



Multimedejske tehnologije

Prof.dr.sc. Davor Petrinović

Prof.dr.sc. Mario Kovač

Prof.dr.sc. Sonja Grgić

15.veljače 2008.



Uvod u multimediju

prof.dr.sc. Davor Petrinović



Multimedija

- Što je multimedija
 - pojam ima mnogo značenja ...
- Temeljna definicija bi bila
 - Medij koji koristi kombinaciju više povezanih tipova sadržaja u svrhu čim bolje prezentacije informacije.
 - Suprotnost multimediji su “klasični” nosioci sadržaja: knjige, novine, itd. gdje se informacija prezentira isključivo tekstom, slikama, skicama ili fotografijama.

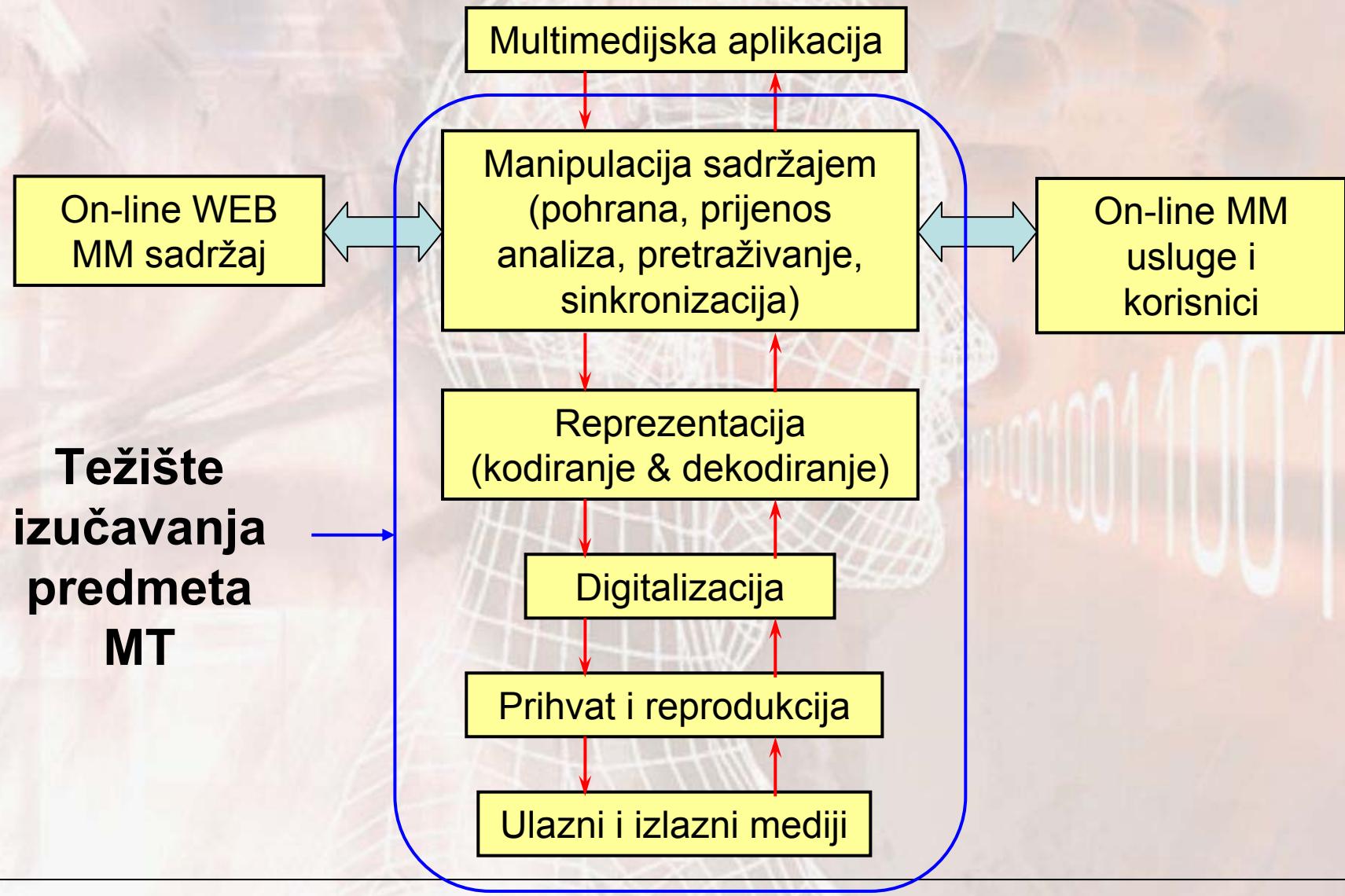


Multimedija

- Ključni cilj multimedije je proširiti takve "suhoparne" sadržaje sa dodatnim medijima:
 - audio zapis (mono, stereo, prostorni zvuk),
 - naracija (govorni zapis),
 - video zapis,
 - animacije,
 - stereoskopija / stereografija,
 - virtualna stvarnost.
- ... čime se dobiva mnogo atraktivniji sadržaj prilagođen korisniku.



Multimedijski sustav





Multimedejske tehnologije

- Predmet ima težište na “niže” razine multimedejskih sustava koje su neposredno vezane uz ulazne i izlazne multimedejske signale.
- Velika pažnja biti će posvećena **postupcima i algoritmima učinkovite digitalne reprezentacije** ovih signala.
- Razmatrati će se i aspekti **izvedbi nižih slojeva** MM sustava na računalima, obzirom na specifične zahtjeve koje pred njih postavljaju navedeni algoritmi.
- U zadnjem ciklusu razmatrati će se i srednje razine koje se odnose na **manipulacije medijima**



Multimedejske tehnologije – struktura predmeta

- Predmet je koncipiran kroz tri cjeline:
- Prva cjelina:
 - multimedejske tehnologije i sustavi,
 - njihova arhitektura i primjena,
 - pregled medija i izvora podataka,
 - osnove kodiranja i kompresije,
 - govorni signal, modeliranje i analiza, parametarski prikaz i kodiranje,
 - norme kodiranja govora, osnove sinteze i prepoznavanja,
 - audio signal, psihoakustički model, postupci kodiranja i norme.



Multimedejske tehnologije – struktura predmeta

- Druga cjelina:
 - temeljne značajke ljudskog vizualnog sustava,
 - doživljaj boje, dijagram kromatičnosti, prostori za prikazivanje boja,
 - nastanak i značajke slika i videosignal-a,
 - oblici videosignal-a: analogni komponenti, analogni kompozitni, digitalni komponentni
 - formati slike za televiziju standardne kvalitete (SDTV) i televiziju visoke kvalitete (HDTV),
 - načela kompresije slika; kompresija s gubicima i bez gubitaka. transformacijsko kodiranje, kvantizacija, entropijsko kodiranje,
 - pregled normi za kompresiju slika i područja primjene, formati za pohranjivanje slika,
 - načela kompresije videosignal-a, uklanjanje vremenske redundancije predviđanjem između slika,
 - pregled normi za kompresiju videosignal-a i područja primjene.



Multimedejske tehnologije – struktura predmeta

- Treća cjelina:
 - pohrana, prijenos i obrada multimedejskih podataka,
 - integracija multimedejskih sadržaja,
 - sinkronizacija,
 - multimedejski sustavi i programske alatne,
 - pregled kompleksnosti algoritama za kompresiju slika (JPEG) i videa (MPEG) i problemi pri stvarnoj izvedbi,
 - primjeri brzih algoritama za izvođenje na računalnim sustavima (DCT i Huffman),
 - arhitekture procesora i računala za izvođenje MM algoritama - temeljno od sklopovskim i programskim implementacijama,
 - načini zaštite MM podataka, DRM, Primjer izvedbe sustava (npr. MP3 player).



Primjena multimedije

- U on-line informacijskim medijima:
 - novinske kuće: Večernji, Jutarnji, Vjesnik, ..
 - portali: Index, Monitor, T-portal, ...
 - RTV kuće: HRT, Nova, Dnevnik, RTL, ...
 - Radio stanice: 101, Plavi, Otvoreni, Cibona, ...
- U zabavnoj industriji:
 - glazbena industrija: MTV, Sony BMG, EMI, Universal, Warner
 - filmska industrija



Primjena multimedije

Jutarnji.hr Moj Jutarnji Uhvatiti ritam EPH na webu [Google](#) Upišite traženi pojam

Naslovnica | Sport | Kultura i život | Auto moto | Dom i nekretnine

Jutarnji.hr ŽIVOT SADA **metro panel**

Priključi se Metro Panelu
i tvoje će mišljenje izrasti u vrijedne nagrade

Subota, 16.02.2008. 10:53

Događaji dana | Svijet | Novac | Crna kronika | Zagreb | Dalmacija i otoci | Istra i Primorje | Slavonija i Baranja | Središnja Hrvatska | Zanimljivosti | Tehnologija i znanost | Komentari i mišljenja | Jutarnji 2 | Moda i ljepota | Showbiz | Hi-Tech | Magazin | Nedjeljni Jutarnji | Sport | RSS | Fotogalerije

Brammertz: Prioritet je uhićenje Mladića, Karadžića i ekipe

NAACIONALNO BLAGO
Država gubi 100 milijuna kvadrata zemlje
Atrakтивно turističко zemljиште у претворби nije ušlo у procjenu temeljnog kapitala па nije ni plaćeno. Godine 2010. sporni će vlasnici legalizirati tu zemlju.

MAESTRO
'Poli mi je dao autorizaciju'
Prisluškivanjem telefona uhvatilo se u Ivana Gotovca koji je kao podpredsjednik Fonda prijatelju, poduzetniku iz BiH namještao prodaju hotela Bellevue u Dalmacijavina iz Splita.

EULEX **SERGE BRAMMERTZ:** **MILIJUNAŠ** **BJEGUNAC U DINAMO**

EU dala zeleno svjetlo za slanje misije na Kosovo
Primarna zadaća misije EULEX bit će zaštita manjina, pomoći kosovskim vlastima u uspostavi pravne države te borba protiv

Prioritet je uhićenje Mladića, Karadžića i ekipe
Govoreći o suradnji Srbije s ICTY-jem, glavni tužitelj je potvrdio da i dalje vrijedi negativna ocjena jer nije bilo elemenata koji

BB Vedran osniva udrugu za skrb o nemoćnoj djeci
Na osnivanje udruge mladić iz Broda se odlučio jer je preko 23-godišnje sestre Lorene, koja je teški invalid, upoznat s potrebnama

Hajduk ogorčen na Maleša
'Njegovi pregovori s nama bili su farsa', tvrdi Jarni. 'Ako netko dvoji između nas i Dinama, a s ovog je područja i kao hajdukovac, pa onda odluči otići u Dinamo, i

IZ BLOGOVA **RECI.HR**

Zombix
ZAMPirski backhand

Hebojša Grbačić
Najrazmaženija djevojka na svijetu!

Hataša Škaričić
Veliko istraživanje u školama: jesu li naša djeca retardirana?

Marko Stričević
Ulan Bator, magični stepski kinoteatar

Tanja Rudež
Politika na kromosomima: jesu li vaši geni lijevo ili desno?

Obrazac na našoj web stranici ...

ERSTE BANK
Jer ste Vi na prvom mjestu.

I oni su učili iz povijesti

Prognoza vremena
Odaberite grad:
Zagreb 3°C
[Opširnije >>](#)

Fotogalerije
 Ženski slalom Snježna kraljica

MT01 - Petrinović

11



Primjena multimedije

večernji.hr

Bojan Klima
WASHINGTON ROCKS

Goran Cipar
OČEV BLOG

Vjeran Piršić
EKO BLOG

Siniša Švec
GASTRO-RADIO BLOG

BLOG
[večernji.hr](#)

16. veljače 2008. igao u Afriku gdje će posjetiti pet država | 08:41 Podijeljeni Cipar u nedjelju izlazi n

Vijesti bez slike | **RSS**

Lijepa Tina najdraža Lupinova muza Na Karibima...

Novi modeli Vivienne Westwood Nakon 9 godina...

FORUM
10:39 Potpredsjednik Vlade Uze...
10:38 Vlatka Pokos: Nadam se...
10:37 Brammertz: Prioritet je...
10:33 Milanović: Ovo je najvi...

HOROSKOP
VODENJAK Važno vam je kako će se prema vama...

VEĆERNJAKOV EKRAN 2008

BUDI PRVI

→ Home

Aktualnosti

- Vijesti
- Crna kronika
- Manager.hr
- Zanimljivosti

Regije

- Kolumnе

Sportal.hr

- Nogomet
- Košarka
- Tenis
- Automoto
- Zimski sportovi
- Ostali sportovi
- Navijači

EULEX ĆE NA KOSOVO DOVEĆI 2000 POLICAJACA I PRAVNIH STRUČNJAKA

Zemlje Europske unije odobrile slanje misije na Kosovo

U roku od dva tjedna započet će razmještanje misije EULAX na Kosovu, što će trajati 120 dana...

→ **Europska unija**
Odluka o priznavanju je na svakoj članici pojedinačno

→ **'Domino efekt?'**
Zbog straha dio EU zemalja neće priznati Kosovo

→ **Proglasenje u nedjelju**
Odluka o neovisnosti stupa na snagu u ožujku

→ **Video intervju**
Milanović: Preuzimam odgovornost što nismo više postigli na izborima

MILANOVIĆ U OBZORU
Ovo je najviše što će HDZ osvojiti
Predsjednik SDP-a za Obzor govori o pobuni u stranci, Pančiću...

Prijava

Korisničko ime

Lozinka

Prijava

→ Registrirajte se!
→ Zaboravili ste lozinku?
→ Ponovno slanje potvrde registracije

Postavi Večernji za početnu stranicu
Dodaj Večernji u moje favorite

*ulimativni hrifestyleportal

SVI NA JEDNOME

JEDAN ZA SVE



Primjena multimedije

subota, 16. veljača 2008. | O HRT-u | Pitanja

HRT web | TELEVIZIJA | RADIO | GLAZBENA PROIZVODNJA | HRT UŽIVO | VIJESTI | SPORT

HTV raspored programa

HTV uživo

HTV na satelitu

Stranice emisija

Najčešća pitanja

Marketing

Forum

Mapa web-a

Site map

Primajte mailom

- Raspored programa
- Dnevne vijesti

HRT kontakti

Upute

Izbori 2007

ARHIV DNEVNIKA

Dnevnik 15.02.2008. petak

Dnevnik 14.02.2008. četvrtak

Dnevnik 13.02.2008. srijeda

Dnevnik 12.02.2008. utorak

Dnevnik 11.02.2008. ponedjeljak

Dnevnik 10.02.2008. nedjelja

Dnevnik 09.02.2008. subota

Stop

HTV1

- 13:20 Potrošački kod
- 13:50 PP
- 13:55 Prizma, multinacionalni magazin

HTV2

- 13:20 Dobre namjere, TV serija
- 14:05 Dobre namjere, TV serija
- 14:50 PP



Primjena multimedije

A screenshot of the MTV.com website. The header features the MTV logo and a Toyota advertisement for the Corolla. Below the header is a navigation bar with links for Home, Music, Shows, News, Movies, Games & More, and a search bar. The main content area includes an interview with Samuel L. Jackson titled "The Hair Makes The Man" and a collection of Justin Timberlake music videos. A sidebar on the right contains a political advertisement for Ron Paul.

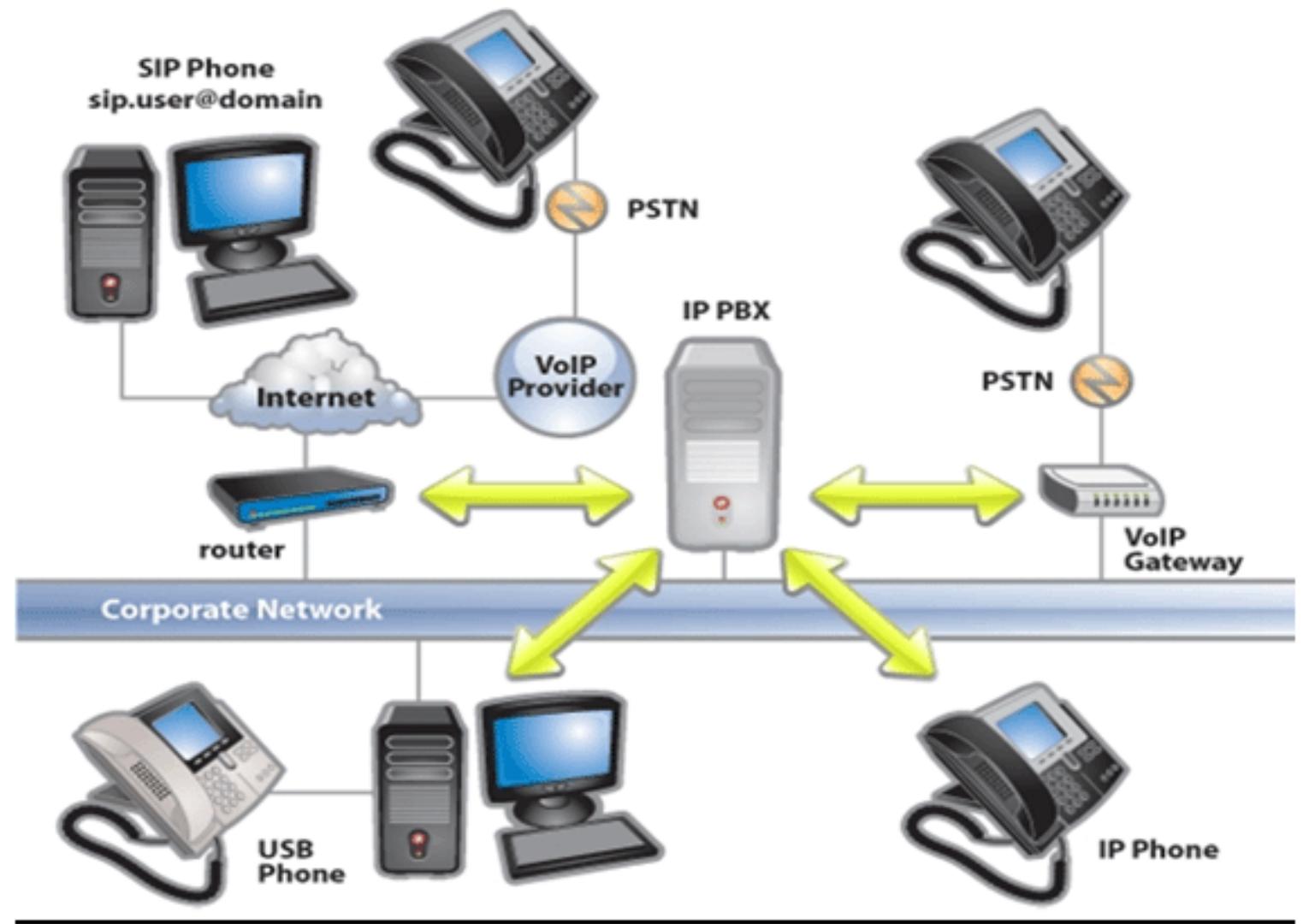


Primjena multimedije

- U komunikacijama:
 - VOIP: MSN Messenger, Skype, SIP, AMR
 - video-telefonija, 3G UMTS,
 - razmjena video sadržaja, YouTube.
- U svrhu izrade interaktivnih prezentacija i multimedijskih sadržaja:
 - PowerPoint,
 - Adobe (Macromedia) Flash,
 - MovieMaker, Adobe Premiere,
 - DVD authoring.



