

STANDARDNI POSTUPCI ZA KODIRANJE VIDEOSIGNALA U MULTIMEDIJSKIM KOMUNIKACIJAMA

VIDEO CODING STANDARDS IN MULTIMEDIA COMMUNICATIONS

Prof.dr.sc. Branka Zovko-Cihlar Doc.dr.sc. Sonja Grgić Mislav Grgić, dipl.ing.el.
Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva
Zagreb, Hrvatska

Sažetak: Napredak učinjen tijekom proteklih nekoliko godina u području procesiranja digitalnog signala, te uvođenja širokopojasnih digitalnih mreža integriranih usluga ima veliki utjecaj na razvoj multimedijjskih komunikacija. Smanjenje potrebne širine kanala za prijenos digitalnih videosignala otvorilo je mogućnost njihova zajedničkog prijenosa s ostalim vrstama podataka kao što su npr. tekst, grafika, govor i glazba, niskim brzinama uz održavanje visoke kvalitete prijemnih signala. U ovom radu analizirani su osnovni postupci kompresije i kodiranja videosignala koji se zasnivaju na uklanjanju vremenske i prostorne redundancije između elemenata slike, te su naglašene specifičnosti njihove primjene u važećim standardima za kodiranje različitih vrsta videosignala. Posebno su pojašnjena rješenja proizašla iz razvoja MPEG standarda i detaljno opisani elementi neophodni za njihovu primjenu. Opisan je MPEG algoritam kodiranja videosignala i analizirane opcije MPEG standarda kao što su slojevitost i kompatibilnost koje su osnova za mogućnost njegove opće primjene u multimedijjskim komunikacijama.

Ključne riječi: videosignal, kompresija videosignala, kodiranje videosignala, brzina prijenosa, kvaliteta slike

Abstract: In the last few years, advances in digital signal processing along with the creation of new broadband integrated services digital network testify the formation of new infrastructure for a new era of multimedia communication. New multimedia applications have become possible based on digital coding technology and bandwidth reduction. Multimedia applications address the combining of video, audio, text, still pictures, graphic and other data into a single multimedia object. Multimedia object, which includes video, requires large amounts of storage and communications bandwidth. The goal of video compression is to reduce bandwidth by removing

redundancy between picture elements in spatial and temporal domain. Hence compression schemes are only prospect for the widespread deployment of digital video in multimedia. The purpose of this paper to provide an overview of today's image and video compression techniques and standards and their role in multimedia communications. The commonalties and differences among the diverse coding techniques are outlined. MPEG video coding algorithm is described, the structure of profiles and levels has been introduced and a review of MPEG features is performed taking into account a great potential for its applications in multimedia communications.

Key words: video signal, video signal compression, video signal coding, bit rate, picture quality

1. UVOD

Doživljaj vida je zbog svog velikog informacijskog kapaciteta od izuzetnog značaja za ljudska bića. Kratkim razgledanjem neke slike čovjek prima količinu informacija koja bi se mogla dostići tek višesatnim slušanjem verbalnog opisivanja iste slike. Stoga se tehničko rješenje prijenosa mirnih i pokretnih slika na daljinu može smatrati velikim dostignućem stvaralačkog duha čovjeka, a njegov domet i moć su postali važnim faktorom u povezivanju ljudi te širenju znanja, kulture i informacija.

Osnovni nedostaci analognih sustava za prijenos videosignala su osjetljivost na šum i izobličenja, te preslušavanje s drugim izvorima signala što rezultira u degradaciji kvalitete slike. Za mala poboljšanja kvalitete potrebna su neproporcionalno velika ulaganja u dodatne uređaje i opremu. Digitalnim kodiranjem videosignala

navedeni nedostaci su u znatnoj mjeri reducirani ili potisnuti, dok su granice kvalitetnog i pouzdanog prijenosa daleko šire tako da je moguće naći optimalni odnos ulaganja u opremu i dobitka u kvaliteti.

Analogni videosignali su kontinuirani po amplitudi i vremenu i njihov ulazak u digitalni svijet je omogućen postupkom analognog/digitalne (A/D) pretvorbe koja se sastoji od diskretizacije po amplitudi (kvantizacija), diskretizacije po vremenu (uzorkovanje) te pridruživanju diskretnih znakova diskretnim razinama amplitude, [1]. Rezultat A/D pretvorbe je videosignal u digitalnom obliku izvorne brzine prijenosa koja se dobije kao umnožak frekvencije uzorkovanja i broja binarnih znakova pridruženih pojedinom uzorku slike (dužina kodne riječi). On može biti procesiran radi uklanjanja prostorne i vremenske redundancije (zalihosti, suvišnih informacija) koja se javlja kao posljedica postojanja korelacije (međuvisnosti) između susjednih uzoraka slike ili uzastopnih slika. Postupci procesiranja digitalnog signala radi uklanjanja redundancije se nazivaju postupcima digitalne kompresije (sažimanja). Transformacija signala iz analognog u digitalni oblik, procesiranje digitalnog signala radi uklanjanja prostorne i vremenske redundancije, pridruživanje binarnih znakova diskretnim razinama signala te uklanjanje statističke redundancije digitalnog toka podataka je obuhvaćeno jedinstvenim postupkom koji će se u ovom radu nazivati kodiranjem. Suprotan postupak je postupak dekodiranja.

Prijenos digitalnih videosignala u stvarnom vremenu postao je moguć zahvaljujući dosegnutom stupnju razvoja tehnologije kompresije koja u sebe uključuje algoritme kompresije videosignala, standarde za kodiranje videosignala i tehnologiju sklopova vrlo visokog stupnja integracije za njihovu provedbu i primjenu. Revolucionaran korak u razvoju digitalne televizije bilo je usvajanje CCIR preporuke 601, (sada ITU-R preporuka BT.601) kojom su postavljene osnove za analognog-digitalnu pretvorbu i definirani parametri digitalnog prikaza videosignala. Time je određena ishodišna točka koja je bila neophodan preduvjet napretka u procesu donošenja standarda za kodiranje videosignala različitih namjena. Danas su u primjeni širom svijeta četiri standarda za kodiranje videosignala za različite primjene i brzine prijenosa: ITU-T preporuka H.261 za videokonferencijske i videotelefonske primjene, ISO/IEC IS 10918 standard za kodiranje mirnih slika (tzv. JPEG, *Joint Photographic Experts Group*), ISO/IEC IS 11172 standard za pohranjivanje videosignala na disk (tzv. MPEG-1, *Motion Pictures Experts Group*) te ISO/IEC IS 13818 standard za generičko kodiranje videosignala (tzv. MPEG-2). Početkom 1999. očekuje se donošenje novog MPEG-4 standarda za kodiranje audio-vizualnih objekata.

