnog oscilatora na 9,75 GHz i 10,6 GHz. Kod starijih prijemnika signal od 22 kHz je u analognom obliku, a kod novijih je u digitalnom obliku i naziva se DiSEqC (*Digital Satellite Equipment Control*) sistem, tj. digitalno upravljanje satelitskom opremom.

Signal od 22 kHz koristi se kao noseći signal za DiSEqC upravljačke signale u složenijim prijemnim sistemima. DiSEqC protokol sadrži 256 naredbi pomoću kojih je moguće menjati komande za upravljanje motorizovanim antenama, izbor različitih satelita, izbor konvertora kod sistema s jednim zajedničkim reflektorom, automatsko skretanje antenskog sistema prilikom promene željenog satelita itd.

Izlazna frekvencija f_{mf} iz LNB konvertora za Ku-band može se izračunati pomoću jednostavne formule:

$$f_{mf} = f_{ul} - f_o$$

$$f_{mf} = 10,7 \div 9,75 = 950 \text{ MHz}; 12,75 \div 10,6 = 2.150 \text{ MHz.}$$

Ovo je frekvenzijsko područje koje može da primi satelitski prijemnik (950–2.150) GHz.

Horizontalna i vertikalna polarizacija, kao i *low/high band* kod današnjih LNB konvertora, biraju se sledećom kombinacijom napona i signala od 22 kHz:

- 12 V/350 mA – *low band*, vertikalna polarizacija (bez 22 kHz),
- 17 V/200 mA – *low band*, horizontalna polarizacija (bez 22 kHz),
- 12 V/ 22 kHz / 350 mA, *high band*, vertikalna polarizacija,
- 17 V /22 kHz / 200 mA, *high band*, horizontalna polarizacija.

LNB konvertor u zavisnosti od dobijenog napona određuje *low/high band* i H ili V polarizaciju, pojačava signal i prilagođava ga frekvenzijskom opsegu prijemnika.

Postoji nekoliko vrsta satelitskih antena: obične paraboloidne, offset (*offset*), multifokus (*multifocus*) antene i druge. Razlikuju se po konstrukciji i načinu fokusiranja signala.

- **Obična paraboloidna antena**, u matematičkom smislu, predstavlja telo dobijeno rotacijom jedne parabole oko njenog temena. Kod nje se fokusna tačka nalazi u centru tela, slika 15.3 a), LNB konvertor kod ove antene nalazi se iznad sredine antene.
- **Kod offset-antena** fokusna tačka nije centralno postavljena, već se nalazi na ivici tanjira, te je zasenjivanje manje, a stepen iskorišćenosti površine veći. Ova antena je manjih dimenzija i stoji uspravnije u odnosu na obične antene, tako da tokom zimskih meseci ima manje problema s taloženjem snega, slika 15.3 b).

Dimenzije prijemnih antena zavise od snage satelitskog transpondera i zone pokrivanja satelita.



Slika 15.3 a). Paraboloidna antena



Slika 15.3 b). Ofset-antena

15.3.1. KARAKTERISTIKE SATELITSKIH ANTENA

Neke od važnijih karakteristika antena jesu: pojačanje, efikasnost, prijemni ugao i šum.

Pojačanje (gain), tj. dobitak satelitske antene, izražava se parametrom G , koji pokazuje stepen fokusiranja reflektovanog signala u žižu i zavisi od veličine antene. Što su dimenzije antene veće, više signala se odbija od površine antene, pa je i pojačanje antene veće i obrnuto. Pojačanje antene izražava se u dB i za ofset-antenu od 90 cm iznosi oko 39 dB, a za antenu dimenzije od oko 150 cm iznosi oko 45 dB. Ova razlika naročito je značajna kada se primaju programi sa satelita koji imaju slabiji signal, pa razlika od nekoliko dB znači da se program prima ili ne prima. Pojačanje G parabolične antene može se predstaviti izrazom:

$$G = \eta (\pi D / \lambda)^2,$$

gde su:

G – pojačanje antene,

η – efikasnost antene,

D – prečnik antene i

λ – talasna dužina satelitskog signala.

Pojačanje antene izražava se u decibelima (dB), tako da se prethodni izraz može predstaviti kao:

$$G_{(dB)} = 10 \log [\eta (\pi D / \lambda)^2].$$

U tabeli 15.3 dato je pojačanje parabolične antene za nekoliko tipičnih prečnika antene i za efikasnost od 65%, na učestanosti od 12 GHz.

Tabela 15.3. Pojačanje parabolične antene za nekoliko tipičnih prečnika antene

Prečnik D(m)	Pojačanje G(dB)
0,8	38,1
1,0	40,1
1,2	41,6
1,5	43,6
1,8	45,2
2,0	46,1

Efikasnost antene pokazuje koji je deo primljene energije satelitskog signala zaista reflektovan i fokusiran u prijemni levak, u odnosu na idealnu satelitsku antenu, čija efikasnost iznosi 100%. Efikasnost za današnje satelitske antene iznosi od 45% za vrlo lošu antenu, do 80% za odličnu antenu, s paraboličnim reflektorom. Ovaj parametar zavisi od veličine antene i od kvaliteta završne obrade reflektora. Ako je reflektor grubo obrađen, s malim udubljenjima ili ispupčenjima, to će smanjiti količinu reflektovanog signala, što će smanjiti i efikasnost antene, i pojačanje antene.

Prijemni ugao, tj. širina snopa (*beam width*), određuje kolika oblast (velika ili mala) iz svemirskog prostora može da bude detektovana s antene na LNB konvertor. Meri se u stepenima. Antena prima signale s više satelita, zato je važno da prijemni ugao bude što manji jer će takva antena da reflektuje signal samo sa željenog satelita. U odnosu na satelit, to je 2 do 3 stepena, nekad i manje. Greška od jednog stepena proizvodi promašaj od oko 750 km. Rastojanje od satelita je blizu 36.000 km.

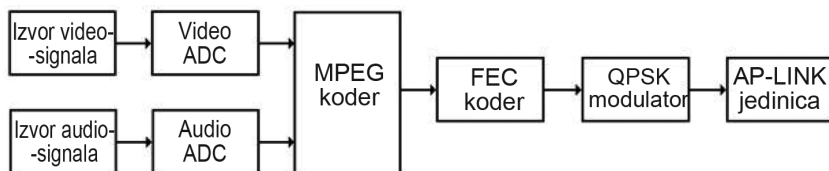
$$\alpha = 70 \lambda / D,$$

gde su: α – prijemni ugao u stepenima, λ – talasna dužina data u metrima i D – prečnik paraboličnog reflektora dat u metrima.

Šum satelitske antene pokazuje koliku količinu šuma, koji se generiše u okolini, može da detektuje parabolični reflektor. Šum je dodatni signal koji antena dodaje osnovnom signalu. Najveći deo tog šuma može da bude pridodat s drugog satelita, ili s nekog trećeg izvora.

15.4. DIGITALNI SATELITSKI PREDAJNIK DVB-S

Blok-dijagram digitalnog satelitskog predajnika prikazan je na slici 15.4.



Slika 15.4. Blok-dijagram digitalnog satelitskog predajnika

Kao što je prikazano na slici 15.4, predajnik sadrži izvor analognog audio i video signala, kao i analogno-digitalne konvertore, koji obavljaju konverziju analognih signala u odgovarajuće digitalne signale.

MPEG koder obavlja kompresiju i kodovanje digitalnih video i audio signala u skladu s definisanim standardima. Kodovani signal ima oblik niza programskih paketa koji predstavljaju odgovarajuće video i audio komponente. Informacije koje predstavljaju kontrolne i druge podatke mogu se, takođe, dodati u taj niz podataka.

FEC (Forward error correction) koder dodaje korekcijske podatke u programske pakete sa izlaza MPEG kodera kako bi se u prijemniku omogućila korekcija greške koja se javlja duž prenosnog puta.

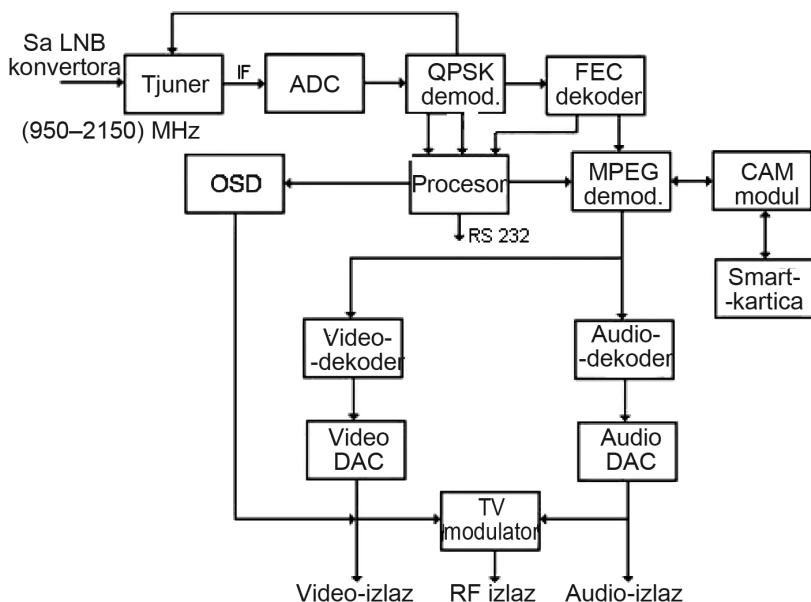
QPSK modulator moduliše noseći signal sa izlaznim signalom FEC kodera. Signali se obrađuju na učestanosti od 14 GHz i kao takvi se prenose do satelita putem ap-link jedinice.

15.5. DIGITALNI SATELITSKI PRIJEMNIK

Blok-dijagram digitalnog satelitskog prijemnika (*receiver*) prikazan je na slici 15.5. Primljeni signal s antene, odnosno LNB konvertora, koaksijalnim kablom se dovodi na ulaz satelitskog prijemnika, preko F-konektora. Tjuner, tj. birač kanala, vrši selektovanje RF signala, koji sadrži paket odabranog programa i konverziju selektovanog RF signala na odgovarajuću nižu frekvenciju IF (*Intermediate Frequency*). Tjuner ima prijemni opseg od 950 do 2.150 MHz.

Posle tjunera dolazi A/D konvertor, u kome se analogni signal prevodi u digitalni, a zatim se obavlja njegova demodulacija u QPSK demodulatoru. Demodulisani digitalni signal vodi se dalje na dekode, posle koga se dobija signal u MPEG-2/MPEG-4 obliku. MPEG-2/MPEG-4 signal vodi se, potom, na demultiplekser i dekode, iza kojih se dobijaju digitalni video

i audio signali. Na izlazu, digitalni video i audio signali se u odgovarajućim kolima za D/A konverziju pretvaraju u analogne signale.



Slika 15.5. Blok-dijagram digitalnog satelitskog prijemnika

Postoje dve mogućnosti povezivanja satelitskog prijemnika sa TV prijemnikom. Prvi način je da se signali slike i tona u osnovnom opsegu dovode direktno na TV prijemnik preko SCART ili HDMI konektora, ili preko video i audio priključaka (činčeva). Kvalitet signala znatno je bolji i uvek, ukoliko je to moguće, treba upotrebljavati ovakav način povezivanja. Ovakvim načinom povezivanja moguće je dobiti i stereo-ton na TV prijemniku.

Druga mogućnost jeste da se audio i video signali u satelitskom prijemniku modulišu i prebace na UHF opseg, pa dovedu na TV prijemnik preko antenskog RF priključka. Ovo je lošije rešenje. Pored lošije slike, ne može se dobiti ni stereo-zvuk.

Današnji satelitski prijemnici mogu primati od 5.000 do 10.000 programa. Frekvencijski opseg kod većine današnjih prijemnika je od 950 do 2.150 MHz. Starije generacije satelitskih prijemnika imale su niži frekvencijski opseg, od 950 MHz do 1.750 MHz.

Složeniji digitalni satelitski prijemnici imaju ugrađene CI slotove (priključke) za prijem kodovanih programa. U CI slotove ubacuju se pretplatničke pametne (*smart*) kartice, veličine i oblika kreditnih kartica. Pomoću njih se vrši dekodovanje kodovanih programa. One se kupuju na određeni period. Kartica se ubacuje u određeni slot na dekoderu, preko

koga on očitava podatke i šifru programa s nje. Zbog problema s ilegalnim uređajima i karticama, televizijske stanice često menjaju šifre kako bi izbegle probleme s ilegalnim uređajima i karticama. Danas postoji desetak sistema kodovanja, a najznačajniji jesu: *Irdeto*, *Mediaguard*, *Videoguard*, *Viaccess*, *Cryptoworks*, *Nagravision*, *Betacrypt* i *Conax*.

Kod novih digitalnih satelitskih prijemnika vrlo je važna mogućnost nadogradnje, tj. inoviranje (apdejtovanje) softvera, odnosno operativnog programskog sistema. Pojedini proizvođači novi softver „izbacuju” i nekoliko puta mesečno ukoliko se pokaže da se lako može kopirati ili da ima izvesne nedostatke. Neki prijemnici imaju mogućnost automatskog upisa novog softvera, koji se šalje putem satelita. Prijemnik proverava svaki dan, u određeno vreme, da li je stigao novi softver. Ukoliko jeste, automatski ga skida i upisuje. Kod drugih prijemnika novi softver ubacuje se spajanjem prijemnika s računarom, putem serijskog RS 232 priključka. Novi softver skida se s interneta, najčešće preko stranice samog proizvođača i upisuje se u prijemnik.

15.6. STANDARDI I PARAMETRI ZA SATELITSKU TELEVIZIJU

MUX (*Multiplex*) predstavlja kompleksni signal formiran od određenog broja različitih signala, istih ili različitih formata, iskombinovanih po određenim zakonitostima s ciljem da doprinesu uštedi kapaciteta prenosnih medijuma. Satelitski multipleks može sadržati SDTV i HDTV kanale u MPEG-2 i MPEG-4 formatu, kao i radio-kanale.

MCPC (*Multiple Channels Per Carrier*) – multipleks-frekvencija, nosi veći broj kanala. Komunikaciona arhitektura koja multiplicira više informacionih kanala u isto vreme na jednom nosiocu.

SCPC (*Single Channel Per Carrier*) – kanal koji se pojedinačno pakuje i prenosi, i koji nije deo paketa ili grupe kanala.

Širina propusnog opsega (*Bandwidth*), tj. opseg frekvencija u kojima prenosni signal može da varira. Transponder obično ima opseg od 27 do 72 MHz. Digitalni bandwidth je obično determinisan količinom aktivnosti u sadržaju slike, pa dosta varira.

Bit-rejt (*Bit Rate*) predstavlja bitsku brzinu, tj. broj bitova u jedinici vremena nekog audio ili video signala (u ovom slučaju TV signala). Jedinice su kbit/s (kbps) i Mbit/s (Mbps).

SR (*Symbol Rate*) predstavlja vrednost protoka digitalnih signala. Ograničen je širinom propusnog osega (*bandwidth*) na satelitu. Jedinica je megasimbol u sekundi (MS/s).

Kada digitalni prijemnik primi informaciju sa satelita, on ne može da pošalje povratnu informaciju o tome da li je primljeni signal prihvaćen sa greškom ili ne. Zato je ustanovljen FEC (*Forward Error Correction*). Sa satelitskog transpondera, naime, stiže signal zajedno sa greškom, tako da ako prijemnik ne uspe da primi signal bez greške, on ima i mogućnost da tu grešku ispravi na vreme, koristeći dodatne FEC informacije. Kao spoljašnji koder koristi se *Reed-Solomon* koder. Ukoliko se smanji količina FEC informacija, onda ima uslova za postavljanje maksimalnog broja satelitskih kanala na jednom transponderu. Preneti podaci se dele u okvire (*Frames*) ispred korekcije greške na osnovu FEC informacija. Standard omogućuje dve različite veličine okvira (*Frame Length*): 64.800 bita (*normal*) ili 16.200 bita (*short*). Normal-okviri su efikasniji, a šort-okviri mogu da smanje sistemsko kašnjenje od početka do kraja (*end-to-end*). Većina provajdera koristi veličinu okvira normal. Kod DVB-S2 mogu biti uključeni i tzv. piloti (*Pilots*). Oni jednostavno ponavljaju obrasce simbola koji se ubacuju u fiksni intervalima između simbola koji sadrže podatke. Njihova uloga je omogućavanje demodulacionim uređajima da lakše prepoznaju prenete podatke.

Faktor međufrekvencijske interferencije (***Roll Off Factor***) koristi se kod filtera za smanjenje međufrekvencijske interferencije. Za razliku od DVB-S standarda, koji ima *Roll Off Factor* $\alpha = 0,35$, DVB-S2 može imati *Roll Off Factor* i $\alpha = 0,25$ i $\alpha = 0,2$ zbog većeg ograničenja širine pojasa.

15.7. KLJUČNI POJMOVI

Zemaljska stanica. Servisna zona satelita. Frekvencijski opseg. DVB-S. DVB-S2. HDTV. UHD TV. MPEG-2. MPEG-4. HEVC. Satelitski transponder. Multipleks. Satelitski prijemnik. TV prijemnik. LNB konvertor. DiSEqC. Parabolioidna satelitska antena. Ofset satelitska antena. QPSK modulator. 4QAM. 8QAM. 16QAM. BPSK. 8PSK. 16PSK. 32APSK. APSK. FEC (*Forward Error Correction*). Faktor međufrekvencijske interferencije (*Roll Off Factor*). MCPC (*Multiple Channel Per Carrier*). SCPC (*Single Channel Per Carrier*). S, C, Ku, Ka opsezi.

15.8. PITANJA I ZADACI ZA OBNAVLJANJE GRADIVA

1. Kakva je razlika između standarda DVB-S i DVB-S2?
2. Objasniti zašto se satelit uvek nalazi iznad jedne tačke na Zemlji.
3. Kako se definiše servisna zona satelita?

4. Koji se frekvencijski opsezi koriste za prenos signala na satelit i prijem signala sa satelita?
5. Kako se naziva signal koji se sa zemaljske stanice šalje na satelit, a kako signal koji se sa satelita šalje na zemaljsku stanicu?
6. Koji se frekvencijski opseg koristi u Evropi za prijem signala sa satelita?
7. Zašto su prijemne antene u Ku-bandu manjih dimenzija od prijemnih antena u C-bandu?
8. Kolika je frekvencijska širina kanala (*bandwidth*) kod satelitskog transpondera?
9. Koja je uloga transpondera na satelitu?
10. Kakva je razlika između fiksnih i mobilnih transpondera?
11. Koja se vrsta modulacije koristi za prenos signala u analognoj satelitskoj difuziji, a koja u digitalnoj?
12. Koji se algoritam koristi za kompresiju UHDTV signala kod satelitske difuzije?
13. Kod satelitskog emitovanja, kolika je brzina protoka TV signala (*Bit Rate*) potrebna za SDTV, HDTV i UHDTV pri kompresionim standardima MPEG-2, MPEG-4 i HEVC?
14. Objasniti koja je uloga multipleksa kod formiranja signala za prenos na satelit.
15. Šta predstavlja SR (*Symbol Rate*) i od čega zavisi?
16. Koje su mogućnosti povezivanja satelitskog i TV prijemnika?
17. Kako se definiše efikasnost kod satelitskih antena?
18. Kakva je uloga LNB konvertora?
19. Objasniti ulogu DiSEqC (*Digital Satellite Equipment Control*) sistema?
20. Kakva je razlika između paraboloidnih i ofset satelitskih antena?

16 | KABLOVSKA TELEVIZIJA DVB-C

Kablovska televizija je sistem distribucije televizijskih programa putem radio-signala kroz koaksijalne kablove ili putem svetlosnih impulsa kroz optičke kablove. Kroz kablove se pored TV signala prenose i ostali servisi, kao što su FM radio-signali, telefonski servisi, širokopojasni internet i ostali slični servisi.

Polovinom prošlog veka korisnici su mogli da primaju TV sliku samo ako su i sami mogli da vide predajnu antenu stanice koja je emitovala TV program. Ljudi u udaljenim područjima, posebno u planinskim predelima, bili su uskraćeni za mogućnost gledanja TV programa. Davne 1948. godine ljudi koji su živeli u udaljenim dolinama Pensilvanije, u SAD, došli su do rešenja ovog problema tako što su postavili antene na okolna brda i TV signal do svojih domova sprovodili kablom. Tako su nastali prvi zajednički antenski sistemi CATV (*community antenna television*). U Evropi je 1993. godine započet projekat za digitalnu difuziju DVB (*Digital Video Broadcasting*), kojim je obuhvaćen i razvoj standarda za kablovski distribucionni sistem prema standardu DVB-C (*Cable*), videti sliku 1.3 u Uvodu.

Do pre nekoliko godina povezivanje elemenata kablovskog sistema bilo je isključivo koaksijalnim kablom. Tipična arhitektura takvih CATV sistema naziva se stablo i grane (*tree-and-branch*) jer topologija takvog sistema podseća na strukturu drveta sa stablom i granama. Godina 1976. bila je prelomna za kablovsku televiziju. Uvođenjem potpuno novog medija za prenos signala pomoću optičkog vlakna, drastično je povećan kvalitet TV signala distribuiranog putem kablovske mreže.

Danas se u kablovskim sistemima koristi kombinacija optičkih i koaksijalnih kablova. Takve arhitekture kablovskih sistema nazivaju se HFC (*hybrid fibre/coaxial*). S vremenom, optički kablovi postaju dominantni prenosni medijum u kablovskim telekomunikacijama. U poslednje vreme se optički kablovi apliciraju sve dublje u sistem. U najnovijim projektima

optički kabl se koristi u celom sistemu, sve do krajnjih korisnika. To su FTTH sistemi (*fibre to the home*).

Prvi kablovsko-distribicioni sistemi bili su isključivo analognog tipa jer digitalni TV signali u to vreme nisu bili u upotrebi. Kao takva, analogna mreža imala je niz prednosti, ali i mana. Iako je cena njihovog postavljanja bila niska, velika mana bila je, i ostala, slabljenje signala s povećanjem frekvencije. Veliko slabljenje na visokim frekvencijama rešavano je korišćenjem većeg broja pojačivača, ali s povećanjem broja pojačivača povećava se i nivo šuma.

KDS (kablovsko-distribicioni sistem) ima najveći kapacitet od svih sistema za prenos televizijskih signala. Po jednom koaksijalnom kablju može se preneti oko sto standardnih analognih TV kanala, a po jednom optičkom kablju (jednom vlaknu) može se preneti i više stotina HD i UHDTV 4K TV kanala.

Postoje dve vrste KDS-a:

- jednosmerni KDS, kod kojeg se radio i TV signali prenose od glavne stanice do krajnjih antenskih utičnica u jednom pravcu;
- dvosmerni KDS, koji osim odlaznog jednosmernog prenosa radio i TV signala ima i prenos signala u povratnom smeru, od glavne stanice do antenske utičnice. U opsegu povratnog signala mogu da se prenose razni podaci, internet, radio i TV signali.

Kod dvosmernih KDS sistema daje se mogućnost ne samo da se pasivno prima TV signal već i da se utiče na izbor servisa koji će se koristiti. Na ovaj način, mreža postaje interaktivna (znači prenos signala i od pretplatnika), što omogućuje pružanje mnogo drugih usluga korisnicima, kao što su: video-nadzor, PAY sistem, video na zahtev, automatska kontrola pojačivača i drugih.

16.1. FREKVENCIJSKI OPSEG KABLOVSKO-DISTRIBUCIONOG SISTEMA

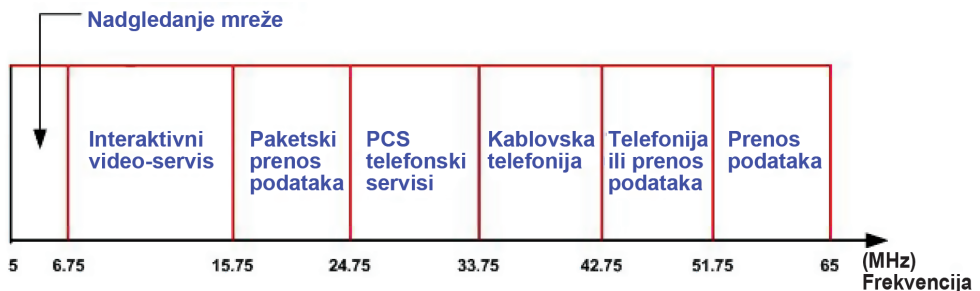
Prema frekvencijskom planu, opseg od 85 MHz do 862 MHz frekvencijski je opseg za direktni smer od glavne stanice do pretplatnika. Opseg u smeru od pretplatnika prema glavnoj stanici, tj. u povratnom smeru, jeste od 5 do 65 MHz. Od 65 MHz do 85 MHz je zaštitni opseg (*guard-band*). Visoka asimetrija propusnog opsega u direktnom i povratnom smeru postoji iz dva osnovna razloga. U direktnom smeru saobraćaj se obavlja uglavnom prema korisniku, pa je potreban širi propusni opseg. U povratnom smeru, od pretplatnika ka glavnoj stanici, zbog nižeg nivoa

zauzetosti i zbog prirode signala koji se šalju, potreban je uži propusni opseg u odnosu na propusni opseg direktnog smera, slika 16.1.



Slika 16.1. Frekvencijski opseg KDS-a za direktni i povratni smer

Frekvencijski plan za povratni smer uzima u obzir zahteve pojedinih interaktivnih servisa u pogledu širine frekvencijskog opsega i otpornosti pojedinih servisa prema smetnjama, slika 16.2. Zahtevi za širinu frekvencijskog opsega i otpornosti prema smetnjama zavise od prirode interaktivnih servisa. Paketske komunikacije, npr. servisi vezani za pristup internetu, veoma su tolerantne u pogledu smetnji, pošto se kod njih može izvršiti retransmisija eventualno izgubljenih paketa. Efekat pojave smetnji kod njih ogleda se u smanjenju brzine prenosa. Interaktivni servisi, koji zahtevaju rad u realnom vremenu (*real-time*), veoma su osetljivi na smetnje jer ne dozvoljavaju retransmisiju, pa im je, u skladu s tim, dodeljen i odgovarajući deo spektra koji je manje osetljiv na smetnje. Kablovska telefonija, kao interaktivni servis za prenos glasa, veoma je osetljiva na smetnje, zato je locirana u delu „čistog” spektra u vrhu opsega povratnog smera, slika 16.2, odnosno zauzima deo spektra koji nije izložen smetnjama, videti i sliku 6.3.



Slika 16.2. Frekvencijski opseg KDS-a za povratni smer

Signali za prenos podataka prema korisniku se u analognim sistemima modulišu analognim modulacijama (amplitudnom i frekvencijskom), a digitalnim sistemima digitalnim modulacijama, kao što su QAM64 i QAM256, i prema digitalnom standardu DVB-C (*Cable*). Po jednom TV kanalu širine 8 MHz, u smeru od glavne stanice ka korisniku, omogućen je protok od oko 38 Mb/s, odnosno do 50 Mb/s, u zavisnosti od vrste modulacije koja se koristi (64 QAM ili 256QAM).

Tehnika QAM64 nije pogodna za prenos podataka u povratnom smeru, od korisnika prema glavnoj stanici, zbog velikog šuma koji potiče od velikog broja korisnika i zemaljskih mikrotalasnih uređaja, pa se zato koristi QPSK ili QAM16 modulacija. QPSK i 16QAM su otpornije na smetnje. Tehnikom QPSK može da se ostvari 2 bita po bodu, a tehnikom QAM od 6 do 8 bitova po bodu.

16.2. PRIJEMNI ANTENSKI SISTEM KABLOVSKO-DISTRIBUCIONOG SISTEMA

Prijemni antenski sistem obavlja prijem raznih TV signala koji treba da se distribuiraju korisnicima kroz mrežu. Antenski sistem i glavna stanica najčešće su na istom mestu. Ali, ako kvalitet prijemnih signala na mestu gde je glavna stanica nije zadovoljavajući, onda antenski sistem može da se postavi i na drugom povoljnijem mestu. To može da bude vrh brda, ili krov neke visoke zgrade, gde je kvalitet signala zadovoljavajući.

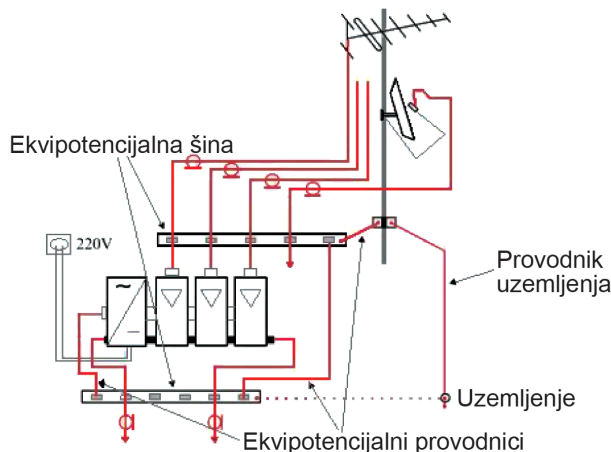
Antenski sistem sastoji se od antena za prijem TV signala emitovanih preko zemaljskih TV predajnika, antena za prijem TV programa emitovanih preko satelita i antena za prijem drugih multimedijalnih signala.

