
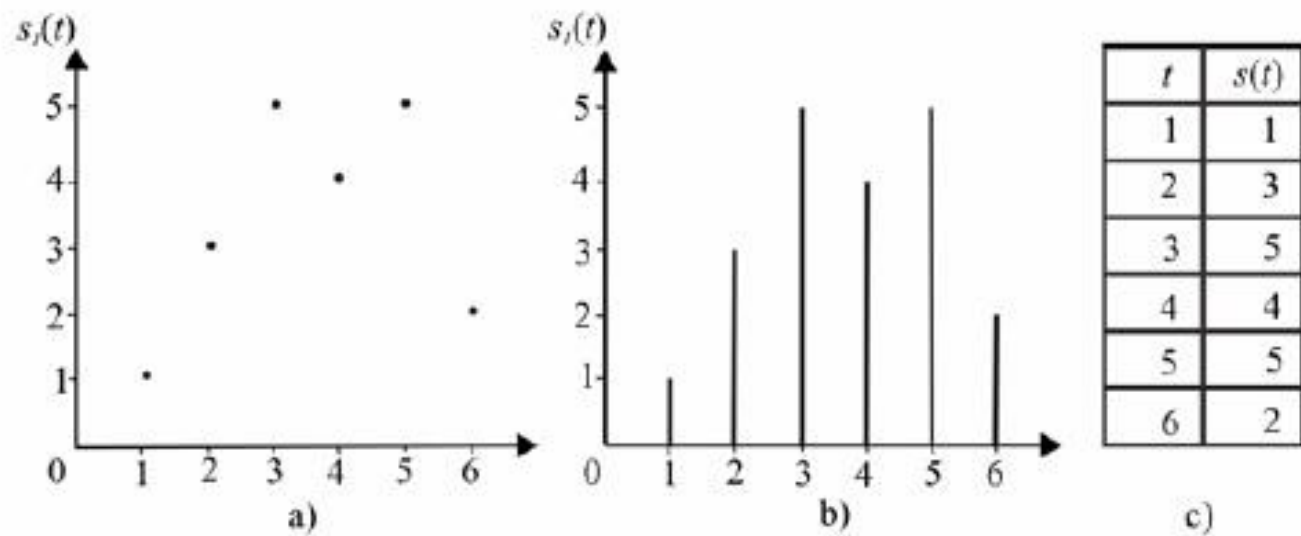


MULTIMEDIJALNA AKVIZICIJA PODATAKA

- ▶ Da bi se sprovela analiza i obrada multimedijalnih podataka, potrebno je digitalizovane audio ili video podatke smestiti u računar.
 - ▶ Posle obrade digitalni signal se rekonstruiše, odnosno konvertuje u analogni oblik.
 - ▶ Audio izvori (mikrofoni) ili izvori slike (kamere) u opštem slučaju proizvode analogne signale kontinualne u vremenu. Da bi prikupili audio ili video podatke, moramo ih odmeravati i digitalizovati.
 - ▶ U ovom poglavlju zadržaćemo se pre svega na primerima odmeravanja i digitalizacije multimedijalnih podataka.
- 

Diskretizacija kontinulanih signala

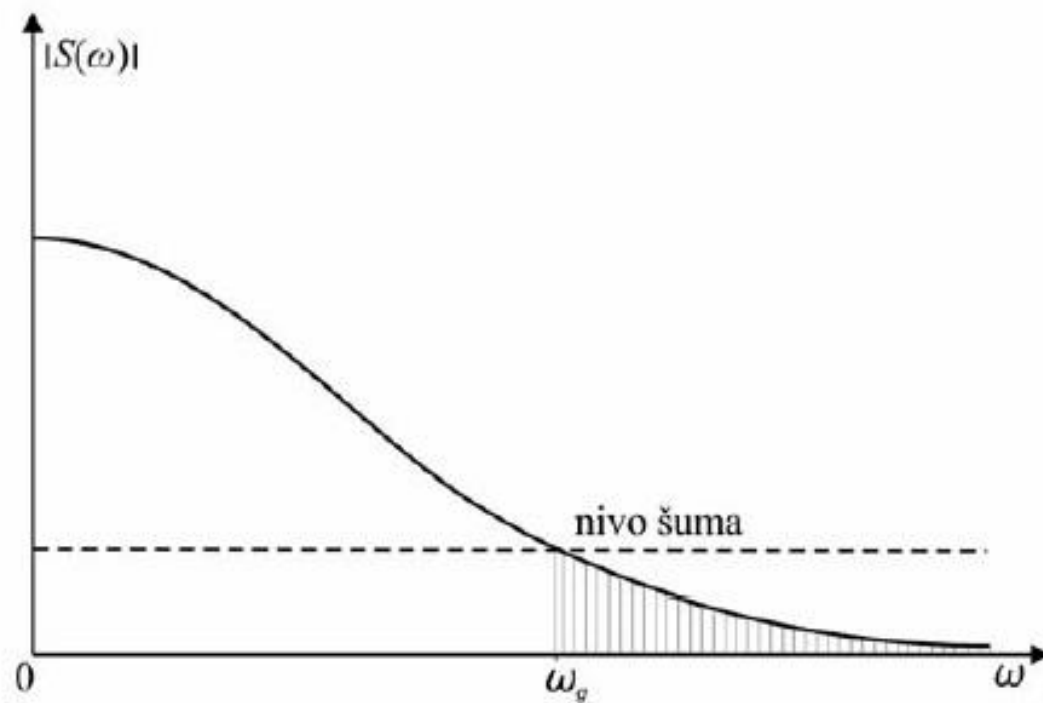
- ▶ Pri diskretizaciji kontinualnog signala, za ceo postupak koriste se dve operacije:
- ▶ diskretizacija signala **po vremenu (odmeravanje)** i diskretizacija signala **po trenutnim vrednostima (kvantovanje)**.
- ▶ Kada treba izvršiti još i digitalizaciju kontinualnog signala, obavlja se još i treća operacija – **kodovanje**, odnosno predstavljanje digitalnih vrednosti signala grupom cifara ili impulsa.
- ▶ Digitalizovani signal se obično predstavlja pomoću dijagrama ili pomoću tabele.



