

Teorija informacije

Izvorno kodiranje

Izvorno kodiranje

- ♦ Uvod
 - Svojstva metoda izvornog kodiranja
 - Analogni mediji u diskretnom kom. sustavu
 - Principi kompresije pri izvornom kodiranju
- ♦ Osnovne metode izvornog kodiranja
 - Kvantizacija
 - Poduzorkovanje
 - Transformacijsko kodiranje
 - Diferencijalno (predikcijsko) kodiranje
 - Potpojasno kodiranje
 - Kodiranje zasnovano na modelu

09/05

TI • Izvorno kodiranje

2

Svojstva metoda izvornog kodiranja

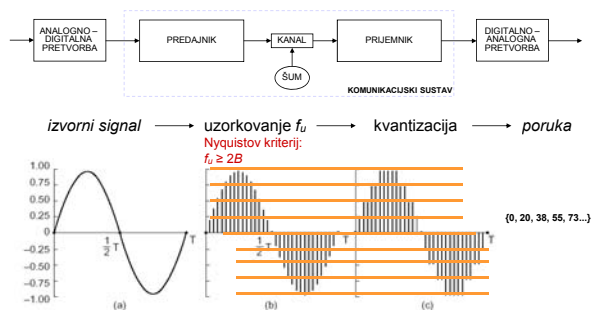
- ♦ Najčešće sažimaju s gubicima
- ♦ Koriste semantiku izvora, tj. posebna svojstva pojedinih medija
- ♦ Koriste karakteristike ljudske percepcije medija za bolju kompresiju uz malo primjetnu pogrešku
- ♦ Omjer kompresije jako ovisan o sadržaju
- ♦ Koriste se u sklopu hibridnih metoda za kodiranje pojedinih medija
 - Obično prvo izvorno kodiranje, zatim entropijsko

09/05

TI • Izvorno kodiranje

3

Analogni mediji u diskretnom komunikacijskom sustavu



09/05

TI • Izvorno kodiranje

4

Principi kompresije pri izvornom kodiranju

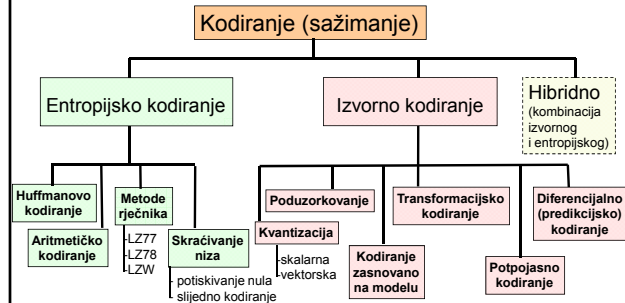
- ♦ Uklanjanje zalihosti (redundancije):
 - Vremenska zalihost (npr. korelacija uzastopnih uzoraka zvučnog signala)
 - Prostorna zalihost (npr. korelacija susjednih elemenata slike - pixela)
 - Spektralna zalihost (npr. korelacija između boja ili svjetline u slici)
- ♦ Uklanjanje irelevantnosti:
 - Granice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

09/05

TI • Izvorno kodiranje

5

Osnovne metode izvornog kodiranja



09/05

TI • Izvorno kodiranje

6

Kvantizacija

- ♦ Aproksimacija signala konačnim skupom kodova
 - Raspon ulaza podijeljen na intervale
 - Sve vrijednosti u intervalu isti kod – nije reverzibilno!
 - Kod intervala dekodira se kao razina kvantizacije
 - Svaka vrijednost se svodi na jednu razinu kvantizacije
- ♦ A/D pretvorba uvijek uvodi kvantizaciju
- ♦ Izuzetno korisna kao metoda kompresije
 - Primjer: zvuk 16 bit (65536 razina) → 8 bit (256 razina)
- ♦ Linearna i nelinearna kvantizacija
- ♦ Skalarna i vektorska kvantizacija