2. DIGITALNI PRIKAZ VIDEOSIGNALA

Analogno/digitalna pretvorba videosignala je definirana ITU-R preporukom BT.601: "Parametri kodiranja digitalnog televizijskog signala za studijske primjene", [2]. ITU-R preporuka BT.601 je temeljni standard za

digitalno kodiranje televizijskog signala koji se primjenjuje kako u sustavima s 525 linija i vertikalnom frekvencijom 60 Hz tako i u sustavima s 625 linija i vertikalnom frekvencijom 50 Hz. Ulazni format analognog signala je komponentni sastavljen od luminantnog signala E'_Y i krominantnog signala određenog komponentama: $E'_{CR}=0.713(E'_R - E'_Y)$ i $E'_{CB} = 0.564(E'_B - E'_Y)$ koje su rezultat slijedeće transformacije signala primarnih boja crvene, zelene i plave (E'_R , E'_G , i E'_B) nastalih u kromatskoj kameri:

$$E'_{C_R} = 0.713(E'_R - E'_Y) = 0.500E'_R - 0.419E'_G - 0.881E'_B$$

$$E'_{C_B} = 0.564(E'_B - E'_Y) = -0.169E'_R - 0.331E'_G + 0.500E'_B$$

Signali E'_Y , E'_{CR} i E'_{CB} analogne komponente televizijskog signala u boji za koje vrijede parametri kodiranja propisani ITU-R preporukom BT.601, Tablica 1. Frekvencija uzorkovanja luminantnog signala iznosi 13.5 MHz, a krominantnog 6.75 MHz. Frekvencije uzorkovanja su vezane omjerom 4:2:2, a odabrane su tako da budu cjelobrojni višekratnici frekvencije 2.25 MHz koja je najmanji zajednički višekratnik horizontalnih frekvencija NTSC i PAL sustava. Struktura uzorkovanja je ortogonalna i ponavlja se po linijama, poluslikama i slikama, a uzorci se kodiraju ravnomjernom (uniformnom) impulsno kodnom modulacijom s osam bita po uzorku za luminantni i krominantni signal.

Referentna 4:2:2 struktura uzorkovanja je osnovni standard kojim se postiže kvaliteta televizijske slike zahtijevana u TV studijima. Navedena struktura predstavlja osnovicu jedinstvene skupine međusobno kompatibilnih standarda za digitalno kodiranje koji zadovoljavaju različite zahtjeve za kvalitetom signala.

Nakon primjene impulsno kodne modulacije uz parametre kodiranja propisane ITU-R preporukom BT.601 brzina prijenosa se može proračunati kao umnožak frekvencije uzorkovanja i broja bita po uzorku za svaku od komponenta videosignala. Ukupna brzina prijenosa se dobije sumiranjem brzina prijenosa triju komponenti i iznosi $(13.5 + 6.75 + 6.75) \times 8 = 216$ Mb/s.

3. KODIRANJE VIDEOSIGNALA I REDUKCIJA BRZINE PRIJENOSA

Digitalni televizijski signal studijske kvalitete zahtjeva širinu kanala koja je daleko veća od one potrebne za njegov prijenos u analognom obliku. ITU-R preporuka BT.601 zamjenjuje analogni signal širine kanala 6 MHz ili 8 MHz digitalnim tokom podataka od 216 Mb/s. Kako bi se digitalni televizijski signali mogli koristiti za prijenos i pohranjivanje, primjenjuju se postupci kompresije koji rezultiraju u snižavanju brzine prijenosa, a zasnivaju se na uklanjanju statističke i subjektivne redundancije unutar slike ili između slika. Statistička redundancija je posljedica prostorne i vremenske korelacije koja postoji između elemenata slike u pojedinoj liniji, između linija televizijske slike i između slika.

Tablica I: Osnovni parametri kodiranja definirani ITU-R preporukom BT.601

Parametri	525 linija / 60 Hz	625 linija / 50 Hz
Kodirani signali: Y, C _R , C _B	Ovi signali su dobiveni iz normaliziranih signala E' _Y , (E' _R - E' _Y) i (E' _B - E' _Y)	
Frekvencija uzorkovanja - luminantni signal - svaki od signala razlike	13.5 MHz 6.75 MHz	
Broj uzoraka po liniji - luminantni signal - svaki od signala razlike	858 429	864 432
Broj uzoraka po aktivnom dijelu linije - luminantni signal - svaki od signala razlike	720 360	
Struktura uzorkovanja	Ortogonalna, ponavlja se u svakoj liniji, poluslici i slici; uzorci za svaki od krominantnih signala razlike se uzimaju na mjestu koje odgovara neparnim uzorcima luminantnog signala u svakoj liniji	
Način kodiranja	Ravnomjerna impulsno kodna modulacija s osam bita po uzorku za luminantni signal i svaki od krominantnih signala	

Subjektivna redundancija se temelji na svojstvima čovječjeg vizuelnog sustava koji, zbog svoje nesavršenosti, dozvoljava određenu razinu izobličenja videosignala do granice koju ljudsko oko ne zapaža. Informacije nevažne za ljudski vizuelni sustav nije potrebno kodirati i prenositi što rezultira u snižavanju količine podataka i brzine prijenosa. Oko je daleko osjetljivije na promjene luminantnog signala nego krominantnih signala. Stoga se luminantni signal pri analogno-digitalnoj pretvorbi uzorkuje višom frekvencijom koja daje i višu prostornu rezoluciju. Drugo svojstvo vizuelnog sustava koje se koristi u postupcima kompresije videosignala je njegova manja osjetljivost na više frekvencijske komponente u spektru videosignala. Mnogobrojne studije osjetljivosti oka pokazuju da se ono ponaša kao niskopropusni filter tako da opažanje šuma i izobličenja u slici ovisi o njihovoj frekvencijskoj razdiobi. Stoga se pri kodiranju više frekvencijske komponente signala prikazuju manjim brojem bita po uzorku nego niže frekvencijske komponente.

Postupci kompresije videosignala se dijele u dvije osnovne skupine, [3]:

1. postupci koji unose gubitke (ireverzibilni)
2. postupci koji ne unose gubitke (reverzibilni).

Postupcima kompresije koji ne unose gubitke smanjuje se količina podataka za prijenos i pohranjivanje videosignala uz održavanje kvalitete izvorne slike što znači da je kvaliteta slike nakon dekodiranja jednaka kvaliteti slike prije kodiranja. Važne primjene ovakvih postupaka kompresije su pohranjivanje videosignala ili filmova u studijskom okruženju kao i pohranjivanje i prijenos mirnih slika za medicinske primjene.

Svrha postupaka kompresije koji unose gubitke je postizanje zahtjevanje brzine prijenosa za djelotvorno pohranjivanje ili prijenos kanalom ograničene širine. U takvim primjenama visoki stupanj kompresije se postiže uz smanjenje kvalitete slike tako da je objektivna kvaliteta dekodirane slike reducirana u odnosu na kvalitetu izvorne slike prije kodiranja, pri čemu je mjerilo objektivne

kvalitete slike srednja kvadratna pogreška između izvorne i dekodirane slike. Što je zahtjevana brzina prijenosa u kanalu niža, neophodno je postići viši stupanj kompresije podataka izvorne slike. Postupcima kodiranja koji unose gubitke nastoji se postići, uz zahtjevanu brzinu prijenosa, što viša subjektivna kvaliteta slike pri čemu je mjerilo subjektivne kvalitete vidljivost izobličenja u slici. Ona ne ovisi samo o primjenjenom postupku kompresije, već ovisi i o sadržaju i složenosti videosignala, tako da sekvence videosignala s niskom razinom aktivnosti i malim promjenama sadržaja od slike do slike mogu biti uspješno rekonstruirane bez vidljivih izobličenja čak i uz visoke stupnjeve kompresije.

Najčešće korišteni postupci kodiranja koji ne unose gubitke su postupci statističkog (entropijskog) kodiranja kao što su kodiranje promjenljivom dužinom kodne riječi, Huffmanovo kodiranje i kodiranje dužine niza. Statističko kodiranje iskorištava statistička svojstva niza kodnih znakova u kome različiti kodni znakovi imaju različitu razdiobu vjerojatnosti pojavljivanja.