Slika 5.1.1—Predstavljanje digitalizovanog signala pomoću dijagrama a) i b) i tabelarno c)

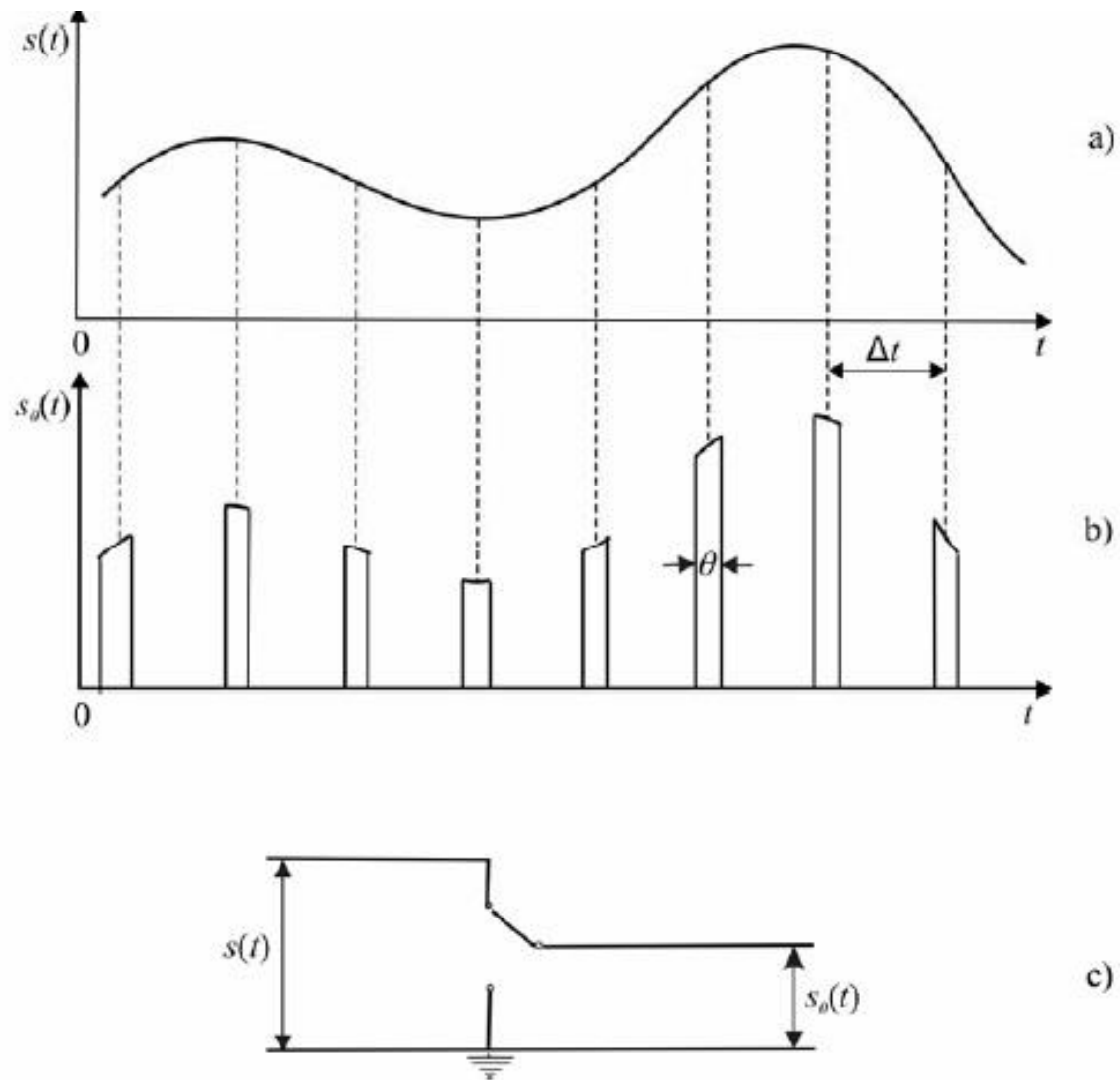
Odmeravanje

- ▶ Signali koji odgovaraju realnim porukama su konačnog trajanja i imaju beskonačno širok spektar.
- ▶ Međutim, glavni deo spektra koncentrisan je u nekom konačnom opsegu učestanosti. Izvan datog opsega, spektralna gustina amplituda signala poruka postaje toliko mala da će pri realnim radnim uslovima praktično uvek biti prekrivena šumom.



Slika 5.2.1—Zavisnost frekvencijskog opsega signala od nivoa šuma


- ▶ Zavisnost frekvencijskog opsega signala od nivoa šuma data je na Slici 5.2.1.
- ▶ Smatra se da signali poruka imaju ograničeno trajanje i ograničenu širinu spektra.
- ▶ Vidi se da nema razloga da se pri prenosu signala prenosi i deo spektra iznad učestanosti označene sa ω_g .
- ▶ Zbog toga, kontinualnim razlikama dovodimo u korespodenciju kontinualne vremenske funkcije koje imaju strogo ograničen spektar.
- ▶ Na primer, za rad telefonskog signala dovoljno je preneti sve komponente koje se nalaze u opsegu učestanosti od **300 Hz do 3400 Hz**, a da se pri tome sačuva razumljivost i snaga signala.



