

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za računalništvo
in informatiko



PRODUKCIJA MULTIMEDIJSKIH GRADIV (PMG)

ZVOK

Borut Batagelj

V1.3
2026



Zvok

- Zvok ni vizualni medij (kot so ostali)
- Zaznavamo ga s čutilom za sluh
- Kompleksna mešanica fizičnih in psiholoških faktorjev
- Zvok v multimediji ni vedno potreben
 - Včasih je celo moteč ali popolnoma odveč
- Včasih nam zelo popestri material
- Včasih pa brez zvoka ne gre



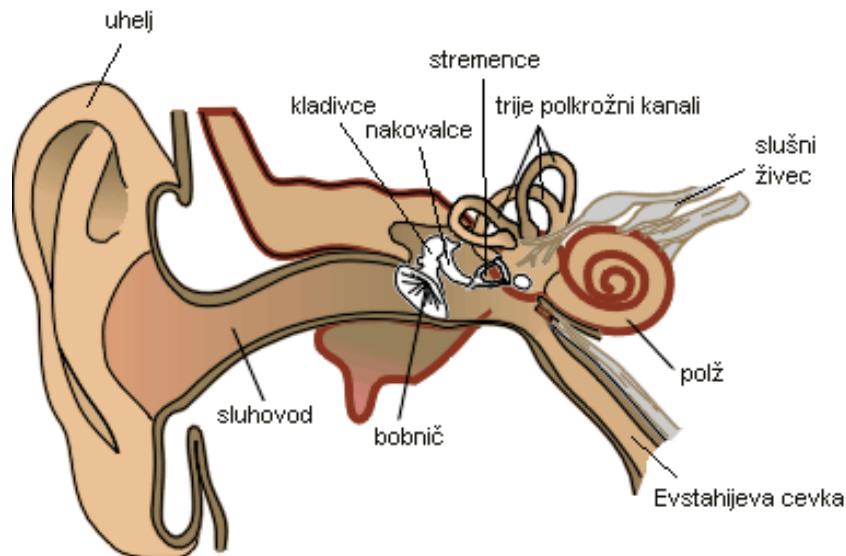
- **vedno moramo imeti možnost izključiti zvok**



Narava zvoka

- Zvok se prenaša z valovanjem zraka (ali drugega medija)
- Vibracije se prenašajo na **bobnič**
- Prenos na notranje uho – sproži živčne impulze
- To zaznamo kot zvok – dejansko poslušamo z možgani

- Človek zaznava frekvence v razponu 20Hz-20Khz





Valovanje zvoka

- Amplituda valovanja
- Statična predstavitev dinamičnega pojava
- Za analizo, urejanje, razpoznavanje, ...