Iz skupine postupaka kodiranja videosignala koji unose gubitke, najširu primjenu su našli postupci kodiranja s predviđanjem, transformacijskog kodiranja, kvantizacije vektora i kodiranja uz frekvencijsku podjelu u podpojaseve. Osnovica za uklanjanje redundancije pri kodiranju s predviđanjem je postojanje međuovisnosti susjednih elemenata slike u slici ili između slika, tako da amplituda pojedinog elementa slike može biti predviđena iz njemu prostorno najbližih elemenata slike u slici (*Intraframe Coding* - kodiranje unutar slike ili samostalno kodiranje slike) ili vremenski najbližih elemenata slike susjednih slika (*Interframe Coding* - kodiranje između slika). U postupke kodiranja s predviđanjem se ubraja i diferencijalna impulsno kodna modulacija (DPCM, *Differential Pulse Code Modulation*) pri kojoj se kodira samo razlika između stvarne vrijednosti amplitude elemenata slike i predviđene vrijednosti amplitude (pogreška predviđanja). Često korištena tehnika predviđanja za vremensku diferencijalnu impulsno kodnu

modulaciju je predviđanje uz nadomještanje pokreta (MC, *Motion Compensation*) kojim se uklanja vremenska redundancija između susjednih slika.

Postupcima transformacijskog kodiranja (TC, *Transform Coding*) se uklanja korelacija između uzoraka slike i kodiraju samo koeficijenti koji nastaju kao rezultat transformacije. Veliki broj koeficijenata transformacije ima male amplitude i nije ih potrebno prenositi jer njihovo zanemarivanje ne utječe značajno na smanjenje kvalitete slike. Najčešće je korištena diskretna kosinusna transformacija (DCT, *Discrete Cosine Transform*) zbog dobrih svojstava pri snižavanju ili uklanjanju korelacije između uzoraka slike i postojanja brzih algoritama za njezino proračunavanje koje je moguće izvesti u stvarnom vremenu.

Postupcima kvantizacije vektora (VQ, *Vector Quantization*) se uklanja redundancija između elemenata slike na taj način da se elementi slike grupiraju u područja koja se međusobno ne preklapaju, a svako područje se prikazuje vektorom koji se kvantizira, kodira pomoću kodnih tablica i prenosi, a na prijemnoj strani dekodira pomoću istih kodnih tablica koje su korištene na odašiljačkoj strani.

Kodiranjem frekvencijskom podjelom u podpojaseve (*Subband Coding*) ulazni signal se filtrima dijeli na više frekvencijskih područja (podpojaseva), a zatim se svaki podpojas kodira u skladu s vlastitim statističkim svojstvima i vizuelnim značajem za točnu rekonstrukciju slike.

Hibridnim postupcima kodiranja, u koje spadaju i standardni postupci kodiranja mirnih i pokretnih slika (JPEG, H.261, MPEG), se kombiniraju postupci kojima se uklanjanje vremenska redundancija između slika (DPCM) s postupcima kojima se uklanja prostorna redundancija između elemenata slike u slici (DCT) i postupcima kojima se uklanja statistička redundancija u nizu binarnih znakova (Huffmanovo kodiranje, kodiranje dužine niza).

4. STANDARDNI POSTUPCI ZA KODIRANJE VIDEOSIGNALA

Definiranjem i planiranjem razvoja digitalnih mreža integriranih usluga, javila se i potreba za standardizacijom postupaka kompresije videosignala za videotelefonske i videokonferencijske primjene koji se mogu distribuirati takvim mrežama pri brzinama od 64 kb/s. U studenom 1989. u okviru CCITT (*International Telegraph and Telephone Consultative Committee*) radne grupe XV (*Study Group XV*) je izrađen prijedlog karakteristika algoritma kodiranja koji pokriva područje brzina prijenosa od 64 kb/s do 2Mb/s, a koji je rezultirao u ITU-T (prije CCITT) preporuci H.261 "Video-kodek za audiovizuelne usluge pri brzinama prijenosa od 64 kb/s" kojom je definiran sustav kodiranja/dekodiranja videosignala za videotelefonske i videokonferencijske primjene, [4].

Napretku standardizacije postupaka kompresije slike je pridonio i rad proveden u okviru Podkomiteta 2 Međunarodne organizacije za standarde i Međunarodne elektrotehničke komisije (*Subcommittee 2 of International*

Standards Organisation / International Electrotechnical Commission - ISO/IEC) u kome je 1982. formirana Radna skupina 8 (*Working Group 8 - WG8*) "Kodirani prikaz slikovnih i tonских informacija" (*Coded Representation of Picture and Audio Information*), a 1986. je u sklopu WG8 ustanovljena stručna skupina JPEG (*Joint Photographic Experts Group*) s ciljem da formulira standardni postupak za kompresiju mirnih digitaliziranih slika. Nakon uspjeha u odabiru jedinstvenog postupka kodiranja mirnih slika i usvajanja međunarodnog standarda IS 10918 "Digitalna kompresija i kodiranje mirnih slika" (*International Standard 10918 "Digital Compression and Coding of Continuous Tone Still Images"*), tzv. JPEG standarda [5], u okviru WG8 je stvorena nova stručna skupina poznata pod nazivom "Motion Pictures Experts Group - MPEG" (Grupa stručnjaka za kodiranje pokretnih slika) s ciljem razvoja standarda za kodiranje videosignala i pratećih tonских signala. Navedena stručna skupina je ubrzo prerasla u Radnu grupu 11: "Kodiranje pokretnih slika i pratećih tonских signala" (*Working Group 11 - WG11: "Coding of Moving Pictures and Associated Audio"*).

Prvi standard proizašao iz rada MPEG grupe je međunarodni standard ISO/IEC IS 11172 - Kodiranje pokretnih slika i pratećih audiosignala za digitalno pohranjivanje pri brzinama do 1.5 Mbit/s (*"Coding of Moving Pictures and Associated Audio for Digital Storage Media up to about 1.5 Mb/s"*), tzv. MPEG-1 standard [6]. Drugi standard razvijen u okviru MPEG grupe je ISO/IEC IS 13818 Informacijska tehnologija - Generičko kodiranje pokretnih slika i pratećih audiosignala ("Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio"), poznat pod nazivom MPEG-2 [7]. Riječ „generički” naglašava suštinu standarda koji nije namijenjen jednoj definiranoj primjeni, nego ga je moguće koristiti u cijelom nizu različitih primjena. Standard specificira skup postupaka kodiranja s jezgrom sustava koja sadrži algoritam kodiranja standardnih televizijskih formata kako su definirani ITU-R Preporukom BT.601. za brzine prijenosa od 4-10 Mb/s kojima se može postići kvaliteta prijemnih signala bolja nego u standardnim NTSC/PAL sustavima (4 Mb/s) ili vrhunska kvaliteta slike kod koje nije moguće zamijetiti razliku između dekodirane i izvorne slike (9 Mb/s). Predloženi postupci kodiranja posjeduju takva svojstva da ih je moguće primijeniti i na televiziju visoke kvalitete (*High Definition Television - HDTV*) uz brzine prijenosa iznad 10 Mb/s.

4.1. ITU-T preporuka H.261

Prepoznavajući potrebu za omogućavanjem distribucije videosignala digitalnim mrežama integriranih usluga (ISDN, *Integrated Services Digital Network*), CCITT (sada ITU-T) SG XV je donijela preporuku H.261: "Video-kodek za audiovizuelne usluge pri brzinama prijenosa od 64 kb/s", [4]. Predloženi algoritam kodiranja može raditi u stvarnom vremenu s minimalnim kašnjenjem. Brzine prijenosa pri kojima je $p < 6$ su namijenjene videotelefonskim primjenama dok je pri brzinama

prijenosa za koje je $p > 6$ moguć prijenos složenijih slika uz višu kvalitetu tako da su te brzine namijenjene prijenosu videokonferencijskih signala.