Prilikom montaže antena na antenski stub, po pravilu, na najvišu tačku, montiraju se antene za prijem najslabijih signala, zatim antene manjih dimenzija, pa VHF antene većih dimenzija, ili antene kojima se primaju jači signali lokalnih predajnika.

Rastojanje između antena treba da bude minimum oko jednog metra, najniža prijemna antena iznad podnožja treba da bude na visini od 2,5 m, a rastojanje od vrha antenskog stuba treba da bude minimum 0,5 m. Rastojanje između koaksijalnog kabla i naponskog voda ne sme da bude manje od 0,8 m.

Antenski sistem izložen je atmosferskim pražnjenjima i zato ga treba obavezno uzemljiti. Gromobranska instalacija mora da se izvede od propisanog materijala otpornog na mehaničke i hemijske uticaje, isključivo od čelično-pocinkovanog materijala (*Fe/Zn*). Treba uzemljiti antenski stub, pretpojačivače, filtre, razdelnike, pojačivače i sve ostale metalne delove uređaja. Za antenski sistem radi se poseban uzemljivač,

međutim, ako ne postoji takav uzemljivač, može da se iskoristi i zaštitni uzemljivač električnih uređaja niskog napona. Posle izvršenih radova na gromobranskoj instalaciji i uzemljenju, obavezno mora da se izmeri otpor uzemljivača, odnosno sistema uzemljenja. Primer uzemljenja prikazan je na slici 16.3.



Slika 16.3. Uzemljenje uređaja na antenskom stubu

16.3. GLAVNA STANICA KABLOVSKO-DISTRIBUCIONOG SISTEMA

U glavnoj stanici primaju se signali iz antenskih sistema, kao što su satelit, TV i radio difuzija, lokalni studio i slično, koji se zatim obrađuju i šalju dalje kroz kablovsku mrežu. U glavnoj stanici nalaze se i uređaji za razne servise: internet, IP telefonija, IP televizija i drugi. Na izlazu iz glavne stanice, svi ovi signali kombinuju se u jedan paket i pripremaju za distribuciju kroz distributivnu mrežu. U njoj može da se vrši i skremblovanje programa, tako da te programe mogu da gledaju samo ovlašćeni pretplatnici. Broj i količina uređaja u sastavu glavne stanice zavisi od vrste servisa, broja korisnika, konfiguracije terena i zahteva korisnika. Sastoji se iz: TV ili FM modulatora, TV ili FM procesora, širokopojasnih pojačivača, napajanja, rutera, CMTS uređaja, raznih modema, ormana, tj. rekova. Najčešće se svi uređaji smeštaju u rekove koji imaju sopstvena napajanja.

TV ili FM modulatori su uređaji (moduli) koji obavljaju modulaciju internih TV kanala i remodulaciju satelitskih kanala. Sastoje se iz modulatora, konvertora i pojačivača. Pomoću njih može da se vrši podešavanje dubine modulacije audio i video signala i podešavanje izlaznog nivoa modulisanog RF signala. Kod većine modulatora maksimalni izlazni nivo signala iznosi 80 dBμV, a regulacija izlaznog nivoa moguća je u opsegu ± 20 dB. Frekvencijska razlika audio i video nosioca može se podesiti na

4,5 MHz, 5,5 MHz, 6 MHz ili 6,5 MHz, zavisno od standarda u upotrebi. Odnos signal–šum je veći od 56 dB. Takođe je moguće podešavanje nosioca audio i video signala. Sva prethodno navedena podešavanja modulatora vrše se ručno ili pomoću programatora, koji se priključuje u modulator s njegove prednje strane. Za RF signal koriste se F-konektori, koji se montiraju na šinu ili rek od 19 inča.

QPSK-PAL transmodulatori obavljaju prijem FTA (*free to air*) digitalnih satelitskih kanala i njihovu konverziju na odabrani RF kanal. Ulazni i izlazni kanal može biti bilo koji kanal iz opsega 46 MHz do 862 MHz, a može se proslediti i ulazni kanal na izlaz. U tom slučaju, uređaj se ponaša kao pojačivač. Digitalni QPSK signal demoduliše se tako da se na odgovarajućem konektoru dobija audio i video signal u osnovnom opsegu. Demodulisani signal može se modulisati na bilo koji kanal u opsegu 46 MHz do 862 MHz, direktno postavljanjem na kanal ili na frekvenciju. Kod većine QPSK/PAL transmodulatora nivo izlaznog signala iznosi 80 dB μ V, a regulacija izlaznog nivoa moguća je u opsegu ± 15 dB. Frekvencijska razlika audio i video nosioca može se, takođe, podesiti na 4,5 MHz, 5,5 MHz, 6 MHz, ili 6,5 MHz, zavisno od standarda u upotrebi. Takođe, moguće je podešavanje audio i video nivoa. Kod povezivanja satelitskih i RF signala koriste se F-konektori. Montaža je moguća na šinu ili u rek od 19 inča.

COFDM/PAL modulatori obavljaju prijem digitalnih zemaljskih kanala i njihovu konverziju na odabrani RF kanal. Digitalni signal demoduliše se tako da se na odgovarajućem konektoru dobija audio i video signal u osnovnom opsegu. Demodulisani signal može se modulisati na bilo koji kanal u opsegu od 46 MHz do 862 MHz, direktno postavljanjem na kanal ili na frekvenciju. Kod većine COFDM/PAL modulatora nivo izlaznog signala iznosi 80 dB μ V, a regulacija izlaznog nivoa moguća je u opsegu ± 15 dB. Frekvencijska razlika audio i video nosioca može se, takođe, podesiti na 4,5 MHz, 5,5 MHz, 6 MHz ili 6,5 MHz, zavisno od standarda u upotrebi. Takođe, moguće je podešavanje nivoa audio i video signala. Za dovođenje RF signala u COFDM/PAL modulator koriste se F-konektori. Montaža je moguća na šinu ili u rek od 19 inča.

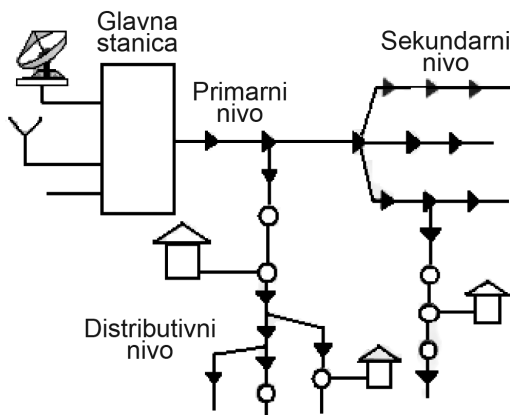
16.4. MREŽE ZA DISTRIBUCIJU MULTIMEDIJALNIH I INTERAKTIVNIH SERVISA

Mreže za distribuciju multimedijalnih signala mogu da budu izvedene samo s koaksijalnim kablovima – koaksijalne mreže, samo sa optičkim kablovima – optičke mreže, ili kombinacijom koaksijalnih i optičkih kablova – hibridne optičko-koaksijalne mreže ili HFC mreže. Danas su one

najviše u upotrebi. Tendencija je da se optička čvorišta HFC mreže nalaze što bliže pretplatničkim priključcima, ili da se završavaju u blizini zgrade (*fiber to the building*, FTTB). Danas se u svetu realizuju potpuno optičke mreže od glavne stanice do krajnjeg korisnika (*fiber to the home*, FTTH).

16.4.1. KOAKSIJALNE MREŽE

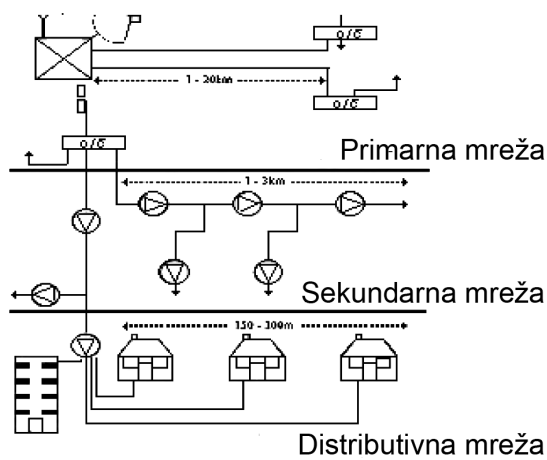
Koaksijalne mreže izvode se koaksijalnim kablovima. Organizacija jedne koaksijalne mreže po nivoima prikazana je na slici 16.4. Od glavne stanice do prve podstanice koriste se koaksijalni kablovi s većim prečnikom i najmanjim slabljenjem (≈ 19 mm, AK540), što predstavlja primarni nivo mreže. Od podstanice do stambenih zgrada ili objekata koriste se koaksijalni kablovi manjeg prečnika, a imaju nešto veće slabljenje (≈ 13 mm, RG11), i to je sekundarni nivo mreže. Za instalaciju u zgradama do krajnjih korisnika koriste se kablovi s manjim prečnikom (6 mm do 7 mm, RG6), što predstavlja distributivni, tj. pretplatnički nivo mreže. Kod manjih mreža postoje samo dva nivoa, primarni i distributivni. Kod srednjih i većih mreža postoji i sekundarni nivo. Na određenim rastojanjima, u bilo kom nivou mreže, postavljaju se pojačivači. Instalacija kablova na mreži može da bude nadzemna ili podzemna.



Slika 16.4. Organizacija KDS mreže po nivoima

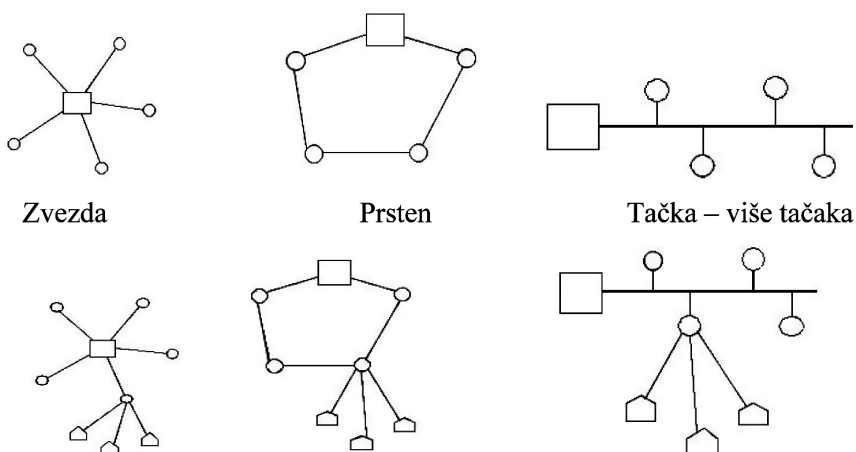
16.4.2. HFC MREŽE

HFC (*Hybrid Fiber/Coax*) mreže predstavljaju kombinaciju koaksijalnih i optičkih kablova. U zavisnosti od veličine područja koje se pokriva, kao i broja korisnika, HFC mreža, kao i koaksijalna, organizuje se u određenom broju hijerarhijskih nivoa: primarni, sekundarni i distributivni nivo, kao što je pokazano na slici 16.5.



Slika 16.5. Organizacija HFC mreže po nivoima

Primarni nivo mreže definiše se kao prenosni put za prenos signala od glavne stanice do distributivnih tačaka (podstanica, optički čvor). Kablovi koji vode od glavne stanice nazivaju se napojnim linijama. Primarni nivo treba da obezbedi signal između glavne stanice i podstanice. Na primarnom nivou, za povezivanje glavne stanice s podstanicama koriste se optički ili koaksijalni kablovi ili njihove kombinacije. Na dužinu primarne mreže otpada u proseku 15% do 20% dužine kablova celokupne KDS mreže. Izbor strukture, tj. topologije mreže zavisi od prostornih karakteristika KDS-a, broja korisnika, lokacije glavne stanice, podstanice i optičkih čvorova. Deo mreže u kojoj se koriste optički kablovi može da ima različite topologije, kao što su: zvezda, prsten i tačka – više tačaka, slika 16.6.



Slika 16.6. Različite topologije mreže

Struktura mreže tipa **zvezda** koristi se najčešće za razvod signala od glavne stanice do optičkog čvora, ili u kućnoj mreži. Ova topologija najbolje je rešenje kada se glavna stanica nalazi u centru mreže, a podstanice su podjednako udaljene od nje. Za povezivanje između glavne stanice i podstanice koriste se optički kablovi s dva vlakna, jedno za prenos u jednom smeru, a drugo u drugom, povratnom smeru. Mana ove topologije je u tome što u slučaju oštećenja optičkog kabla, veliki deo sistema ostaje bez signala. Problem se prevazilazi tako što se postavljaju poprečne veze od glavne stanice do podstanice.

Struktura mreže tipa **prsten** dosta je pouzdano rešenje i koristi se u optičkim mrežama. Povezivanje glavne stanice i podstanice realizuje se kao dualni (dupli) prsten prema glavnoj stanici. Glavna stanica ne mora da se nalazi u sredini podstanica. Realizuje se tako što u direktnom smeru ima dva, a u povratnom smeru jedno vlakno za svaku podstanicu. Ova struktura omogućuje lakše opsluživanje korisnika, bolji razvoj mreže, veću zaštitu informacija i veću pouzdanost. Ukoliko se optički kabl primenjuje u dva nivoa, drugi segment treba da se realizuje mrežom tipa zvezda.

Struktura mreže **tačka – više tačaka** jeftinije je rešenje od ova dva, ali je manje pouzdano za povezivanje glavne stanice i podstanice.

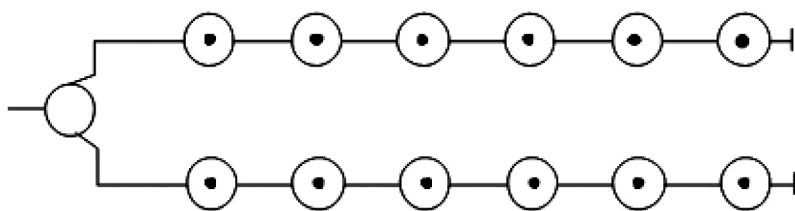
Sekundarni nivo mreže povezuje distribucione tačke primarnog nivoa s distribucionim tačkama finalnog distribucionog dela. Odnosno, sekundarna mreža treba da obezbedi signal između primarnog nivoa i razvoda. Sekundarna mreža može se realizovati optičkim ili koaksijalnim kablovima. Ako je primarna mreža realizovana koaksijalnim kablovima, u sekundarnoj mreži treba da se nalaze isto koaksijalni kablovi. Ako su u primarnoj mreži korišćeni optički kablovi, na sekundarnoj mreži može i dalje da se koriste optički kablovi, ili se prelazi na koaksijalne kablove.

Distributivni nivo mreže završni je deo mreže, dužine nekoliko stotine metara. Počinje od poslednjeg aktivnog elementa kablovske mreže i završava se na pretplatničkoj priključnici. Realizuje se mrežom tipa stablo s granama (odvodna), ili tipa zvezda. Distributivnu mrežu čine: ogranak, grana i glavni razdelnik. Ogranci su najniži (poslednji) deo distributivne mreže i u njima se nalaze odvodnici i antenske utičnice. Grana je deo distributivne mreže koja služi za napajanje ogranka. Elementi grane su pasivni razdelnici, odvodnici i pojačivači. Glavni razdelnik je deo distributivne mreže koji napaja grane ili direktno ogranke, deljenjem signala iz pojačivača. Konektori i spojnice koriste se za povezivanje koaksijalnih kablova (optičkih kablova) i uređaja u kablovsko-distributivnom sistemu. Antenske utičnice služe za montažu na zidu, kao poslednji element kablovsko-distributivnog sistema. Distributivna mreža može da bude realizovana kao mreža s prolaznim

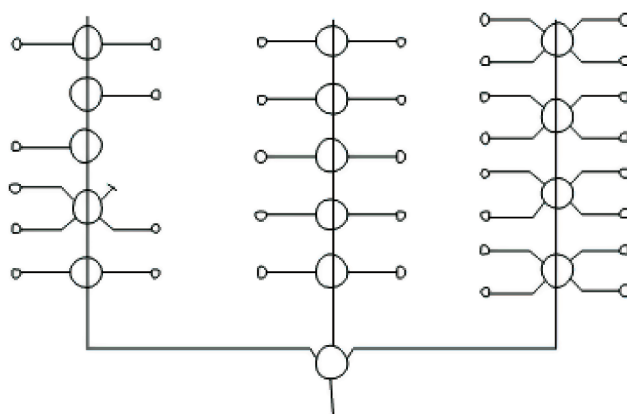
razvodom, odvodna mreža i mreža sa zvezdastim razvodom. Danas se najčešće koristi mreža sa zvezdastim razvodom.

Mreža s prolaznim razvodom najstarije je rešenje i bila je korišćena kod zajedničkih antenskih sistema. Danas se ne koristi. Za realizaciju ove mreže koriste se prolazne antenske utičnice kroz koje prolaze koaksijalni kablovi do korisnika na drugim spratovima. Poslednja priključnica u lancu drugačije je konstrukcije, ima ugrađeno završno opterećenje od $75\ \Omega$. Potrebno je da se na razdelnicima signala, ili na izlazima distribucionih pojačivača, obezbedi onoliko grana koliko se vertikalna želi postići. Obično je distribicioni pojačivač na vrhu zgrade ili u prizemlju, tako da se prolazna mreža formira samo u jednom smeru. Ukoliko su u pitanju velike zgrade, mreža se postavlja od sredine, naviše i naniže. Ovakve mreže jednostavne su za realizaciju. Nedostaci su mnogobrojni, pre svega se ogledaju u tome što jedan korisnik može da prekine dovod svim korisnicima iza njega, slaba je izolacija između korisnika, tako da se lako mogu preneti smetnje, nemogućnost pružanja individualnih i interaktivnih servisa, nemogućnost isključivanja korisnika koji ne plaćaju, itd. Ovakve mreže danas se ne koriste. Mreža s prolaznim razvodom prikazana je na slici 16.7.

Slika 16.7. Mreža s prolaznim razvodom

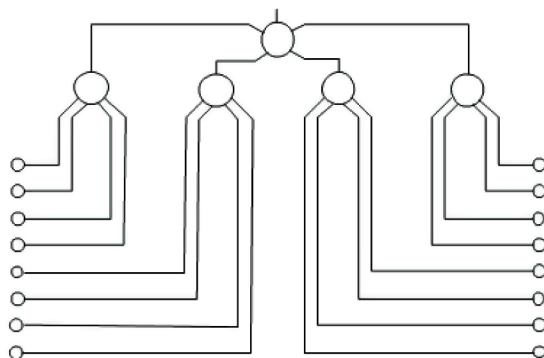


Mreža s odvodnim razvodom realizuje se pomoću odvodnih kutija (odvodnika). Odvodne kutije imaju ulaz, izlaz i odvode. Postoje odvodne kutije s jednim, dva, tri, četiri ili više odvoda. Na kraju linije koristi se posebna odvodna kutija sa završnim (prilagodnim) opterećenjem od $75\ \Omega$. Signal na izlazima antenskih priključnica u ovoj mreži varira u većem opsegu nego u mreži tipa zvezda (5 dB do 10 dB). U odnosu na razvod tipa zvezda, dužina kablova je manja za oko 25%. U praksi se kroz zgradu vuku dve do tri vertikale, na kojima se na svakom spratu postavljaju odvodne kutije s odgovarajućim brojem odvoda. Prednost je nešto manja cena u odnosu na razvod tipa zvezda. U praksi se obično koristi kombinacija mreže s odvodnim i zvezdastim razvodom. Mreža s odvodnim razvodom prikazana je na slici 16.8.



Slika 16.8. Mreža s odvodnim razvodom

Mreža sa zvezdastim razvodom se danas najviše koristi. Na mesto finalne distribucije postavlja se razdelnik i vodi se poseban kabl do svakog korisnika. Prednosti ovakvog razvoda su: jednak nivo signala kod svih korisnika, mogućnost pružanja individualnih i interaktivnih servisa, lakša je kontrola korisnika koji ne plaćaju pretplatu, efikasnije je održavanje sistema i bolja je ujednačenost signala na antenskim utičnicama (odstupanje je oko $\pm 5\text{dB}$).



Slika 16.9. Mreža sa zvezdastim razvodom

Dobro je da koncentracija finalne distribucije signala bude u što manje tačaka da bi se lakše obavljala kontrola. Kontrola se obavlja tako što se ceo spektar podeli na dva ili tri dela (osnovni + dodatni paket programa), pa se dodatni servisi šalju samo ovlašćenim korisnicima. U digitalnim KDS mrežama koriste se adresibilni razdelnici, s mogućnošću kontrole iz glavne stanice preko računara. Osnovni nedostatak je nešto viša cena, uslovljena neophodnošću provlačenja kabla do svakog korisnika. Mreža sa zvezdastim razvodom prikazana je na slici 16.9.

16.5. KABLOVSKI MODEMI

Da bi u kablovskoj mreži mogli da rade interaktivni servisi i internet, potrebno je da infrastruktura kablovske mreže bude dvosmerna, odnosno da može da radi s dvosmernim tokom informacija. Potrebno je da ima dvosmerne pojačivače i filtre za podelu frekvencijskog opsega kako bi se razdvojili dolazni i odlazni signali i pojačao svaki smer odvojeno u odgovarajućem frekvencijskom opsegu.

Za pristup internetu potrebno je da se u glavnoj stanici instalira završni sistem kablovskog modema (CMTS, *Cable Modem Termination System*), a na strani korisnika kablovski modem. CMTS upravlja funkcionisanjem sistema i vrši pretvaranje signala u TCP/IP pakete. On prihvata dolazni saobraćaj od korisnika (modema) i usmerava ga ka internet-servisu provajdera (pružaocu internet-usluga) radi konekcije sa internetom i obrnuto. Svi kanali (korisnici) internet-usluga stižu se u CMTS i on obavlja: komunikaciju s kablovskim modemima na osnovu njihovih adresa, prijem podataka s interneta i njihovo rutiranje do korisnika u formi paketa, određuje frekvencijski opseg za slanje i prijem, vrši modulaciju i demodulaciju signala i menadžment čitavog sistema. Broj silaznih i uzlaznih kanala kojima upravlja jedna CMTS jedinica zavisi od veličine dodeljenog područja.

Kablovski modem na strani pretplatnika ima zadatak da razdvaja dolazni i odlazni signal na osnovu različitih frekvencijskih opsega. Signal iz kablovske mreže deli se preko razdelnika (splitera) na dva signala. Jedan signal se vodi na RF ulaz TV prijemnika ili, ako je reč o digitalnim TV signalima, onda na ulaz STB uređaja. Drugi signal se vodi na RF ulaz modema, preko koga se priključuje na ulaz PC računara ili mrežu računara (LAN). Današnji kablovski modemi imaju najmanje dva interfejsa. Prvi interfejs je standardni F-konektor, kojim se modem priključuje na KDS mrežu, a drugi spaja modem s računarom, preko ethernet-interfejsa (brzine 10 odnosno 100 Mbit/s) ili USB priključka.

Modem može da bude instaliran kao eksterni uređaj, kao interni uređaj u sklopu računara, ili kao interni uređaj u sklopu kompaktnog sistema za interaktivnu televiziju i brzi internet, tj. STB uređaj. Najvažniji deo kablovskog modema je STB tjuner, koji prepoznaje i razdvaja televizijske kanale od kanala za internet, pri čemu kod nekih tjunera mogu da se biraju različiti frekvencijski opsezi za prijem i slanje podataka. Posle tjunera, signal se šalje u demodulator, u kome se modulisani signali pretvaraju u digitalne signale koji se vode u računar. Preko kablovskog modema lokalna računarska mreža (LAN) može da bude vezana sa kablovskim internetom.

Modem modulira digitalni signal iz računara u RF signal i šalje ga kroz KDS mrežu. Kada se modem umetne i uključi u mrežu, prvo vrši inicijalizaciju modema tako što skenira kanale za prenos podataka ka korisniku tražeći specijalni paket sa sistemskim parametrima, koje centralni razvodnik (nalazi se u CMTS uređaju) povremeno šalje da bi usaglasio upravo priključene modeme. Kada ga pronade, priključeni modem objavljuje svoje prisustvo na jednom od kanala za emitovanje. Razvodnik odgovara tako što dodeljuje modemu jedan kanal za emitovanje i jedan za prijem. Ovi kanali kasnije mogu da budu i promenjeni, ako razvodnik treba da uravnoteži opterećenje na mreži. Modem zatim određuje svoju udaljenost od razvodnika tako što šalje specijalan paket i meri vreme do stizanja odgovora, tj. određivanja rastojanja (*ranging*). Pomoću ovog parametra modem usklađuje način slanja podataka i sinhronizaciju.

Pri inicijalizaciji modema, kada modem jednom odredi rastojanje i dobije kanale za prenos ka centralnom razvodniku i od njega, kao i odgovarajuće mini-intervale, može da šalje pakete. Prvim paketom modem od davaoca internet-usluge zahteva IP adresu koja mu se dodeljuje.

Sledeći korak je šifrovanje, odnosno bezbednost kanala, jer je kabl deljeni medijum. Da se ne bi dešavalo da svako ko je malo više upućen u ovu problematiku može da čita sav saobraćaj i da bi se izbegla međusobna prisluškivanja, sav saobraćaj šifruje se u oba smera.

Na osnovu preporuke IEEE 802.14, kablovski modemi moraju da imaju mogućnost podešavanja kanala na različitim frekvencijama u silaznom i uzlaznom toku (frekvencijska agilnost). Od kablovskog operatora zavisi po kojim kanalima će se vršiti predaja i prijem signala. Zahvaljujući tome, kablovski operator ima mogućnost da menja frekvencije alocirane za silazne i uzlazne tokove, zavisno od potražnje i opterećenosti sistema, bez potrebe za izmenom krajnjih uređaja. Šum, kritičan u uzlaznim tokovima, može se, na ovaj način, jednostavno izbeći samo promenom frekvencije emitovanja.

Brzina prenosa koja se može obezbediti po jednom kanalu širine 8 MHz iznosi do 41,4 M bit/s, ako se koristi 64 QAM, ili 55,2 Mbit/s za 256 QAM. S obzirom na činjenicu da više korisnika koristi istu vezu, potrebno je utvrditi pravila deljenja postojećih resursa ispravno i efikasno. Skup pravila koja regulišu korišćenje zajedničkog medijuma naziva se MAC (*Medium Access Control*) protokol.

Na jedan izvod optičkog kabla može da se priključi od 500 do 2.000 korisnika koji zajednički koriste jedan kanal širine 8 MHz u silaznom toku. Raspoloživa brzina dostave podataka za 256 QAM jeste oko 52 Mbit/s. Posmatrano prostom logikom, čini se da će 400 korisnika, na primer, koji

istovremeno koriste zajednički informacijski kanal, postići brzine od svega 130 kbit/s. Naravno, tako prosta matematika ne primenjuje se u ovom slučaju. Odgovor leži u prirodi prenosa podataka preko mreže s deljenim pristupom i u prirodi internet-saobraćaja koji se prenosi. Podaci se do korisnika šalju u paketima, po zahtevu korisnika. Kada korisnik zahteva pristup nekoj stranici, ona se spusti velikom brzinom i dok je korisnik iščitava, do njega se ne prenose nikakvi podaci. Za to vreme neki drugi korisnik zahteva prenos za sebe, i tako redom. Ovaj fenomen naziva se statističko multipleksiranje mrežnog saobraćaja. Na primer, 52 Mbit/s koje nudi jedan 8 MHz-ni kanal dovoljno je da desetina korisnika istovremeno prima usluge gotovo trenutno.

S povećanjem broja korisnika koji istovremeno koriste usluge mreže, može se pojaviti zagušenje. Tada kablovski operatori imaju mogućnost dodavanja još jednog kanala datoj grupi korisnika. Druga mogućnost jeste povećavanje kapaciteta mreže, tako što se s optičkim delom mreže dublje ide ka korisnicima. Na taj način smanjuje se rastojanje od korisnika do optičkog dela mreže, tako da dužina koaksijalnog kabla bude što kraća. Na ovaj način smanjuje se broj korisnika koji opslužuje isti segment mreže i povećava veličina propusnog opsega dostupna krajnjem korisniku.

Brzine koje se dostižu kablovskim modemima znatno su veće od brzina drugih oblika pristupa podacima. Ograničenja u brzini su, uglavnom, na korisničkoj strani. Pošto je medij deljiv, brzina najviše zavisi od broja korisnika. Računari mnogih korisnika ograničavaju brzinu zbog nemogućnosti obrade podataka na tim brzinama. Obećanja kablovskih operatora da će omogućiti prenos većim brzinama, često navode korisnike na razmišljanje treba li možda da nabave ethernet-mrežu brzine od 100 Mbit/s. Treba imati na umu i mogućnosti same mreže, u kojoj postoje određena ograničenja jer podaci prolaze kroz pojačivače, izvode i koaksijalne kablove koji umanjuju brzinu. Ukoliko su ove komponente stare, to se još više odražava na brzinu prenosa. Ukoliko je linija podložna šumu, onda će on usporiti brzinu, ali ponekad je može i potpuno onemogućiti.

