



FER

Preddiplomski studij

Računarstvo

Modul:
Telekomunikacije i
informatika

Višemedijske usluge

Uvodno o predmetu ...

Ak.g. 2007./2008.

21.02.2008.

Nastavnici

Prof.dr.sc. Maja Matijašević
(Doc.dr.sc. Ivana Podnar)

Suradnici

mr. sc. Ognjen Dobrijević
Agata Brajdić, dipl. inž.

Zavod za telekomunikacije, C zgrada 7. i 8. kat
Sva pitanja o predmetu: vu@tel.fer.hr

znanja i vještine u području višemedijskih usluga,
uslužnih arhitektura i komunikacijskih protokola u Internetu,
s naglaskom na World Wide Web i strujanje višemedijskog sadržaja

temeljni koncepti i
praktično iskustvo na odabranim primjerima

zašto

problem koji se rješava

što

funkcionalnost

kako

izvedba



Uvod u višemedijske usluge, pojmovi i terminologija. Osnovne uslužne arhitekture i komunikacijski zahtjevi. Prostorni i vremenski odnosi medija, usklađivanje. Formati i standardi za opis višemedijskog sadržaja. Zvučne i vizualne komponente višemedijskog sadržaja. Sintetički sadržaji. Metapodaci i pretraživanje. World Wide Web, arhitektura, komunikacijski protokoli, primjene i tehnologije. Strujanje višemedijskog sadržaja. Internetska telefonija. Višemedijska konferencija. Višemedijske usluge u pokretnim mrežama. Višekorisničke igre i virtualna okruženja.

Predavanja

3 bloka (4+4+4 predavanja)
3 sata tjedno

Laboratorijske vježbe

3 bloka

Samostalni rad

kontinuirano

učenje i provjera znanja
domaće zadaće

Bilješke s predavanja

- nastavni sadržaj s primjerima: *slide + tekst (Power Point)*, dva radna dana prije predavanja (web)
- vlastite zabilješke, tijekom predavanja i učenja

Laboratorijske vježbe

- open-source alati
- vlastita programska rješenja
- programski sustav Imunes (www.imunes.net)
Integrated MULTiprotocol Network Emulator/Simulator

Provjera znanja

- zadaci (web)
- rješenja zadataka prije (među)ispita (web)

Osnovne knjige:

- A. Bažant, G. Gledec, Ž. Ilić, G. Ježić, M. Kos, M. Kunštić, I. Lovrek, M. Matijašević, B. Mikac, V. Sinković: Osnovne arhitekture mreža, Element, 2007.
- I. S. Pandžić, A. Bažant, Ž. Ilić, Z. Vrdoljak, M. Kos, V. Sinković: Uvod u teoriju informacije i kodiranje, Element, 2007.

◆ Dodatne knjige:

- J. Crowcroft, M. Handley, I. Wakeman: Internetworking Multimedia, Morgan Kaufmann Publishers 1999
- B. Krishnamurthy, J. Rexford: Web Protocols and Practice: HTTP 1.1, networking protocols, caching, and traffic measurement, Addison-Wesley Pearson Education, 2001
- A.S. Tanenbaum: Computer Networks, Fourth Edition, Pearson Education Inc., 2003.
- J.F. Kurose, K.W. Ross: Computer Networking: A Top-Down Approach Featuring the Internet (4thd Edition), Addison Wesley, 2007.

Ocjjenjivanje

Komponente ocjene:

Sudjelovanje u nastavi	10 % (nazočnost + aktivnost)
Domaće zadaće	10 % (5 zadaća u semestru)
1. Međuispit (90 min.)	20 % (prva trećina gradiva)
2. Međuispit (90 min.)	20 % (druga trećina gradiva)
Laboratorijske vježbe	15 % (sve obvezne)
Završni ispit (90 min.)	25 %
- pismeni	(sve, s naglaskom na zadnju trećinu)
- usmeni	

Prolazna ocjena:

Ukupno >50 %, uz obavljene lab.vježbe

Informacije i nastavni materijali:

<http://www.fer.hr/predmet/visusl>

Konzultacije:

e-mail, forum uz stranicu predmeta
osobno, uz najavu e-mailom tijekom semestra
+ otvoreni termin konzultacija u tjednu prije međuispita



FER

Preddiplomski studij

Računarstvo

Modul:
Telekomunikacije i
informatika

Višemedijske usluge

Pojam, klasifikacija i značajke višemedijskih
usluga

Podsjetnik s kolegija Teorija informacije

Ak.g. 2007./2008.

21.02.2008.

Pregled uvodnog predavanja

- ◆ Pojam višemedijske usluge
- ◆ Klasifikacija i značajke usluga

- ◆ Što već znamo ☺
 - iz *Teorije informacije*
 - iz *Komunikacijskih mreža*

Pojam višemedijske (multimedijiske) usluge



Zavod za telekomunikacije

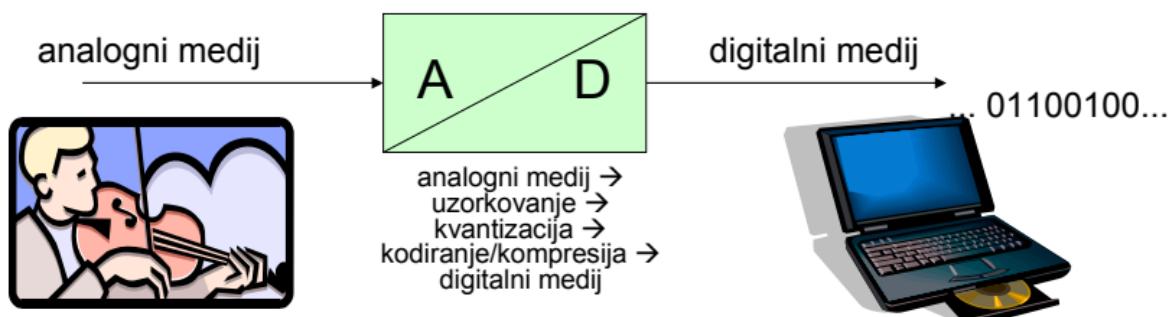
Definicija [ITU-T F.700]:

Višemedijske usluge su vrsta telekomunikacijskih usluga koje, s motrišta korisnika, sinkronizirano rukuju s dvije ili više vrsta medija.

Višemedijske usluge mogu uključivati više stranaka u komunikaciji, višestruke veze, i dodavanje ili brisanje resursa i korisnika unutar iste komunikacijske sjednice.

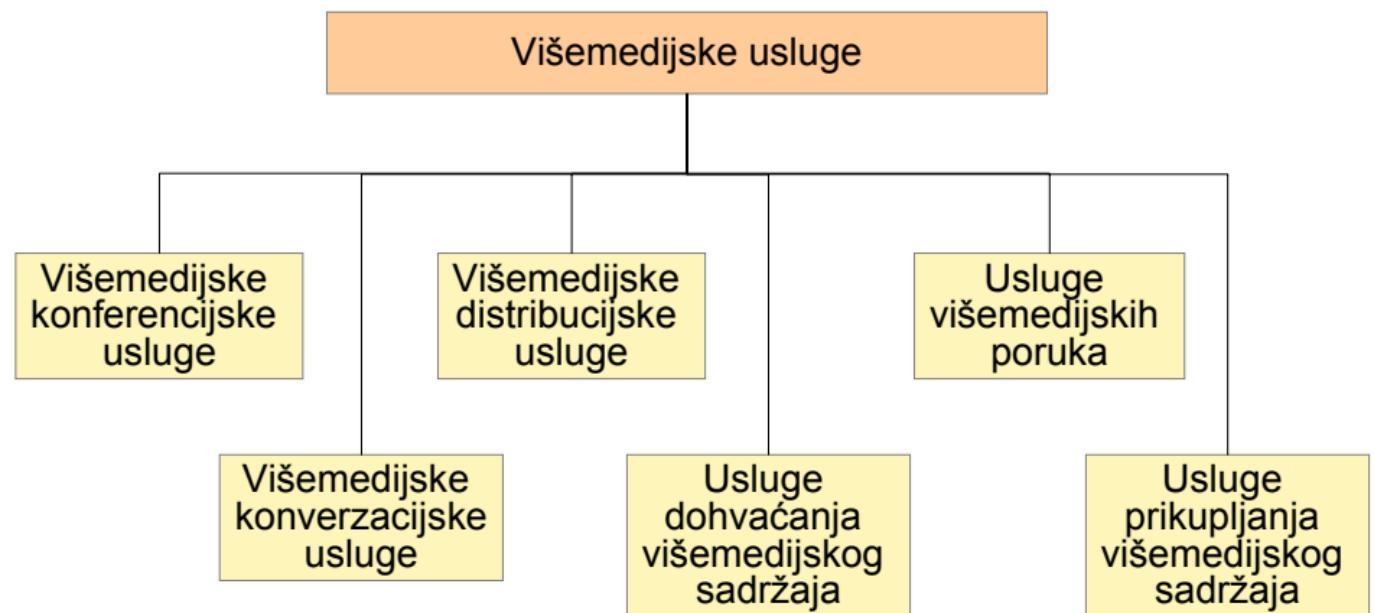
Pojam medija

- ◆ medij [*lat. medium*]: sredstvo kojim se informacija predočava, izražava, pohranjuje ili prenosi
 - vizualni medij: tekst, grafika, nepokretna slika, animacija, video
 - akustički medij: zvuk, govor, glazba
 - mediji vezani uz druga ljudska osjetila ili umjetna "osjetila" (senzore)
- ◆ digitalni oblik: analogno-digitalna pretvorba!



Klasifikacija višemedijskih usluga

Zavod za telekomunikacije



Osnovne značajke višemedijskih usluga

Zavod za telekomunikacije

◆ interaktivne usluge

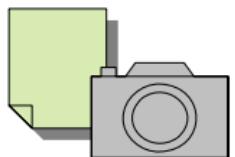
- dvosmjerna razmjena medija između dva ili više korisnika međusobno, i/ili s aplikacijskim poslužiteljem/ima
- konverzacijske usluge (npr. video konferencija)
- višekorisničke suradničke aplikacije, igre
- usluge pretraživanja (baze podataka, WWW)

◆ distribucijske usluge

- informacija se dostavlja različitim udaljenim mjestima
- jednosmjerna komunikacija od izvora informacije prema udaljenim korisnicima
 - s korisnikovom kontrolom prikaza; npr. video na zahtjev
 - bez korisnikove kontrole prikaza; jednostavnije usluge, npr. kabelska televizija

Kvalitativna podjela medija

- ◆ **vremenski neovisni medij (*diskretni*)**
 - valjanost podataka ne ovisi o vremenskim uvjetima, tj. o trenutku pojavljivanja, trajanju i sl.
 - npr: tekst, nepomična slika, podaci*
- ◆ **vremenski ovisni medij (*kontinuirani*)**
 - vrijednost podataka se mijenja tijekom vremena, a valjanost ovisi o vremenskim uvjetima - obrada i komunikacija su složeni
 - npr: govor, glazba, video, animacija, podaci*
- ◆ **vremensko usklađivanje (sinkronizacija) je ključna karakteristika višemedijskog sadržaja!**



Komunikacijska obilježja medija

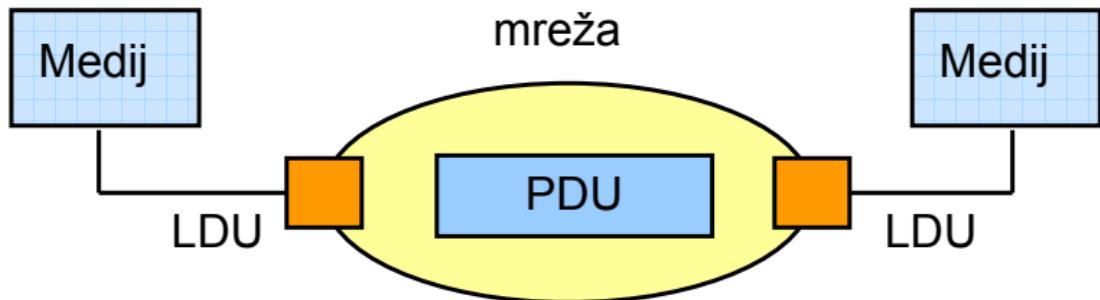
Zavod za telekomunikacije

- ◆ Višemedijski sustav je sustav u kojem se provodi računalom upravljana i integrirana izrada, obrada, prikaz, pohrana i komunikacija višemedijskog sadržaja.
- ◆ Komunikacija u raspodijeljenom višemedijskom sustavu odvija se putem **komunikacijske mreže**
- ◆ Podaci diskretnih i kontinuiranih medija prenose se u obliku podatkovnih jedinica
- ◆ Niz podatkovnih jedinica naziva se *struja podataka* (eng. *data stream*)
 - periodičnost (periodičnost pojavljivanja informacijskih jedinica)
 - regularnost (veličina informacijskih jedinica)
 - kontinuitet (vremenski razmak između informacijskih jedinica)

Informacijske jedinice

Zavod za telekomunikacije

- ◆ **logičke** podatkovne jedinice (LDU - Logical Data Unit) - opisuju medij
 - npr. uzorak zvuka, na razini glazbenog zapisa nota ili pjesma pohranjena na kompaktnom disku
- ◆ **protokolske** podatkovne jedinice (PDU - Protocol Data Unit) - odgovaraju formatu komunikacijskog protokola
- ◆ tijekom komunikacije, LDU se cjele, po dijelovima ili više njih zajedno smještaju u PDU
- ◆ informacijske jedinice u prijenosu: poruka, paket, okvir, ...



Vrste prijenosa podataka

Zavod za telekomunikacije

■ Asinkrono

- Omogućava komunikaciju bez vremenskih ograničenja
- Paketi pristižu na odredište "najbrže moguće"
- Primjer: protokoli za prijenos elektroničke pošte

■ Sinkrono

- Definira maksimalno kašnjenje s kraja na kraj za svaki paket unutar struje podataka
- Može zahtijevati međuspremnik podataka
- Primjer: telefonija

■ Izokrono

- definira maksimalno i minimalno kašnjenje s kraja na kraj za svaki paket unutar struje podataka.
- kolebanje kašnjenja pojedinih paketa je ograničeno!
- Smanjena potreba za međuspremnikom podataka
- Primjer: strujanje audiovizualnog sadržaja preko mreže

Zahtjevi na krajnje sustave (terminale)

- ◆ obrada u (približno) stvarnom vremenu
 - ostvarenje vremenskih zahtjeva koje postavljaju mediji (posebno oni kontinuirani)
- ◆ upravljanje procesima
 - pravedno raspoređivanje procesa i bez oštrih vremenskih ograničenja
- ◆ upravljanje resursima
 - dodjela medija sukladno zahtjevima uz mogućnost rezervacije resursa
- ◆ pohrana podataka
 - pristup podacima uz garantirano kašnjenje

Zahtjevi na mrežu

- ◆ komunikacija se mora odvijati sukladno vremenskim uvjetima koje zahtijevaju mediji (kašnjenje s kraja na kraj i kolebanje kašnjenja)
- ◆ potpora različitim komunikacijskim topologijama od točke do točke i sjednicama s više (od dva) korisnika:
 - stvaranje skupine korisnika
 - dinamičko pristupanje skupini i isključivanje iz nje
 - pravednost pri prijenosu različitih medija za potrebe usluga i primjena zasnovanih na multimediju
- ◆ sinkronizacija unutar jedne struje podataka i između različitih struja podataka
- ◆ kompatibilnost komunikacijskih protokola

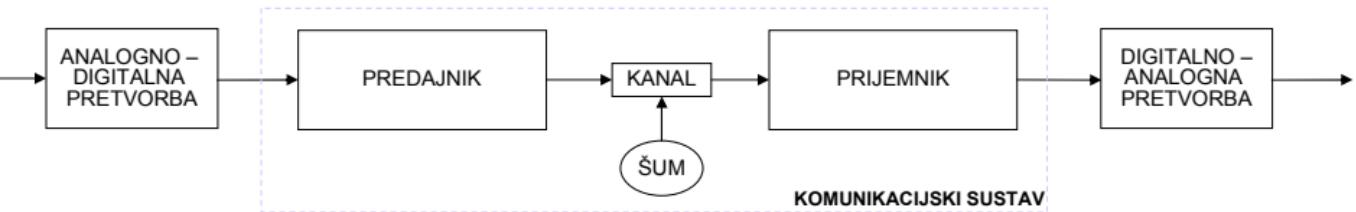
Što znamo iz Teorije informacija

Entropijsko kodiranje
Izvorno kodiranje

(*podsjetnik*)

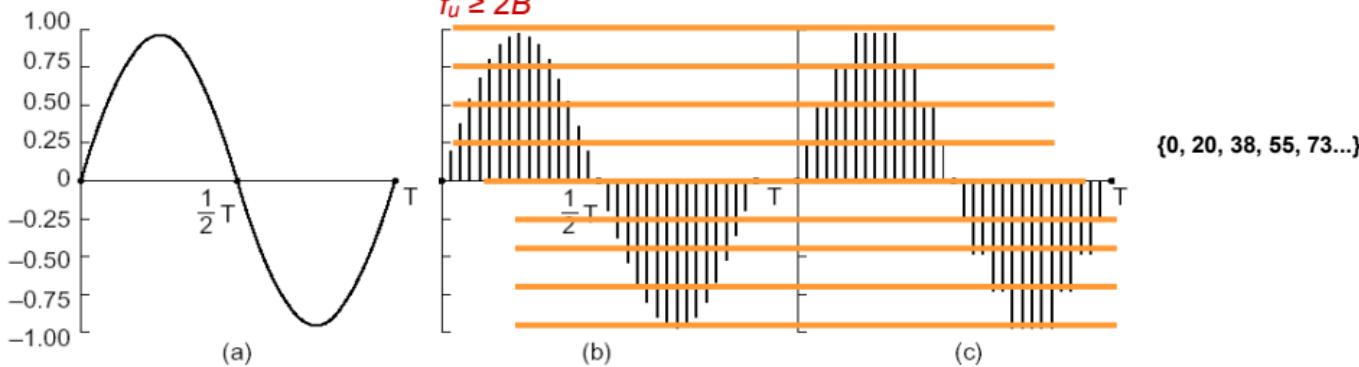
Analogni mediji u digitalnom komunikacijskom sustavu

Zavod za telekomunikacije



izvorni signal → uzorkovanje f_u → kvantizacija → poruka

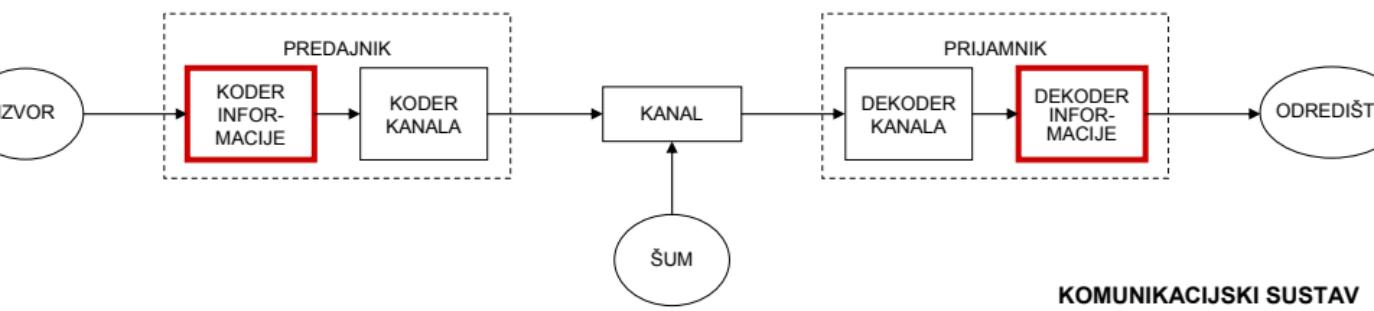
Nyquistov kriterij:
 $f_u \geq 2B$



Kodiranje i kompresija

Zavod za telekomunikacije

- ◆ **kodiranje**: dodjela kodnih riječi simbolima poruke
- ◆ **kompresija**: kodiranje koje smanjuje broj bitova potreban za izražavanje poruke
- ◆ kad je kontekst jasan, ovi pojmovi se često rabe kao sinonimi
 - u modelu komunikacijskog sustava kompresija se odvija unutar kodera informacije, pa se podrazumijeva kad kažemo "kodiranje"



Osnovna svojstva kompresije

Zavod za telekomunikacije

◆ Kompresija bez gubitaka

- Komprimirani podaci mogu se dekomprimiranjem rekonstruirati bez gubitka informacije (*reverzibilno*)
- Primjene: npr. tekst, medicinske slike, satelitske snimke

◆ Kompresija s gubicima

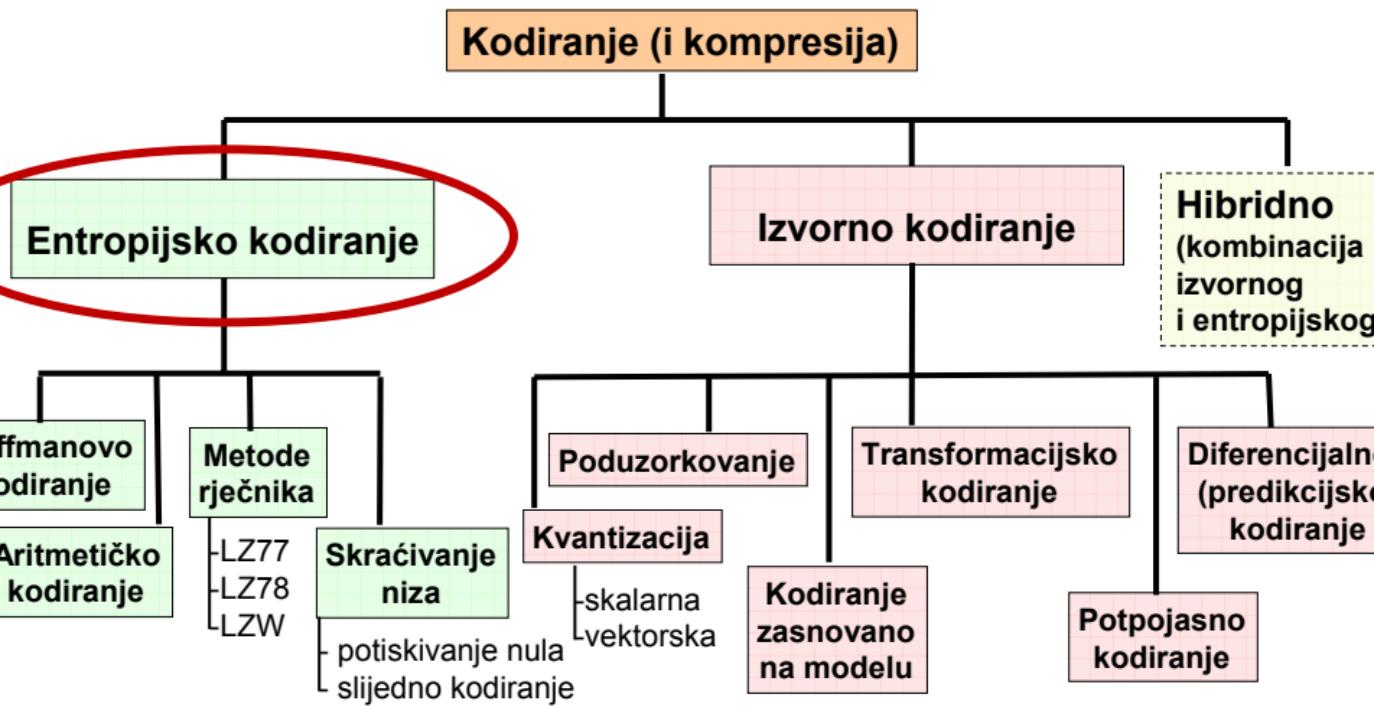
- Cilj je ili dobiti najbolju vjernost rekonstruiranih podataka za zadanu brzinu (bit/s), ili postići najmanju brzinu za zadanu granicu vjernosti
- Primjene: npr. govor, slika, video

◆ Važan parametar je omjer kompresije

- Omjer veličine komprimiranih i originalnih podataka, npr. 1:10

Klasifikacija postupaka kodiranja

Zavod za telekomunikacije



Svojstva metoda entropijskog kodiranja

Zavod za telekomunikacije

- ◆ Osnovna ideja: skraćeno zapisati višestruko ili često ponavljane simbole ili nizove simbola
- ◆ Zajedničko svim metodama entropijskog kodiranja:
 - temelje se direktno na teoriji informacije
 - kodiranje bez gubitaka
 - omjer kompresije ovisi samo o statističkim svojstvima izvora informacije
 - poruka se promatra isključivo kao niz niz slučajnih vrijednosti, ne uzimaju se u obzir svojstva medija (za razliku od izvornog kodiranja)

Metode entropijskog kodiranja

Zavod za telekomunikacije

- ◆ (Shannon-Fanoovo kodiranje)
- ◆ **Huffmanovo kodiranje**
 - optimalno kodiranje
 - binarno stablo
 - kraći zapis čestih znakova
- ◆ **Aritmetičko kodiranje**
 - popravljanje Huffmanovog kodiranja
 - cijela poruka se pretvara u jednu kodnu riječ
- ◆ **Metode rječnika**
 - isti rječnik kodnih riječi na strani pošiljatelja i primatelja
 - dinamička konstrukcija rječnika
 - Lempel-Ziv (LZ77, LZ78), Lempel-Ziv-Welch (LZW)
- ◆ **Metode skraćivanja niza**
 - potiskivanje nula, slijedno kodiranje

Klasifikacija postupaka kodiranja

Zavod za telekomunikacije



Svojstva metoda izvornog kodiranja

Zavod za telekomunikacije

- ◆ Osnovna ideja: uzimajući u obzir semantiku izvora, tj. posebna svojstva pojedinih medija, i karakteristike ljudske percepcije postići bolju kompresiju uz (što više) neprimjetnu pogrešku
- ◆ Zajedničko svim metodama izvornog kodiranja:
 - najčešće sažimaju s gubicima
 - omjer kompresije jako ovisan o sadržaju
 - koriste se u sklopu hibridnih metoda za kodiranje pojedinih medija
 - obično prvo izvorno kodiranje (često kombinacijom različitih metoda), zatim rezultat još entropijski kodiran

Principi kompresije pri izvornom kodiranju

Zavod za telekomunikacije

- ◆ Uklanjanje zalihosti (redundancije):
 - Vremenska zalihost (npr. korelacija uzastopnih uzoraka zvučnog signala)
 - Prostorna zalihost (npr. korelacija susjednih elemenata slike - pixela)
 - Spektralna zalihost (npr. korelacija između boja ili svjetline u slici)
- ◆ Uklanjanje irelevantnosti:
 - Granice ljudske precepcije
 - Spuštenje razine kvalitete reprodukcije

Metode izvornog kodiranja (1/2)

Zavod za telekomunikacije

◆ **Kvantizacija**

- aproksimacija signala pomoću konačnog skupa kodnih riječi (kodova)
- korak u procesu analogno-digitalne pretvorbe
- s obzirom na veličinu intervala kvantizacije: linearna, nelinearna
- s obzirom grupiranje simbola poruke: skalarna, vektorska

◆ **Poduzorkovanje**

- smanjivanje frekvencije uzorkovanja -> manje uzoraka -> kraći zapis

◆ **Transformacijsko kodiranje**

- poruka se transformira u neki drugi oblik koji je pogodniji za kompresiju, npr. iz vremenske u frekvencijsku domenu

◆ **Diferencijalno (predikcijsko) kodiranje**

- koristi korelaciju susjednih uzoraka u signalu
- kodira se samo signal razlike predviđene i stvarne vrijednosti

Metode izvornog kodiranja (2/2)

Zavod za telekomunikacije

♦ Potpojasno kodiranje

- signal se razdvaja na frekvencijske komponente
- svaka komponenta kodira se zasebno, metodom koja najbolje odgovara karakteristikama signala
- (informacijski) "važnije" komponente kodiraju se s više bitova
- relativne važnosti komponenata zasnivaju se na modelu ljudske percepcije

♦ Kodiranje zasnovano na modelu

- model: "glumi" izvor podataka, odn. sustav koji je generirao informaciju (npr. govorni trakt, ljudsko lice); *parametri modela* opisuju ponašanje
- kodiranje: ne prenose se uzorci, već parametri modela
- u dekoderu se iz parametara pomoću modela sintetiziraju podaci slični izvornima



FER

Preddiplomski studij

Računarstvo

Modul:
Telekomunikacije i
informatika

Višemedijske usluge

Podsjetnik s kolegija Komunikacijske
mreže

Ak.g. 2007./2008.