Primjena multimedije



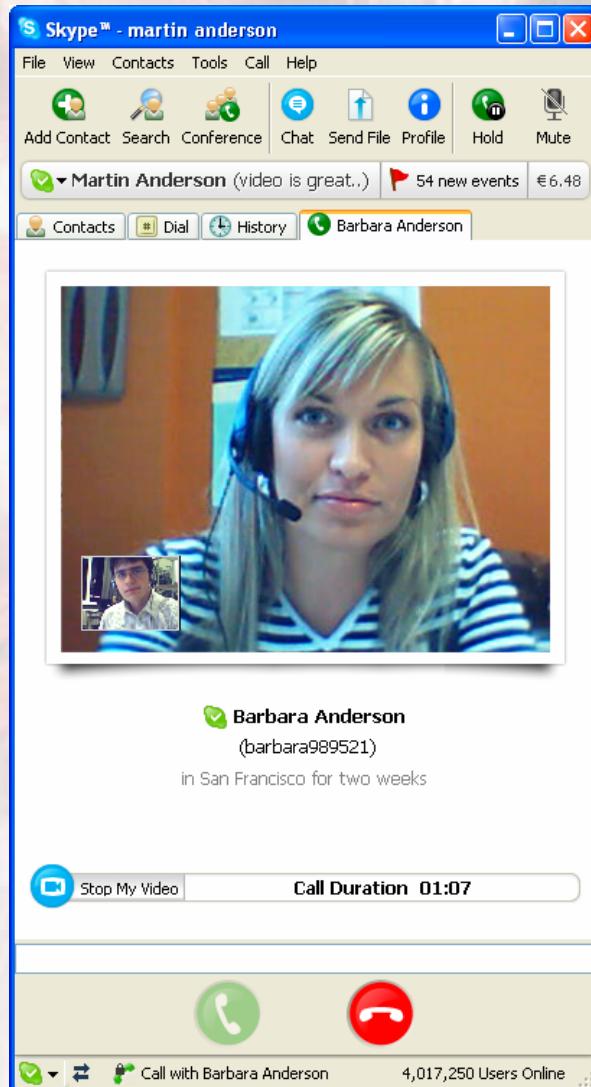


Primjena multimedije





Primjena multimedije





Primjena multimedije





Primjena multimedije

YouTube Broadcast Yourself™

Home Videos Channels Community

Videos being watched right now...

Upload

JOIN US Cheetos BRAND ORANGEUNDERGROUND.COM

Promoted Videos

Serious Pie Pizza R... ino restaurant from... Starless Night - Sw... The Times features ... MotoGP

savorycities savorycities aniBOOM MotoGP

JOIN US YouTube ORANGEUNDERGROUND.COM 00:46 share

Guidelines for the Orange Underground

Login to rate video ★★★★☆ 189 ratings

From: [theorangeunderground](#) Comments: 18

See More Featured Videos

Featured | Most Viewed | Most Discussed | Top Favorites

Featured Videos

Passion- Well Done (Youtube Excl...)

"Well Done" is a song that I wrote back in '05 in memory of my grandmother, Caridad Estavillo Manongdo, who passed away that year. ([more](#))

From: [passionst](#)
Views: 228,053
★★★★★
04:17

More in [Music](#)

Login Sign Up | Help

Username:
Password:
Login



Primjena multimedije

- U edukaciji i znanosti:
 - sveučilišni i znanstveni sadržaji,
 - školski edukativni sadržaji,
 - Google Earth, NASA, Wikipedia, MathWorld,
- U e-trgovini:
 - eBay, Amazon,
 - veleprodajni lanci: Konzum, Mercator, ...
 - računalne trgovine: HGspot, Vemil, King računala, ...



Primjena multimedije





Primjena multimedije

The screenshot shows the official NASA website homepage. At the top, there is a navigation bar with links for HOME, NEWS, MISSIONS, MULTIMEDIA, and ABOUT NASA. Below the navigation bar, there is a search bar and a login/signup section. The main content area features a large image of the shuttle Atlantis docked at the International Space Station. A banner above the image reads "Atlantis Set to Leave Station Monday, Land Wednesday". Below the image, there is a brief description of the mission and links to other news articles. To the right of the main content, there is a sidebar with various links to different NASA programs and topics, each accompanied by a small icon. At the bottom of the page, there are links for "Image of the Day Gallery", "NASA TV & Video", and "Popular Content".

HOME NEWS MISSIONS MULTIMEDIA ABOUT NASA

en Español Help and Preferences

Username Log In Sign Up Search

For Public | For Educators | For Students | For Media | For Policymakers | For Employees | MyNASA

Bookmark Send

▼ Atlantis Set to Leave Station Monday, Land Wednesday

The shuttle Atlantis and her crew are due to undock from the International Space Station Monday, after delivering Europe's Columbus lab and performing a trio of spacewalks. » Visit Shuttle Section,

► Mars Rovers Sharpen Questions About Livable Conditions

► Titan's Surface Organics Surpass Oil Reserves on Earth

Image of the Day Gallery NASA TV & Video Popular Content

Video On Demand NASA TV (Live)

SHUTTLE & STATION MOON AND MARS

SOLAR SYSTEM UNIVERSE

AERONAUTICS EARTH

TECHNOLOGY NASA IN YOUR LIFE

NASA PEOPLE NASA HISTORY



Primjena multimedije

Images

- Featured Images
- Image of the Day Gallery
- Image Usage Guidelines

Videos

- Podcasts
- Interactive Features
- NASA TV
- RSS Feeds
- Blogs
- Worldbook@NASA

ReelNASA on YouTube

View more NASA video, crew wake-up calls and other behind-the-scenes videos on the ReelNASA YouTube channel.

[Visit ReelNASA →](#)

Inventing the Future

[View Image](#)

Becoming the Future

[View Image Gallery](#)

STS-122 SRB Separation

[View This Video](#)

STS-122 Rendezvous Pitch Maneuver

[View More Videos](#)

NASA TELEVISION

NASATV Live

Pick a NASA TV Channel:

Public Education Media

[View Schedule](#)

Interactive Features

STS-122: Interactive Mission Timeline

50th Anniversary of Explorer 1

Day of Remembrance

Audio Podcasts

[This Week @NASA](#) **XML**

[Shuttle & Station](#) **XML**

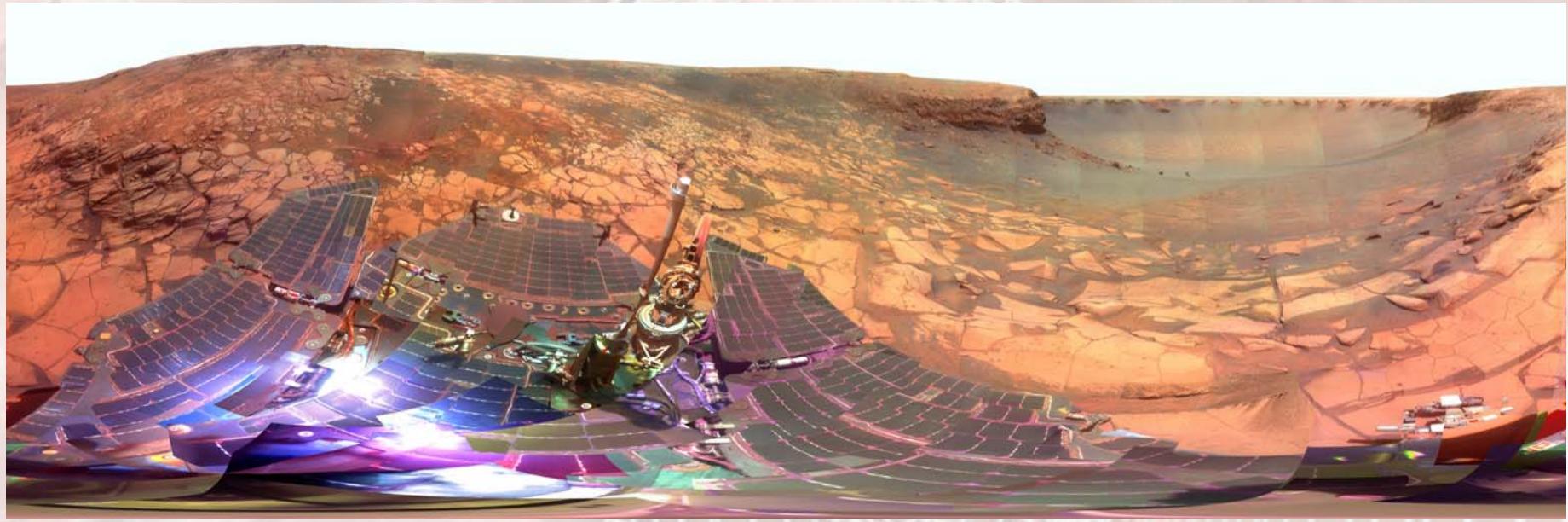
Video Podcasts

[This Week @NASA](#) **XML**

[NASA Edge](#) **XML**



Primjena multimedije





Primjena multimedije





Što smo naučili

- Definicija multimedije
- Značenje multimedijskih tehnologija
- Struktura multimedijskog sustava
- Primjene multimedije



Mediji u multimediji

prof.dr.sc. Davor Petrinović



Mediji

- Koji su to mediji koji su predmet izučavanja MM tehnologija ?
- ... bilo koji oblik signala ili pojave koji za čovjeka predstavlja određenu kognitivno korisnu ili interesantnu informaciju.
- Mediji kojima se bavi multimedija su stoga uvijek **vezani uz čovjeka**, bilo kao izvora ili pak korisnika tih medijskih informacija.



Mediji

- Važan je tok medija, jer čovjek može biti:
 - izvor signala, ili pak
 - njegov ponor.
- Pored čovjeka, izvor medija može biti i:
 - materijalni svijet koji nas okružuje sa izvorima raznovrsnih prirodnih signala, ili pak
 - umjetno stvoreni signali i pojave koji mogu stvoriti dojam prividnog ili virtualnog svijeta.



Signali koje primamo

- Signali se mogu podijeliti obzirom na način njihove percepcije, što je usko vezano uz naša osjetila.
 - Glavne vrste podražaja koje osjećamo su:
 - vid,
 - sluh,
 - okus,
 - miris i
 - dodir.
- +
- A DVD cover for the movie "The Sixth Sense". It features a silhouette of a child walking towards a bright, glowing light at the end of a dark path. The title "THE SIXTH SENSE" is written in large, stylized letters above the light. Below the title, it says "Not Every Gift Is A Blessing". The cover also includes the names "BRUCE WILLIS" and "MURRAY close-up". At the bottom, there are logos for "DVD", "Sony Pictures", and "15".
- A simple black outline of a smiling face with two dots for eyes and a curved line for a mouth.



Ljudska osjetila





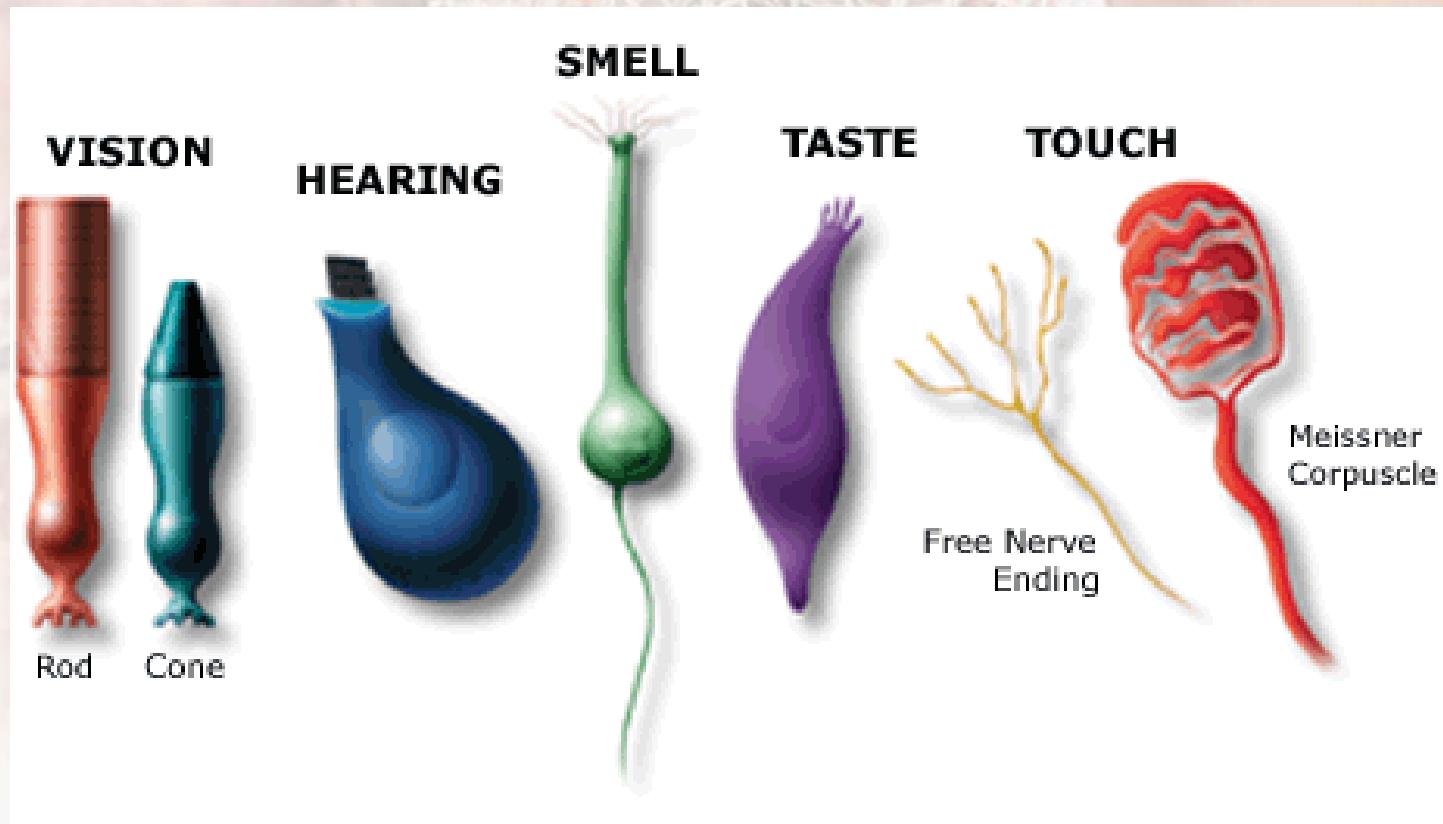
Signali koje primamo

- Receptori se mogu podijeliti u slijedeće skupine (prema Wikipedia):
 - Mehanoreceptori - za osjet dodira, tlaka, sluha i ravnoteže
 - Termoreceptori - za osjet hladnoće i topline
 - Nocireceptori - za osjet bola
 - Elektromagnetski receptori - za osjet vida
 - Kemoreceptori - za osjet okusa, mirisa, kisika, glukoze i ugljičnog dioksida.



Signali koje primamo

- Izgled pojedinih receptora





Što radimo s ovim signalima





Signali koje emitiramo

- Glavni signali koje emitiramo su:
 - naša vizualna pojava u prostoru,
 - zvukovi koje proizvodimo kao: glas, pjevanje, uzdisanje ili pak zvukovi prouzročeni kretanjem ili sviranjem,
 - taktilno djelovanje na okolinu,
 - toplinsko zračenje,
 - kemijsko djelovanje na okolinu, ... prvenstveno miris koji širimo.



Multimedejske tehnologije

- Osnovna uloga MTa jest manipulacija sa opisanim medijima u svrhu njihovog:
 - snimanja (prihvata)
 - reprodukcije ili prezentacije,
 - prijenosa ili distribucije,
 - učinkovite pohrane,
 - analize i pretraživanja.
- Najčešća primjena MTa je u svrhu:
 - povezivanja ljudi, informiranja, prezentacija, učenja ili zabave.



Multimedijijski signali

- Signali koji nose medijske informacije su definirani određenim fizikalnim ili kemijskim veličinama, kao npr.
 - EM valovi u vidljivom ili IC dijelu spektra,
 - zvučni valovi opisani varijacijama tlaka,
 - mehanički signali, mjerljivi kroz pomake, brzine ili akceleracije objekata,
 - signali mjerljivi kao koncentracije određenih kemijskih spojeva (molekula) u zraku.



Zadaća prihvata medijske informacije

- Multimedijalni sustavi u pravilu obuhvaćaju zadaću prihvata koju obavljaju:
 - senzori koji fizikalne veličine koje nose medijsku informaciju pretvaraju u ekvivalentni lakše mjerljiv oblik.
 - Najčešće se provodi pretvorba u analogni električki signal:
 - neki od parametara ovog signala (npr. napon, struja, frekvencija, itd.) je proporcionalan polaznoj fizikalnoj veličini.



Zadaća prihvata medijske informacije

- Često korišteni senzori u MM sustavima su:
 - elektroakustički pretvarači; mikrofoni različitih tipova izvedbe (dinamički, kondenzer, kapacitivni),
 - dvodimenzionalni senzori za sliku ili video (CCD, CMOS, IR-senzor),
 - raznovrsne ulazne jedinice računala.
- Senzori koji se koriste u širem kontekstu prividne stvarnosti ali i u svrhu upravljanja MM sustavima:
 - detektori pomaka i položaja,
 - akcelerometri,
 - detektori gesta (elektronička rukavica)



Zadaća reprodukcije MM sadržaja

- Reprodukcija ključna zadaća MM sustava!
- Upravo ovdje **multimodalnost** dolazi do izražaja, jer se prilikom reprodukcije određen sadržaj nastoji prezentirati čim većim brojem paralelnih medija **u povezanom i interaktivnom obliku**:
 - tekst,
 - audio zapis,
 - fotografije,
 - video zapis,
 - računalna grafika i animacije.



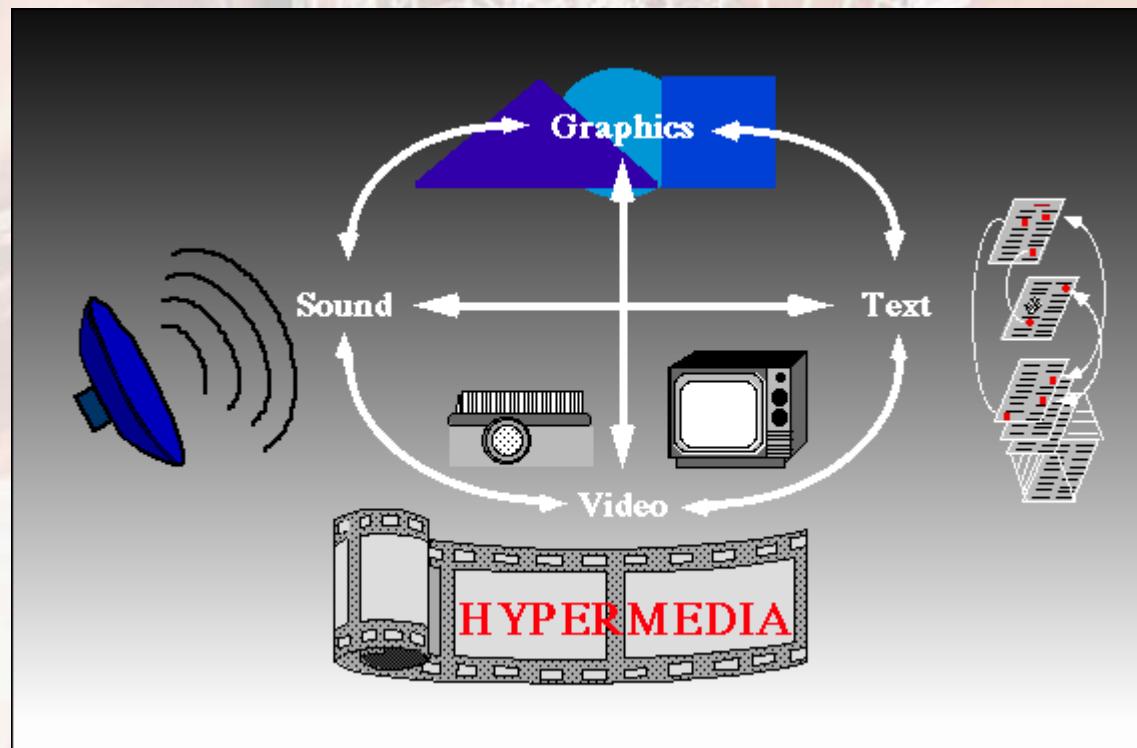
Interaktivnost reprodukcije

- Što je interaktivnost ?
- Korisnik prilikom reprodukcije ima sposobnost na jednostavan i brz način upravljati prezentacijom sadržaja odabirom pojedinih povezanih medija
- ... “**navigacija sadržaja**”.
- Upravo interaktivnost razlikuje:
 - linearni medijski sadržaj i
 - hipermedijski sadržaj (multimedijska analogija hiperteksta).