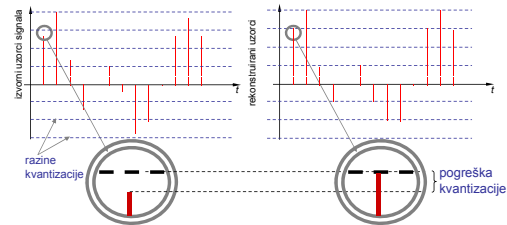


09/05

TI • Izvorno kodiranje

7

Pogreška kvantizacije

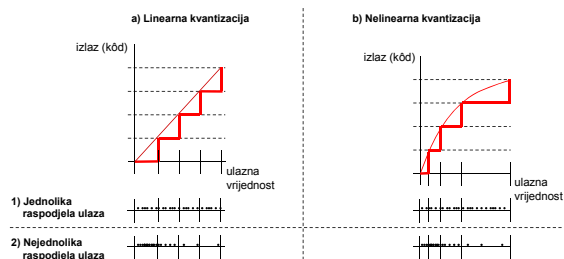


09/05

TI • Izvorno kodiranje

8

Linearna i nelinearna kvantizacija



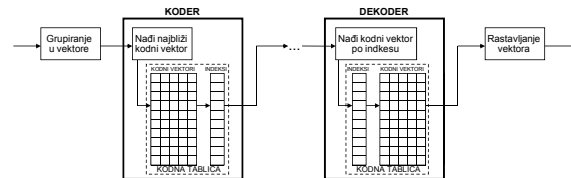
09/05

TI • Izvorno kodiranje

9

Vektorska kvantizacija

- ♦ Podaci se grupiraju u n -dimenzionalne vektore
- ♦ Za svaki vektor se u *kodnoj tablici* pronalazi najbliži *kodni vektor*; njegov *indeks* je kod
- ♦ Za dekodiranje se koristi ista kodna tablica



10

Primjer: 2D vektorska kvantizacija

- ♦ Kodna tablica:

- $i = 1$: $y_1 = (0, 0)$
- $i = 2$: $y_2 = (2, 1)$
- $i = 3$: $y_3 = (1, 3)$
- $i = 4$: $y_4 = (1, 4)$

- ♦ Poruka: 0 1 2 3 2 0
- ♦ Kodirano: 1 3 2 0
- ♦ Dekodirana poruka: 0 0 3 2 1
- ♦ Pogreška kvantizacije: 0 -1 -1 0 0 1

09/05

TI • Izvorno kodiranje

11

Primjer: vektorska kvantizacija slike (1/2)



09/05

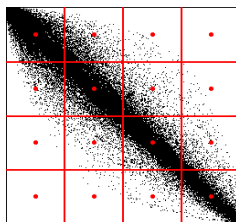
TI • Izvorno kodiranje

12

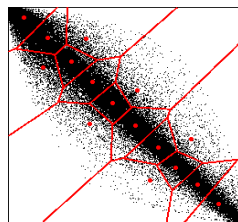
Primjer: vektorska kvantizacija slike (2/2)



Zavod za telekomunikacije



Skalarna kvantizacija prikazana u obliku vektorske kvantizacije



Vektorska kvantizacija

09/05

T1 • Izvorno kodiranje

13

Poduzorkovanje



Zavod za telekomunikacije

- ♦ Smanjivanje frekvencije uzorkovanja
 - Slika: rezolucija
 - Zvuk: broj uzoraka zvuka u sekundi
- ♦ Smanjivanje broja uzoraka = sažimanje
- ♦ Nyquist: granica poduzorkovanja bez pogreške
- ♦ Svjesno unošenje pogreške
 - Uzima se u obzir:
 - ograničenja ljudske percepcije
 - posebnosti pojedine primjene
 - Prije poduzorkovanja niskopropusni filter