21.02.2008.

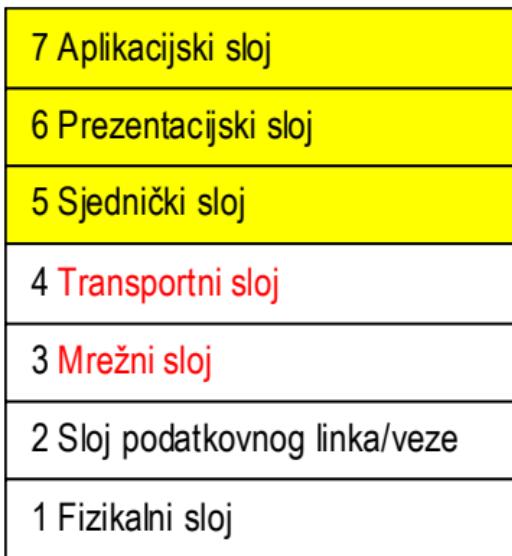
Što znamo iz Komunikacijskih mreža

Referentni model
Osnove internetskih usluga

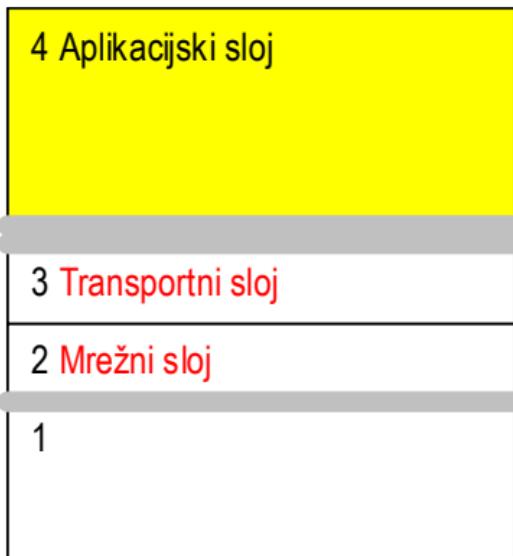
(podsjetnik)

Referentni model

Referentni model OSI



Referentni model TCP/IP



- usluge i aplikacijski protokoli
- modeli izvedbe usluga
- pronalaženje usluga
- programska podrška

internetska višemedijska usluga

=

višemedijska usluga
u internetskom (TCP/IP) okruženju

=

korisnikovo viđenje aplikacije

- ◆ aplikacija
 - ◆ programsko rješenje koji korisniku pruža uslugu
 - ◆ aplikacijski protokol
 - vrste poruka
 - sintaksa poruka – propisani formati poruka
 - semantika poruka – značenje polja u poruci
 - pravila kako se poruke razmjenjuju
 - ◆ model izvedbe usluge
 - najčešći model: klijent/poslužitelj
 - postoje i drugi modeli (o tome kasnije)
 - ◆ program klijenta
 - ◆ program poslužitelja
-

Usluge i aplikacijski protokoli u Internetu

- ◆ usluge:
 - prijenos datoteka
 - rad na daljinu
 - elektronička pošta
 - mrežne novosti
 - interaktivne usluge
 - imenička usluga
 - globalni informacijski sustav
 - ...

- ◆ aplikacijski protokoli:
 - FTP, ...
 - TELNET, ...
 - SMTP, POP, IMAP, ...
 - NNTP, ...
 - IRC, H.323, ...
 - LDAP, X.500, ...
 - HTTP, ...
 - ...

Modeli izvedbe usluge

- ◆ model klijent-poslužitelj (engl. *client-server*)
 - više izvedbi: model s jednim poslužiteljem i model s više poslužitelja
 - posebni slučajevi:
 - posrednički (proxy) poslužitelji
 - međuspremnički (caching) poslužitelji
- ◆ model s ravnopravnim procesima (engl. *peer-to-peer*)
 - svaki proces je i "klijent" i "poslužitelj", uloge nisu odvojene
- ◆ postoje i druga rješenja:
 - pokretni kôd, pokretni agenti, i dr.

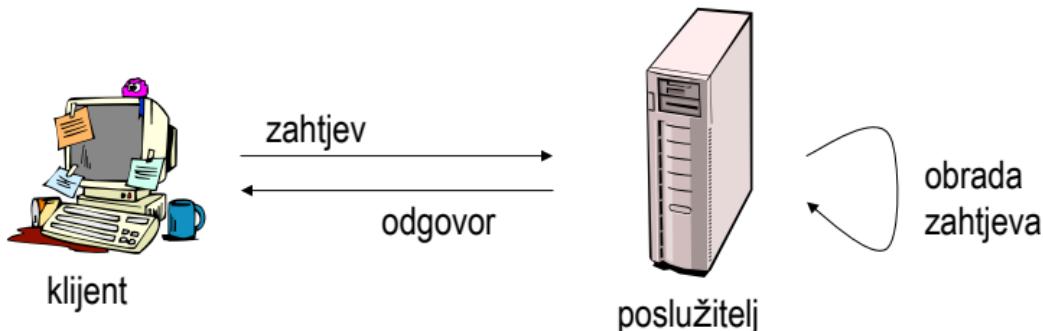
Uz pojmove klijenta i poslužitelja ...



- ◆ ovisno o kontekstu, pojmovi **klijent**, odnosno **poslužitelja**, mogu se odnositi na:
 - klijentsko **računalo** ili klijentski **proces**
 - poslužiteljsko **računalo** ili poslužiteljski **proces**
 - ◆ **proces** je instanca izvođenja (klijentskog ili poslužiteljskog) **programa**
 - ◆ programi klijenta i poslužitelja mogu se izvoditi na istom računalu, ali glavna prednost je u mrežnom radu
 - ◆ u dalnjim razmatranjima, uglavnom ćemo govoriti o klijentima i poslužiteljima u smislu **procesa**
-

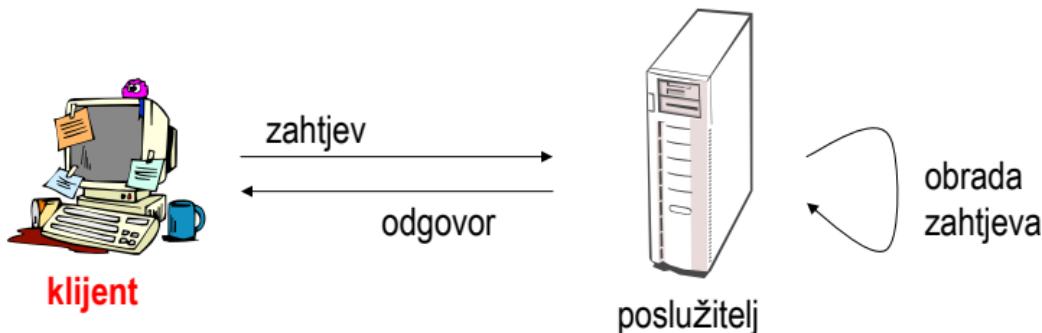
Model klijent-poslužitelj

- ◆ izvedba usluge u modelu klijent/poslužitelj podijeljena je između programa *klijenta* i programa *poslužitelja*
- ◆ koristi se u većini internetskih usluga
- ◆ komunikacija se temelji na nizu zahtjeva i odgovora:
 - klijent traži uslugu od poslužitelja (slanjem zahtjeva)
 - poslužitelj obrađuje zahtjev i odgovara klijentu šaljući rezultat obrade



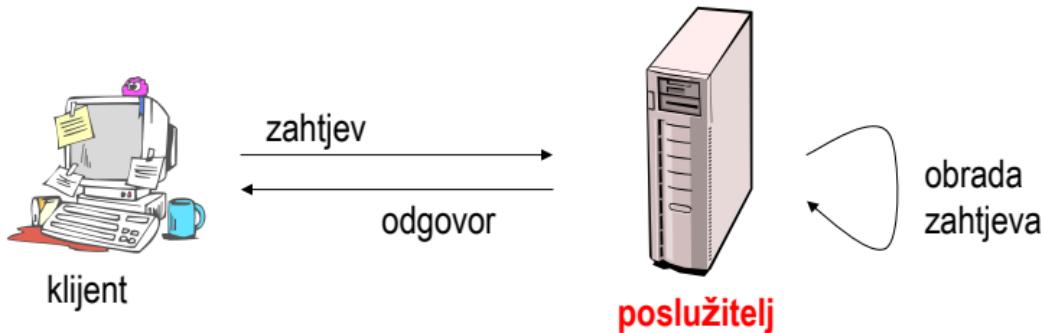
Program klijenta

- ◆ “program klijenta” je programska podrška koja omogućuje računalu da djeluje kao *klijent* u opisanom modelu
- ◆ proces izvođenja klijentskog programa najčešće pokreće korisnik
- ◆ osnovni zadaci:
 - pruža **korisničko sučelje** koje korisniku omogućuje slanje zahtjeva poslužitelju
 - odgovarajuće formatira zahtjev kako bi ga poslužitelj mogao “razumjeti”
 - odgovarajuće formatira poslužiteljev odgovor kako bi ga korisnik mogao razumjeti



Program poslužitelja

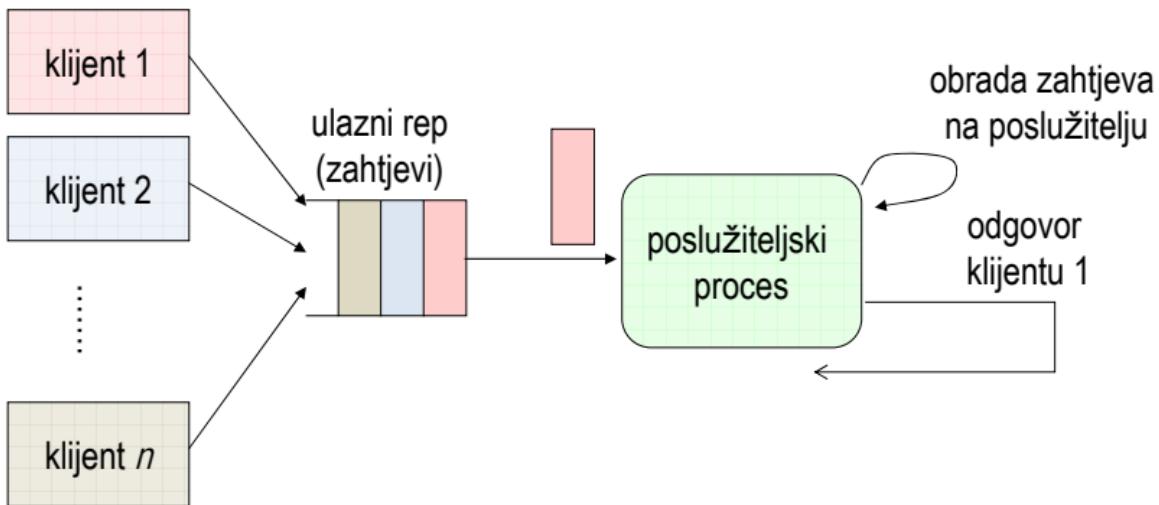
- ◆ program poslužitelja je programska podrška koja omogućuje računalu da djeluje kao *poslužitelj* u opisanom modelu
- ◆ proces izvođenja poslužiteljskog programa najčešće se pokreće automatski, prilikom pokretanja operacijskog sustava
- ◆ osnovni zadaci:
 - osluškuje i prihvata zahtjeve klijen(a)ta
 - obrađuje zahtjeve i odgovara šaljući rezultat obrade klijentu(ima)



- ◆ klasifikacija prema pamćenju stanja može biti:
 - memorijski, čuva (pamti) stanje (engl. *statefull*)
 - obrada zahtjeva ovisi o rezultatu obrade prethodnih zahtjeva
 - pogodan za obradu niza međusobno povezanih zahtjeva
 - može se modelirati automatom stanja
 - bezmemorijski, ne čuva (ne pamti) stanje (engl. *stateless*)
 - obrada svakog zahtjeva je neovisna o prethodnim
 - pogodan za obradu pojedinačnih, međusobno neovisnih zahtjeva
 - jednostavan model, samo jedno stanje - "obradi i zaboravi"
 - ◆ klasifikacija prema načinu obrade zahtjeva:
 - iterativan
 - konkurentan
-

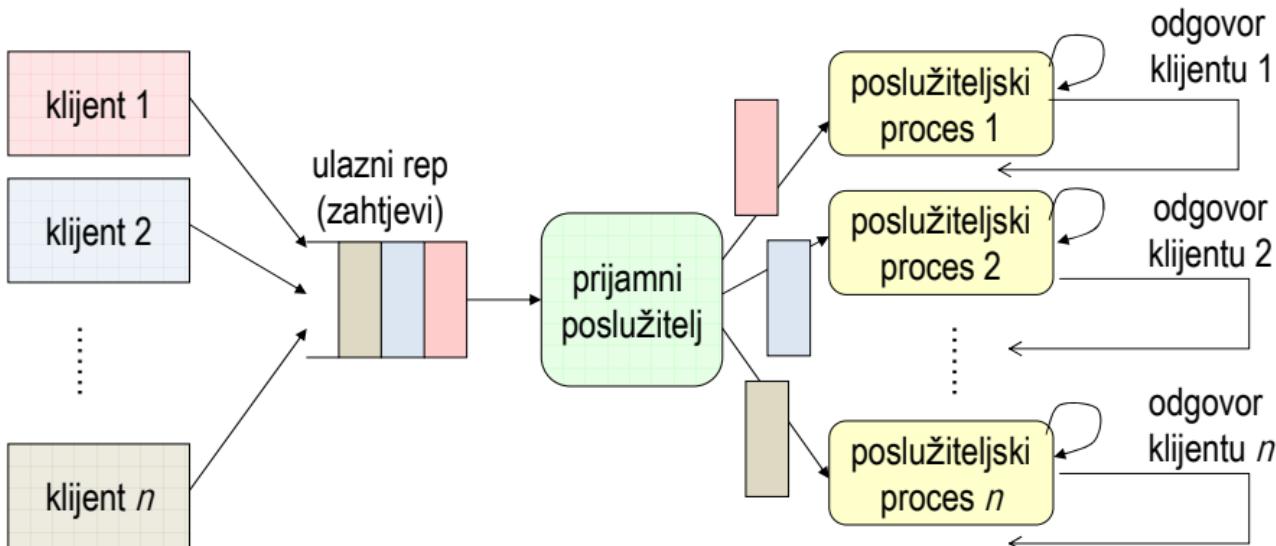
Iterativni poslužitelj

- ◆ zahtjevi se obrađuju *iterativno*, tj. jedan-po-jedan
- ◆ poslužiteljski proces obrađuje zahtjeve i šalje odgovore
- ◆ jednostavniji; pogodan za zahtjeve s kratkim vremenom obrade



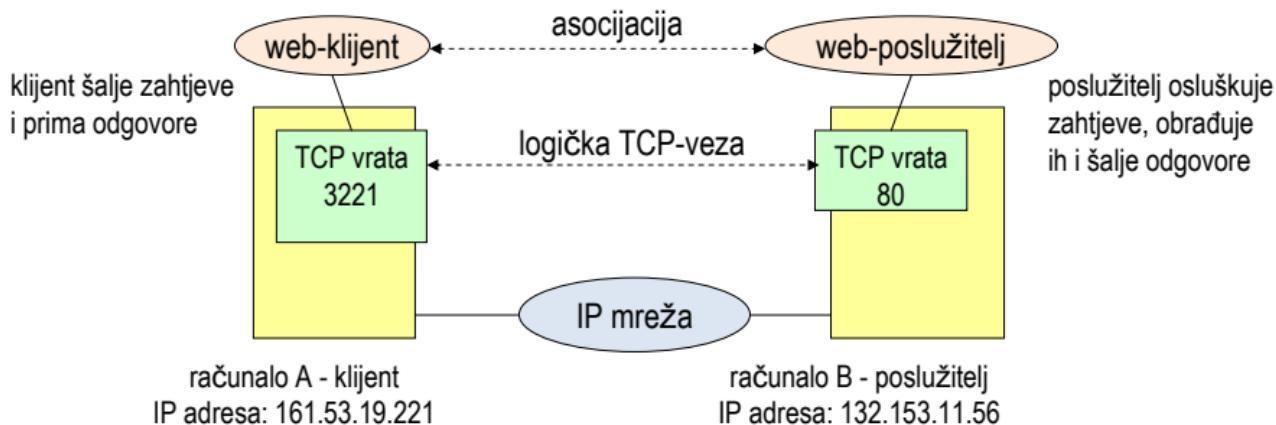
Konkurentni poslužitelj

- ◆ zahtjevi se obrađuju *konkurentno*
- ◆ prijamni poslužitelj prima zahtjeve, ali ih ne obrađuje sam, već raspoređuje posao obrade i odgovora na poslužiteljske procese
- ◆ složeniji; pogodan za više istovremenih ili dugotrajnijih obrada zahtjeva



Asocijacija klijenta i poslužitelja

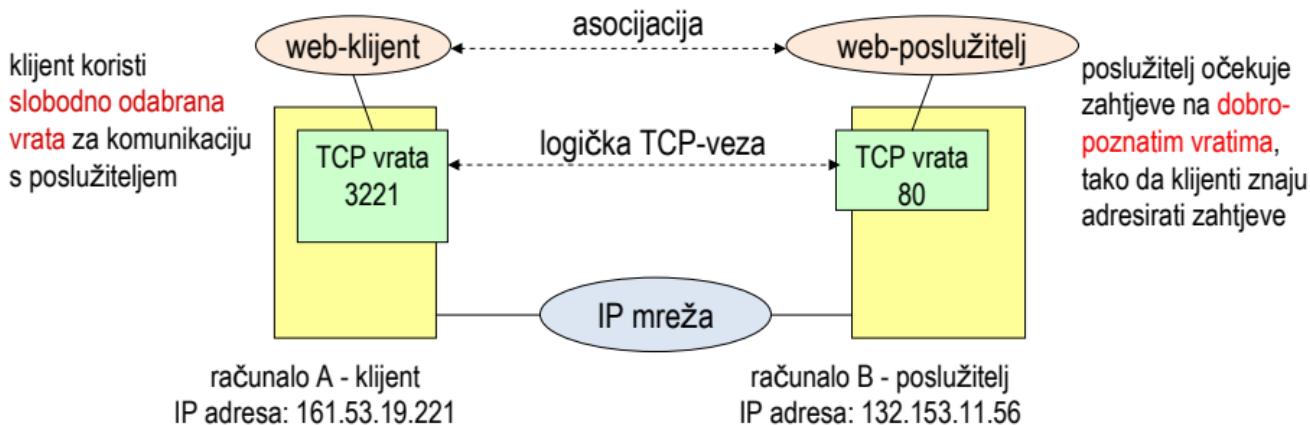
- ◆ asocijacija: uspostavljen odnos između procesa klijenta i poslužitelja povrh jedne transportne veze (npr. logička TCP veza) ili povezanosti (npr. UDP *binding*)
- ◆ za asocijaciju između klijenta i poslužitelja mora se znati:
 - aplikacijski protokol
 - IP adrese klijenta i poslužitelja
 - transportni protokol (TCP/ UDP) i brojeve vrata za klijentski i poslužiteljski proces



pitanje: kako klijent "zna" kamo uputiti zahtjev?

Pronalaženje usluga

- ◆ klijent mora unaprijed znati adresu poslužitelja da bi mu pristupio
- ◆ na razini cijelog Interneta, unaprijed su definirana *dobro-poznata vrata* (engl. *well-known port*) za standardne internetske usluge
- ◆ za usluge koje nemaju dobro-poznata vrata, mora postojati neki drugačiji način (npr. imenička usluga)



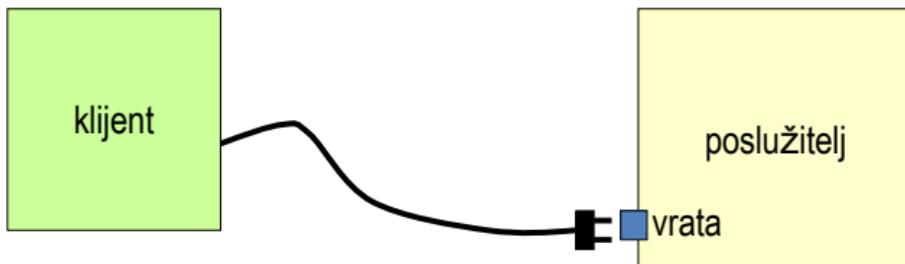
Neka dobro-poznata vrata

- ◆ *dobro-poznata vrata*: 0-1023 su "rezervirana" za standardne usluge
- ◆ primjeri nekih dobro-poznatih vrata:

Keyword	Decimal	Description
-----	-----	-----
ftp-data	20/tcp	File Transfer [Default Data]
ftp-data	20/udp	File Transfer [Default Data]
ftp	21/tcp	File Transfer [Control]
ftp	21/udp	File Transfer [Control]
ssh	22/tcp	SSH Remote Login Protocol
ssh	22/udp	SSH Remote Login Protocol
telnet	23/tcp	Telnet
telnet	23/udp	Telnet
...		
smtp	25/tcp	Simple Mail Transfer
smtp	25/udp	Simple Mail Transfer
...		
domain	53/tcp	Domain Name Server
domain	53/udp	Domain Name Server
...		
http	80/tcp	World Wide Web HTTP

Programsko sučelje (*socket API*)

- ◆ *socket* (priključnica) je programska apstrakcija krajnje točke komunikacije između klijenta i poslužitelja



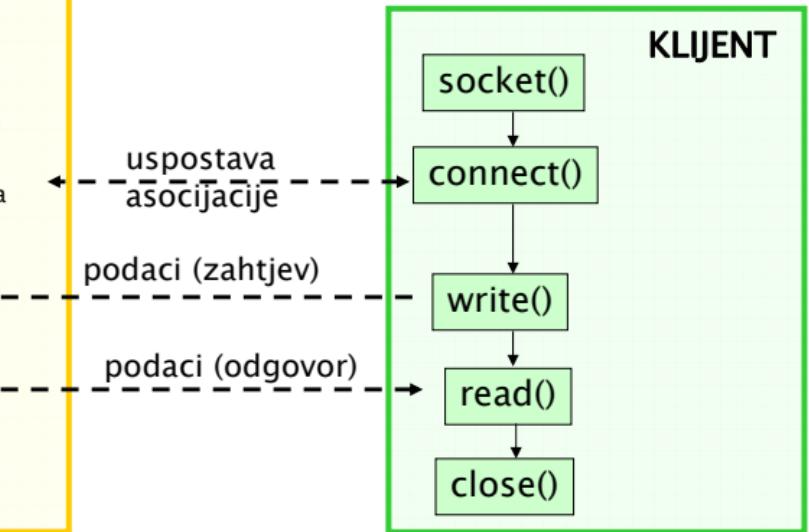
- ideja: klijent se “priključi” na vrata poslužitelja
 - “priključenjem” se stvara asocijacija između procesa – to je prepostavka za daljnju komunikaciju
- socket = (IP adresa, transp. protokol, broj vrata)*
- primjer: priključnica na strani Web poslužitelja (161.53.19.220, TCP, 80)

Socket API - tipične radnje klijenta i poslužitelja

POSLUŽITELJ

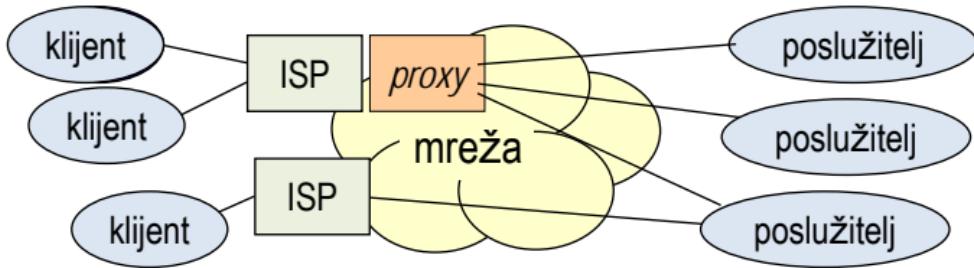


KLIJENT



Gdje usluge mogu biti smještene?

- ◆ na poslužitelju (uobičajen slučaj)
 - npr. pretraživači, e-trgovina, poslužitelji sadržaja i drugih usluga vezanih za odredište
- ◆ djelomično (i) na klijentu (npr. Java, JavaScript, ActiveX dodaci za Web)
 - npr. provjera unesenih podataka na web-obrascu prije slanja zahtjeva
- ◆ “negdje između”
 - posrednički poslužitelj (engl. *proxy*)



Uloge i primjeri posredničkih poslužitelja

- ◆ “klasična” posrednička uloga
 - dobavljanje podataka za klijenta od nekog drugog poslužitelja
 - posredovanje pri dohvatu sadržaja (kompresija, filtriranje, anonimizacija, jezično prevodenje, ...)
 - prikupljanje sadržaja s više poslužitelja
- ◆ međuspremnička uloga
 - privremeno pohranjivanje sadržaja (engl. *caching*)
 - pohranjivanjem sadržaja dobiva se brži odziv jer se često traženi podaci uzimaju iz lokalnog spremnika umjesto s udaljenog poslužitelja (primjeri primjene: Web, DNS)
- ◆ nadzor i ograničenje pristupa
 - filtriranje prometa (primjer: *firewall*)
 - ograničenja u dolasku ili odlasku, najčešće na rubu interne poslovne mreže



FER

Preddiplomski studij

Računarstvo

Modul:
Telekomunikacije i
informatika

Višemedijske usluge

Kodiranje zvuka

Ak.g. 2007./2008.

28.02.2008.