Hipermedijski sadržaji

- Različite vrste medija koje su međusobno isprepleteni nizom hiperlinkova





- Prirodnost interakcije
 - upravljanje gestama



Što smo naučili

- Mediji u MM
- Percepcija MM signala, receptori
- Čovjek kao izvor MM signala
- Uloga MM tehnologija
- MM signal
- Prihvati i reprodukcija MM sadržaja
- Interaktivnost
- Hipermedijski sadžaj



Razvoj multimedije

prof.dr.sc. Davor Petrinović



Razvoj multimedije

- Do pojave računala, prezentacije pojedinih medijskih sadržaja vezane su uz odvojene namjenske uređaje za reprodukciju:
 - grafskop (prikaz grafike i teksta),
 - audio sustav za reprodukciju audio sadržaja (trake, gramofonske ploče),
 - kino / video projekcije za video sadržaje,
 - dija-projektor za prikaz fotografija ili slideova za prezentaciju.

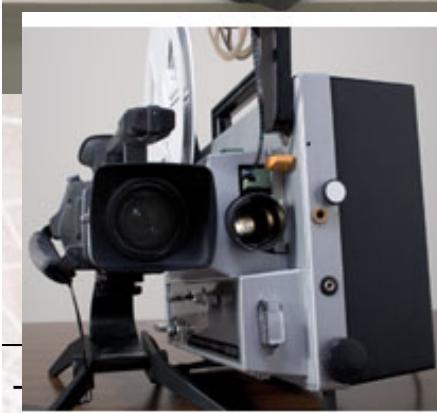


Medijska tehnologija s početka prošlog stoljeća





Medijska tehnologija 70tih





Razvoj multimedije

- **Računala** su ključni pokretač razvoja MM.
- Konačni cilj razvoja:
 - umreženo računalo kao univerzalni i integralni sustav za reprodukciju bilo kakvog MM sadržaja!
- Današnja računala su sa svojim mogućnostima već vrlo blizu ovog cilja.
- Razvojem tehnologije se stalno podiže očekivani standard kvalitete reprodukcije i postavljaju sve stroži zahtjevi na MM sustav!
- biti će dovoljno posla i za sve vas ☺



Multimedijsko računalo



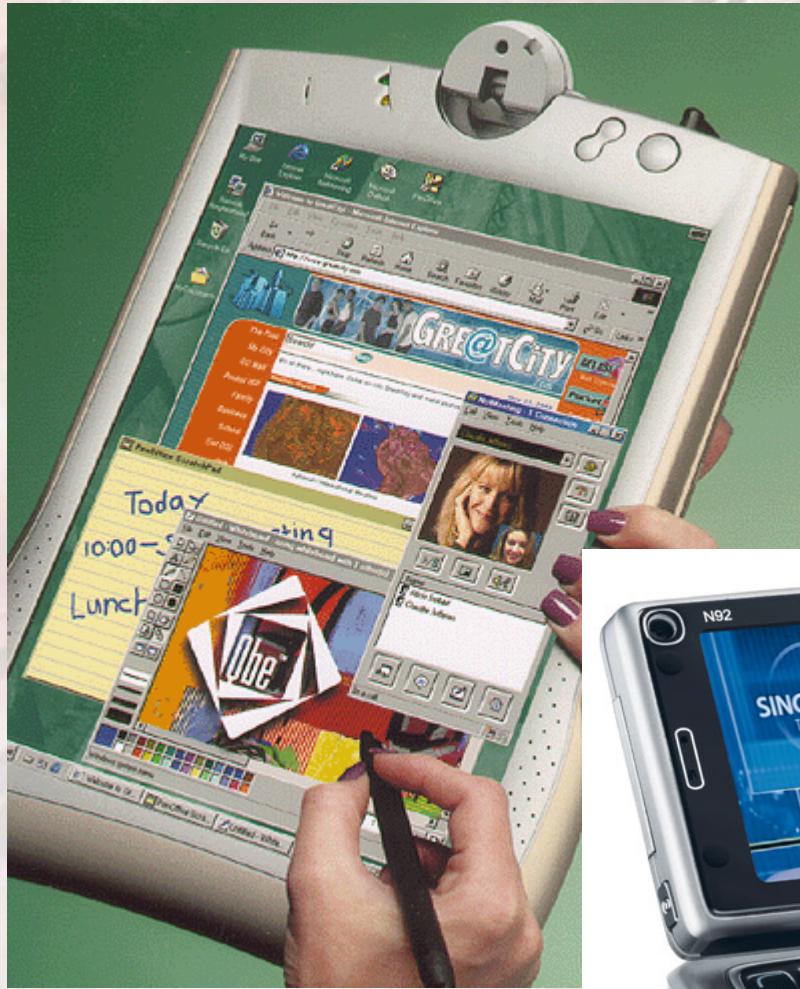


Razvoj multimedije

- Težište današnjeg razvoja:
 - mogućnost reprodukcije, pa čak i snimanja MM sadržaja **bilo gdje i bilo kada!**
- Mobilne platforme za reprodukciju sadržaja:
 - media playeri (iPod, iPod-Video, “MP4” playeri, ...),
 - moderni mobilni telefoni s mogućnosti reprodukcije i snimanja audio i video/foto sadržaja,
 - ručna računala (Palm, IPAQ, ...),
 - mobilni video i audio streaming (DAB, DVBT, TV u džepu, Internet radio preko GSM, GPRS, UMTS, Wi-Fi).



Primjer mobilnih MM platformi





Razvoj multimedije

- Iznimna raznovrsnost uređaja za reprodukciju MM sadržaja:
 - razlike u procesnim mogućnostima,
 - razlike u rezoluciji, veličini i kvaliteti prikaznih jedinica,
 - razlike u ograničenjima potrošnje (baterijsko napajanje mobilnih platformi),
 - razlike u tipu i kapacitetu raspoložive memorije za pohranu sadržaja,
 - razlike u postojanju i propusnosti komunikacijskog kanala za prijenos MM sadržaja (LAN, Wi-Fi, GPRS, UMTS),
 - razlike u korištenim operacijskim sustavima.



Razvoj multimedije

- Raznovrsnost MM platformi postavlja specifične zahtjeve i na organizaciju MM sadržaja
- ... potreba za skalabilnim formatom zapisa!
 - svi uređaji moraju biti sposobni prikazati isti sadržaj, ali sukladno mogućnostima pojedine platforme,
 - sadržaj mora biti organiziran slojevito, gdje najniži sloj omogućava osnovnu kvalitetu, uz najmanju količinu informacija za opis i najmanju složenost izvedbe;
 - svaki slijedeći sloj povećava kvalitetu, na račun povećanja informacije i složenosti.
- Problem učinkovite distribucije MM sadržaja iznimno složen!



Što smo naučili

- Razvoj multimedije
- Multimedija prije 40 godina
- Značaj računala u multimediji
- Mobilne MM platforme
- Specifičnosti i raznolikosti MM platformi



Digitalna obrada signala

prof.dr.sc. Davor Petrinović



Digitalna obrada signala

- Drugi iznimno značajan pokretač evolucije MM tehnologija, je razvoj teorije **Digitalne Obrane Signala (DOS)**.
 - Točniji naziv bi bio obrada signala u vremenski diskretnoj domeni, tj. nad uzrocima signala.
 - Naziv DOS proizlazi iz činjenice da se uzorci signala reprezentiraju brojevima nad kojima se provode potrebne matematičke operacije.
- Obrane se provode programskim i/ili sklopoškim rješenjima.



Digitalna obrada signala

- Teorija DOSa sazrijeva već 60tih i 70tih godina, ali pravi zamah dobiva upravo pojavom računala kao idealne platforme za izvedbu.
- Do tada, sve se obrade provode isključivo analognim sklopovima (mrežama, krugovima) koji provode željene operacije nad vremenski kontinuiranim signalima.
 - Maksimalna složenost analogne obrade direktno je određena s kompleksnosti mreže ili kruga koju je provodi!



Analogna obrada signala

- primjer izvedbe filtra 6. reda pomoću operacijskih pojačala i pasivnih R i C komponenti

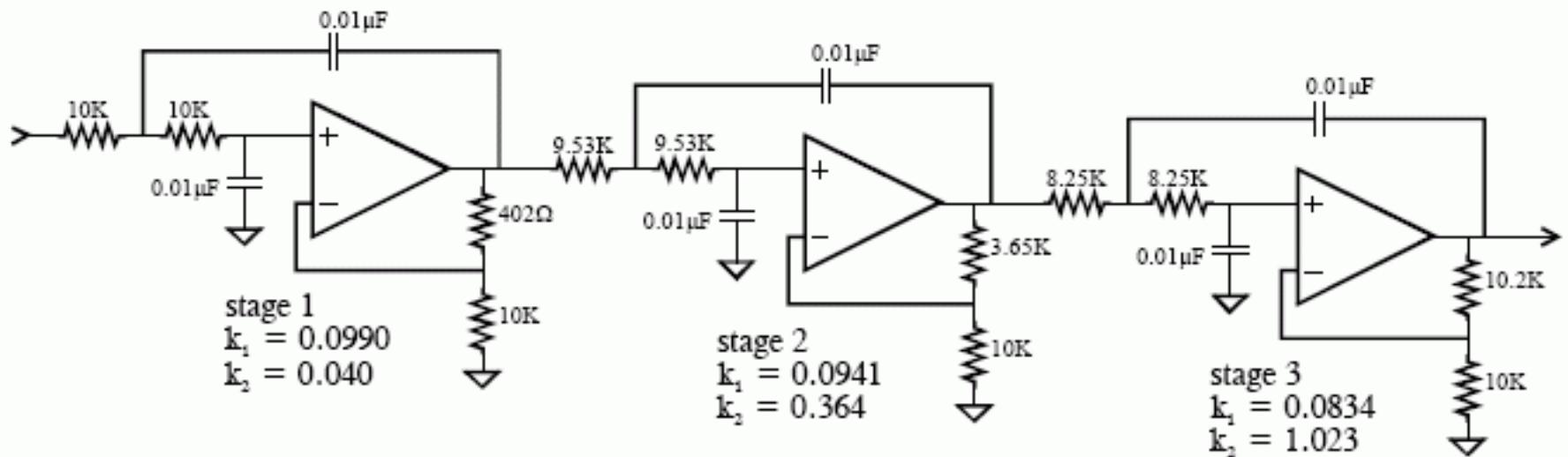


FIGURE 3-9

A six pole Bessel filter formed by cascading three Sallen-Key circuits. This is a low-pass filter with a cutoff frequency of 1 kHz.

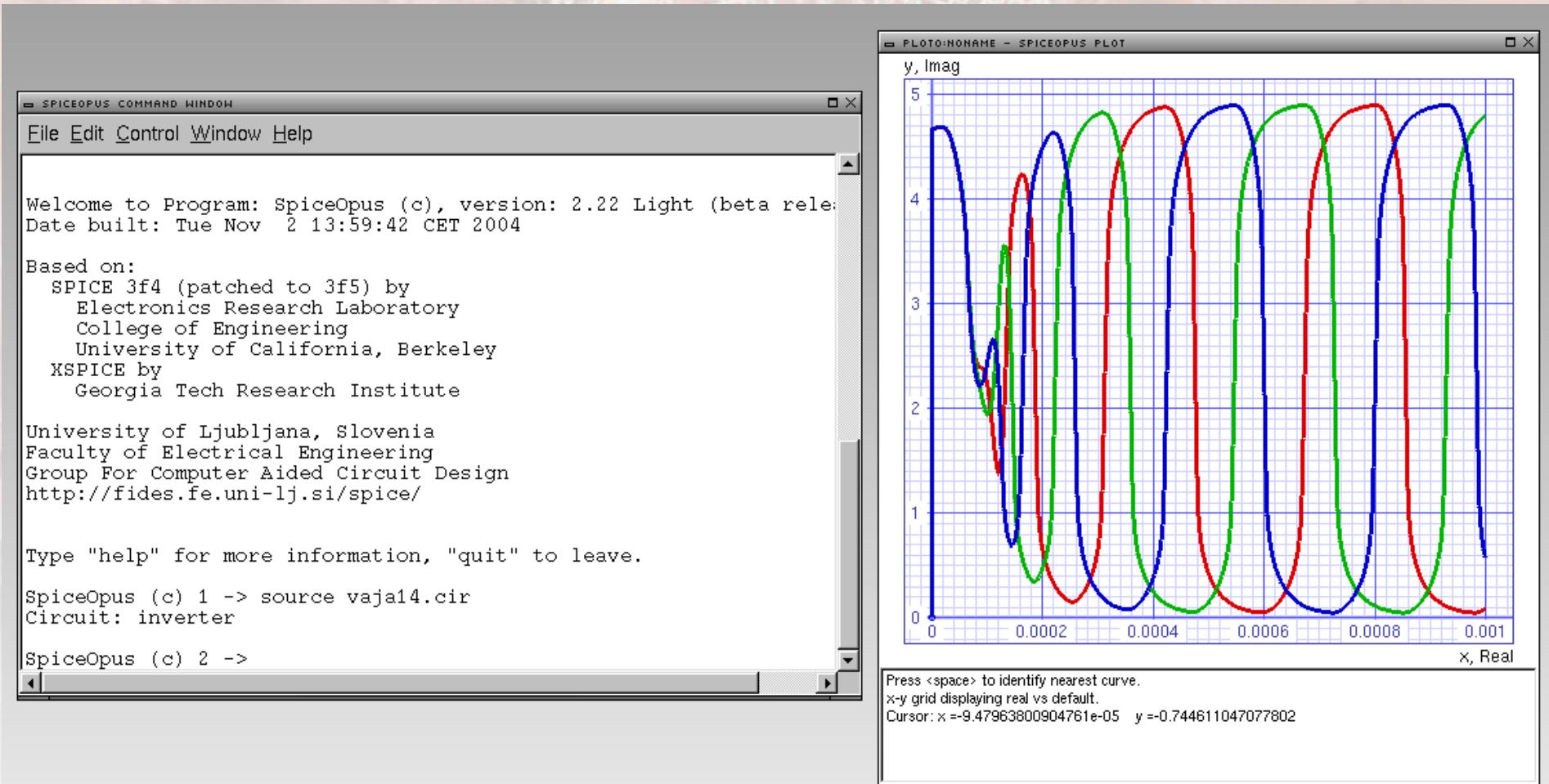


Analogna obrada signala

- Isprva, teorija DOSa se koristi isključivo radi simulacije rada analognih sklopova:
 - radi jednostavnijeg projektiranja i
 - mogućnosti istraživanja utjecaja pojedinih parametara na rad sklopa.
- Ponašanje električne mreže se opisuje sustavima diferencijalnih jednadžbi,
 - rješenje se nalazi postupcima numeričke integracije.

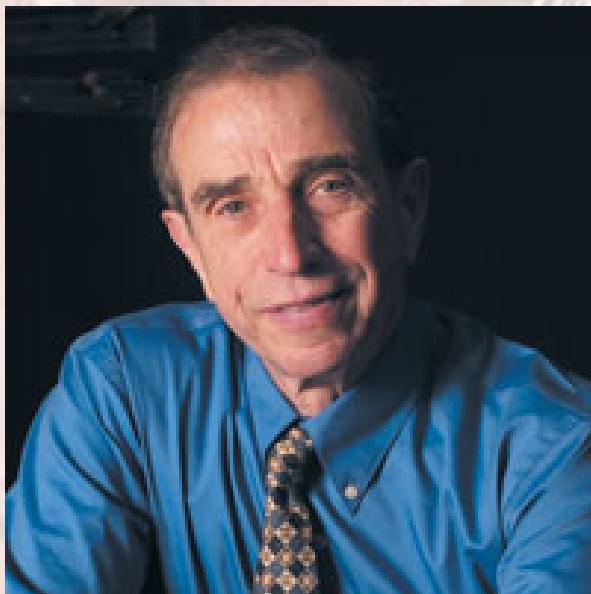


Analogna obrada signala – alat za simulaciju SPICE





Pioniri DOSa



Alan V.
Oppenheim



Ronald W.
Schafer

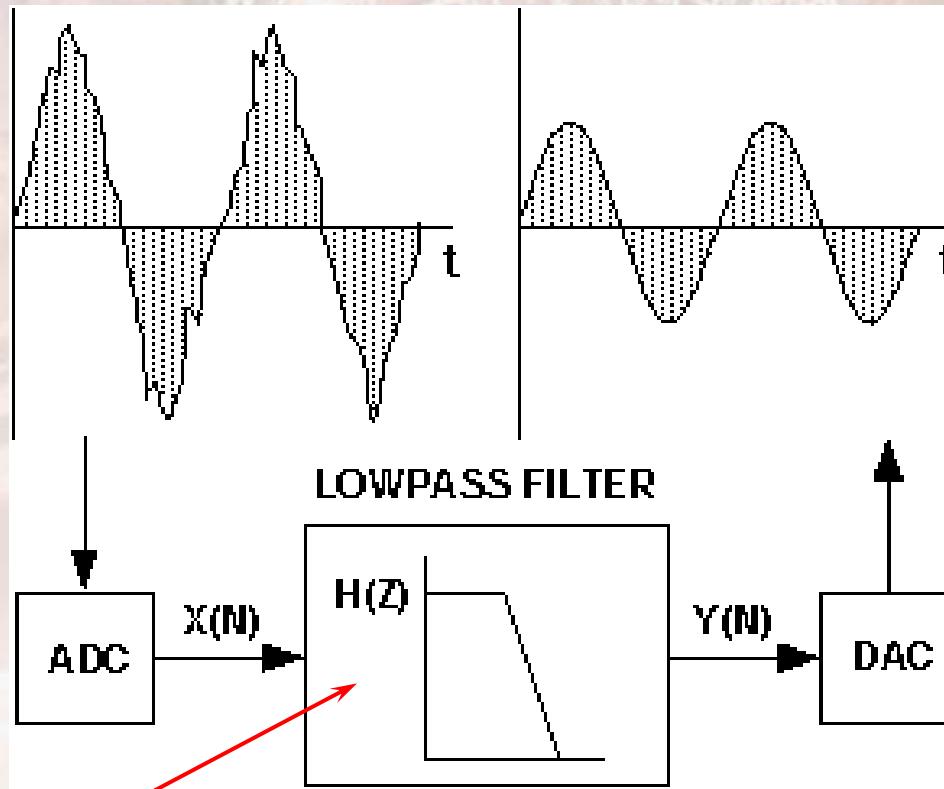


Lawrence R.
Rabiner



Digitalna obrada signala

- Osnovna struktura za digitalnu obradu signala



- obrada nad uzorcima ulaznog signala – primjer nisko-propusnog filtra



Digitalna obrada signala

- Važnije prednosti DOSa:
 - točnost operacija se može projektiranjem podešiti na željeni iznos,
 - uređaj ne “stari”, ... točnost je uvijek ista,
 - neosjetljivost na šum i preslušavanja,
 - moguće je provesti obrade koje uopće nemaju ekvivalentni sklop ili krug u analognoj domeni,
 - potpuno programska izvedba operacija obrade dovoljna za brojne primjene,