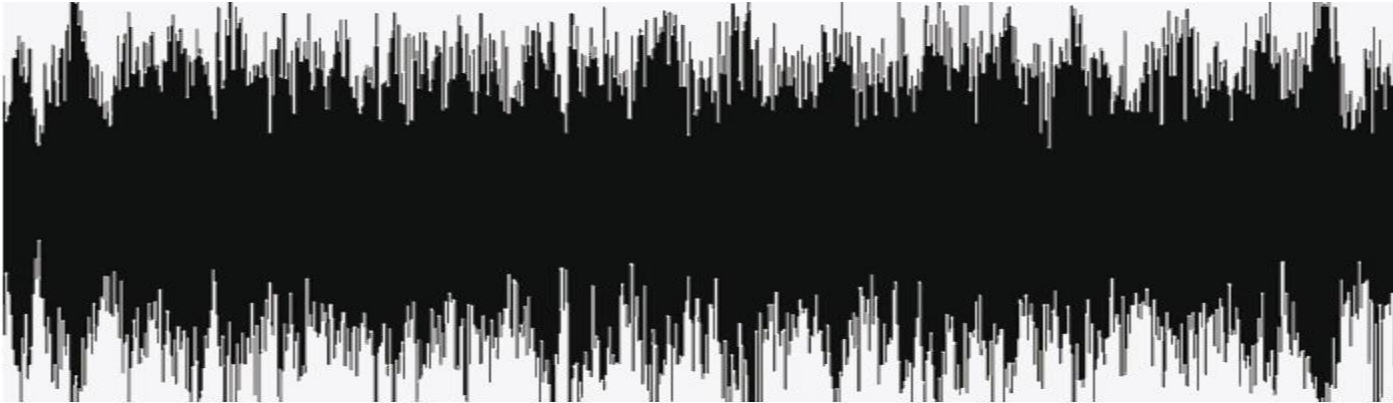
„Feisty teenager“





Zvočni signal

„Didgeridoo“



Boogie-woogie





Amplituda zvočnega signala

Violina, čelo in klavir



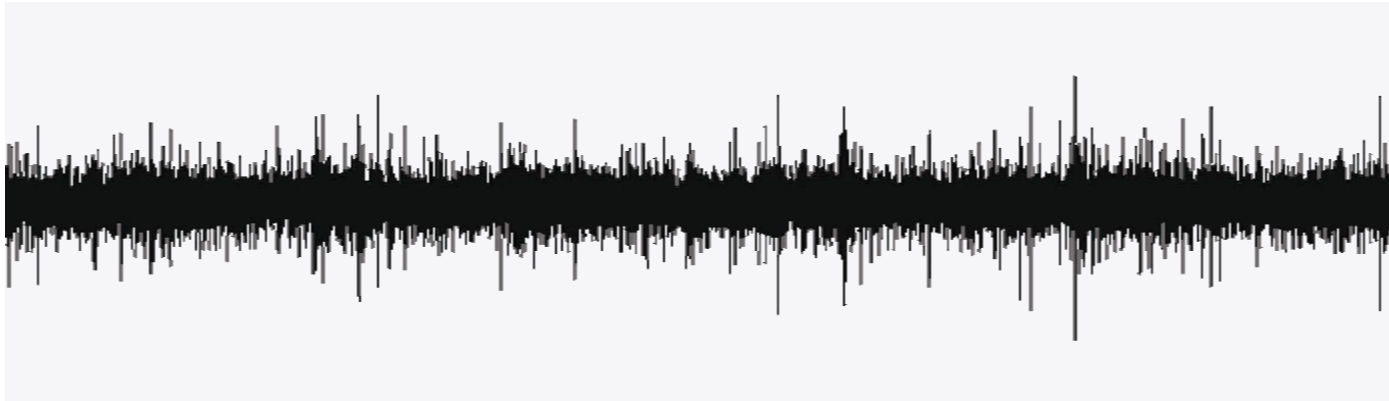
„Men grow cold...“





Amplituda zvočnega signala

Kapljanje



Morje





Različno dojemanje

- Občutek nižje višine
 - Glasnejši ton
 - Kompleksnejši toni
- Sposobni smo slišati zvok svojega imena, čeprav drugega ni mogoče razbrati
- Zmožni smo razbrati govor, čeprav je šum glasnejši
- Stereografski zvok
 - Dojamemo izvor zvoka: glasnost, zamik (faza)

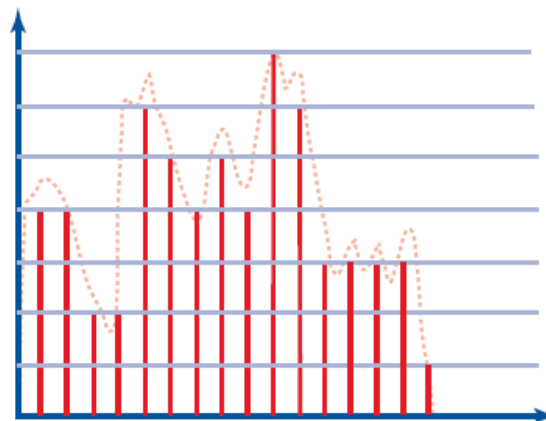
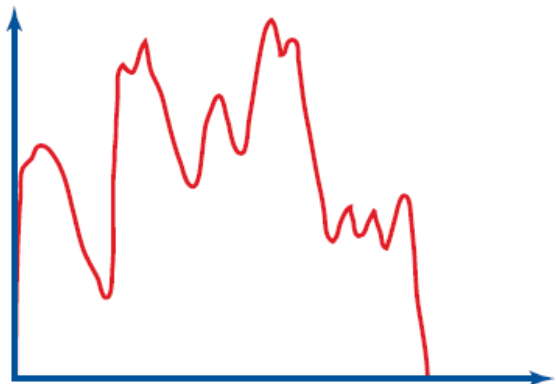