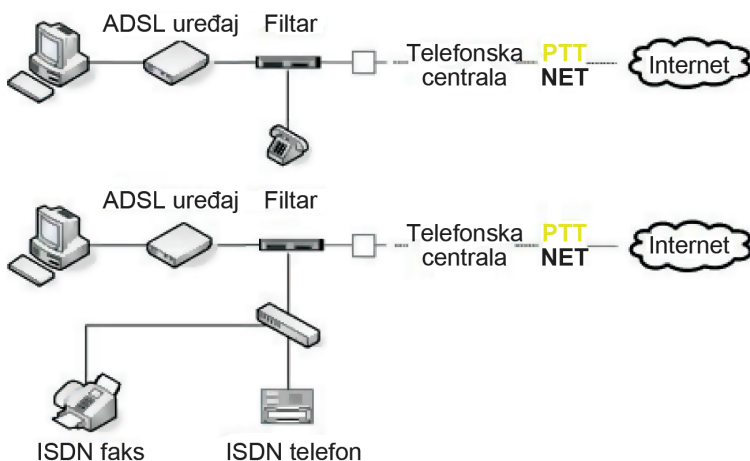
Da bi se povećala brzina, postoji mogućnost korišćenja više TV kanala za servisiranje kablovskih modema. Ali, dodavanjem više kanala za servisiranje kablovskih modema, smanjuje se broj raspoloživih TV kanala za druge servise kablovske televizije, kao što su: digitalna televizija, video na zahtev, telefonija itd. Dodavanje više kanala mora da bude u dolaznom i odlaznom smeru. Ako se poveća kapacitet dolaznog toka a kapacitet povratnog toka ostane isti, onda će nastati veće zagušenje saobraćaja.

Povratni (*upstream*) kanal je mnogo više izložen šumu jer su svi korisnici potencijalni izvori šuma i smetnji („šumni levak”). U ovom smeru znatno

je teže održati odgovarajući odnos signal–šum nego u direktnom smeru. Efekat „šumnog levka” – akumulacije šuma, stvara se u povratnom smeru mreža kablovske televizije zato što mreža funkcioniše kao sistem s nekoliko ulaza i jednim izlazom. Zbir ulaznog šuma i šuma koji nastaje na svakoj od povratnih putanja pojavljuje se na mrežnom izlazu.

16.5.1. ADSL KABLOVSKI MODEM ZA INTERNET

ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*) jeste kablovski modem za internet. To je asimetrična **digitalna pretplatnička linija kojom je omogućen stalan pristup internetu, kroz postojeći telefonski priključak**, višestruko većim brzinama u odnosu na klasičan dial-up pristup. Naziva se „asimetričnom” zbog toga što je brzina prenosa informacija od glavne bazne stanice ili regionalne centrale do korisnika veća nego od korisnika prema centrali. ADSL se realizuje tako što se u glavnoj stanici instalira završni sistem kablovskog modema (*CMTS, Cable Modem Termination System*), a na strani korisnika kablovski modem CMTS, koji upravlja funkcionisanjem sistema i vrši pretvaranje signala u TCP/IP pakete, videti poglavlje 16.5. **Kablovski modemi**.



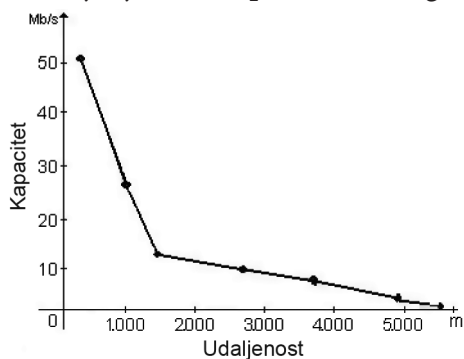
Slika 16.10. ADSL mreža

Na postojeći telefonski priključak kod korisnika postavlja se razdelnik (*splitter, filter*), koji razdvaja frekvencijski opseg na opseg za govor, koji koristi priključeni telefonski aparat ili ISDN uređaj, i opseg za prenos digitalnih podataka za ADSL uređaj na koji se, preko USB konektora ili ethernet-porta, priključuje računar ili druga komunikaciona oprema. Razdelnik razdvaja dolazeći signal na niske frekvencije, koje šalje u telefon, i visoke – koji se koriste za digitalne podatke u kućnoj mreži, kao što je internet.

Ova dva opsega potpuno su nezavisna, te se telefonski saobraćaj i korišćenje interneta obavlja simultano, slika 16.10.

Brzina prenosa podataka ADSL tehnologijom asimetrična je, tj. ADSL omogućuje veću brzinu primanja podataka od slanja. Tehnički je moguće obezbediti odnos 50% : 50%, ali većina pružaoca internet-usluga bira odnos od oko 80% do 90% za dolazni saobraćaj pošto većina korisnika više koristi dolazni saobraćaj od odlaznog. Dolazna brzina prenosa kreće se od 256 kb/s do 8 Mb/s u okviru od 1.500 metara. Odlazna brzina prenosa kreće se od 64 kb/s do 1.024 kb/s. ADSL koristi frekvencijski opseg do 1.100 kHz i on se deli na tri podopsega: podopseg standardnog telefonskog kanala – od 300 Hz do 3,4 kHz, podopseg za slanje podataka od centrale do korisnika (*down stream*) – od 138 kHz do 1.104 kHz, i podopseg za slanje podataka od korisnika ka centru (*up stream*) – od 25,875 kHz do 138 kHz.

ADSL tehnologija osetljiva je na daljinu, tako da pretplatnici koji su bliži centralnoj bazi podataka imaju bolji kvalitet usluge od onih koji se nalaze na većoj udaljenosti. Kvalitet usluge zavisi i od dužine, debljine žice i opšteg kvaliteta linije. Osnovna ADSL usluga ograničena je na oko 5.840 metara od najbliže telefonske centrale ili regionalne službe. U principu, što je kraće rastojanje, to je brzina prenosa veća. Na slici 16.11 prikazana je zavisnost brzine prenosa od rastojanja kod upređenih parica treće kategorije. Sa slike se vidi da je za bliža rastojanja brzina prenosa mnogo veća.



Slika 16.11. Zavisnost brzine prenosa od rastojanja

ADSL tehnologija je idealna za širok spektar interaktivnih usluga. Ipak, nije optimalno rešenje za razvoj IPTV sadržaja zbog toga što maksimalna brzina podataka kod ADSL-a jeste oko 8 Mb/s, a to je dovoljno da podrži dva TV kanala standardne rezolucije i nešto saobraćaja na internetu. Međutim, ona ne može da izađe u susret potrebama IPTV provajdera koji svojim pretplatnicima isporučuju programe u visokim rezolucijama.

Tabela 16.1. Brzine prenosa za različite DSL tehnologije

Grupa	Pravac	Maksimalna brzina (Mb/s)	Oznaka ITU	Godina donošenja standarda
ADSL	Direktni	7	G.992.1	1999.
	Povratni	0,8		
ADSL 2	Direktni	8	G.992.3	2002.
	Povratni	1		
ADSL 2plus	Direktni	24	G.992.5	2003.
	Povratni	1		
ADSL 2-RE	Direktni	8	G.992.3	2003.
	Povratni	1		
SHDSL	Direktni	5,6	G.991.2	2003. (inoviran 2003)
	Povratni	5,6		
VDSL	Direktni	15	G.993.1	2004.
	Povratni	55		
VDSL2 12 MHz velikog dometa	Direktni	30	G.993.2	2004.
	Povratni	55		
VDSL2 30 MHz kratkog dometa	Direktni	100	G.993.2	2005.
	Povratni	100		

Provajderi mrežnih usluga, da bi povećali brzinu, razvili su sledeće napredne DSL tehnologije, kojim je moguće postići veće brzine: ADSL2, ADSL2p, HDSL, SHDSL, VDSL i druge. Kod svih ovih tehnologija takođe je izražena zavisnost brzine od dužine linije, ali je moguće postići mnogo veće brzine. Na primer, sa ADSL2p tehnologijom moguće je postići brzinu i do 20 Mb/s za rastojanje korisnika od centrale 1,5 km. U tabeli 16.1 prikazane su brzine prenosa za različite DSL tehnologije sa ITU oznakama i godinama donošenja standarda.

16.5.2. UPOREĐIVANJE ADSL MREŽE SA HFC MREŽOM

ADSL i HFC mreže kao okosnicu koriste optičke kablove, ali se pri razvođenju do korisnika razlikuju: u HFC mreži je koaksijalni kabl, u ADSL linijama upredena parica. Propusna moć koaksijalnog kabla stotinama puta je veća od propusne moći upredene parice. Međutim, pun kapacitet koaksijalnog kabla nije na raspolaganju samo korisnicima za razmenu podataka, tj. interneta, jer se veliki deo njegovog propusnog opsega upotrebljava za distribuciju TV programa. Zbog toga je teško donositi uopštene zaključke o efektivnom kapacitetu i brzini jedne ili druge mreže.

Davaoci ADSL usluga nude sasvim određeni propusni opseg i brzinu (npr. 2 Mb/s ka korisniku, 512 kb/s od korisnika) i, u principu, propusni opseg i brzinu mogu da ispune sa oko 80%. Kod HFC mreže efektivni kapacitet i brzina zavise od toga koliko je korisnika trenutno aktivno na određenom korisničkom segmentu kabla. Taj kapacitet može da premaši kapacitet ADSL linije, ali i da bude manji od njega, što znači da je kapacitet HFC mreže nepredvidljiv. To što se trenutno radi velikom brzinom, ne znači da će tako biti i sledećeg minuta jer se baš tada na mrežu može uključiti najveći „gutač” propusnog opsega u okolini.

Kada se u ADSL sistem uključuju novi korisnici, postojeći korisnici skoro i ne primećuju jer svaki od njih ima namensku vezu (paricu). U HFC mreži, sa svakim novim pretplatnikom na usluge interneta, performanse svih korisnika neizbežno postaju slabije. U takvim situacijama operator kablovske mreže jedino može da razdvaja zagušene kablove i da svaki posebno priključuje na optički čvor. To, međutim, iziskuje vreme i zahteva dodatna ulaganja pa se operatori na svaki način trude da mrežu ostave takvom kakva je.

16.6. PRENOS MULTIMEDIJALNIH SIGNALA PUTEM ELEKTROENERGETSKE MREŽE

Ideja o prenosu multimedijalnih signala putem elektroenergetskih vodova (EEV) već odavno je prisutna, ali doskora nije razmatrana kao značajna, zbog male brzine rada, slabe funkcionalnosti i visoke cene. Elektroenergetska mreža predstavlja 95% svih mreža. Osamdesetih godina prošloga veka sprovedeni su testovi kojim su ispitivane karakteristike električne mreže kao sredine za prenos podataka na višim frekvencijama (5 do 500 kHz). Vršena su merenja kojima se određivao odnos signal – šum i slabljenje signala pri njegovom prostiranju po EEV-u. Devedesetih godina počele su da se primenjuju više frekvencije (reda MHz) za prenos podataka. Na današnjem stepenu tehnološkog razvoja, zahvaljujući novim modulacionim tehnikama, prenos poruka putem EEV vodova sve se više primenjuje. **Prenos signala elektroenergetskim vodovima označava se i sa PLC** (*Power Line Communications*) i odnosi se na komunikacione tehnologije, opremu, aplikacije i servise koji koriste provodnike čija je osnovna namena distribucija električne energije.

Na elektroenergetskim vodovima za prenos električne energije vrši se superpozicija telekomunikacionih signala male energije sa električnim signalima koji nose veliku energiju. U cilju obezbeđivanja nezavisnog rada ova dva sistema na istoj sredini za prenos, opseg frekvencija koji se

koristi za prenos telekomunikacionih signala je daleko iznad frekvencije električnog signala kojim se prenosi električna energija.

Za uskopojasne PLC servise opseg frekvencije je od 3 do 148,5 KHz, a za širokopojasne od 1 do 30 MHz. Za uskopojasne servise može se obezbediti protok od oko nekoliko kbit/s, a za širokopojasne servise od nekoliko desetina ili čak stotina Mbit/s. Uskopojasni servisi uključuju kontrolu i automatizaciju kuća, automatsko čitanje mernih uređaja, daljinsko upravljanje uređajima i osvetljenjem itd. Širokopojasni servisi uključuju internet, IP telefoniju, distribuciju audio i video signala unutar cele kuće itd.

Prednost ove tehnologije jeste što ne zahteva dodavanje novih provodnika unutar kuća i objekata, već s postojećim obezbeđuje skoro apsolutno pokrivanje, što nije slučaj s drugim tehnologijama iste namene. Jednostavna je za korišćenje i laka za instaliranje. Podržava simetričan protok podataka u oba pravca ka svakom korisniku, bitske brzine od 4,5 Mb/s, podržava širokopojasni internet i ima podršku raznim pristupnim mrežama: DSL, HFC, FWA, ISDN.

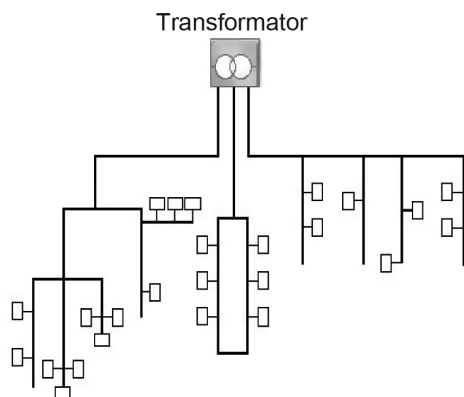
Mane ove tehnologije su: ograničenja u smislu propusnog opsega, ograničenja u pogledu predajne snage, visok nivo smetnji, promenljive karakteristike u vremenu. Zbog svega ovoga, PLC zahteva razvoj novih tipova modulacija s proširenim spektrom (OFDM, CDMA) i tehnika koje bi odgovorile zahtevima ovog medijuma za prenos. Razvoj novih tehnologija uslovio je nove standarde i regulative, što ima za cilj definisanje oblasti prenosa podataka po EDB infrastrukturi i integraciju sa drugim telekomunikacionim sistemima.

16.6.1. TOPOLOGIJA I OSNOVNI ELEMENTI PLC MREŽE

Topologija PLC mreže na niskonaponskom mrežnom nivou zavisi od više faktora: lokacije niskonaponske mreže, gustine pretplatnika, dužine i dizajna mreže. Značajne razlike javljaju se između mreža u ruralnim i urbanim sredinama. U ruralnim sredinama je mala koncentracija korisnika, u urbanim je srednja, a u velikim zgradama i kvartovima velika je koncentracija korisnika. U zavisnosti od razgranatosti i dužine mreže od transformatorske stanice do krajnjeg korisnika, određuje se i dizajn mreže. Prosečna dužina mreže znatno je veća u ruralnim oblastima od one u urbanim oblastima. Različiti su i zahtevi korisnika koji koriste PLC mreže u ruralnim i urbanim oblastima.

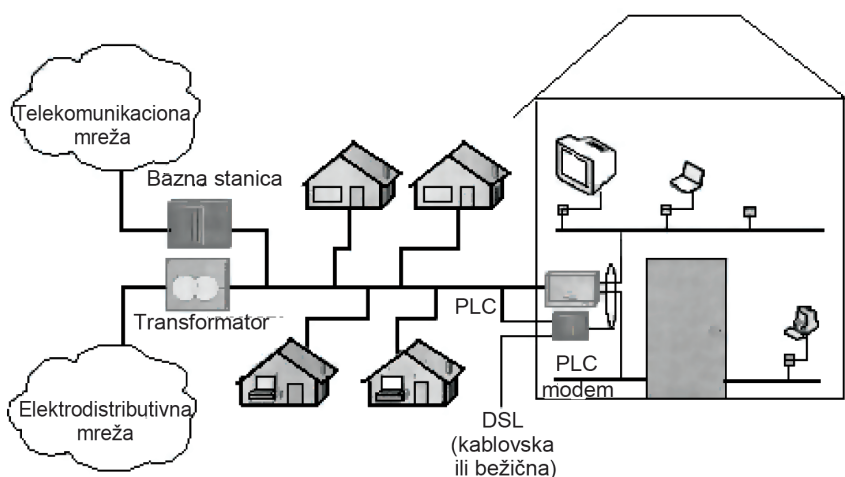
Niskonaponska mreža obično je realizovana korišćenjem više mrežnih segmenata. Tipičan broj korisnika u jednom mrežnom segmentu jeste od 50 do 80, a u poslednje vreme, u Evropi, kreće se od 250 do 400. Prosečna dužina segmenta mreže iznosi oko 500 m.

Niskonaponska distributivna mreža sastoji se od transformatora i većeg broja kablova (vodova) koji ga povezuju s krajnjim korisnikom, slika 16.12.



Slika 16.12. Niskonaponska distributivna mreža

Krajnji korisnici distributivne mreže povezani su na mrežu preko električnog brojila. PLC mreža povezuje se s elektroenergetskom mrežom preko bazne stanice, koja je obično smeštena unutar transformatorske jedinice. Bazna stanica prihvata signal s telekomunikacione mreže, prilagođava ga za prenos preko elektrodistributivne mreže i vrši kontrolu rada mreže, slika 16.13.



Slika 16.13. Povezivanje PLC mreže s korisnicima

Povezivanje PLC mreže može se realizovati i na mestu krajnjeg korisnika i u nekom od kabineta u kojem se račvaju kablovi elektrodistributivne mreže (ukoliko postoje uslovi za instalaciju). Korisnici PLC mreže sa elektroenergetskom mrežom povezuju se preko PLC modema. PLC

modem je uređaj koji povezuje standardnu korisničku telekomunikacionu opremu sa sredinom za prenos električne energije. Pomoću PLC modema vrši se sprega između telekomunikacionih uređaja i električne mreže, i emitovanje i prijem telekomunikacionog signala.

Da bi se smanjilo elektromagnetno zračenje, PLC signal u delu električne mreže, gde je to moguće, prenosi se korišćenjem dva fazna provodnika. U kućnoj instalaciji obavlja se korišćenjem faznog i neutralnog provodnika.

U slučaju kada je rastojanje PLC korisnika i bazne stanice veliko, zbog velikih slabljenja pri propagaciji signala, neophodno je korišćenje pojačivača ili obnavljača. Pojačivač obavlja pojačanje signala, a obnavljač obavlja demodulaciju, modulaciju i obradu signala. Korišćenjem obnavljača povećava se domet PLC mreže.

Lokalna mreža unutar kuće može biti realizovana korišćenjem bazne stanice koja kontroliše lokalnu mrežu. Bazna stanica smešta se, obično, u blizini električnog brojila, a može biti smeštena na bilo kojem mestu unutar lokalne mreže. Svi uređaji u lokalnoj mreži povezuju se korišćenjem PLC modema. Unutar PLC lokalne mreže modem se može povezati na bilo koji električni priključak. Lokalna mreža može da funkcioniše kao nezavisna mreža, koja vrši povezivanje raznih uređaja unutar kuće ili zgrade.

Topologija mreže zavisi od koncentracije i broja korisnika elektrodistributivne i PLC mreže. U retko naseljenim mestima, gde se nalaze kuće sa po jednim korisnikom, bazna stanica se instalira u transformatorskoj stanici. Da bi se na mreži postigle dobre karakteristike između PLC modema i obnavljača, rastojanje ne sme da bude veće od 100 m. Maksimalno rastojanje zavisi od protoka koji se želi ostvariti.

Ako je velika koncentracija korisnika u zgradi, bazna stanica se nalazi u transformatorskoj stanici, a u svakoj zgradi koju pokriva bazna stanica instalira se po jedan uređaj za obnavljanje, tj. ripiter (*Repeater*). Ripiter se postavlja tako da ima što bolje pokrivanje korisnika u zgradi, ali i dobre uslove komunikacije s baznom stanicom.

16.6.2. ELEKTROMAGNETNO ZRAČENJE PLC SISTEMA

Elektrodistributivni kablovi i mreža dizajnirani su za prenos električne energije na učestanosti 50 Hz i 60 Hz, i nisu predviđeni za prenos signala visoke učestanosti. Pri prenosu signala visoke frekvencije, elektrodistributivni vodovi (kablovi) predstavljaju elektromagnetno nedovoljno zaštićene strukture, pa se u njihovoj okolini stvara elektromagnetno polje, koje je potencijalni izvor smetnji za ostale sisteme u okruženju. PLC sistemi moraju da rade na takav način da uticaj drugih sistema, kao i međusobni

uticaj PLC sistema bude minimalan i ne ugrožava kvalitetan i pouzdan prenos podataka. Oni svojim radom ne smeju da ometaju druge sisteme ili uređaje koji se nalaze u njegovom okruženju.

U opsegu frekvencija koje koriste širokopojasni PLC sistemi od 1 do 30 MHz, radi veliki broj bežičnih sistema i servisa koji mogu da ometaju ili budu ugroženi njihovim radom. U tom opsegu, elektromagnetno polje radio-predajnika može uzrokovati pojavu smetnji na elektrodistributivnim vodovima. S druge strane, pri prenosu PLC signala visoke frekvencije preko elektrodistributivne mreže, u njegovoj okolini formira se elektromagnetno polje. Ovo zračenje može da ometa rad bežičnih sistema koji koriste isti opseg učestanosti. U ovom opsegu učestanosti rade kratkotalasne i amaterske radio-stanice, razni javni i vojni sistemi, bezbednosni sistemi, širokodifuzni sistemi itd.

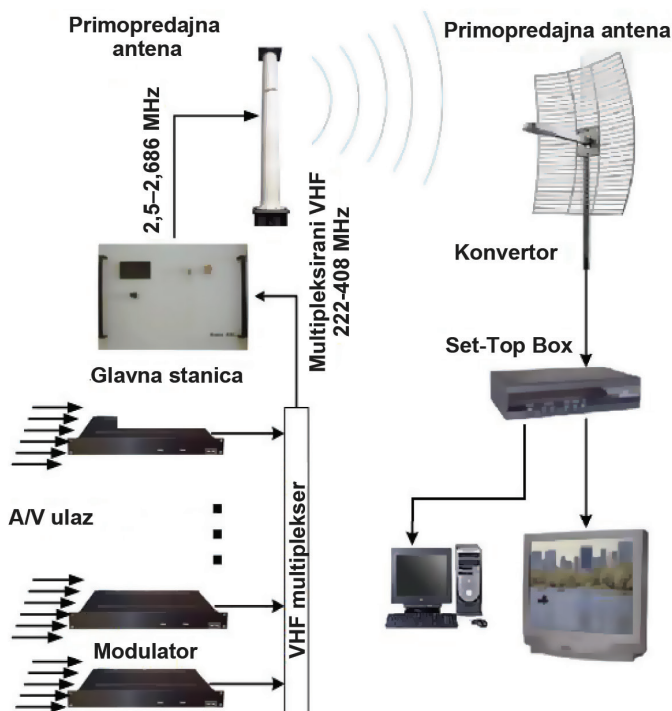
Neželjeno zračenje nemoguće je izbeći u potpunosti. Međutim, postoje metode za smanjenje nivoa zračenja, kao što su prenos između dve faze i korišćenje određenih filtara. Ovakvi filtri su veoma efikasni u sprečavanju neželjenog zračenja, ali je njihova cena veoma visoka, tako da većina kompanija ne prihvata njihovo korišćenje. U budućnosti, ovakvi filtri, s velikim protocima, mogu biti jedini način da se elektromagnetno zračenje svede na dozvoljenu meru.

16.7. BEŽIČNE MREŽE ZA DISTRIBUCIJU TELEVIZIJSKIH, MULTIMEDIJALNIH I INTERAKTIVNIH SERVISA

Bežična mreža omogućuje bežičnu distribuciju televizijskih i multimedijalnih programa, kao i interaktivnih servisa. Tehnika bežičnih mreža razvija se veoma brzo. Sinonim za „bežičnu” televiziju je **MMDS** (*Multipoint Multichannel Distribution Service*). MMDS predstavlja tehnologiju koja se duže od jedne decenije primenjuje u fiksnim bežičnim širokopojasnim mrežama u SAD, Kanadi i na Dalekom istoku, dok je njena evropska varijanta poznata pod imenom **Wireless Cable**. U pitanju su dva različita naziva za isti način širokopojasne bežične mreže. U početku se MMDS koristio za distribuciju tridesetak analognih TV signala u područjima sa slabije razvijenom kablovskom mrežom, odnosno, u prigradskim i slabo naseljenim (ruralnim) područjima, koja se ne mogu ekonomično povezati kablovskom infrastrukturom sa ostatkom, tj. „kičmom” mreže. MMDS funkcioniše tako što se na odgovarajuću glavnu stanicu kablovskog sistema instalira širokopojasni predajnik i emisiona antena. Između predajne antene i prijemne antene korisnika potrebno je da postoji optička vidljivost.

Naglim povećanjem broja TV programa, koji su emitovani u zemaljskim i satelitskim mrežama, kao i usled narastajućih zahteva korisnika za praćenje što većeg broja programa, analogni MMDS sistemi postali su nepraktični za efikasno korišćenje raspoloživog frekvencijskog spektra.

Razvoj digitalne tehnologije uslovio je prerastanje analognih MMDS sistema u digitalne. Digitalizacijom TV signala i njegovom kompresijom u MPEG-2 (*Moving Picture Experts Group*) formatu, omogućeno je prenošenje 4 do 7 digitalnih TV programa u jednom analognom TV kanalu širine 8 MHz, a sa kompresijom MPEG-4 omogućeno je prenošenje duplo više kanala. Snaga MMDS predajnika je od 10 do 100 W, što je znatno manje nego kod VHF i UHF signala, kod kojih predajnici imaju snagu i do 10 kW. Domet signala umnogome zavisi od EIRP (efektivna izotropna izračena snaga) antene, odnosno s povećanjem EIRP antene povećava se i domet, a samim tim i broj potencijalnih korisnika. Sa ovom snagom moguće je ostvariti prenos pri idealnim uslovima i do 50 kilometara, ali treba imati u vidu da je neophodna optička vidljivost između antena na strani glavne stanice i krajnjeg korisnika, pa elektromagnetno polje na mestu prijema često varira u zavisnosti od konfiguracije terena i prepreka.



Slika 16.14. Bežična kablovska mreža

Kod digitalnog prenosa u direktnom smeru koristi se tehnika modulacije 16-QAM ili 64-QAM, dok se za povratni smer koristi QPSK modulacija. Na strani korisnika koriste se primopredajne antene malog prečnika (od 15 do 30 cm, parabolične antene, najčešće mrežaste zbog udara vetra). One u sebi sadrže konvertor za međufrekvencije, kablovski modem za pristup internetu i, ukoliko se vrši prijem digitalnih signala, treba da imaju i STB uređaj. One treba da prilagode signal za prijem na TV ili računarski uređaj. U isto vreme mogu da se koriste i kao predajne antene, tj. u sebi mogu da sadrže predajnik radi slanja povratnog signala od korisnika prema glavnoj stanici (interaktivni servisi, telefonija i pristup internetu), slika 16.14.

Osnovni nedostatak MMDS servisa jeste ograničen propusni opseg (~ 200 MHz), što je nedovoljno za distribuciju većeg broja TV kanala. U zemljama gde se MMDS primenjuje, koristi se frekvenijski opseg od 2 do 5 GHz. U početku je to bio frekvenijski opseg samo od 2.500 do 2.686 MHz (186 MHz), a kasnije se proširio od 3,4 do 3,8 GHz (400 MHz).

MMDS ima prednosti nad kablovskim sistemima, naročito kod pokrivanja slabo naseljenih ruralnih oblasti, gde se ne isplati izgradnja kablovskih sistema, kod pokrivanja velikih gradova, gde bi troškovi raskopavanja ulica i kabliranja bili izuzetno visoki, i kod povezivanja kablovskih ostrva u gradovima. Znatno brže se realizuje od kablovskih sistema. Cena izgradnje i održavanja sistema je znatno niža.

16.8. FTTH MREŽE

Danas postoji povećana potreba za servisima sa visokim protocima, pouzdanim prenosom govora i visoko kvalitetnom slikom (HD, UHDTV 4K). Sa stanovišta korisnika, potpuno je svejedno da li će se ovi servisi obezbediti preko HDSL-a, kablovskog modema, ili bežičnom komunikacijom, sve dok postoji brz i pouzdan prenos. FTTH (*Fiber to the Home*) jedna je od tehnologija koja može da ispuni pomenute zahteve. Među ekspertima postoji saglasnost da je FTTH tehnologija najsposobnija da sprovede buduće servise do lokacija korisnika. U suštini, mnogi veruju da jednom kada se optičko vlakno položi u kablovsku kanalizaciju, postaće jedini kablovski medijum iz razloga suštinski neograničenog propusnog opsega, čime se omogućuje mnogo više servisa u odnosu na bakarnu paricu ili bežični prenos. Danas, na hiljade domaćinstava širom sveta imaju pristup različitim širokopojasnim servisima preko FTTH tehnologije. Njom se omogućuje istovremeni prenos glasa, video-signala i podataka (*triple-play service*). Na ovaj način, mnogim korisnicima je omogućeno da uče na daljinu, izvrše medicinski pregled, rade kod kuće i koriste mnoge druge privilegije.