Višemedijski sadržaj I

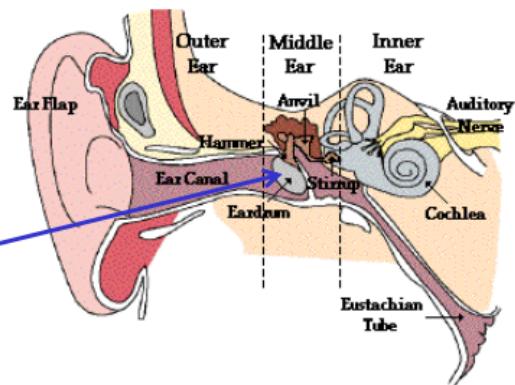
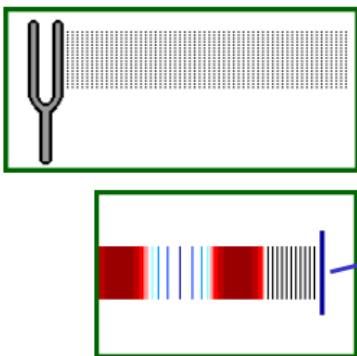
Kodiranje i kompresija

Kodiranje zvuka

Fizikalne osnove zvuka

• Longitudinalni val titranja čestica zraka

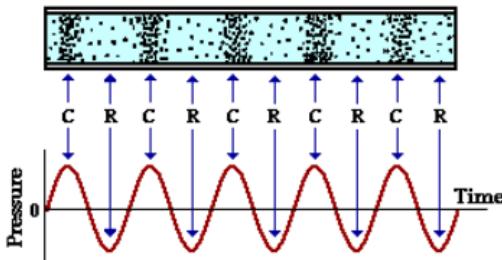
- Izvor zvuka stvara titranje čestica (promjene tlaka)
- Titranje se širi brzinom $v = \lambda f \approx 340 \text{ m/s}$ (ovisno o temperaturi)
- Lokalno titranje tlaka uzrokuje titranje struktura uha
- Pužnica ima više od 10000 „detektorâ“ osjetljivih na razne frekvencije; oni pretvaraju zvuk u žičane signale



Fizikalna svojstva zvuka

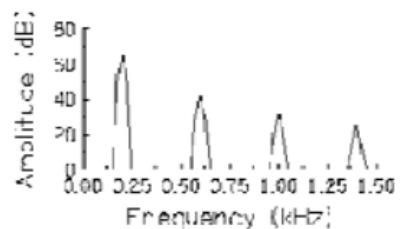
- Vremenskoj domeni: valni oblik

- amplituda
- faza
- frekvencija



- Frekvenčijska domena: frekvenčijski spektar

- harmonici (višekratnici osnovne frekvencije f , $2f$, $3f$, ...)
- za govor, formanti (rezonantne frekvencije govornog trakta), npr:
 - a F1 660 F2 1700 F3 2400 Hz
 - e F1 530 F2 1850 F3 2500 Hz
 - u F1 300 F2 870 F3 2250 Hz



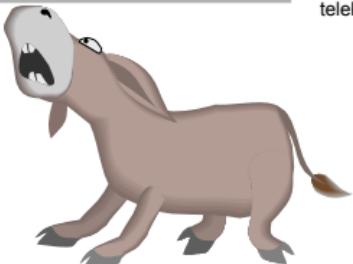
Percepcija zvuka

- Frekvencija (f) [Hz] → **visina**: $20 \log (f/f_r)$ [Mel]
 - **Jednake rastuće korake frekvencije primjećujemo kao sve manje i manje korake rasta visine zvuka**
 - Čujno područje 20 Hz do 20 kHz
- Amplituda (A) [Pa] → Intenzitet (I) [W/m^2] → **glasnoca**: $20 \log (I/I_r)$ [dB] (I_r je granica čujnosti)
 - **Jednake rastuće korake amplitude (intenziteta) primjećujemo kao sve manje i manje korake rasta jačine odnosno, glasnoće zvuka**
 - granica čujnosti 0 dB ($1 \cdot 10^{-12} \text{ W/m}^2$)
 - šapati 25 dB
 - uredska buka 50 dB
 - razgovor 60-65 dB
 - prosječni kućni stereo uređaj ~90 dB
 - granica boli 120 dB
 - ozljeda bubnjića 130 dB

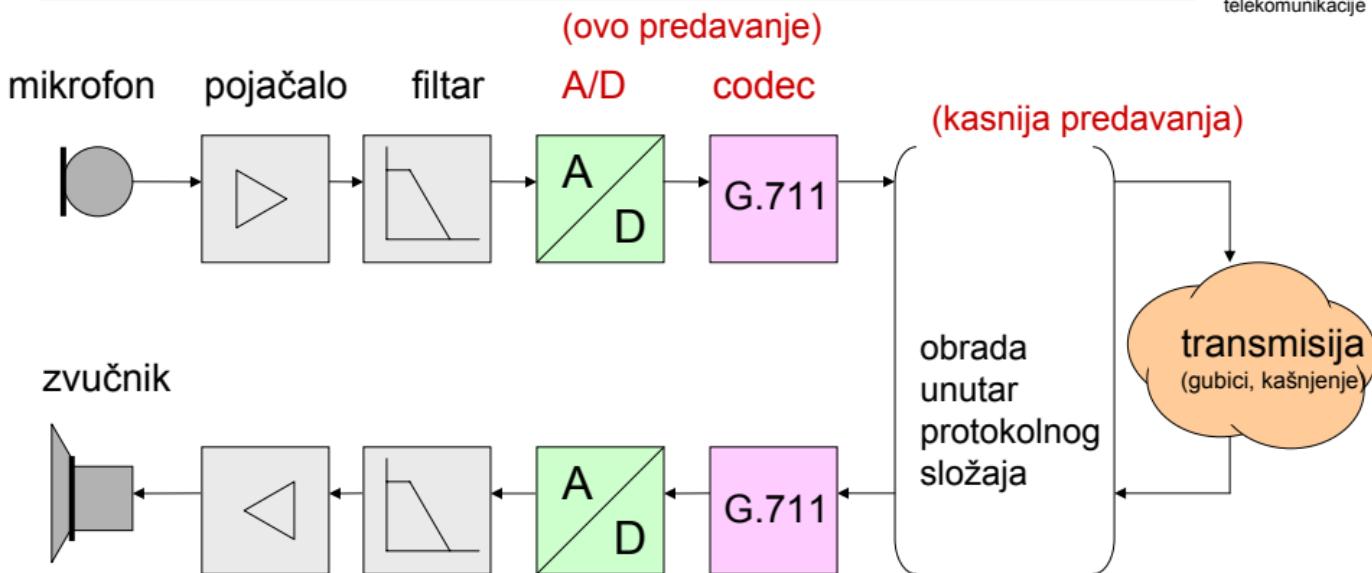
dinamički raspon
ljudskog sluha
120 dB

Izvori zvuka

- Prirodni - analogni
 - ljudski glas (govor, pjevanje)
 - glasanje životinja
 - glazbeni instrumenti
 - prirodni zvukovi, npr. šum mora, vjetar, grmljavina,...
- Sintetički – obično digitalni
 - oponašanje nekog od prirodnih zvukova, računalna glazba, ...
- Digitalni oblik je pogodan za pohranu, obradu i prijenos u računalnim sustavima
- Prirodni zvukovi se stoga digitaliziraju
- Svrha kodiranja digitalnog zvuka: što manji zapis bez osjetnog gubitka kvalitete



Digitalni zvuk u umreženom računalnom sustavu

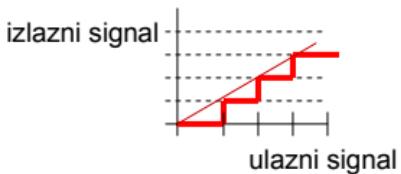


- **codec, coder + decoder** = uređaj koji kodira i dekodira, odn. komprimira i dekomprimira, audio i video

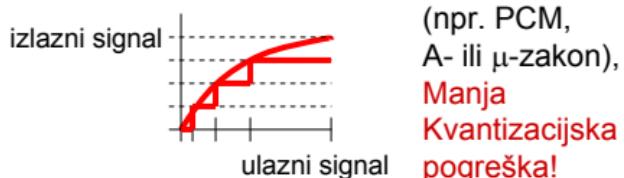
Postupak digitalizacije zvuka

- 1. uzorkovanje
- 2. kvantizacija
 - više ulaznih vrijednosti preslikava se na istu izlaznu vrijednost čime se gubi mogućnost točne rekonstrukcije
 - razlika stvarne i kvantizirane vrijednosti je kvantizacijska pogreška
 - uz broj bita k dobiva se 2^k razina kvantizacije
 - općenito vrijedi: veći broj bita po uzorku → manje izobličenje

linearna kvantizacija



nelinearna kvantizacija



kvantizacija može biti *fiksna* (zadane razine) ili *adaptivna* (adaptivno određene razine kvantizacije)

- 3. kodiranje

Vrste kodera s obzirom na namjenu



- **uskopojasni** (telefonski kanal; $B = 4 \text{ kHz}$)
 - prikaz zvuka s visokom točnošću:
 $f_u = 8 \text{ kHz}$, 16 bita po uzorku (linearno) $\rightarrow 128 \text{ kbit/s}$
 - analogna telefonija: 300 Hz – 3400 Hz
 $f_u = 8 \text{ kHz}$, 8 bita po uzorku (nelinarno, A/ μ) $\rightarrow 64 \text{ kbit/s}$
- **širokopojasni** (AM radio, ISDN; videokonferencija; $B = 7 \text{ kHz}$)
- **zvuk visoke kvalitete** (FM radio, televizija; $B = 15 \text{ kHz}$)
 - kanal 30 Hz – 15 kHz
 $f_u = 32 \text{ kHz}$, 16 bita po uzorku
- **zvuk visoke vjernosti** (CD kvaliteta; $B = 20 \text{ kHz}$)
 - svaki kanal 20 Hz – 20 kHz
 $f_u = 44.1 \text{ kHz}$, 16 bita po uzorku

Kriteriji usporedbe codec-a

- brzina, izlaz, *bitrate* (bit/s)
- kvaliteta
 - **objektivna mjerila** (“klasične” metode, izobličenje signala i SNR, nisu dobra mjerila za ljudsku percepciju rekonstruiranog signala)
 - **subjektivna mjerila** (često važnija od objektivnih!)
- kašnjenje
 - algoritamsko kašnjenje u koderu na izvoru - koliko traje kodiranje
 - kod dekodiranja - koliko traje dekodiranje?
 - sinkronizacija s ostalim medijima u višemedijskoj aplikaciji
- otpornost na gubitke
 - posebno važno za prijenos preko mreže
- primjena na ostale zvukove koji nisu govor, npr. fax i modemske signale, te glazbu
- složenost (hw/sw)
- cijena izvedbe

Subjektivna mjerila kvalitete

- Opća ocjena kvalitete - mišljenje korisnika
 - Mean Opinion Score (MOS)
 - Degradation MOS (DMOS)

Ocjena	MOS	DMOS	Procjena napora razumijevanja
5	izvrsno	nečujno pogoršanje	bez napora
4	dobro (toll quality)	čujno pogoršanje, ali ne smeta	bez posebnog napora
3	prihvatljivo	primjetno pogoršanje, malo smeta	osrednji napor
2	slabo	podnošljivo, ali smeta	priličan napor
1	loše	izraženo pogoršanje, jako smeta	neprepoznatljivo bez izrazitog napora

- Ocjena razumljivosti govora
 - dijagnostički testovi s parovima riječi koje slično zvuče, 90% točnost smatra se "toll quality"
 - Dynamic Rhyme Test (DRT) – 96 parova engleskih riječi, npr. *dune/tune, chair/care, moon/noon, ..* slušačima se nudi popis i pita ih se koju riječ su čuli

Objektivne metode

- novije objektivne metode temelje se na poznavanju ljudskog slušnog sustava – računaju izobličenje zvučnog signala s *percepcijским* težinskim faktorima
 - ideja: izobličenja koje uho “više čuje” ima veći težinski faktor od onog manje primjetnog ili neprimjetnog
- Perceptual Evaluation of Speech Quality (**PESQ**)
 - ITU-T preporuka P.862
 - metoda procjene subjektivne kvalitete govornih kodeka
 - algoritam predviđa subjektivnu ocjenu kvalitete degradiranog uzorka govora
 - izlaz iz algoritma je procijenjena vrijednost MOS
- Perceptual Evaluation of Audio Quality (**PEAQ**)
 - ITU-R preporuka BS.1387
 - algoritam za procjenu kvalitete audia

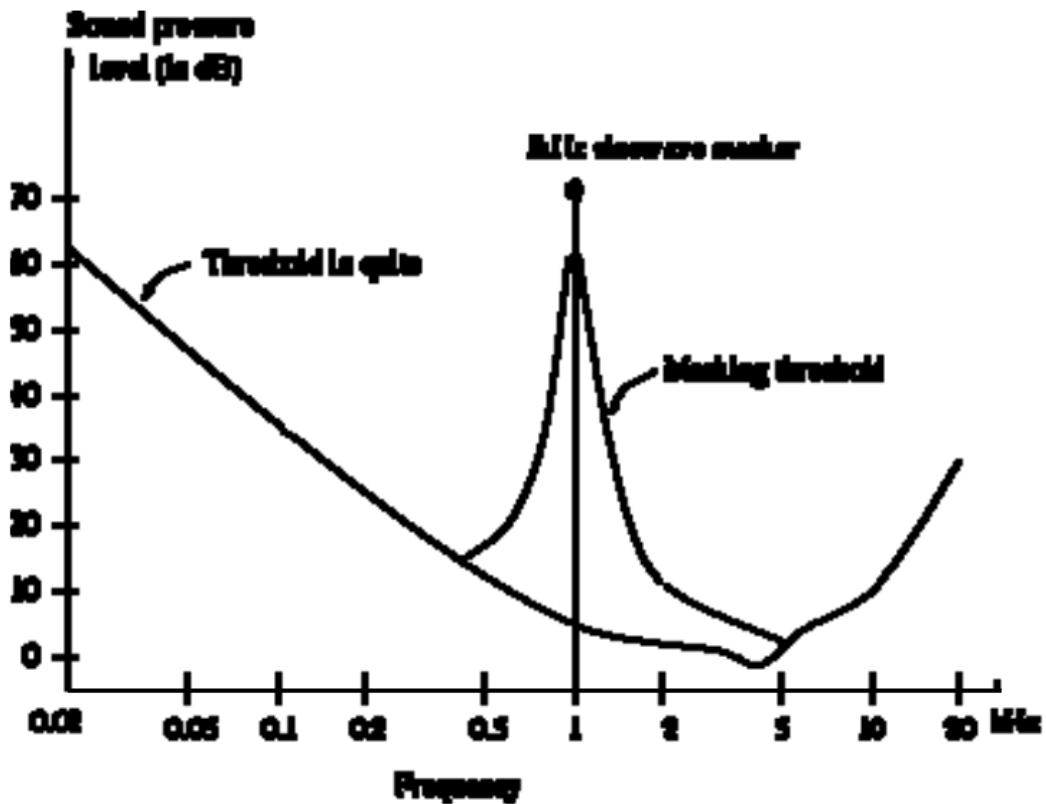
Karakteristike govora važne za kodiranje



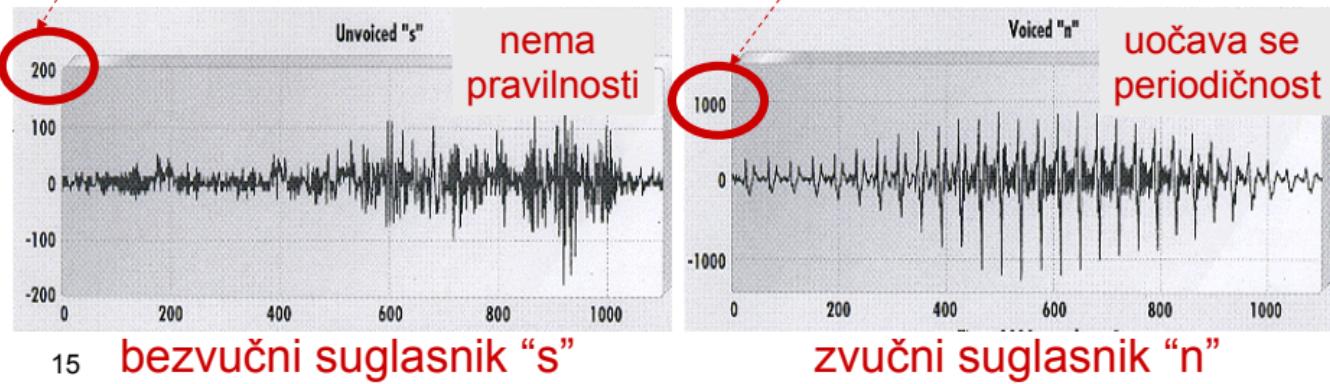
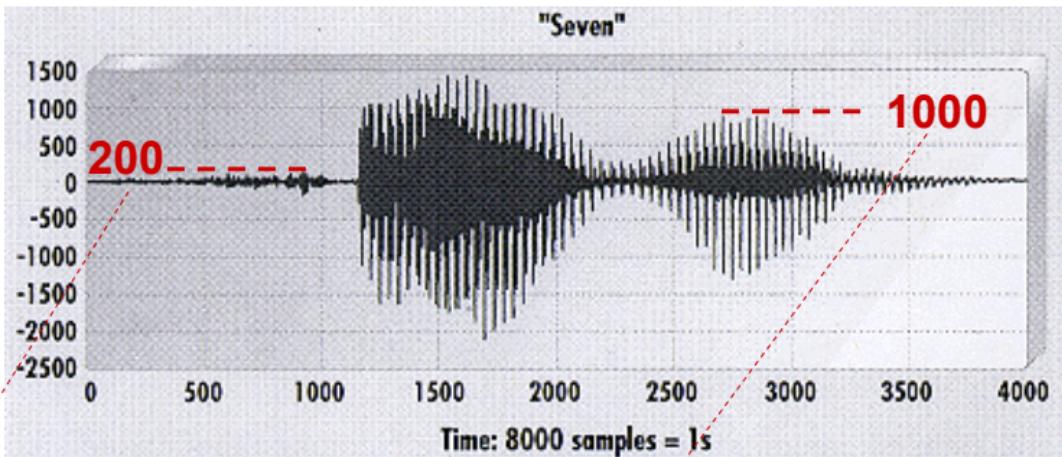
Zavod za
telekomunikacije

- Izvor: ljudski govorni organi
 - Zrak iz pluća prolaskom kroz gorovne organe (dušnik, grkljan, glasnice, šupljine usta i nosa) stvara glas
 - **zvučni glasovi** (zrak izaziva titranje glasnica)
 - **bezvručni glasovi** (nema titranja glasnica)
 - Frekv. raspon 60 Hz - 8 kHz, dinamički raspon 40 dB
- Prijamnik: ljudski slušni organi
 - Čujno područje 20Hz – 20 kHz, dinamički raspon 120 dB
 - Za razumljivost najvažnije 2 - 5 kHz (500-2000Hz)
 - Kvaliteta se ocjenjuje subjektivno
 - Poznata anomalija: efekt *maskiranja*: jedan zvučni signal prekriva drugi (ovisno o relativnim glasnoćama i frekvencijama)

Maskiranje zvuka



Vremenska analiza govora

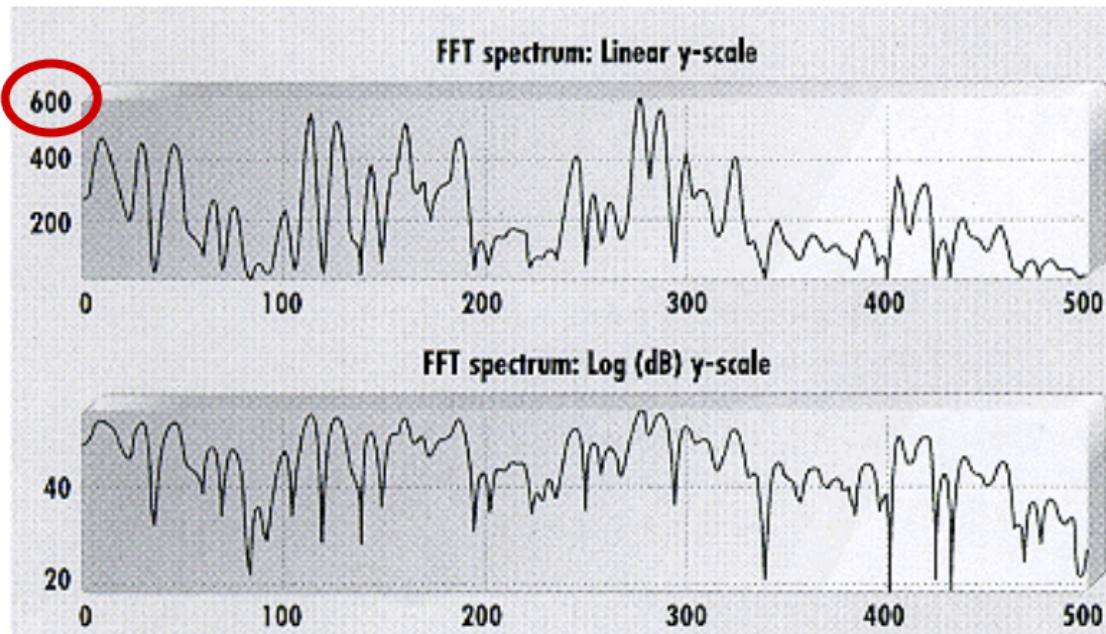


Frekvencijska analiza govora (1)



Zavod za
telekomunikacije

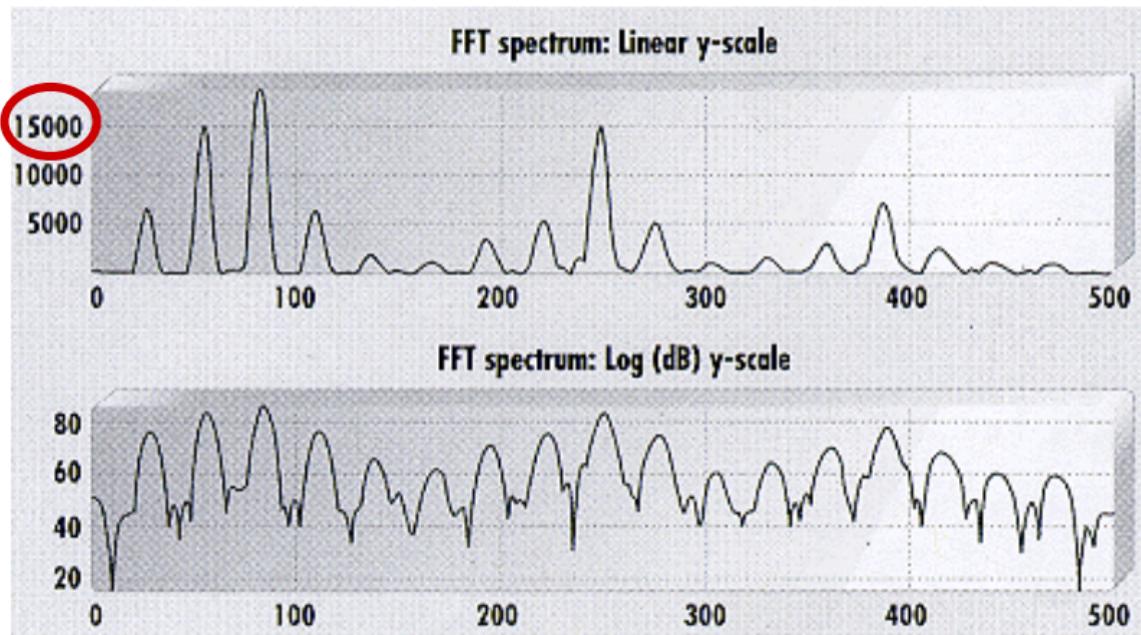
- Odsječak 30 ms **bezvučni suglasnik "s"**



Frekvencijska analiza govora (2)

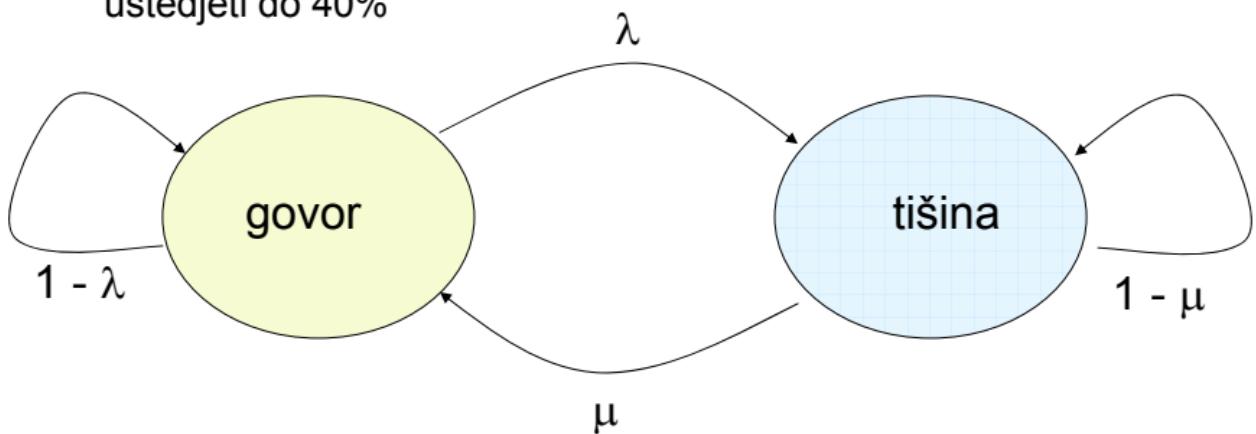


- Odsječak 30 ms **zvučni suglasnik "n"**
- Uočljive rezonantne frekvencije - **formanti**



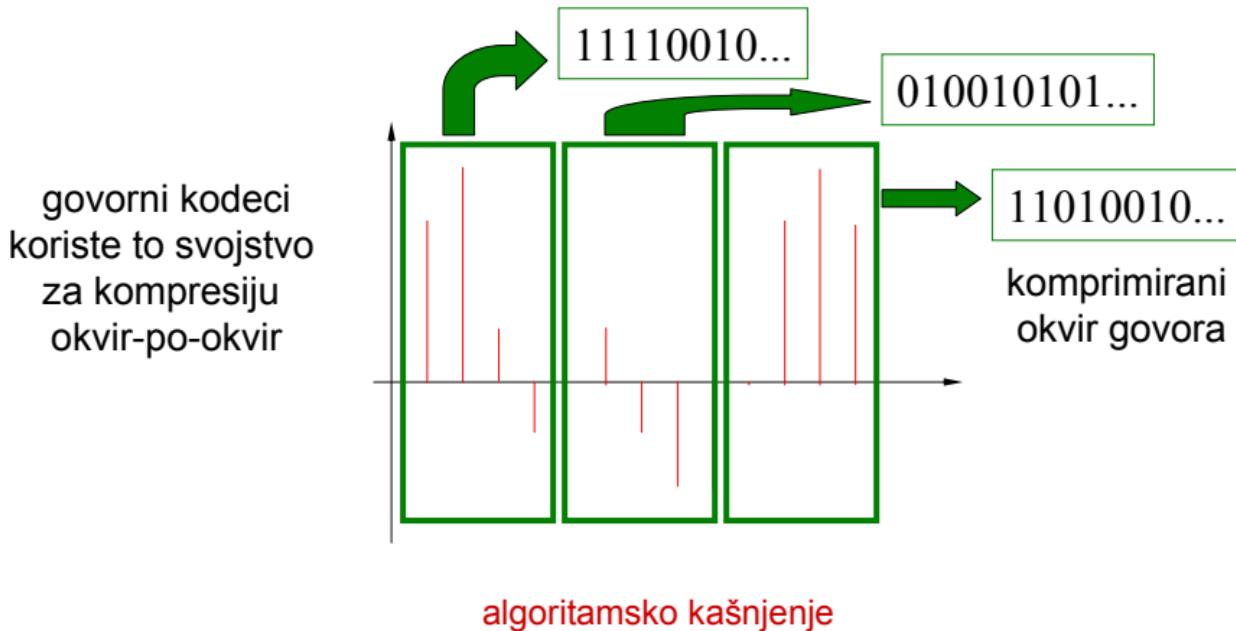
Model govora u vremenu

- model govora u vremenu može se opisati “on-off” modelom
- intervali govora prosječno traju 800 ms - 1.2 s
- intervali tišine (između pojedinih glasova, riječi i rečenica) prosječno traju 1 – 1.6 s
 - ako se na izlaz kodera ne šalje ništa u intervalima tišine, može se uštedjeti do 40%