ITU-T je usvojio osnovni izvorni oblik slike nazvan CIF (*Common Intermediate Format*) i dodatni format QCIF (*Quarter CIF*) kao format za videotelefone signale. CIF format predviđa 288 linija po slici i 360 uzoraka po liniji za luminantnu komponentu, te 144 linije po slici uz 180 uzoraka po liniji za svaku od krominantnih komponenti. QCIF format predviđa upola manji broj linija u slici i uzoraka u liniji od CIF formata kako za luminantnu tako i za krominantne komponente. Brzina prijenosa koja je rezultat izvornog formata slike pri vertikalnoj frekvenciji 29.97 iznosi za CIF 36.45 Mb/s i za QCIF 9.115 Mb/s. Za prijenos takvih videosignala ISDN kanalom (px64 kb/s, $p = 1, 2, 3, \dots, 30$) je potrebno provesti redukciju brzine prijenosa.

Algoritam digitalne kompresije i kodiranja videosignala ima hijerarhijsku strukturu u kojoj se izvorni videosignal u CIF ili QCIF formatu dijeli u slike, grupe blokova (GOB, *Group of Blocks*), makroblokove (MB, *Macro Blocks*) i blokove. Blok je osnovna jedinica koja se sastoji od 8×8 elemenata slike. Makroblok je sastavljen od 4 luminantna bloka (Y) i po dva krominantna bloka za svaku od krominantnih komponenti (C_B , C_R). Grupa blokova se sastoji od 3×11 makroblokova. Slika u QCIF formatu se sastoji od 3 grupe blokova, dok ona u CIF formatu sadrži 12 grupa blokova. Takva hijerarhijska struktura ima veliki značaj za algoritam kodiranja kojim se postiže visok stupanj kompresije podataka izvorne slike.

ITU-T H.261 sklop za kodiranje koristi dva načina kodiranja: samostalno kodiranje pojedine slike (kodiranje unutar slike) i kodiranje uz predviđanje (kodiranje između slika). Blok shema sklopa za kodiranje je prikazana Slikom 1. Postupak se može opisati kao hibridno kodiranje koje se sastoji od diskretne kosinusne transformacije i diferencijalne impulsno kodne modulacije s predviđanjem pokreta. Pri načinu rada u

blokove veličine 8×8 elemenata slike, na svaki blok se primjenjuje diskretna kosinusna transformacija [8], koeficijenti transformacije se linearno kvantiziraju i multipleksiraju. Ista slika se inverzno kvantizira i transformira primjenom inverzne diskretne kosinusne transformacije a zatim pohranjuje u memoriju slike kako bi se mogla koristiti u kodiranju između slika za predviđanje sadržaja slike koja slijedi.

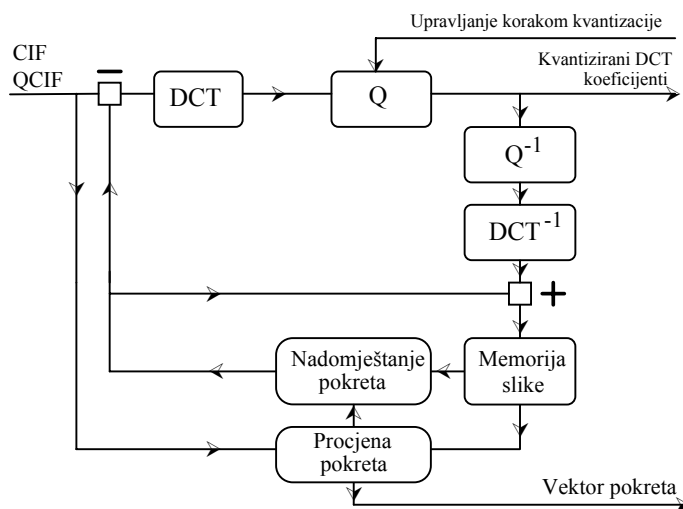
Pri kodiranju s predviđanjem, predviđanje se zasniva na usporedbi svakog makrobloka u trenutno procesiranoj slici s odgovarajućim makroblokom u prethodno procesiranoj slici. Ako je razlika između trenutno procesiranog bloka i prethodno procesiranog bloka manja od zadane vrijednosti praga, za taj blok se ne prenose nikakvi podaci. Ako je ta razlika veća od vrijednosti praga, na razliku blokova se primjenjuje diskretna kosinusna transformacija, linearna kvantizacija i multipleksiranje.

Veličina koraka kvantizacije je usklađena s popunjenošću međuspremnika koji se nalazi na izlazu iz kodera. Kada postoji opasnost od njegova propterećenja i preljeva, korak kvantizacije se smanjuje kako bi se smanjila količina kodiranih podataka.

4.2. JPEG standard za kodiranje mirnih slika

JPEG standard [5] podržava četiri načina rada kako bi se zadovoljili zahtjevi različitih primjena standarda:

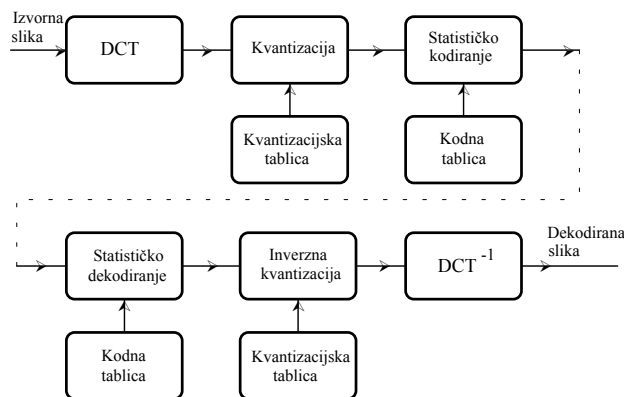
- temeljno (osnovno) kodiranje kod kojega se svaka komponenta slike kodira zasebno s lijeva na desno, od gore prema dolje,
- progresivno kodiranje pri kome je slika kodirana uz višestruko analiziranje,
- kodiranje bez gubitaka koje omogućuje potpuno točnu rekonstrukciju svakog uzorka izvorne slike,
- hijerarhijsko kodiranje uz više različitih rezolucija tako da je slici najniže rezolucije moguće pristupiti bez dekodiranja slike u njezinoj punoj rezoluciji.



Slika 1. Postupak kompresije u H.261 standardu

Za svaki način rada su definirani postupci kodiranja i dekodiranja. Koderi i dekoderi za pojedini način rada se razlikuju po točnosti uzoraka ulazne slike i postupku statističkog kodiranja.

Postupak temeljnog kodiranja je izveden tako da može ispuniti zahtjeve većine primjena. On se zasniva na diskretnoj kosinusnoj transformaciji. Slika 2. prikazuje osnovne postupke procesiranja signala za poseban slučaj jednokomponentne (crno-bijele) slike. Kompresija slike u boji može biti razmatrana kao kompresija više crno-bijelih slika u isto vrijeme. Izvorna slika je podijeljena u blokove veličine 8x8 elemenata slike na koje se primjenjuje DCT koja daje 64 koeficijenta transformacije. Koeficijenti transformacije su ravnomjerno kvantizirani u skladu s kvantizacijskom tablicom s 64 elementa koji određuju korak kvantizacije za odgovarajući DCT koeficijent, a mogu biti cjelobrojne vrijednosti između 1 i 255. Kvantizacijom se odbacuju informacije koje nisu važne za ljudski vizuelni sustav. Postupak kvantizacije je osnovni izvor gubitaka pri kodiranju zasnovanom na DCT.