Slika 5.2.2—Odmeravanje kontinualnog signala: a) kontinualni signal, b) povorka impulsa $s_0(t)$ dobijena odmeravanjem signala $s(t)$ u intervalima Δt , c) kolo za odmeravanje

- ▶ Postupak odmeravanja kontinualnog signala prikazan je na Slici 5.2.2. Ova slika se sastoji iz:
 - a) kontinualnog signala,
 - b) povorke impulsa $s_0(t)$ dobijene odmeravanjem signala $s(t)$ u intervalima Δt i
 - c) kola za odmeravanje kontinualanog signala.
- ▶ Ako u jednakim vremenskim intervalima Δt uzmemo trenutne vrednosti signala, što je prikazano na Slici 5.2.2–b, **odnosno ako u tim tačkama generišemo impulse čija je visina jednaka amplitudi kontinualnog signala**, dobićemo povorku pravougaonih impulsa čije amplitude pripadaju jednom kontinuitetu mogućih trenutnih vrednosti signala.
- ▶ Postupak uzimanja trenutnih vrednosti kontinualanog signala u određenim vremenskim intervalima naziva se **odmeravanje**.

- ▶ **Kolo za odmeravanje** sastoji se iz dvopolnog prekidača na koji se priključuje signal koji se odmerava. Prekidač ravnomernom brzinom $f_0 = 1 / \Delta t$ naizmenično spaja jedan od dva kontakta.
- ▶ Neuzemljeni kontakt ostaje uključen θ sekundi, a uzemljeni kontakt je aktivan preostali period vremena od $\Delta t - \theta$ sekundi. Na izlazu kola pojavljuje se povorka impulsa širine θ , periode $T = \Delta t$ i promenljive amplitude. Diskretne vrednosti dobijene odmeravanjem nazivaju se **odmerci**.
- ▶ Teorijski, odmerci treba da budu beskonačno uski.

- ▶ Na ovom mestu pomenućemo tzv. **teorem o odmeravanju**.
 - ▶ Ona kaže da se svaki kontinualni vremenski signal čiji je frekvencijski opseg ograničen i nalazi se u intervalu od 0 Hz do f_g može jednoznačno definisati konačnim brojem svojih diskretnih vrednosti u konačnom vremenskom intervalu pod uslovom da se odmeravanje vrši u vremenskim intervalima. Gde je T_0 označena učestanost odmeravanja.
- 

$$T_0 = \Delta t \leq \frac{1}{2f_g}$$

Recipročna vrednost periode odmeravanja T_0 naziva se učestanost odmeravanja:

$$f_0 = \frac{1}{T_0} = 2f_g$$

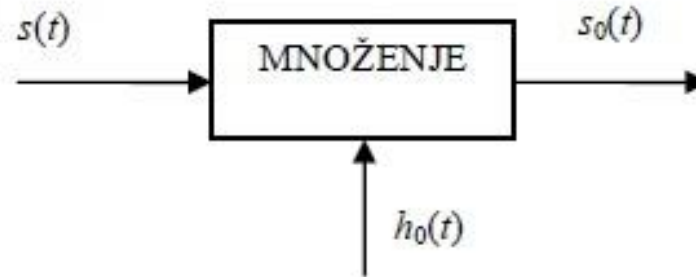
Količnik trajanja odmerka i intervala odmeravanja naziva se faktor težine odmeravanja:

$$\alpha_0 = \frac{\theta_0}{T_0} = \theta_0 f_0 = 2f_g \theta_0$$

Postupak odmeravanja može se shvatiti kao množenje signala $s(t)$ i funkcije odmeravanja $h_0(t)$ u vremenskom domenu, tj.,

$$s_0(t) = s(t)h_0(t). \quad (5.2.2)$$

Objašnjenje procedure odmeravanja kao množenje dve vremenske funkcije prikazano je na Slici 5.2.3.