16.9. INTERMODULACIONI PRODUKTI

Istovremena distribucija velikog broja TV kanala u CATV sistemu proizvodi hiljade intermodulacionih produkata. Kad takvi parazitni produkti padnu unutar propusnog opsega određenog kanala, efekat je degradacija kvaliteta slike. Intermodulacioni produkti nastaju kao rezultat nelinearne karakteristike linijskih pojačivača. Ako uzmemo prost primer tri signala s frekvencijama nosioca video-signala f_1 , f_2 i f_3 na ulazu u pojačivač, na izlazu pojačivača, pored osnovnih signala, na nominalnim frekvencijama pojavljuju se parazitni produkti drugog i trećeg reda. Svi parazitni produkti drugog reda označavaju se sa **CSO** (*Composite second order beats*) i nastaju kao proizvod interakcije dva nosioca. Parazitni produkti trećeg reda označavaju se sa **CTB** (*Composite triple beat*) i nastaju kao proizvod interakcije tri nosioca. Parazitni produkti višeg reda su tako niskog nivoa da nisu od praktičnog značaja.

U realnim CATV sistemima najveći problem u ometanju korisnih signala jesu upravo parazitni produkti koji mogu da se pojave oko nominalnog nosioca video-kanala, ili podnosioca boje. Dodatni problem je što, na sličan način kao kod šuma, pri kaskadnom povezivanju više pojačivača u liniji vrši se akumuliranje intermodulacionih produkata. Što je veći broj kaskadno vezanih pojačivača u liniji, to je viši nivo intermodulacionih produkata. Zbog toga su odnosi: nosilac–intermodulacija i signal–šum, najvažniji parametri o kojima treba voditi računa pri projektovanju CATV sistema. Odnos nosilac–intermodulacija, koji se smatra prihvatljivom granicom u distributivnom sistemu, veći je od 60 dB.

Odnos signal – produkti trećeg reda CTB (*Composite triple beat*). Termin *Triple beat* koristi se za označavanje svih produkata trećeg reda koji nastaju kao produkt interakcije tri nosioca ($f_1+f_2+f_3$):

$$f_1 + f_2 + f_3, 2f_1 + f_2, 2f_1 + f_3, 2f_2 + f_1, 2f_2 + f_3, 2f_3 + f_1, 2f_3 + f_2,$$

kao i interakcije tri nosioca trećih harmonika $3f_1$, $3f_2$, $3f_3$. Iz ovih izraza vidi se da rezultatni parazitni produkti (*beats*) padaju frekventno tačno na video-nosioca. Ova vrsta interference je poznata kao *composite triple beats*. Ovo je dominantna forma intermodulacionih izobličenja u CATV sistemima. Najčešći odnos koji se u praksi smatra prihvatljivom granicom za CTB veći je od minimalnog odnosa 54 dB. To znači da bilo koji CTB produkt u sistemu mora da bude nižeg nivoa za minimalno 54 dB u odnosu na bilo kog video-nosioca.

U cilju održavanja CTB-a u ovim granicama, u sistemima se strogo vodi računa o izlaznim nivoima signala iz pojačivača. Takođe, s obzirom na akumulaciju CTB pri kaskadiranju pojačivača, savremeni CATV

sistemi najčešće se realizuju s maksimalno 5 do 6 pojačivača vezanih na red (u kaskadi). Koncentracija CTB produkata najveća je u sredini frekvencijskog spektra.

Odnos signal – produkti drugog reda CSO (*Composite second order beats*). CSO je termin koji se koristi za definisanje kombinovanog efekta koji izazivaju svi parazitni produkti drugog reda u multikanalnom sistemu, kakav je CATV. Ovde su od značaja produkti u formi: $f_1 + f_2$, $f_2 + f_3$, $f_3 + f_1$, kao i produkti drugih harmonika $2f_1$, $2f_2$, $2f_3$. Kao i kod CTB-a, i ovde intermodulacioni produkti padaju na nominalne frekvencije željenih signala. Za razliku od CTB produkata, većina CSO produkata je koncentrisana na krajevima (gornjeg i donjeg opsega) frekvencijskog spektra. Potiskivanje CSO produkata postiže se puš-pul (*push-pull*) pojačivačima. Najčešće specificirani nivo CSO je minimum 60 dB u odnosu na nivo video-nosioca.

Generalno gledano, u modernim CATV sistemima CTB je glavni limitirajući faktor pojačivača s gornje strane, kao što je odnos signal–šum) limitirajući faktor sa donje strane.

16.10. PRORAČUN NIVOA SIGNALA NA AKTIVNIM I PASIVNIM ELEMENTIMA HFC MREŽE

Dužina pojačivačke deonice izračunava se na osnovu izraza:

$$l_{pd} = (G - apk) / ak,$$

gde je:

- l_{pd} – dužina pojačivačke deonice (dB),
- G – ukupno pojačanje pojačivača (dB),
- apk – slabljenje pasivnih elemenata (razvodnika, odvodnika, konektora i dr.),
- ak – podužno slabljenje koaksijalnog kabla (dB/m) na gornjoj graničnoj frekvenciji u direktnom smeru.

PRIMER:

Ako je pojačanje pojačivača 36 dB, a slabljenje koaksijalnog kabla 6,56 dB na 100 m, onda je dužina pojačivačke deonice na kojoj nema pasivnih elemenata:

$$l_{pd}(\max) = \frac{36 \text{ dB}}{0,0656 \text{ dB/m}} = 548,78 \text{ m.}$$

Ako postoje razdelnici sa slabljenjem od 6 dB, onda je dužina pojačivačke deonice:

$$l_{pd} = (36 - 6) / 0,0656 = 457,3 \text{ m.}$$

Minimalni ulazni nivo signala u pojačivač izračunava se na osnovu izraza:

$$\text{Min. ulazni nivo} = N_t + NF + S/N,$$

gde je:

- N_t – termički šum (za pojačivače firme Televes iznosi oko 1,8 dBmV, a za pojačivače firme Polytron oko 2 dBmV. Ovaj podatak se daje u specifikaciji tehničkih karakteristika pojačivača,
- NF – šum pojačivača, šumni broj (daje se u specifikaciji tehničkih karakteristika pojačivača), $S/N = 46 \text{ dB}$. Ovaj nivo najviše zavisi od nivoa šuma koji pojačivač pridodaje signalu i željenog odnosa S/N na izlazu.

PRIMER:

Za pojačivač *Televes ref.4513*, min. ulazni nivo = 1,8 dBmV + 8 dB + 46 dB = 55,8 dBmV, a za pojačivač *ref. 5373*, gde je šum pojačivača 6 dB, min. ulazni nivo = 1,8 + 6 + 46 = 53,8 dBmV.

Maksimalni ulazni nivo signala u pojačivač izračunava se na osnovu izraza:

$$\text{Maks. ulazni nivo} = V_{\max} - 7,5 \log (n-1) - G,$$

gde je:

- $V_{\max}$ – maksimalni izlazni nivo pojačivača po specifikaciji za DIN 45004B
- n – broj distribuiranih kanala,
- G – pojačanje (maksimalno pojačanje umanjeno za nivo ekvilacije).

PRIMER:

Za pojačavač *Televes, ref.4513*:

za 20 kanala maks. ulazni nivo = $118 - 7,5 \log (20 - 1) - 29 = 118 - 9,59 - 29 = 79, 41 \text{ dBmV}$;

za 40 kanala maks. ulazni nivo = $118 - 7,5 \log (40 - 1) - 29 = 118 - 11,93 - 29 = 77, 07 \text{ dBmV}$;

za 64 kanala maks. ulazni nivo = $118 \text{ dBmV} - 7,5 \log (64 - 1) - 29 \text{ dB} = 75, 5 \text{ dBmV}$.

Minimalni izlazni nivo signala na pojačivaču izračunava se na osnovu izraza:

$$V_{\text{izmin}} = \text{min. izlazni nivo} = N_t + NF + G + 10 \log N + 10 \log p + S/N,$$

gde je:

- N_t – termički šum,
- NF – šum pojačivača,
- G – pojačanje (maksimalno pojačanje umanjeno za stepen ekvilacije),
- N – broj kaskadno vezanih pojačivača,
- p – broj različitih nivoa mreže,
- S/N – zahtevani odnos signal–šum.

PRIMER:

Za pojačivač *Televes, ref.4513*:

za $N = 1$, $p = 1$, min. izlazni nivo = $1,8 \text{ dBmV} + 8 \text{ dB} + 29 \text{ dB} + 0 + 0 + 46 \text{ dB} = 84,8 \text{ dBmV}$;

za $N = 2$, $p = 1$, min. izlazni nivo = $1,8 \text{ dBmV} + 8 \text{ dB} + 29 \text{ dB} + 3 + 0 + 46 \text{ dB} = 87,8 \text{ dBmV}$.

Maksimalni izlazni nivo signala na pojačivaču izračunava se na osnovu izraza:

$$V_{\text{izmax}} = \text{maks. izlazni nivo} = V_{\text{max}} - 7,5 \log (n - 1) - 10 \log N - 10 \log p - (C/XMOD - 60) / 2,$$

gde je:

- V_{max} – maksimalni izlazni nivo pojačivača po specifikaciji za DIN 45004B
- n – broj distribuiranih kanala,
- N – broj kaskadno vezanih pojačivača,
- p – broj različitih nivoa mreže,
- $C/XMOD$ – signal – unakrsna modulacija, preporučeni odnos za manje od 20 TV kanala je veće od 66 dB, a za više od 20 TV kanala je veće od 72 dB.

PRIMER:

Za pojačivač *Televes, ref.4513*:

za $n = 64$, $N = 1$, $p = 1$, $C/XMOD = 72 \text{ dB}$:

- maks. izlazni nivo = $120 \text{ dBmV} - 7,5 \log (64 - 1) \text{ dB} - 0 - 0 - (72 \text{ dB} - 60) / 2 = 100,50 \text{ dBmV}$,

za $n = 64$, $N = 2$, $p = 1$, $C/XMOD = 72 \text{ dB}$:

- maks. izlazni nivo = $120 \text{ dBmV} - 7,5 \log (64 - 1) \text{ dB} - 3 - 0 - (72 \text{ dB} - 60) / 2 = 97,50 \text{ dBmV}$.

Radni izlazni nivo signala iz pojačivača izračunava se kao:

$$V_R = V_{\text{srednji}} = (V_{\text{izmax}} + V_{\text{izmin}}) / 2.$$

Izračunavanje odnosa S/N pojačivača

Odnos S/N pojačivača izračunava se na osnovu izraza:

$$S/N \text{ (dB)} = V_o - (N_t + N_F + G) - 10 \log N - 10 \log p,$$

gde je V_o – izlazni nivo, $V_o = V_{\text{max}} - 7,5 \log (n - 1)$.

Odnos S/N na izlazu pojačivača, kada je poznat šum jednog od pojačivača vezanih u kaskadi, izračunava se:

$$S/N \text{ (dB)} = S/N1_{\text{amp}} - 10 \log N.$$

PRIMER:

Za pojačivač *Televes, ref.4513*:

za $n = 64$, $V_{\text{max}} = 120 \text{ dB}$, $V_o = V_{\text{max}} - 7,5 \log (n - 1)$,

$$V_o = 120 - 13,5 = 106,5 \text{ dBmV}.$$

Za jedan pojačivač: $S-N1 = 106,5 \text{ dBmV} - (1,8 \text{ dB} + 8 \text{ dB} + 36 \text{ dBmV}) - 10 \log 1 = 60,7 \text{ dB}$.

Za dva pojačivača: $S/N2 = 106,5 \text{ dBmV} - (1,8 \text{ dB} + 8 \text{ dB} + 36 \text{ dBmV}) - 10 \log 2 = 57,7 \text{ dB}$.

Za 4 pojačivača: $S/N4 = 106,5 \text{ dBmV} - (1,8 \text{ dB} + 8 \text{ dB} + 36 \text{ dBmV}) - 10 \log 4 = 54,7 \text{ dB}$.

CTB se izračunava na osnovu izraza:

$$CTB1 = CTB_{\text{ref}} - 2*(V_R - V_{\text{max}}),$$

gde je:

- CTB1 – izračunati nivo CTB za jedan pojačivač,
- CTB_{ref} – referentni CTB dat od strane proizvođača,
- V_{max} (dBmV) – maksimalni izlazni nivo pojačivača, pri kome je odnos signal – unakrsna modulacija $S/I \geq 60 \text{ dB}$ – (izračunava se ili uzima iz kataloga),
- V_R (dBmV) – radni nivo pojačivača, izračunava se kao

$$V_R = V_{\text{srednji}} = (V_{\text{izmax}} + V_{\text{zmin}}) / 2.$$

U slučaju više kaskadno vezanih pojačivača, CTB se izračunava na osnovu:

$$CTBK = CTB1 - 20 \log N,$$

gde je N – broj planiranih pojačivača.

PRIMER:

Za jedan pojačivač za CTB dobija se:

$$CTB1 = CTB_{ref} - 2*(VR - V_{max}) = 65 \text{ dB} - 2*(92,65 \text{ dBmV} - 106,5 \text{ dBmV}),$$

$$CTB1 = 92,5 \text{ dB}.$$

Za četiri pojačivača za CTB dobija se:

$$CTB4 = CTB1 - 20 \log 4 = 92,5 \text{ dB} - 12,04,$$

$$CTB4 = 80,45 \text{ dB} > 60 \text{ dB}.$$

CSO se izračunava na osnovu izraza:

$$CSO1 = CSO_{ref} - (VR - V_{max}),$$

gde je CSO_{ref} – referentni nivo CSO dat od strane proizvođača.

U slučaju više kaskadno vezanih pojačivača CSO se izračunava na osnovu:

$$CSO_k = CSO1 - 10 \log N.$$

PRIMER:

Za jedan pojačavač za CSO1 dobija se:

$$CSO1 = CSO_{ref} - (VR - V_{max}) = 62 \text{ dB} - (92,65 \text{ dBmV} - 106,5 \text{ dBmV}),$$

$$CSO1 = 75,85 \text{ dB}.$$

Za četiri pojačivača za CSO dobija se:

$$CSO4 = CSO1 - 10 \log 4 = 75,85 \text{ dB} - 6,02,$$

$$CSO4 = 69,8 \text{ dB} > 60 \text{ dB}.$$

Za N pojačivača u kaskadi CSO se izračunava na osnovu izraza:

$$CSO_N = CSO_1 - 15 \log N,$$

a za N pojačivača različitih CTB na osnovu izraza:

$$CSO_N = -15 \log (10^{-CTB1/15} + 10^{-CTB2/15} + 10^{-CTBn/15}).$$

16.11. KLJUČNI POJMOVI

Kablovska televizija. Intermodulacioni produkti. Parazitni produkti drugog reda. Parazitni produkti trećeg reda. KDS. CATV. HFC. FTTH. KDS. FM. COFDM. CTB. CSO. MMDS. MAC. RF. QPSK. QAM. PLC. ADSL. Prsten. Zvezda. Mreža. Modulator. Transmodulator. Glavna stanica. Antenski sistem.

16.12. PITANJA I ZADACI ZA OBNAVLJANJE GRADIVA

1. Koji sve elementi čine glavnu stanicu?
2. Koji se frekvencijski opseg koristi za distribuciju multimedijalnih signala od glavne stanice do korisnika (direktni smer) i od korisnika do glavne stanice (povratni smer)?
3. Zašto postoji asimetrija u propusnom opsegu za direktni i povratni smer?
4. Kada se koristi modulator, a kada procesor u glavnoj stanici?
5. Koju funkciju vrši COFDM/PAL modulator, a koju QPSK/PAL transmodulator?
6. Kakva je razlika između koaksijalne i HFC mreže?
7. Navesti i ukratko objasniti osnovne nivoe kablovsko-distributivnog sistema.
8. Skicirati i objasniti sledeće razvode KDS-a: a) prolazni razvod, b) zvezdasti razvod i c) odvodni razvod.
9. Kako se nazivaju mreže u kojima se u svim nivoima koriste: a) optički kablovi, b) koaksijalni kablovi, c) kombinacija koaksijalnih i optičkih kablova?
10. Objasniti razliku između ADSL i HFC mreže kod prenosa multimedijalnih signala.
11. Na koji način funkcionišu MMDS sistemi?
12. Objasniti princip prenosa multimedijalnih signala preko elektro-energetskih vodova.
13. Kakva je razlika između ADSL i PLC modema?
14. Na koji način se vrši smanjenje zračenja kod PLC mreža?
15. Koja je uloga CMTS jedinice kod kablovskog interneta u glavnoj stanici?
16. Zašto se javljaju intermodulacioni produkti?
17. Koje su karakteristike intermodulacionih produkata drugog reda, a koje trećeg?
18. Šta znače skraćenice CTB i SCO?

17 |

POSTUPCI MODULACIJE DIGITALNIH SIGNALA U DVB-T, DVB-C I DVB-S TELEVIZIJI

Signali koji se pojavljuju na izlazu uređaja (mikrofona, kamere, magnetoskopa) nazivaju se signali u osnovnom (prirodnom ili fizičkom) opsegu učestanosti ili signali poruke. Ako bi se takvi signali prenosili i ako se njihov spektar ne bi menjao, imali bismo prenos signala u osnovnom ili prirodnom opsegu učestanosti. Signali u osnovnom opsegu ne mogu se prenositi na velike daljine zbog slabljenja medijuma kojim se prenose. Ako bi se signali prenosili vazdušno (bežično), bile bi potrebne predajne antene velikih dimenzija (fizička dužina antene morala bi da iznosi bar $1/10$ talasne dužine signala koji prenosi). Na primer, ako bi se prenosio zvuk frekvencije 1 kHz, bila bi potrebna predajna antena dužine 75 km, ako bi se taj zvuk od 1 kHz na neki način transponovao u noseći signal frekvencije 100 MHz, bila bi potrebna antena mnogo manje dužine (manje od 1 m). Izborom viših učestanosti nosioca dolazi se u domen u kome su antene prihvatljivih dimenzija. Modulacije se koriste kada se želi da se signal sa što manje slabljenja i izobličenja prenese bežičnim putem ili žičanim medijumima.

Postupak obrade nosećeg signala (pomoćnog) u kome se menjaju neki od njegovih parametara (amplituda, frekvencija ili faza) saglasno promenama signala poruke (signala u osnovnom opsegu) naziva se modulacija. Modulacijom se spektar signala iz osnovnog opsega pomera u onaj deo frekvencijskog opsega u kome korišćeni prenosni medijum ima povoljnija prenosna svojstva. Osnovna svrha postupka modulacije jeste da se signal koji je potrebno preneti tako obradi da bude podesan za prenos. Nosilac poruke naziva se modulišući signal, dok se pomoćni periodični signal naziva nosilac. Signal koji predstavlja rezultat obrade naziva se modulisani signal. On se svojim osobinama mnogo bolje prilagođava prenosnim karakteristikama raspoloživog medijuma i prenosi se sa što manje slabljenja.

Proces obrade modulisanog signala u prijemniku, s ciljem da se iz njega izdvoji modulišući signal, naziva se demodulacija. U osnovi, to je proces

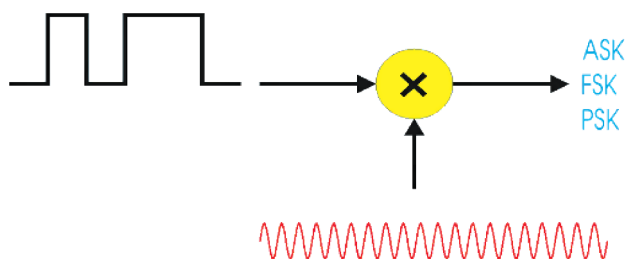
koji je inverzan procesu obrade signala pri modulaciji. Dobijeni signal na izlazu iz demodulatora naziva se demodulisani signal. Modulacija i demodulacija predstavljaju dva povezana procesa obrade u prenosu signala. Sklop kojim se obavlja modulacija naziva se modulator, a sklop u kome se obavlja demodulacija – demodulator. Zajednički naziv za modulator i demodulator jeste modem. Modulacioni postupci mogu da budu analogni i digitalni.

17.1. DIGITALNI MODULACIONI POSTUPCI

Kod digitalnih modulacionih postupaka, talasni oblik nosećeg signala uvek je sinusoidalan. Modulišući signal je digitalan i predstavljen je nizom logičkih „0” i „1”. Digitalni signal, u svom osnovnom (prirodnom) obliku, ima ograničenu snagu i opseg učestanosti, pa nije pogodan za prenos na daljinu zbog velikog slabljenja kroz medijum kojim se prenosi i zbog širenja impulsa u vremenu, što dovodi do pojave intersimbolne interferencije. Kao i kod analognih signala, i kod digitalnih postoje razni modulacioni postupci za modulaciju digitalnih signala:

- digitalna amplitudska modulacija (*Amplitude Shift Keying*, ASK),
- digitalna frekventijska modulacija (*Frequency Shift Keying*, FSK) i
- digitalna fazna modulacija (*Phase Shift Keying*, PSK).

U sva tri slučaja, modulacija se vrši promenom nekog od parametara (amplituda, frekvencija ili faza) nosećeg signala (sinusoidalnog signala), u skladu s vrednostima signala podatka. Digitalni prenos obavlja se, najčešće, faznom ili frekventijskom modulacijom, dok se amplitudna modulacija koristi mnogo manje. Princip digitalnih modulacija prikazan je na slici 17.1.



Slika 17.1. Princip digitalnih modulacija

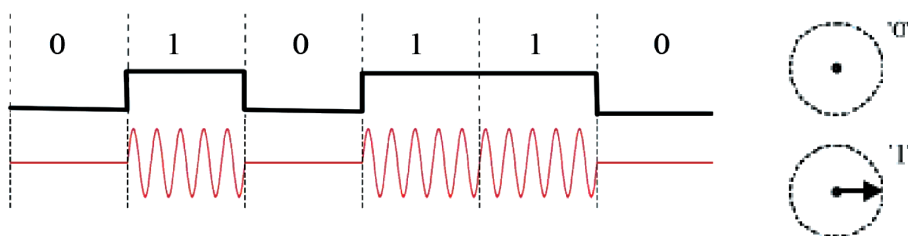
Kombinacijom ova tri osnovna postupka može se dobiti veliki broj različitih modulacija. Kombinacijom dva digitalno fazno modulisana

signala (PSK) s ortogonalnim nosiocima dobija se novi modulacioni postupak, koji se naziva digitalna kvadratura fazna modulacija (*Quadrature Phase Shift Keying*, QPSK). Modulacijom amplitude i faze nosioca može se dobiti modulacija koja se naziva digitalna kvadratura amplitudska modulacija (*Quadrature Amplitude Modulation*, QAM), itd.

Digitalne modulacije imaju određene prednosti u odnosu na analogne. To su, pre svega, jednostavna implementacija, mala vrednost verovatnoće greške pri malim vrednostima odnosa signal–šum, dobre performanse pri prenosu preko kanala s fadingom i minimalna širina frekventijskog opsega.

17.2. DIGITALNA AMPLITUDSKA MODULACIJA

Kod digitalne amplitudske modulacije (ASK), modulišući signal predstavljen je s dve binarne vrednosti različitih amplituda. Uobičajeno je da je jedna amplituda različita od nule, a druga je nula. Noseći signal je prostoperiodičnog oblika. Modulisani signal dobija se množenjem ova dva signala i predstavljen je prisustvom i odsustvom nosioca, slika 17.2.

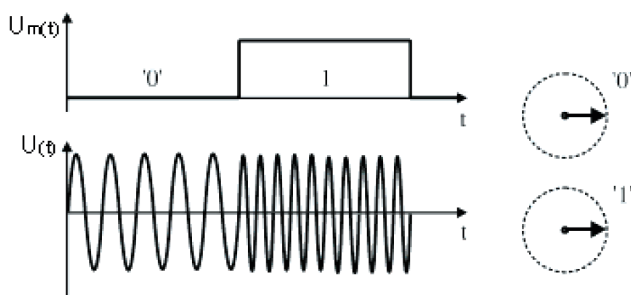


Slika 17.2. Digitalna amplitudska modulacija

Modulacija ASK koristi se za prenos digitalnih signala optičkim vlaknima tako što jedan signalizacioni element predstavlja prisustvo svetlosti, a drugi odsustvo svetlosti.

17.3. DIGITALNA FREKVENCIJSKA MODULACIJA

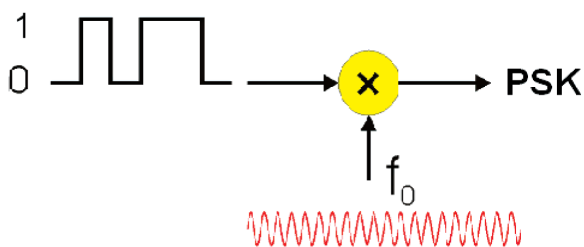
Kod digitalne frekventijske modulacije (FSK), modulisani signal predstavljen je s dve binarne vrednosti modulišućeg signala različite učestanosti f_1 i f_2 nosećeg signala, slika 17.3. Obično su učestanosti pomerene u odnosu na noseću učestanost f_c za isti iznos Δf , tako da je $f_1 = f_c - \Delta f$ i $f_2 = f_c + \Delta f$. FSK modulacija manje je osetljiva na šum od ASK modulacije.



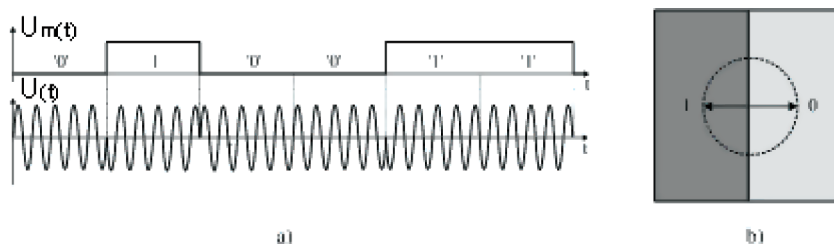
Slika 17.3. Digitalna frekvencijska modulacija

17.4. DIGITALNA FAZNA MODULACIJA

Kod digitalne fazne modulacije (PSK), faza nosioca menja se u skladu s promenom digitalnog signala koji treba preneti. PSK modulacija s dve vrednosti faze naziva se 2-PSK ili BPSK (*Binary Phase Shift Keying*). Na slici 17.4 prikazan je princip formiranja digitalne fazne modulacije gde se na ulaz modulatora (kola za množenje) dovode modulišući i noseći signal.



Slika 17.4. Princip digitalne fazne modulacije



Slika 17.5. Digitalna fazna modulacija (PSK)

Na slici 17.5 a) dat je izgled modulisanog signala, a na slici 17.5 b) vektorski dijagram s obeleženim zonama mogućih vrednosti faze. Sa slike se vidi da binarnom signalu „0” odgovara faza $\theta = 0^\circ$, a binarnom „1” faza $\theta = 180^\circ$. Ovo je najprostiji slučaj fazne modulacije. Faza nosećeg

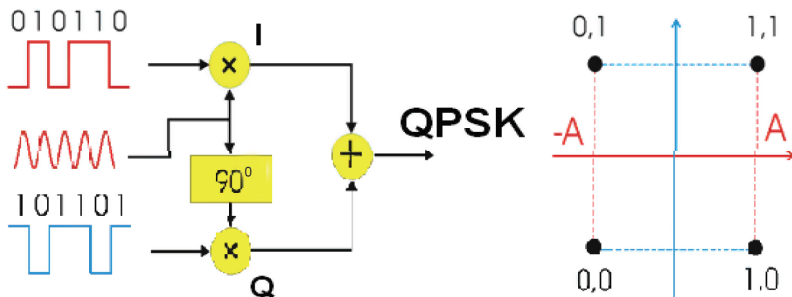
sinusoidalnog signala posle modulacije ima vrednost 0° za logičku „0” i 180° za logičko „1”. Ovakva modulacija vrlo je imuna na superponirane smetnje jer je zaštitna zona gde može da se promeni faza vrlo široka i dostiže do 180° , slika 17.5 b). Što je ova zona šira, oblast verovatnoća greške je manja. To se vidi na vektorskom dijagramu, slika 17.5 b), gde su različitim šrafurama označena moguća stanja faze.

Kada faza nosećeg signala može da primi četiri vrednosti modulišućeg (digitalnog) signala (45° , 135° , 225° i 315°), ili četiri moguća para binarnih podataka (brojeva): 00, 01, 10, 11, tabela 17.1, onda se ovakav vid modulacije naziva kvadratura faza modulacija i označava se sa QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*) ili 4-PSK modulacija, slika 17.6.