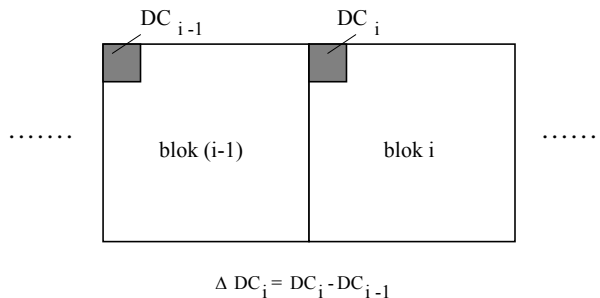


Slika 2. Kodiranje i dekodiranje u temeljnom kodeku

Kvantizacija je definirana kao postupak dijeljenja vrijednosti DCT koeficijenata s njima odgovarajućim vrijednostima iz kvantizacijske tablice i zaokruživanje rezultata dijeljenja na najbližu cjelobrojnu vrijednost.

Nakon kvantizacije, blok DCT koeficijenata se preoblikuje u jednodimenzionalni niz podataka primjenom cik-cak analiziranja pri kome se očitavaju prvo niskofrekvencijske, a zatim visokofrekvencijske komponente. Visokofrekvencijske komponente, u pravilu, imaju amplitude čija je veličina jednaka ili bliska nuli i stoga ne trebaju biti kodirane, rezultirajući u visokom stupnju kompresije.

DC koeficijent s nultom horizontalnom i vertikalnom frekvencijom je srednja vrijednost 64 uzorka slike u izvornom bloku. Obzirom da postoji jaka korelacija između DC koeficijenata susjednih 8x8 blokova, kvantizirani DC koeficijenti se kodiraju primjenom diferencijalne impulsno kodne modulacije pri kojoj se kodira razlika između DC koeficijenta bloka koji se trenutno procesira i DC koeficijenta prethodno procesiranog bloka, Slika 3.



Slika 3. DPCM primjenjena na DC koeficijente

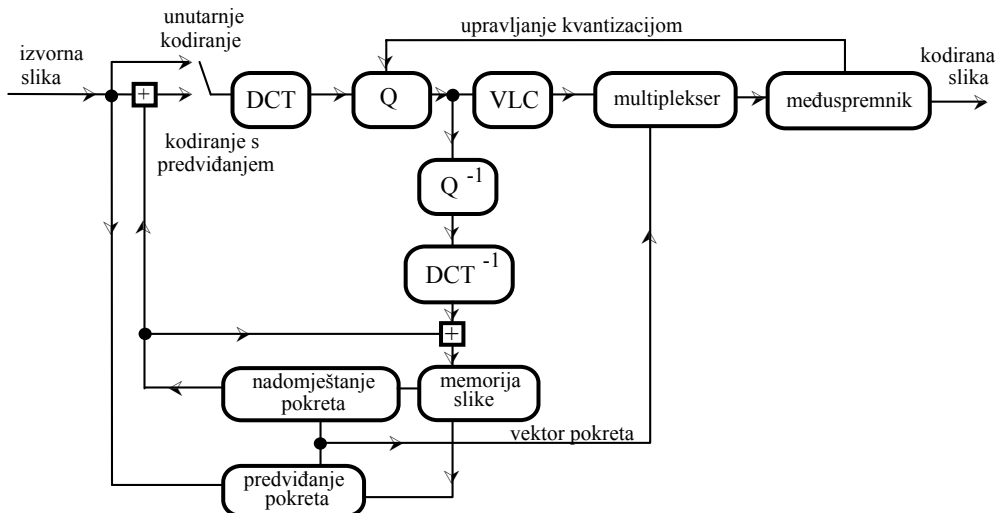
Završni stupanj procesiranja signala u temeljnom JPEG koderu je statističko kodiranje kvantiziranih DCT koeficijenata kojim se postiže dodatna kompresija. Cik-cak analiziranje je pripremni korak za statističko kodiranje jer se njime visokofrekvencijske komponente s amplitudama jednakim nuli grupiraju na kraju niza. Temeljni koder koristi Huffmanovo kodiranje dok se pri ostalim načinima rada koristi i aritmetičko kodiranje. Huffmanovo kodiranje zahtijeva specifikaciju jednog ili više skupova Huffmanovih kodnih tablica za pojedinu primjenu. Iste tablice se koriste u koderu i dekoderu. Tablice mogu biti unaprijed definirane ili proračunate za danu primjenu. JPEG standard ne određuje kodne tablice. Za kompresiju slika u boji kod kojih je kromatska informacija predstavljena preko dvije krominantne komponente, a akromatska preko jedne luminantne komponente, jedan skup Huffmanovih tablica se može koristiti za luminantnu komponentu a drugi za krominantne komponente. Obzirom da su statistička svojstva DCT koeficijenata većine slika slična za obje krominantne komponente, isti skup Huffmanovih tablica može biti učinkovito primjenjen pri kodiranju obje krominantne komponente.

4.3. MPEG-1 postupak kodiranja videosignala

Postupak kodiranja propisan MPEG-1 standardom je sličan postupku kodiranja ITU-T H.261. Osnovna razlika je u tome što MPEG-1 dozvoljava dvosmjerno predviđanje s nadomještanjem pokreta pri kojemu se trenutno procesirana slika ne uspoređuje samo s prethodno procesiranim slikama nego sa slikama koje se u izvornoj video-sekvenci nalaze iza nje.

Izvorni format slike za MPEG-1 standard je SIF (*Source Input Format*) koji ima rezoluciju luminantne komponente 360x240 elemenata slike (za NTSC) ili 360x288 elemenata slike (za PAL), dok je rezolucija krominantne komponente jednaka polovici rezolucije luminantne komponente u horizontalnom i vertikalnom smjeru. MPEG SIF format je kompatibilan s formatima slike propisanim ITU-R preporukom BT.601.

Model kodiranja videosignala u MPEG postupku je organiziran u šest slojeva od kojih svaki podržava određene postupke procesiranja signala ili funkcije sustava. **BLOK** je najmanja jedinica kodiranja sastavljena od 64 elemenata slike. To je osnovna jedinica za primjenu