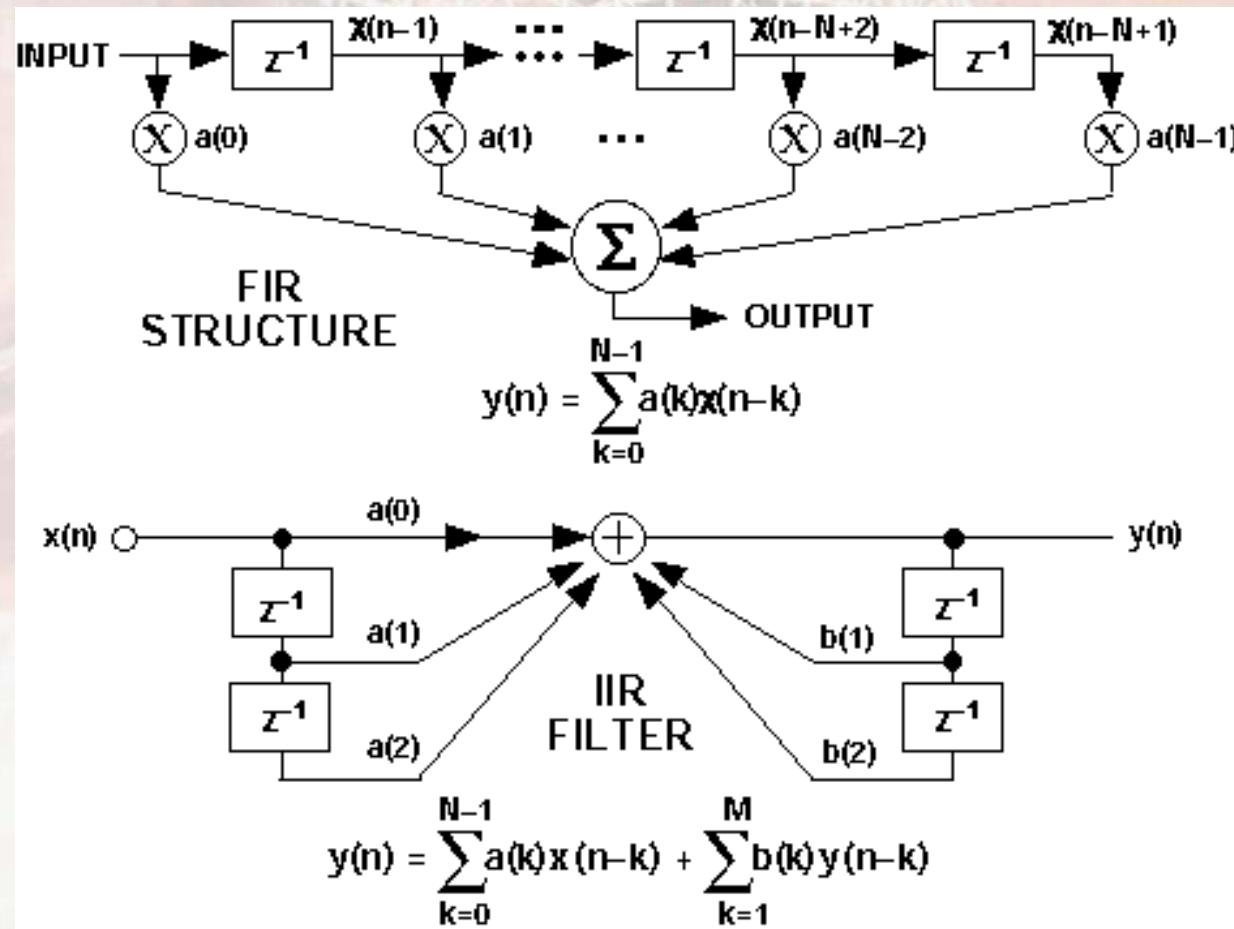
Digitalna obrada signala

- prednosti DOSa, ... nastavak
 - programska izvedba omogućava laku prilagodbu prethodno razvijenog sustava na potpuno nove zadatke,
 - moguće su iznimno složene obrade signala,
 - mogućnost obrade signala u blokovima,
 - mogućnost obrade u transformacijskim domenama,
 - digitalna reprezentacija signala mnogo pogodnija za pohranu ili prijenos.



Digitalna obrada signala

- primjer filtarskih struktura u vremenski diskretnoj domeni





Procesori za digitalnu obrada signala

- Za potrebe izvedbe algoritama digitalne obrade signala razvijeni su specijalizirani procesori sa arhitekturom prilagođenom za takve zadatke
 - engl. **Digital Signal Processor (DSP)**
- Posjeduju specifične izvršne jedinice za izvođenje uzastopnih operacija množenja i zbrajanja.
- Podrška za vremenski paralelne operacije koje se izvode unutar jednog strojnog ciklusa.



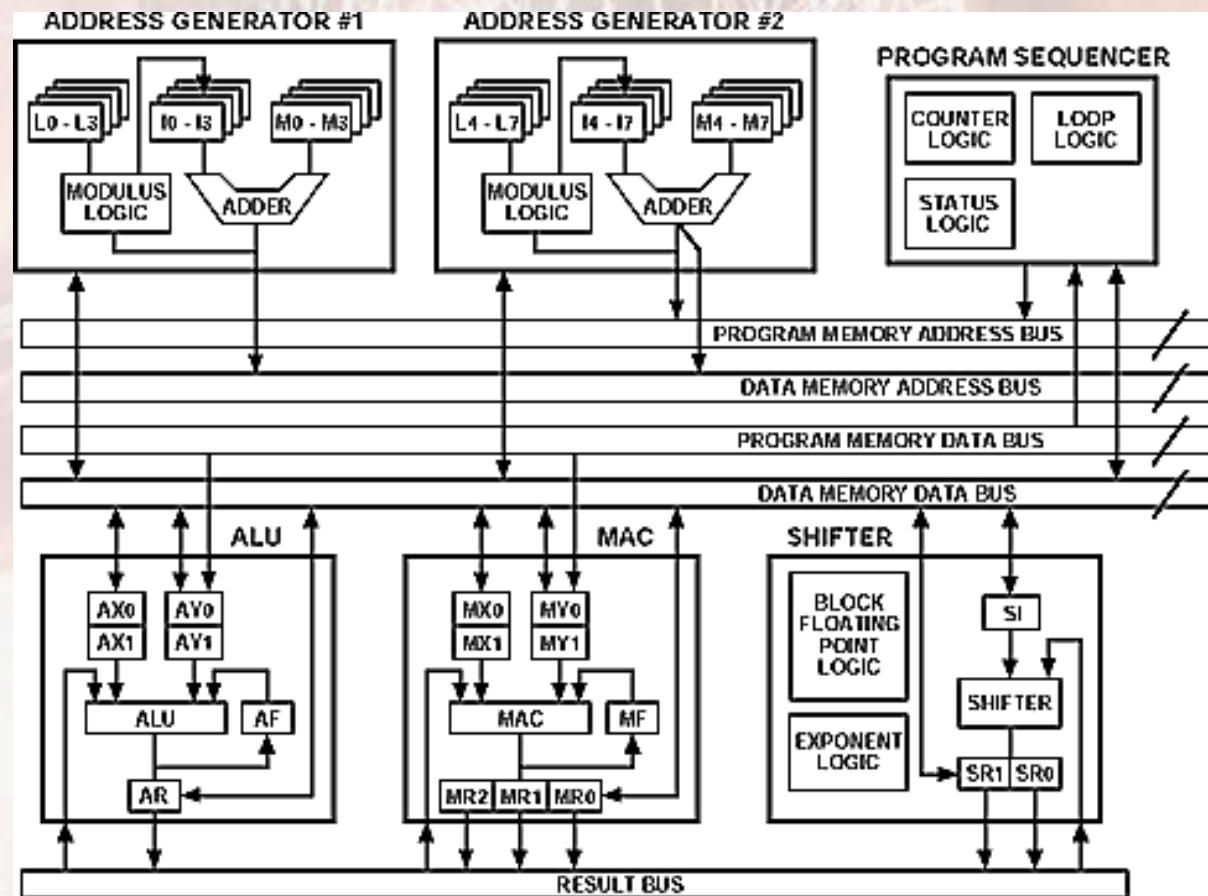
Primjer DSP procesora firme TI





Procesori za digitalnu obradu signala

- Tipična arhitektura jednostavnijeg DSP procesora





Digitalna obrada signala

- primjer izvedbe digitalnog filtra na DSPu ... ADSP21XX

```
.ENTRY biquad;
biquad: CNTR = number_of_biquads
        DO sections UNTIL CE;
        SE=DM(I1,M2);
        MX0=DM(I0,M0), MY0=PM(I4,M4);
        MR=MX0*MY0(SS), MX1=DM(I0,M0), MY0=PM(I4,M4);
        MR=MR+MX1*MY0(SS), MY0=PM(I4,M4);
        MR=MR+SR1*MY0(SS), MX0=DM(I0,M0), MY0=PM(I4,M4);
        MR=MR+MX0*MY0(SS), MX0=DM(I0,M1), MY0=PM(I4,M4);
        DM(I0,M0)=MX1, MR=MR+MX0*MY0(RND);
sections: DM(I0,M0)=SR1, SR=ASHIFT MR1 (HI);
          DM(I0,M0)=MX0;
          DM(I0,M3)=SR1;
          RTS;
.ENDMOD;
```

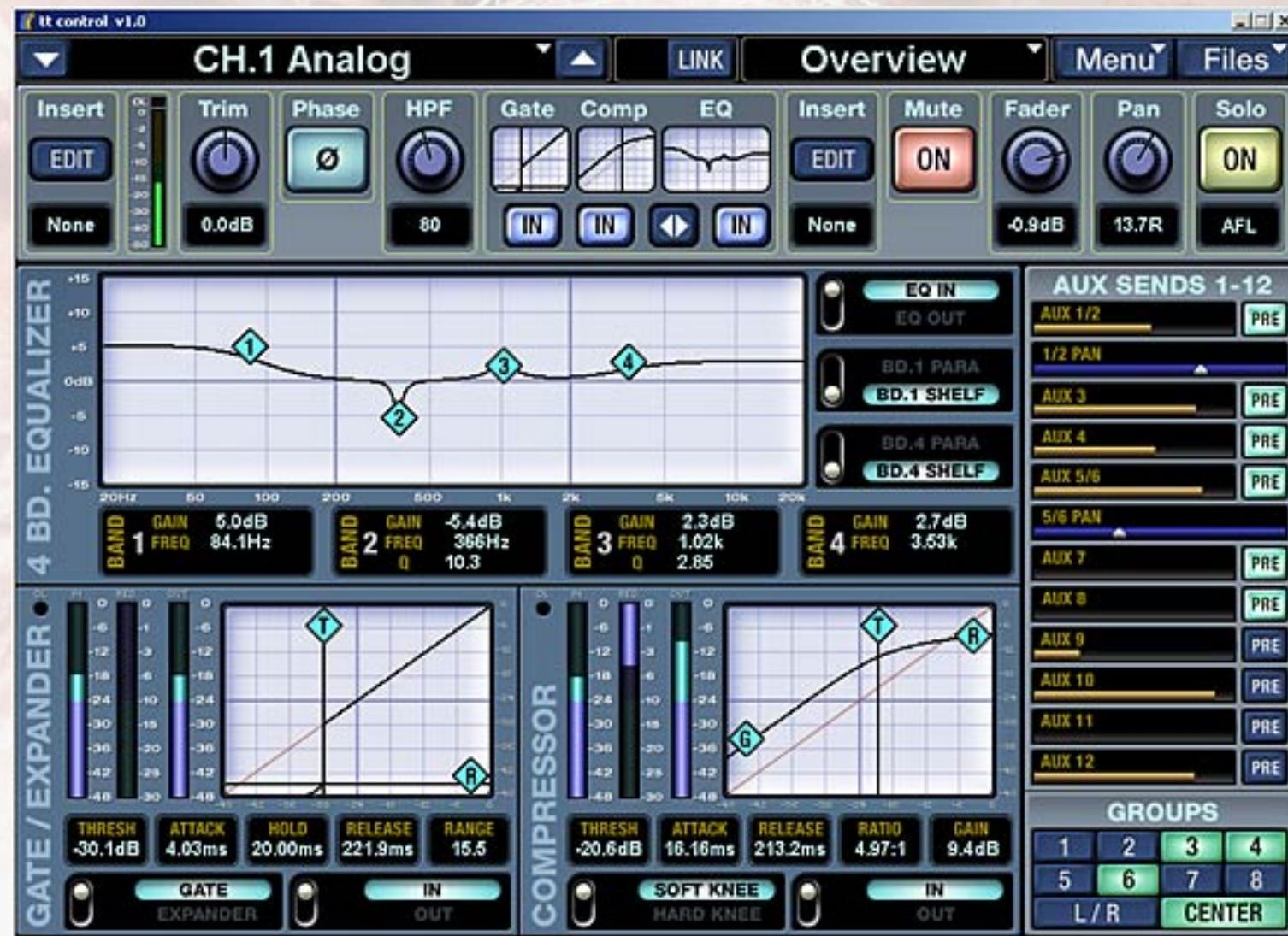


Digitalna obrada signala

- Mane DOSa:
 - potreba za Analogno/Digitalnim (A/D) i Digitalno/ Analognim (D/A) pretvornicima za vezu prema stvarnom svijetu medijima.
 - potreba za procesorom ili namjenskim sklopovskim rješenjima čak i za “najgluplje” obrade ... povećana potrošnja energije!
 - maksimalna frekvencija ulaznog signala je ograničena brzinama A/D i D/A pretvornika te procesnim mogućnostima obrade!

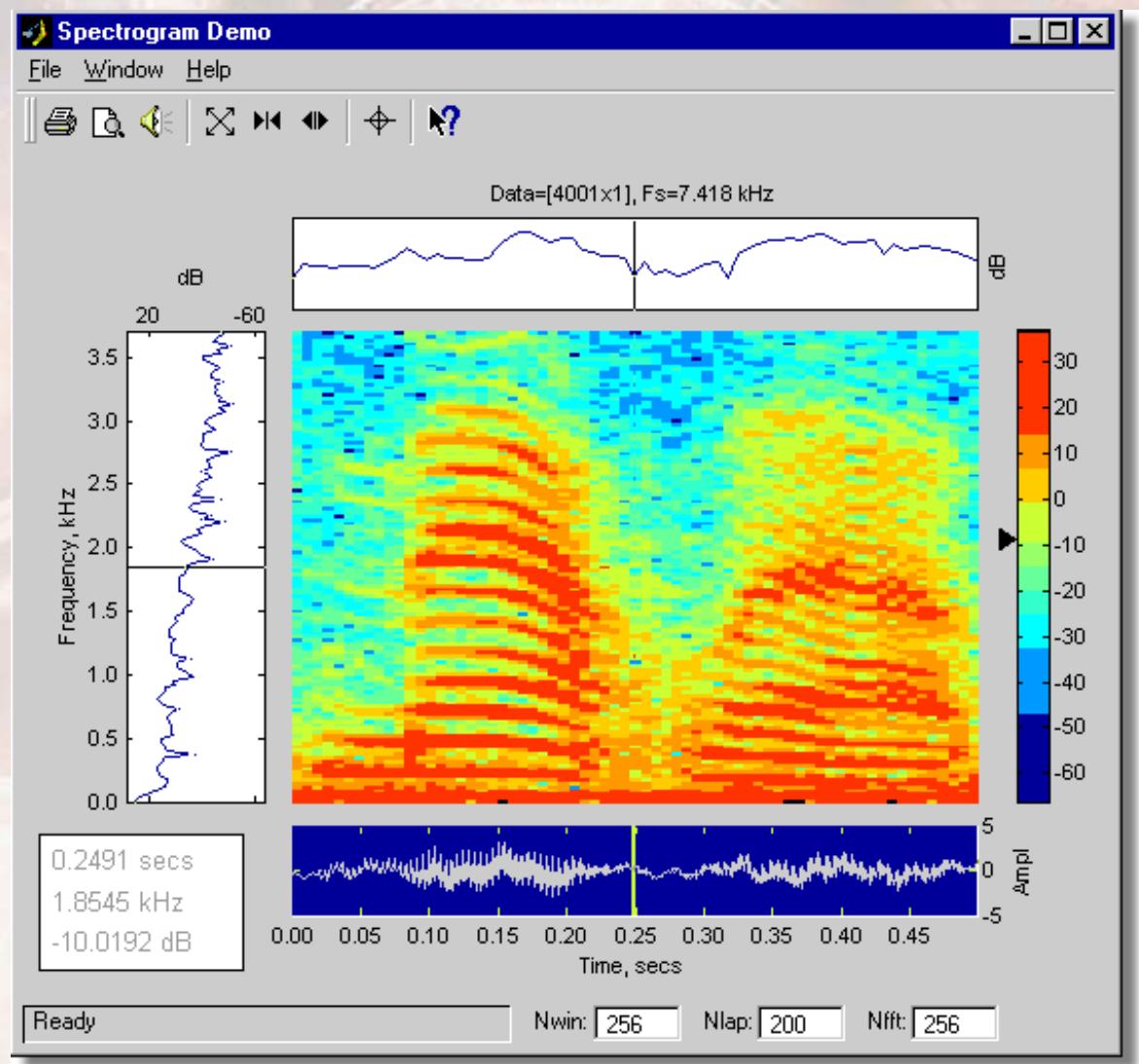


Primjer digitalne obrade audio signala





Primjer digitalne obrade govora





Što smo naučili

- Definicija DOSa
- Analogna obrada signala
- Prednosti DOSa
- Primjeri filtarskih struktura
- DSP procesor
- Programska izvedba filtracije na DSPu
- Mane DOSa
- Ilustracija primjena



Digitalizacija signala – otipkavanje i rekonstrukcija

prof.dr.sc. Davor Petrinović



Digitalizacija signala

- Gotovo svi moderni MM sustavi ulazne signale odmah pretvaraju u digitalni oblik.
- Ključni pojmovi vezani uz proces digitalizacije su:
 - **otipkavanje**, tj. vremenska diskretizacija i
 - **kvantizacija**, tj. amplitudna diskretizacija.
- Nakon digitalizacije sve manipulacije medijskog signala se provode u domeni uzorka signala.