Tabela 17.1. Oblici signala kvadrature faze modulacije – QPSK

simboli	oblik signala	faza
00	$-\cos(2\pi fct) - \sin(2\pi fct)$	$5\pi/4$
01	$-\cos(2\pi fct) + \sin(2\pi fct)$	$3\pi/4$
10	$\cos(2\pi fct) - \sin(2\pi fct)$	$7\pi/4$
11	$\cos(2\pi fct) + \sin(2\pi fct)$	$\pi/4$

Četiri faza pomeraja moguće je realizovati sa 2 bita po simbolu (2^2). Simbol predstavlja broj bita po uzorku. Broj uzoraka u jednoj sekundi zove se bod (*baud*, *Bd*). Svaki uzorak nosi deo informacija, tj. simbol. Broj bodova i broj simbola u sekundi jednaki su. Tehnika modulisanja određuje broj bitova po simbolu. Brzina prenosa predstavlja količinu podataka (bitova) prenesenih kanalom u sekundi i jednaka je broju simbola u sekundi, pomnožena brojem bitova po simbolu. Ako telekomunikaciona linija prenosi 2.400 Bd i ako se koristi 2 bita po simbolu (2^2 , QPSK), može da se postigne brzina prenosa podataka od $2.400 \times 2 = 4.800$ b/s. Ako se koristi 4 bita po simbolu (QAM16), može da se postigne brzina prenosa podataka od 9.600 b/s. Povećanjem broja bita po simbolu postiže se veća brzina prenosa podataka.

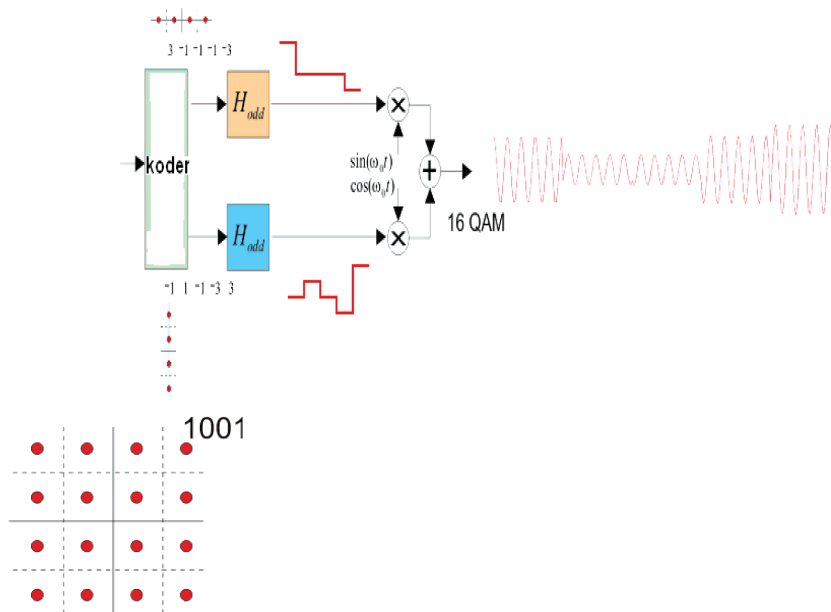


Slika 17.6. QPSK modulacija

QPSK modulacija predstavlja dvojni 2-PSK modulaciju. Modulirani signal formira se od dva 2-PSK modulatora, gde na ulaz jednog modulatora dolazi noseći signal sa nultom fazom (sinusni signal), a na ulaz drugog noseći signal s pomerenom fazom od 90° (kosinusni signal), slika 17.6.

Pre ulaska modulišućeg signala u QPSK modulator obavlja se serijsko-paralelna konverzija digitalnog signala i podela na parne i neparne bitove (po 2 bita). Parni (ili neparni) bitovi podatka (bitovi koji se nalaze na pozicijama 1, 3, 5 itd.) vode se na ulaz I-modulatora i koriste se za modulisanje I-komponente nosećeg signala, dok se neparni (ili parni) bitovi podatka (bitovi koji se nalaze na pozicijama 2, 4, 6 itd.) vode na ulaz Q-modulatora i koriste se za modulisanje Q-komponente nosećeg signala. Modulirani signali s izlaza modulatora (I i Q) sabiraju se i formira se modulirani QPSK signal. Ovakvim vidom modulacije postiže se ili da se udvostruči brzina prenosa podataka u odnosu na 2-PSK modulaciju za istu širinu propusnog opsega kanala, ili da se za prenos podataka istom brzinom, kao i u slučaju 2-PSK modulacije, iskoristi samo polovina od ukupne širine propusnog opsega sistema. Modulirani QPSK signal sastoji se zapravo od dva nezavisno modulirana signala, I i Q, kod kojih se faze nosećih signala nalaze u kvadraturi, tj. međusobno su pomerene za 90° .

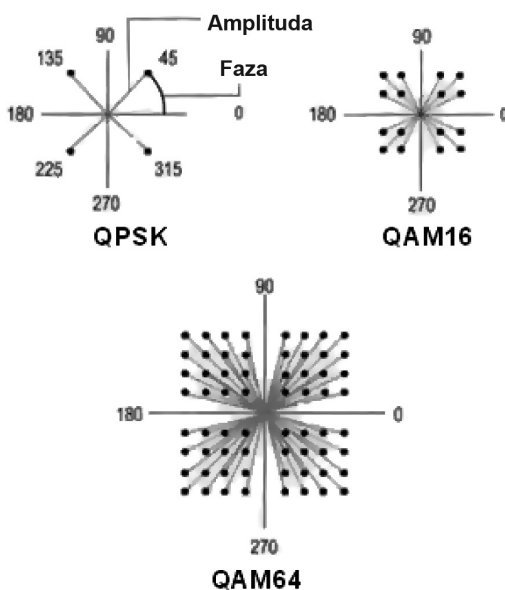
QPSK modulacija šalje dvostruko više digitalnih informacija u odnosu na 2-PSK modulaciju za istu širinu kanala, ali je manja zaštitna zona, pa je potreban kvalitetniji kanal, odnosno veći odnos signal–šum signala u odnosu na 2-PSK modulaciju.



Slika 17.7. QAM16 (16 PSK) modulacija

Postoje modulacione šeme i sa 8 kombinacija gde se za slanje koriste 3 bita po simbolu; sa 16 kombinacija, gde se za slanje koriste 4 bita po simbolu (četiri amplitude i četiri faze), slika 17.7; 32 kombinacije, gde se za slanje koristi 5 bitova po simbolu, i tako redom do 256 kombinacija. Modulaciona šema sa 8 kombinacija naziva se 8-PSK (QAM 8), sa 16 kombinacija 16 PSK (QAM16), sa 32 kombinacije 32-PSK (QAM 32), sa 256 kombinacija 256-PSK (QAM256). Sve ove modulacione šeme predstavljaju kombinaciju ASK i PSK modulacije. To znači da se združenim dejstvom I i Q signala vrši promena amplitude i faze nosećeg signala. Na vektorskom dijagramu proces modulacije manifestuje se u vidu promene dužine (amplitudna modulacija) i faze (fazna modulacija) vektora. Dužinu vektora određuje udaljenost tačke od koordinatnog početka, a fazu vektora ugao koji čini prava povučena kroz koordinatni početak i pozitivni smer x-ose, slika 17.8.

Na slici 17.8 pokazane su 4 različite kombinacije koje mogu da se prenesu sa 2 bita po simbolu – **QPSK**; 16 različitih kombinacija koje mogu da se prenesu sa 4 bita po simbolu – **QAM16**, i 64 različite kombinacije koje mogu da se prenesu sa 6 bitova po simbolu – **QAM64**. Ove kombinacije koriste se kod ADSL modema.

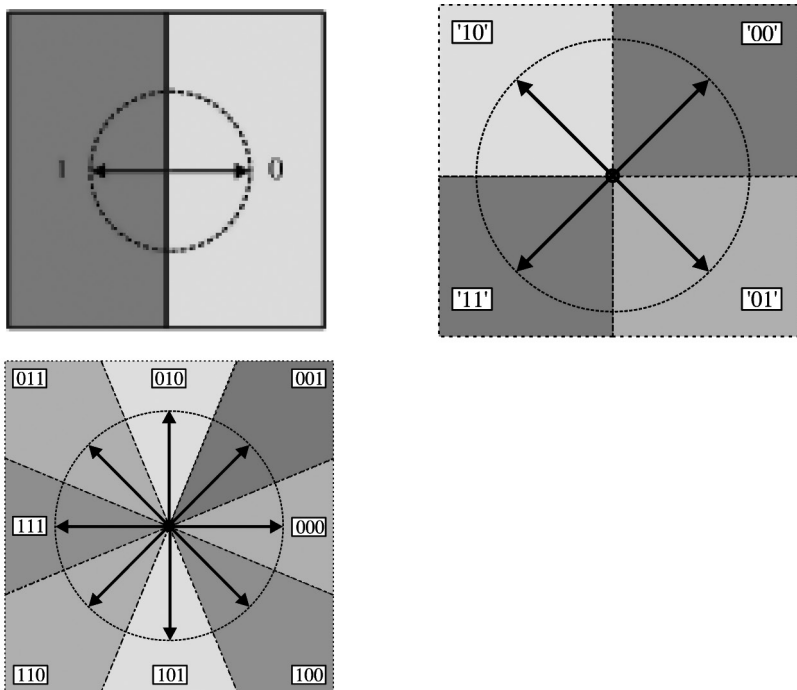


Slika 17.8. QPSK, QAM16 i QAM64 modulacija

Konstelacioni dijagrami su dijagrami koji pokazuju dozvoljene kombinacije amplitude i faze. Svaki standard za brze modeme ima svoj konstelacioni dijagram i može da komunicira samo s modemom koji ima isti takav dijagram. Kada u konstelacionom dijagramu ima mnogo tačaka

(128QAM, 256QAM), čak i mali šum u amplitudi ili fazi može da izazove grešku i da proizvede mnoge pogrešne bitove. Da bi se smanjila takva mogućnost, standardi za brze modeme predviđaju ispravljanje grešaka, zbog čega u svaki uzorak unose dodatni bit.

Na slici 17.9 prikazani su regioni odlučivanja (fazne zone), nosećeg signala za PSK, QPSK i 8-PSK modulaciju. Povećanjem broja bita, modulacije PSK, QPSK, 8-PSK, 16-PSK, 32-PSK, postaju efikasnije u pogledu širine kanala, ali zahtevaju bolji odnos signal–šum, odnosno zahtevaju kvalitetniji prenosni put.



Slika 17.9. Regioni odlučivanja za PSK, QPSK i 8-PSK modulaciju

U tabeli 17.2 prikazani su neki parametri različitih modulacionih postupaka. Pri izboru nekog tipa modulacije primenjuju se sledeći kriterijumi:

- efektivna širina kanala veze (ili brzina) koja se meri u (bit/s)/Hz;
- minimalna vrednost odnosa signal–šum za prenos bez greške.

Tabela 17.2. Neki parametri različitih modulacionih postupaka

Parametar	2-PSK (BPSK)	4-PSK (QPSK)	8-PSK	16-PSK
Broj faznih stanja	2	4	8	16
Broj stanja amplituda	1	1	1	1
Broj bita po simbolu	1	2	3	4
Širina kanala [(bit/s)/Hz]	1	2	3	4
Minimalni nivo signal–šum pri BER = 10 ⁻⁶ [dB]	10,7	13,7	18,8	24,4

17.5. ODREĐIVANJE BRZINE PRENOSA

Za kanal širine 8 MHz, s efikasnošću od 80%, može da se prenese 6,96 × 10⁶ simbola. Bitska brzina određuje se na osnovu izraza:

$V_{bit} = m \cdot 6,96 \cdot 10^6 \text{ bit/s,}$

gde je 6,96 konstanta, a m broj bitova za predstavljanje simbola, i zavisi od tipa modulacije. Za 64-QAM, m = 6 dobija se:

$V_{bit} = 6 \cdot 6,96 \cdot 10^6 = 41,76 \cdot 10^6 \text{ bit/s} = 41,76 \text{ Mbit/s.}$

U tabeli 17.3 prikazane su vrednosti bitske brzine za različite vidove QAM modulacije, za kanal širine 8 MHz sa efikasnošću od 80%.

Tabela 17.3. Vrednosti bitske brzine za različite vidove QAM modulacije

Modulacija	bit/simbol	V _{bit} [Mbit/s]
16-QAM	4	27,48
32-QAM	5	34,80
64-QAM	6	41,76
256-QAM	8	55,68

17.6. OFDM MODULACIJE

Za razliku od PSK i QAM modulacionih postupaka, kod kojih je noseći signal s jednom frekvencijom, kod OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplex*) modulacije digitalni signal moduliše se pomoću više nosećih signala, čije su frekvencije locirane na frekvencijskoj osi, jedna pored druge. Ukupni opseg kanala deli se na N-podopsega. Svaki podnosilac u podopsegu moduliše se pojedinačnim simbolom, a podopsezi se posle frekvencijski multipleksiraju. Metode modulacije s mnogo nosećih signala (*Multi carrier system*) imaju prednosti nad modulacijama s jednim nosećim

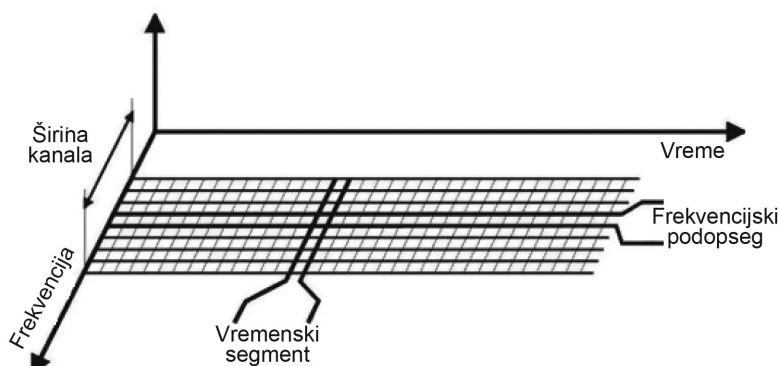
signalom jer su zaštićenije kod prenosa digitalnih signala. Koristi se kod zemaljske radio-difuzije (DVB-T).

Osnovni postupci OFDM modulacije jesu:

- deljenje kanala,
- ubacivanje podnosilaca,
- ubacivanje zaštitnog intervala,
- sinhronizacija podnosilaca.

DELJENJE KANALA

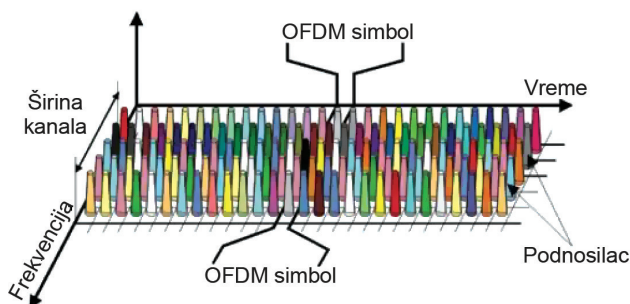
Zemaljski kanal deli se na vremenski i frekvencijski domen, tako da se RF kanal organizuje kao set uskih „frekvencijskih podopsega” i set malih susednih „vremenskih segmenata”, slika 17.10.



Slika 17.10. Deljenje kanala po frekvenciji i vremenu

UBACIVANJE PODNOSILACA

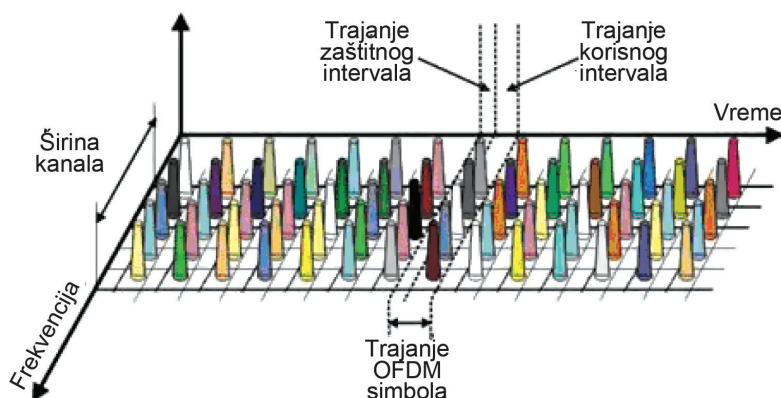
Unutar svakog vremenskog segmenta, nazvanog OFDM simbol, ubacuje se jedan podnosilac u svaki frekvencijski podopseg. Da bi se izbegla interferencija među nosiocima, ubacuje se razmak između nosioca koji je jednak inverznom trajanju simbola, drugim rečima, podnosioci su ortogonalni, slika 17.11.



Slika 17.11. Ubacivanje podnosilaca

UBACIVANJE ZAŠTITNOG INTERVALA

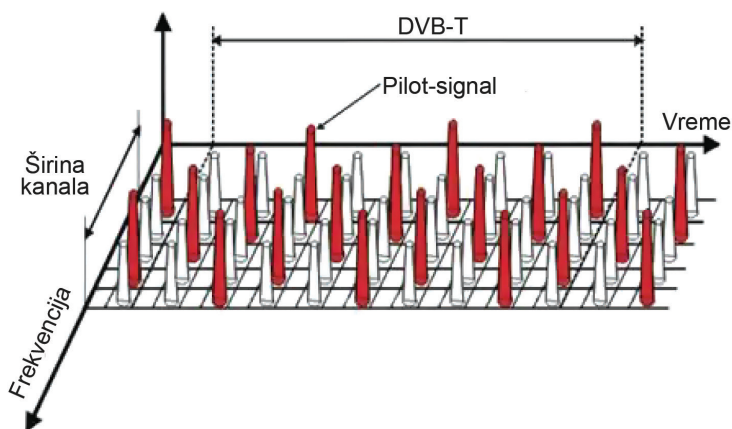
Podopsezi se u prijemniku razdvajaju primenom brze Furijeove transformacije (FFT – *Fast Fourier transform*). Važno je da nema uticaja međusimbolske interferencije i interferencije među nosiocima. Interferencije su posledice uticaja prenosnog medija koji se koristi. Da bi se izbegla međusimbolska interferencija, ubacuje se zaštitni interval između OFDM simbola, slika 17.12.



Slika 17.12. Ubacivanje zaštitnog intervala

SINHRONIZACIJA PODNOSILACA

Da bi se signal u prijemniku pravilno demodulisao, vrši se sinhronizacija podnosilaca. Sinhronizacioni signal vremenski se ubacuje uvek kada se pojavi svaki OFDM simbol, slika 17.13.



Slika 17.13. Sinhronizacija podnosilaca

17.7. KLJUČNI POJMOVI

Modulišući signal. Noseći signal. Amplituda. Faza. Digitalna amplitudska modulacija. Digitalna frekvencijska modulacija. Digitalna fazna modulacija. Signal–šum. Binarni signal. Zaštitna zona. DVB-T. DVB-C. DVB-S. ASK. QPSK. QAM. PSK. BPSK. OFDM. Konstelacioni dijagram. Bitska brzina. Podnosilac. Zaštitni interval. Sinhronizacija.

17.8. PITANJA I ZADACI ZA OBNAVLJANJE GRADIVA

1. Zašto se signali u osnovnom opsegu ne mogu prenositi na velike daljine?
2. Kakav je talasni oblik nosećeg signala kod digitalnih modulacija?
3. Koje su prednosti digitalnih modulacija u odnosu na analogne?
4. Objasniti QPSK modulaciju.
5. Koja modulacija je osjetljivija na šum – FSK (digitalna frekvencijska modulacija) ili ASK (digitalna amplitudska modulacija)?
6. Koja se modulacija dobija ako se za modulišući signal koriste 4 bita po simbolu?
7. Šta pokazuje konstelacioni dijagram?
8. Koji se kriterijumi primenjuju pri izboru tipa modulacije?
9. Kako povećanje broja bita po simbolu utiče na širinu kanala i odnos S/N?
10. Koji su osnovni postupci OFDM modulacije?
11. Gde se koristi OFDM modulacija?
12. Za kanal širine 8 MHz sa efikasnošću od 80%, ako se koristi QAM modulacija sa 8 bit/simbol, kolika bitska brzina može da se postigne?

18 | INTERNET-PROTOKOL TELEVIZIJA – IPTV

Internet-televizija jeste jedan od oblika digitalne televizije koja se emituje preko globalnih širokopojasnih integrisanih sistema za digitalni prenos sa internet-pristupom, koji omogućuje krajnjim korisnicima praćenje digitalnih televizijskih i radio-kanala, kao i korišćenje raznovrsnih multimedijalnih i interaktivnih sadržaja. Televizijske pakete sa internet-protokolom – **IPTV** (*Internet Protocol TV*), korisnicima isporučuju u zakup operateri ili TV provajderi, s tim što postoji mogućnost da se za prikazivanje IPTV paketa jednog operatera može koristiti internet i drugog operatera. Da bi se omogućilo gledanje IPTV programa, potrebna je stabilna internet-veza sa minimalnom bitskom brzinom od 5 Mbps, a preporučljivo je 10 Mbps. Za IPTV nije potrebna ni zemaljska, ni kablovska, ni satelitska televizija. Pored interneta, potreban je još i Set-Top Box ili STB uređaj, koji ima ulogu da obavi prijem, dekodovanje i deskremblovanje kodovanog digitalnog signala koji se prima preko internet-mreže na ulazu, a na osnovu zahteva krajnjeg korisnika, koji se upućuje internet-provajderu radi isporuke TV kanala na koje se krajnji korisnik pretplatio kod tog provajdera.

Mrežna arhitektura IPTV servisa sastoji se od 4 segmenta. Prvi segment naziva se **hed-end** (*Head-end*). To je adapter između mreže samog TV operatera i različitih izvora TV programa, koji mogu biti u različitim digitalnim formatima. Hed-end prikuplja TV signale iz različitih izvora na jedno mesto da bi bili distribuirani do krajnjih korisnika. Izvori TV signala mogu biti studiji raznih TV centara, zemaljski TV predajnici, sateliti, hed-end platforme drugih IPTV operatera ili neki drugi vlasnici TV sadržaja. Ukoliko je potrebno, hed-end obavlja prekodovanje signala, proverava prava krajnjeg korisnika i prosleđuje instrukcije krajnjim korisnicima za prijem svakog pojedinačnog TV kanala, kao i skremblovanje signala, koje se obavlja da bi se onemogućili neautorizovani krajnji korisnici da primaju taj signal.

Drugi segment IPTV servisa jeste **transportna mreža**, koja nosi video-sadržaj u formatu prilagođenom za prenos od hed-enda do trećeg IPTV segmenta, koji se zove **pristupna mreža**. Ona prenosi video i audio sadržaj do krajnjeg korisnika. Transportna mreža može biti realizovana na različite načine, ali kada je u pitanju IPTV servis, onda i odgovarajuća transportna mreža mora biti u IPTV tehnologiji. Pristupna mreža završava se na kućnoj mreži krajnjeg korisnika, odnosno na digitalnom pretplatničkom modemu **ADSL** (*Asymetric Digital Subscriber Line*), koji se nalazi kod krajnjeg korisnika, a koji je ethernet-kablom povezan sa STB uređajem korisnika, a ovaj je konačno priključen na TV prijemnik krajnjeg korisnika. STB uređaj obavlja dekodovanje i deskremblovanje TV signala na osnovu zahteva krajnjeg korisnika koji upućuje hed-endu i midlveru (*Middleware*) radi isporuke TV kanala na koje se krajnji korisnik pretplatio kod TV provajdera. U poruci koja se prosleđuje od STB-a do midlvera nalaze se i informacije o identitetu korisnika i o zahtevu koje TV kanale on želi da prati.

Četvrti softverski segment – **midlver**, opslužuje i upravlja svim delovima IPTV sistema, obavlja nadzor i komunikaciju IPTV sistema i njegovih korisnika. Na osnovu podataka iz hed-enda, transportne i pristupne mreže, midlver u svojoj bazi podataka proverava da li je taj korisnik pretplaćen na tražene TV kanale i na osnovu toga šalje STB-u instrukcije kako da primi traženi sadržaj. Softver za komunikaciju između midlvera i STB-a nije standardizovan pa je potrebno da midlver i STB budu od istog proizvođača. STB omogućuje korisniku prikazivanje TV signala na svom TV prijemniku pomoću daljinskog upravljača. Novi digitalni TV prijemnici imaju već ugrađen STB uređaj i **HDMI** (*High Bandwidth Digital Multimedia Interface*) ulaz za priključivanje digitalnih sadržaja.

Pored mogućnosti gledanja IPTV programa na klasičan način na TV prijemniku, IPTV može da se prikazuje i na računaru sa odgovarajućom hardversko-softverskom karticom, koja sadrži koder i plejer za gledanje TV programa, kao i listu TV kanala i pojedinačnih TV programa. Sa IPTV programom nema potrebe za pretragom frekvencija za svaki TV kanal posebno, kao na klasičnom televizoru. Pojedini IPTV provajderi imaju u ponudi i po 400 najboljih domaćih i stranih kanala. Umesto kupovine novog televizora, IPTV omogućuje korisniku da dobije digitalni TV signal visokog kvaliteta kroz postojeću telefonsku liniju u sopstvenom stanu i da TV program prima i prikazuje na stonom računaru. Takav dolazni TV signal imun je na atmosferske smetnje i omogućuje dvosmernu komunikaciju i dobijanje raznovrsnih interaktivnih multimedijalnih sadržaja.

Tehnologija bežičnog prenosa Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) omogućila je da se IPTV programi mogu slati i bežičnom mrežom pomoću povorke

bita određene bitske brzine, tj. strima koji se formira u koderu emitera. Strim se može primiti bežičnim putem, tj. strimingom (*streaming*) i prikazivati na laptop računarima, kao i na mobilnim „pametnim“ telefonima (*smartphone*), na tabletima i drugim prenosnim uređajima sa odgovarajućim hardversko-softversim aplikacijama i plejerom za praćenje TV programa. Sva bežična tehnologija nalazi se u karticama za bežični prenos, koje se ugrađuju u prenosni uređaj i to je praktično sve što je potrebno za bežično umrežavanje. Kapacitet mobilnog striming-servisa ograničen je propusnom moći servera u telekomunikacionoj kompaniji, pa je ograničen i broj korisnika koji mogu istovremeno da koriste usluge tog provajdera.

TV provajderi isporučuju korisnicima i korisnički portal ili vodič za slaganje liste gledanja onako kako to korisnicima odgovara, a koji omogućuje pretragu programa po kanalima, nazivu i opisu emisije, kao i za interaktivni prikaz programske šeme nekoliko dana unapred (*Video on demand*). Nude se i podsetnici da se bliži vreme omiljene emisije i automatsko prebacivanje na željeni TV kanal da korisnik ne bi propustio omiljene emisije ili filmove. Postoji i mogućnost IPTV usluge TV unazad, što korisniku omogućuje da propuštene TV sadržaje pogleda kada to poželi „premotavanjem“ do određenog broja sati unazad. Takođe, postoji mogućnost pravljenja nekoliko korisničkih profila, tako da više članova domaćinstva mogu imati svako svoj profil sa drugačijim rasporedom TV emisija. Postoji i mogućnost roditeljske zaštite, tj. mogućnost da roditelji zaštite svoju decu od gledanja nepoželjnih programa.

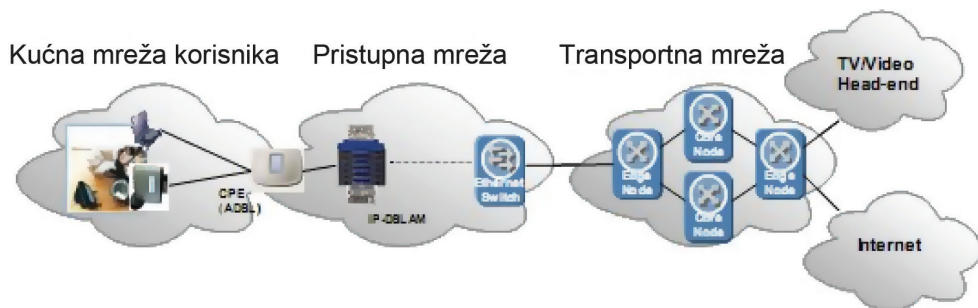
IPTV (*Internet Protocol Television*) predstavlja multimedijalni servis koji podrazumeva prenos digitalnog signala (audio, video, podaci, tekst, grafika) preko zatvorenog mrežnog okruženja pomoću IP paketa. Ima zadovoljavajući visok nivo kvaliteta, pouzdanost i sigurnost tokom prenosa, a omogućuje i uvođenje novih personalizovanih servisa. To je nova generacija televizije, koja za prenos koristi postojeću telefonsku liniju i preko nje prenosi digitalni TV signal u formi IP paketa. Tehnički gledano, IPTV predstavlja isporuku video-sadržaja korišćenjem internet-protokola preko širokopojasnih mreža do krajnjeg korisnika (pretplatnika).

Internet-televizija obavlja prenos digitalnog signala (audio, video, podaci, tekst, grafika) preko otvorene mreže u formi IP paketa i kod nje se ne može garantovati kvalitet, odnosno propusni opseg usled mnogih ograničenja (zagušenja, tj. kolizije paketa, gubitaka paketa i sl.). Internet-televizija nije teritorijalno ograničena, već je dostupna gde god postoji internet-konekcija.