09/05

T1 • Izvorno kodiranje

14

Transformacijsko kodiranje



Zavod za telekomunikacije

- ♦ Poruka se pretvara (*transformira*) u oblik pogodniji za kompresiju
 - npr. iz vremenske u frekvencijsku domenu
- ♦ Transformacija je reverzibilna i ne komprimira
- ♦ Kompresija u drugom koraku: odbacivanje i/ili kvantizacija
 - Transformacija omogućuje kompresiju, premda je izravno ne vrši

09/05

T1 • Izvorno kodiranje

15

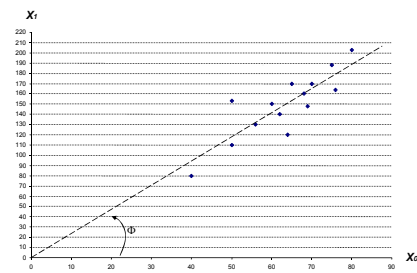
Primjer: princip transf. kodiranja (1/3)



Zavod za telekomunikacije

TEŽINA (X_0)	VISINA (X_1)
65	170
75	188
60	150
70	170
56	130
80	203
68	160
40	80
50	110
69	148
62	140
76	164
64	120

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} X_0 \\ X_1 \end{bmatrix}$$



09/05

T1 • Izvorno kodiranje

16

Primjer: princip transf. kodiranja (2/3)

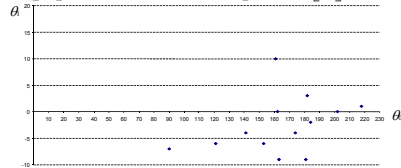


Zavod za telekomunikacije

- ♦ Rotiramo točke grafa za Φ : $\Theta = A\mathbf{X}$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \cos \Phi & \sin \Phi \\ -\sin \Phi & \cos \Phi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.37139068 & 0.92847669 \\ -0.92847669 & 0.37139068 \end{bmatrix} \quad \Theta = \begin{bmatrix} \theta_0 \\ \theta_1 \end{bmatrix}$$

θ_0	θ_1
182	3
202	0
162	0
184	-2
141	-4
218	1
174	-4
121	-6
90	-7
161	10
163	-9
153	-6
181	-9
135	-15



$$\mathbf{A}^{-1} = \begin{bmatrix} \cos \Phi & -\sin \Phi \\ \sin \Phi & \cos \Phi \end{bmatrix} \quad \mathbf{X} = \mathbf{A}^{-1}\Theta$$

09/05

T1 • Izvorno kodiranje

17

Primjer: princip transf. kodiranja (3/3)



Zavod za telekomunikacije

- ♦ Sve θ_1 izjednačimo s nulom (ne treba ih kodirati)
- ♦ Inverzna transformacija: $\mathbf{X} = \mathbf{A}^{-1}\Theta$

Izvorni podaci		Rekonstruirani podaci	
TEŽINA (X_0)	VISINA (X_1)	TEŽINA (X_0)	VISINA (X_1)
65	170	68	169
75	188	75	188
60	150	60	150
70	170	68	171
56	130	53	131
80	203	81	203
68	160	65	162
50	110	45	112
40	80	34	84
50	153	60	150
69	148	61	151
62	140	57	142
76	164	67	168
64	120	50	125

