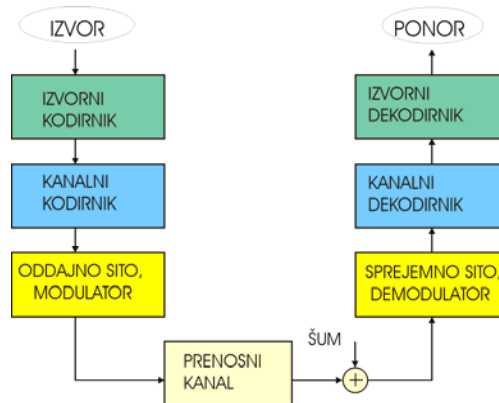


Kodiranje signalov

V modelu prenosnega sistema nastopata dve vrsti kodiranja:

- kodiranje izvora ali **izvorno kodiranje**
- kodiranje za prenos ali **kanalno kodiranje**



1

Namen izvornega kodiranja

- Namen izvornega kodiranja je zmanjšati dolžino zapisa o informacijskem signalu.
- Zmanjšanje dolžine zapisa gre lahko na račun izgube informacije (izgubno kodiranje), ali pa na račun odvečnega zapisa o signalu, ki ga imenujemo **redundanca**.
- Kodiranje z zmanjševanjem redundance je **brezizgubno kodiranje**, kar pomeni, da obstaja tudi inverzni postopek.



- Za kodiranje po izvoru analognih signalov (govor in slika) uporabljamo postopke izgubnega kodiranja. Posledica izgubnega kodiranja je zmanjšanje kvalitete signala.
- Kodiranje podatkov poteka po principu odvzemanja redundance, kar imenujemo tudi **entropijsko kodiranje**. Takšno kodiranje uporabljajo tudi programi za stiskanje datotek.

2

Kodiranje govora

Kodiranje signalnih oblik

- Pri kodiranju signalnih oblik (waveform coding) signal kodiramo neposredno z upoštevanjem njegovih časovno-frekvenčnih karakteristik.
- Obdelava analognega signala je lahko direktno v časovnem prostoru, ali pa signal razdelimo na frekvenčne podpasove in kodiramo vsak podpasovni signal posebej.

Analiza in sinteza

- Pri analizi in sintezi (vocoder) moramo poznati izvor informacije in model njenega nastanka. Pri govoru je to model organov govora ali vokalnega trakta. Izvorni signal s tem lahko analiziramo in predstavimo z nizom parametrov modela. S tem dosežemo mnogo manjše informacijske pretoke kot pri kodiranju signalnih oblik, zato pa je postopek kodiranja mnogo bolj zapleten ter časovno in računsko obsežen.
- Na izvoru analiziran in z nizom parametrov modela predstavljen signal zakodiramo in pošljemo sprejemniku. Ta sprejme parametre in jih na enakem modelu uporabi za sintezo približka izhodnega signala.

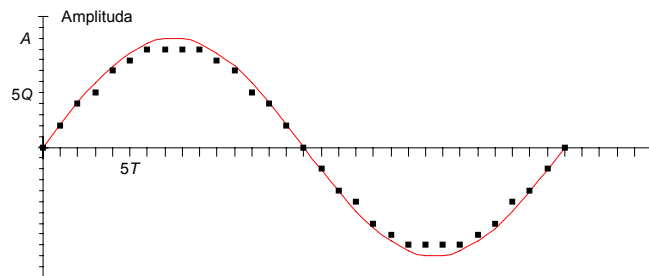
Mešano načelo

- Pri mešanem načelu želimo čimveč informacije sintetizirati preko parametrov modela, drugi del informacije pa prenašamo s kodiranjem signalnih oblik.

3

Kodiranje signalnih oblik

- Analogni signali so zvezni po času in po vrednosti. Teoretično vsebujejo analogni signali neskončno informacij, le del te informacije pa je pomemben (relevanten).
- Digitalni signali so diskretni po času in po vrednosti, zato nosijo končno informacijo.
- Pretvorba analognega signala v digitalni signal (A/D = digitalizacija) obsega dva postopka: **vzorčenje** in **kvantizacijo**.