Slika 4. MPEG postupak kodiranja

diskretne kosinusne transformacije. Svaki luminantni element slike odgovara jednom elementu slike. Kromatska informacija se poduzorkuje u omjeru 2:1 u horizontalnom i vertikalnom smjeru tako da se jedna kromatska informacija sastavlja od dvije krominantne komponente izvodi za četiri elementa slike. **MAKROBLOK** je osnovna jedinica za kodiranje s nadomještanjem pokreta koja se sastoji od područja 16 elemenata slike u 16 linija za luminantnu komponentu (4 bloka od 8x8 elemenata slike) i prostorno jednakog područja s 8 elemenata slike u 8 linija za svaku od krominantnih komponenta. To znači da makroblok sadrži 4 luminantna bloka i 2 krominantna bloka pri čemu je područje slike pokriveno s 4 luminantna bloka jednako području slike koje je pokriveno pojedinim krominantnim blokom. **ISJEČAK SLIKE** (*Slice*) je horizontalni niz makroblokova koji je osnovna jedinica za uspostavljanje sinkronizacije između postupaka kodiranja koji se provode na razini bloka i makrobloka. Prilikom pojave pogreške unutar slike zbog gubitaka u prijenosu, nije potrebno odbaciti cijelu sliku već je iz postupka dekodiranja moguće izostaviti samo isječak slike i nastaviti dekodiranje sa slijedećim ispravno primljenim isječkom slike. **SLIKA** je osnovna jedinica u MPEG postupku kodiranja. Slike se dijele na: I-slike (*Intra Coded Pictures*) koje su samostalno kodirane unutarnjim kodiranjem, P-slike (*Predictive Coded Pictures*) koje su kodirane s predviđanjem uz nadomještanje pokreta pri čemu se kao polazne slike u postupku predviđanja koriste prethodne I-slike ili P-slike, B-slike (*Bidirectionally Coded Pictures*) koje su kodirane s predviđanjem uz nadomještanje pokreta pri čemu se kao polazne slike u postupku predviđanja koriste i prethodne i buduće I-slike ili P-slike i D-slike (*DC Coded Pictures*) kod kojih se kodira samo istosmjerni (DC) koeficijent diskretne kosinusne transformacije. **GRUPA SLIKA** (*GOP, Group of Pictures*) se sastoji od jedne ili više slika a predstavlja najmanju jedinicu koja može biti neovisno dekodirana unutar video-sekvence. **SEKVENCA** je najviši sloj u hijerarhijskoj strukturi kodiranja koja se sastoji od zaglavlja i određenog broja grupa slika. Zaglavlje

sekvence uspostavlja početno stanje dekodera kako prethodno dekodirane sekvence ne bi imale utjecaja na trenutni proces dekodiranja.

Osnovni postupak kodiranja videosignala je prikazan Slikom 4. On se zasniva na uklanjanju prostorne redundancije primjenom DCT na blokove veličine 8x8 elemenata slike i na uklanjanju vremenske redundancije primjenom kodiranja s predviđanjem uz nadomještanje pokreta na razini makrobloka. Izvorni videosignal se digitalizira i preoblikuje u SIF format. Pri unutarnjem kodiranju, slika se dijeli u blokove veličine 8x8 elemenata slike na koje se primjenjuje diskretna kosinusna transformacija (DCT) koja daje 64 koeficijenta transformacije. DCT koeficijenti se kvantiziraju u skladu s kvantizacijskim tablicama veličine 8x8 čije vrijednosti su izvedene u skladu s osobinama ljudskog vizuelnog sustava i osjetljivošću ljudskog oka tako da su oni koeficijenti koji predstavljaju frekvencijske komponente na koje ljudsko oko pokazuje veću osjetljivost, kvantizirani s većom točnošću tj. manjim korakom kvantizacije, od onih na koje je ljudsko oko manje osjetljivo.

DC koeficijent bloka se kvantizira različito od AC koeficijenata. Na njega se primjenjuje ravnomjerna linearna kvantizacija s veličinom koraka kvantizacije koja je jednaka 8. DC koeficijent se dijeli s 8 i zaokružuje na najbliži cijeli broj. DC koeficijenti susjednih blokova sadrže visok stupanj korelacije i stoga su nakon kvantizacije kodirani primjenom diferencijalne impulsokodne modulacije. Nakon primjene DPCM razlike kvantiziranih DC koeficijenata su podijeljene u skupine obzirom na njihovu apsolutnu veličinu i kodirane kodom s promjenljivom dužinom kodne riječi (VLC, *Variable Length Coding*) na način koji je precizno definiran MPEG-1 standardom.

Kvantizirani izmjenični DCT koeficijenti su kodirani primjenom kodiranja dužine niza (RLC, *Run Length Coding*). Kvantizirani koeficijenti su analizirani u cik-cak rasporedu nakon čega se broje kvantizirani koeficijenti jednaki nuli koji prethode svakom koeficijentu različitom od nule. Broj uzastopnih

koeficijentata s nulom razinom je definiran parametrom "dužina niza" (*Run Length*), a veličina koeficijenta koji slijedi takav niz nula parametrom "razina" (*Level*). Kombinacije (dužina niza, razina) koje se najčešće pojavljuju se kodiraju jednom kodnom riječi VLC kodom koji je definiran u MPEG standardu.

Kvantizirani i kodirani blokovi slike su dekodirani u dekoderu koji je sastavni dio koda i pohranjeni u memoriju slike kako bi mogli biti korišteni kao prediktori u procesu kodiranja s predviđanjem.

Pri kodiranju s predviđanjem slike su procesirane na razini makroblokova. Početni korak u postupku kodiranja s predviđanjem se zasniva na procjeni pokreta. Postupkom predviđanja pokreta se procjenjuje kretanje objekata u uzastopnim slikama. Izvorna slika se uspoređuje s lokalno dekodiranom prethodnom I-slikom ili P-slikom nakon čega se proračunavaju dvodimenzionalni vektori pokreta koji se samostalno kodiraju i prenose do dekodera. Vektori pokreta se koriste u daljnjem postupku kodiranja s predviđanjem uz nadomještanje pokreta. Oni se primjenjuju na prethodnu sliku dohvaćenu iz memorije slike za translaciju objekata čime razlika između prethodne slike, s na taj način nadomještenim pokretom, i trenutno procesirane slike postaje mala. Makroblok iz prethodne slike translaciran za vektor pokreta postaje prediktor u postupku DPCM za odgovarajući makroblok u trenutno procesiranoj slici. Razlika između makroblokova (pogreška predviđanja) se kodira primjenom DCT radi uklanjanja preostale prostorne redundancije. Ta razlika je vrlo mala što rezultira u visokom stupnju kompresije.

Koeficijenti nastali diskretnom kosinusnom transformacijom pogreške predviđanja su kvantizirani pri čemu je korak kvantizacije za sve DCT koeficijente uključujući istosmjerni koeficijent jednak i iznosi 16. Kvantizirani koeficijenti su kodirani primjenom kodiranja dužine niza i kodiranja s promjenljivom dužinom kodne riječi.

4.4. MPEG-2 standardni postupak

Zbog širokog opsega mogućih primjena, MPEG-2 predstavlja skupinu standarda s različitim profilima i razinama. Takvo rješenje je zasnovano na odvojenom razmatranju postupaka kodiranja i parametara koji ovise o konkretnoj primjeni videosignala. Osnovni algoritam kodiranja predviđen MPEG-1 standardom je zadržan i u MPEG-2 standardu, a manje izmjene su nastale zbog potrebe za prilagođavanjem MPEG-2 standarda ulaznom formatu slike koji koristi analiziranje s proredom gdje se jedna slika dijeli na dvije poluslike sastavljene od parnih ili neparnih linija. Naime, MPEG-1 standard dopušta samo progresivno analiziranje dok MPEG-2 standard, kao opći (generički) standard, mora sadržavati rješenja i za progresivne formate izvorne slike i za formate izvorne slike s proredom, koji zahtijevaju složenije načine predviđanja posebno prilagođene procesiranju poluslike.