Otipkavanje

- Otipkavanje je postupak kojim se vremenski kontinuiran analogni signal $x(t)$ prevodi u niz analognih uzoraka signala $x[n]$ na pravilnim vremenskim razmacima:
$$x[n]=x(t_n), \text{ gdje je } t_n=nT$$
 - n je cijelobrojni indeks vremenskog uzorka, a
 - T je period otipkavanja, $f_s=1/T$
- Otipkavanje signala se provodi unutar A/D pretvornika (a nekad i ispred njega).



Jednoznačnost vremenski diskretne reprezentacije

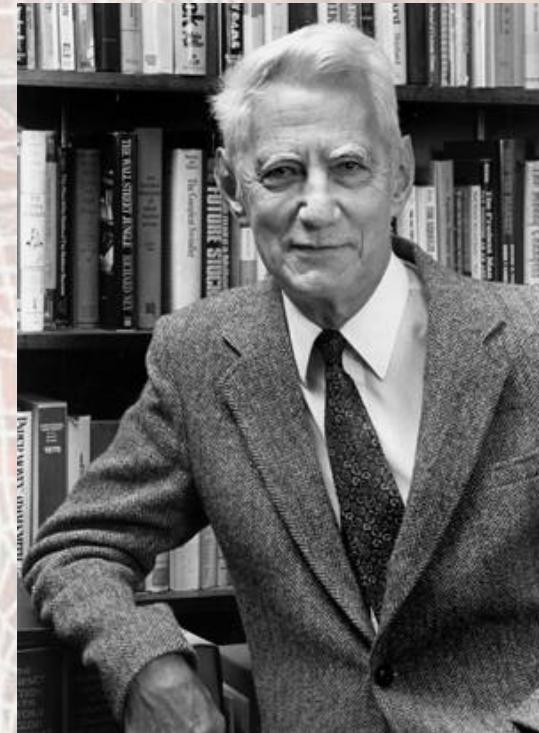
- Da li su ulazni analogni signal $x(t)$ i njegovi uzorci $x[n]$ vezani jednoznačnim preslikavanjem u oba smjera?
 - da li postoje dva različita signala $x(t)$ čijim se otipkavanjem dobivaju isti uzorci $x[n]$?
 - da li je uopće moguće iz uzorka $x[n]$ rekonstruirati polazni signal $x(t)$ bez pogreške?
- Odgovor daje **Nyquist-Shannonov teorem otipkavanja** ...



Tvorci teorema otipkavanja



Harry
Nyquist



Claude E.
Shannon



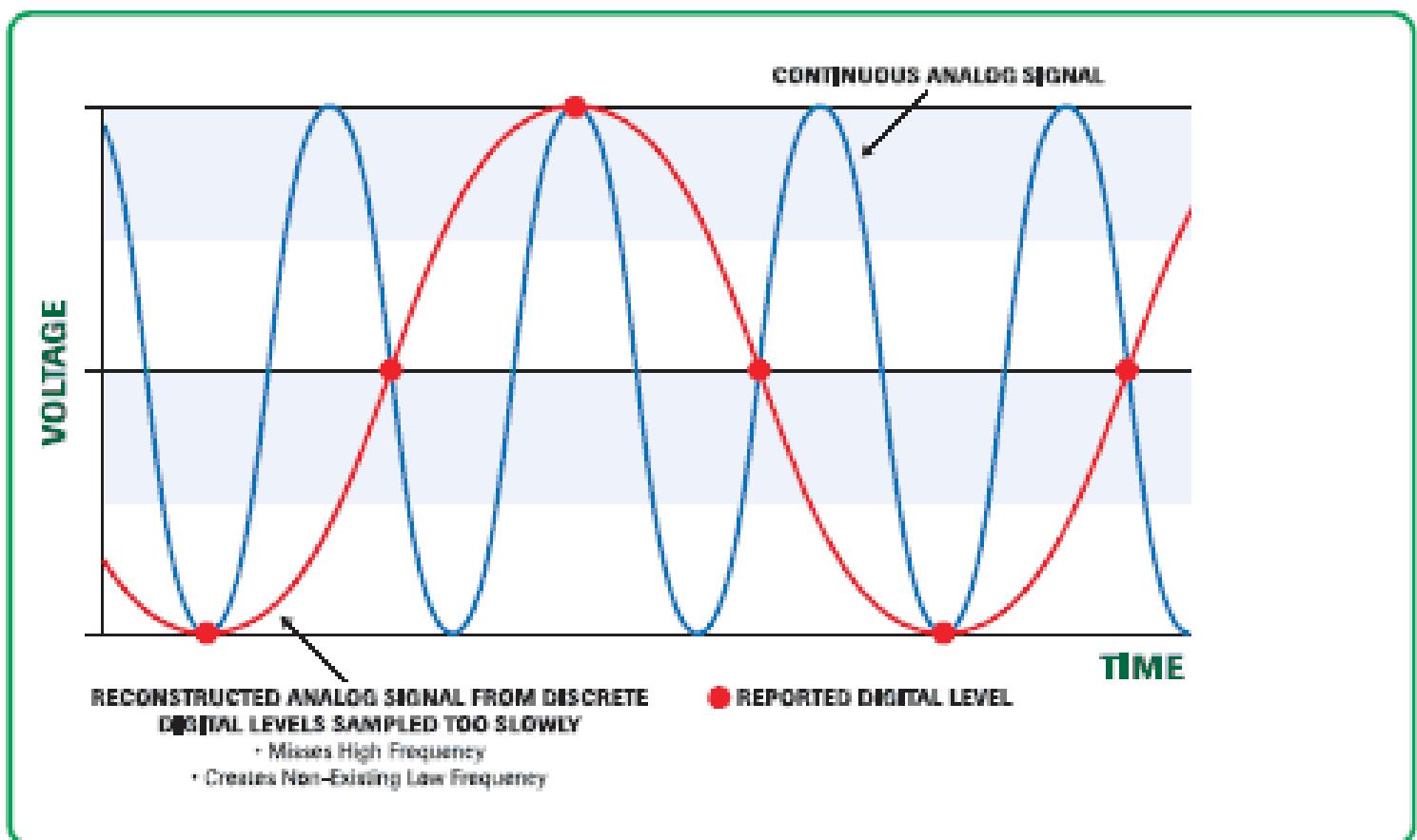
Jednoznačnost vremenski diskretne reprezentacije

- Prema ovom teoremu otipkavanja ... nužan i dovoljan uvjet ispunjenja ove jednoznačnosti jest da ulazni signal bude pojasno ograničen na najvišu frekvenciju od $1/(2T)=f_s/2$ [Hz]
 - signal može imati proizvoljan spektralni sastav, ali mu **niti jedna spektralna komponenta ne smije biti iznad polovice frekvencije otipkavanja.**
- Dakle, uz barem **dva uzorka** po periodi sinusnog signala biti će moguće interpolacijom **savršeno rekonstruirati** polazni signal za svaki vremenski trenutak!



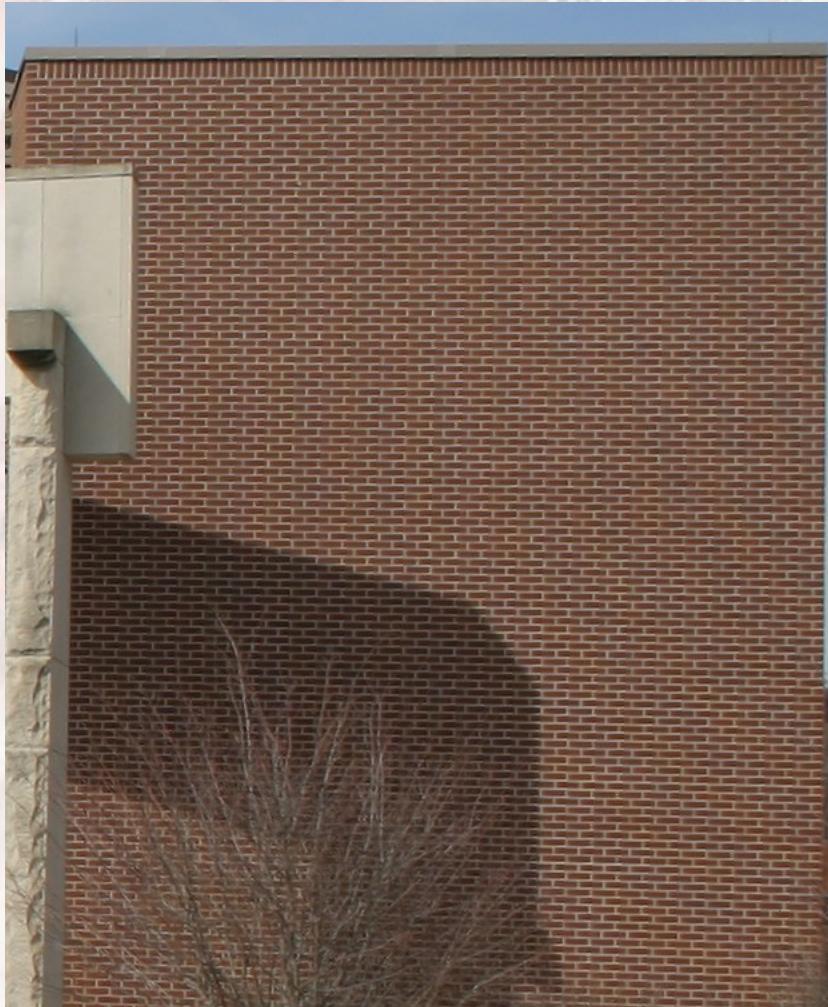
Primjer nedovoljne frekvencije otipkavanja signala

Fig. 3: Aliasing Error – Nyquist Frequency (sampling too slow)





Primjer nedovoljne frekvencije otiskavanja slike



- Original 615 x 750
- Tri puta decimirana slika 205 x 250
- Moiré pattern





Rekonstrukcija signala

- Rekonstrukcija signala je obrnut postupak kojim se iz uzoraka $x[n]$ postupkom interpolacije formira polazni kontinuirani signal $x(t)$.
- Vremenski diskretni niz $x[n]$ pogodno je prikazati signalom u kontinuiranoj domeni $x_s(t)$ koji se sastoji od beskonačne sume pomaknutih Dirac-ovih impulsa pomnoženih uzorcima $x[n]$.

$$\begin{aligned}x_s(t) &= x(t) \cdot T \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT) \\&= T \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(t) \cdot \delta(t - nT) \\&= T \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(nT) \cdot \delta(t - nT) \\&= T \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] \cdot \delta(t - nT)\end{aligned}$$



Rekonstrukcija signala

- Signal $x_s(t)$ ima spektar $X_s(f)$ koji je u području frekvencija $-f_s/2$ do $+f_s/2$ **potpuno jednak** spektru polaznog signala $X(f)$.
- Nažalost, problem je u tome što je spektar $X_s(f)$ beskonačna **periodična funkcija** od f sa periodom f_s , gdje je $f_s=1/T$ frekvencija otipkavanja.
- Uklanjanje neželjenih spektralnih replika može se provesti filtracijom otipkanog signala $x_s(t)$ sa filtrom $h(t)$ čija frekvencijska karakteristika $H(f)$ ima oblik pravokutnika.



Rekonstrukcija signala

- Filter $H(f)$ se naziva idealni rekonstrukcijski filter:

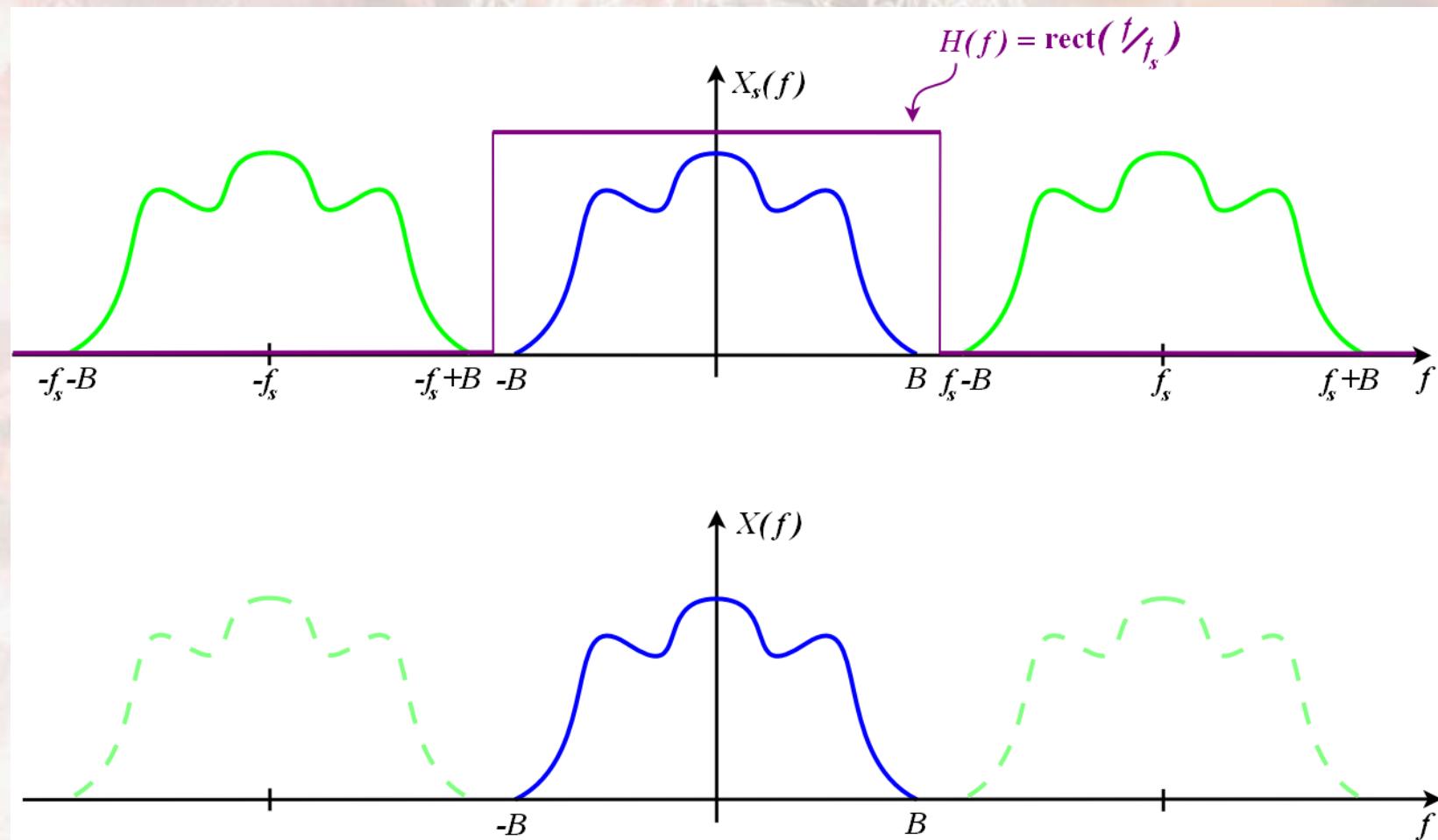
$$H(f) = \text{rect}\left(\frac{f}{f_s}\right) = \begin{cases} 1 & |f| < \frac{f_s}{2} \\ 0 & |f| > \frac{f_s}{2} \end{cases}$$

- Zbog činjenice da će signal rekonstruiran primjenom filtra $H(f)$ na mjestima uzoraka $x(nT)$ biti upravo jedak uzorcima vremenski diskretnog niza $x[n]$, on se još naziva **interpolacijski filter**.



Rekonstrukcija signala

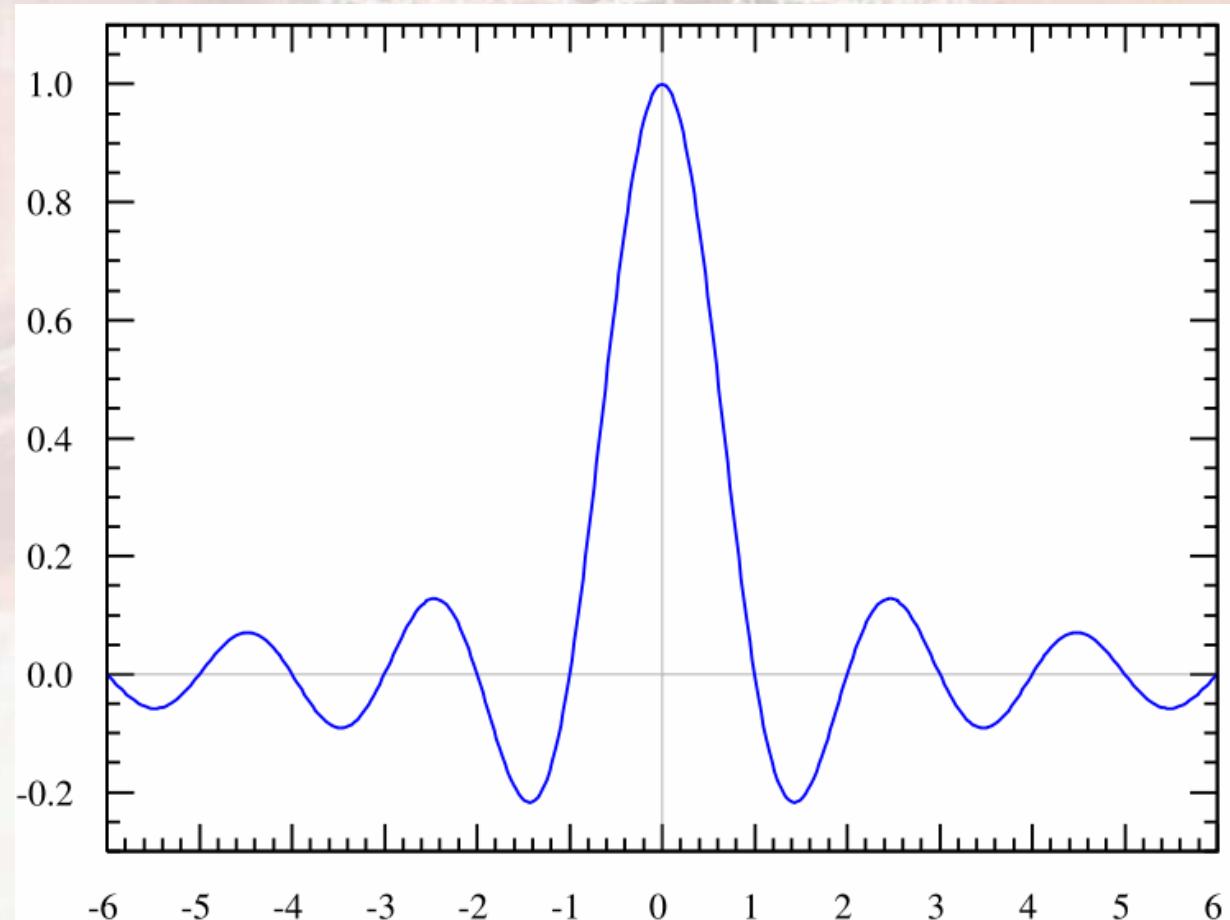
- Djelovanje interpolatora $H(f)$ u frekvencijskoj domeni





Impulsni odziv idealnog interpolatora

- Sinc funkcija za $T=1$ $h(t)=\sin(\pi t)/(\pi t)$





Impulsni odziv idealnog interpolatora

$$\begin{aligned} h(t) &= \mathcal{F}^{-1} \{ H(f) \} \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} H(f) e^{i 2 \pi f t} df \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \text{rect} \left(\frac{f}{f_s} \right) e^{i 2 \pi f t} df \\ &= \int_{-f_s/2}^{f_s/2} e^{i 2 \pi f t} df \\ &= \frac{1}{i 2 \pi t} e^{i 2 \pi f t} \Big|_{-f_s/2}^{f_s/2} \\ &= \frac{1}{\pi t} \frac{(e^{i \pi f_s t} - e^{-i \pi f_s t})}{2i} \\ &= \frac{\sin(\pi f_s t)}{\pi t} \\ &= f_s \text{sinc}(f_s t) \end{aligned}$$

- Postupak interpolacije:

$$\begin{aligned} x(t) &= h(t) * x_s(t), \\ &= h(t) * \sum_{n=-\infty}^{\infty} T \cdot x[n] \cdot \delta(t - nT) \\ &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] \cdot T \cdot [h(t) * \delta(t - nT)] \\ &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] \cdot T \cdot h(t - nT) \\ &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] \cdot (T f_s) \text{sinc}(f_s(t - nT)) \\ &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] \cdot \text{sinc}\left(\frac{t - nT}{T}\right) \end{aligned}$$



Rekonstrukcija signala

- U stvarnim MM sustavima, postupak rekonstrukcije se provodi u **D/A pretvorniku**.
- Zbog nekauzalnosti sinc funkcije, stvari interpolatori mogu **samo aproksimirati** idealni interpolacijski filter $H(f)$.
- Značajni iskorak u točnosti aproksimacije ostvaren je primjenom **postupaka pretipkavanja** (engl. *oversampling*) u izvedbi A/D i D/A pretvornika, a posebice primjenom struktura temeljenih na **Delta-Sigma modulatoru**.