Razlika između IPTV i internet-televizije jeste u tome što se kod IPTV televizije koristi kontrolisano zatvoreno mrežno okruženje

visokog kvaliteta (slično kao kod kablovske televizije), a kod internet-televizije televizijski sadržaj se distribuira po celom svetu otvorenom i neupravljanom javnom internet-mrežom, nižeg kvaliteta, ali i po prilično nižoj ceni. Prikaz slike obavlja se s manjom pouzdanošću, odnosno to je otvorena mreža. Oba okruženja oslanjaju se na istu tehnologiju, ali njihov pristup u dostavljanju IP audio i video sadržaja se razlikuje. Za isporuku sadržaja kod IPTV koriste se UDP, RTP, TCP protokoli, a za internet-televiziju HTTP, RTSP, IGMP. Može se reći da IPTV predstavlja trostruki (*Triple Play*) koncept jer može da obavlja prenos integrisanih usluga, kao što su: slika, podaci i govor (VoIP).

Razlika između IPTV i kablovske televizije u tome je što su kod kablovske televizije svi kanali prisutni na Set-Top Box uređaju, bez obzira da li se prikazuju ili ne, a kod IPTV-a prisutan je samo onaj kanal koji se prikazuje. Zbog toga postoji razlika u brzini promene kanala. Vreme potrebno za promenu kanala kod kablovske televizije gotovo je trenutno, a kod IPTV-a može da iznosi i do nekoliko sekundi. Razlog je taj što su kod kablovske televizije svi kanali prisutni na ulazu STB-a, pa je promena s kanala na kanal gotovo trenutna, a kod IPTV-a prvo se šalje zahtev za promenu kanala, pa se tek onda obavlja promena koja može da traje i do nekoliko sekundi. Kod kablovske televizije infrastruktura je namenski projektovana tako da može da zadovolji najviše zahteve kada je u pitanju bilo koji servis, a IPTV to ne može. Kod IPTV-a može da nastupi kašnjenje paketa (*delay jitter*), što se manifestuje treperenjem slike na ekranu TV prijemnika.



Slika 18.1. Arhitektura mreže IPTV televizije

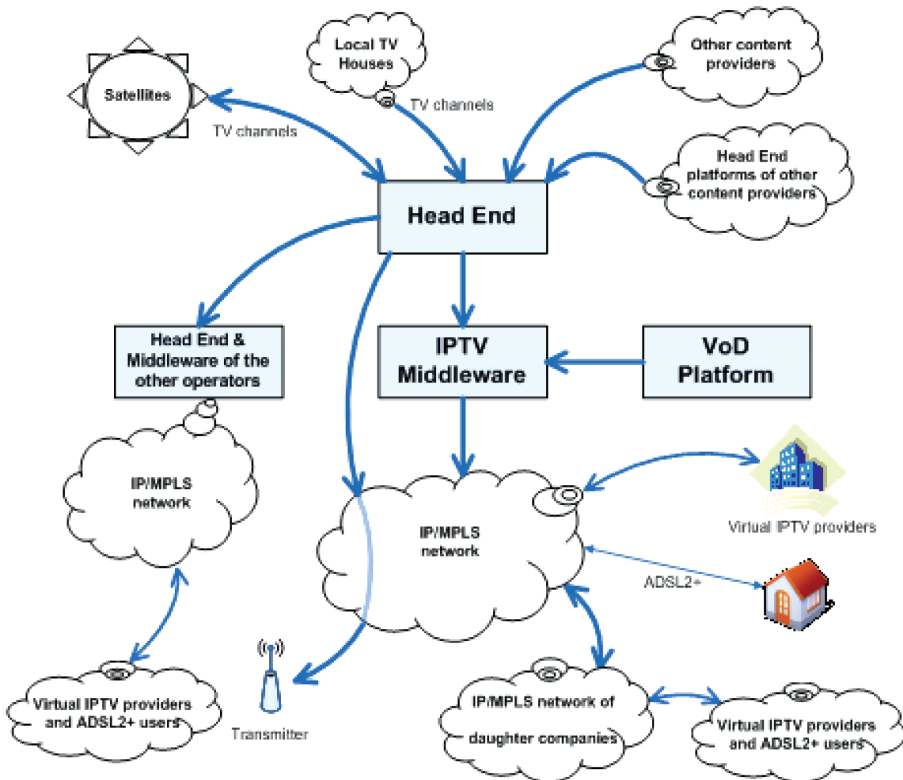
Hed-end platforma, tj. hed-end čvorište, ima sličnu ulogu kao glavna stanica u kablovskoj televiziji. Osnovni elementi arhitekture IPTV sistema su: hed-end platforma, mrežna platforma i oprema kod krajnjeg korisnika CPE (ADSL), slika 18.1. Odatle se obavlja distribucija IP signala krajnjim korisnicima. U njoj mogu da se pojedinim TV kanalima dodaju reklamni programi, informacioni i drugi TV kanali, TV programi lokalnih TV stanica

i slično. Sastoji se od različitih uređaja (antena, modulatora, demodulatora, koda, dekodera, video-servera, rutera,...) koji su dizajnirani tako da mogu da primaju različite video i audio sadržaje, da obavljaju konverziju formata i da paket kanala pripreme za prenos preko IP mreže, slika 18.2. Audio i video sadržaji mogu da se obrađuju u realnom vremenu (*live*) ili mogu da se čuvaju u lokalnim serverima u odgovarajućim formatima (*Video-on-Demand, network-based, Personal Video Recording*).

U hed-endu sakupljaju se svi signali s različitih izvora, preslažu se i šalju preko mreže do krajnjeg korisnika. Funkcija hed-enda može se uopšteno podeliti na tri dela.

Prvi deo hed-enda je antenski prijemni deo, koji uključuje satelitske antene, terestrijalne antene, kablovske razvode koji distribuiraju signale do mrežnog čvorišta.

Drugi deo hed-enda je prijemno-dekoderski i on predstavlja skup integrisanih prijemnih dekodera. Njihov zadatak je da signale koji dođu sa satelita, sa zemaljskih antena, optičkim ili žičnim putem, „raspakuju“, dekoduju, ako je potrebno promene format i stavljaju na raspolaganje sledećem delu mrežnog čvorišta.



Slika 18.2. Hed-end platforma

Treći deo hed-enda je enkoderski deo. On na izlazu daje digitalni sadržaj u formi paketa, koji može da bude u različitim rezolucijama (SD ili HD). Za svaki sadržaj (program) dodeljuje se posebna IP adresa (po jedna za svaki kanal).

Broj hed-end čvorišta zavisi i od toga da li se distribucija sadržaja organizuje na državnom, regionalnom ili lokalnom nivou. Kod manjih mreža s manjim brojem korisnika, funkcije više hed-end čvorišta skoncentrisane su u jedno hed-end čvorište.

Midlver softver opslužuje ceo IPTV sistem. To je skup softverskih aplikacija koji objedinjuje sve komponente IPTV sistema. Zadužen je za opsluživanje korisnika, određuje izgled interfejsa prema krajnjim korisnicima, kontroliše pristup korisnika (autentifikacija), obrađuje zahteve pristigle od korisnika, recimo zahtev za promenu kanala ili zahtev za neki servis, kao što je video na zahtev i neki drugi. Midlver je zadužen da prima sve zahteve od korisnika i da upravlja delovima sistema kako bi se ti zahtevi adekvatno realizovali. On se brine o isporuci traženog IPTV sadržaja korisniku preko IP mreže i STB-a. Kada neki korisnik, preko daljinskog upravljača i STB-a, izabere neki kanal, midlver najpre, korišćenjem uređaja za zaštitu televizijskog sadržaja, utvrđuje da li je datom korisniku dozvoljeno da ga prima, i ako jeste, generiše adekvatna prava pristupa i kriptografske ključeve za enkripciju sadržaja.

U jezgru midlvera nalaze se tri osnovne vrste aplikacija:

- baze podataka, u kojima se smeštaju podaci o raspoloživim sadržajima, podaci o resursima IPTV sistema i njihovom trenutnom stanju, podaci o korisnicima i njihovim tehničkim i komercijalnim karakteristikama i drugi podaci od važnosti za ispravan rad IPTV sistema;
- aplikacije kojima se realizuju usluge IPTV sistema, kao što su nadzor i upravljanje njegovim radnim okruženjem;
- komunikacione aplikacije, preko kojih se ostvaruje i održava veza između IPTV sistema i njegovih korisnika.

Zavisno od tipa sadržaja, midlver određuje kojom vrstom protokola (*unicast* ili *multicast*) određeni sadržaj će se preko transportne mreže prenositi do krajnjeg korisnika.

U hed-endu obavlja se i enkapsulacija, odnosno proces preuzimanja podataka, formiranje IP paketa i dodavanje zaglavlja, odredišnih IP adresa i drugih podataka koji su potrebni da se povinuju određenim protokolima. Tokom procesa enkapsulacije IP sadržaj se prilagođava performansama različitih prenosnih mreža i različitim aplikacijama. Enkapsulacija paketa se obavlja u realnom vremenu, neposredno pre nego što se paketi šalju preko mreže.

Za kompresiju slike koristi se MPEG-4 Simple Profile (SP) i Advanced Simple Profile (ASP) standard, odnosno H.264/ MPEG AVC.

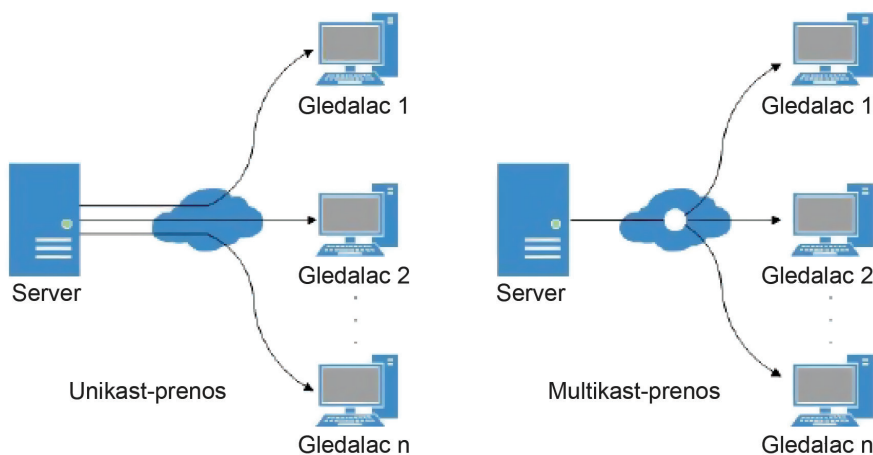
Na medija-serverima obavlja se privremeno skladištenje televizijskog sadržaja. Oni omogućuju skladištenje sadržaja nakon emitovanja programa, ali mogu samo da sadrže ograničene količine televizijskih programa. To znači da televizijski programi koji se nalaze uskladišteni na medija-serveru moraju biti obrisani posle izvesnog vremena da bi se obezbedilo dovoljno prostora za skladištenje drugih programa.

18.1. MREŽNA PLATFORMA ZA DISTRIBUCIJU IPTV SIGNALA

Prenos IPTV kanala od hed-end platforme do krajnjeg korisnika može da se realizuje multikast (*multicast*) i unicast (*unicast*) tehnologijama. Multikast-tehnologija podrazumeva da se određeni sadržaj tokom prenosa kopira i šalje istovremeno većem broju korisnika, a unicast-tehnologija da se određeni sadržaj šalje direktno do određenog korisnika, slika 18.3. IP adrese za ove tehnologije mogu da se dodeljuju na dva načina: statički i dinamički. Statički se adrese dodeljuju tako što svakom uređaju operater koji ga konfiguriše ručno unese IP adresu, kojih može da bude jedna ili više. Dinamički IP adrese dodeljuje poseban uređaj u mreži – DHCP server (*Dynamic Host Configuration Protocol*) uz upotrebu DHCP protokola.

Unicast-prenos je dostavljanje kanala i podataka samo jednom korisniku u okviru mreže korisnika. IP paketi se šalju prema jednom odredištu (jedan server, jedan korisnik). Svaki korisnik dobija istu adresu za povezivanje kada želi da pristupi sadržaju, kao što je IPTV kanal. Upotreba unicast-prenosa nije efikasna u slučaju kada više korisnika dobija iste informacije u isto vreme jer je tada potreban veliki propusni opseg.

Multikast-prenos je proces slanja kanala ili podataka istovremeno korisnicima na više mesta (prijemnika). Posle kodovanja u hed-endu svaki kanal se smešta u IP pakete i šalje prema većem broju odredišta (servera, korisnika). Svaki kanal dobija multikast-adresu, tokom transporta ona se kopira i kopije se šalju svim adresiranim korisnicima. Svi korisnici dobijaju isti signal u isto vreme, baš kao i kod tradicionalnog televizijskog emitovanja. U multikastu jedan kanal se istovremeno dostavlja na adrese više korisnika. Upotrebom posebnih protokola, mreža je usmerena da pravi kopije kanala za svakog primaoca. Ovaj proces kopiranja se dešava u okviru mreže. Kopije se prave u svakom čvoru (ruteru) mreže radi daljeg prosleđivanja ostalim čvorovima mreže. Multikast-sistem predstavlja formu stabla dostave informacija gde čvorovi (ruteri) umnožavaju informacije u obliku grana.

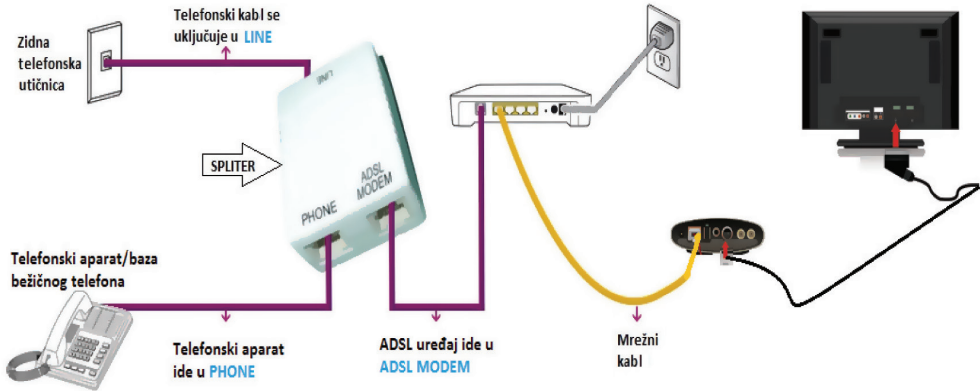


Slika 18.3. Unikast i multikast prenosi

Upotrebom multikast-prenosa postiže se velika ušteda u potrebnom propusnom opsegu u odnosu na unikast-prenos. Iako se multikast-tehnologijom rešava problem isporuke istog sadržaja velikom broju korisnika u isto vreme, ona ne može da se koristi kod određenih servisa koji iziskuje jednoznačni video-tok prema jednom korisniku, kao što su: video na zahtev (*VoD-Video on Demand*), plaćanje po gledanju sadržaja (*PPV – Pay Per View*), usluge prenosa televizijske slike visoke rezolucije (*HDTV*) i uslugu sopstvenog video-rikordera (*PVR – Personal Video Recorder*). Za ovakve usluge koristi se unikast-tehnologija prenosa.

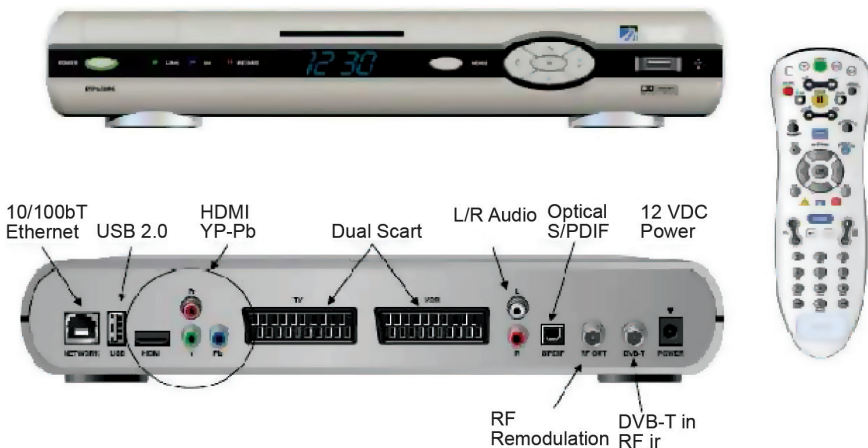
18.2. KUĆNA MREŽA ZA PRENOS IPTV SIGNALA

Za prenos signala od hed-enda do kućne instalacije koristi se neka od DSL tehnologija. Ona može da predstavlja usko grlo zbog relativno malog protoka koju te tehnologije mogu da postignu. Kućna mreža, slika 18.4, može da se realizuje kao lokalna ethernet (*Ethernet*) mreža, ili bežično (standard IEEE 802.11). Krajnji korisnik se povezuje na zidnu telefonsku utičnicu, a gledanje IP programa moguće je na specijalizovanim televizorima, bez upotrebe STB uređaja, kao i na standardnim televizorima pomoću STB uređaja, a moguće je i na računarima, za šta je potrebna instalacija nekog jednostavnijeg softvera, kao što je *Real Player* ili *Windows Media Player*. U osnovi, operativni sistem je neka varijanta *Linuxa* koja podržava Java aplikacije.



Slika 18.4. Kućna mreža

Interfejsi na STB uređajima mogu da budu mrežni 10/100 ethernet, skart, S-video kompozitni, HDMI, stereo i 5.1 digital SP/DIF digitalni/optički, USB 2.0 i slot za pametne kartice (*Smart card*). Na slici 18.5 prikazan je izgled prednje i zadnje ploče jednog STB uređaja.



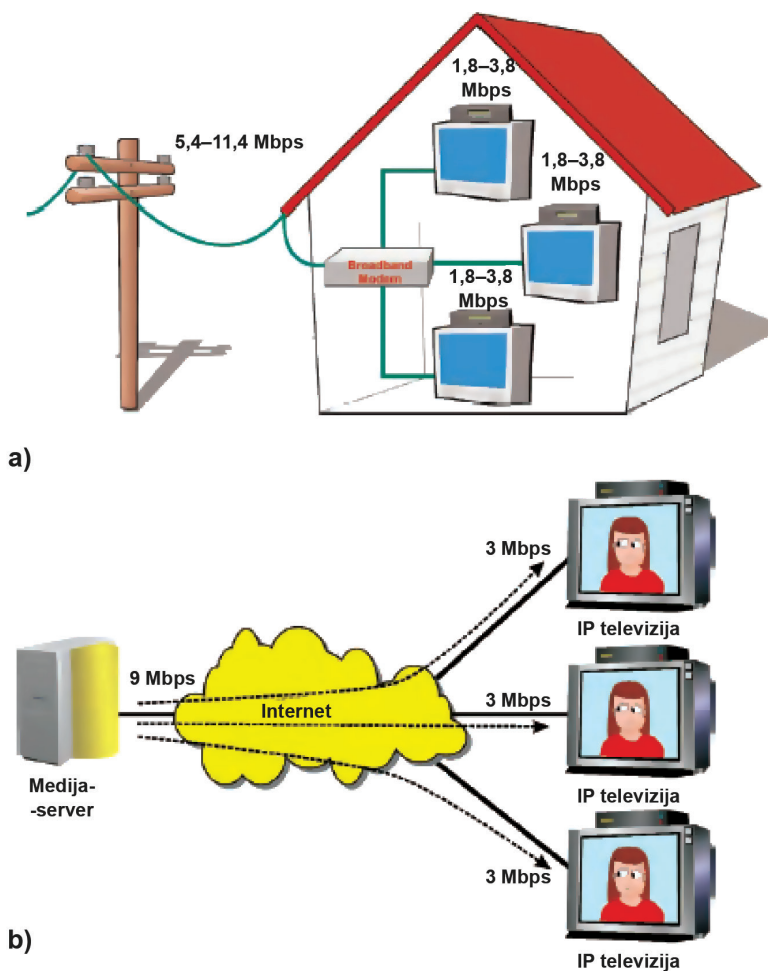
Slika 18.5. Primer STB uređaja

U slučaju kad je potrebno da se do krajnjeg korisničkog uređaja prenese više IPTV kanala (na primer ako jedno domaćinstvo ima više korisnika IPTV-a i oni žele da gledaju različite kanale), onda mora da se za svaki televizor postavi poseban STB uređaj. Problem može da predstavlja nedostatak propusnog opsega u pristupnoj mreži.

Za svaki IPTV kanal potrebno je da se obezbedi poseban propusni opseg, zavisno od sadržaja, od 1,8 do 3,8 Mbps, pa kada se oni sabere, onda nastaje veliko opterećenje mreže. U slučaju nekih veoma gledanih

događaja, kao što su prenos sportskih događaja, kada broj korisnika koji žele da gledaju isti kanal enormno poraste, onda bi to predstavljalo veliki problem i za transportnu mrežu i za servere.

Na slici 18.6 a) i b) prikazano je kolika je količina prenesenih podataka potrebna da se obezbedi za prijem tri IPTV korisnika s jednim telefonskim priključkom. Za svakog korisnika potrebno je od 1,8 Mbps do 3,8 Mbps, a za sva tri od 5,4 Mbps do 11,4 Mbps.



Slika 18.6. Tri IPTV korisnika na jedan telefonski priključak

18.3. HIBRIDNA RADIODIFUZNO-ŠIROKOPOJASNA TELEVIZIJA HbbTV

Hibridna radiodifuzno-širokopojasna televizija – **HbbTV** (*Hybrid Broadcast Broadband TV*), predstavlja kombinaciju radiodifuznih usluga sa uslugama koje se nude preko interneta i prikazuje ih na jednom istom ekranu. **HbbTV je nastala spajanjem digitalne televizije i interneta.** Ona pruža direktnu vezu između digitalnog televizijskog programa i onlajn sadržaja. Za razliku od klasične televizije, gde je korisnik pasivni posmatrač, kod hibridne televizije korisnik može da koristi interaktivne aplikacije u cilju dobijanja informacija ili zabave.

HbbTV standarde je razvila HbbTV asocijacija, a objavio ih je ETSI institut (*European Telecommunications Standardisation Institute*). Ovaj standard je prvi put demonstriran 2009. godine u Francuskoj i Nemačkoj. U Francuskoj, za vreme teniskog turnira *Roland Garos*, koristeći digitalnu radio-difuziju i IP konekciju, a u Nemačkoj, koristeći satelit Astra tokom IFA i IBC izložbi.

Danas veliki broj zemalja Evrope koristi usluge HbbTV, a najzastupljenije su u Nemačkoj, Francuskoj, Španiji, Austriji i Poljskoj. U Francuskoj u 2015. godini broj aktivnih HbbTV uređaja iznosio je oko milion, u Španiji oko jedan i po milion, u Švajcarskoj oko dva miliona, a u Češkoj Republici, Mađarskoj i Danskoj preko dvesta hiljada. Tokom 2015. godine, više od 90% svih proizvođača TV opreme usvojilo je HbbTV standarde. Procenjuje se da će u 2017. više od 50% svih televizora dostupnih u domovima u Evropi biti kompatibilno za HbbTV.

U primeni su tri verzije standarda za HbbTV:

- Verzija 1, koja je odobrena juna 2010, zasniva se na postojećim standardima i veb-tehnologijama, uključujući OIPF (*Open IPTV Forum*), CEA (*Consumer Electronics Association*), DVB (*Digital Video Broadcasting*) i W3C (*World Wide Web Consortium*).
- Verzija 1.5 uvodi podršku za HTTP adaptivni striming na osnovu MPEG-DASH specifikacije, koja poboljšava kvalitet video-signala na previše opterećenim ili sporim internet-vezama. Verzija 1.5 znatno poboljšava pristup informacijama koje se odnose na televizijski program koji provajderi sadržaja daju putem elektronskih programskih vodiča EPG (*Electronic Program Guides*).
- Verzija 2 usvojena je 2015. godine i očekuje se da će proizvođači, emiteri i operateri započeti uvođenje nove generacije interaktivnih hibridnih TV servisa, kao što su aplikacije bazirane na HTML5 servisu, tj. gledanje video-sadržaja preko smartfona, PC i tablet uređaja, aplikacije

za pregled programa, glasanje, igre i drugo. Isporukom UHDTV sadržaja, koristeći HEVC kodere sa standardizovanom kompresijom, unapređuje se usluga s boljom podrškom za prevod na više jezika, pristup radiodifuznim sadržajima snimljenim na eksterni hard-disk, kao i podrška za privatnost korisnika usluga itd.

Servisi koje omogućuje HbbTV mogu se podeliti u sledeće kategorije:

- govorni titlovi, audio drugih jezika, kompjuterski generisani znakovni jezik;
- e-uprava, „digitalni šalter” za usluge nacionalne vlade ili lokalne uprave;
- „*Super text*” – napredni teletext sa atraktivnijim korisničkim interfejsom sa informacijama (vesti, vremenska prognoza, saobraćaj, sportski rezultati, berza i dr.). Zahvaljujući hipertekstualnom markerskom jeziku – HTML (*Hyper Text Markup Language*) i povezivanju sa internetom, slike, grafikoni, mape i slično mogu se prikazivati u okviru *Super-texta*;
- napredni elektronski programski vodič EPG (*Electronic Program Guide*);
- *Enhanced TV* – dodatne informacije o TV programima, kao što je statistika u sportskim programima, dodaci sa biografijama, pozadine događaja, i dr.;
- glasanje, učestvovanje u TV emisijama, glasanje za kandidate u šou programima i dr.;
- dodatni servisi, kao što su „*Catch up TV*” – odloženo gledanje TV programa, vraćanje TV programa unazad, video na zahtev – VOD (*Video on Demand*), slika u slici i dr.;
- direktan pristup dodatnim lajv-streaming TV kanalima, koji nisu zastupljeni u kablovskim sistemima, digitalnoj zemaljskoj ili satelitskoj televiziji;
- jednostavne igre na televizoru;
- kućna kupovina;
- kursevi za daljinsko obrazovanje (*distance learning*).



Slika 18.7. HbbTV aplikacija nemačke televizije RTL



Slika 18.8. HbbTV aplikacija francuske France televizije 2 TV

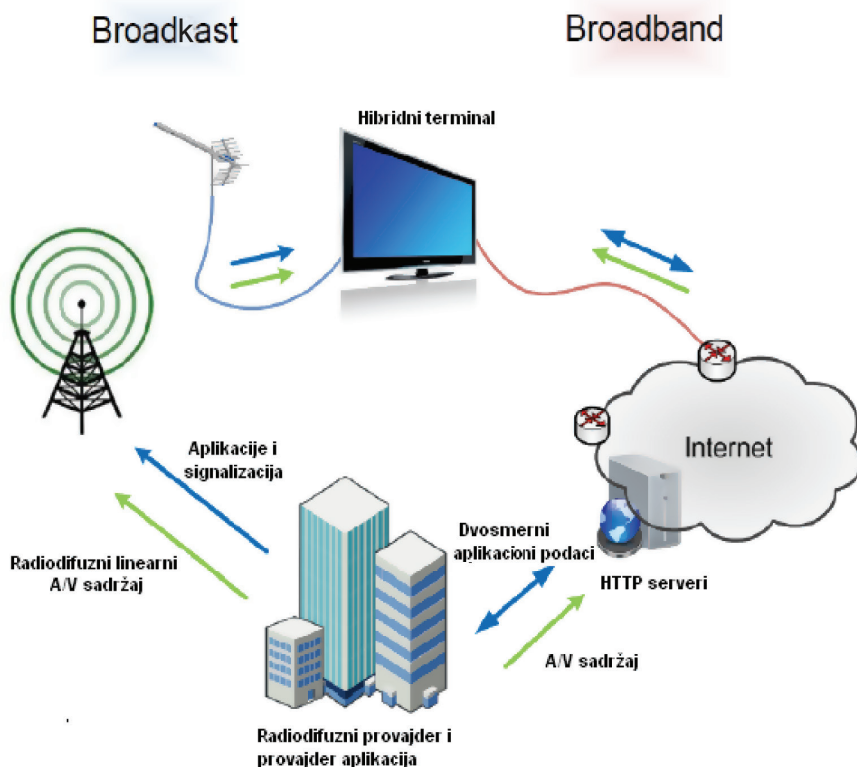


Slika 18.9. Napredni EPG u okviru HbbTV aplikacije nemačke televizije ARD

Sve ove usluge su dostupne na TV kanalima koji se distribuiraju u digitalnim kablovskim, zemaljskim ili satelitskim sistemima. Na slikama 18.7, 18.8 i 18.9 prikazan je izgled HbbTV aplikacija RTL, France 2 i ARD televizije.

18.3.1. ARHITEKTURA HbbTV SISTEMA

HbbTV koristi dve mreže: radiodifuznu i širokopojasnu za isporuku podataka i aplikacija na hibridne uređaje (terminale). Tipični hibridni uređaji su internetom povezani (*Internet-connected*) sa TV prijemnicima preko Set-Top Boxova, s računarima koji imaju odgovarajuću karticu za prijem HbbTV signala i s mobilnim 3G/4G telefonima koji imaju odgovarajuću aplikaciju za prijem HbbTV signala. Postoje različiti nazivi za ovakva rešenja, kao što su smart TV, net TV, smart telefoni, tableti i slični uređaji.