MPEG-2 standard je optimiziran za ITU-R Rec. BT.601, 4:2:2 format slike, ali može biti primjenjen i na

ostale oblike izvornih slika (CIF, QCIF, SIF, kompozitni i dr.) zahvaljujući razrađenoj strukturi profila i razina MPEG-2 video sintakse. *Profil* može biti razmatran kao podskup skupa parametara koji potpuno definiraju videosintaksu, dok je *razina* skup ograničenja koja vrijede za parametre videosintakse. Videosintaksa može biti podjeljena u dvije glavne kategorije: slojevitost i cjelovitu sintaksu. *Cjelovita sintaksa* definira neophodne postupke za kompresiju izvornih formata videosignala uključujući analiziranje s proredom. *Slojevita sintaksa* pruža mogućnost rekonstrukcije slike iz dijelova ukupnog toka podataka, što je postignuto podjelom ukupnog toka podataka na dva ili više slojeva počevši od osnovnog sloja koji može biti nadopunjen dodatnim slojevima.

Slojevitost je ključni koncept, čijom primjenom je moguće postići kompatibilnost MPEG-2 postupka kodiranja s postojećim algoritmima kodiranja kao što su JPEG, H.261 i MPEG-1, ali je to i vrlo djelotvorna tehnika za rješavanje općenitijih problema vezanih uz višerezolucijske ulazne formate, kodiranje s promjenjivom brzinom prijenosa i sučeljavanje s mrežama zasnovanim na asinkronom načinu prijenosa [9]. Pri slojevitom kodiranju videosignala pretpostavlja se da postojeći tok podataka iz koda može biti dekodiran u sklopovima za dekodiranje različite složenosti dajući odgovarajući prikaz videosignala. MPEG-2 standard predviđa nekoliko različitih oblika slojevitosti kao što su odjeljivanje podataka, slojevitost u odnosu na omjer signal/šum, prostorna slojevitost i vremenska slojevitost. Podržane su i kombinacije ovih osnovnih oblika slojevitosti koje daju hibridnu slojevitost. Osnovna slojevitost dozvoljava podjelu videosignala u dva sloja, dok hibridna slojevitost podržava podjelu u tri sloja.

MPEG-2, kao opći standard za kodiranje videosignala mora biti prilagođen različitim primjenama i formatima izvornih slika što je postignuto primjenom strukture profila i razina. *Profil* je definiran kao skup od jednog ili više osnovnih standarda, a vezan je uz utvrđivanje klase, podskupova, opcija i parametara tog osnovnog standarda za provođenje svake posebne funkcije. *Razina* je definirana područjem parametara kao što su veličina slike, frekvencija izmjene slika, brzina prijenosa, veličina međuspremnika i dr.

MPEG standard predviđa pet različitih profila:

- osnovni profil, s najnižom kvalitetom i bez mogućnosti slojevitog kodiranja,
- glavni profil, istih svojstava kao osnovni, ali bez mogućnosti interpolacije slika,
- profil sa slojevitošću u odnosu na omjer signal/šum u kome su podržane različite kvalitete slike iskazane preko omjera signal/šum,
- profil s prostornom slojevitošću u kome su podržane različite prostorne rezolucije slike,
- vršni profil koji podržava potpunu slojevitost.

MPEG-2 standardom su utvrđene četiri razine:

- niska razina koja odgovara CIF formatu slike iz H.261 standarda ili SIF formatu slike iz MPEG-1 standarda,
- glavna razina koja odgovara standardnim formatima televizijske slike (NTSC, PAL, SECAM),

- visoka-1440 razina koja odgovara televizijskom signalu visoke kvalitete s 1440 uzoraka po liniji,
- visoka razina koja odgovara televizijskom signalu visoke kvalitete s 1920 uzoraka po liniji.

Razine su pridružene svakom profilu, ali nisu moguće sve kombinacije profila i razina. Takvom strukturom MPEG-2 standardni postupak za opće kodiranje podržava veliki raspon horizontalnih i vertikalnih rezolucija, formata slike i brzina prijenosa, te ne treba očekivati da će svaki sustav u kome se koristi MPEG-2 podržavati sve vrste njegova rada. Uvođenjem strukture profila je moguće određeni način rada prilagoditi tipičnim primjenama. MPEG-2 standard je sposoban podržati postojeće kretanje prema potpunoj digitalizaciji audiovizualnih usluga i uvođenju novih multimedijjskih usluga [9].

MPEG-3 standardni postupak je trebao biti namijenjen za televiziju visoke kvalitete (HDTV, *High Definition Television*) s rezolucijom 1920x1080x30 Hz, s brzinama prijenosa između 20 i 40 Mb/s. Kasnije je ustanovljeno da uz određena mala prilagođenja MPEG-2 sintaksa može podržati i televiziju visoke kvalitete. Zbog toga je postupak donošenja standarda za televiziju visoke kvalitete okončan tako da je televizija visoke kvalitete sada dio MPEG-2 visoke-1440 razine i visoke razine [10].

4.5. MPEG-4 postupak za kodiranje audiovizualnih objekata

MPEG-4 ima za cilj osigurati opći i djelotvoran postupak kodiranja audiovizualnih podataka (AV, *Audio-Visual*) u različitim oblicima, koji se nazivaju audiovizualni objekti [11]. Cilj MPEG-4 standarda je prikaz "svijeta koji nas okružuje" kao kompozicije audiovizualnih objekata koja je popraćena tekstom koji opisuje njihove prostorne i vremenske odnose. Takav način prikaza daje korisniku mogućnost pristupa različitim audiovizualnim objektima u sceni na način koji je sličan radnjama u svakodnevnom životu.

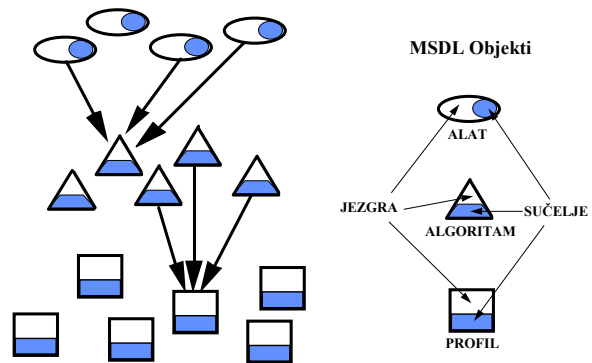
MPEG-4 standard će omogućiti cijeli niz novih primjena, uključujući interaktivnu mobilnu multimedijjsku komunikaciju, videotelefoniju, mobilnu audiovizualnu komunikaciju, multimedijjsku elektroničku poštu, praćenje i vođenje udaljenih procesa, elektroničko novinarstvo, interaktivne multimedijjske baze podataka, videoteks i dr.

Usprkos tome što rješenja prikaza scene na temelju njena sadržaja mogu biti smatrana kao "prirodna i očigledna" za ljudska bića, za prikaz videosignala to predstavlja *revoluciju*. Prikaz scene kao kompozicije audiovizualnih objekata daje mogućnost korisniku da se "igra" sa sadržajem scene mijenjajući karakteristike nekim objektima (na pr. položaj, kretanje, oblik ili sastav), pristupajući samo odabranim dijelovima scene, ili pak, brisanjem i kopiranjem objekata iz jedne scene u drugu. Sadržaj scene i mogućnost pristupa korisnika sadržaju scene, središnji su koncepti MPEG-4 standarda.

MPEG-4 standardni postupak se sastoji od četiri osnovna dijela, Slika 5.: MSDL (*MPEG-4 Syntactic Description Language*), alati, algoritmi i profili [12]. MSDL treba omogućiti odabir, opis i prijenos alata,

algoritama i profila, te opisivati na koji se način analizira i procesira elementarni tok podataka. MSDL mora osigurati:

- mogućnost "pregovaranja" s dekoderom, određivanja njegove građe i postavljanje odgovarajućeg profila,
- opisivanje profila - opis komponenata (alata i algoritama) i njihovih međusobnih veza,
- prijenos (učitavanje) komponenata koje nedostaju u strojno-nezavisni jezik,
- prijenos podataka sa sintaksom i semantikom usklađenom s odabranim profilom.