Slika 5.2.3—Procedura odmeravanja

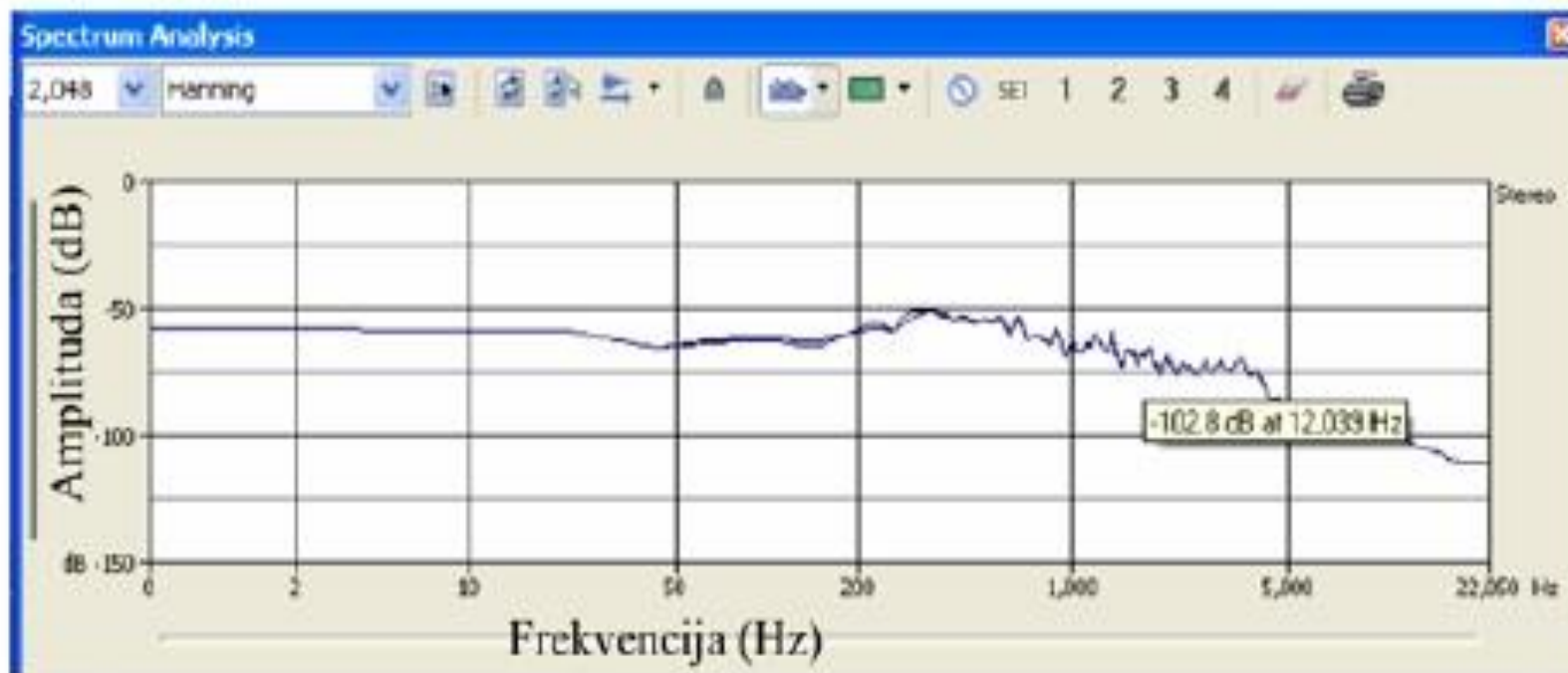
Odmeravanje audio signala

- ▶ Posmatrajmo talasni oblik jednog audio signala prikazanog na Slici 5.2.1.1, gde je predstavljena normalizovana amplituda signala u funkciji vremena. Signal se brzo menja.
- ▶ Da bi se signal memorisao fizički je nemoguće odrediti vrednost signala u svakom trenutku i tu vrednost memorisati. Stoga je potrebno odmeravati signal u regularnim vremenskim intervalima.
- ▶ Kada je odmeravanje sprovedeno, vrednosti signala u vremenima koja se ne poklapaju sa trenucima odmeravanja se očigledno za uvek izgubljena.
- ▶ Količina informacije koja se izgubi zbog odmeravanja povećava se sa intervalom odmeravanja.



Slika 5.2.1.1—Talasni oblik jednog audio signala

- ▶ Uočava se da je spektar zanemarljiv iznad 12 kHz. Pošto su visoko frekvencijske komponente vrlo male, može se reći da se signal ne menja velikom brzinom.
 - ▶ U tom slučaju, moguće je odmeravati signal i obnoviti ga kompletno primenom interpolacije ukoliko je frekvencija odmeravanja dovoljno visoka.
 - ▶ Tražena frekvencija odmeravanja određuje se primenom Nyquist-ovog kriterijuma.
- 



Slika 5.2.1.2—Amplitudni spektar audio signala

Odmeravanje dvodimenzionalnih (2D) slika

- ▶ Nyquist–ova teorija odmeravanja može se proširiti na diskretizaciju slika. Neka je slika predstavljena funkcijom $i(x, y)$ gde su x i y dve prostorne dimenzije.
- ▶ Dvodimenzionalna (eng. two–dimensional – 2D) formirana transformacija slike može se predstaviti u obliku:

$$I(\omega_h, \omega_v) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} i(x, y) e^{-j(\omega_h x + \omega_v y)} dx dy$$

gde je

ω_h

horizontalne prostorna frekvencija,

ω_v

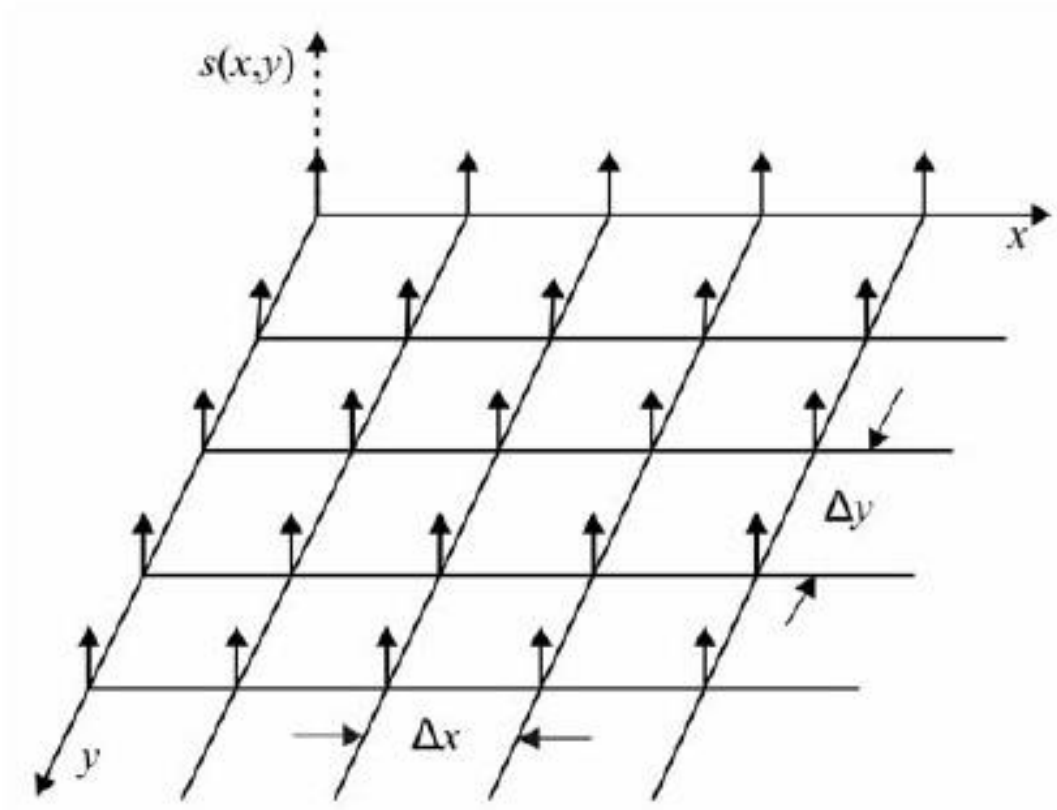
vertikalna prostorna frekvencija.