Digitalizacija zvoka

- A/D pretvornik
 - Mikrofon, električna kitara

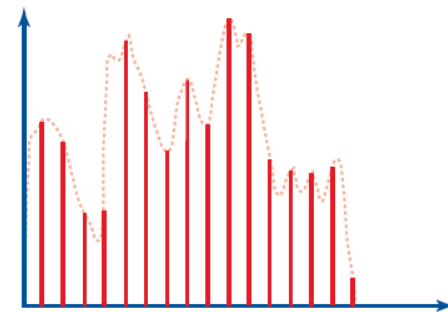


- Vzorčenje
- Kvantizacija



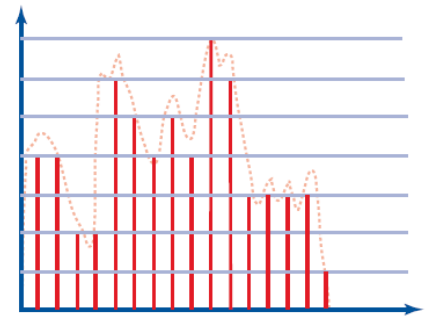


Vzorčenje zvoka

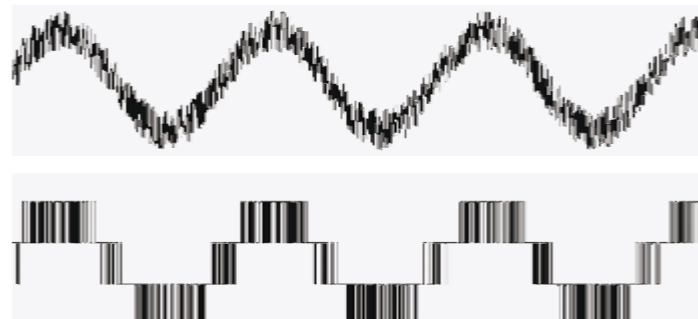
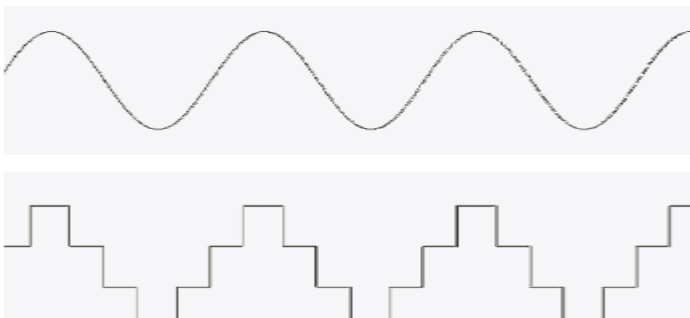


- Človeško uho zaznava frekvence do 20 kHz
- Teorem vzorčenja: potrebna frekvenca vzorčenja: $\geq 40\text{kHz}$
 - Audio CD: 44.1 kHz
 - Manjše zahteve (internet): 22.05 kHz
 - Govor: 11.025 kHz
 - Bolj profesionalne naprave: 48kHz, tudi 96kHz in 192kHz
- Pred vzorčenjem se frekvence $> 1/2$ frekvence vzorčenja porežejo