Vremenska svojstva govornog signala

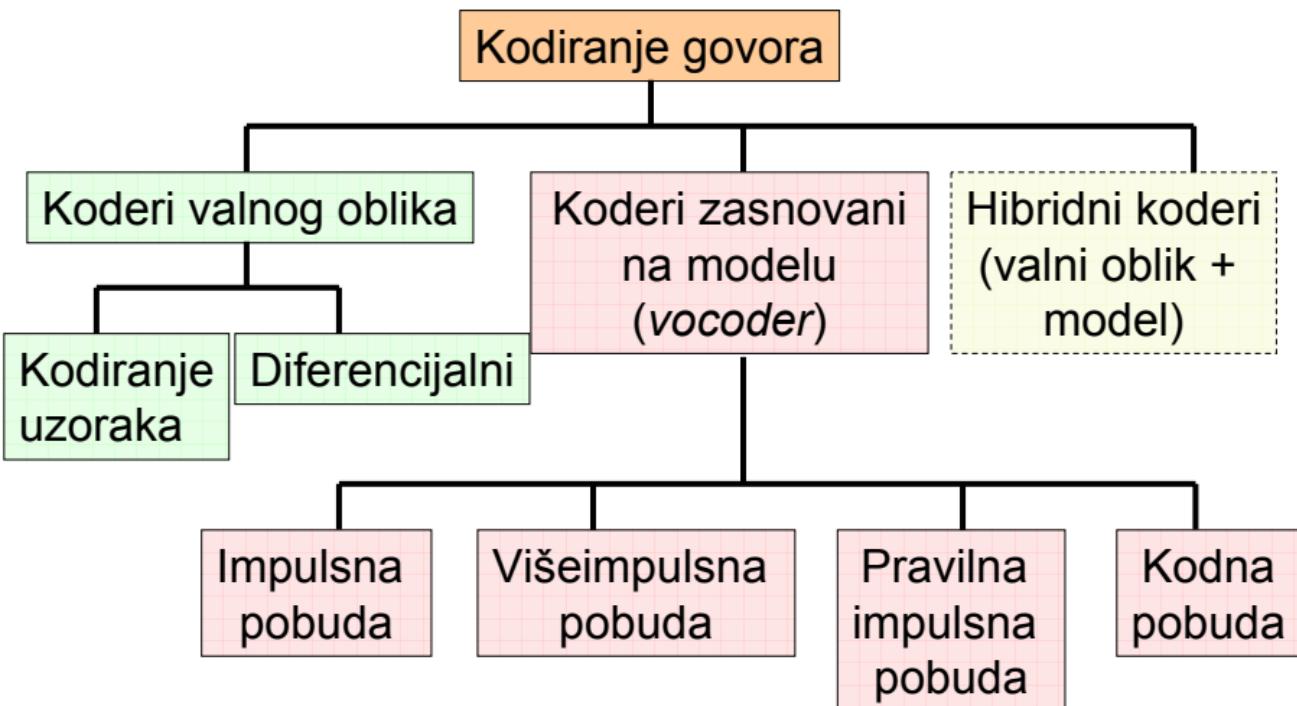
- govorni signal je nestacionaran (mjenja se u vremenu), ali u manjim vremenskim odsjećcima (**okvirima** od 20 - 30 ms) može se promatrati kao stacionaran



Ideje za konstrukciju codeca

- Svojstvo govornog signala je da ima veću vjerojatnost poprimanja manjih vrijednosti nego većih vrijednosti
 - Uniformna kvantizacija nije optimalna
 - "ispłati se" točnije kodirati manje vrijednosti od većih - nelinearna kvantizacija daje bolju kvalitetu uz jednak broj bita po uzorku
- Postoji visoka korelacija između uzastopnih uzoraka i uzastopnih okvira
 - Uklanjanjem redundancije u signalu može se sažeti zapis
- Na temelju poznavanja svojstava govora, tj. fizioloških karakteristika govornog trakta, može se napraviti model
 - Parametri modela se računaju na temelju stvarnih uzoraka
 - Prenose se samo parametri, a govor se rekonstruira (sintetizira) na temelju modela
 - U najnovijim koderima (npr. MPEG-4 SA) ova ideja proširuje se i na druge zvukove

Koderi govora

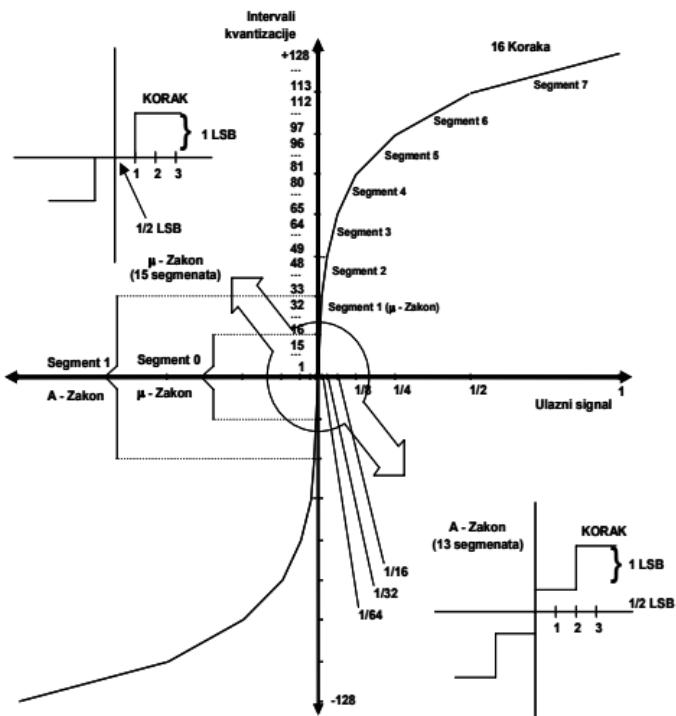


Koderi valnog oblika

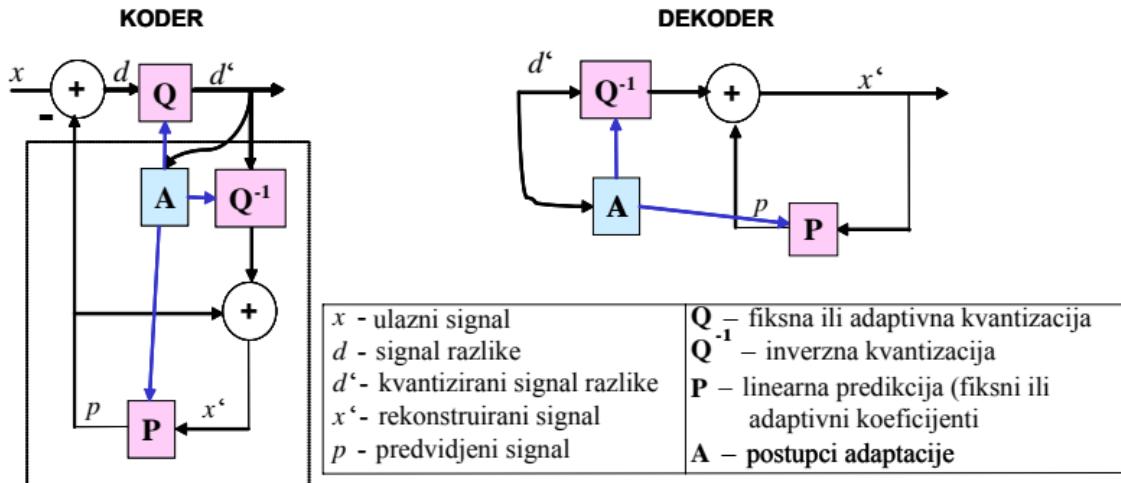
- Veće brzine, dobra kvaliteta, razvijeni za fiksnu i (kasnije dorađeni) za mobilnu telefoniju
- Pulsno-kodna modulacija (**PCM**)
 - preporuka *ITU-T G.711 Pulse Code Modulation for voice frequencies (PCM)*
- Adaptivni diferencijalni PCM (**ADPCM**)
 - preporuka *ITU-T G.726 Adaptive Differential Pulse Code Modulation (ADPCM)*; sadrži zastarjelu preporuku G.721 (originalni standard)
 - proširenje je *ITU-T G.727 5-, 4-, 3- and 2 bits per sample embedded Adaptive Differential Pulse Code Modulation (ADPCM)*

PCM

- Uzorkovanje na 8 kHz, nelinearna kvantizacija po logaritamskoj karakteristici prema A-zakonu (Europa) ili μ -zakonu (SAD, Japan)
- Prednosti:
 - jednostavan
 - visoka kvaliteta (MOS 4.3)
 - malo kašnjenje (1 uzorak)
- Nedostaci:
 - 64 kbit/s nije malo
 - nema mehanizme za kontrolu i ispravljanje pogrešaka (nije dobar kandidat za internetsku telefoniju)
- Primjena: već desetljećima u uporabi u fiksnoj telefonskoj mreži



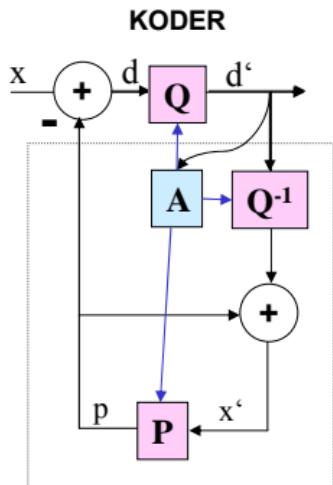
Princip diferencijalnog kodera (ADPCM)



$$p_n = a_1 x'_{n-1} + a_2 x'_{n-2} + \dots + a_k x'_{n-k}$$

U koderu je sadržan dekoder, te se računa razlika izmedju signala kojeg bi dekoder predviđao i stvarnog signala; ova razlika se kvantizira i šalje dekoderu.

Princip diferencijalnog kodera (ADPCM)



x - ulazni signal
d - signal razlike
d' - kvantizirani signal razlike
x' - rekonstruirani signal
p - predvidjeni signal
Q – fiksna ili adaptivna kvantizacija
Q⁻¹ – inverzna kvantizacija
P – linearna predikcija (fiksni ili adaptivni koeficijenti)
A – postupci adaptacije

$$p_n = a_1 x'_{n-1} + a_2 x'_{n-2} + \dots + a_k x'_{n-k}$$

U koderu je sadržan dekoder, te se računa razlika izmedju signala kojeg bi dekoder predviđio i stvarnog signala; ova razlika se kvantizira i šalje dekoderu.

ADPCM - svojstva

- osim tipične brzine od 32 kbit/s, ovisno o broju bita za kodiranje greške, standard specificira i brzine 40 kbit/s (5 bita), 24 kbit/s (3 bita), 16 kbit/s (2 bita)
- prednosti:
 - nema algoritamskog kašnjenja
 - prenosi i modemske i fax signale bez degradacije
- nedostaci:
 - visoka brzina (postoje bolja rješenja na manjim brzinama), osjetljiv na gubitke
- primjena: kućni bežični telefon - DECT (Digital European Cordless Telephony) standard
- primjena i u širokopojasnom koderu; preporuka *ITU-T G.722 Wideband (7 kHz) audio codec by Subband ADPCM (SB-ADPCM)*
 - 64 (56, 48) kbit/s
 - primjena: ISDN aplikacije, telekonferencija

Koderi zasnovani na modelu

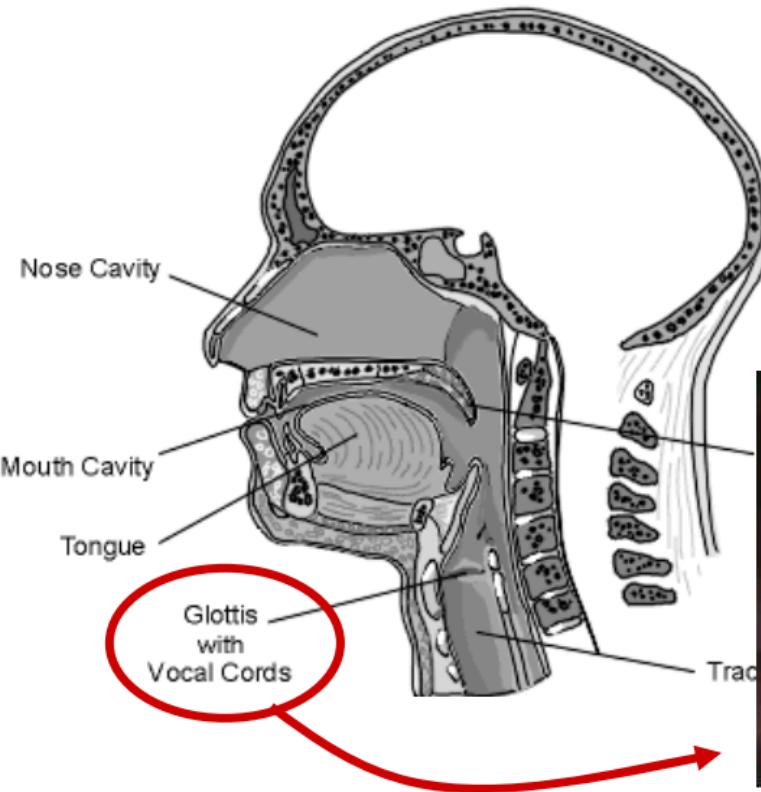
- Ideja: koder i dekoder imaju isti (parametrizirani) model govornog trakta
 - Parametri modela se računaju za okvire uzoraka govora
 - Dekoderu se prenose parametri modela (a ne uzorci govora) te se govor sintetizira na odredištu
 - **Princip analize/sinteze**
- postižu se vrlo male brzine
- prvi koderi, npr. LPC-10, su bili lošije kvalitete, razvijeni za sustave ograničene namjene, npr. robotika, sigurna telefonija
- noviji koderi, npr. CELP na malim brzinama postižu dobru kvalitetu, ali su računski složeniji

Malo povijesti

- Kempelen Farkas / Wolfgang von Kempelen (1734-1804)
 - „govorni stroj“ – govorni trakt simuliran pomoću cijevi
 - Prvi zabilježeni pokušaj umjetne proizvodnje govora
- Homer Dudley, Bell Labs, 1939
 - „*Channel vocoder*“ (voice coder)
 - Model govornog trakta s filterima
 - Prethodnik današnjih kodera govora, postavlja osnovne principe

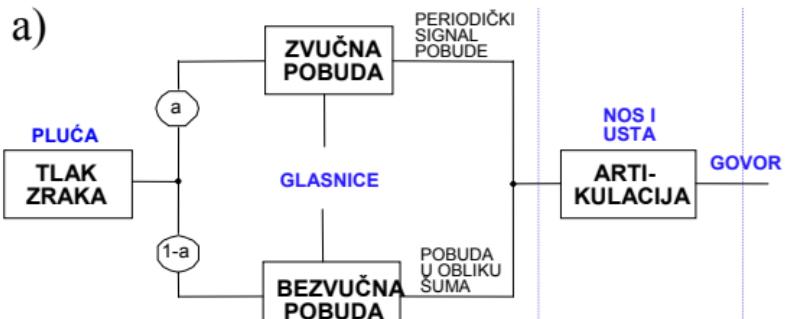


Ljudski govorni organi



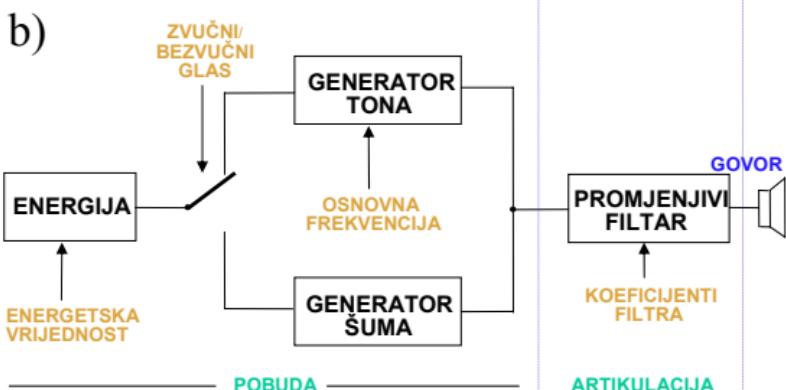
Model proizvodnje govora

a) blok dijagram
ljudskih
govornih organa



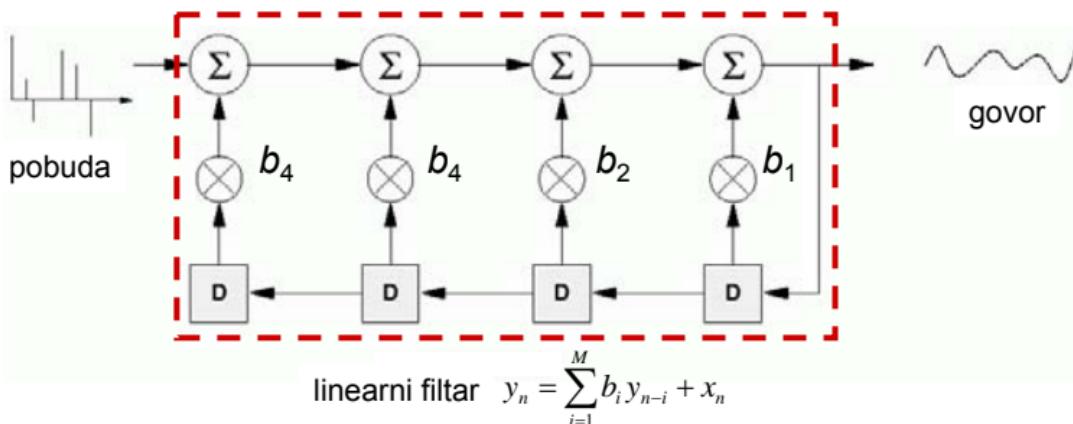
b) blok dijagram
dekodera
zasnovanog
na modelu

(LPC - Linear
Predictive Coder)



Model govornog trakta

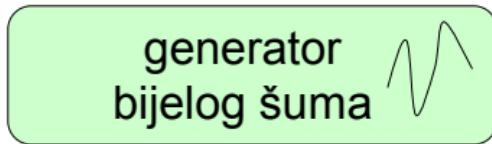
- Govorni trakt se modelira linearnim filtrom s nizom koeficijenata
- Signal se može prikazati kao izlaz linearog filtra uz zadanu *pobudu*



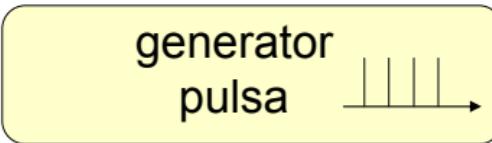
- Koder izračunava parametre filtra i pobude i šalje ih dekoderu

Linear Predictive Coding (LPC)

bezvučni
glasovi,
tišina



zvučni
glasovi



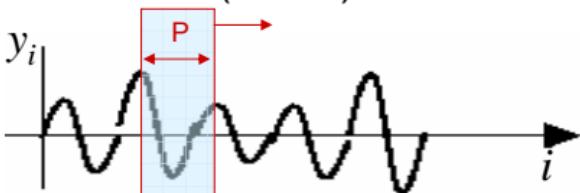
- Pobuda: periodički impulsni signal
- Parametri modela:
 - Frekvencija pobude 6 bita
 - Jačina pobude 5 bita
 - Zvučni/bezvučni glas 1 bit
 - Koeficijenti filtra 42 bita (10 koeficijenata)
- Npr, **LPC-10** na 2.4 kbit/s
 - Frekvencija uzorkovanja: 8kHz
 - Duljina okvira: 180 uzoraka = 22.5 ms

LPC - računanje parametara modela

- Frekvencija pobude

- Average Magnitude Difference Function (AMDF)

$$AMDF(P) = \frac{1}{N} \sum_{i=k_0+1}^{k_0+N} |y_i - y_{i-P}|$$



- AMDF izračunava prosjek razlika signala u zvučnom okviru udaljenih za neki period P

- Zvučni/bezvručni glas

- AMDF nema jasnih minimuma za bezvručne glasove
 - Bezvručni glasovi: manja amplituda signala

- Jačina pobude

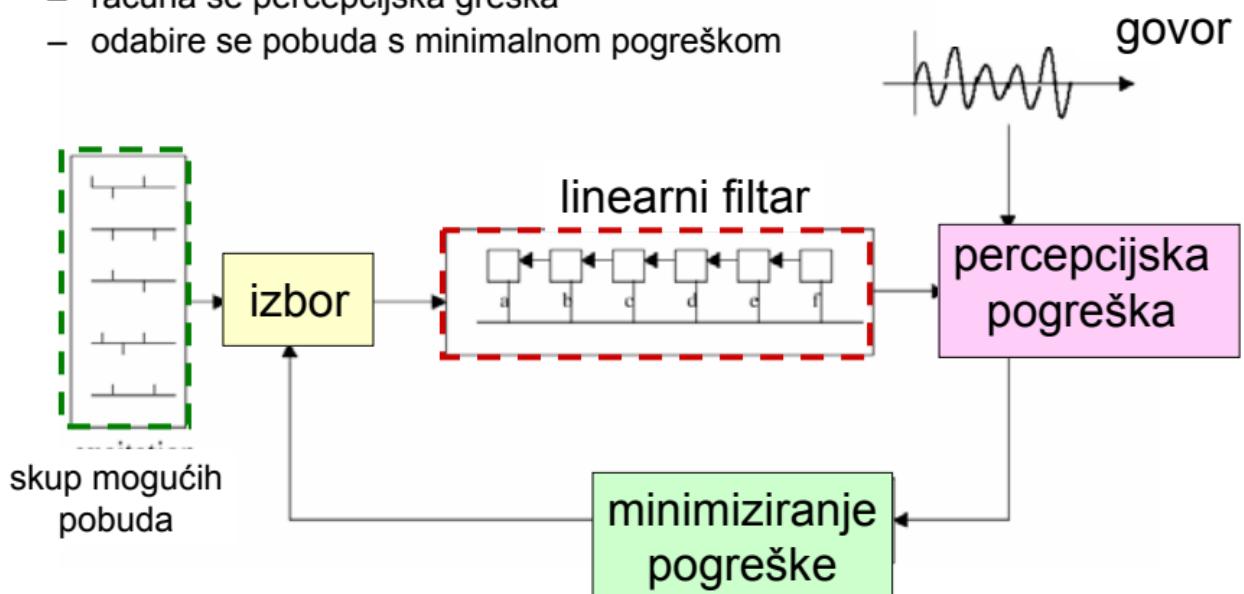
- korijen srednje vrijednosti kvadrata signala

- Koeficijenti filtra

- Metoda najmanjeg kvadrata pogreške

Code Excited Linear Prediction (CELP)

- Zajednički rječnik kodova (code-book) u koderu i dekoderu
- Dekoderu se šalje indeks (kôd) pobude
- Analiza-sintezom služi za određivanje pobude
 - pretražuje se skup mogućih pobuda i za svaku provodi sintezu
 - računa se percepcijska greška
 - odabire se pobuda s minimalnom pogreškom



Primjeri kodera zasnovanih na modelu (1)



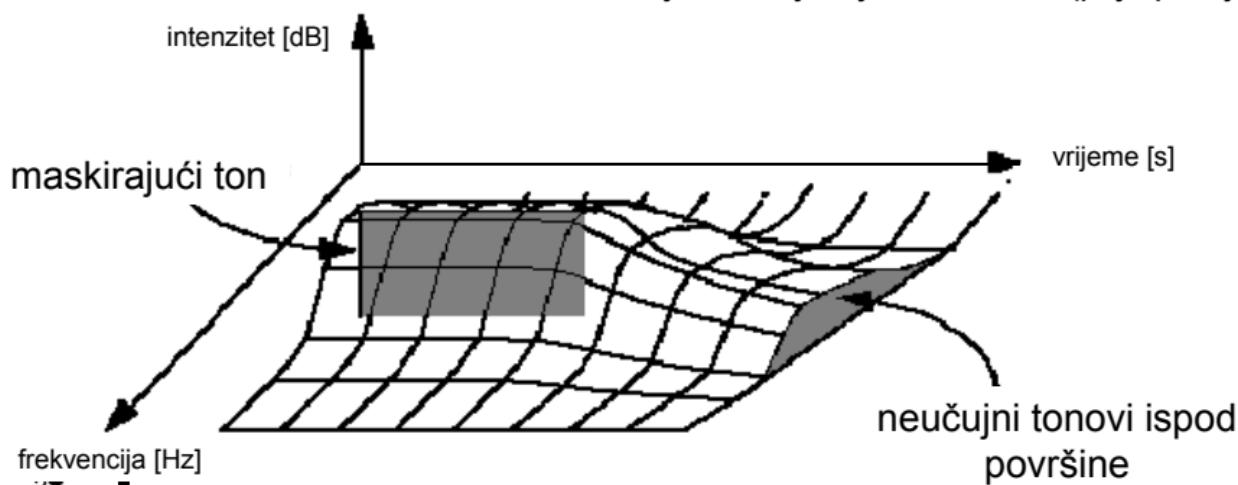
- preporuka *ITU-T G.728 Low Delay CELP (LD-CELP)*
 - 16 kbit/s, MOS 4, algoritamsko kašnjenje samo 0,625 ms
- preporuka *ITU-T G.729 Conjugate Structure Algebraic CELP (CS-ACELP)*
 - 8 kbit/s, MOS 4, kašnjenje 15 ms
- preporuka *ITU-T G.723.1 Dual rate speech coder for multimedia communications transmitting at 5.3 and 6.3 kbit/s*
 - 5.3 i 6.3 kbit/s, MOS 3.8
 - pogodan za internetsku telefoniju

Primjeri kodera zasnovanih na modelu (2)

- ETSI GSM 06.10: Full Rate codec na 13 kbit/s
 - u uporabi u većini GSM 900 and PCS 1800 mreža
 - Regular Pulse Excitation LPC with Long Term Prediction (RPE-LTP) koder
- ETSI GSM 06.60: GSM Enhanced Full Rate na 12.2 kbit/s
 - Algebraic Code-Excited Linear Prediction (ACELP)
 - osnova i za sjevernoamerički TDMA IS-136, kao i za ITU-T G.729
- ETSI GSM 06.20: GSM Half Rate na 5.6 kbit/s
 - Vector-Sum Excited Linear Prediction (VSELP)

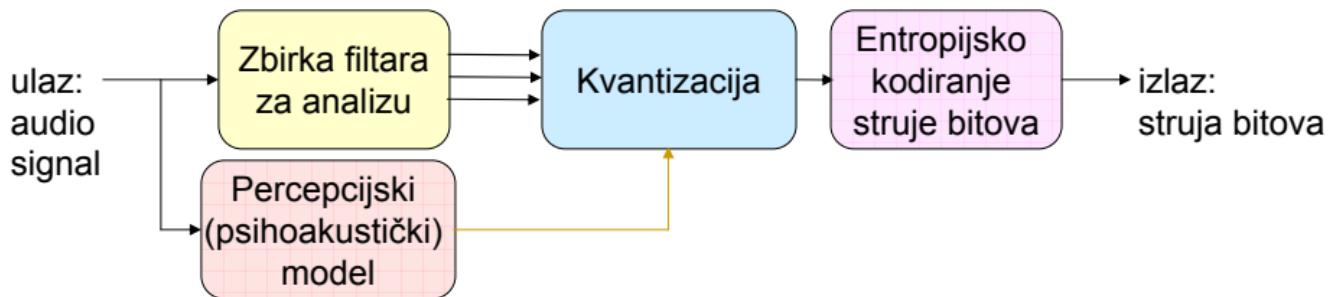
Koderi zvuka u frekvencijskoj domeni

- Koderi zvuka u frekvencijskoj domeni nisu ograničeni na govor; imaju dobra svojstva za bilo kakve zvukove npr. glazbu
 - Koriste pod-pojasno kodiranje (podjela na frekvencijske pod-pojase prije kodiranja)
- Koriste efekt maskiranja
 - uz jaki signal na nekoj frekvenciji uho ne može čuti slabiji signal na bliskoj frekvenciji
 - osim u zadanom trenutku, maskiranje ima utjecaj i u vremenu (prije-poslije)

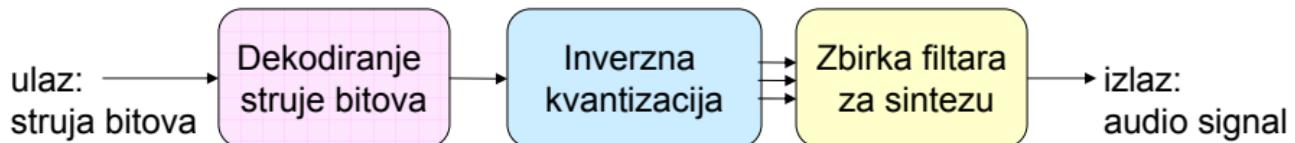


Osnovni percepcijski koder

Shema kodera



Shema dekodera



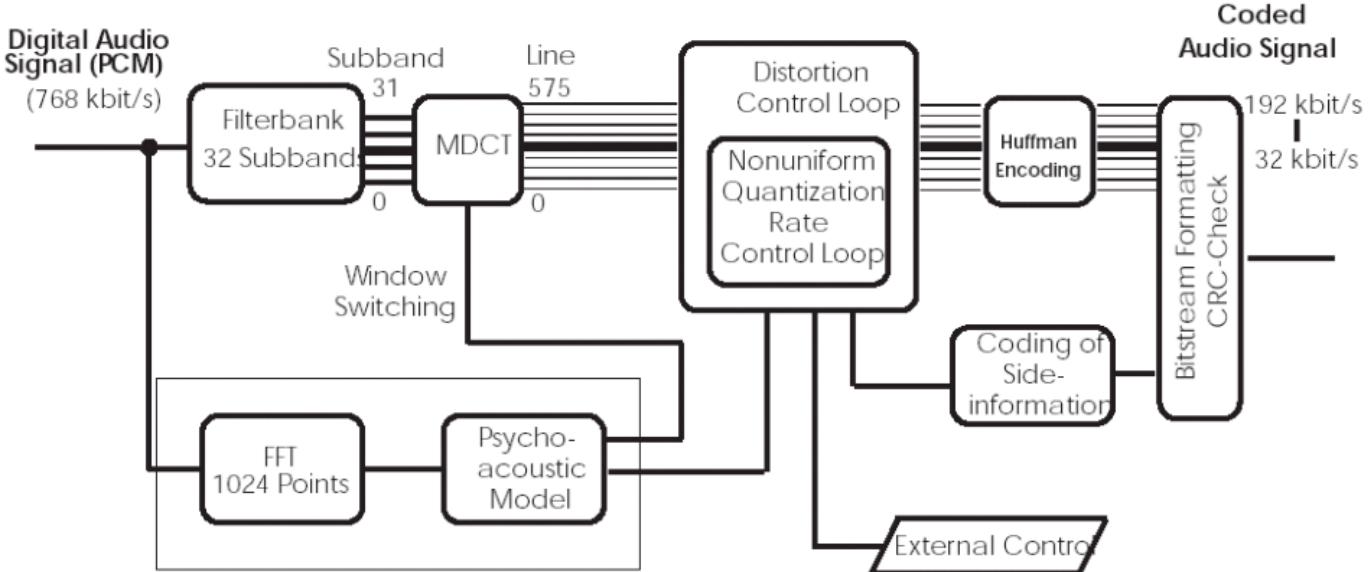
MPEG Audio

- MPEG - Moving Picture Expert Group ([ISO/IEC JTC1/SC29/WG11](#))
- MPEG-1
 - Dva audio kanala
 - $f_u = 44.1 \text{ kHz}$ (isto kao CD), 32 kHz, 48 kHz (isto kao DAT)
 - Brzine od 8-16 kbit/s do 320 kbit/s
 - MPEG Audio Layer I, II, III: razine kodiranja rastuće složenosti
 - Koristi se percepcijsko kodiranje
- MPEG-2
 - Isti osnovni koder kao MPEG-1
 - Pet audio kanala + niskofrekventni kanal
 - Uz MPEG-1 još i $f_u = 16 \text{ kHz}$, 22.05 kHz, 24 kHz
 - AAC – Advanced Audio Codec, dodan kasnije
- MPEG-4
 - AAC, dva kodera za govor, strukturirani audio, ...