Slika 5. Struktura MPEG-4 standardnog postupka

Alat je postupak dostupan putem MSDL-a ili opisan korištenjem MSDL-a. Takav alat može biti iskorišten bilo kao dio hardvera ili softvera. Primjeri alata su: nadomještanje pokreta (MC, *Motion Compensation*) ili prikazivanje kontura.

Algoritam je organizirana zbirka alata koja omogućava jednu ili više funkcija. Primjeri takvih algoritama su: MPEG-1 audio, MPEG-1 video i MPEG-2 sustav.

Profil je algoritam ili kombinacija algoritama, povezanih na način da zadovolje određenoj grupi primjena. Primjer je *MPEG-2 glavni profil@glavna razina*.

Osnovni pristup MPEG-4 se zasniva na prikazu podataka temeljenim na sadržaju scene. U suprotnosti s postupcima koji se trenutno koriste, unutar ovog pristupa, scena se predstavlja kao kompozicija videoobjekata (VO, *Video Objects*) s bitnim svojstvima kao što su ocrta, pokret i sastav (građa). Takav prikaz temeljen na sadržaju scene je ključ za postizanje interaktivnosti s objektima za različite multimedijjske primjene. U takvim primjenama, korisnik može pristupiti i manipulirati objektima proizvoljnog oblika u sceni.

5. ZAKLJUČAK

U današnje vrijeme potreba za prijenosom mirnih i pokretnih slika doživljava veliki i nagli porast u mnogobrojnim primjenama zahvaljujući razvoju multimedijjskih komunikacija. Mogućnost djelotvornog prijenosa, obrade i pohranjivanja slike i videosignala time

postaje značajni izazov u znanstvenim istraživanjima, jer je uključivanje slike u različite multimedijske sadržaje ograničeno širinom komunikacijskog kanala i raspoloživim prostorom za pohranjivanje. To ograničenje se može prevladati primjenom postupaka kompresije.

Izvori videosignala generiraju informacijski promet u širokom rasponu od 64 kb/s do nekoliko stotina Mb/s ovisno o vrsti izvora videosignala (videotelefonski, videokonferencijski, standardni televizijski ili televizijski signali visoke kvalitete) i zahtjevanoj kvaliteti prijenosa i prijama signala. Različite vrste izvora videosignala pokazuju različita statistička svojstva promjene brzine prijenosa u vremenu. Poznavanje statističkih svojstava različitih vrsta izvora videosignala je od posebnog značaja pri postavljanju što točnijih modela izvora videosignala u fazi projektiranja mreže kao i za djelotvorno upravljanje raspoloživom širinom frekvencijskog pojasa u fazi njezine eksploatacije. Na taj način se postiže optimalni odnos između iskorištenosti raspoloživih kapaciteta mreže i kvalitete slike na prijemnoj strani.

Standardni postupci za kodiranje videosignala koriste kombinaciju postupaka kojima se uklanja prostorna i vremenska redundancija i dodatno, postupaka statističkog kodiranja, koji ne unose gubitke, a temelje se na statističkim svojstvima niza kodnih znakova. Tako, na pr. MPEG-1 standardni algoritam kodiranja videosignala kombinira postupake kodiranja s predviđanjem uz nadomještanje pokreta za uklanjanje vremenske redundancije, diskretne kosinus transformacije za uklanjanje prostorne redundancije i kodiranja s promjenljivom dužinom kodne riječi za uklanjanje statističke redundancije niza binarnih znakova.

MPEG-2 standard je riješio postojeći vrlo značajan problem kompatibilnosti koda i dekoda zasnovanih na različitim standardima i različitim rezolucijama izvorne slike (na pr. kompatibilnost MPEG-1 i MPEG-2) što ima izuzetno značenje za multimedijske primjene jer omogućava komunikaciju među videoterminalima različitih svojstava i kvaliteta i različitim generacijama opreme. Rad na novom, MPEG-4 standardnom postupku za kodiranje audiovizualnih objekata upravo polazi od tih zahtjeva. MPEG-4 postupkom se uvodi potpuno novi pristup videosignalu u kome se slika dijeli na ravnine videoobjekta (VOP), a cijeli se postupak temelji na poznavanju svojstava ljudskog vizualnog sustava.

Konačno, znanstvena istraživanja koja vode napretku tehnologije kodiranja videosignala i usavršavanju širokopojsanih digitalnih mreža integriranih usluga imaju isti cilj: postizanje što bolje kvalitete slike na prijemnoj strani. Za ostvarenje toga cilja potrebno je uspostaviti optimalnu ovisnost između parametara koji definiraju brzinu prijenosa i kvalitetu signala na izlazu iz koda i parametara subjektivne i objektivne kvalitete slike na prijamoj strani. To je moguće postići uspostavljanjem bliske veze između različitih tehnologija kao što su postupci kompresije, karakterizacija izvora videosignala, procesiranje videosignala, stohastička analiza, prijenos videosignala, primjena djelotvornih protokola zaštite od pogrešaka i sl. Krajnji cilj svega

navedenog je kvaliteta slike na prijemniku što bliža kvaliteti izvorne slike. Na temelju svega navedenog, može se zaključiti da će razvoj postupaka i algoritama kompresije videosignala u multimedijskim komunikacijama biti zasigurno predmetom i budućih istraživanja.

LITERATURA

- [1] Jayant, N., Noll, P., *Digital Coding of Waveforms: Principles and Applications to Speech and Video*, Prentice Hall, 1984.
- [2] ITU-R Recommendation BT.601-4, *Encoding Parameters of Digital Television for Studios*, (prije CCIR Rec.601), ITU, Geneva, 1993.
- [3] Jain, A.K., *Image Data Compression: A Review*, Proceedings of the IEEE, Vol.69, No.3, March 1981, str.349-389.
- [4] ITU-T Recommendation H.261, *Video Codec for Audio-Visual Services at px64 kbit/s*, Dec.1990, Mar. 1993.
- [5] ISO/IEC IS 10918, *Digital Compression and Coding of Continuous Tone Still Images*, February 1991.
- [6] ISO/IEC IS 11172, *Information Technology-Coding of Moving Picture and Associated Audio for Digital Storage Media at up to about 1.5 Mbit/s: Video*, August 1993.
- [7] ISO/IEC DIS 13818-2, *Information Technology-Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio Information: Video*, Draft, March 1994.
- [8] Bauer, S., Zovko-Cihlar, B., Grgić, M., *Discrete Cosine Transform in Video Compression*, Proceedings of the 37th International Symposium Electronics in Marine ELMAR'95, Pula, 1995, str.113-118.
- [9] Bauer, S., Zovko-Cihlar, B., Cihlar, D., *MPEG Video Sources in Multimedia Environment*, Proceedings of the 37th International Symposium Electronics in Marine ELMAR'95, Pula, 1995, str.87-92.
- [10] Ninomiya, Y., *High Definition Television Systems*, Proceedings of IEEE, Vol.83, No.7, July 1995, str.1086-1093.
- [11] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 Coding of Moving Pictures and Associated Audio Information, *MPEG-4 Proposal Package Description (PPD) - Revision 2* (Lausanne Revision), March 1995.
- [12] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 Coding of Moving Pictures and Associated Audio Information, *Requirements for the MPEG-4 Syntactic Description Language (SDL) - Draft in Progress Revision 1.0*, March 1995.