Kvantizacija

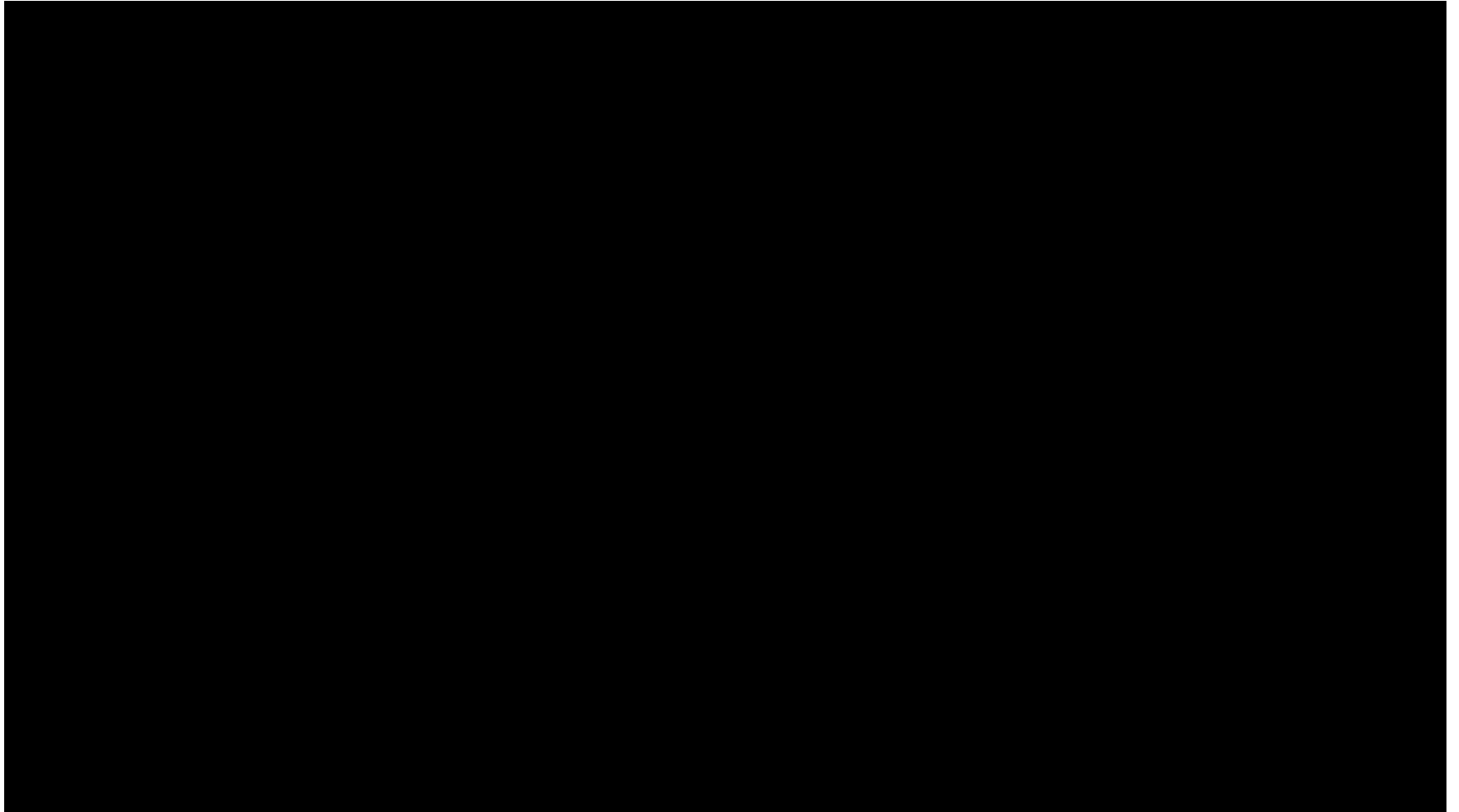


- Število kvantizacijskih nivojev:
 - Običajno: 16 bitov = 65.536 nivojev (CD audio)
 - Minimalno: 8 bit = 256 nivojev (komunikacija)
 - Nadstandardno (Profesionalni zvok / studio): 24 bitov
- Kvantizacijski šum je večji pri signalih z nizko amplitudo
 - Povečamo število kvantizacijskih nivojev
 - Dodamo majhen naključni šum pred vzorčenjem ([youtube](#))
 - Zgladimo ozke prehode





Kvantizacija



vir: <https://www.youtube.com/watch?v=U2mwXiJqAgA>



Formati



- Različni (nekompresirani) formati na različnih platformah (so povsod podprti)
 - AIFF: Mac OS X
 - WAV: Windows
 - AU: Unix
- Brezizgubna kompresija (Lossless)
 - FLAC – Lossless codec developed by Xiph.Org Foundation., free & opensource
 - ALAC = Apple Lossless
 - APE ni tako razširjen ima pa boljšo kompresijo
- Izgubni (Lossy Formats)
 - **MP3**: MPEG Audio Layer III
 - **AAC**: Advanced Audio Coding, malce boljše kot mp3, iTunes ga je naredil popularnega, uporablja Apple (iPod)
 - **OGG** Vorbis, opensource, ni toliko razširjen format
 - **WMA** = Windows Media Audio (Microsoft), ni toliko razširjen





Formati

- MP3: za glasbo, internet, podcaste
 - V prvi vrsti je *encoder* ne format
- Pretočni zvok
 - Ni potrebe po shranjevanju na disk
 - Predvajanje zvoka v živo
 - Bolj uspešno kot video (zahteva manjšo propustnost)
 - QuickTime (AAC kodek), Windows Media Audio (WMA), MP3