Slika 18.10. Arhitektura HbbTV sistema

Hibridni terminal ima mogućnost da bude povezan sa dve mreže paralelno. S jedne strane može biti jedna od radiodifuznih DVB mreža (zemaljska DVB-T, satelitska DVB-S ili kablovska DVB-C). Preko ove radiodifuzne veze hibridni terminal može da primi standardni digitalni radiodifuzni audio/video A/V signal (tj. linearni A/V sadržaj), signalizaciju i razne aplikacije. Hibridni terminal može biti povezan sa internetom preko širokopojasnog interfejsa. Ova veza omogućuje dvosmernu komunikaciju

s provajderom. Preko ovog interfejsa terminal može da primi aplikacije i nelinearni A/V sadržaj (npr. striming A/V sadržaj na zahtev). Hibridni terminal može da primi A/V sadržaj nezavisno od vremena kada se taj materijal emituje. Preko svog širokopojasnog interfejsa terminal, takođe, može biti povezan i sa HbbTV terminalima drugih provajdera. Slika 18.10 prikazuje arhitekturu sistema sa hibridnim terminalom povezanim sa DVB-T mrežom kao primer radiodifuzne veze.

18.4. ISPORUKA VIDEO-SADRŽAJA OTT TEHNOLOGIJOM

OTT (*Over The Top*) jedan je od novijih trendova u isporuci video-sadržaja. On objedinjuje veb TV sadržaj baziran na HTTP-u i sadržaje sa podesivom brzinom striminga (*Adaptive bitrate streaming*) za gledanje video-sadržaja na različitim uređajima (*TV, Tab, Smart Phone*), korišćenjem privatne ili internet mreže. Za razliku od digitalne kablovske televizije i od IPTV-a, OTT ne zahteva od operatora nikakvu posebnu mrežu ili infrastrukturu jer se isporuka servisa obavlja preko internet-mreže koristeći standardni protokol HTTP bez garantovane kontrole kvaliteta servisa na mreži (QoS).

Da bi video i audio sadržaji bili dostupni gde god je dostupan internet, za transport se koristi HTTP protokol. Pošto se na internet-mreži ne može garantovati protok, koriste se razna softverska rešenja za prikaz video-sadržaja na različitim uređajima i sa različitim bitskim brzinama. Ova rešenja treba da su laka za instalaciju, da ne zahtevaju puno resursa i da se lako integrišu u postojeće sisteme prenosa digitalne televizije, *Codec, DRM (Digital Rights Management) itd.*

Za isporuku servisa digitalne televizije, kao i za IPTV, koristi se mreža koja je strogo kontrolisana od operatora, koji po potrebi može da utiče na njene parametre da bi osigurao visok nivo kvaliteta servisa. Tradicionalna digitalna kablovska i IPTV tehnologija koriste tehniku prenosa TS (*transport stream*), koja je primenjena u satelitskom emitovanju i isporučuje sadržaj preko UDP protokola. Nasuprot tome, OTT za prenos sadržaja koristi HTTP, koji se decenijama koristi za prenos veb stranica ili za prikaz snimljenih video-zapisa na način kao što radi Ju Tjub (*You Tube*). HTTP se bazira na protokolu TCP, čime se omogućuje lakše upravljanje sistemom zaštite za kućne i poslovne računarske mreže. Sve do pojave OTT-a, za prikazivanje video-sadržaja uživo, preko IP mreža, koristio se UDP ili RTP (*Real Time Protocol*). Kvalitet slike zavisi od brzine protoka za gledanje video-sadržaja, što obično iznosi između 512 kb/s i 3 Mb/s.

18.5. MOBILNA TELEVIZIJA

Mobilna televizija je difuzija digitalnog televizijskog programa bežičnim vezama na prenosne uređaje, kao što su laptop računari, pametni (smart) mobilni telefoni, mobilni tableti i slični prenosni uređaji. Uslov je da oni moraju imati instaliranu hardversko-softversku aplikaciju koja omogućuje da se TV programi mogu pratiti pomoću interneta i na prenosnim uređajima. Difuzija TV programa bežičnim Wi-Fi vezama ostvaruje se pomoću kodovane povorke bita određene bitske brzine, tj. digitalnog striminga, do prenosnih uređaja. Digitalne Wi-Fi mreže rade pomoću jednostavne radio-tehnologije, a jedina razlika jeste što se radiofrekvencijski signali pretvaraju u nule i jedinice u radio-mreži sa dovoljnim brojem kanala u zadatom opsegu. U međunarodnoj podeli frekvencija koje dodeljuje međunarodna unija za telekomunikacije ITU, prvobitno su bile rezervisane frekvencije za analognu bežičnu telefoniju. Wi-Fi sa nazivom **GSM** (*Group Systems Mobiles*). Kasnije je taj sistem razvijen kao digitalna zamena za prvobitnu generaciju analognih mobilnih mreža i dobio je novi naziv – Globalni sistem za mobilnu komunikaciju, **GSM** (*Global system for Mobile Telecommunications*). On je s vremenom unapređivan da bi mogao da podrži roving mobilnih telefona i prenos drugih složenijih digitalnih paketa.

U tehničkom smislu, **mobilna televizija je servis mobilne telefonije** preko 3G/4G mobilnih mreža, pa je zbog toga i mobilna televizija ograničena bežičnim strimingom, tj. ograničenom propusnom moći servera u telekomunikacionoj kompaniji. To znači da je mobilni striming-servis za ograničen broj TV korisnika, dok difuzni servis može da koristi neograničen broj korisnika u istom vremenu. Pojam difuzija (*broadcasting*) znači da se isti signal emituje svim korisnicima u oblasti domena predajnika bez obzira da li neko prati taj program.

DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*) jeste standard za difuzno emitovanje TV programa na prenosne uređaje, koji je razvijen od međunarodnog DVB (*Digital Video Broadcasting*) projekta i ustanovljen je od evropskog instituta za telekomunikacije ETSI. Standard DVB-H zasniva se na dodatnom digitalnom protokolu uz zemaljski difuzni standard DVB-T (*DVB-Terrestrial*), a koji se emituje sa klasičnog analognog UHF predajnika, videti sliku 1.3 u Uvodu. DVB-H omogućuje difuzno emitovanje digitalnih TV signala na prenosne uređaje tako da oni mogu da ih prime, dekoduju i da na ekranu mobilnih 3G/4G telefona i drugih prenosnih uređaja prikazuju digitalni TV program koji se emituje sa digitalnih predajnika DVB-T za digitalnu zemaljsku radio-difuziju. Da bi primali taj program, ovi prenosni uređaji moraju da imaju i odgovarajući

prijemnik s antenom za prijem TV programa preko DVB-H sistema. Zbog toga je i veličina ovih prenosnih uređaja malo veća od uobičajene. Za kompresiju slike u DVB-H standardu koristi se kompresija MPEG-4/AVC, koja je izvedena iz MPEG-2 i omogućuje duplo viši nivo kompresije uz isti kvalitet slike. Standardom je predviđena i povratna informacija od prenosnog uređaja do operatera, koja se šalje preko 3G/4G mreže.

DVB-H je samo jedan od nekoliko standarda koji se mogu koristiti za prenos TV slike u digitalnom formatu na prenosne uređaje. Glavna konkurencija DVB-H standardu jeste **DMB** (*Digital Multimedia Broadcasting*), odnosno difuzija mnogobrojnih digitalnih multimedijalnih usluga bežičnim putem do prenosnih uređaja. Takođe, razvijeni su i standardi **DVB-SH** (*DVB-Satellite to Handhelds*), koji omogućuju i prijem satelitskih prenosa pomoću mobilnih telefona, slika 18.11, i drugih prenosnih uređaja, što je pokrenulo novu eru informaciono-komunikacionih mogućnosti.



Slika 18.11. Mobilna telefonija, internet i mobilna televizija promenili su svet, a njihovi efekti na savremenu civilizaciju tek treba da budu proučeni

Za potrebe TV centara razvijena je GSM oprema za prikupljanje vesti s terena. Snimatelj-reporter može svojim 3G/4G mobilnim telefonom da snimi i izmontira vesti na terenu i da ih sopstvenim digitalnim strimom sa svog mobilnog telefona pošalje preko 3G ili 4G mobilne mreže do udaljenog matičnog TV centra, ili nekog drugog TV distributera. Takođe, on može na terenu da prati i povratni TV signal koji se emituje, kao i da dobije sve potrebne instrukcije za dalji rad. Naravno, ovakav način prikupljanja vesti s terena mnogo je jeftiniji od zakupljivanja zemaljskih ili satelitskih linkova, ili slanja reportažnih kola na teren.

GSM mobilne mreže razvijene su prvo u Evropi i pokrivaju danas skoro ceo evropski kontinent. Većina kompanija koje pružaju GSM usluge

povezuju pretplatnike romingom po celom kontinentu. Zatim su razvijeni i mobilni satelitski telefoni sa istim tehničkim mogućnostima, pa je danas moguće uspostaviti telefonsku vezu između bilo koje dve tačke na zemlji, samo s jednim malim mobilnim telefonom u ruci, bez razlike da li se učesnici nalaze u nekom stanu, na ulici, na planini ili u automobilu. Najpoznatija i masovno korišćena video-komunikacija preko pametnih 3G/4G mobilnih telefona i interneta ostvaruje se preko skajpa (*Skype*). U pametne mobilne telefone može da se instalira i satelitski navigacioni sistem GPS (*Global Positioning System*). GPS je takođe proizvod bežične Wi-Fi industrije, koji pomoću radio-sistema kombinuje računarsku tehniku, geografsko mapiranje snimljenih saobraćajnica u raznim državama i informacije sa GPS satelita koji kruže oko Zemlje dva puta dnevno u veoma preciznoj orbiti i šalju informacije putem radio-signala na Zemlju. GPS prijemnik preuzima te informacije sa satelita i upoređuje vreme slanja sa satelita s lokalnim vremenom kada je taj signal primljen u GPS prijemniku. Na osnovu razlike u vremenu, GPS prijemnik izračunava koliko je satelit udaljen u datom trenutku. Upoređivanjem razdaljine od uređaja do nekoliko satelita u pokretu, GPS prijemnik određuje tačnu poziciju korisnika na prethodno ucrtanim i usnimljenim saobraćajnicama i prikazuje na displeju mobilnog telefona ili elektronskoj karti prijemnika. GPS prijemnik mora da prima signale sa najmanje 3 satelita da bi mogao da određuje 2D poziciju, tj. geografsku širinu i dužinu i da prati kretanje korisnika. Sa 4 ili više satelita u dometu prijemnik može da odredi 3D poziciju korisnika, tj. geografsku širinu, dužinu i visinu. Satelitski navigacioni sistem GPS je još jedan primer koji ilustruje koliko su moderni digitalni informaciono-komunikacioni sistemi tehnički kompleksni i veoma skupi za realizaciju, a jednostavni za primenu, jeftini i dostupni za korišćenje i u najzabačenijim i najnerazvijenijim državama.

18.6. KLJUČNI POJMOVI

Internet-televizija. IPTV. UDP. RTP. TCP. HTTP. RTSP. IGMP protokol. Set-Top Box uređaj (STB). Hed-end platforma. Mrežna platforma. Kablovska televizija. IP adresa. Midlver. Enkapsulacija. Dinamička IP adresa. Statička IP adresa. Multikast-prenos. Unikast-prenos. Telefonski priključak.

18.7. PITANJA I ZADACI ZA OBNAVLJANJE GRADIVA

1. Objasniti princip rada IP (internet-protokol) televizije.
2. Kakva je razlika između IPTV i internet-televizije?
3. Kakva je razlika između IPTV i kablovske televizije?
4. Koji se protokoli koriste za IPTV i internet-televiziju?
5. Koji su osnovni elementi arhitekture IPTV sistema?
6. Kakva je uloga hed-end platforme (čvorišta)?
7. Od čega zavisi broj čvorišta u mreži za distribuciju IPTV televizije?
8. Šta predstavlja midlver?
9. Kako može da se realizuje prenos IP paketa od hed-end platforme do krajnjeg korisnika?
10. Kakva je razlika između statičke i dinamičke IP adrese?
11. Koja se tehnologija koristi za prenos signala od hed-enda do kućne instalacije?
12. Šta je potrebno od hardvera i softvera za povezivanje krajnjeg korisnika s kućnom IPTV mrežom?
13. Kako se na TV prijemniku manifestuje kašnjenje paketa (*delay jitter*)?
14. Kakva je razlika između multikast i unicast prenosa?

19 | VIDEO-NADZOR

Video-nadzor je sastavni deo svakog modernog sistema obezbeđenja objekata, ljudi i materijalnih dobara. U velikim sistemima video-nadzor je integrisan zajedno sa drugim sistema za obezbeđenje, kao što su: protivprovalni sistemi, sistemi kontrole pristupa, sistemi detekcije požara i sistemi javnog razglasa. Osnovna funkcija sistema video-nadzora jeste da obezbedi informacije o bezbednosnom stanju na osnovu kojeg će korisnik doneti odluku šta da radi. Čest je slučaj da je fizičko obezbeđenje korisnik objekta koji na osnovu bezbednosnih procedura preduzima mere zaštite. Mere zaštite nisu uvek iste, već zavise od svrhe i namene objekta koji se obezbeđuje. Video-nadzor i snimljena arhiva sistema video-nadzora imaju višestruku primenu, od kontrole radnika u nekoj proizvodnji ili magacinu, procene bezbednosnog stanja objekata, sprečavanja terorističkih napada na aerodromima i slično, do korišćenja snimljenih arhivskih materijala radi dokaza u sudskim procesima za krivična dela.

Sistem video-nadzora sastoji se iz:

- spoljašnjih ili unutrašnjih kamera, kojima se nadgledaju potrebna mesta na objektu, sa odgovarajućim objektivima sa fiksnom ili promenljivom žižnom daljinom, kod kojih je moguće ručno ili automatsko podešavanje otvora blende;
- potrebnih kablova za prenos video-signala;
- centralnih uređaja koji obrađuju i arhiviraju slike dobijene s kamera,
- monitora za prikaz slika.

Prvi sistemi video-nadzora bili su potpuno analogni. Tehnološki napredak doneo je razvoj i primenu digitalnih tehnologija u sistemima video-nadzora. Danas praktično ne postoje potpuno analogni sistemi. Postoje sistemi video-nadzora koji su kombinacija analognih i digitalnih sistema, ali se uglavnom koriste digitalni sistemi. Kod digitalnih sistema signal od kamere do mesta gde se snima prenosi se u digitalnom obliku.

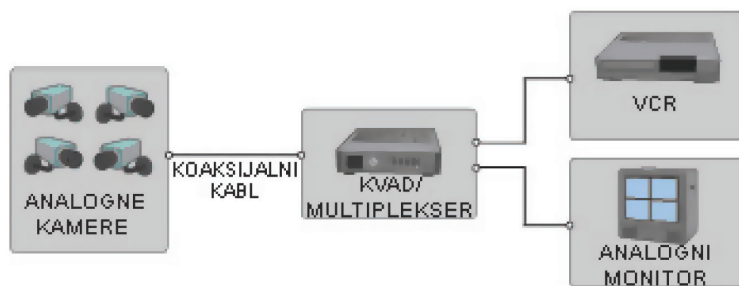
Po tehnologiji koja se koristi za realizaciju, sistemi video-nadzora se dele u dve grupe:

- potpuno analogni sistemi video-nadzora, odnosno sistemi u kojim se koriste video-rikorderi (VCR). U analogne sisteme se ubrajaju i sistemi video-nadzora u kojim se koriste digitalni video-rikorderi (DVR), ali su oni zapravo analogno-digitalni sistemi;
- digitalni sistemi video-nadzora, gde se koriste računarske mreže za prenos, obradu i zapis slika s kamera (IP sistemi video-nadzora).

19.1. ANALOGNI SISTEMI VIDEO-NADZORA

Analogni sistemi se sastoje od analognih kamera, koaksijalnih kablova za prenos, kvad-svičera, multipleksera i video-rikordera za snimanje, koji mogu da budu analogni i digitalni.

Analogni video-sistemi koriste analogne uređaje za stvaranje i prikazivanje slike. Komplikovani su za korišćenje, skupi su za održavanje i nefleksibilni su. Zbog toga oni zastarevaju i polako odlaze u istoriju, mada se negde još uvek koriste. Za snimanje se koriste analogni ili digitalni magnetoskopi, tj. rikorderi. Analogni rikorderi snimaju na iste kasete kao i obični – kućni video-rikorderi formata VHS. Ovakvi video-rikorderi imaju samo jedan video-ulaz, pa se za sisteme sa više kamera koriste uređaji koji povezuju signale sa više kamera u jedan, a to su kvad-svičeri i multiplekseri. Za prikaz slike koriste se analogni monitori, slika 19.1.



Slika 19.1. Analogni sistem video-nadzora sa VCR-om

Digitalni video-rikorderi (DVR) snimaju digitalni video-signal tako što se analogni signal s kamera prenosi koaksijalnim kablom do kvad-multipleksa, konvertuje u digitalni oblik, komprimuje i snima. Postoje rešenja sa 4, 8, 9, 16 i 32 video-ulaza. Kod prvih modela DVR-ova problem je bila dužina vremenskog zapisa zbog veličine hard-diskova, ali je to napretkom tehnologije prevaziđeno. Danas je situacija drugačija, vremenska dužina zapisa zavisi od kapaciteta hard-diskova

(broj hard-diskova koje DVR-ovi podržavaju kreće se od jedan do osam), može da bude i do nekoliko meseci, a zavisi od: rezolucije koja se snima, broja frejmova po kameri, vrste zapisa koji se snima, a oni mogu da budu kontinualni zapisi ili zapisi na detektovanje pokreta. DVR-ovi snimaju signale i sve funkcije sa kvad-svičera i multipleksera.

Razvojem interneta i usled sve većeg zahteva za daljinski pristup DVR-ovima, dodat im je mrežni (LAN) priključak, tako da se zapis preko računarske mreže može preneti putem interneta na udaljenu lokaciju do DVR-a, a njim se može upravljati daljinski i mogu da se menjaju određeni parametri. Razvijene su softverske aplikacije za personalne računare koje omogućavaju monitoring i preko hiljadu DVR-ova. DVR-ovi imaju mogućnost da se pomoću njih upravlja pokretnim kamerama. Imaju ugrađen operativni sistem *Linux* ili *Windows*, ili sopstveni fabrički, koji je razvio sam proizvođač DVR-ova. Operativni sistem *Linux* pokazao se kao veoma pouzdan.

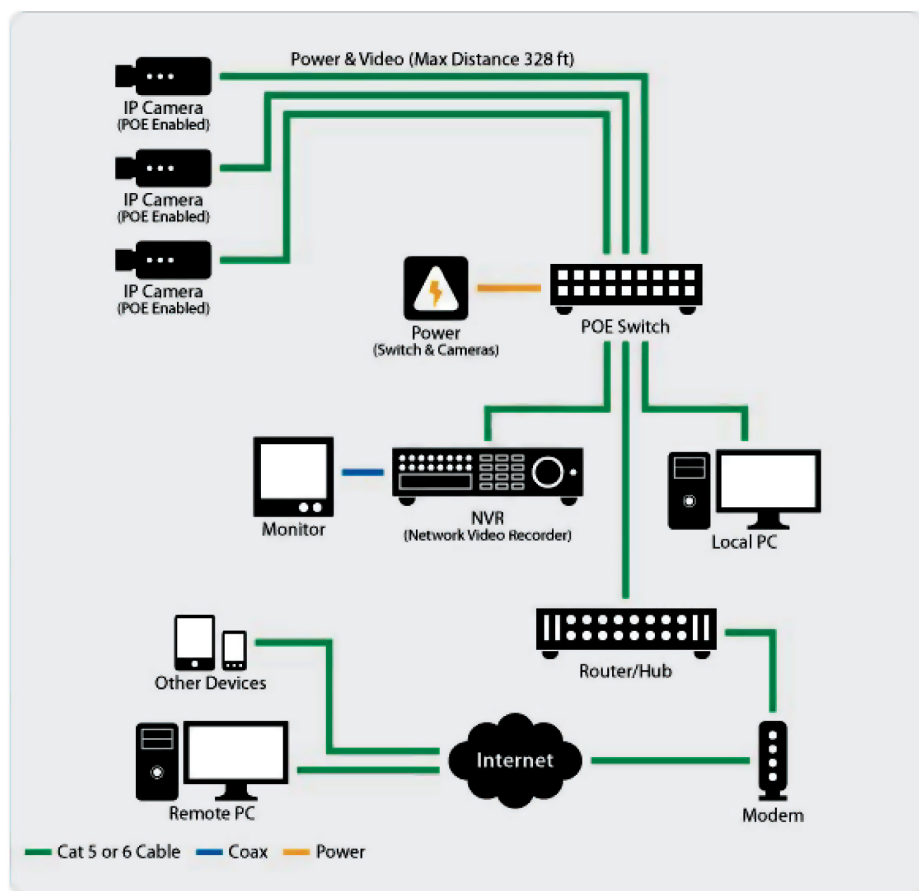
19.2. DIGITALNI SISTEMI VIDEO-NADZORA

Digitalni sistem video-nadzora funkcioniše preko računarske mreže, koristeći internet **TCP/IP** protokol. TCP/IP je uobičajena oznaka grupe protokola koja se još naziva i IP grupa protokola (*IP protocol suite*). Naziv je ova grupa protokola dobila prema dva najvažnija protokola iz te skupine: TCP (*Transmission Control Protocol*) i internet-protokolu IP. TCP/IP omogućuje komunikaciju preko raznih međusobno povezanih mreža i danas je najrasprostranjeniji protokol na lokalnim mrežama, a na njemu se, takođe, zasniva i globalna mreža internet. Zbog toga se digitalni sistemi video-nadzora nazivaju i digitalni IP sistemi video-nadzora. IP sistem sadrži IP digitalne kamere megapikselske rezolucije (od 1 do 12 megapiksela i više), koje daju i do 10 puta veću rezoluciju slike, kao i bolji kvalitet snimka u odnosu na analogne sisteme. Na slici 19.2 prikazan je blok-dijagram povezivanja digitalnog IP sistema video-nadzora.

Kamere se povezuju preko POE svičera, koristeći infrastrukturu računarske mreže, sa uređajem koji skladišti snimke, tj. sa NVR uređajem (*Network Video Recorder*), slika 19.2. Svi video-snimci sa NVR-a mogu biti pregledani od ovlašćenog korisnika bilo gde na planeti putem interneta. Instalacija i održavanje IP sistema su jednostavni jer u većini slučajeva na lokaciji već postoji računarska mrežna infrastruktura.

Digitalni sistem video-nadzora sastoji se od digitalnih ili IP kamera, računarske mreže (kablova, svičera, ruteri), servera za arhiviranje snimaka (podataka) i softvera za upravljanje celim sistemom sa raznim

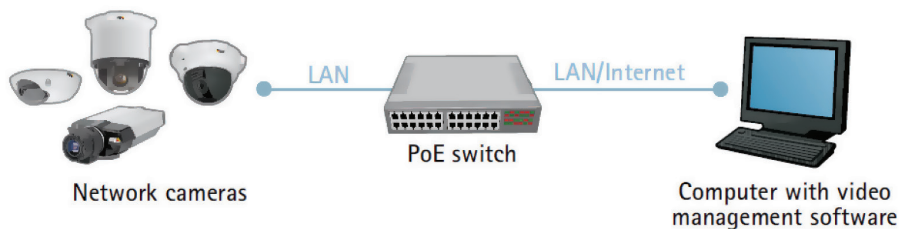
nivoima pristupa za razne korisnike. IP kamere koriste mrežne protokole u računarskim mrežama. Signal u samoj kameri komprimuje se zbog prenosa kroz računarsku mrežu, tako da je IP kamera praktično mali računar, koji ima sopstvenu IP adresu. Kamere se povezuju sa sistemom preko standardnog mrežnog kabla, tj. UTP kabla, i mogu biti povezane gde god postoji IP konekcija. Signal je na celom putu od kamere do mesta arhiviranja u digitalnom obliku. Sve informacije se prosleđuju jednim kablom (slika, zvuk, komande za pan-tilt-zoom), a neke kamere imaju i mogućnost napajanja preko tog istog kabla (*POE – Power Over Ethernet*), kao što je prikazano na slici 2. IP kamere imaju interfejs za alarmne ulaze i memorijske kartice za lokalnu arhivu.



Slika 19.2. Blok-dijagram povezivanja digitalnog IP sistema video-nadzora

IP digitalni sistemi video-nadzora zasnivaju se isključivo na računarskim mrežama (LAN ili WAN), imaju veliku efikasnost i drastično je smanjena njihova cena u odnosu na analogne sisteme jer se za prenos video/audio

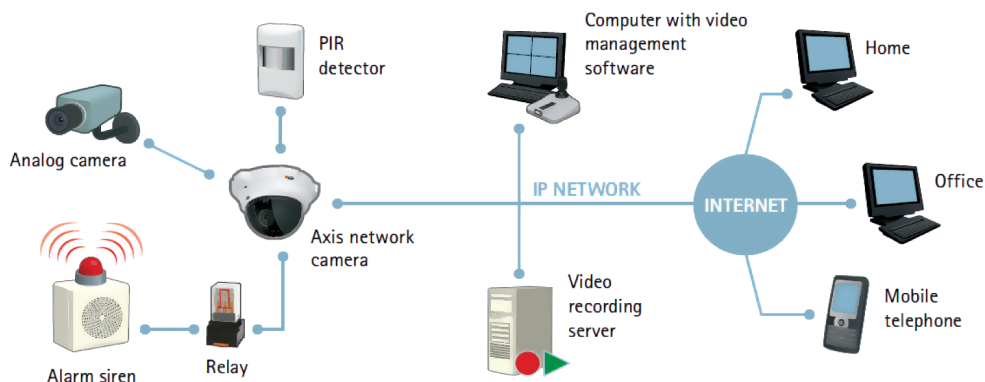
signala koristi već postojeća računarska mreža. IP kamere se mogu opisati kao kombinacija kamere i računara. One beleže i prenose slike direktno preko IP mreže, tako da omogućuju ovlašćenim korisnicima da lokalno ili sa udaljenosti vide sliku, sačuvaju je i upravljaju njom preko standardne infrastrukture IP mreže. Mogu se nadgledati putem bilo kog veb-pretraživača. Kvalitet snimljene slike je mnogo bolji nego kod analognih sistema, presnimavanje je bez gubitka kvaliteta slike, pretraživanje je brzo i jednostavno a može da bude po kameri, vremenu, događaju, itd. Jedan takav sistem prikazan je na slici 19.3.



Slika 19.3. Tipičan primer IP video-nadzora

Problem koji imaju IP sistemi za video-nadzor jeste propusna moć mreže (*bandwidth*) – ako ima puno kamera, a svaka stvara sliku u megapikselskoj rezoluciji, tokom prenosa nastaje zagušenje mreže. Zato se koriste razni algoritmi za kompresiju slike. Server koji snima mora da ima veliku hardversku snagu kako bi mogao da obradi i arhivira sliku sa svih kamera.

Kod sistema sa više desetina kamera teško je pratiti sliku sa svih kamera, pa se selekcija kamera vrši na osnovu važnosti informacija. Selekcija može da bude na osnovu nekog unapred definisanog događaja: otvaranje vrata, prozora, pokret, zvuk, vatra, dim, vlaga, zaustavljena mašina, zaustavljena traka i slično. Blok-dijagram jednog takvog sistema prikazan je na slici 19.4.



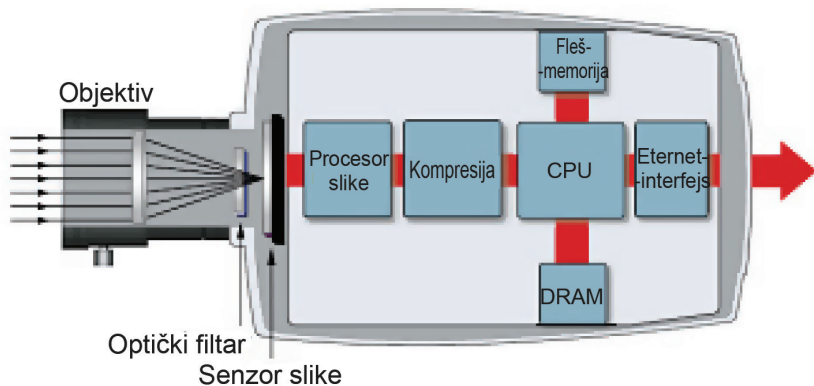
Slika 19.4. IP video-nadzor sa integrisanim alarmnim sistemom

Glavne osobine digitalnih IP sistema video-nadzora jesu:

- istovremeni nadzor, snimanje i pregledanje snimljenog materijala;
- brz pristup bilo kojoj kameri, bilo kada, bez obzira na udaljenost i lokaciju korisnika i da li još neko koristi istu kameru;
- pristup određenim informacijama i nivoima, koji se reguliše preko lozinke;
- lako i jeftino unapređenje sistema;
- odličan kvalitet snimljenog materijala;
- jednostavno snimanje kopija na udaljenim lokacijama (sigurnost podataka);
- na svakoj slici se nalazi naziv lokacije, datum i vreme;
- lako i jednostavno štampanje bilo koje slike na papir,
- napredni algoritmi kontrole.