MPEG Audio Layer 3 – MP3 koder



Zavod za
telekomunikacije



- Literatura: K. Brandenburg "MP3 and AAC Explained", AES 17th international conference on High Quality Audio Coding, Florence, Italy, September 1999.

Pregled kodera govora i zvuka

Kodiranje	kb/s	MOS	uporaba
LPC-10	2.4	2.3	robotika, sigurna telefonija
G.711	64.0	4.5	telefonija (A, u-law)
G.722	64.0		7kHz codec (subband)
G.723.1	5.3/6.3	3.8	videotelefon (ostatak kanala za video)
G.726	16-40	ovisi	niska kompleksnost (ADPCM)
G.726	32	4.1	niska kompleksnost (ADPCM)
G.728	16.0	4.0	malo kašnjenje
G.729	8.0	4.0	mobilna telefonija
GSM	13.0	3.5	GSM (mobilna telefonija, Europa)
GSM EFR	12.2	4.0	GSM 2.5G
GSM HR	5.6	3.5	GSM 2.5G
IS 54/136	7.95	3.5	TDMA (Sj. Amerika mobile (stari std.))
IS 641	7.4	4.0	TDMA (Sj. Amerika mobile (novi std.))
MPEG L3	56-128.0	N/A	CD stereo
DVI	32.0	toll-quality	(Intel, Microsoft)
16 bit/44.1 kHz	1411		compact disc

LPC demo



Zavod za
telekomunikacije

- <http://www.kt.tu-cottbus.de/speech-analysis/>



FER

Preddiplomski studij

Računarstvo

Modul:
Telekomunikacije i
informatika

Višemedijske usluge

Kodiranje nepomične slike

Ak.g. 2007./2008.

06.03.2008.

Višemedijski sadržaj II

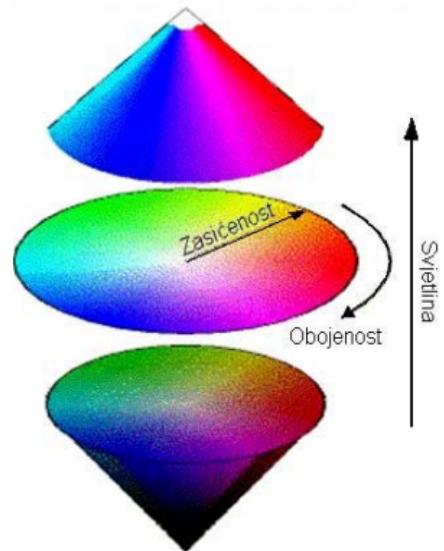
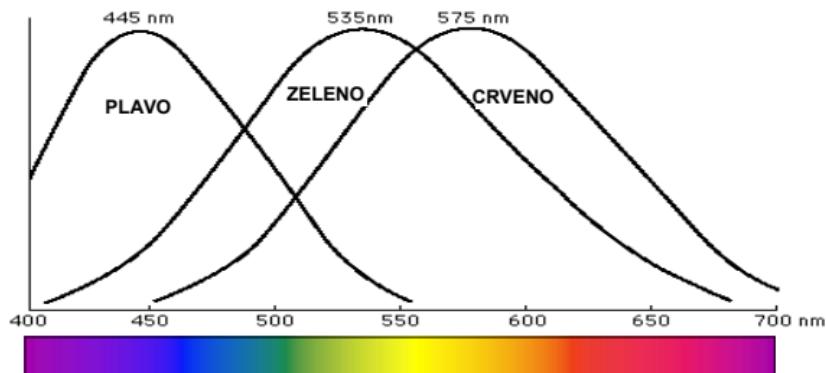
Kodiranje nepomične slike

Digitalna (nepomična, 2D) slika

- Slika iz stvarnog svijeta (u digitalnom obliku):
 - slika snimljena digitalnom kamerom
 - slika prenesena na računalo preko optičkog čitača (*scanner*)
 - ...
- Slika stvorena pomoću računala:
 - crtež (vektorska grafika)
 - slika (obrađena digitalna slika, bitmap, računalna grafika)
 - fraktalna slika
 - graf
 - vizualizacija
 - ...
- Slika kao jedinica unutar animiranog filma ili videa

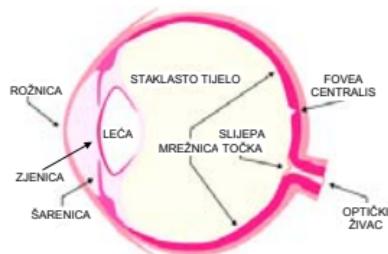
Percepcija slike

- Vidljiva svjetlost = elektromagnetski val
 - $\lambda = 330 - 770 \text{ nm}$, $c \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}$
(ovisno o gustoći medija)



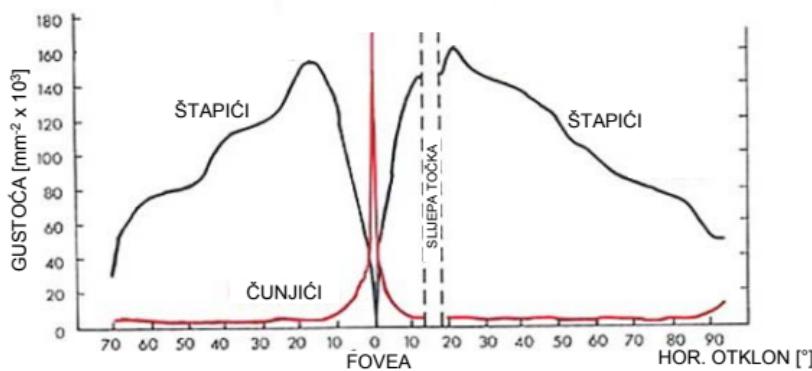
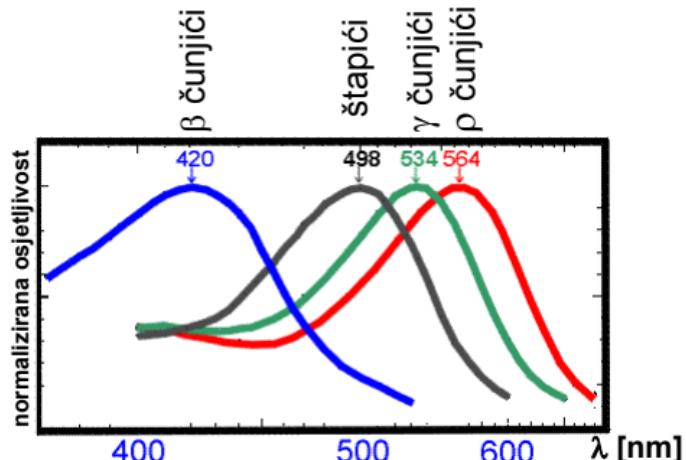
- tri svojstva boje koje ljudsko oko raspoznaće su **obojenost** (*hue*), **zasićenost** (*saturation*), i **svjetlina** (*brightness*)
 - to je osnova za HSB model boja u računalnoj grafici

Ljudski vid



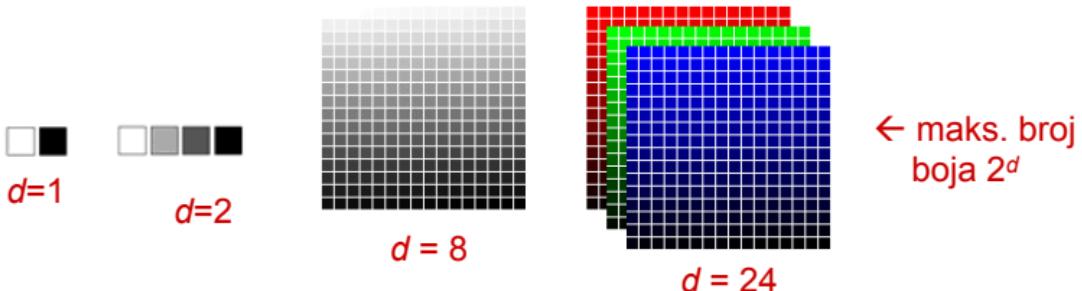
receptori u ljudskom oku:

- štapićaste stanice (osjetljive na svjetlost)
- čunjaste stanice (osjetljive na boju)
 - crveno ρ
 - plavo β
 - zeleno γ



Računalni prikaz slike

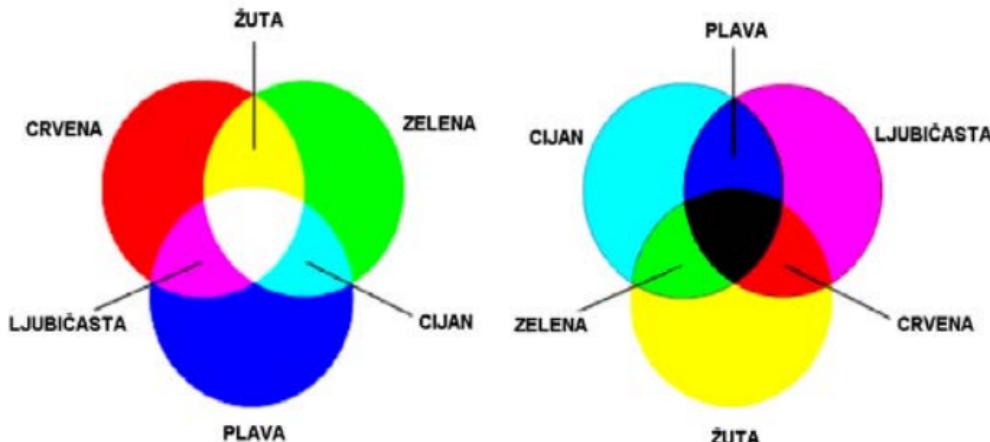
- slika se promatra kao matrica obojanih točaka, odn. *pixela*
- pixel = *picture element*
 - razlikujemo *pixel slike* od “*pixela uređaja*” (*device pixel, dot*)!! Npr:
 - printer 600 dpi: kvadrat sa stranicom $1/600$ ”
 - video monitor 72 dpi: kvadrat sa stranicom $1/72$ ”
- rezolucija slike = dimenzije matrice pixela $N_1 \times N_2$
- dubina slike = broj bita (d) za opis pixela (odn. boju)



- boja = varijabla koja opisuje pixel
 - modeli boje za sliku: RGB, CMY, HSB, HSI, ...
 - modeli boje za video: YUV, YIQ, ...

Modeli boje za sliku

- RGB:
 - Red – Green – Blue
 - (Crvena – Zelena - Plava)
 - svjetlo, zbrojive boje
 - TV ekran, monitor u boji
- CMY:
 - Cyan, Magenta, Yellow
 - (Cijan – Ljubičasta - Žuta)
 - pigment, oduzimljive boje
 - pisač



Standardi za kodiranje nepomične slike



Zavod za
telekomunikacije

- brojni vlasnički i otvoreni standardi, npr:
 - BMP (Bitmap)
 - XBM (X11 Bitmap)
 - GIF (Graphics Interchange Format)
 - PNG (Portable Network Graphics)
 - TIFF (Tagged Image File Format)
 - **JPEG** (Joint Photographic Expert Group)
 - JPEG 2000

Kodiranje slike zasniva se na:

- Statističkim karakteristikama slike: kodiranje bez gubitaka
- Karakteristikama ljudskog sustava vida: kodiranje s neprimjetnim gubicima
- Sažimanju manje važnih elemenata slike prema nekom kriteriju: kodiranje s vidljivim gubicima
- Obično se radi o kombinaciji ovih ideja

Kodiranje bez gubitaka

- Koriste se metode entropijskog kodiranja (vidi prethodna predavanja)
- Slijedno kodiranje
 - Telefax (starija verzija)
- Huffman kodiranje
 - Telefax
- LZW metoda (metode rječnika)
 - GIF (Graphics Interchange Format) – bez gubitaka ako se koristi do 256 boja; pogodan za računalnu grafiku

Kodiranje sa gubicima

- Diferencijalno (prediktivno) kodiranje
- Transformacijsko kodiranje
 - JPEG
- Kodiranje valićima (wavelets)
 - JPEG 2000
- Fraktalno kodiranje
- Osnovna ideja:

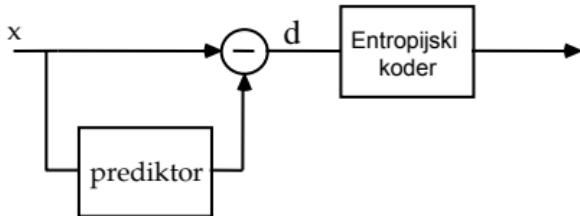


Diferencijalno (prediktivno) kodiranje



Zavod za
telekomunikacije

- Princip: vrijednost slijedećeg signala (pixela) predviđa se iz dosadašnjih vrijednosti, te se kodira razlika stvarnog i predviđenog

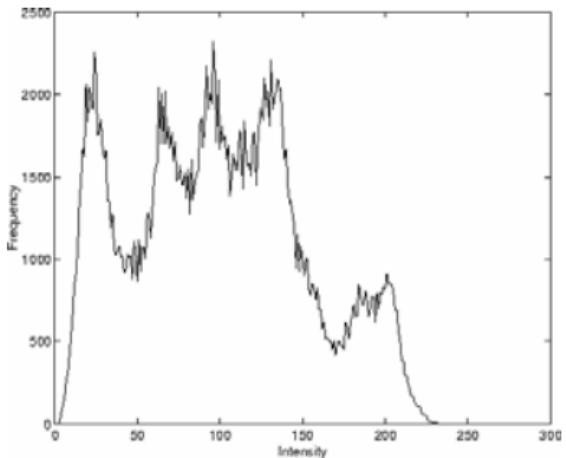


- Raspon amplituda diferencijalnog signala je povoljniji za kodiranje od originalne slike

Primjer: slika i njen histogram



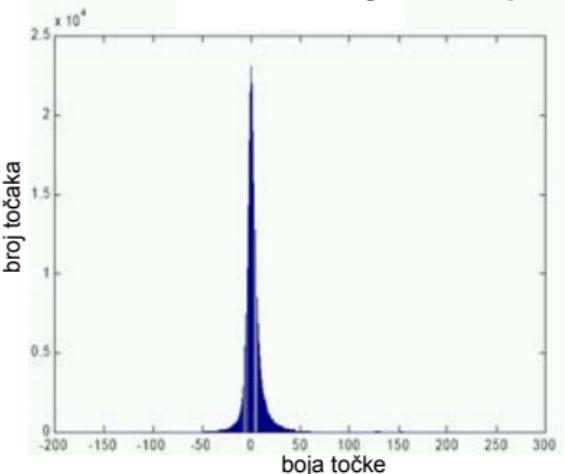
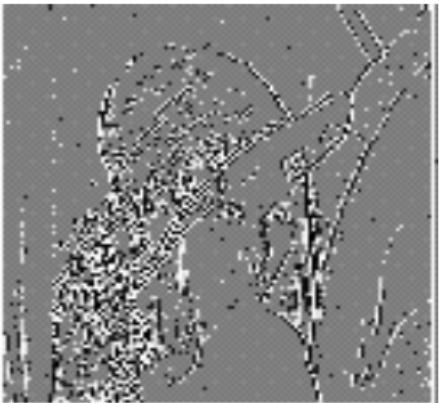
256*256*8 bita



Direktnim entropijskim kodiranjem može se postići 7 bit/pixel

Signal razlike

- Prikazan je signal razlike za sliku iz primjera uz jedan stupanj predviđanja – svodi se na razliku susjednih pixela



- Signal se ujednačuje, povoljnije za entropijsko kodiranje
- Entropijskim kodiranjem dobiva se 2.6 bit/pixel!

Svojstva diferencijalnog kodiranja



Zavod za
telekomunikacije

- + Jednostavna implementacija
- + Može biti bez gubitaka (ovisno o tome da li se upotrebljava kvantizacija)
- Postiže se relativno slaba kompresija

Transformacijsko kodiranje



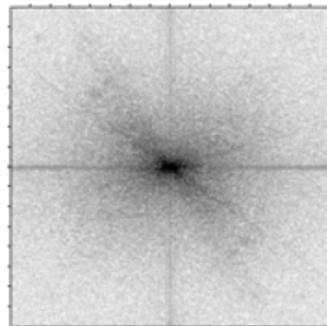
Zavod za
telekomunikacije

- Signal se transformira u prostorno frekvencijske komponente, te se one kodiraju
- Neke frekvencijske komponente slike pojavljuju se puno više od ostalih, što rezultira dobrom kodiranjem
- Metoda razvijena 70-tih godina
- Široka primjena kroz JPEG standard
- **JPEG = Joint Photographic Experts Group**

Primjer: Fourierova transformacija



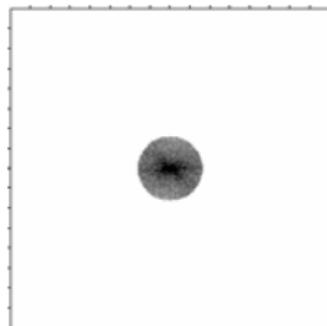
2D DFT
→



↓ Reduction

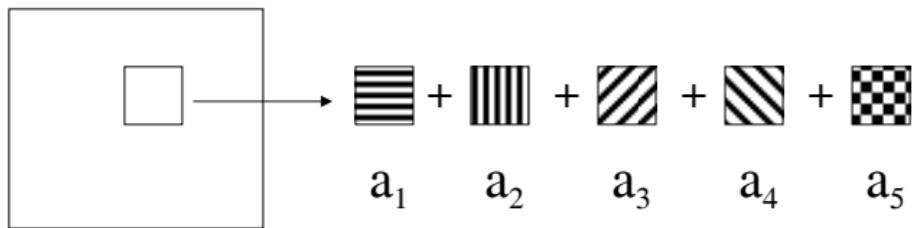


2D IDFT
←



Transformacijsko kodiranje u praksi: JPEG

1. Slika se dijeli na blokove veličine 8×8 točaka
2. Svaki blok se aproksimira sumom osnovnih DCT blokova, svaki sa svojim koeficijentom doprinosa
3. Koeficijenti doprinosa svakog osnovnog bloka se kodiraju.



Za potpunu rekonstrukciju potrebno je onoliko osnovnih blokova koliko ima točaka u bloku: $8 \times 8 = 64$

Jednodimenzionalna DCT

- DCT – diskretna kosinusna transformacija
- Promatramo jednodimenzionalnu sliku kao vektor dimenzijsi N pixela
- Za pixel na mjestu x , $0 \leq x < N$, $p(x)$ označava razinu sivog kodiranu s 8 bita (0 – bijelo, 255 – crno)



$$p = [p(0) \ p(1) \ p(2) \ \dots \ \dots \ p(x) \ \dots \ \dots \ p(N-1)]$$

- Promatranu sliku možemo prikazati kao zbroj DCT funkcija s određenim težinama

$$p(x) = \sum_{f=0}^{N-1} S(f) \cdot DCT_f(x) \quad [1]$$

Osnovne DCT funkcije

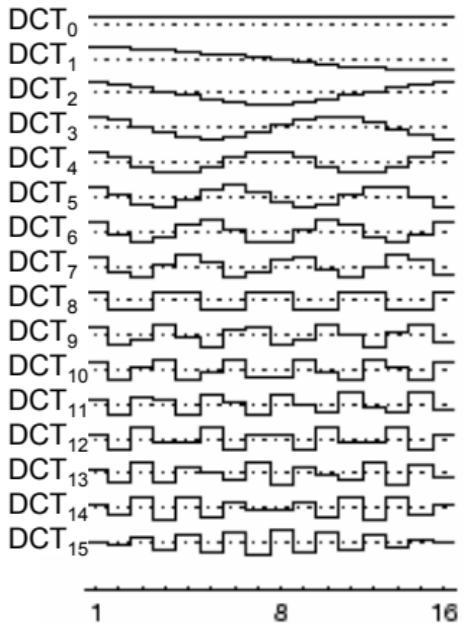
- U jednoj dimenziji:

$$DCT_f(x) = \sqrt{\frac{2}{N}} \cos\left[\frac{(2x+1) \cdot \pi \cdot f}{2N}\right], f > 0$$

$$DCT_0(x) = \sqrt{\frac{1}{N}}$$

- Primjer: N=16

- Uvrštavanjem u [1]:



$$p(x) = S(0) \sqrt{\frac{1}{N}} + \sum_{f=1}^{N-1} S(f) \cdot \sqrt{\frac{2}{N}} \cos\left[\frac{(2x+1) \cdot \pi \cdot f}{2N}\right] \quad [2]$$

Svojstva osnovnih kosinusnih funkcija

- Cjelovitost
 - Težinski se zbroj ovih funkcija može naći za bilo koju kombinaciju od N piksela.
- Minimalnost
 - Niti jedna funkcija se ne može predstaviti zbrojem ostalih, tj. svih N je potrebno za cjelovitost.
- Jedinstvenost
 - Niti jedan drugi skup kosinus funkcija osim onih koje su u razmjeru s korištenim se ne može koristiti za opis bilo koje kombinacije od N pixela.

Računanje koeficijenata

- Da bismo sliku prikazali DCT funkcijama, moramo izračunati koeficijente $S(f)$ za $0 \leq f \leq N-1$
- Prvi član u zbroju niza je srednja vrijednost, iz čega slijedi izraz za član $S(0)$:

$$\frac{S(0)}{\sqrt{N}} = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} p(x) \Rightarrow S(0) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{x=0}^{N-1} p(x)$$

- Kada to uvrstimo u prethodni izraz, dobivamo za koeficijente $S(f)$:

$$S(f) = \sqrt{\frac{2}{N}} \cdot C(f) \cdot \sum_{x=0}^{N-1} p(x) \cdot \cos \left[\frac{(2x+1)\pi f}{2N} \right] \quad C(f) = \begin{cases} 1/\sqrt{2}; & f=0 \\ 1; & f>0 \end{cases} \quad [3]$$

- Matrica DCT koeficijenata $S(f)$ opisuje sliku u frekvencijskoj domeni.

Primjer (1/3)

- Promatramo konkretan primjer slike od $N=8$ pixela



$$p(x) = [240 \ 210 \ 180 \ 150 \ 120 \ 90 \ 60 \ 30]$$

- Prije primjene DCT radi se posmak razina (*level shift*), tj. od svih vrijednosti u vektoru razina sivog oduzimamo 128 kako bi vrijednosti bile simetrične u odnosu na 0 (interval od -128 do 127) i tako dobivamo vektor p'

$$p'(x) = [112 \ 82 \ 52 \ 22 \ -8 \ -38 \ -68 \ -98]$$

- Za $N=8$, koeficijente $S(f)$ računamo prema izrazu [3] i dobivamo:

$$S(f) = [19.89 \ 193.27 \ 0 \ 20.20 \ 0 \ 6.03 \ 0 \ 1.52]$$

Primjer (2/3)

- $\mathbf{S}(f)$ zaokružujemo na cijele brojeve i dobivamo $\mathbf{S}'(f)$:

$$\mathbf{S}'(f) = [\textcolor{blue}{20} \quad \textcolor{green}{193} \quad \textcolor{blue}{0} \quad \textcolor{green}{20} \quad \textcolor{blue}{0} \quad \textcolor{green}{6} \quad \textcolor{blue}{0} \quad \textcolor{green}{2}]$$

- Za provjeru, izračunajmo sada $p'(x)$ prema izrazu [2]:

$$p(x) = S(0)\sqrt{\frac{1}{N}} + \sum_{f=1}^{N-1} S(f) \cdot \sqrt{\frac{2}{N}} \cos\left[\frac{(2x+1) \cdot \pi \cdot f}{2N}\right]$$

$$p'(x) = [\textcolor{blue}{111.89} \quad \textcolor{green}{81.86} \quad \textcolor{blue}{52.29} \quad \textcolor{green}{21.86} \quad \textcolor{blue}{-7.71} \quad \textcolor{green}{-38.15} \quad \textcolor{blue}{-67.72} \quad \textcolor{green}{-97.75}]$$

- Nakon zaokruživanja i posmaka razina dobivamo originalnu funkciju $p(x)$.

$$p'(x) = [\textcolor{blue}{112} \quad \textcolor{green}{82} \quad \textcolor{blue}{52} \quad \textcolor{green}{22} \quad \textcolor{blue}{-8} \quad \textcolor{green}{-38} \quad \textcolor{blue}{-68} \quad \textcolor{green}{-98}]$$

$$p(x) = [\textcolor{blue}{240} \quad \textcolor{green}{210} \quad \textcolor{blue}{180} \quad \textcolor{green}{150} \quad \textcolor{blue}{120} \quad \textcolor{green}{90} \quad \textcolor{blue}{60} \quad \textcolor{green}{30}]$$

Ovisno o efektima zaokruživanja, DCT je samo približno reverzibilna!