Obdelava zvoka

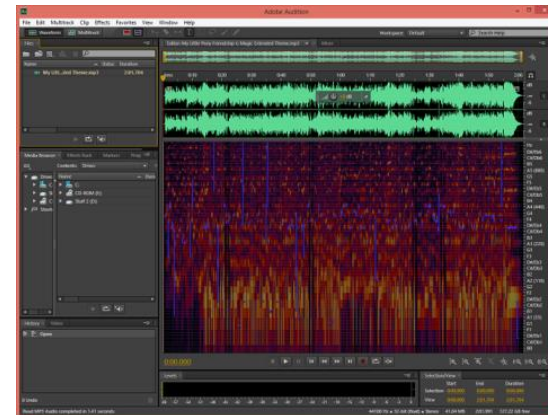
- Tradicionalno: profesionalna oprema
 - Kompleksne mešalne mize
 - Digitalne izvedbe





Obdelava zvoka

- V multimediji
 - Manjše zahteve
- Programi za urejanje zvoka
 - Odprtokodni programi (Audacity)
 - Adobe Audition (prej Soundbooth)
 - Apple Logic Pro (GarageBand)
 - Programi za urejanje videa (Premiere, Final Cut)





Zajemanje zvoka

- V računalnik vgrajen mikrofoni ne zadošča
 - Nekvaliteten mikrofoni
 - Šumi iz ventilatorjev, diskov, ...
- Zunanji mikrofoni
- Posebni snemalniki zvoka
 - Brez kompresije
- Zagotoviti moramo dobro akustiko prostora
- Snemalni studio



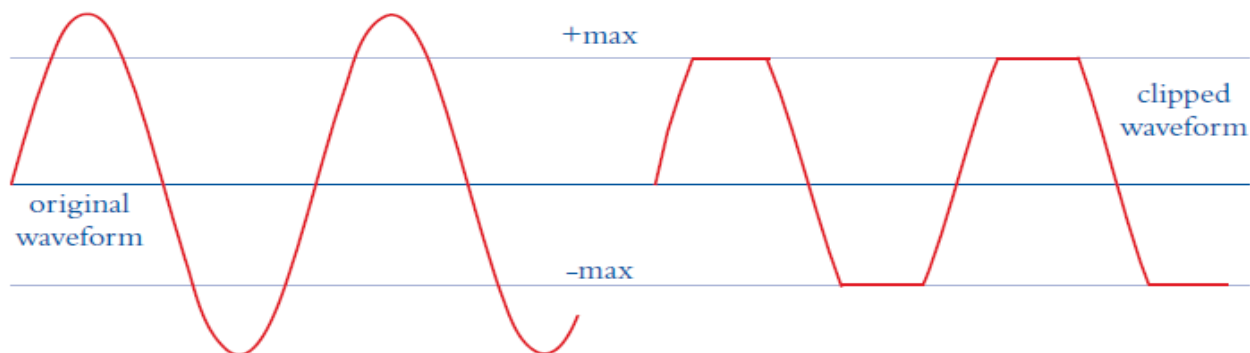
Nastavitve pri zajemanju zvoka

- Frekvenca vzorčenja in število nivojev
 - CD kvaliteta: 44.1 KHz, 16 bit
 - $44.100 * 16 / 8 = 86$ kB/s oz. 5MB/min (mono)
 - Velikost datoteke prepolovimo:
 - Če prepolovimo frekvenco vzorčenja (bolje, manj opazno)
 - Če prepolovimo število nivojev
 - Če uporabimo mono namesto stereo tehnike



Nastavitve pri zajemanju zvoka

- Nastavitve nivoja vhodnega signala
 - Na čim višji nivo, ki ne povzroči rezanja najvišjih amplitud
 - Zagotovimo maksimalni dinamični obseg
 - Problematično pri snemanju v živo
 - Težko predvideti najvišji nivo
 - Avtomatski nadzor ojačitve signala (gain control)
 - Se spreminja dinamično glede na amplitudo signala
 - Zmanjša dinamiko zvoka
 - Programska kasnejša normalizacija signala ne reši problema
 - Poveča dinamični obseg, ne pa doda podrobnosti





Uvoz zvoka

- Uvažanje zvoka v digitalni obliki
 - Bolj enostavno
- Uvoz zvoka z avdio CD-ja
- Uvoz zvoka iz drugih zvočnih datotek
 - Z interneta
 - Običajno je glasba kompresirana
- Če se le da, uvozimo nekompresirane posnetke
- Kompresirani niso primerni za obdelavo