09/05

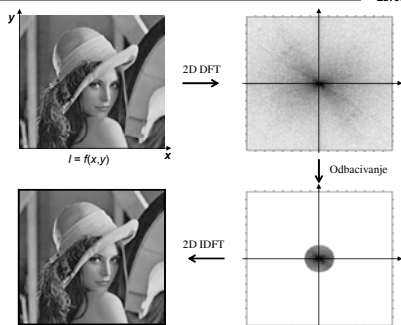
T1 • Izvorno kodiranje

18

Primjer 2: Fourierova transformacija slike



Zavod za telekomunikacije



09/05

T1 • Izvorno kodiranje

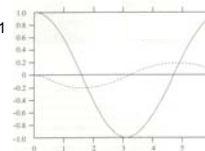
19

Diferencijalno (predikcijsko) kodiranje



Zavod za telekomunikacije

- ♦ Koristi korelaciju među susjednim uzorcima
 - U vremenu (npr. zvuka) ili prostoru (npr. slika)
- ♦ Svaki uzorak se predviđa iz prethodnih uzoraka
- ♦ Predviđena – stvarna vrijednost = **signal razlike**
 - Manji raspon i promjena → bolje kodiranje
- ♦ Jednostavno predviđanje: $x_n = x_{n-1}$
 - Signal razlike je razlika među susjednim uzorcima



09/05

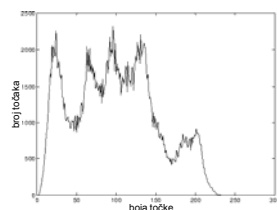
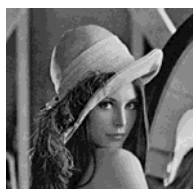
T1 • Izvorno kodiranje

20

Primjer: diferencijalno kodiranje slike



Zavod za telekomunikacije



Direktnim entropijskim kodiranjem može se postići 7 bita po točki

09/05

T1 • Izvorno kodiranje

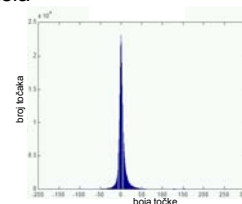
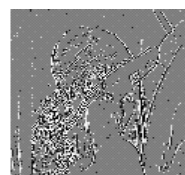
21

Signal razlike



Zavod za telekomunikacije

- ♦ Razlika susjednih pixela



- ♦ Signal se ujednačuje, koncentracija u malom broju vrijednosti, entropija 2.6 bita po točki

09/05

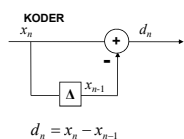
T1 • Izvorno kodiranje

22

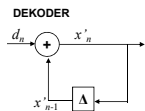
Primitivni postupak diferencijalnog kodiranja



Zavod za telekomunikacije



$$d_n = x_n - x_{n-1}$$



$$x'_n = d_n + x'_{n-1} = x_n - x_{n-1} + x'_{n-1} = x_n$$

- ♦ $\{x_n\}$: 6.2 9.7 13.2 5.9 8 7.4 4.2 1.8
- ♦ $\{d_n\}$: 6.2 3.5 3.5 -7.3 2.1 -0.6 -3.2 -2.4
- ♦ $\{x'_n\}$: 6.2 9.7 13.2 5.9 8 7.4 4.2 1.8
- ♦ Pogreška: 0

09/05

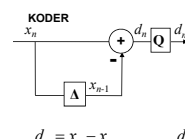
T1 • Izvorno kodiranje

23

Primitivni postupak sa kvantizacijom

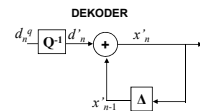


Zavod za telekomunikacije



$$d_n = x_n - x_{n-1}$$

$$d'_n = d_n + q_n$$



$$x'_n = d'_n + x'_{n-1} = x_n + \sum_{k=1}^n q_k$$

- ♦ Kvantizator sa 7 razina: -6, -4, -2, 0, 2, 4, 6
- ♦ $\{d'_n\}$: 6 4 4 -6 2 0 -4 -2
- ♦ $\{x'_n\}$: 6 10 14 8 10 6 4
- ♦ $\{\epsilon_n\}$: 0.2 -0.3 -0.8 -2.1 -2 -2.6 -1.8 -2.2
 - Pogreška kvantizacije se akumulira