- ▶ Treba naglasiti da je
- ▶ $\omega_h = 2\pi f_h$ i $\omega_v = 2\pi f_v$,
- ▶ gde su f_h i f_v horizontalne i vertikalne frekvencije.
- ▶ Uz pretpostavku pravougaone rešetke odmeravanja i ako je slika odmeravana u prostornom intervalu $(\Delta x, \Delta y)$, odmeravana slika može se izraziti kao:

$$i_s(x, y) = i(x, y) s(x, y) = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} i(m\Delta x, n\Delta y) \delta(x - m\Delta x, y - n\Delta y)$$

gde je $s(x, y)$ 2D funkcija odmeravanja definisana relacijom

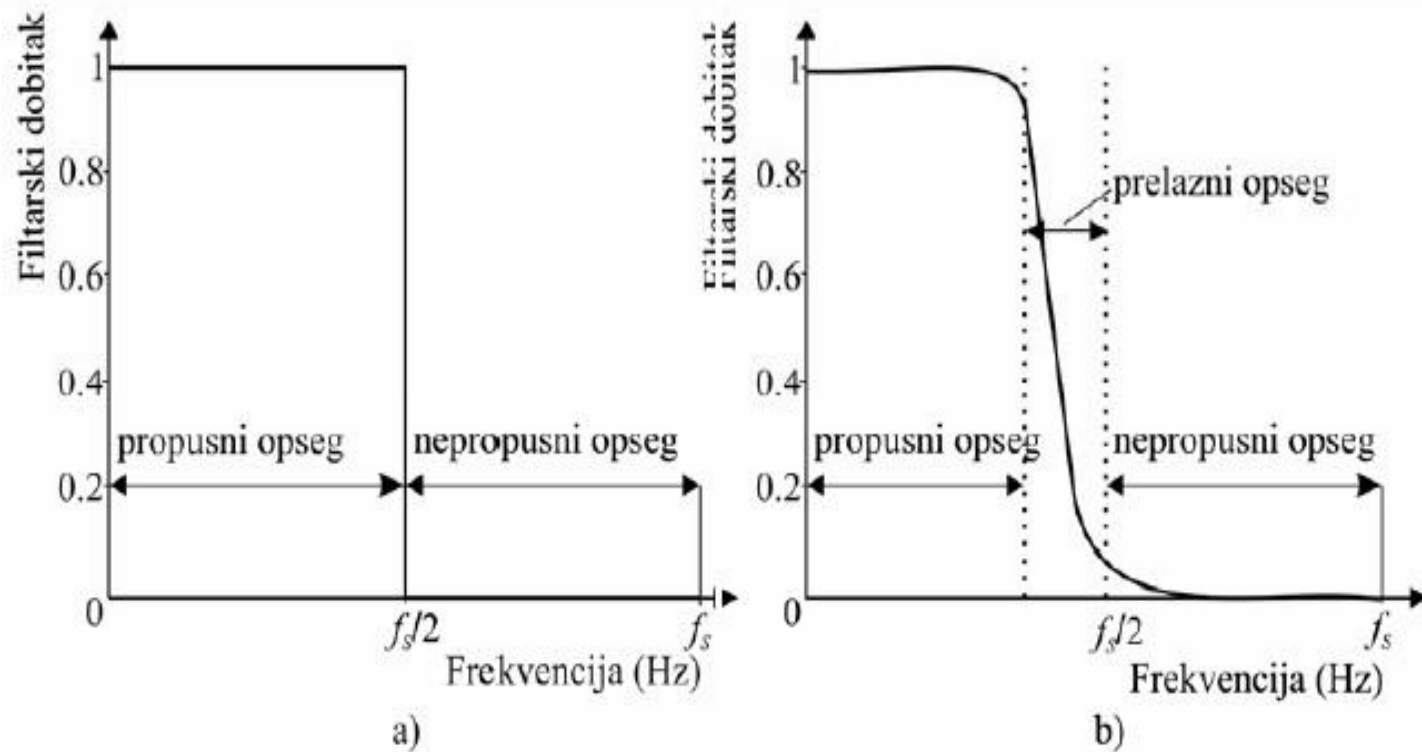
$$s(x, y) = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(x - m\Delta x, y - n\Delta y).$$



Slika 5.2.2.1—Dvodimenzionalna funkcija odmeravanja

Niskopropusni anti-aliasing filtri

- ▶ U praksi, signal **nije tačno ograničenog opsega** mada su višefrekvencijske komponente u opštem slučaju veoma male.
- ▶ Ove komponente unose **preklapanja (alias)** i mogu se smatrati kao izobličenja u odmeravanom signalu.
- ▶ Da bi se obezbedilo da audio signal ili signal slike bude dovoljno ograničenog opsega, signal se propušta kroz niskopropusni anti-aliasing filter kako bi se znatno smanjile visokofrekvencijske komponente tako da tzv. alias komponente imaju vrlo malu energiju.
- ▶ Tipična karakteristika 1D niskopropusnog/anti-aliasing filtra prikazana je na slici 5.2.3.1. gde je sa *fs* označena *frekvencija odmeravanja*.

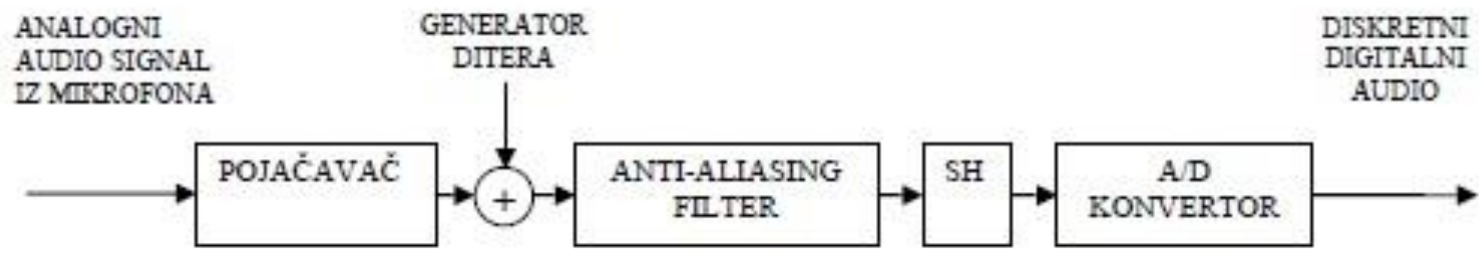


Slika 5.2.3.1—Karakteristike niskopropusnog/anti-aliasing filtra: a) idealni uskopropusni filter sa ravnim pojačanjem u propusnom opsegu, b) realizabilni nisko propusni filter sa postepenim prelaskom od propusnog ka nepropusnom opsegu