19.3. IP KAMERE ZA DIGITALNI VIDEO-NADZOR

IP kamere predstavljaju srce IP sistema digitalnog video-nadzora i od njihovog kvaliteta zavisi i kvalitet celog sistema. Glavni delovi kamere su: senzor slike (*image sensor*), objektiv, filter, procesor za obradu slike, ARTPEC čip, koji obavlja funkciju kontrolera, čip za kompresiju i napojna jedinica. Na slici 19.5 prikazana je struktura jedne IP kamere.



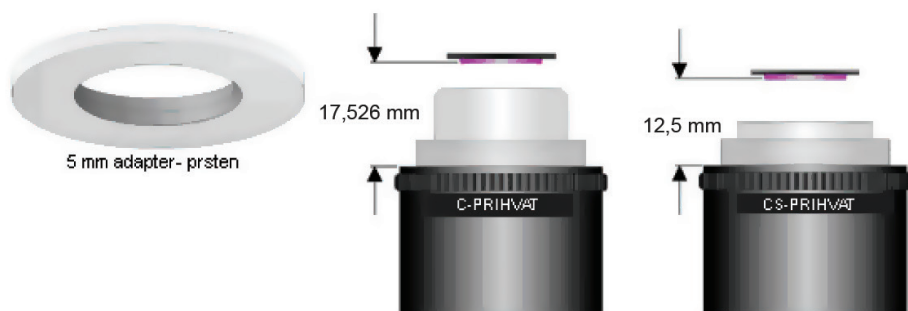
Slika 19.5. Struktura IP kamere

Senzori slike obavljaju pretvaranje svetlosnih informacija u električne. Postoje dve osnovne tehnologije senzora slike koji se mogu naći u IP kamerama: CCD (*Charge Coupled Devices*) i CMOS (*complementary metal-oxide semiconductor*). Svaka od ove dve tehnologije ima određenih prednosti i mana.

CCD senzori se koriste u kamerama više od 20 godina. Osnovne karakteristike su: dobra osetljivost na svetlo, dobra rezolucija, troše znatno više energije od CMOS senzora, skuplji su od CMOS senzora i teže ih je inkorporirati u kamere.

CMOS senzori su se po kvalitetu približili CCD sensorima, jeftiniji su, lakše se integrišu u kameru, s njima dimenzije kamera su manje, ali se još uvek masovno ne koriste zbog manje osetljivosti, pa je slika pri slabijem osvetljenju tamna i sa puno šuma. Tipični senzori koji se koriste u IP kamerama su veličine 1/4 i 1/3 inča. Koriste se progresivna, tj. interlejs (*interlace*) tehnologija skeniranja.

Objektivi služe da stvarne dimenzije slike prilagode dimenzijama senzora slike. Izbor objektiva je bitan za kvalitet slike. Postoje dva standarda koji definišu prihvat objektiva: C-prihvat i CS prihvat. Razlika između dva prihvata je u udaljenosti objektiva od senzora na kameri. Kod CS prihvata, rastojanje između objektiva i senzora je 12,5 mm, a kod C-prihvata 17,526 mm. Prvobitno je razvijen C-prihvat, dok je CS prihvat razvijen kasnije. Danas se gotovo sve kamere i objektivi proizvode sa CS prihvatom. Stari tip objektiva sa C-prihvatom moguće je montirati na kamere sa CS prihvatom uz pomoć prstena od 5 mm, slika 19.6.



Slika 19.6. C i CS prihvat objektiva

Važno je odabrati odgovarajući objektiv za kameru (*sensor*). Ako se na kameru postavi objektiv napravljen za manji senzor nego što je na kameri, slika će dobiti crne čoškovce. Ako se na kameru postavi objektiv koji je napravljen za veći senzor nego što je u kameri, slika tada neće imati crne čoškovce, ali će ugao gledanja biti manji od nazivnog za taj objektiv pošto se deo informacija „gubi” izvan senzora.

Žižna daljina objektiva određuje horizontalno vidno polje na određenim udaljenostima, tj. veća žižna daljina daje uže vidno polje, i obrnuto. Postoje 3 vrste objektiva prema promeni žižne daljine: objektivi

sa fiksnom žižnom daljinom, varifokalni objektiv gde se ručno menja žižna daljina i objektiv kod kojih se žižna daljina menja daljinski u velikom rasponu od 6 mm do 90 mm.

Blenda (Iris) određuje količinu svetlosti koja će proći kroz objektiv i stići do senzora. Postoje objektiv sa ručnom i automatskom kontrolom blende. Objektiv sa ručnom kontrolom blende se obično postavljaju na mestima gde nema velike promene svetlosti. Ovi objektiv ne mogu da reaguju na promene u osvetljenosti scene, tako da je blenda postavljena na „prosečnu” vrednost koja odgovara uslovima snimanja. Objektiv sa ručnom promenom blende obično se koriste u zatvorenim prostorijama. Objektiv sa automatskom kontrolom blende koriste se za spoljašnje uslove. Ovakvi objektiv su pogodniji za upotrebu u svim uslovima, napolju i unutra. Zadatak objektiv sa automatskom promenom blende jeste da obezbedi konstantan nivo svetlosti na senzoru bez obzira na nivo svetlosti gde se kamera nalazi. Postoje dva tipa objektiv sa automatskom promenom blende: objektiv kod kojih se otvor blende kontroliše pomoću DC napona i objektiv kod kojih se otvor blende kontroliše pomoću video-signal.

F-broj objektiv predstavlja odnos žižne daljine i prečnika otvora blende. Ovaj parametar objektiv je često zanemaren jer se samo vodi računa o potrebnoj širini slike. Veći F-broj znači da manje svetla stiže do senzora. Manji F-broj znači da više svetla stiže do senzora, a time se postiže bolji kvalitet slike u lošim svetlosnim uslovima. Na tabeli 19.1 prikazana je količina svetlosti koja prolazi pri različitim F-brojevima.

Tabela 19.1. Prolaz količine svetlosti pri različitim F-brojevima

F-broj	f1.0	f1.2	f1.4	f1.7	f2.8	f4.0	f5.6
% svetla koje prolazi	20	14,14	10	7,07	2,5	1,25	0,625

Ulazno-izlazni portovi na kameri omogućavaju da se povežu različiti eksterni uređaji. Na ulazne portove se obično povezuju magnetni kontakti na vratima, IR senzori pokreta, senzori loma stakla, što omogućuje kameri da reaguje na događaj, tj. započne snimanje ili aktivira alarm. Izlazni portovi omogućavaju kameri da upravlja eksternim uređajima, poput aktivacije alarma, zaključavanja vrata, stvaranja dima ili uključivanja svetla. Na primer, ako se želi samo da se identifikuje osoba na ulazu, ne mora konstantno da se šalje video-signal, već sistem može da se podesi tako da se kamera uključi u trenutku kad se vrata otvore.

IP kamere se mogu podeliti na kamere za unutrašnju montažu i kamere za spoljašnju montažu. Kamere za unutrašnju montažu manje

zavise od uslova okoline, dok kamere za spoljašnju montažu moraju da budu izdržljive i da budu zaštićene od spoljašnjih uticaja. Zato one imaju dodatne elemente koji ih čine otpornijim na spoljašnje uticaje: grejače, ventilatore, štitnike koji omogućavaju zaštitu kamere od vode, prašine, izlaganja direktnoj sunčevoj svetlosti i dr.

Na osnovu oblika razlikuju se sledeće vrste kamera: boks (*box*), zum (*zoom*), kupolasta, tj. dom (dome), infracrvene i PTZ.

Boks-kamere spadaju u grupu fiksnih kamera. Koriste se na mestima gde posle instalacije nije potrebno pomeranje. Ako imaju RS-485 komunikaciju, mogu da im se ugrade pan/tilt motori i mogu da se pomeraju po horizontali i vertikalni. Isporučuju se bez objektiva (sočiva), tako da je veoma važno da se odabere odgovarajući objektiv, koji mora da odgovara veličini i rezoluciji CCD senzora. Izgled jedne boks-kamere prikazan je na slici 19.7.



Slika 19.7. Boks-kamera

Zum-kamere su specijalni tip boks-kamere, ali u sebi imaju ugrađen uređaj za optičko i mehaničko zumiranje. Pomoću njega slika može da se povećava ili smanjuje. Kada se koristi optički zum, kvalitet slike ostaje isti, a kada se koristi digitalni zum, kvalitet slike se smanjuje. Izgled jedne zum-kamere prikazan je na slici 19.8.



Slika 19.8. Zum-kamera

Dom-kamere su prilično neupadljive, a montiraju se tik uza zid ili plafon. Po veličini mogu da variraju od minijaturnih do glomaznih dom-kamera. Mogu da budu sa fiksnom i promenljivom žižnom daljinom. Sa fiksnom žižnom daljinom se koriste za nadgledanje statičnih objekata, a sa promenljivom za nadgledanje pokretnih objekata. Žižna daljina se podešava odmah pri instalaciji, a može da se podešava i preko mreže. Neke

kamere imaju ugrađeno IR LED osvetljenje, tako da se mogu koristiti i za noćno snimanje. Izgled doum-kamere prikazan je na slici 19.9.



Slika 19.9. Doum-kamere: a) ugradna, b) nadgradna

Infracrvene kamere imaju ugrađen infracrveni IR (*Infra Red*) filter. Pomoću IR filtra daju kvalitetnu sliku i kod lošeg osvetljenja. Mogu da rade u dnevnom i noćnom režimu. Neki tipovi IR kamere dati su na slici 19.10. Kod ovih kamera između objektiva i senzora nalaze se IR filteri koji omogućuju da na senzor dolazi ista količina svetlosti bez obzira na količinu dolazne svetlosti. Kao što je poznato, ljudsko oko može da vidi deo spektra svetlosti između 400 nm i 700 nm. Ispod plave boje (400 nm) u spektru je ultraljubičasta svetlost i iznad crvene boje (700 nm) u spektru je infracrvena svetlost i obe su nevidljive za ljudsko oko.

Za razliku od ljudskog oka, senzor u kameri može da detektuje i svetlost izvan ovog opsega, odnosno praktično da „vidi” i infracrveno svetlo. Pri normalnom dnevnom osvetljenju uključuje se IR filter i on sprečava prodor infracrvenih zraka do senzora, jer pri dnevnom svetlu infracrvena svetlost koja pogodi senzor izaziva promenu boja (recimo trava postaje plava), boje će biti neprirodne. Kada se osvetljenje smanjuje i slika postaje tamnija, tada se automatski uklanja IR filter, senzor u kameri koristi infracrvene zrake, tako da kamera „vidi” čak i u veoma mračnom okruženju. IR filter se automatski pomera po određenom algoritmu. Da bi se izbegla promena boja, kamera prelazi u crno-beli režim rada, tako da se dobija kvalitetna crno-bela slika, jer kod slabog osvetljenja, na primer noću, ljudsko oko ne može da vidi boje, odnosno vidi samo crnu i belu boju i nijanse sive boje.



Slika 19.10. IR kamere

PTZ kamere imaju mogućnost daljinskog upravljanja pravcem i zumom. PTZ označava pomeranje levo-desno (*Panning*), pomeranje gore-dole (*Tilting*) i zumiranje ka objektu i od objekta (*Zooming*). Ove kamere obično se koriste u aplikacijama gde je nadzor nad sistemom (operator) uvek prisutan. PTZ komande se prenose preko IP mreže. Optički zum PTZ kamera je obično u opsegu od 10 puta do 35 puta. Montiraju se obično na zid. Jedan tip PTZ kamere prikazan je na slici 19.11.



Slika 19.11. PTZ kamera

PTZ doum mrežne kamere mogu da pokriju veliki ugao i omogućavaju veliku fleksibilnost pri korišćenju PTZ funkcija. Obično omogućuju pan funkciju od 360° i tilt od 180°. PTZ komande se prenose preko IP mreže. Jedna od karakteristika ovih kamera je *guard tour* mod, gde se kamera kontinuirano pomera po programiranim pozicijama. Ovaj način rada joj omogućuje da zameni 10 fiksnih kamera. Jedini problem je taj što se u datom trenutku može pratiti samo jedna lokacija. Optički zum je u opsegu od 10 puta do 35 puta. Koriste se na mestima gde je prisutno dežurstvo 24 h. Ukoliko je za unutrašnju montažu, montira se na plafon, a ako je za spoljnu, montira se na stub ili na ugao objekta.

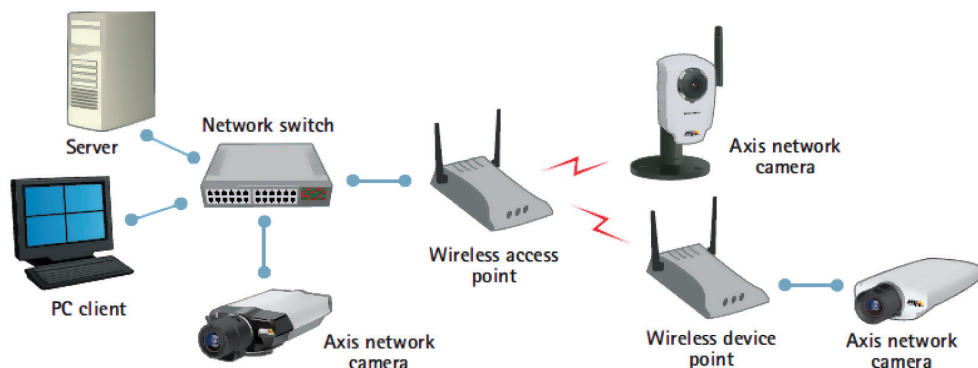
Termalne kamere (infracrvene kamere ili termovizijske kamere) jesu kamere kod kojih se slika formira infracrvenim zračenjem talasne dužine od oko 14.000 nm (14 μ m). One imaju veoma široku primenu, naročito kod merenja temperature i u specijalnim sistemima za video-nadzor.

19.4. MREŽE KOJE SE KORISTE U SISTEMIMA DIGITALNOG VIDEO-NADZORA

LAN mreža (*Local Area Network*) jeste računarska mreža koja povezuje različite mrežne uređaje na ograničenom prostoru. Prednost LAN mreže jeste ta što su brzine prenosa podataka u okviru nje velike. Mana je što ne omogućuju pristup sa udaljenih lokacija, ukoliko nisu povezane s nekom WAN mrežom. Osnovni mrežni uređaj koji se koristi u LAN mrežama jeste svičar. Mrežni svičar omogućuje povezivanje kamera, servera, računara, a u jednostavnijim mrežama i internet-pristup. Brzina prenosa podataka u

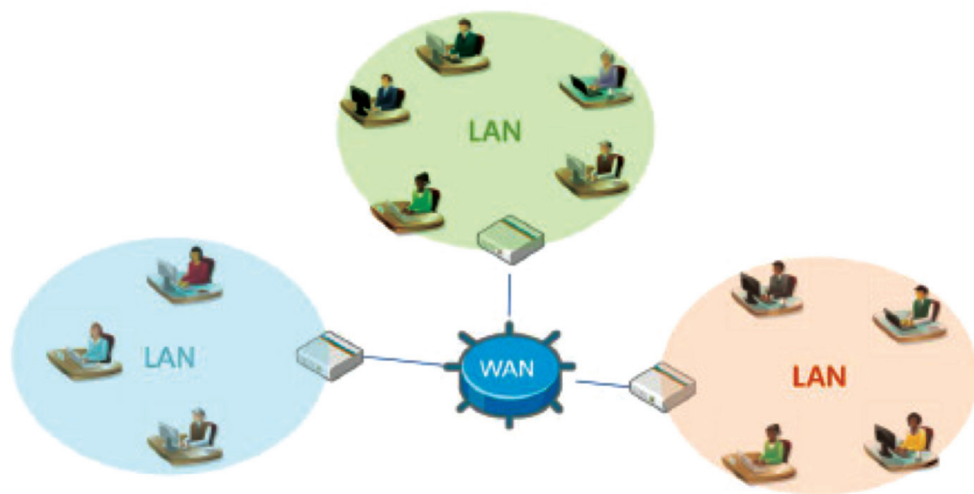
LAN mrežama zavisi od karakteristika ugrađene mrežne opreme i vrste medija za prenos.

Bežična mreža (Wireless) koristi se kada je postavljanje mrežnih kablova nepraktično, teško ili skupo. U tom slučaju se koriste bežični ruteri. Korisna je, na primer, u istorijskim objektima, gde bi instalacija kablova mogla da ošteti unutrašnjost, ili u objektima gde postoji potreba da se kamera premešta na dnevnom nivou, kao što to može biti slučaj u supermarketima ili u spoljnim instalacijama. Primer bežične mreže dat je na slici 19.12.



Slika 19.12. Primer bežične mreže u sistemu video-nadzora

Pri odabiru kamere mora da se vodi računa da ona podržava sigurnosne protokole IEEE 802.1X i WPA/WPA2, koji omogućuju siguran bežični prenos.



Slika 19.13. Struktura LAN i WAN mreža

WAN mreža (*Wide Area Network*) povezuje više spoljnih LAN mreža. Ona omogućuje pristup sa udaljenih mreža, ali često može da ima ograničavajući faktor u smislu brzine prenosa, kašnjenja i gubitka podataka. Brzine prenosa u WAN mrežama definiše provajder. Često su ap-loud (*upload*) i daun-loud (*download*) brzine prenosa podataka različite. Struktura LAN i WAN mreže prikazana je na slici 19.13.

19.5. PROPUSNI OPSEG RAČUNARSKE MREŽE I KAPACITET SNIMAČA

Potreban propusni opseg računarske mreže (*bandwidth*) računa se po formuli:

$$B(\text{Mbps}) = \frac{F_s(\text{kB}) - F_{ps} - N_k - 8}{1.024}.$$

gde je :

- B (Mbps) – potreban propusni opseg izražen u megabitima po sekundi,
- F_s – veličina frejma u kB,
- F_{ps} – broj frejmova koji se prenosi,
- N_k – broj kamera priključenih na koder.

U brojiocu izraza vrši se množenje sa 8 kako bi veličina F_s , koja je izražena u kb, bila konvertovana u kB, (1 B = 8 b) jer se propusnost mreže izražava u kbps. Deljenje sa 1.024 se vrši radi dobijanja rezultata u Mbps.

Većina poznatijih proizvođača opreme za video-nadzor ima besplatne softvere, koji su dostupni na njihovim sajtovima. Jedan od najviše korišćenih softvera je AXIS Design Tool, koji je dostupan na sajtu www.axis.com/products/Video/design_tool/.

Kapacitet mrežnog snimača izračunava se po formuli:

$$S(\text{GB}) = \frac{F_s(\text{kB}) \cdot F_{ps} \cdot N_k \cdot D \cdot H \cdot \text{Min} \cdot \text{Sec} \cdot P_s}{1.024 \cdot 1.024}$$

gde je:

- S – potreban kapacitet hard-diska u GB,
- F_s – veličina frejma u kB,
- F_{ps} – broj frejmova koji će se memorisati,
- N_k – broj priključenih kamera,
- D – broj dana snimanja,
- H – broj sati snimanja,

- Sec – broj sekundi snimanja,
- P_s – dnevni procenat vremena snimanja ($100\% = 1$).

Izraz u brojiocu jednačine deli se sa 1.024×1.024 kako bi se potreban kapacitet S dobio u GB-ima, u kojima je izražen kapacitet hard-diskova.

19.6. KLJUČNI POJMOVI

IP kamera. CCD i CMOS senzor. Objektiv. F-broj. Doum-kamera. Boks-kamera. PTZ kamera. Termalne kamere. Infracrvene kamere. Zum-kamere. Bežična mreža. LAN mreža. WAN mreža. Ulazno-izlazni portovi. Pan i tilt funkcije. Mrežni snimač. Optički zum. IR filter. Blenda. POE. DVR. VHS. VCR. Operativni sistem *Linux*. Operativni sistem Windows. C i CS prihvati objektiva.

19.7. PITANJA I ZADACI ZA OBNAVLJANJE GRADIVA

1. Od kojih elemenata se sastoji sistem video-nadzora?
2. Kod IP kamera koja je uloga POE (*Pover over ethernet*) interfejsa?
3. Koji su glavni delovi kamere za video-nadzor?
4. Kakva je razlika između CCD i CMOS senzora?
5. Šta određuje žižna daljina objektiva?
6. Koji standardi postoje za prihvati objektiva?
7. Šta predstavlja F-broj objektiva?
8. Koji uređaji se vezuju sa ulaznim, a koji sa izlaznim portovima?
9. Na osnovu oblika, kako se dele IP kamere?
10. Opisati doum kameru.
11. Opisati boks-kameru?
12. Šta znače pan i tilt funkcije kod PTZ kamere?
13. Koji se mrežni uređaj obavezno koristi u LAN mrežama za povezivanje IP kamera, računara i drugih uređaja?
14. Kod bežične mreže koje protokole mora da podržava IP kamera?
15. Kako se izračunava potreban propusni opseg računarske mreže (*bandwidth*) i kapacitet mrežnog snimača?

LITERATURA

1. B. Nastić, *Osnovi televizijske tehnike*, Naučna knjiga, Beograd, 1986.
2. M. Topalović, B. Nastić, *Televizija*, Radio-televizija Srbije, Beograd, 1992.
3. M. Robin, M Poulin, *Digital Television Fundamentals*, Mc Graw-Hill, 2000.
4. V. Steinberg, *Video standards, Signals, Format and Interfaces*, Snell and Wilcox, 1997.
5. K. G. Jakson, G. B. Townsend, *TV and Engineers Reference Book*, Bulterworth-Heinemann Ltd., 1991.
6. Rudolf Mausl, *Refresher topics-Television technology*, Rohde & Schwarz, dostupno na internetu.
7. *Technical Reference Book*, Independent Broadcasting Authority, London, Technical Review 2, septembar 1972.
8. *Video formation, perception and representation*, dostupno na internetu.
9. *Video resolution in analog TV*, časopis Broadcast Engineering, septembar 2002.
10. www.broadcastengineering.com, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, dostupno na internetu.
11. B. Šesterikov, Z. Manojlović, *Televizija u boji*, Tehnička knjiga, Beograd, 1987.
12. M. Radojlović, M. Tomić, *Televizijski uređaji*, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1989.
13. S. Prnjat, *Tehnologija filmske i elektronske slike*, Fakultet dramskih umetnosti, Beograd, 2002.
14. M. Babac, *Tehnika filmske montaže*, Univerzitet umetnosti u Beogradu, 1976.

15. S. Zdravković, M. Topalović, *Elementi digitalne tehnike i njena primena u radio-televizijskim uređajima*, Radio-televizija Beograd, 1975.
16. С. Здравковић, А. Стојковић, др Д. Мартиновић, мр М. Томић, мр Н. Поповић, Б. Васић, М. Бранковић, М. Филиповић, мр Д. Миловановић, *Видео-уређају*, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 2006.
17. S. Zdravković, *Osnovi digitalne televizije*, Radio-televizija Srbije, Beograd, 2009.
18. *Colorimetry standards*, www.broadcastengineering.com, avgust 2003.
19. *Gama correction*, www.broadcastengineering.com, januar 2005.
20. *Colour control in the camera*, www.broadcastengineering.com, april 2006.
21. *Light and the eye color vision*, dostupno na internetu.
22. *Human Visual Perception*, Technische universitat Darmstadt, dostupno na internetu.
23. S. Zdravković, *Boja u TV slici*, Radio-televizija Srbije, 2007.
24. *Component video basics*, www.broadcastengineering.com, februar 2004.
25. *A Guide to Digital Television Systems and Measurements*, Tektronix, www.tektronix.com, 1997.
26. *Format conversion*, www.broadcastengineering.com, decembar 2003.
27. *Inside color bars*, www.broadcastengineering.com, avgust 2002.
28. H. Kurtović, *Osnovi tehničke akustike*, Naučna knjiga, Beograd, 1991.
29. M. Filipović, *Elektroakustika*, SETŠ Nikola Tesla, Beograd, 1978.
30. W. Fisher, *Digital Television*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2004.
31. *Digital Television*, Microsoft Word Document, 2001, dostupno na internetu.
32. *A Guide to Standard and High-Definition Digital Video Measurements*, www.tektronix.com/video_audio, 2001.
33. *Digital Audio*, www.broadcastengineering.com, dostupno na internetu.
34. M. Radojlović, *Radio-predajnici*, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1990.
35. Quantel, *The Digital Fact Book*, Edition 11, 2002, www.quantel.com, 2002.
36. Tektronix, *A Guide to Standard and High-Definition Digital Video Measurements*, www.tektronix.com/video_audio, 2001.
37. Rohde & Schwarz, by Rudolf Mausel, *Refresher topics Television technology*, dostupno na internetu.

38. *Digital Video Basics*, www.broadcastengineering.com, novembar 2003, januar 2006.
39. *Composite digital video*, www.broadcastengineering.com, jun 2004.
40. *Going DVB, getting started*, www.broadcastengineering.com, 2006.
41. *HDTV format*, www.broadcastengineering.com, maj 2003, jun 2003.
42. *Serial Digital Interface*, Sony Broadcast and Communications, 1991, dostupno na internetu.
43. *A Guide to Standard and High-Definition Digital Video Measurements*, www.tektronix.com/video_audio, 2001.
44. *Guide to Digital Television Systems and Measurements*, Tektronix, www.tektronix.com, 1997.
45. Mr F. Presetnik, *Tehnički sistem televizije na prekretnici dva veka*, Televizija–Sadašnjost–Budućnost, Godišnjak RTS, 1998.
46. *Interconnectivity in the DTV Era: The Emergence of SDTI*, www.matrox.com/video.
47. *The analog-digital hybrid*, www.broadcastengineering.com, oktobar 2005.
48. *Video networks*, www.broadcastengineering.com, septembar 2006.
49. С. Здравковић, *Примена рачунара у телевизији*, Годишњак РТС, 1998.
50. *The analog-digital hybrid*, www.broadcastengineering.com, oktobar 2005.
51. *Standardizacija i kvalitet u informacionim tehnologijama*, Savezno ministarstvo za razvoj, nauku i životnu sredinu, Beograd 1995.
52. *Časopis Računari*, Beograd, oktobar 1996.
53. *Časopis PC MAGAZINE*, Beograd, decembar 1997.
54. *Časopis PC PRESS*, Beograd, septembar 1998.
55. *Video Compression*, www.broadcastengineering.com, novembar 2002, novembar, 2006.
56. *Understanding MPEG-2*, Hewlet Packard, www.hp.com/info/forhptv, 1997.
57. *Video compression*, SMPTE Journal, februar 1996.
58. *Data reduction techniques in digital video broadcasting*, dostupno na internetu.
59. *Video server technology*, www.broadcastengineering.com, april 2004, jun 2006.
60. *Networked production systems for broadcasters*, www.broadcastengineering.com, jun 2004.

61. Randy Conrad, *The convergence of Networking and Broadcasting*, SMPTE Journal, decembar 1995.
62. *Digital broadcasting station*, dostupno na internetu.
63. *Interconnectivity in the DTV Era: The Emergence of SDTI*, www.matrox.com/video.
64. *DVCPRO HD Format, P2 Card Solid-State Memory*, www.pbc.panasonic.com.cn.
65. *Matrox DigiSuit product family*, Matrox Digital Video Solution, www.matrox.com/video.
66. ENG and SNG technology development, www.broadcastengineering.com, March 2004.
67. Routing systems, www.broadcastengineering.com, septembar 2003.
68. Grass Valley Group Inc, *Considerations for Moving to a Video Server Based Facility*, dostupno na internetu.
69. *Newsroom automation*, www.broadcastengineering.com, mart 2006.
70. *Mobile video*, www.broadcastengineering.com, decembar 2005.
71. *Building HD facilities*, www.broadcastengineering.com, april 2007.
72. *Understanding MPEG-2*, Hewlett Packard, www.hp.com/info/forhptv, 1997.
73. *DVB-Digital Video Broadcasting, The new age of television*, dostupno na internetu.
74. *Going DVB, getting started*, www.broadcastengineering.com, mart 2006.
75. Prof. dr A. Marinčić, dr M. Topalović, mr F. Presetnik, dr A. Kozarev i grupa autora, *Kablovska televizija*, RTS, Beograd 1996.
76. *Light and the eye color vision*, dostupno na internetu.
77. U. Reimers, *From 4 : 3 to 16 : 9 Aspect Ratio-a Big Change in TV Production and Broadcasting*, Norddeutscher Rundfunk, Hamburg, Germany.
78. *Digitalna televizija*, dostupno na internetu.
79. *Razvoj digitalne televizije od 1972. do 2012, SD, HD, UHD*, dostupno na internetu.
80. Darko Hlušička, *HD televizija*, dostupno na internetu.
81. *ULTRA HDTV i 3D televizija*, dostupno na internetu.
82. *IPTV Srbija*, dostupno na internetu.
83. Dejan Petković, *DVB-H: Mobilna digitalna televizija na dohvat ruke*, dostupno na internetu.