09/05

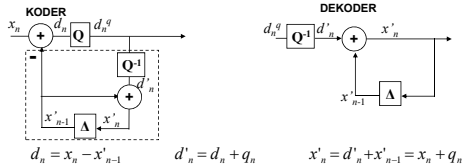
T1 • Izvorno kodiranje

24

Izbjegavanje akumulacije kvant. pogreške



Zavod za telekomunikacije



- ♦ $\{d'_n\}$: 6 4 4 -6 0 0 -4 -2
- ♦ $\{x'_n\}$: 6 10 14 8 8 8 4 2
- ♦ $\{\epsilon_n\}$: 0.2 -0.3 -0.8 -2.1 0 -0.6 0.2 -0.2

09/05

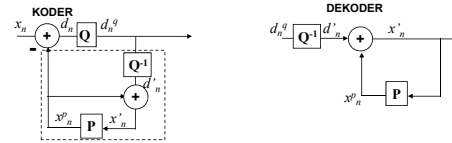
T1 • Izvorno kodiranje

25

Osnovni postupak diferencijalnog kodiranja



Zavod za telekomunikacije



- ♦ Prediktor: $x_n^p = P(x_{n-1}, x_{n-2}, \dots, x_{n-k})$
- ♦ Linearna predikcija: $x_n^p = a_1 x_{n-1} + a_2 x_{n-2} + \dots + a_k x_{n-k}$

09/05

T1 • Izvorno kodiranje

26

Podpojasno kodiranje



Zavod za telekomunikacije

- ♦ Signal se razdvaja na frekvencijske pojaseve
 - Dobiva se niz signala, po jedan za svaki frek. pojas
 - Svaki ima drugačije karakteristike i važnost
- ♦ Kodiranje svakog pojasa posebno
 - Više ili manje bitova s obzirom na važnost
 - Razne metode kodiranja s obzirom na karakteristike
- ♦ Primjeri primjene: kodiranje zvuka (MP3), slike (JPEG 2000)



09/05

T1 • Izvorno kodiranje

27

Primjer (1/5)



Zavod za telekomunikacije

- ♦ Kodiramo niz $\{x_n\}$
 - 10 14 10 12 14 8 14 12 10 8 10 12
- ♦ Diferencijalno kodiranje; signal razlike
 - 10 4 -4 2 2 -6 6 -2 -2 -2 2 2
- ♦ Dinamički raspon -6 do 6 = 12
- ♦ Koristimo m bitova; $M = 2^m$ razina kvantizacije
- ♦ Kvantizacijski interval: $\Delta = 12/M$
- ♦ Maksimalna pogreška kvantizacije: $\Delta/2 = 6/M$

09/05

T1 • Izvorno kodiranje

28

Primjer (2/5)

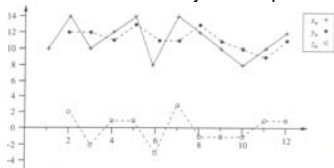


Zavod za telekomunikacije

- ♦ Rastavimo niz $\{x_n\}$ na dva nova niza $\{y_n\}$ i $\{z_n\}$
 - $\{y_n\}$ je prosjek susjednih vrijednosti – niskofrekvencijska komponenta

$$y_n = \frac{x_n + x_{n-1}}{2}$$
 - $\{z_n\}$ je razlika susjednih vrijednosti – visokofrekvencijska komponenta

$$z_n = \frac{x_n - x_{n-1}}{2}$$



$$x_n = y_n + z_n$$

09/05

T1 • Izvorno kodiranje

29

Primjer (3/5)



Zavod za telekomunikacije

- ♦ Kodiramo niz $\{y_n\}$
 - 10 12 12 11 13 11 11 13 11 10 9 11
- ♦ Diferencijalno kodiranje; signal razlike
 - 10 2 0 -1 2 -2 0 2 -2 -1 -1 2
- ♦ Dinamički raspon -2 do 2 = 4
- ♦ Koristimo m bitova; $M = 2^m$ razina kvantizacije
- ♦ Kvantizacijski interval: $\Delta = 4/M$
- ♦ Maksimalna pogreška kvantizacije: $\Delta/2 = 2/M$