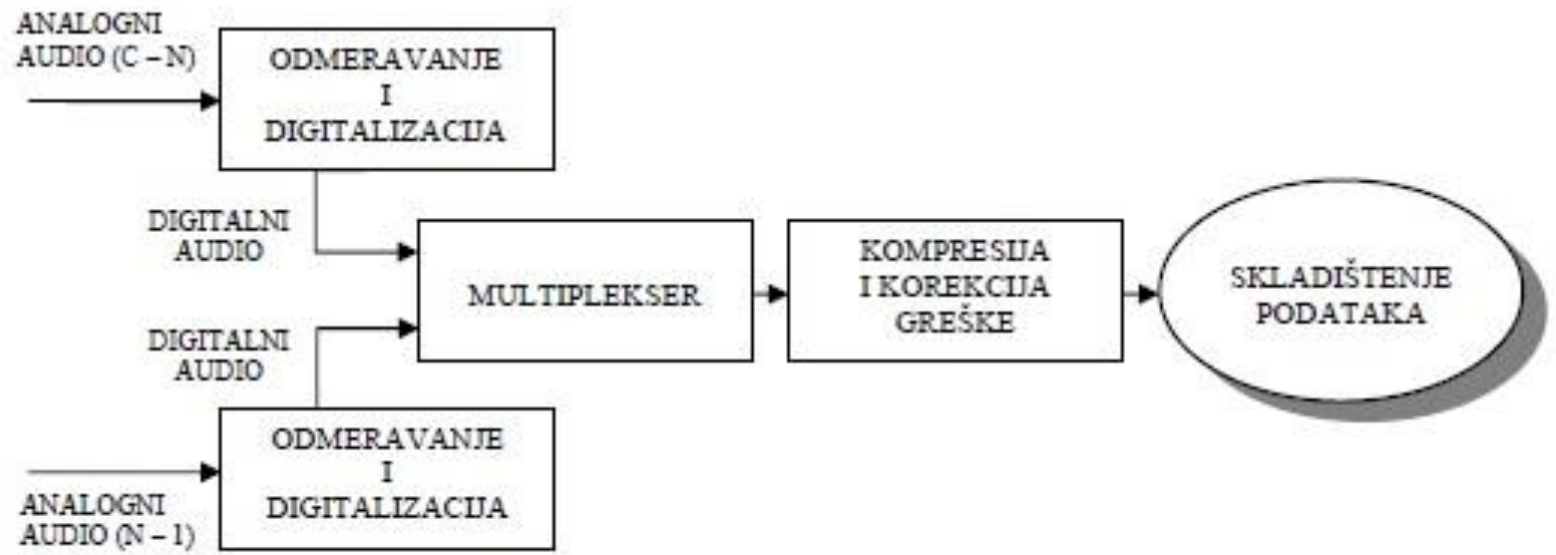
- ▶ Jedan idealni nisko-propusni filter ima opštu graničnu (eng. cut-off) frekvenciju **od $f_s/2$** što je prikazano na slici 5.2.3a.
- ▶ U praksi je međutim nemoguće realizovati jedan takav filter.
- ▶ Na Slici 5.2.3.1 b prikazan je frekvencijski odziv tipičnog filtra koji se može realizovati. Ovde je pojačanje u **propusnom opsegu blisko jedinici, dok je pojačanje u nepropusnom opsegu blisko nuli.**
- ▶ Prelazni opseg omogućuje postupno opadanje pojačanja i to od 1 ka 0.
- ▶ Projektovanje 1D niskopropusnog/anti-aliasing filtra može se proširiti na projektovanje 2D niskopropusnog/anti-aliasing filtra za slike. U tom slučaju filter će imati dve granične (cut-off) frekvencije i to po jednu u horizontalnom i vertikalnom pravcu.

Digitalizacija audio signala

- ▶ Uprošćena blok–šema digitalizacije audio signala data je na slici 5.3.1.
- ▶ Na Slici 5.3.1 –a prikazan je proces odmeravanja i digitalizacije audio signala.



a)