Primjer (3/3)

- Utjecaj nižih frekvencijskih komponenata:

A $S'(f) = [20 \ 193 \ 0 \ 20 \ \underline{0 \ 6 \ 0 \ 2}]$

$$p(x) = [240 \ 210 \ 180 \ 150 \ 120 \ 90 \ 60 \ 30]$$

B $S'(f) = [20 \ 193 \ 0 \ 20 \ \underline{0 \ 0 \ 0 \ 0}]$

$$p(x) = [238 \ 213 \ 179 \ 148 \ 122 \ 91 \ 57 \ 32]$$

- Vizualno:

A  sa svim frekvencijama

B  bez nižih frekvencija

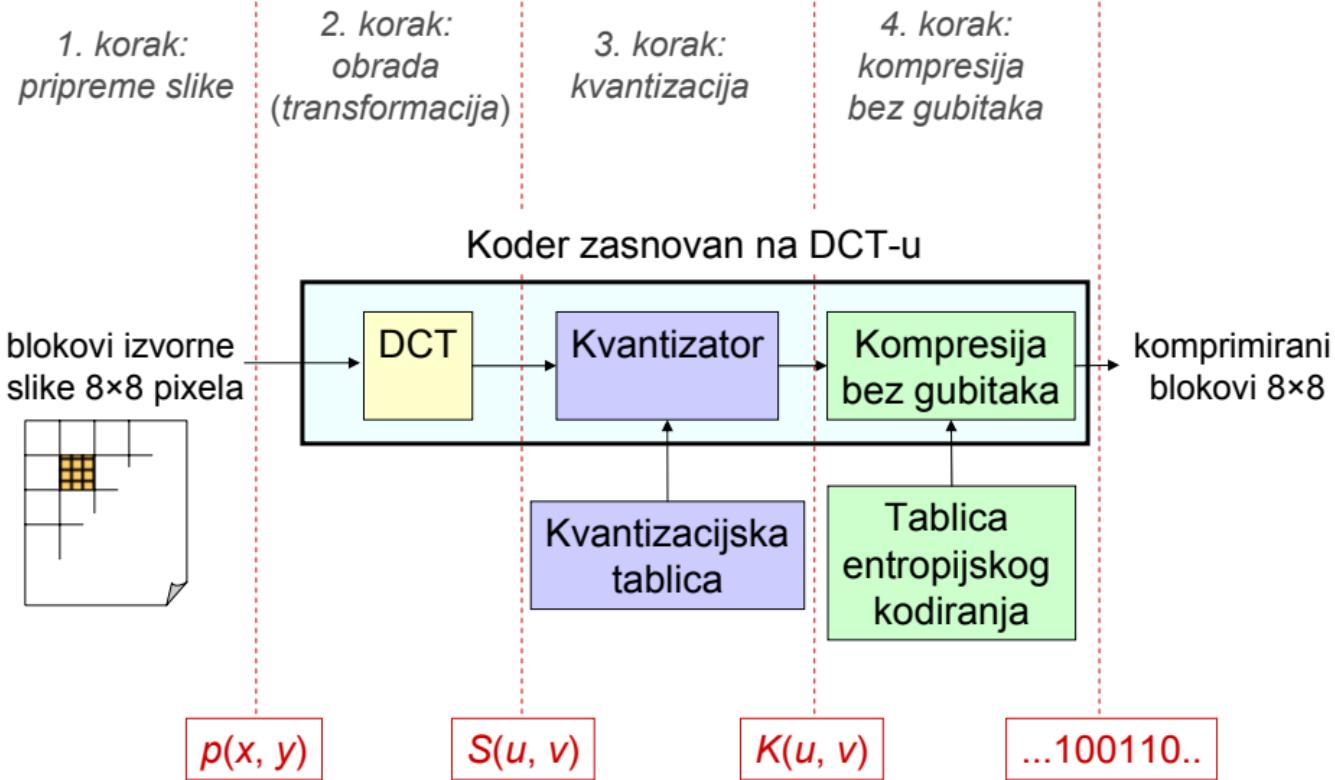
Svojstva slike u frekvencijskoj domeni



Zavod za
telekomunikacije

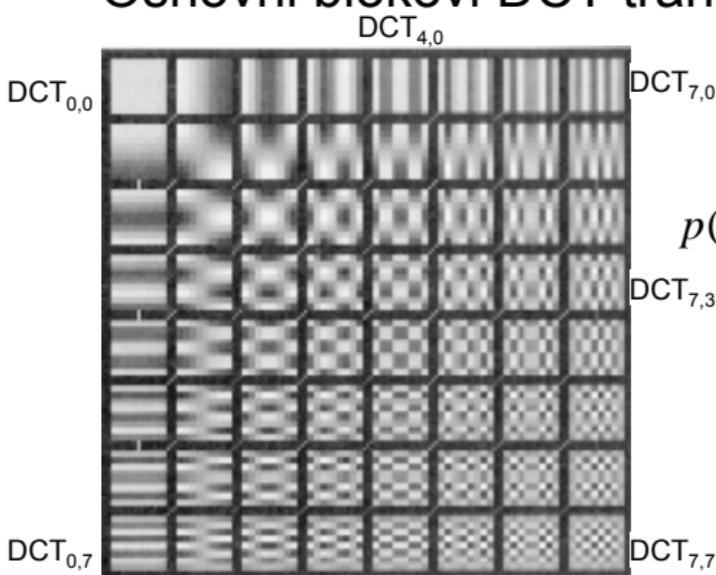
- Frekvencijske komponente na nižim frekvencijama su izraženije od onih na višim frekvencijama
 - Prva četiri koeficijenta u primjeru opisuju gotovo cijelu sliku
- Visoke frekvencije izražavaju zaista sitne detalje u slici
- Doprinos članova na višim frekvencijama je mali kada su razlike susjednih pixela relativno male, dakle kada slika ne sadrži puno detalja
- Za većinu slika, ovo je zaista slučaj, te se na tom svojstvu zasniva JPEG kompresija (i druge metode transformacijskog kodiranja)
- Premda smo ovo pokazali na primjeru 1D, ovo jednako važi za dvodimenzionalnu sliku

Blok shema JPEG kodera



DCT transformacija slike (1/2)

- DCT funkcije u 2D dobivaju se množenjem 1D funkcija
- Osnovni blokovi DCT transformacije:



$$p(x, y) = \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} S(u, v) \cdot DCT_{u,v}(x, y)$$

DCT transformacija slike (2/2)

- DCT transformacija vrši preslikavanje niza vrijednosti piksela u niz koeficijenata težine osnovnih blokova
- DCT koeficijenti za svaki blok 8x8 pixela se računaju prema formuli:

$$S(u, v) = \frac{C(u) \cdot C(v)}{4} \cdot \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 p(x, y) \cdot \cos\left[\frac{(2x+1)\pi \cdot u}{16}\right] \cdot \cos\left[\frac{(2y+1)\pi \cdot v}{16}\right]$$

$$C(f) = \begin{cases} 1/\sqrt{2}; & f = 0 \\ 1; & f > 0 \end{cases}$$

- primjer:

x/y	0	1	2	3	4	5	6	7
0	79	75	79	82	82	86	94	94
1	76	78	76	82	83	86	85	94
2	72						82	
3	74						79	
4	73	70	75	67	78	78	79	85
5	69	63	68	69	75	78	82	80
6	76	76	71	71	67	79	80	83
7	72	77	78	69	75	75	78	78

Izvorišna matrica $p(x, y)$

		Najviša vrijednost $S(0, 0)$							Niske vrijednosti						
u/v	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	619	-29	8	2	1	-3	0	1							
1	22	-6	-4	0	7	0	-2	-3							
2	11	0	5	-4	-3	4	0	-3							
3	2	-10	5	0	0	7	3	2							
4	6	2	-1	-1	-3	0	0	8							
5	1	2	1	2	0	2	-2	-2							
6	-8	-2	-4	1	2	1	-1	1							
7	-3	1	5	-2	1	-1	1	-3							

DCT matrica $S(u, v)$

3: kvantizacija

- DCT koeficijenti se kvantiziraju zaokruživanjem na cijelobrojnu vrijednost omjera matrice koeficijenata \mathbf{S} i kvantizacijske matrice \mathbf{Q} ; nastaje *kvantizirana DCT matrica* \mathbf{K} :

$$K(u,v) = \text{round} \left(\frac{S(u,v)}{Q(u,v)} \right) = \left\lfloor \frac{S(u,v)}{Q(u,v)} + 0.5 \right\rfloor$$

- \mathbf{Q} mora biti tako izabrana da kvantizacija rezultira visokom kompresijom, ali bez primjetnog gubitka kvalitete
 - norme ne određuju, ali se preporučuje skup kvantizacijskih matrica \mathbf{Q}

u/v	0	1	2	3	4	5	6	7
0	16	11	10	16	24	40	51	61
1	12	12	14	19	26	58	60	55
2	14	13	16	24	40	57	69	56
3	14	17	22	29	51	87	80	62
4	18	22	37	56	68	109	103	77
5	24	35	55	64	81	104	113	92
6	49	64	78	87	103	121	120	101
7	72	92	95	98	112	100	103	99

Kvantizacijska matrica $Q(u, v)$

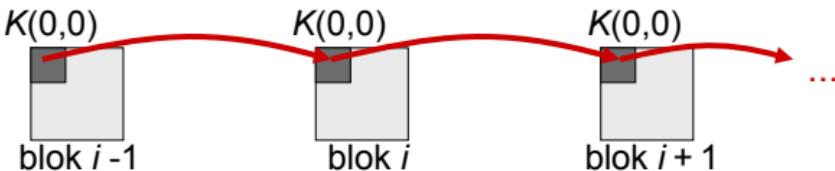
u/v	0	1	2	3	4	5	6	7
0	39	-3	1	0	0	0	0	0
1	2	-1	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0	0	0
3	0	-1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0

Kvantizirana DCT matrica $K(u, v)$

Vrijednost 0

4: kompresija bez gubitaka

- Koeficijent $K(0,0)$ (DC komponenta) redovito sadrži najveći dio ukupne vrijednosti bloka, tj. nosi **najviše informacije** o bloku kojeg predstavlja
- Korelacija između vrijednosti koeficijenata $K(0,0)$ susjednih blokova u slici → koristi se **diferencijalno kodiranje**



4: kompresija bez gubitaka

matrica K

u/v	0	1	2	3	4	5	6	7
0	39	-3	2	1	0	0	0	0
1	2	-1	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0	0	0
3	0	-1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0

DC
 $K(0, 0)$

AC_{01}

AC_{07}

AC_{77}

- Koeficijenti redom: 39 -3 2 1 1 0 0 0 0 0 -1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 ...,0, što se kraće zapisuje kao:
39 -3 2 1 1 0 0 0 0 0 -1 **EOB** (End of Block)
- Nakon takvog zapisa svih blokova u slici slijeva nadesno i odozgo prema dolje, slijedi **entropijsko kodiranje**
 - može se upotrijebiti Huffmanovo ili aritmetičko kodiranje

Primjer: JPEG

- Slika 516 x 516 točaka
- Kompresija 1:16



256 KB = 8 bit/pixel



16 KB = 0.5 bit/pixel

Svojstva transformacijskog kodiranja



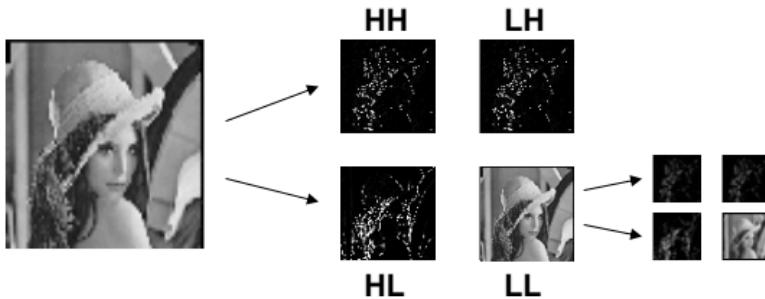
Zavod za
telekomunikacije

- + Visoka kompresija
 - (odlična kvaliteta slike do 0.25 bit/pixel)
- + Kvaliteta se može regulirati
- Pri većim kompresijama postaju vidljive granice blokova

Kodiranje valićima (wavelet coding)



- Modernija metoda
- Slika se iterativno dijeli u prostorno-frekvencijske pojaseve u horizontalnom i vertikalnom smjeru
- Podjela se obavlja zbirkama filtara
- Prilikom kodiranja, manje bitova za komponente s manje energije



Kodiranje valićima: svojstva

- Visoka kompresija
- „Prirodna“ distorzija (zamućenost)
- Prednosti u odnosu na transformacijsko kodiranje:
 - Manja složenost
 - Nema blok efekta
 - Mogućnost progresivnog primanja i stvaranja slike
- Osnova novog standarda JPEG 2000

JPEG 2000 vs JPEG (1/2)

- Veći dinamički raspon (16-32 bit/pixel)
- Bolja kompresija (25-30% manje podataka)
- Progresivno slanje podataka
- Kodiranje bez gubitaka prema područjima interesa (Region-of-interest, ROI)
- Međunarodni standard 2001

JPEG 2000 vs JPEG (2/2)

- Usporedba rezultata uz jednaku kompresiju – 1:64



JPEG



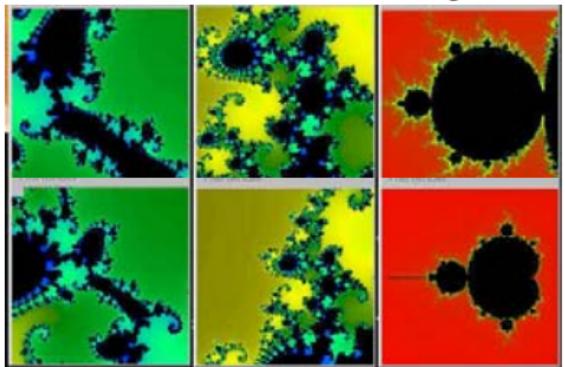
JPEG2000

Fraktalno kodiranje

- Princip analize i sinteze
 - Umjesto kodiranja samih podataka, kodiraju se parametri neke **funkcije** koja će generirati te podatke
 - Isti princip kao kod kodera govora zasnovanih na modelu
 - Nažalost, za općenitu sliku je teško pronaći model, odnosno funkciju koja je opisuje
- Ideja: samo-sličnost
 - Dijelovi slike međusobno slični, uz transformaciju
 - Pretpostavka je da se ovo svojstvo može iskoristiti za prikaz slike pomoću **fraktala**, koji pokazuju slična svojstva

Fraktali

- Benoit Mandelbrot, 1975
- Fragmentirani, nepravilni geometrijski objekti koji pokazuju svojstvo samo-sličnosti
- Obično stvoreni rekurzivnim ponavljanjem određene funkcije
- U svakoj iteraciji objekt je transformirana verzija objekta iz prošle iteracije
- Proizvoljan nivo detalja



Funkcija s fiksnom točkom

- $f(x) = x$; za točno jednu vrijednost x_0
- Npr. $F = ax + b$; za $a = 0.5$ i $b = 1$, $x_0 = 2$
- Počevši od bilo koje početne vrijednosti, iteracijom ćemo uvijek stići do $x_0 = 2$
- Vrijednost x_0 možemo prikazati parom parametara a, b ako smo prethodno fiksirali oblik funkcije $F = ax + b$
- Za sliku (skup točaka) I , $F(I) = I$
 - Ako se parametri funkcije F mogu prikazati manjim brojem bita nego sama slika, postiže se kompresija

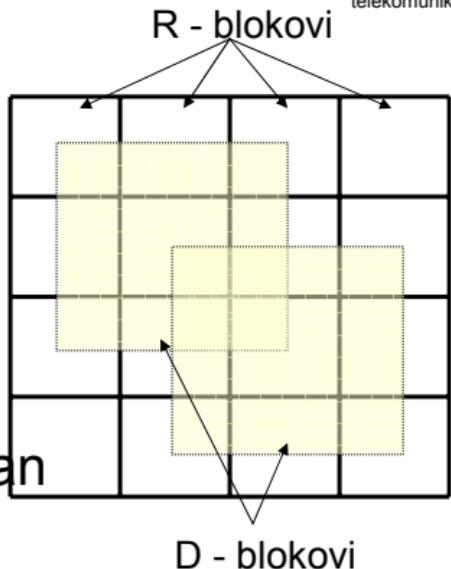
Fraktalno kodiranje u praksi



Zavod za
telekomunikacije

- Arnaud Jacquin (1989)
- Podjela slike
 - R – blokovi uniformno pokrivaju čitavu sliku $\bigcup_k R_k = I$
 - D – blokovi su veći, mogu biti bilo gdje unutar slike i ne pokrivaju je
- Za svaki R – blok, nalazi se jedan D – blok i funkcija f_k , $f_k(D_k) = R_k$
- Skup svih funkcija f_k definira čitavu sliku

$$\bigcup_k f_k = F \rightarrow F(\hat{I}) = \hat{I}$$



Fraktalno kodiranje: svojstva



Zavod za
telekomunikacije

- Komplikirano
- Neujednačen stupanj kompresije
 - 4:1 do 100:1, jako ovisno o slici
- U početku se od frakta puno očekivalo, no druge metode (najviše valići!) su uspješnije
- Princip je privlačan, moguće je da dođe do dalnjih napredaka i da metoda ipak zaživi u praksi



FER

Preddiplomski studij

Računarstvo

Modul:
Telekomunikacije i
informatika

Višemedijske usluge

Kodiranje videa

Ak.g. 2007./2008.

06.03.2008.

Višemedijski sadržaj III

Kodiranje videa

Video

- Video odn. "pokretna slika" se sastoji od niza nepomičnih slika (okvira), prikazanih *dovoljno brzo*
- Frekvencija promjene slike je brzina osvježavanja okvira (engl. *frame rate*) izražena u okvirima u sekundi [**fps**]
 - Opažamo gibanje kao neprekinuto ako je brzina osvježavanja slike **od 15 fps** (npr. za animaciju) **do 25-30 fps** (npr. za *full-motion video*)
 - Posebne primjene, npr. 3D simulacija leta, do **60-75 fps**

Analogni video

- Video signal modulira jačinu elektronskog topa koji red po red prolazi po ekranu i ostavlja trag
 - Za mirnu sliku (bez titranja između uzastopnih okvira) minimum 50 Hz, stoga se koristi preplitanje (*interlace*)
- Standardi za analogni video (TV)
 - **NTSC** (National Television System Committee), **30 fps**, u SAD i Japanu
 - **PAL** (Phase Alteration Line), **25 fps**, u Evropi, Kini i Australiji
 - **SECAM** (Séquentiel Couleur Avec Memoire), **25 fps**, u Francuskoj
 - **(HDTV)** (High Definition Television), **60 fps**

Digitalni video

- Okvir videa → digitalna nepomična slika
- Video telefonija, telekonferencija
 - Simetrična primjena, koder i dekoder jednako složeni
 - Osjetljivost na kašnjenje
- Digitalna TV, filmovi, DVD
 - Asimetrična primjena, jedan koder služi puno dekodera, dakle može biti složeniji
 - Uključivanje u struju videa u bilo kojem trenutku
- Video preko interneta i mobilnih mreža
 - Relativno male brzine prijenosa
 - Osjetljivost na greške

Modeli boje za video

- RGB (Red – Green – Blue)
- YUV
 - PAL video
 - Y – svjetlina (*luminance*)
 - U, V – boja (*chrominance*)
- YIQ
 - NTSC televizija
 - Y – svjetlina; I, Q – boja

Veza YUV i RGB modela:

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$

$$U = 0.493 (B - Y)$$

$$V = 0.877 (R - Y)$$

Veza YIQ i RGB modela:

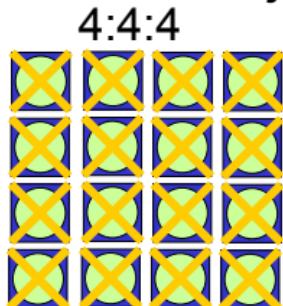
$$Y = 0.30R + 0.59G + 0.11B$$

$$I = 0.60R - 0.28G - 0.32B,$$

$$Q = 0.212R - 0.52G + 0.31B$$

Pod-uzorkovanje boje

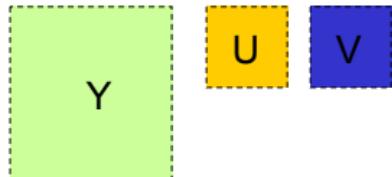
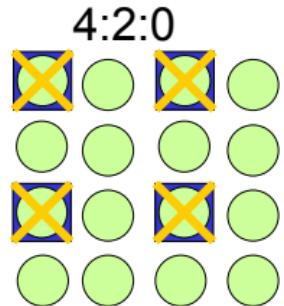
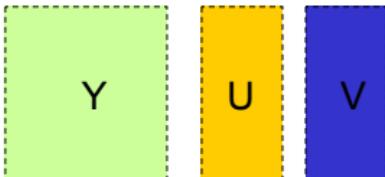
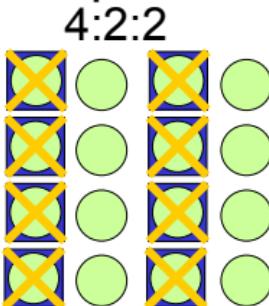
- Dokazano je da je ljudsko oko manje osjetljivo na boju nego na svjetlinu
- Shodno tome, boja se može pod-uzorkovati da bi se smanjila količina podataka



Y 

C_b 

C_r 



Formati za digitalni video

Format	Rezolucija ($x \times y$)	omjer x:y
NTSC	640×480	4:3
PAL	720×576	4:3
CIF	352×288	4:3
MPEG-1	360×240	3:2
MPEG-2	720×480	3:2
HDTV	1920×1080 (1280×720)	16:9
IMAX	4096×3072	4:3

Primjer: nekomprimirani video (1)

- Primjer 1:

Izračunajmo brzinu struje podataka za nekomprimirani CIF i QCIF (Quarter CIF) uz standardnu frekvenciju osvježavanja slike 30 fps.

CIF: Y (352 x 288); Cb, Cr (176x44)

$$30 \text{ [1/s]} * (352 * 288 + 2 * 176 * 144) * 8 \text{ [bit/pixel]} \approx \mathbf{36.495 \text{ Mbit/s}}$$

podijeljeno s 64 kbit/s
(ISDN-B kanal) ≈ 570

QCIF: Y (176 x 144); Cb, Cr (88 x 72)

$$30 \text{ [1/s]} * (176 * 144 + 2 * 88 * 72) * 8 \text{ [bit/pixel]} \approx \mathbf{9.124 \text{ Mbit/s}}$$

podijeljeno s 64 kbit/s
(ISDN-B kanal) ≈ 142

- Rješenja:

- smanjiti broj okvira u sekundi?

npr. za **10 fps** dobivamo **3.041 Mbit/s** što je još uvijek previše

- komprimirati podatke?

npr. za **3.041 Mbit/s** i **izlaz 64 kbit/s**, trebamo omjer kompresije **47.5:1**
(podsjetnik: JPEG tipično 10:1 do 50:1 za nepomičnu sliku)

Primjer: nekomprimirani video (2)

- Primjer 2:

Izračunajmo podatke za nekomprimirani *full-motion* video uz format 640x480 pixela (NTSC), 24-bitnu boju i 30 fps – TV kvaliteta

jedan okvir uz rezoluciju 640 x 480: **307 200** pixela
uz "true color" (24 bit/pixel): **7 372 800** bit
@ 30 fps: **221 184 000** bit/s

Prostor za pohranu:

1 sekunda nekomprimiranog videa \approx **27 MB**

1 sat nekomprimiranog videa \approx **99 GB**



Postojeća rješenja:

uz kompresiju 100:1 (npr. MPEG) 1 sat videa \approx 990 MB

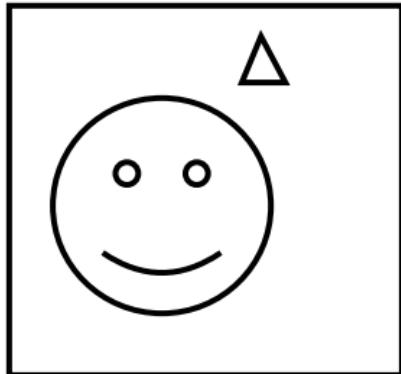
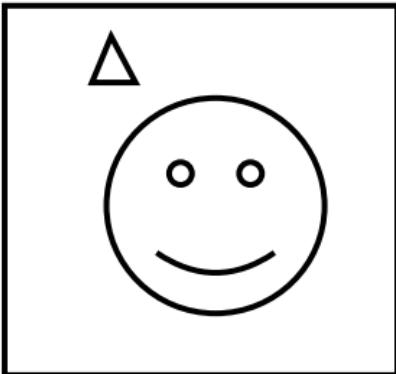
Postupak kompresije videa



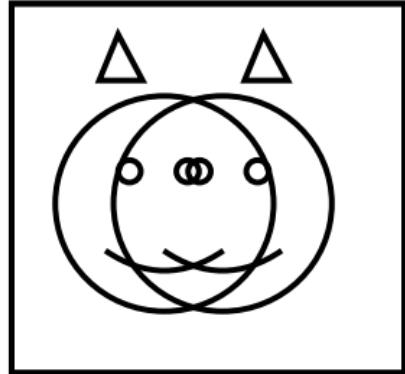
Zavod za
telekomunikacije

- Video sadrži **prostornu i vremensku redundanciju**
- Uklanjanje prostorne redundancije
 - Na razini svakog okvira/slike
 - Koristi se (najčešće) **transformacijsko kodiranje**
- Uklanjanje vremenske redundancije
 - U nizu uzastopnih okvira
 - Koristi se sličnost slika u nizu: **diferencijalno kodiranje**
- Pomak u slici je problem za diferencijalni koder
 - Koristi se **kompenzacija gibanja** (*motion compensation*)

Kompenzacija gibanja (1)

SLIKA $n-1$ SLIKA n 

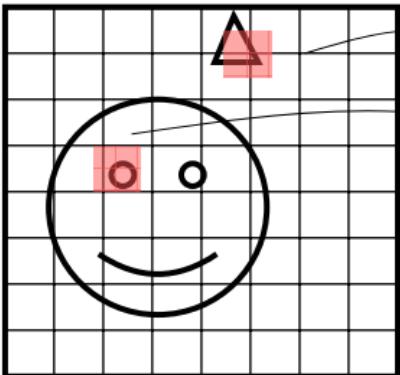
RAZLIKA



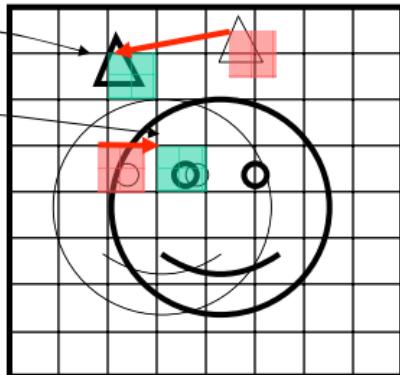
- Premda su slike vrlo slične, zbog pomaka ih ne možemo direktno diferencijalno kodirati: razlika sadrži više informacije od same slike!
- Različiti dijelovi slike imaju različite pomake

Kompenzacija gibanja (2)

SLIKA n-1



SLIKA n



- Za svaki blok u slici, traži se najsličniji blok u prethodnoj slici
- Razlika položaja (u pixelima) između ova dva bloka je vektor pomaka →
- Vektori pomaka za sve blokove šalju se dekoderu; tako se konstruira slika slična prethodnoj, te se na njoj vrši diferencijalno kodiranje

Kompenzacija gibanja (3)



Zavod za
telekomunikacije

Okvir $n-1$



Okvir n

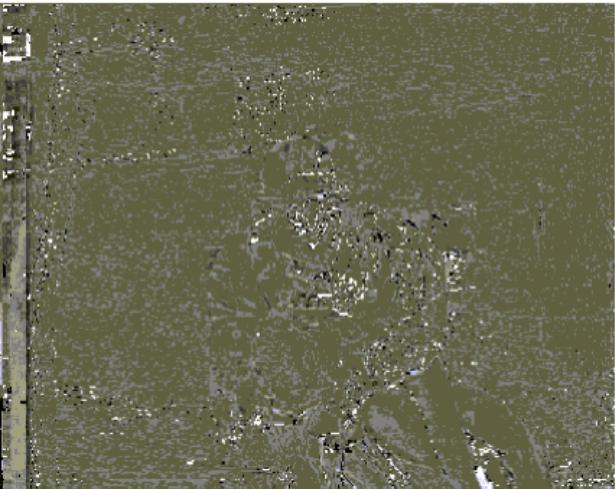


Kompenzacija gibanja (4)