Što smo naučili

- Otipkavanje signala
- Frekvencija otipkavanja
- Uvjet jednoznačnosti otipkavanja
- Nyquist-Shannon teorem otipkavanja
- Pogreška nedovoljne frekvencije otipkavanja
- Rekonstrukcija signala
- Interpolacijski / rekonstrucijski filter
- Idealna rekonstrukcija – sinc filter
- D/A pretvarači



Digitalizacija signala - kvantizacija

prof.dr.sc. Davor Petrinović



Kvantizacija signala

- Proces kojim se analogni uzorci signala beskonačne preciznosti pretvaraju u brojeve diskretnih vrijednosti.
- Kod MM sustava kvantizacija se tipično provodi na dvije razine:
 - direktно **nakon otiskavanja** u sklopu A/D pretvorbe ulaznog signala i
 - **u okviru postupaka kodiranja** signala s gubitcima, gdje se digitalni signal dodatno transformira u svrhu sažimanja (kompresije).



Kvantizacija signala

- Za sada baviti ćemo se isključivo ovim prvim tipom kvantizacije u sklopu A/D pretvornika.
- Rezultat ove kvantizacije je digitalni medijski signal nominalne (potpune) točnosti, koji se naziva engl. ***raw signal***.
- Ovaj signal se postupcima kodiranja prevodi u tzv. kodirani oblik (engl. ***encoded signal***) iz kojega je ovisno o koderu moguće ili približno ili savršeno točno rekonstruirati polazni signal nominalne točnosti.



Kvantizacija signala

- Najčešći tip kvantizatora koji se koristi u sklopu A/D pretvornika MM sustava je linearni ili uniformni kvantizator:
 - to znači da je razmak kvantizacijskih nivoa Δ jednak, tj.
 - između amplitude ulaznog signala i izlaznih kodova vrijedi približno linearna zavisnost.
- Operacija uniformne kvantizacije se može matematički zapisati na slijedeći način:

$$x_q = \Delta \cdot \text{round}(x / \Delta)$$



Kvantizacija signala

- Čest naziv za ovaj tip reprezentacije analognog signala je **linearni PCM**, gdje je PCM kratica za pulsno-kodnu modulaciju od engl. **Pulse Code Modulation**.
- Naziv je nasljeđen iz prošlosti, kada su se kao alternativa PCM reprezentaciji razmatrali i:
 - pulsno-amplitudna modulacija, PAM
 - pulsno-širinska modulacija, PWM
 - pulsno-pozicijska modulacija, PPM
 - sigma-delta modulacija, $\Sigma\Delta$
 - adaptivna-delta modulacija, ADM



Kvantizacija signala

- Međutim, fizički ostvariv uniformni kvantizator je karakteriziran sa dva osnovna parametra:
 - razmak kvantizacijskih nivoa, Δ
 - ali i ukupan broj kvantizacijskih nivoa, N .
- Raspon od najmanjeg do najvećeg ulaznog napona jednak je produktu $N\Delta$
 - i naziva se **ulazna dinamika A/D pretvornika.**



Preuzbuda kvantizatora

- Signal po amplitudi i istosmjernom pomaku (engl. offset) mora biti prilagođen ulaznoj dinamici pretvornika:
 - A/D pretvornik ne može reprezentirati vrijednosti ulaznog napona van ovog raspona.
 - Pojavu izlaska iz dinamike nazivamo **zasićenjem, saturacijom ili preuzbudom**.
 - Do pojave dolazi bilo ispod najnižeg ulaznog napona koji odgovara kôdu 0, ili pak iznad najvišeg ulaznog napona, koji odgovara kôdu $N-1$.



Kvantizacija signala

- Zbog razloga izvedbe, broj nivoa kvantizatora u A/D pretvorniku je u pravilu potencija broja 2, ...
 $N=2^b$
 - Izlazna vrijednost se stoga može prikazati kao b -bitni binarni broj.
- Širina izlaznog podatka b se još naziva **rezolucijom** A/D pretvornika.
- U slučaju da je ulazna dinamika A Volti, tada je razmak dva susjedna kvantizacijska nivoa jednak $\Delta=A\cdot2^{-b}$. Ovaj korak kvantizacije definira tzv. **granulacijsku** pogrešku kvantizatora.



Kvantizacija signala

- U sustavima za digitalnu obradu signala često se koriste pretvornici prilagođeni za **bipolarne signale**
- Kod njih je ulazna dinamika simetrična oko nule $+/- A/2$
- Izlazni kôd bipolarnih pretvornika se u pravilu prikazuje u zapisu b -bitnog **dvojnog komplementa**
 - ulazni napon 0V daje kôd 0,
 - ulazni napon $-A/2$ daje najnegativniji kôd $-2^{(b-1)}$,
 - dok ulazni napon $(2^{(b-1}-1)/(2^b)*A$ daje kôd $2^{(b-1}-1$
- Npr. 8-bitni pretvornik ima kôdove od -128 do 127



Kvantizacija signala

- Rezolucija direktno ograničava točnost A/D pretvornika ...
 - jer će svi ulazni naponi čije je absolutno odstupanje od i -tog kvantizacijskog nivoa manje od polovice koraka $\Delta/2=(A \cdot 2^{-b})/2$ biti reprezentirani s istim izlaznim kôdom ($i-1$).
- U tom smislu, operacija kvantizacije je izrazito nelinearna i nema svoj inverz ... jednom kvantizirani signal se više nikako ne može popraviti (dekvantizirati)!



Kvantizacijska pogreška

- U svrhu objektivne ocjene kvantizacijske pogreške pogodno je odrediti omjer varijance signala σ_x^2 i varijance kvantizacijske pogreške σ_e^2 .
- Uzorke signala $x[n]$ možemo promatrati kao realizaciju slučajnog procesa x .
- Također, uzorke pogreške kvantizacije $e[n] = x[n] - x_q[n]$ možemo promatrati kao realizaciju procesa e .



Kvantizacijska pogreška

- varijance tada nalazimo kao:
- ... $\sigma_x^2 = E((x-E(x))^2)$
 $\sigma_e^2 = E((e-E(e))^2)$
- Operator $E(\cdot)$ je operator statističkog očekivanja.
- Pogreška kvantizacije e je uvijek unutar jednog kvantizacijskog intervala $\pm \Delta/2$.
- Određivanje statističkog očekivanja pretpostavlja poznavanje funkcija gustoće vjerojatnosti za procese x i e označene sa $f_x(x)$ i $f_e(e)$, engl. **pdf – probability density function**.



Kvantizacijska pogreška

- $f_x(x)$ ovisi o ulaznom signalu, dok gustoća vjerojatnosti pogreške $f_e(e)$ ovisi o parametrima kvantizatora, ali i o ulaznom signalu iz kojeg je nastala.
- Često se pretpostavlja da su procesi x i e statistički nezavisni što značajno olakšava analizu.
- Također, često se pretpostavlja da proces e ima uniformnu gustoću vjerojatnosti na intervalu $\pm\Delta/2$, tj. da su sve pogreške u tom intervalu jednako vjerojatne, što je razuma pretpostavka za veliki N
- ... $f_e(e) = 1/\Delta$



Kvantizacijska pogreška

- Uz uniformnu razdiobu pogreške, očekivanje kvantizacijske pogreške je zbog simetrije jednako nuli, tj. kvantizator nije pristran:

$$\begin{aligned} E(e) &= \int_e e \cdot f_e(e) \cdot de \\ &= \frac{1}{\Delta} \int_{-\Delta/2}^{\Delta/2} e \cdot de = 0 \end{aligned}$$

- Radi jednostavnosti, može se pretpostaviti da i ulazni signal ima nultu srednju vrijednost $E(x)=0$



Kvantizacijska pogreška

- izrazi za varijance se stoga pojednostavljaju na: ... $\sigma_x^2 = E(x^2)$,
 $\sigma_e^2 = E(e^2)$
i odgovaraju energijama signala i pogreške.
- Varijanca pogreške uz uniformni $f_e(e)$ je stoga:

$$\begin{aligned}\sigma_e^2 &= E(e^2) = \int_e e^2 \cdot f_e(e) \cdot de = \frac{1}{\Delta} \int_{-\Delta/2}^{\Delta/2} e^2 \cdot de \\ &= \frac{1}{\Delta} \frac{e^3}{3} \Big|_{-\Delta/2}^{\Delta/2} = \frac{\Delta^2}{12}\end{aligned}$$



Kvantizacijska pogreška

- Kao prvi primjer, odaberimo ulazni signal $x[n]$ u obliku kosinusnog signala najveće dozvoljene amplitude $A/2$:

$$x[n] = \frac{A}{2} \cos(\omega_0 n)$$

- Argument $\phi = \omega_0 n$ možemo tretirati kao slučajnu varijablu sa uniformnom gustoćom vjerojatnosti $f_\phi(\phi) = 1/(2\pi)$ na intervalu $[0, 2\pi]$, a x kao slučajni proces u varijabli ϕ : $x = A \cos(\phi)/2$.
- Odredimo sada varijancu procesa x ...



Kvantizacijska pogreška

- varijanca slijedi kao:

$$\begin{aligned}\sigma_x^2 &= E(x^2) = \int_{\phi} x(\phi)^2 f_{\phi}(\phi) d\phi = \frac{A^2}{4 \cdot 2\pi} \int_0^{2\pi} \cos(\phi)^2 d\phi = \\ &= \frac{A^2}{8\pi} \int_0^{2\pi} \left(\frac{1}{2} + \frac{\cos(2\phi)}{2} \right) d\phi = \frac{A^2}{8}\end{aligned}$$

- Izrazimo li sada ulaznu dinamiku A kao $A=2^b\Delta \dots$

$$\sigma_x^2 = \frac{2^{2b} \Delta^2}{8}$$



Kvantizacijska pogreška

- ... konačno možemo odrediti traženi kvocijent varijanci, koji se najčešće prikazuje u logaritamskoj mjeri izražen u decibelima:

$$\begin{aligned} SQNR(b) &= 10 \log_{10} \frac{\sigma_x^2}{\sigma_e^2} = 10 \log_{10} \frac{\frac{2^{2b} \Delta^2}{8}}{\frac{\Delta^2}{12}} = \\ &= 20b \log_{10} 2 + 10 \log_{10} \frac{3}{2} \\ &= 6.02 \cdot b + 1.76 \text{ [dB]} \end{aligned}$$



Kvantizacijska pogreška

- Veličina $SQNR(b)$ predstavlja logaritamski odnos nivoa signala i nivoa kvantizacijske pogreške, a kratica $SQNR$ dolazi od engleskog naziva: ***Signal-to-Quantization-Noise-Ratio.***
- Izraz pokazuje da se kvantizacijska pogreška **smanjuje za 6dB za svaki dodatni bit rezolucije kvantizatora!**
- Offset afine funkcije modela kvantizacijske pogreške ovisi o svojstvima signala i njegove *pdf* funkcije $f_x(x)$, a za kosinusni signal iznosi 1.76dB.



Kvantizacijska pogreška

- Pretpostavimo da ulazni signal proizvoljnog valnog oblika ima poznatu varijancu σ_x^2 , odnosno odgovarajuću efektivnu vrijednost σ_x
- Ako želimo spriječiti izlazak iz dinamike A/D pretvornika, tada vršna vrijednost ovog signala ne smije biti viša od $A/2$.
- Kvocijent vršne i efektivne vrijednosti signala poznat je kao **tjemeni faktor** δ (engl. *crest factor*):

$$\delta = \frac{A/2}{\sigma_x}$$



Kvantizacijska pogreška

- Ulazna dinamika kojom se izbjegava zasićenje je stoga: $A = 2\delta\sigma_x$, pa kvantizacijski korak mora biti:
$$\Delta = 2\delta\sigma_x \cdot 2^{-b}$$
- Odatle možemo direktno odrediti odnos SQNR:

$$\begin{aligned} SQNR(b) &= 10 \log_{10} \frac{\sigma_x^2}{\sigma_e^2} = 10 \log_{10} \frac{\sigma_x^2}{\frac{4\sigma_x^2\delta^2}{12} 2^{-2b}} = \\ &= 20b \log_{10} 2 + 10 \log_{10} \frac{3}{\delta^2} \end{aligned}$$



Kvantizacijska pogreška

- Dobiveni izraz identičan je primjeru za kosinusni signal, osim za offset modela koji je sada ovisan o tjemenom faktoru δ .
- Za kosinusni signal, faktor δ iznosi $\sqrt{2}$, pa je očito da smo dobili očekivani rezultat.
- Faktor δ ograničen je odozdo s minimalnom vrijednosti $\delta=1$ za pravokutni (ili DC) signal, za koji se postiže najviši SQNR za odabrani b .
- Najveće probleme kvantizatoru zadaju signali sa velikim “pikovima”, a malom energijom (velik δ).



Primjer procesa digitalizacije

- Ulazni signal kosinusnog oblika $x[n]=A/2\cos(\omega_0 n)$
 - dinamika pretvornika $A=1$,
 - slučajno odabrana frekvencija ω_0 u intervalu 0 do 1,
 - trajanje signala $\frac{1}{2}$ sekunde,
 - frekvencija otipkavanja $fs=8000$ Hz.
- Provedimo:
 - otipkavanje signala,
 - kvantizaciju sa rezolucijom b bita, ($b=4, 8$ i $1-16$)
 - približnu rekonstrukciju signala,
 - te odredimo stvarni i očekivani SQNR.



Simulacija kvantizacije u Matlabu

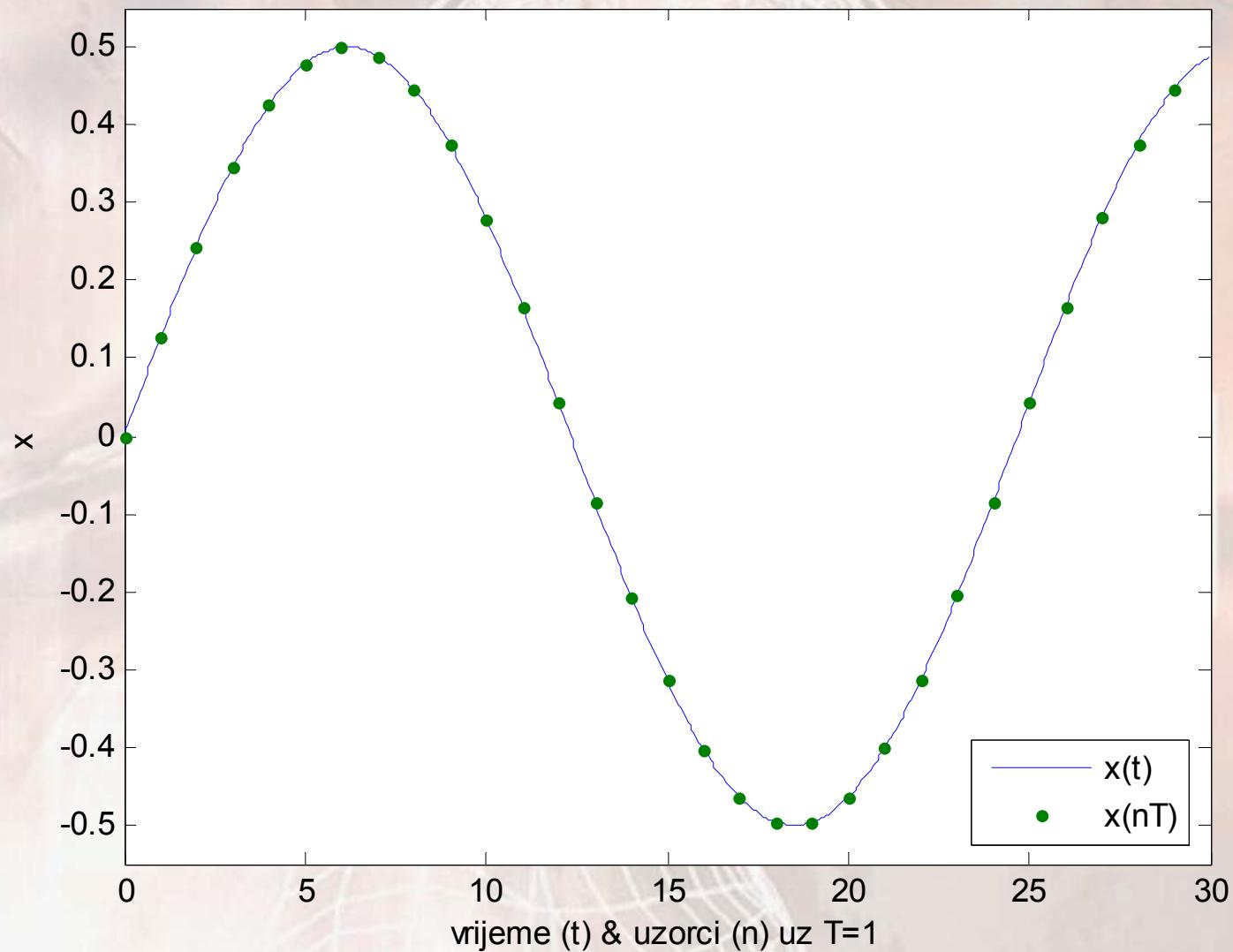
```
fs=8000;          % frekvencija otipkavanja
N=fs/2;           % broj uzoraka signala od 1/2 sec
n=[0:N-1];        % vremenska os
A=1;              % dinamika pretvornika

while (1)         % ponavljam za razne frekvencije
    w=rand;        % slucajna frekvencija (0..1 [rad])
    y=A/2*cos(w*n); % vrem. diskretni signal
    bv=[1:16];      % za cijeli niz rezolucija
    for b=bv,        % za sve rezolucije
        D=A*2^-b;    % razmak kvant. nivoa
        yq=D*round(y/D); % simuliraj kvantizaciju
        er=y-yq;       % pogreska kvantizatora
        E_er=mean(er.^2); % ocekivanje kvadrata pogreske
        E_y=mean(y.^2);  % ocekivanje kvadrata signala
        SNR(b)=10*log10(E_y/E_er); % Odnos signal sum [dB]
    end;             % od petlje po rezolucijama
    % Ocekivani odnos signal sum za zadanu rezoluciju
    SNR_oc=20*bv*log10(2) - 10*log10(2/3);
end;
```