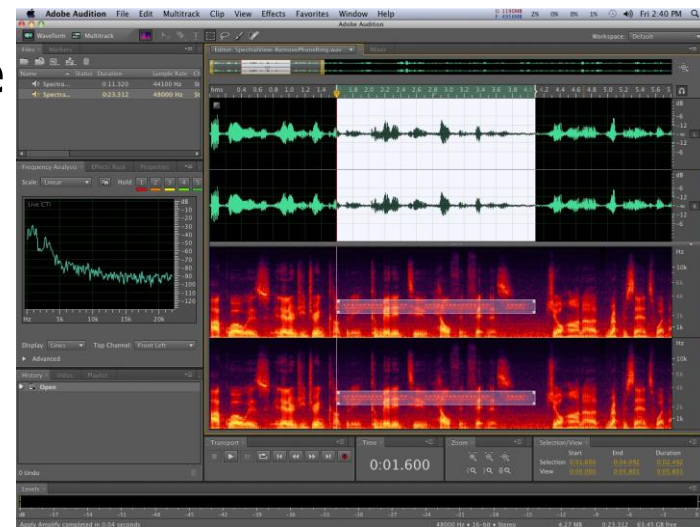


**Avtorske
pravice !**



Urejanje zvoka

- Podobno urejanju videa
 - Časovnica
 - Prikazana valovna oblika skozi čas (amplituda)
- Krajšanje, kombiniranje, preurejanje
- Več trakov (tracks) hkrati
 - Stereo zvok (ločena trakova)
- Kreiranje zank
 - Kratke za posamezne tone
 - Pomembni so prehodi med zankami (ničle)
 - Daljše zanke: ponavljajoči se delčki skladbe





Postprodukcija

- Popravljanje napak, izboljšanje kvalitete, ipd
- Vrata (gates) in filtri
- Odstranjevanje šuma
 - **Protišumna vrata** (noise gate)
 - Odstranijo vse vzorce pod nekim pragom
 - Šum se bo vklapljal in izklapljal
 - **Filtri za odstranjevanje šuma**
 - Nizkopropustni filtri (Low-pass)
 - Odstranijo visoke frekvence
 - Izločimo praskanje/sikanje
 - Visokopropustni filtri (High pass)
 - Odstranijo nizkofrekvenčno „mrmranje“ (mehanske vibracije)
 - Notch filter
 - Odstrani ozek frekvenčni pas (npr. 50Hz)
 - Bolj napredni filtri
 - Analiza šumnega prostora in potem detekcija vzorca



Postprodukcija

- Popravljanje napak nastalih med snemanjem
 - De-esser
 - Odstranitev šuma povzročenem z govorom ali petjem preblizu mikrofona
 - Click repairer
 - Odstranitev klikanja poškodovanih vinil plošč
 - Še vedno je najbolje zvok posneti brez napak



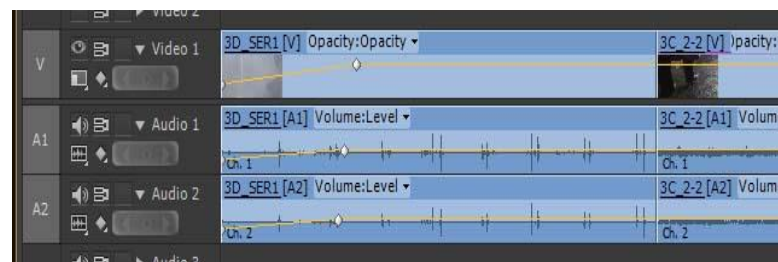
Postprodukcija

- Spreminjanje zvoka
 - Minorni popravki -> slaba izvedba ali snemanje
 - Redikalne spremembe -> nov zvok iz originala
- Reverb
 - Odmev: dodajanje zakasnelih kopij signala
 - Poustvarimo prostor
- Envelope shaping
 - Spreminjanje oblike amplitude zvoka skozi čas
 - Postopno višanje ali nižanje amplitude, poljubno spreminjanje
- Spreminjanje dolžine
 - Dodajanje/odvzemanje vzorcev
 - Sprememba dolžine brez spremembe višine glasu
 - Sinhronizacija
 - Spreminjanje hitrosti (tempo) glasbe



Kombiniranje zvoka in slike

- Pri videu imamo ločeni sledi za sliko in zvok, ki sta sinhronizirani
 - Sledi sta zaklenjeni skupaj
- Sinhronizacija zvoka in slike
 - Najbolj opazno pri govoru
 - Opis mora sovpadati s sliko
 - Glasba s prikazanim
 - Naravni zvoki z dogajanjem
- Skupni časovni trak za video in zvok
 - Različno število vzorcev na sekundo (25:44100)
 - Osnova je okvir
 - Ugotavljanje točk ujemanja s poslušanjem (in vizualno)
- Prenos slike ločeno od zvoka
 - Spuščanje okvirjev videa, če le-ta zamuja