Razlika okvira n i $n-1$



Pogreška predikcije s
kompenziranim gibanjem



Diferencijalno kodiranje slika s kompenziranim gibanjem, te transformacijsko kodiranje signala razlike

- Ovo je najčešći princip kodiranja videa
 - Koristi se u svim standardima koje ćemo spominjati
 - Ostalo su detalji ☺

Transformacijsko kodiranje

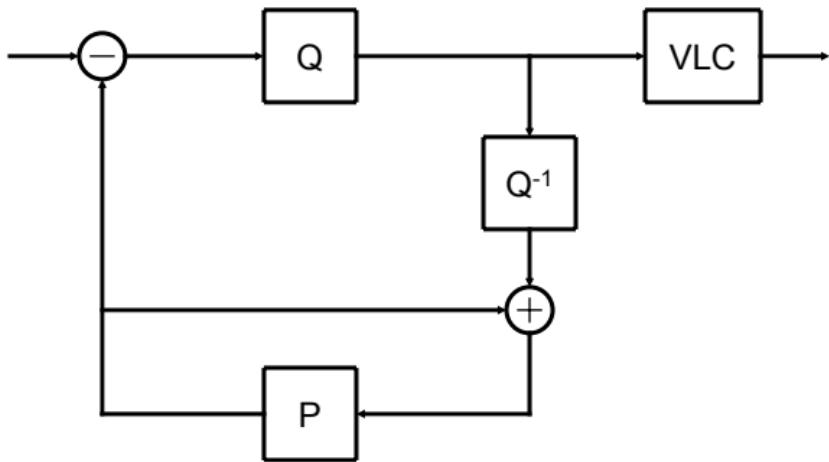


T: Transformacija

Q: Kvantizacija

VLC: Variable Length Coder (Entropijsko kodiranje)

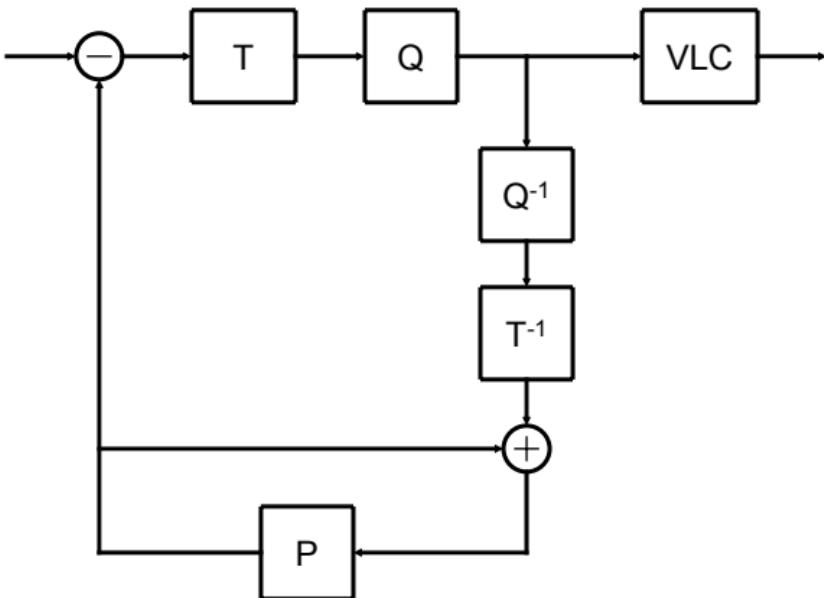
Diferencijalno kodiranje



Q: Kvantizacija

Q^{-1} : Inverzna kvantizacija (rekonstrukcija)

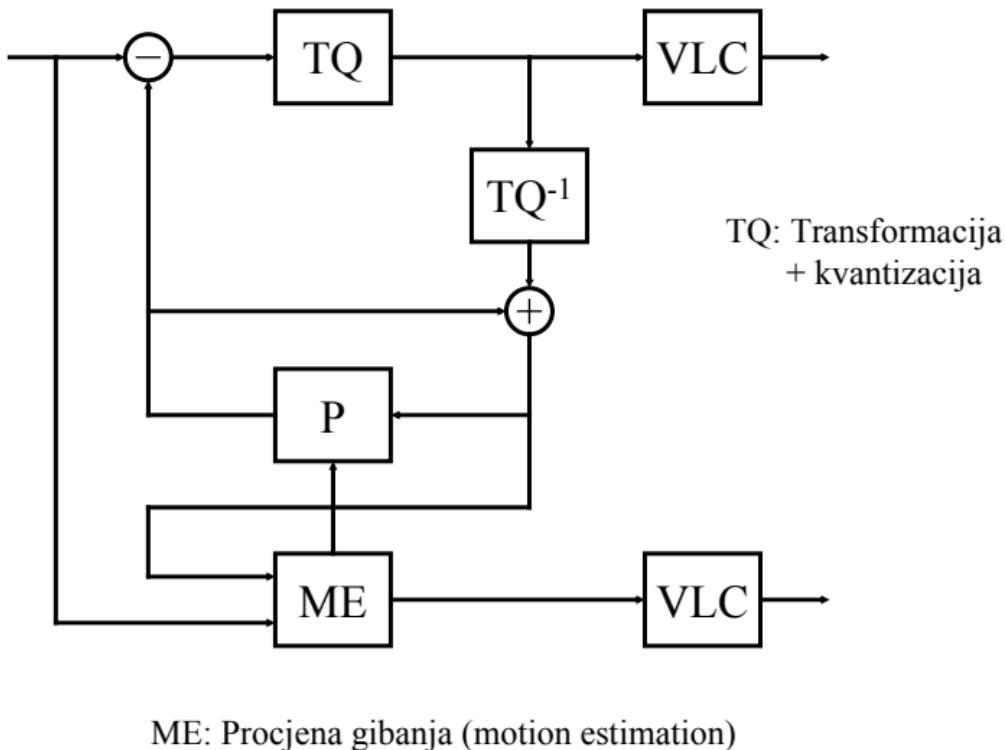
P: Predviđanje (predikcija)



Kompenzacija gibanja



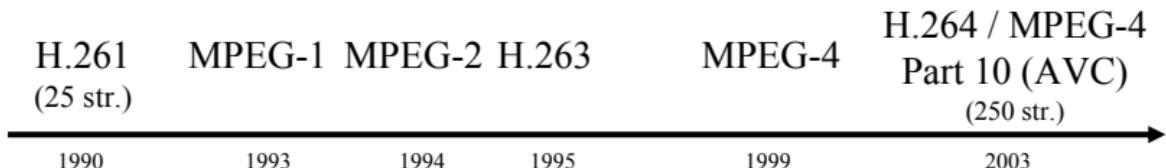
Hibridno kodiranje s kompenzacijom gibanja



Standardi za kodiranje videa



Zavod za
telekomunikacije

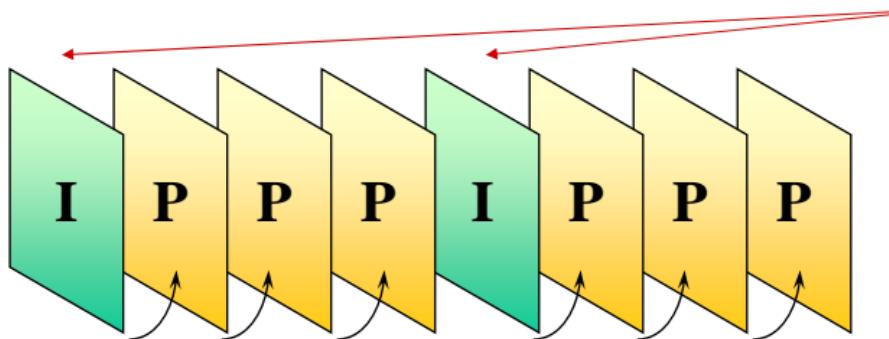


- Evolucija osnovnog principa na svim poljima
- Strategija predikcije (I, P, B okviri/blokovi)
- Veličina blokova (komp. gibanja, DCT)
- Veličina vektora pomaka
- Preciznost vektora pomaka
- Hijerarhijska podjela slika na jedinice
 - njihovo pakiranje u struju bitova
- (Dodatne funkcije: kodiranje oblika, sintetičkih objekata)

- Diferencijalno (predikcijsko) kodiranje akumulira pogrešku
- Potrebno je s vremena na vrijeme poslati puni okvir, tzv. I-okvir (inter-kodiran)
- Prvi koderi uvode I- i P-okvire
- Bolja predikcija ako se koriste elementi iz prethodnih i idućih okvira
 - B-okviri s predikcijom/kompenzacijom gibanja u odnosu na prethodni i idući okvir
 - višestruke referentne slike (AVC/H.264)

Kodiranje I- i P- okvira

- Kombinacija **intra-kodiranja** i **inter-kodiranja** omogućuje dovoljno brzu kompresiju za kompresiju i dekompresiju videa "u hodu", odn. u stvarnom vremenu



početni i svaki 132 okvir mora biti I-okvir radi izravnog pristupa, kao i oporavka od grešaka do kojih može doći u prijenosu

- Dvije vrste okvira:
 - I-okvir** – pojedinačno kodiran (intra-kodiran, neovisan o okvirima prije/poslije)
 - P-okvir** – predikcijski kodiran (inter-kodiran, relativno u odnosu na prethodni)

Kodiranje I-, P- i B-okvirima

- Tri vrste slika:
 - **I-slika** – pojedinačno kodirana (intra-kodirana, neovisana o slikama prije/poslije, koristi JPEG kompresiju)
 - **P-slika** – predikcijski kodirana (relativno u odnosu na prethodnu I- ili P sliku, postupak kao H.263, jer ga je H.263 preuzeo iz MPEG-a)
 - **B-slika** – dvosmjerno predikcijski kodirana (relativno u odnosu na prethodnu ili sljedeću I ili P sliku)
- Učinkovitost kompresije:
 - I-slika – JPEG kompresija
 - P-slika – bolja kompresija od I-slike, lošija od B-slike
 - B-slika – najbolja kompresija
 - tipični omjer: $I = 3P = 5B$

Mogućnosti kodiranja makro-blokova

Svojstva uzastopnih okvira:

- Neki makro-blokovi su **isti, ali pomaknuti** u odnosu na makro-blokove prethodne slike (objekti na slici)
- Neki makro-blokovi su **na istom mjestu** kao na prethodnoj slici (pozadina)
- Neki makro-blokovi su **novi** (npr. otkrivena pozadina)
 - otkriveni blokovi pojavljuju se u cijelosti u budućim slikama

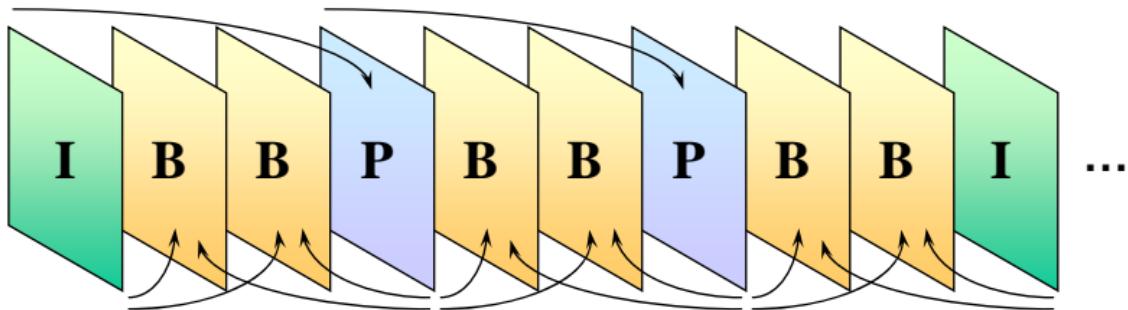
koristi se predikcija “**unaprijed**”: reference iz prošlosti (mogu se iskoristiti iz prethodne slike)

koristi se predikcija “**unatrag**”: reference iz budućnosti - pogodno za otkrivenu pozadinu

Dvosmjerna predikcija: reference iz prošlih i budućih okvira

Redosljed okvira

- Redosljed okvira za prikaz (prirodni redosljed):



- B-okvir se izračunava na temelju prethodnog i sljedećeg I ili P okvira, tako da oni moraju biti poslani ranije
- Redosljed slanja i dekodiranja okvira je drukčiji od redoslijeda prikaza



Redoslijed dekodiranja okvira

Redoslijed okvira za prikaz

Vrsta okvira: I B B P B B P B B I B B P
Broj okvira: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

Redoslijed slanja i dekodiranja

Vrsta okvira : I P B B P B B I B B P B B
Broj okvira : 1 4 2 3 7 5 6 10 8 9 13 11 12

Veličina blokova

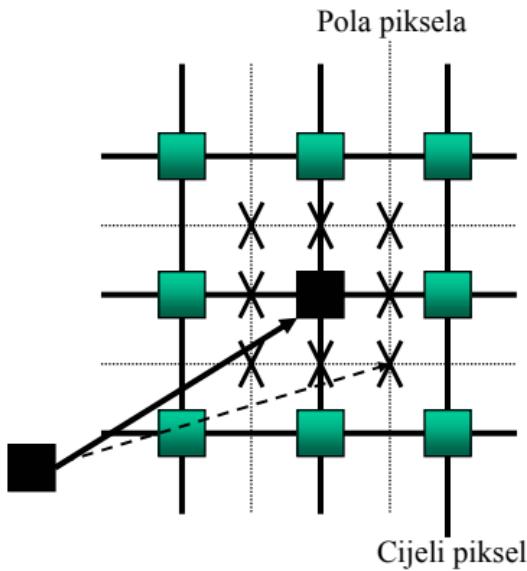
- Veličina blokova za
 - kompenzaciju gibanja
 - DCT transformaciju
- Manji blokovi:
 - veća preciznost
 - bolji rezultati
 - ALI više računanja
- Noviji standardi dozvoljavaju manje blokove
 - komp. gibanja: H.261: 16x16; MPEG-4: 8x8;
H.264/AVC: 4x4
 - DCT: H.261, MPEG-4: 8x8; H.264/AVC: 4x4

Veličina vektora pomaka

- Određuje površinu pretrage za sličnim dijelom slike
 - Veći dozvoljeni vektor pomaka:
 - veća površina pretrage
 - veća vjerojatnost pronalaženja dobrog uzorka slike
 - bolja kompenzacija gibanja
 - ALI više računanja (pretraga je skupa!)
 - Iznad neke granice više se ne isplati povećavati
 - stvarni pomak obično nije jako velik
 - u praksi se koriste vektori pomaka od 16-32 pixela

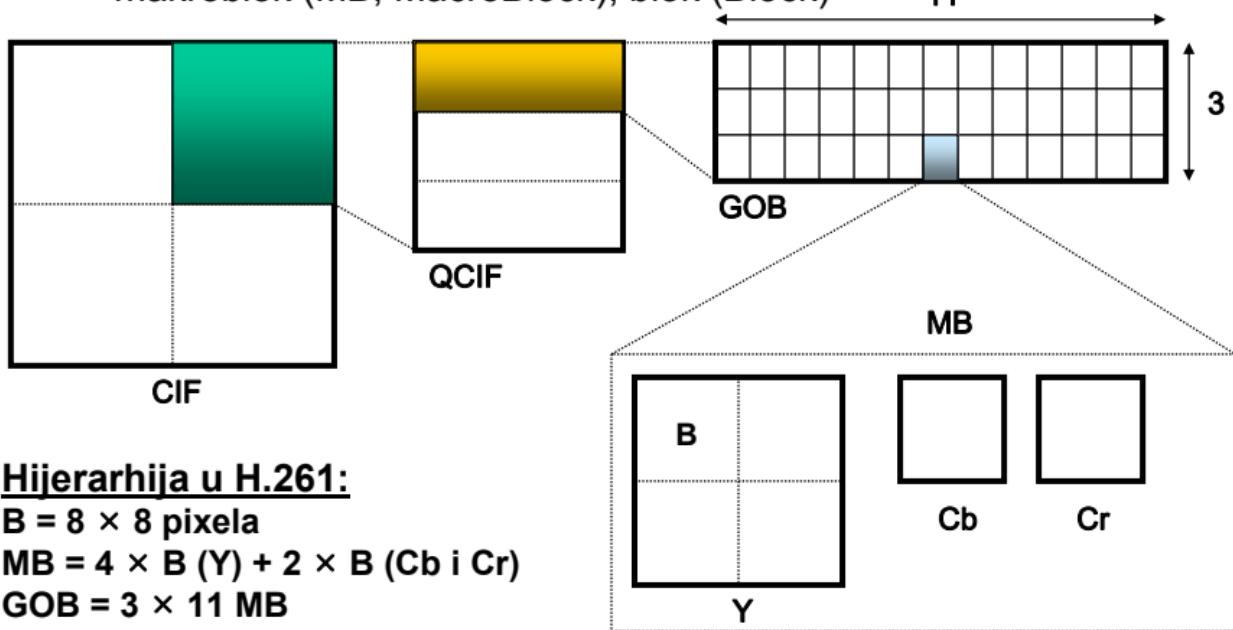
Preciznost vektora pomaka

- Preciznost na “pola piksela” umjesto na “cijeli pixel”
- Koristi se interpolacija Y vrijednosti kako bi se umjetno stvorile dodatne točke



Hijerarhijska podjela slika na jedinice

- Primjer: H.261
 - Slika (Picture), skupina blokova (GOB, Group Of Blocks), makroblok (MB, MacroBlock), blok (Block)



Hijerarhija u H.261:

$$B = 8 \times 8 \text{ pixela}$$

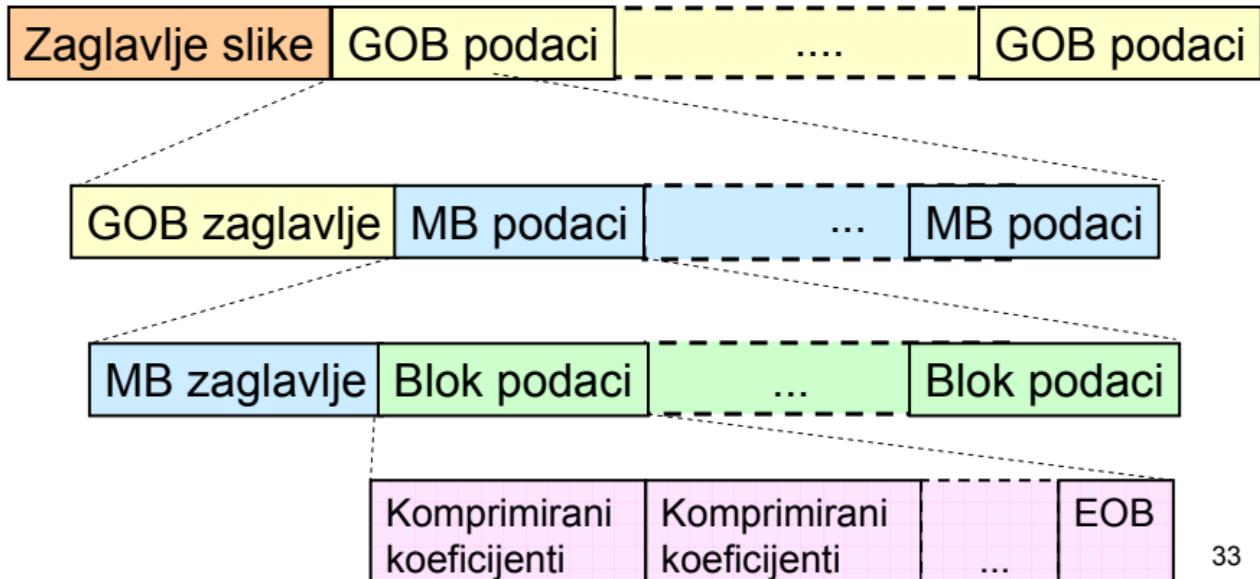
$$MB = 4 \times B (Y) + 2 \times B (Cb \text{ i } Cr)$$

$$GOB = 3 \times 11 \text{ MB}$$

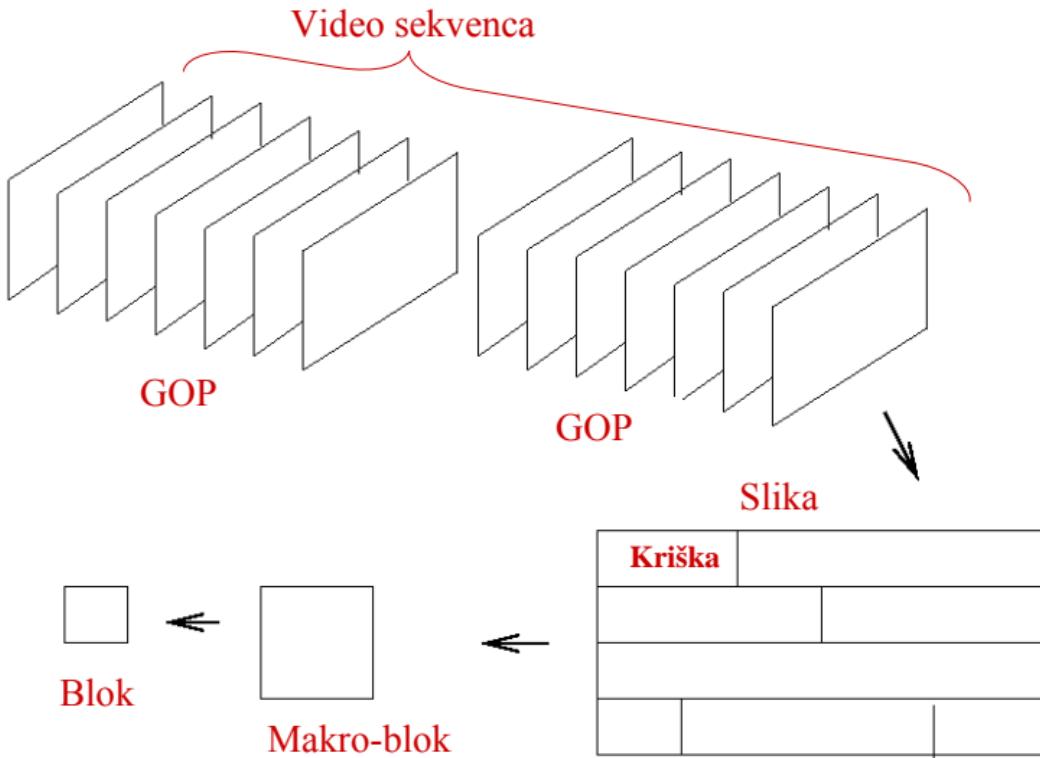
$$QCIF = 3 \times GOB$$

Struja podataka u H.261

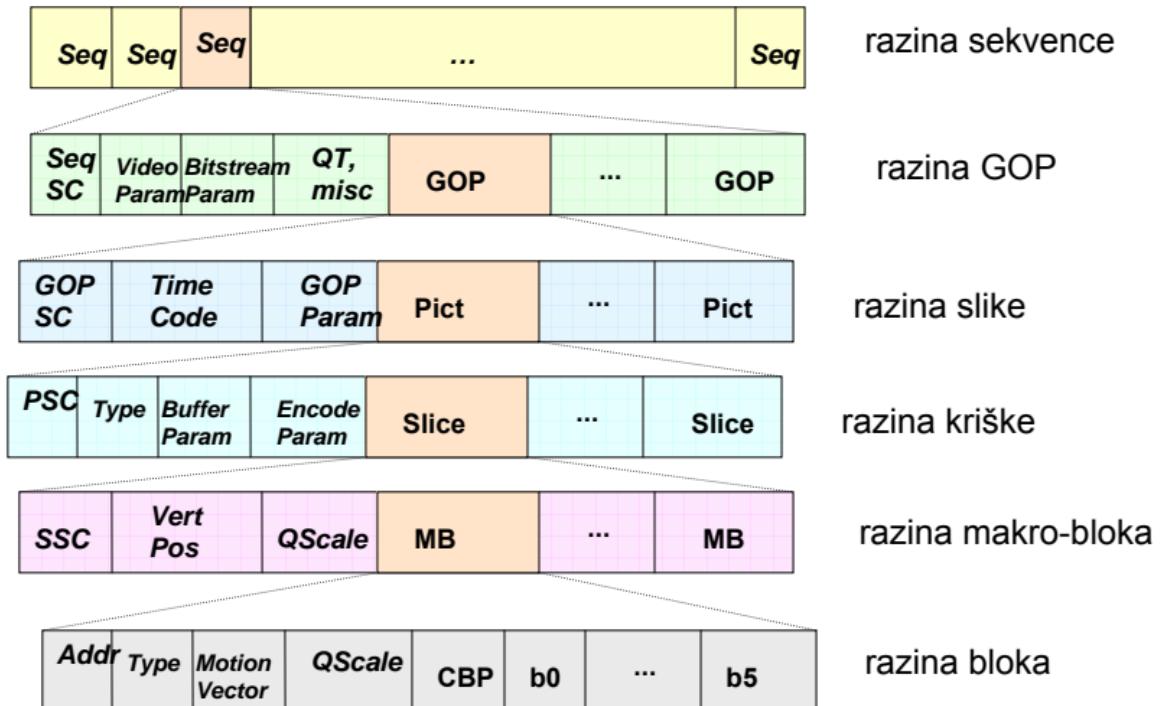
- Struja podataka formirana je hijerarhijski prema podjeli slike na jedinice podataka
- Zaglavje s podacima koji važe za čitavu jedinicu
 - npr. radi li se o I- ili P-okviru; vektori pomaka; kvantizacijski faktori



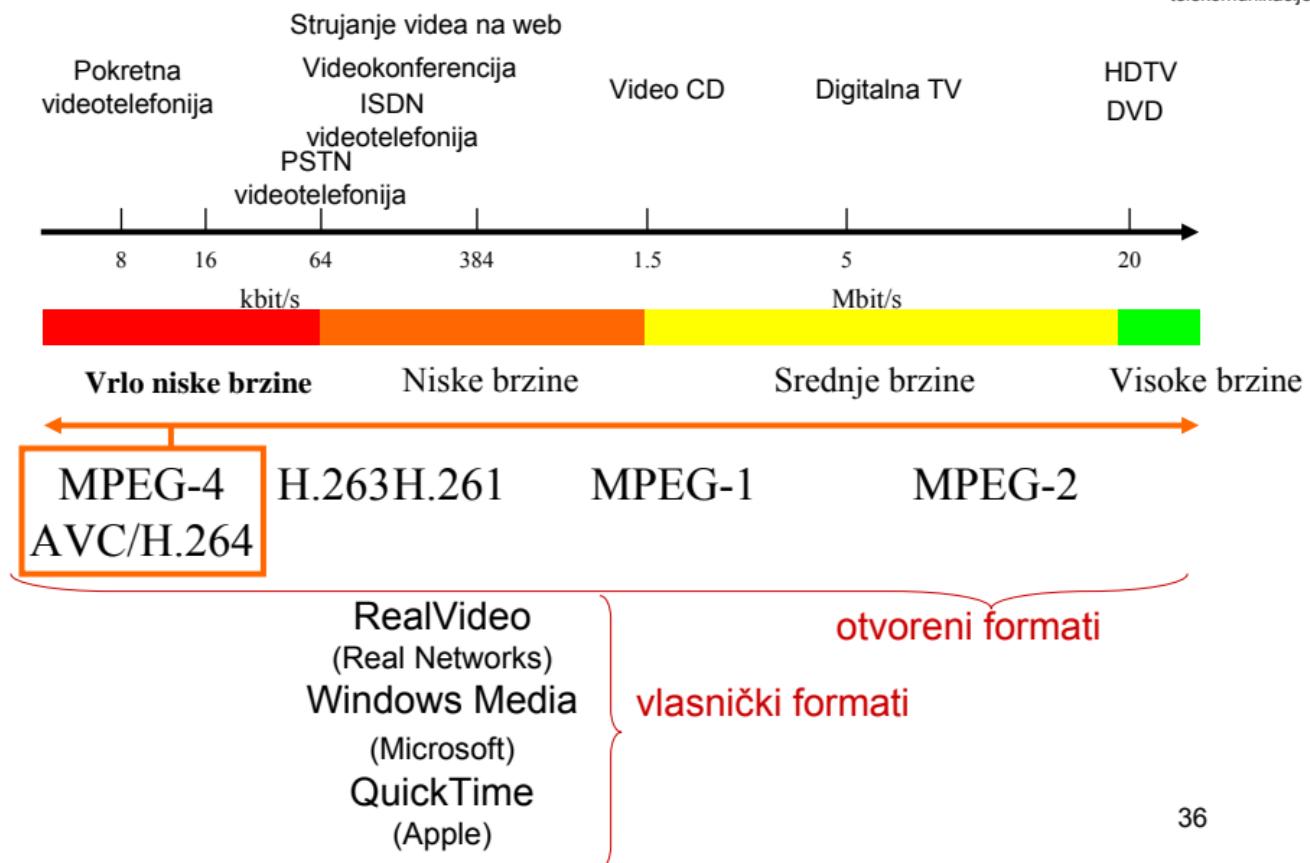
Primjer: MPEG-2



Primjer: MPEG-2



Norme i njihove primjene





FER

Preddiplomski studij

Računarstvo

Modul:
Telekomunikacije i
informatika

Višemedijske usluge

Kodiranje sintetičkih sadržaja i animacije

Ak.g. 2007./2008.