Primjer 1 - otipkavanje

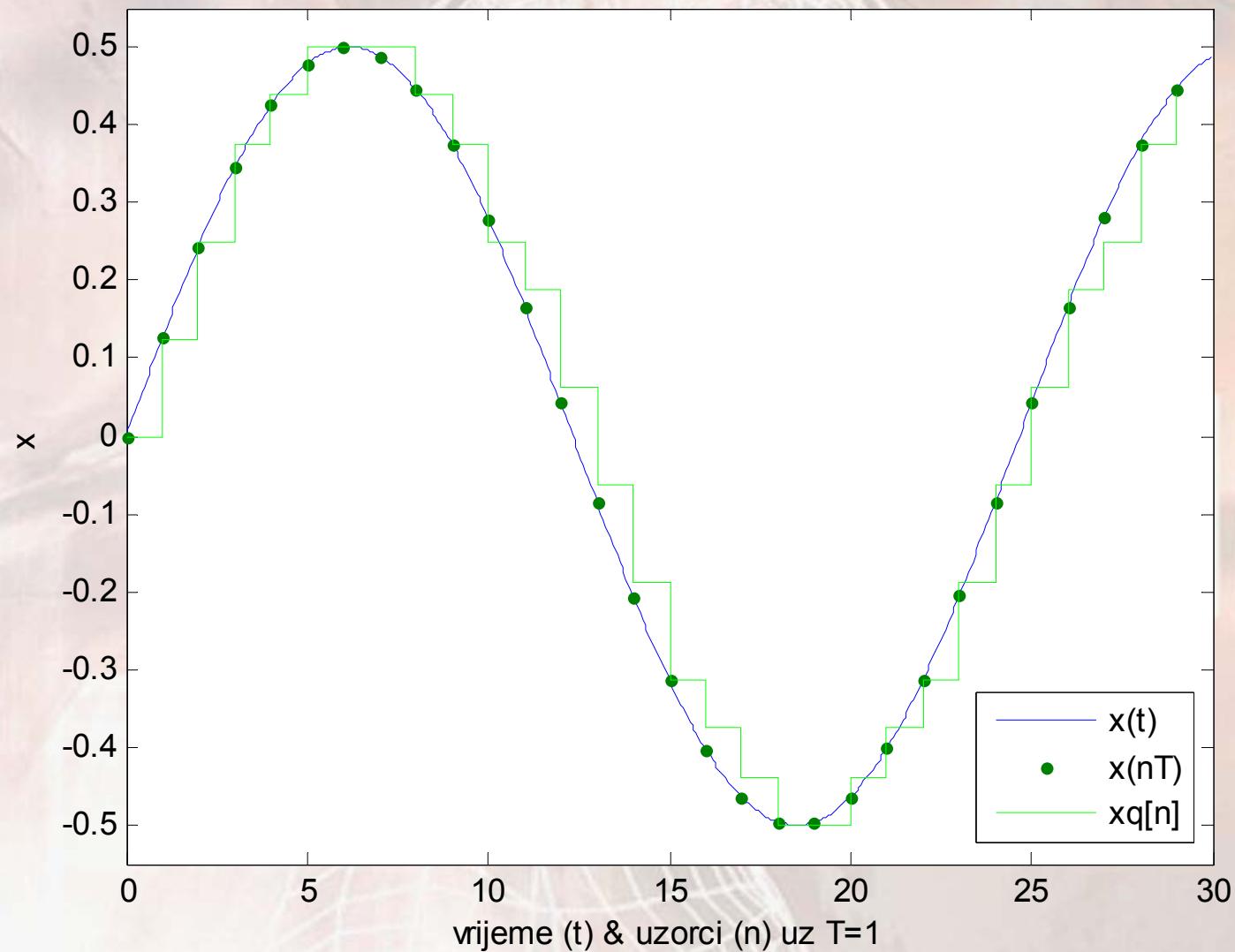
Originalni signal $x(t)$ i uzorci $x(nT)$





Primjer 1 – kvantizacija, $b=4$

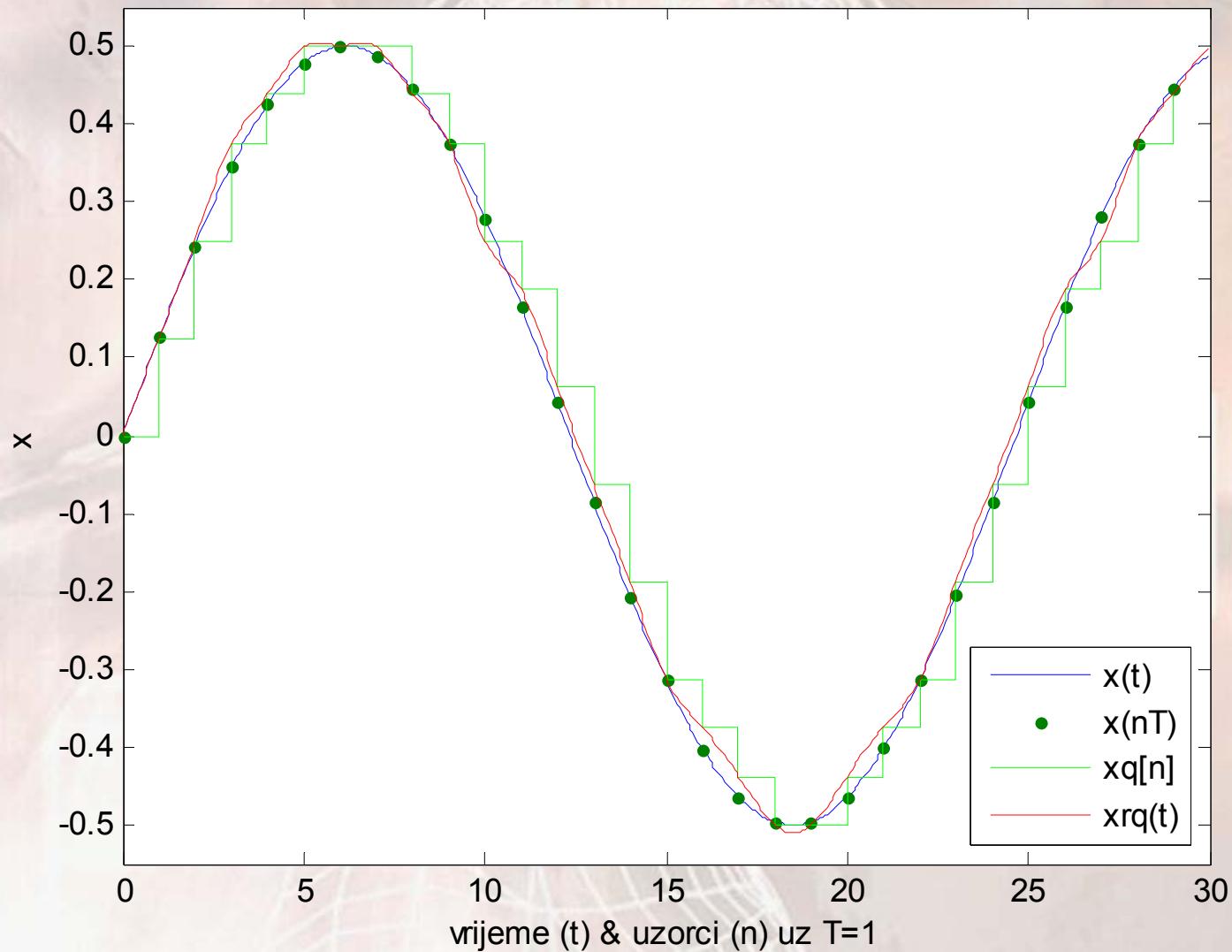
Originalni signal $x(t)$, uzorci $x(nT)$ i kvantizirani signal $xq[n]$





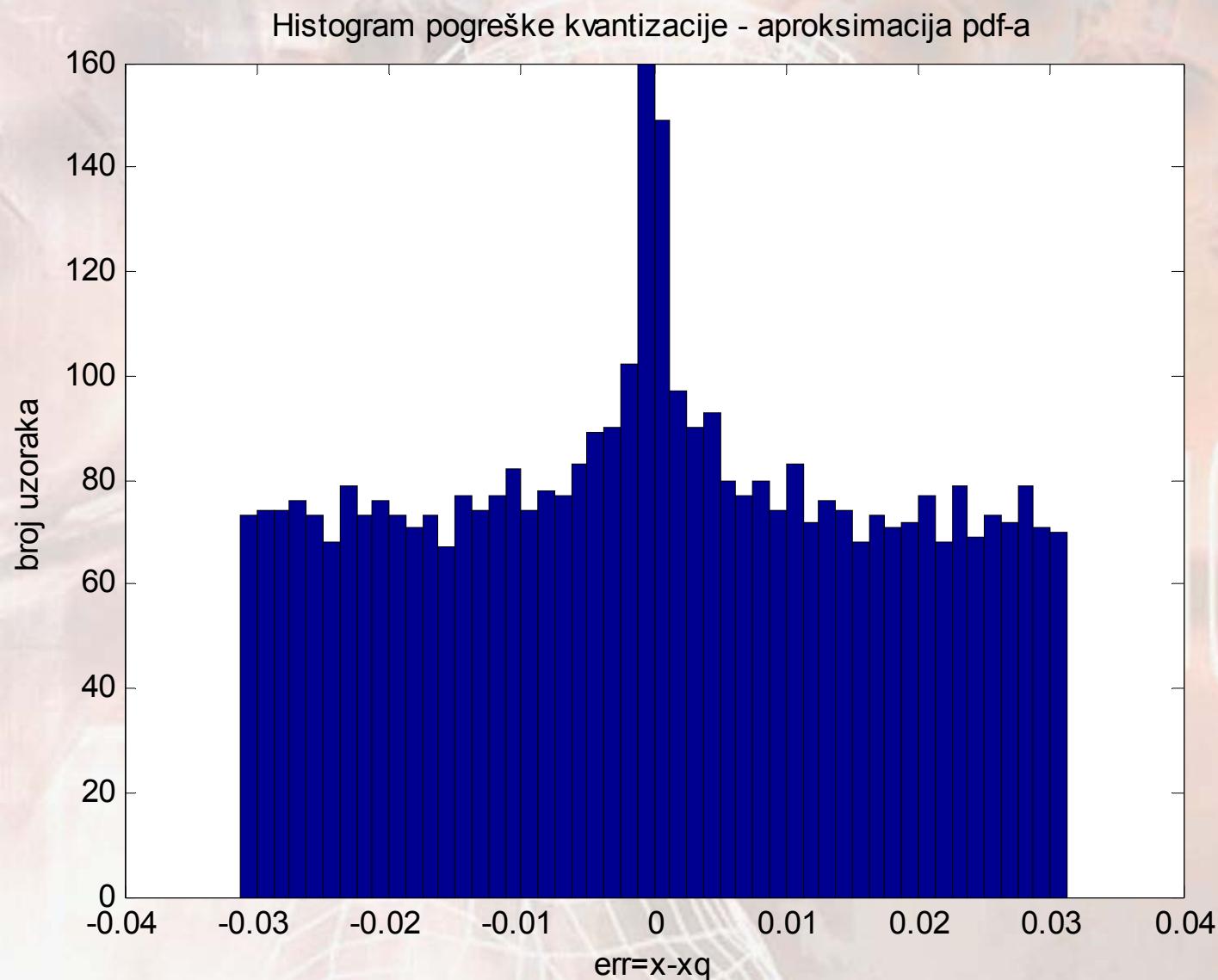
Primjer 1 – rekonstrukcija, $b=4$

Originalni signal $x(t)$, uzorci $x(nT)$, kvantizirani signal $xq[n]$ i rekonstrukcija $xrq(t)$





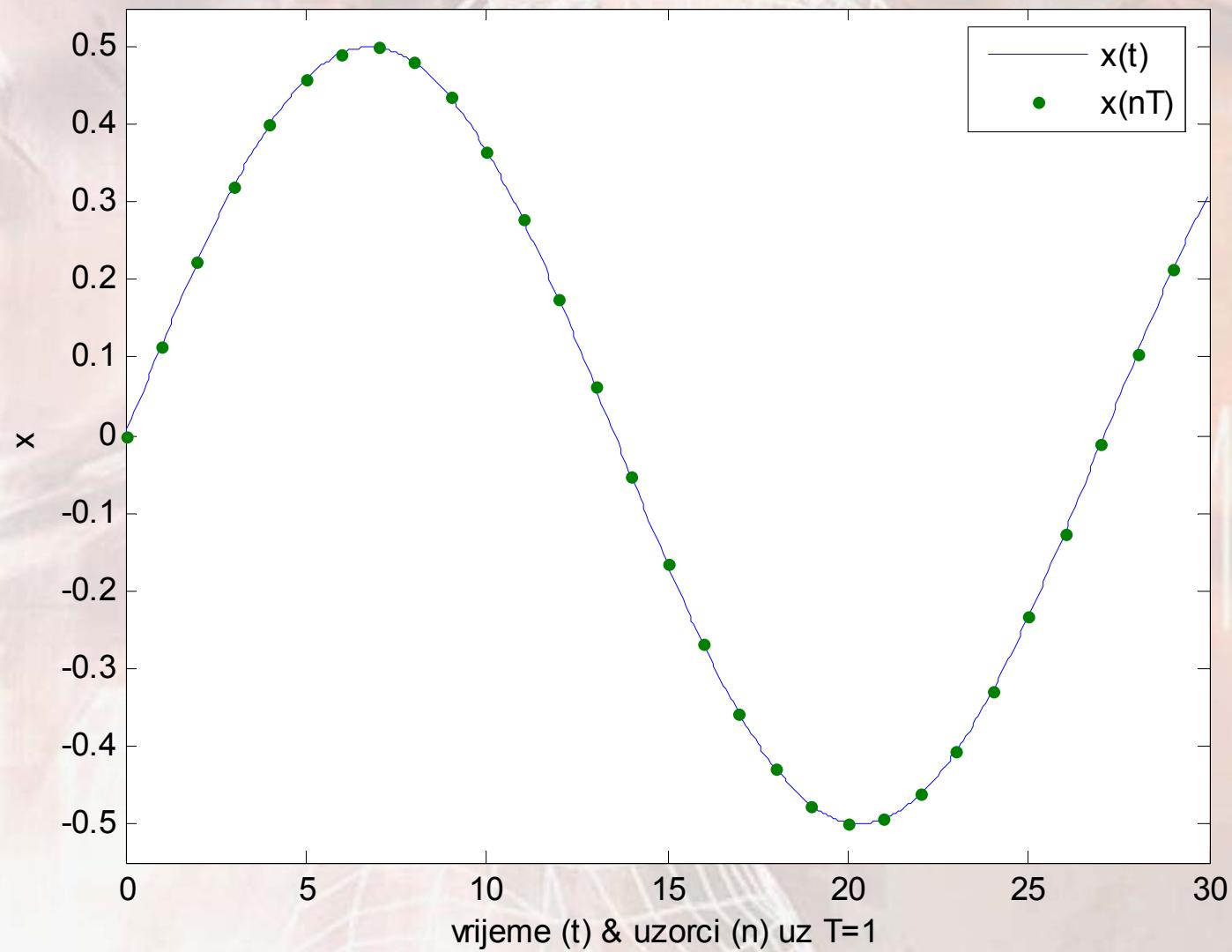
Primjer 1 – kvantizacija, $b=4$





Primjer 2 - otipkavanje

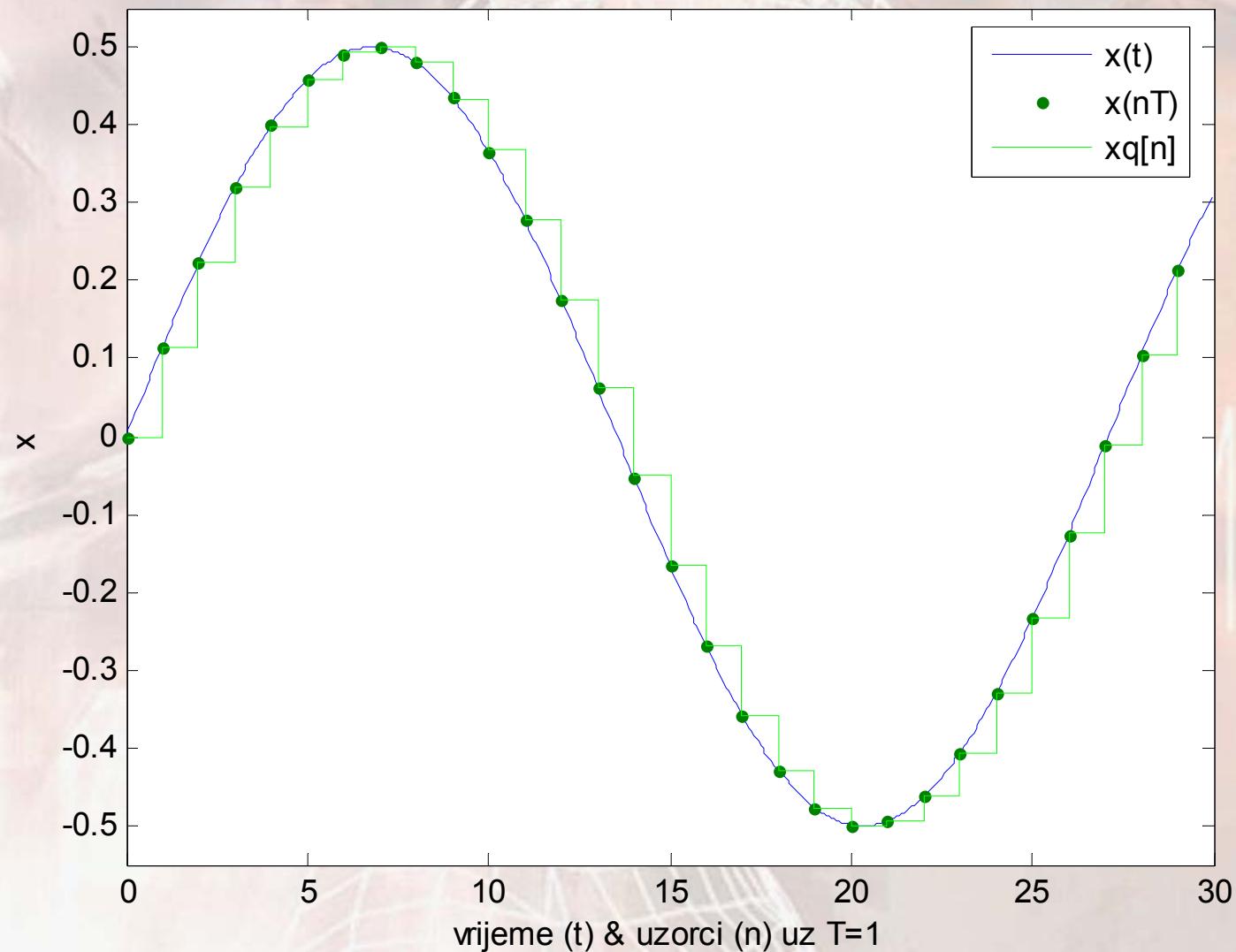
Originalni signal $x(t)$ i uzorci $x(nT)$