4

Vzorčenje in kvantizacija

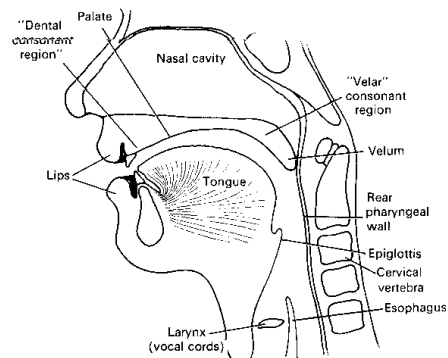
- **Vzorčenje** je diskretizacija analognega signala po času. Pri vzorčenju ne izgubimo informacije, če je vzorčevalna frekvenca vsaj dvakrat višja od najvišje frekvence vsebovane v signalu. Analognemu signalu moramo zato pred vzorčenjem omejiti frekvenčni spekter. Frekvenčno omejeni analogni signal lahko po vzorčenju popolnoma rekonstruiramo !
- Kodiranje vzorcev analognega signala imenujemo **kvantizacija**. Kvantizacija predstavlja izgubo informacije. Razliko med vzorcem in kvantiziranim vzorcem imenujemo **kvantizacijska napaka**. Povprečno vrednost kvantizacijske napake imenujemo **kvantizacijski šum**. Poleg kvantizacijske napake lahko nastopi tudi napaka zaradi prekoračitve dinamičnega območja kvantizatorja.
 - Kvantizacijska karakteristika je lahko linearna ali nelinearna.
 - Popačitev signala izražamo z razmerjem povprečnih vrednosti vzorcev signala in kvantizacijskega šuma. Za linearni kvantizator je to razmerje enako: (št. bitov=**b**, dinamično območje=**-D,D**, amplituda signala **x=X**)

$$SNR \approx 6 \cdot b + 10 \cdot \log\left(3 \frac{\overline{x^2}}{X^2}\right) - 20 \cdot \log\left(\frac{X}{D}\right)$$

5

Značilnosti govornega organa

- Govor se tvori v vokalnem traktu, ki ga sestavljajo: pljuča, glasilke, žrelo, ustna in nosna votlina, jezik, mehko nebo ter ustna in nosna odprtina.
- Zračni tok iz pljuč povzroči tresenje glasilk, ki ustvari akustično nihanje. Le to se v preostalih delih vokalnega trakta oblikuje in ojačuje ter izhaja skozi ustno in nosno odprtino kot govor.



6

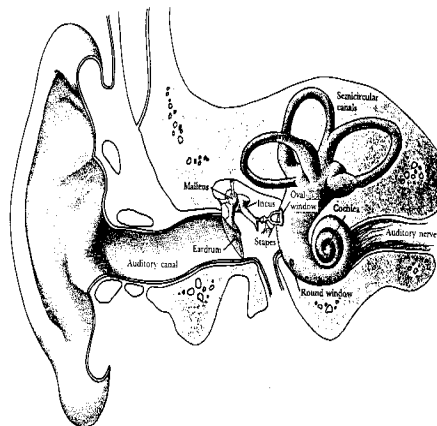
Lastnosti govornega signala

- **Frekvenčni obseg:** človeški govor lahko obsega frekvence med 80 Hz in 12 kHz, tipično pa le med 100-200 Hz na spodnji meji in 7-8 kHz na zgornji meji.
 - Moški imajo v povprečju nižje glasove s spodnjo frekvenčno mejo 80 do 120 Hz, ženske pa višje s spodnjo mejo med 120 in 250 Hz.
 - Glavnina govorne moči leži v frekvenčnem območju med 200 in 500 Hz, z višanjem frekvence gostota te moči hitro upada.
- **Dinamika:** je razmerje med spodnjo in zgornjo mejo nivojev govornega signala.
 - Na celotnem frekvenčnem območju je to razmerje okoli 60 dB. Če govorni signal omejimo na ožji frekvenčni pas (300-3400 Hz), pa dinamika pade na približno 40 dB.
- **Aktivnost:**
 - V govornem signalu obstajajo odseki, kjer govorna moč pade skoraj na nič. To so obdobja tišine, v katerih govorec ne proizvaja govorne moči.
 - V pogovoru dveh oseb je obdobje tišine posameznega govornika okoli 65% trajanja pogovora.

7

Zaznavanje govora

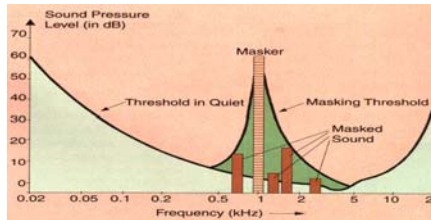
- Človeško uho zazna akustična nihanja v frekvenčnem območju med 20 Hz in 20 kHz, kar je več kot dovolj za sprejemanje govornega signala.
- Z izločitvijo najnižjih in najvišjih frekvenc govora zanemarljivo zmanjšamo njegovo razumljivost, bolj pa se zmanjša občutek naravnosti in težja je prepoznavna govornika.



8

Informacija, redundanca in irelevanca

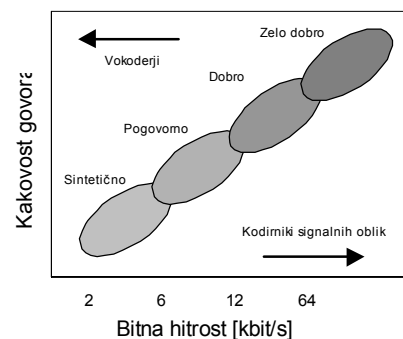
- Redundančna informacija ~ **redundanca**
 - Je tisti del informacije, ki je zajet že v kakšni drugi obliki. Zato jo lahko v principu odstranimo, ne da bi s tem informacijo okrnili.
 - Zmanjševanje redundantne informacije zato imenujemo tudi brezizgubna kompresija signala.
- Irelevantna informacija ~ **irelevanca**
 - Irelevance uporabnik zaradi svojih PSIHOFIZIČNIH lastnosti ni sposoben sprejeti !
 - Kodiranje z izločanjem irelevance je izgubno kodiranje oziroma izgubna kompresija signala.
 - Optimizacijo izgubne kompresije je mogoča, če poznamo psihofizične lastnosti dojetanja zvoka pri človeku. Primer je maskirni učinek:



9

Kakovost kodiranega govora

- Večina postopkov ocenjevanja kakovosti kodiranega govora temelji na povprečni **subjektivni oceni** poslušalcev:
 - povprečna ocena **MOS**: (1,2,3,4,5)
 - primerjalna ocena parov kodiranih govornih vzorcev **CMOS**: (-3,-2,-1,0,1,2,3)
 - Na podlagi pravilno razumljenih logatomov, besed ali stavkov se izračuna **ocena razumljivosti**.
- **Objektivna ocena** kakovosti se podajo le za postopke, ki temeljijo na kodiranju signalnih oblik. Mera kakovosti je na primer razmerje signal/kvantizacijski šum.
- Objektivne ocene so podrejene subjektivnim, saj z njimi ne moremo ugotoviti ali bo kodiran vzorec zvenel naravno in če bo sploh razumljiv.



10

Namen kanalnega kodiranja

- Kanalni kodirnik **dodaja redundanco** informacijskemu signalu.
- Učinek kodiranja se stopnjuje glede na delež redundance:
- Če dodamo malo redundance, lahko **detektiramo napake** pri prenosu,
- Če v kanalnem kodirniku dodamo več redundance, lahko v sprejemniku na kanalnem dekodirniku detektiramo in tudi **popravljamo napake**.



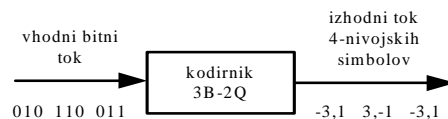
- Učinkoviti postopki kanalnega kodiranja in dekodiranja uporabljajo dekodiranje na osnovi prepoznavanja najbolj verjetnih dolgih zaporedij simbolov.

11

Kanalno kodiranje

- Načelno lahko postopke kanalnega kodiranja razdelimo na **bločno kodiranje** in **konvolucijsko kodiranje**.
- Velikost redundance pri bločnem kanalnem kodiranju določamo iz razmerja izhodnega toka simbolov in vhodnega toka bitov na $(N B - M L)$ kodirniku:

$$R = 1 - \frac{N}{M \cdot \log_2(L)}$$



- Za podani primer bločne kode je redundanca **R=5.4 %**.
- Primer preprostega redundančnega kodiranja je dodajanje paritetnega bita, na primer: **7B - 8B, 8B - 9B**.

12

Odkrivanje in popravljanje napak

- Napake odkrivamo običajno z dodajanjem redundance v obliki paritete ali v obliki ciklične redundance (CRC).
 - Paritetni bit v 7B-8B kodi pove ali je v predhodnih 7 bitih sodo ali liho število enic:
 - 00110111 ni napake**
 - 00010111 prišlo je do napake**
 - Namesto paritetnega bita lahko dodamo CRC. CRC je lahko dolg več bitov in ga izračunamo na osnovi vseh bitov v bloku s pomočjo polinoma. CRC omogoča odkrivanje več napak v bloku.
- Da bi lahko napako popravili, moramo dodati več redundance.

Primer popravljanja je bločno kodiranje z dvakratno pariteto:

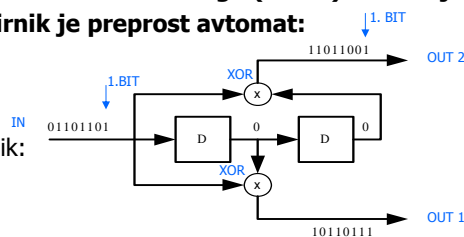
0	1	0	1	1	0	1	1
1	0	0	0	0	0	1	1
0	1	0	1	1	1	0	1
0	0	1	1	1	0	1	0
1	1	1	0	0	0	1	1
0	1	0	1	0	0	1	0
1	0	0	0	1	0	1	0
0	1	1	0	1	0	1	

13

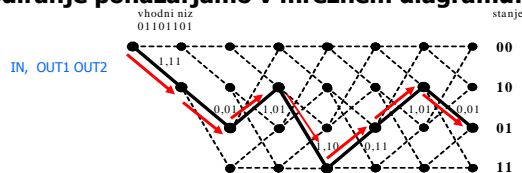
Konvolucijsko kodiranje

- Konvolucijske kode so vrsta mrežnega (**trellis**) kodiranja.
- Konvolucijski kodirnik je preprost avtomat:

Zgled:
1/2 konvolucijski kodirnik:



- Mrežno kodiranje ponazarjamo v mrežnem diagramu:



- Za dekodiranje mrežne kode uporabljamo **Viterbijev** algoritem.

14