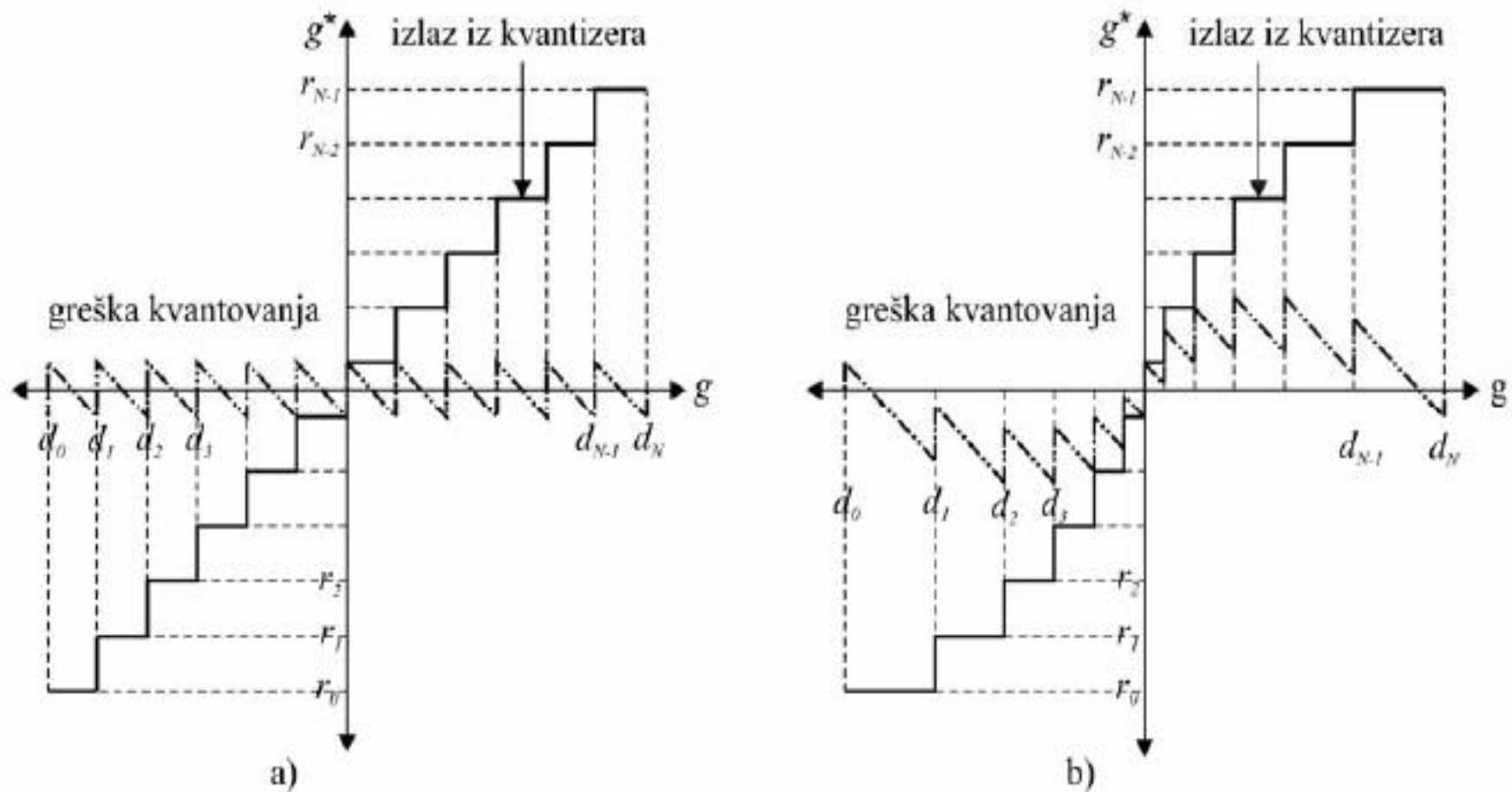
b)

Slika 5.3.1—Digitalizacija audio signala: a) odmeravanje i digitalizacija, b) N-kanalno registrovanje i skladištenje audio podataka

- ▶ Uzorak i zadržavanje (eng. sample and hold – SH) blok služi za držanje amplitudne vrednosti odmeraka od trenutka odmeravanja audio signala do trenutka nailaska sledećeg odmerka.
- ▶ Zatim se vrši odmeravanje audio signala u svakom trenutku odmeravanja. Analogno– digitalni (eng. analog to digital – A/D) konvertor služi za ekvivalentno digitalno predstavljanje analognog signala. Multipleksiranje niza bita koji dolaze iz različitih kanala vrši se pomoću multipleksera.
- ▶ Komprimovanjem se smanjuje suvišnost i komprimuje veličina audio fajla pri čemu se održava prihvatljiv nivo kvaliteta audio signala.
- ▶ Kada je audio signal kvantovan koristeći mali broj bita po odmerku, kvalitet audio signala je loš. Utvrđeno je da ako se pre kvantizacije pridoda mala količina dimer šuma subjektivni kvalitet se poboljšava.

Analogno–digitalna konverzija

- ▶ Ulaz u A/D konvertor je diskretni vremenski signal čija je amplituda realni broj koji može da zahteva jedan beskonačan broj bita/digita radi vernog predstavljanja.
- ▶ Za obradu na digitalnom računaru, signal u svakom trenutku treba da bude konvertovan u 8, 16 ili 32 bita. To realizuje kvantizer koji ustvari preslikava kontinualnu promenljivu u diskretnu promenljivu.
- ▶ **Ulazno– izlazna relacija za tipičan kvantizer je stepenasta funkcija kao što je prikazano na slici 5.3.1.1.**



Slika 5.3.1.1—Proces kvantizacije, (a) uniformni kvantizer, (b) neuniformni kvantizer

- ▶ Predpostavimo sada da nam je potreban kvantizer sa N izlaznih nivoa. **Nivoi odlučivanja i izlazni (rekonstruisani) nivoi označeni su sa**
- ▶ $(d_k, 0 \leq k \leq N)$ i $(r_k, 0 \leq k \leq N - 1)$, respektivno,
- ▶ gde je $d_k \leq r_k < d_{k+1}$.
- ▶ Izlaz iz kvantizera za zadati ulaz u kvantizer označen sa $g(nT)$ može se izračunati primenom relacije:
- ▶ $Q [g(nT)] = r_k$, ako je $d_k \leq g(nT) < d_{k+1}$.
- ▶ Ukoliko su nivoi odlučivanja ekvidistantni, tj. ako je $(d_{k-1} - d_k)$ konstantno za svako k , radi se o uniformnom kvantizeru, što je prikazano na slici 5.3.1.1-a.
- ▶ Ulazno-izlazna funkcija i greška kvantovanja za neuniformni kvantizer su dati na Slici 5.3.1.1-b.

Kriterijum vernosti audio signala

- ▶ Kvalitet audio signala postiže se ako se veliki broj bita koristi za reprezentovanje svakog odmerka. S druge strane, to će povećati bitski protok audio signala. Dakle, kaže se da postoji veza bitskog protoka i kvaliteta digitalizovanog audio signala. Izbor bitskog protoka i kvaliteta audio signala zavisi od odgovarajuće primene audio signala.
- ▶ U cilju postizanja objektivnosti ocene, važno je da se definišu kriterijumi vernosti audio signala. Koriste se dva kriterijuma za procenu kvaliteta analize signala: **subjektivni (kvalitativni)** i **objektivni (kvantitativni)**.
- ▶ Kod subjektivne procene, vernost audio signala predstavlja se pomoću tzv. skale pogoršanja koja ima pet nivoa od 1 do 5 što je prikazano u Tabell 5.3.2.1.