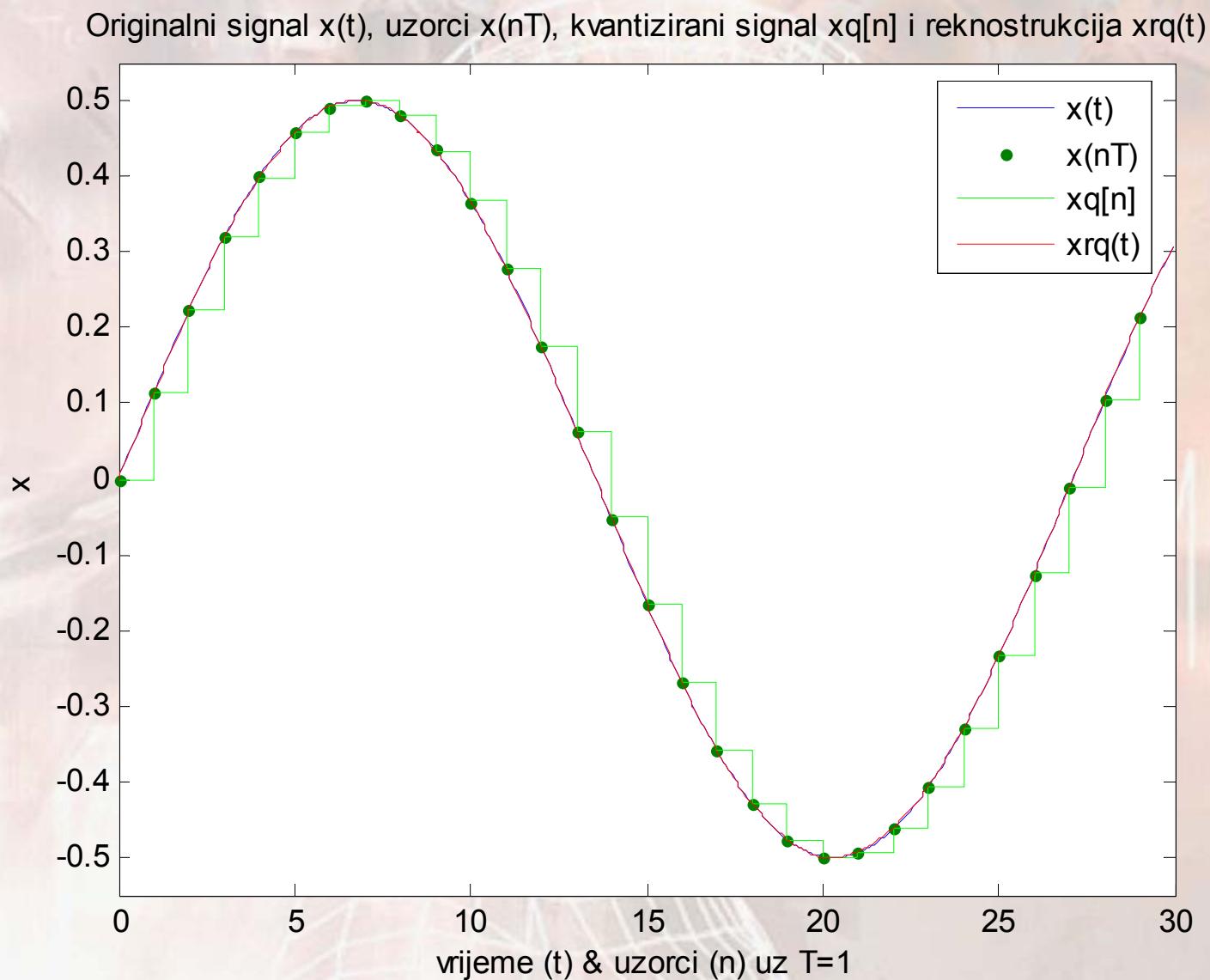
Primjer 2 – kvantizacija, $b=8$

Originalni signal $x(t)$, uzorci $x(nT)$ i kvantizirani signal $xq[n]$



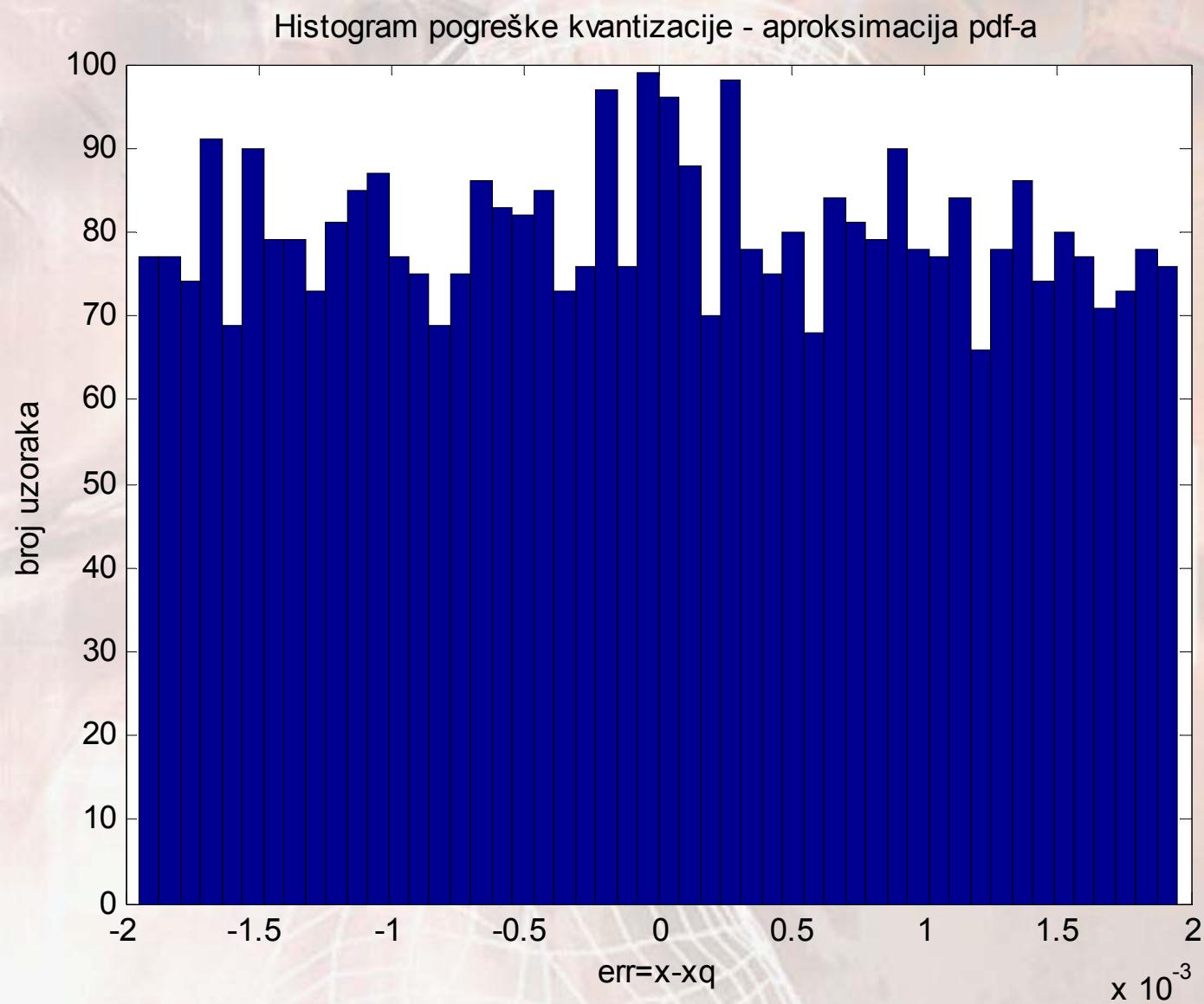


Primjer 2 – rekonstrukcija, b=8



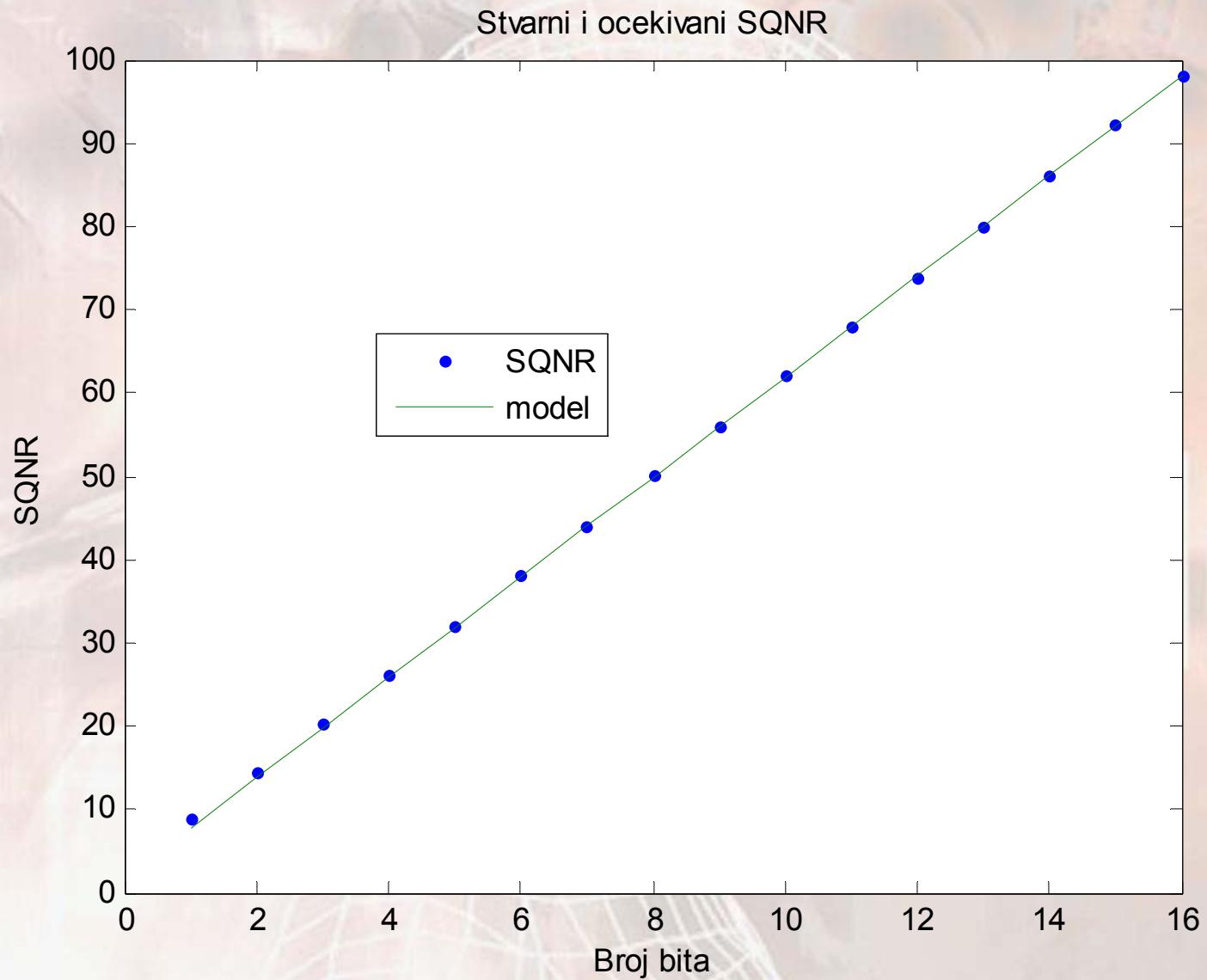


Primjer 2 – kvantizacija, $b=8$





Primjer 3 – kvantizacija, $b=1$ do 16





Diskusija

- Model iznimno dobro predviđa SQNR za veći broj bita b .
- Također, histogram pogreške kvantizacije je bliži pretpostavljenoj uniformnoj razdiobi za veći broj b .
- Pokazuje se da se za veće rezolucije, ponašanje kvantizatora može vrlo precizno predvidjeti odgovarajućem analitičkim modelom.
- Ovo je osnova za teoriju kvantizacije visoke točnosti, koja se u originalu naziva engl. ***High-rate quantization theory.***



Što smo naučili

- Što je kvantizacija
- Uniformni kvantizator, linearni PCM
- Korak kvantizacije, rezolucija, dinamika
- Bipolarni kvantizatori, izalzni kodovi
- Točnost A/D pretvorbe
- Kvantizacijska pogreška
- Statistička analiza pogreške kvantizacije
- Odnos signal – kvantizacijski šum
- Model kvantizacijske pogreške
- Primjeri kvantizacije



Tok podataka medijskih signala – format nominalne točnosti

prof.dr.sc. Davor Petrinović



Tok podataka

- Promotrimo tok podataka medijskih signala nominalne točnosti, engl. ***raw signal data rate*** za pojedine tipove signala.
- Tok podataka R mjeri se kao broj bita (ili byte-a) po sekundi medijskog signala ili po jednom medijskom objektu.
- Kod jednodimenzionalnih signala, tok podataka jednak je produktu rezolucije A/D pretvornika i frekvencije otipkavanja:
 - $R=b \cdot f_s$ [bit/s].



Tok podataka

- Kod dvodimenzionalnih signala pored amplitudne rezolucije pojedinog uzorka definiramo i **prostornu rezoluciju**, tj. dimenziju $M \times N$ matrice osnovnih elemenata slike koji se zovu **pixeli**.
- Za monokromatske fotografije, tok podataka mjerimo kao ukupni broj bita za jednu sliku:
 - ... $R = b \cdot M \cdot N$ [bita/slici],
 - dok za monokromatski video signal, ovu mjeru množimo i sa brojem slika u sekundi f_r (engl. **frame rate**):
 - ... $R = b \cdot M \cdot N \cdot f_r$ [bita/s].



Višekanalni signali

- Postoje i višekanalni medijski signali.
 - Stereo audio signal ima dva kanala, dok prostorni 5.1 audio signal ima ukupno 6 paralelnih kanala.
 - Slike u boji i video signal u boji također koriste više kanala za opis boje. U pravilu se koriste tri kanala za svaki pixel, a najčešća reprezentacija je u **RGB** (engl. *Red-Green-Blue*) prostoru boja.
- Kod višekanalnih signala podatkovni tok se mora dodatno množiti i sa brojem korištenih kanala C .



Potrebna amplitudna i vremenska rezolucija

- Potrebna amplitudna rezolucija određena je svojstvima signala, ali što je još važnije:
 - **perceptualnim značenjem kvantizacijske pogreške.**
- Analogno tome, frekvencija otiskivanja određena je najvišom **precepcijiski značajnom frekvencijom** sadržanom u signalu.
- Zbog tržišnog natjecanja, proizvođači nastoje povećati i amplitudnu rezoluciju i frekvenciju otiskivanja čak i daleko iznad percepcijiski utemeljenih pragova!



Potrebna amplitudna rezolucija

- Pri diskusiji potrebne amplitudne rezolucije, potrebno je u analizu uključiti i druge izvore pogrešaka:
 - šum u samom ulaznom signalu,
 - šum u senzoru MM signala,
 - šum ubačen u postupku pred-obrade analognog signala,
 - nelinearnosti svih ulaznih krugova i A/D pretvornika,
 - preslušavanje s drugih izvora signala.
- Da bi visoka rezolucija pretvornika imala smisla, zbirno djelovanje svih navedenih utjecaja mora biti manje od polovice kvantizacijskog koraka!



Potrebna amplitudna rezolucija

- Za ilustraciju, ... suvremenici A/D pretvornici za snimanje audio signala na PC računalu podržavaju amplitudnu rezoluciju od $b=24$ bita po uzorku.
- Za ulazni napon standardne razine od 1V, kvantizacijski korak 24-bitne rezolucije iznosi $0.1\mu V$, što je čak nekoliko redova veličine ispod tipičnog iznosa prije nabrojanih pogrešaka!
- Korisnik može biti jako sretan, ako značajnijih 16 bita ove 24-bitne riječi uistinu nosi korisnu informaciju o ulaznom audio signalu ☺



Potrebna vremenska rezolucija

- Za isti primjer, suvremenih A/D pretvornici za audio signal koriste frekvenciju otiskavanja od 192k uzoraka po sekundi.
- Takvi pretvornici na svom izlazu mogu generirati visokokvalitetan analogni signal širine pojasa od barem $0.8*f_s/2$, što iznosi oko 77kHz.
- Napomenimo da čak i mlade osobe iznimnog sluha teško čuju signale čija je frekvencija viša od 16kHz.
- Očito je da i ovdje postoji barem peterostruka redundancija u vremenskoj rezoluciji!



Potrebna vremenska rezolucija

- Signal iz D/A pretvornika ima još dalek put do uha slušača:
 - izlazni krugovi zvučne kartice,
 - kablovi koji vode signal do audio pojačala,
 - ulazni krugovi audio pojačala,
 - pojačalo snage,
 - zvučnički kablovi,
 - zvučnička skretnica,
 - sami zvučnici zajedno sa zvučničkom kutijom,
 - i konačno sam akustički prostor reprodukcije.



Potrebna vremenska rezolucija

- Svaki element ovog puta signala sa svojim linearnim i nelinearnim svojstvima utječe na kvalitetu reproduciranog signala.
- Najznačajniji je utjecaj frekvencijskih karakteristika pojedinih elemenata, čija gornja granična frekvencija mora biti barem red veličine viša od najviše frekvencije signala 77kHz.
- Ovakva svojstva ispunjava samo specifična visoko-profesionalna audio oprema.
- Postavlja se i pitanje opravdanosti i sigurnosti takve reprodukcije, sa stanovišta ultrazvučnog onečišćenja!



Tok podataka

- Kao primjer medijskog signala izuzetno visokog podatkovnog toka, promotrimo **Full-HD video signal.**
- Sa stanovišta uređaja za prikaz (Full-HD ekrana), parametri ovog signala su:
 - $C=3$ (tri kanala boje po pixelu),
 - $M \times N = 1920 \times 1080$ (prostorna rezolucija),
 - $b = 8$ (ili 10) (amplitudna rezolucija svakog kanala),
 - $f_r = 60$ (broj slika u sekundi),
- ... što daje **$R=3\text{Gbit/s}$** ($b=8$) ili **3.7Gbit/s** ($b=10$).



Tok podataka

- Za pohranu video signala Full-HD kvalitete koristi se **Blue-Ray disk (BD)**
 - Kapacitet BD diska sa dva sloja je 50GBy
- Ako bi prije opisani Full-HD signal bio spremljen u formatu nominalne točnosti direktno na disk, tada bi maksimalno trajanje video zapisa na jednom BD disku bilo oko **2 minute i 13 sekundi!**
- Trenutno najbrži BD snimači ostvaruju brzinu zapisa od 216Mbit/s u modu rada 6x, što je **14 puta niže od traženog** toka $R=3\text{Gbit/s}$.



Tok podataka - diskusija

- Iz opisanog primjera je očito da nikakve operacije na takvom signalu nisu moguće bez značajnog sažimanja njegovog sadržaja!
- Trenutno jedina korisna operacija koja se može provesti nad ovakvim “sirovim” podatkovnim tokom jest njegov prijenos putem HDMI standarda digitalnog prijenosa, koji podržava max. brzinu od nominalnih 3.96Gbit/s.



Što smo naučili

- Definicija podatkovnog toka
- Tok jednodimenzionalnih signala
- Tok dvodimenzionalnih signala
- Višekanalni medijski signali
- Potrebna amplitudna rezolucija
- Potrebna vremenska rezolucija
- Izvori pogrešaka u toku MM signala
- Podatkovni tok Full-HD signala nominalne točnosti – potreba za sažimanjem.