13.03.2008.

Višemedijski sadržaj IV

Kodiranje sintetičkih sadržaja

Sintetički sadržaji

- Stvoreni na računalu, a ne iz prirode
- 2D grafika & tekst
- 3D grafika
- Animacija ljudi
- Sintetički zvuk
 - Govor, instrumenti, 3D zvuk

MPEG-4

- MPEG-4 V1 postaje IS 1999, V2 2000
- Standard za kodiranje višemedijskih objekata na raznim brzinama
- Fokus više nije na kompresiji, nego na novim funkcijama i sadržajima
- Jedinice za kodiranje nisu više okviri, nego **audio-vizualni objekti**
 - Video, audio, tekst, slika, grafika...
- AV objekti se na dekoderu slažu u scenu
 - Opis scene određuje prostorni i vremenski raspored

MPEG-4 scena

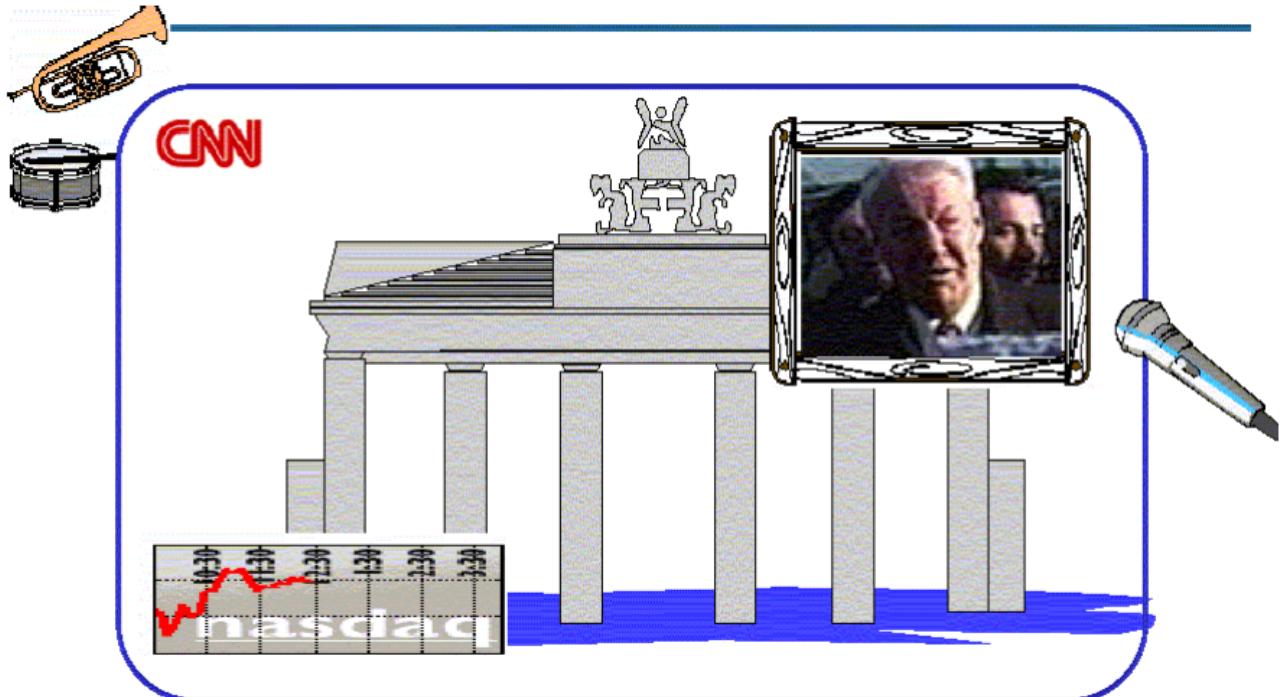


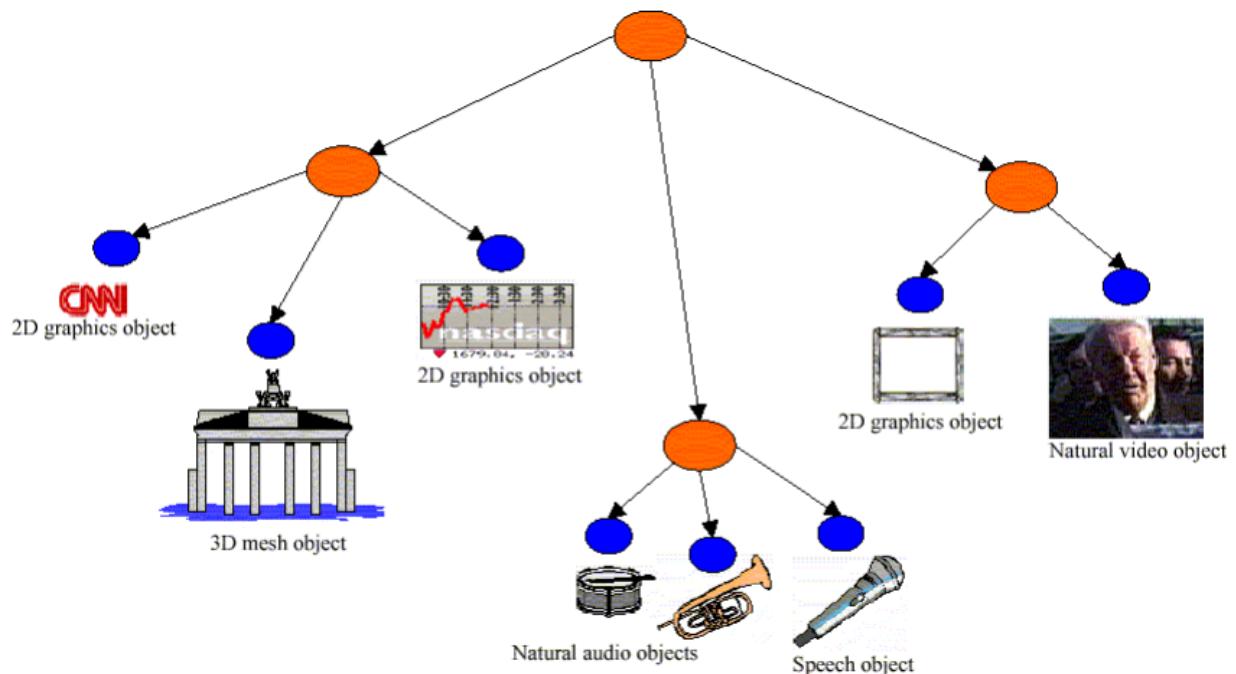


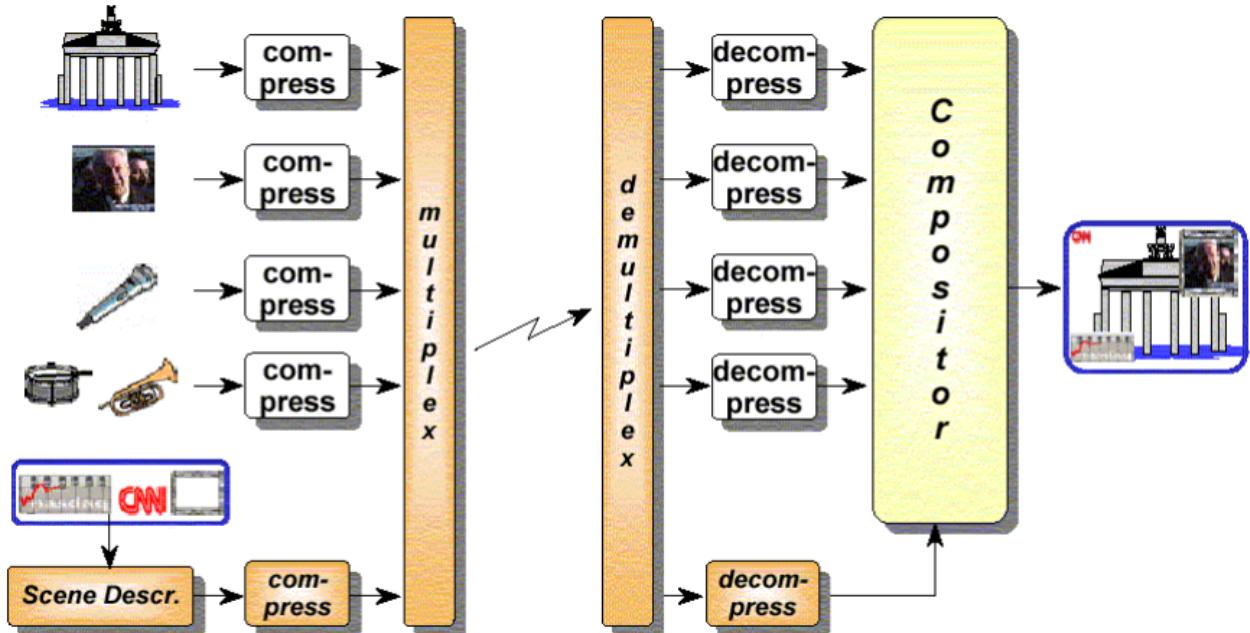
Djelovi MPEG-4 standarda

- Part 1, Systems (sustav)
 - „Jezik“ za opis scene – BIFS
 - Ispreplitanje (mux),...
- Part 2, Visual
 - Kodiranje videa
 - Kodiranje nepomične slike
 - Kodiranje texture
 - Kodiranje animacije lica i tijela
 - ...
- Part 3, Audio
 - Nekoliko audio codec-a za razne aplikacije

Primjer kodiranja scene







Opis scene: BIFS

- Binary Format for Scene Description (BIFS)
- Opis scene je aciklički, usmjereni graf
 - Standardni način prikaza scene u 3D grafici
- Na završnim (medijskim) čvorovima su objekti za prikaz
- Ostali čvorovi: hijerarhijska i prostorna struktura
- Čvorovi imaju polja koja opisuju njihove značajke
 - Boolean, integer, float, color, ...

Hijerarhijska i prostorna struktura



Zavod za
telekomunikacije

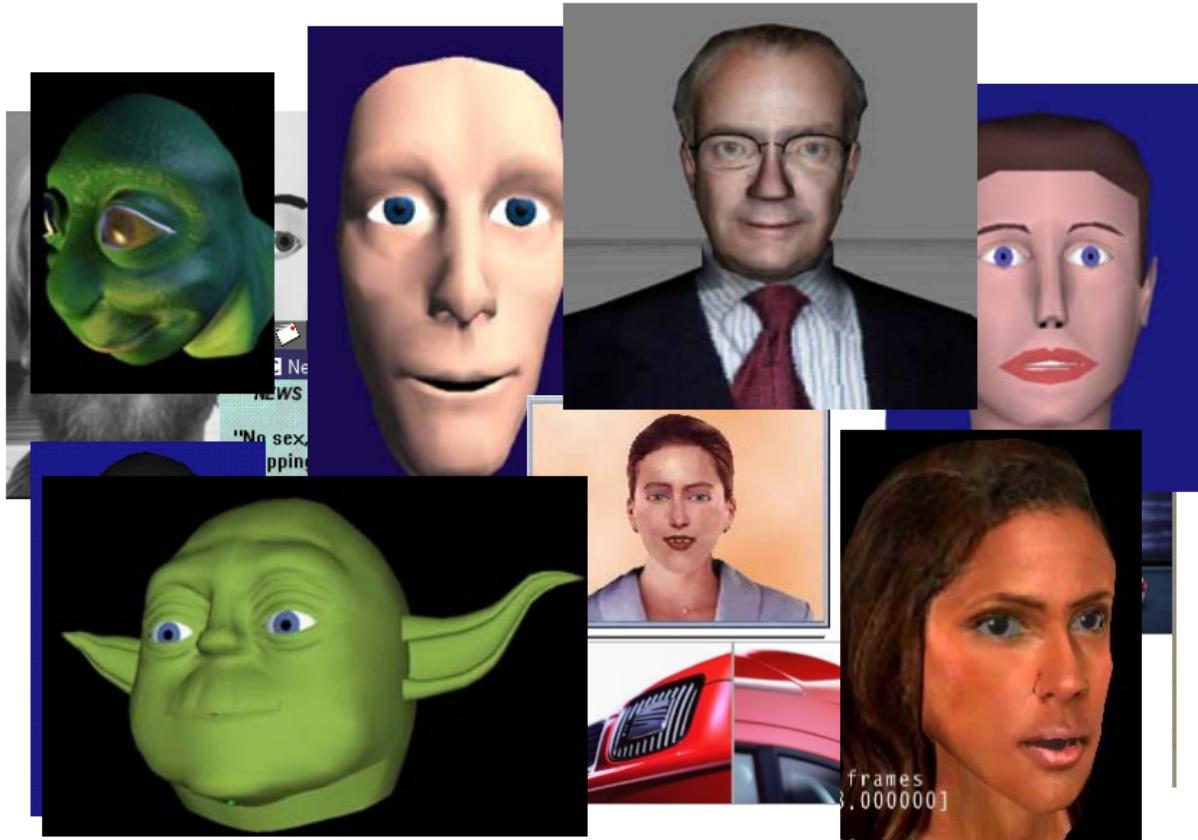
- Grupirajući čvorovi
- Transformacijski čvorovi (pomak, rotacija, veličina)
- Izborni čvorovi
- Čvorovi za izbor razine detalja
- Interaktivni čvorovi
 - Omogućavaju korisničku interakciju
- Čvorovi mogu biti animirani (BIFS Anim)
 - Npr. pozicija se mijenja u vremenu



Tipovi medijskih čvorova

- Nepomična slika ili video
- Prirodni ili sintetički zvuk
- Jednostavni grafički objekti
 - Kvadar, kugla, cilindar...
- Mreže poligona (2D ili 3D)
 - Kodiraju se posebnim postupcima
- Animirano lice i tijelo

Animacija lica

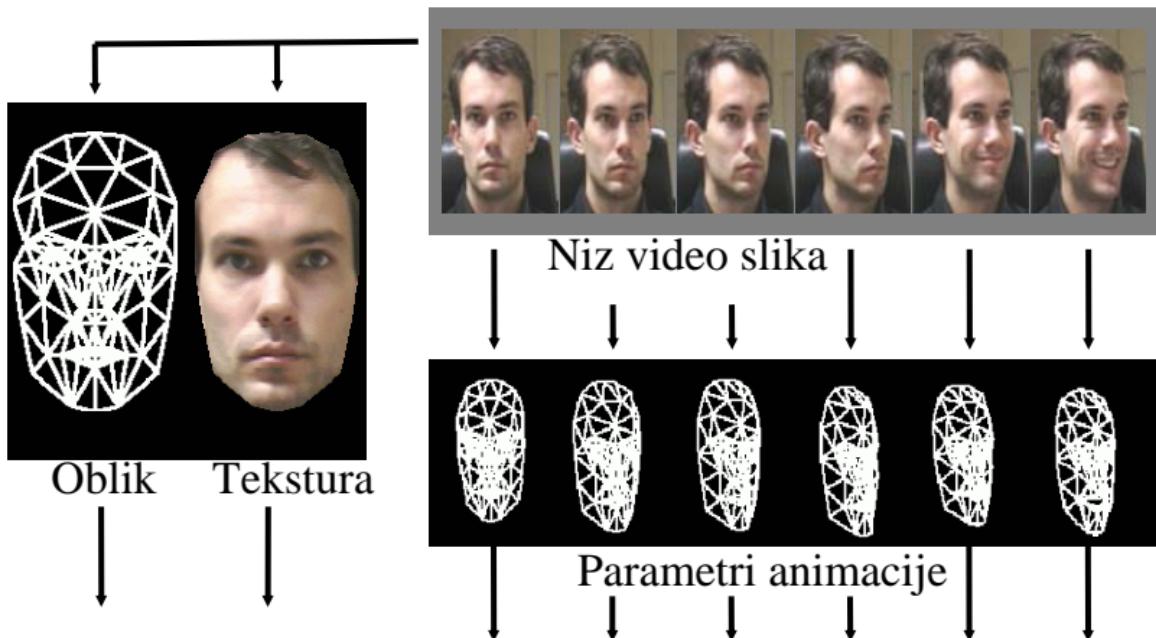




Animacija lica

- Deformacija 3D modela lica
- Primjene
 - Film, TV, igre
 - Komunikacije (video-telefonija, poruke, vijesti...)
 - Napredno korisničko sučelje (računalo kao sugovornik)
- Izvori animacije lica
 - Sinteza govora
 - Analiza govora
 - Ručna animacija
 - Analiza videa

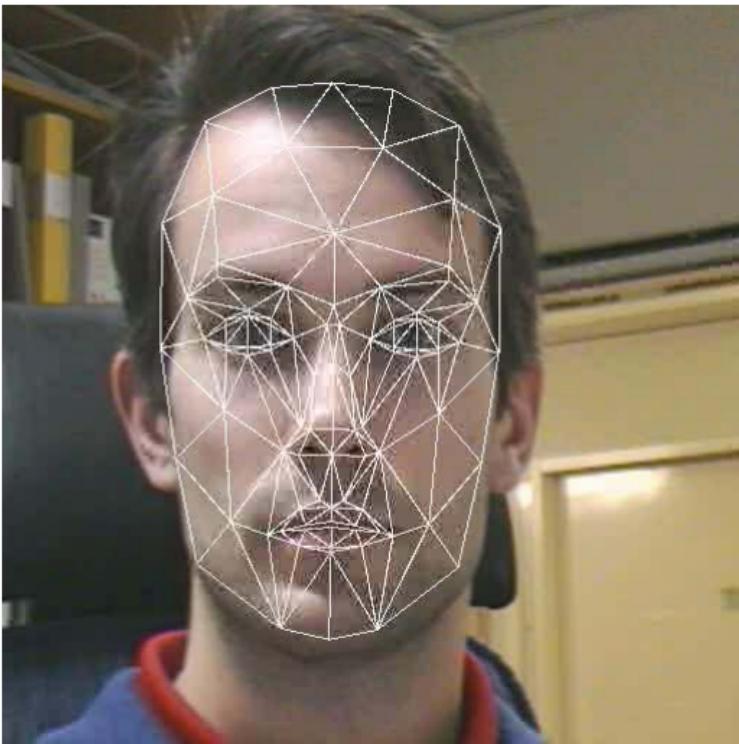
Kodiranje zasnovano na modelu



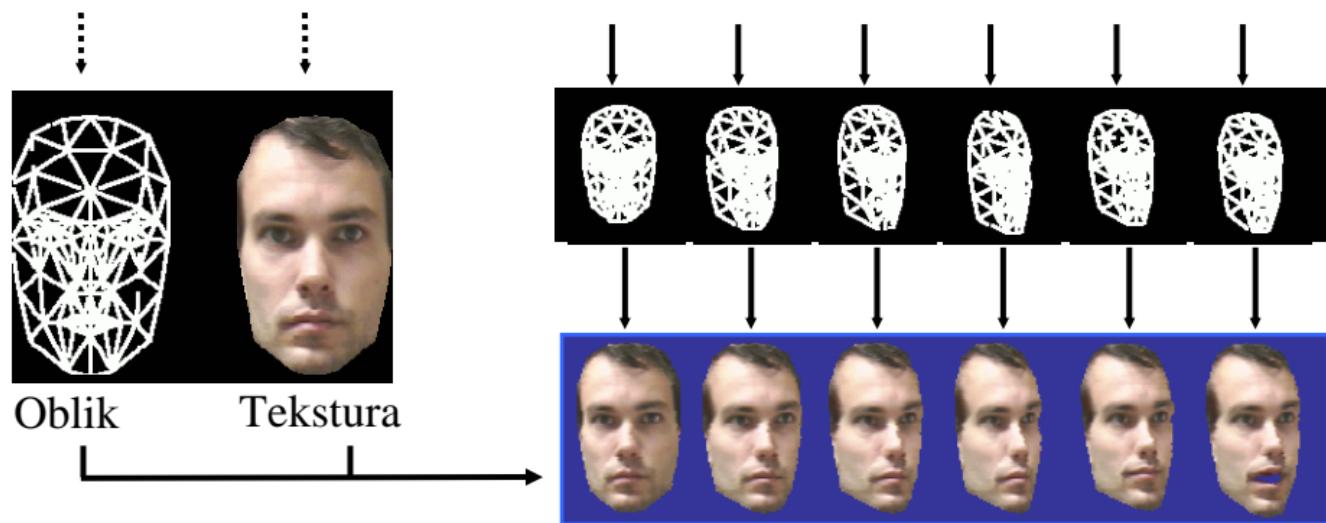
Praćenje parametara u videu



Zavod za
telekomunikacije



Dekodiranje



Rezultat dekodiranja na drugom licu



Zavod za
telekomunikacije

MIRALab, Geneva Uni.





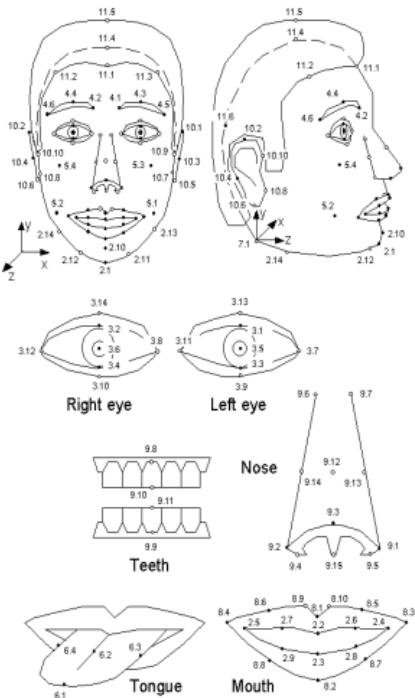
Zavod za
telekomunikacije

Još jedan primjer



MPEG-4 animacija lica

- 68 animacijskih parametara (FAP)
 - 2 parametra visokog nivoa: vizem i izraz
 - 66 parametara niskog nivoa: pomiču karakteristične točke lica
 - Parametri su normalizirani u odnosu na lice: primjena istih parametara na razna lica
 - Kvantizacija, te aritmetičko ili DCT kodiranje slijeda parametara



- Each re-points affected by EARs

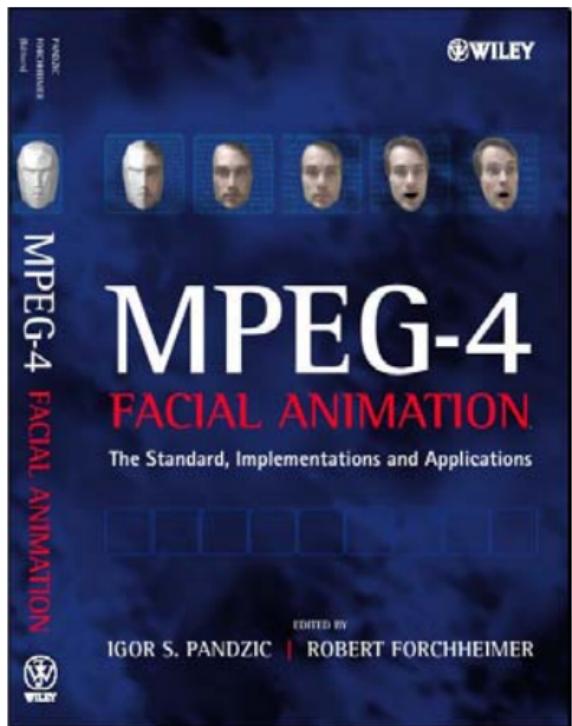
• Feature points direct
• Other feature points

Demonstracija i više detalja



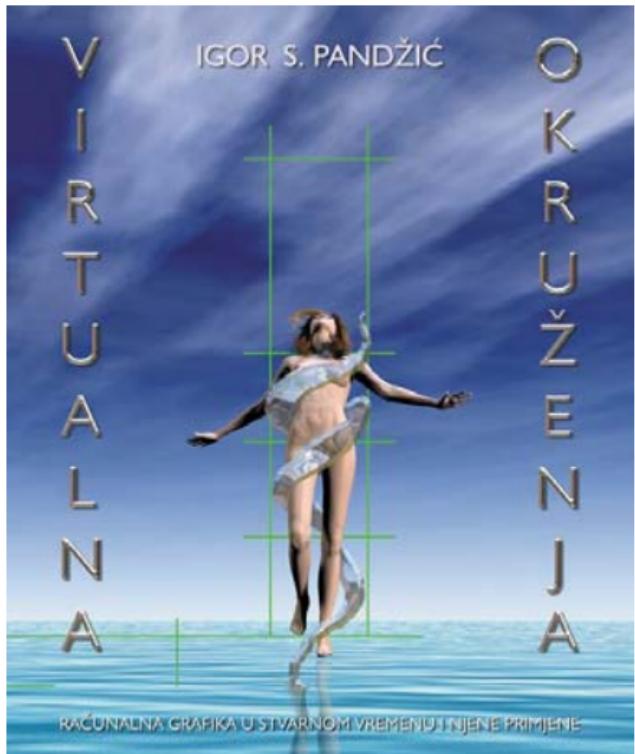
Zavod za
telekomunikacije

- www.tel.fer.hr/users/ipandzic/MpegWeb
- jerry.zavod.tel.fer.hr



Sintetički sadržaji - literatura

- Graf scene: poglavlje 4
- Standardi: poglavlje 6
- Virtualni ljudi: poglavlje 14





Kako nastaju MPEG standardi?

- MPEG osnovan 1988, 25 eksperata
- Danas >350 eksperata iz 20 zemalja dolazi na sastanke
- Sastanci 3-5 puta godišnje širom svijeta
- Članovi iz industrije (uglavnom velike tvrtke), te sa sveučilista
- Članstvo kroz Nacionalna Tijela
 - Tvrtke dolaze iz interesa
 - Sveučilista financirana kroz projekte

Od ideje do standarda



Zavod za
telekomunikacije

- Odluka o izradi novog standarda, njegova svrha
- Poziv za prijedloge (Call for Proposals)
- Verification Model – prvi dokument; optimizacije
- Working Draft – grubi oblik standarda; testovi
- Committee Draft – komentari Nacionalnih Tijela
- Final Committee Draft – glasanje NT
- Final Draft International Standard – da/ne glasanje
- International Standard



Kako izgleda sastanak MPEG-a

- Obično 5 dana
- 3 plenarna sastanka, ostalo po grupama
- Ulagani i izlazni dokumenti
- Pritisak je velik, posla je puno
- Srijeda navečer: zabava!

- Više o MPEG-u:

<http://www.chiariglione.org/mpeg/>

<http://www.mpeginf.org>