Kompresija zvoka

- CD kvaliteta, stereo zvok: 3min = 30MiB
 - Če hočemo zmanjšati velikost -> kompresija
- Zvočni signal je kompleksen (šum)
 - Brezizgubna kompresija ni učinkovita
- Odstranjevanje tišine
 - Tišine ne vzorčimo
 - Detekcija tišine (protišumna vrata)
- Algoritmi za kompresijo
 - Se razlikujejo od tistih za sliko
 - Visoke frekvence so pri zvoku pomembne





Kompresija govora

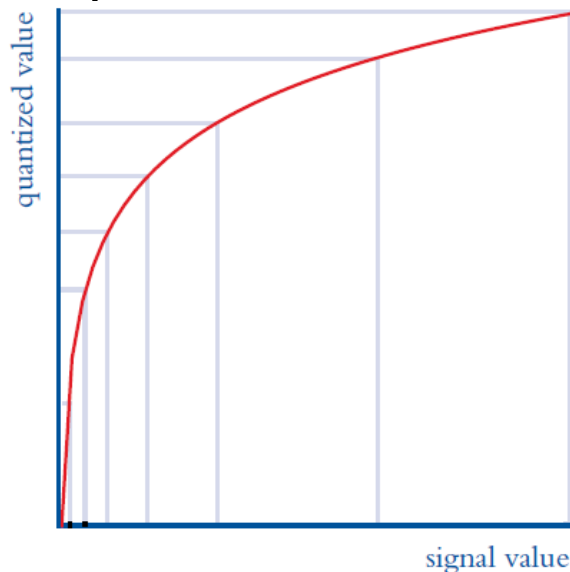
- Uporaba v prenosu govora preko telefona
 - 50-letna zgodovina
- **Nelinearna kvantizacija**
(več nivojev za nizke jakosti)
(*companding* = compressing/expanding)
 - Uporabljajo se različne log. funkcije:
 - Zakon μ : S Amerika, Japonska, format AU
 - Zakon A: Evropa, Slovenija

Telefonski signal:

96 kbps -> 64 kbps

frekvenca vzorčenja: 8kHz

dinamični obseg iz 12bit na 8bit





Kompresija govora

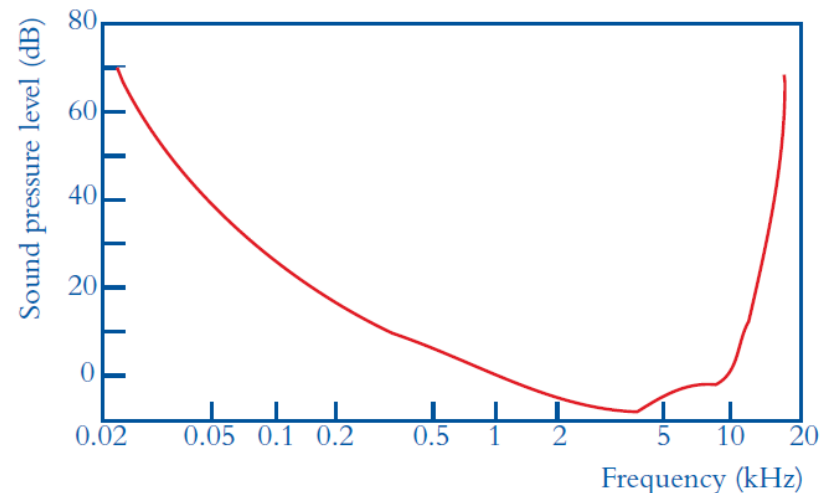
16 kbps in 32 kbps

- ***Adaptive Differential Pulse Code Modulation*** (ADPCM)
 - Shranijo se samo razlike med vzorci
 - Razlika z napovedano vrednostjo
 - Dinamično spreminjanje razpona nivojev
 - Majhne razlike – natančnejša kvantizacija
 - Ohranja se nivo podrobnosti
- ***Linear Predictive Coding*** 2.4 kbps
 - Uporaba matematičnega modela
 - Prenesejo se samo parametri
 - Ustvari „računalniški“ glas
 - Uporabno kjer je pomembnejše sporočilo in ne toliko zvok osebe



Kompresija na osnovi zaznavanja

- Ni potrebno hraniti zvokov, ki ne morejo biti predvajani ali niso slišni
- Človeško uho tihih zvokov ne more zaznati
 - Slišni prag se spreminja glede na frekvenco
 - Psiho-akustični model:

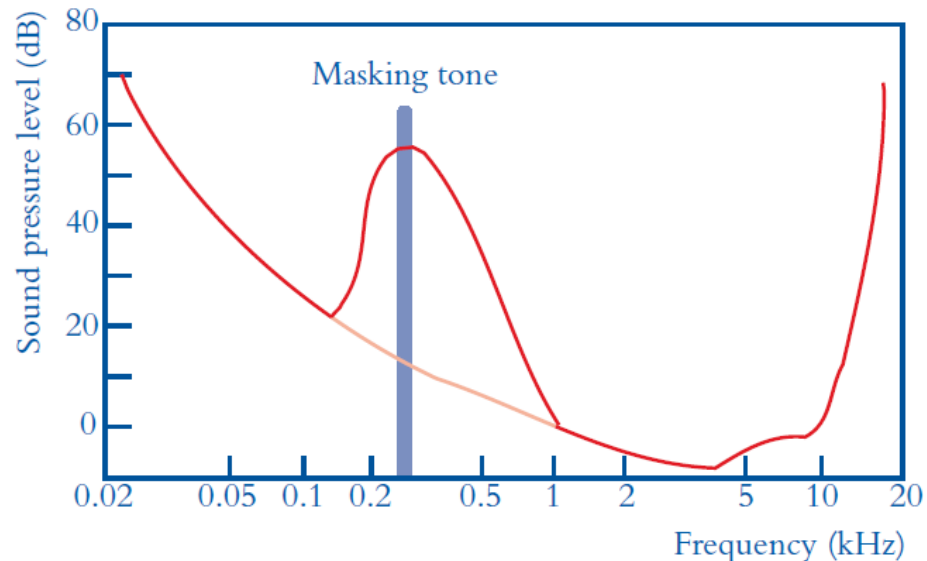


- Zvoke pod tem pragom (tihan zvoki) se ne shranjuje



Kompresija na osnovi zaznavanja

- Glasnejši toni preglasijo tišje
 - Po tem in tudi pred tem
 - Popravek praga v modelu:



- Maskiranje
 - Vsi toni pod krivuljo maske se ne slišijo = se ne hranijo



MPEG standardi

- MPEG avdio uporablja kompresijo na osnovi zaznavanja
- MPEG-1 Part3 (3 del)
 - Layer I (Nivo 1): 192 kbps
 - Layer II (Nivo 2): 128 kbps
 - Layer III (Nivo 3): 64 kbps (MP3)
 - Razmerje kompresije 10:1
 - Dober kot fm-radio, približek CD kvaliteti
 - Lahko generiramo tudi druge kbps
- MPEG2 (Part 7), MPEG4 (Part 3)
 - Izboljšave na prostorskem zvoku
 - Uporablja AAC (Advanced Audio Coding)
 - Razvit v MPEG-2, uporabljen tudi v MPEG-4
 - Boljša kompresija kot pri MP3
 - AAC avdio pri 96kbps = MP3 pri 128 kbps



MIDI

- Glasbo lahko prenesemo na dva načina:
 - Vzorčimo zvok in prenesemo vzorčen signal
 - Zakodiramo glasbo po neki konvenciji, prenesemo kode (parametre, note), ki jih nato rekonstruiramo (zaigramo)
- MIDI ()
 - Standardni protokol za komunikacijo med elektronskimi instrumenti
 - Instrumente se lahko nadzira s pošiljanjem nizov ukazov MIDI
 - Računalnik lahko generira, predvaja ukaze MIDI
 - Veliko večje kompresijske stopnje pri glasbi
 - Lahko zakodiramo samo glasbo
 - Lahko združimo z običajnim zvočnim zaporedjem

```
MFile 1 2 480
MTrk
0 Tempo 500000
0 PrCh ch=1 p=0
0 On ch=1 n=60 v=64
480 On ch=1 n=64 v=64
960 On ch=1 n=67 v=64
1440 Off ch=1 n=60 v=64
1920 Off ch=1 n=64 v=64
2400 Off ch=1 n=67 v=64
TrkEnd
MTrk
0 PrCh ch=2 p=0
0 On ch=2 n=40 v=64
480 On ch=2 n=45 v=64
960 Off ch=2 n=40 v=64
960 On ch=2 n=47 v=64
1440 Off ch=2 n=45 v=64
TrkEnd
```

[Program za ustvarjanje glasbe](#)