Tabela 5.3.2.1—Skala pogoršanja za procenu vernosti audio signala

Vrlo neugodna smetnja	1
Neugodna smetnja	2
Neznatno neugodna smetnja	3
Smetnja se oseća ali nije neugodna	4
Smetnja se ne oseća	5

- ▶ Na skali pogoršanja meri se kvalitet čujnosti obzirom na izobličenje u signalu. Za zadati audio signal grupe ispitanika (nazvani subjekti) su ispitivani da procene kvalitet audio signala dajući odgovarajuće ocene na skali od pet opcija.
- ▶ Mišljenja su subjektivna, a rezultati variraju od subjekta do subjekta. Prosečan rezultat (srednja vrednost) se naziva **srednja vrednost mišljenja (eng. *mean opinion score – MOS*)**.
- ▶ MOS zahtev zavisi od oblasti primene. Tako, na primer ocena tri može biti zadovoljavajuća u telefoniji.
- ▶ S druge strane, za kvalitetan audio, vrednost ocene za MOS treba da bude bliska pet (veća od 4.5). Subjektivni kvalitet audio signala na osnovu ljudskog auditornog sistema je složena procedura koja uključuje eksperimente uz prisustvo eksperata i/ili neekspertnih subjekata. Uz to, na subjektivne procene utiče izbor subjekata i pravilno obavljanje eksperimenta. Iz tog razloga razvijeno je nekoliko kvantitativnih mera da bi se procenio objektivni kvalitet audio signala.

- ▶ Izbor objektivne (kvantitativne) mere izobličenja zavisi od više faktora. Pre svega, ovakva mera se može prikazati u prirodnom analitičkom obliku, a onda biti prilagođena za lako izračunavanje.
- ▶ Odnos signal–šum (eng. signal–to–noise ratio – SNR) i srednja kvadratna greška (eng. mean square error – MSE) su dva parametra za utvđivanje izobličenja audio signala.
- ▶ Oni su dati sledećim izrazima:

$$SNR = \frac{\sum_{n=0}^{N-1} f(\hat{n})^2}{\sum_{n=0}^{N-1} [f(\hat{n}) - f(n)]^2}$$

$$SNR(dB) = 10 \log_{10} SNR$$

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} [f(\hat{n}) - f(n)]^2$$

gde su

$f(n)$ odmerci originalnog audio signala,

$f(\hat{n})$ odmerci kvantitativnog audio signala i

N predstavlja broj audio odmeraka.

Digitalizacija slika

- ▶ Osetljivost ljudskog vizuelnog sistema je skromnija nego kod auditivnog sistema. Dok auditivni sistem može da razlikuje na hiljade nivoa zvučnog pritiska, HVS može da razlikuje samo oko 200 nivoa sjaja. Slika **sivog nivoa** može se opistai kao slika odličnog kvaliteta sa **8-bitnom rezolucijom** koja odgovara vrednosti od **256 nivoa sivog**. Što se tiče **slike u boji**, njene tri osnovne komponente R, G i B zajedno se koriste.
- ▶ Svaka od tri komponente posebno se kvantuje. Na primer, senzori visoke rezolucije u opštem slučaju koriste **8 bita/kanal/piksel**.
- ▶ Stoga je **ukupno 24 bita** potrebno za predstavljanje piksela u boji. Uočimo da 24 bita po pikselu odgovara broju od 2²⁴ boja, što je mnogo više od nego što ljudske oči mogu da razlikuju. Otuda, mnogi elementarni uređaji koriste displej sa nižom rezolucijom (tj. 8 bita ili 16 bita).

Vizuelna vernost

- ▶ U procesu kvantizacije piksela pogoršava se kvalitet vizuelnih podataka. Uz to, može se pojaviti izobličenje usled kompresije slike. Kao i u slučaju audio signala, postoje dva tipa mere vernosti: subjektivni i objektivni.
- ▶ U slučaju subjektivnih mera, koristi se slična skala kao i kod audio signala za procenu kvaliteta slike. Međutim vizuelno testiranje sa realnim subjektima predstavlja glomaznu proceduru. Otuda, kada je u pitanju vizuelna vernost, u praksi se najčešće koriste objektivne mere vernosti. Ove najčešće korišćene mere su **SNR** i **MSE**.
- ▶ Ovim merama treba pridodati vršni odnos signal-šum (eng. *peak-signal-to-noise ratio* - **PSNR**), kao i srednju
- ▶ apsolutnu grešku (eng. *mean absolute error* - **MAE**).
- ▶ Ako su $f(m, n)$ i $\hat{f}(m, n)$ originalna i izobličena slika, respektivno, dimenzija $M \times N$, vizuelna vernost može se oceniti primenom sledećih parametara

$$SNR(dB) = 10 \log_{10} \frac{\sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} [\hat{f}(m, n)]^2}{\sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} [\hat{f}(m, n) - f(m, n)]^2}$$

$$PSNR(dB) = 10 \log_{10} \frac{\sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} [\text{vršna vrednost signala}]^2}{\sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} [\hat{f}(m, n) - f(m, n)]^2}$$

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} [\hat{f}(m, n) - f(m, n)]^2$$

$$MAE = \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} |\hat{f}(m, n) - f(m, n)|$$

Pitanja

- ▶ 1. Koji se postupci koriste pri diskretizaciji, a koji pri digitalizaciji kontinualnog signala?
- ▶ 2. Šta je to odmeravanje kontinualanog signala i kako se ono vrši?
- ▶ 3. Šta predstavlja Nyquist–ov kriterijum?
- ▶ 4. U čemu se ogleda uloga tzv. anti–aliasing filtra kod multimedijalne akvizicije podataka?
- ▶ 5. Opisati subjektivne i objektivne kriterijume za procenu kvaliteta audio signala.
- ▶ 6. Šta je potrebno za opisivanje digitalne slike sivog nivoa, a šta za opisivanje kada je ista u boji?