09/05

T1 • Izvorno kodiranje

30

Primjer (4/5)



Zavod za telekomunikacije

- ♦ Kodiramo niz $\{z_n\}$
0 2 -2 1 1 -3 3 -1 -1 -1 1 1
- ♦ Signal razlike imao bi veću varijaciju od samog niza, stoga ne koristimo diferencijalno kodiranje nego direktno kvantiziramo
- ♦ Dinamički raspon -3 do 3 = 6
- ♦ Koristimo m bitova; $M = 2^m$ razina kvantizacije
- ♦ Kvantizacijski interval: $\Delta = 6/M$
- ♦ Maksimalna pogreška kvantizacije: $\Delta/2 = 3/M$

09/05

T1 • Izvorno kodiranje

31

Primjer (5/5)



Zavod za telekomunikacije

- ♦ Uz jednak broj bitova, max. pogreška kvantizacije
 - Za $\{x_n\} \rightarrow 6/M$
 - Za $\{y_n\} \rightarrow 2/M$
 - Za $\{z_n\} \rightarrow 3/M$
- ♦ Međutim, kodiramo dva niza umjesto jednog!?
 - Ne! Kodiramo samo svaki drugi član iz $\{y_n\}$ i $\{z_n\}$
 - Iz svakog drugog para y_n i z_n rekonstruiramo dva susjedna člana niza $\{x_n\}$

$$x_n = y_n + z_n \quad x_{n-1} = y_n - z_n$$

09/05

T1 • Izvorno kodiranje

32

Kodiranje zasnovano na modelu



Zavod za telekomunikacije

- ♦ Ne prenosimo se uzorci, nego parametri modela
- ♦ Na dekoderu se iz parametara pomoću modela sintetiziraju podaci slični izvornima
- ♦ Primjer
 - Koderi govora zasnovani na modelu (GSM)
 - Fraktalno kodiranje slike
 - Kodiranje videa ljudskog lica

09/05

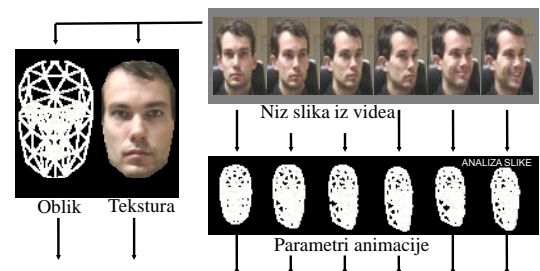
T1 • Izvorno kodiranje

33

Primjer: video ljudskog lica



Zavod za telekomunikacije



09/05

T1 • Izvorno kodiranje

34

Praćenje parametara u videu



Zavod za telekomunikacije



09/05

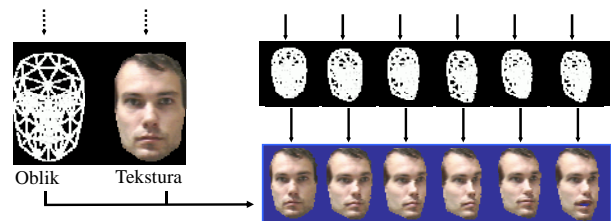
T1 • Izvorno kodiranje

35

Dekodiranje



Zavod za telekomunikacije



09/05

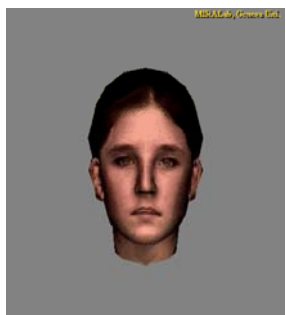
T1 • Izvorno kodiranje

36

Rezultat dekodiranja na drugom licu



Zavod za telekomunikacije



09/05

T1 • Izvorno kodiranje

37

Još jedan primjer



Zavod za telekomunikacije



09/05

T1 • Izvorno kodiranje

38