



# Číslicové spracovanie obrazov

## Prednáška č. 6

- **Všeobecný kompresný model**
- Pulzne kódová modulácia (PCM)
- Predikčný kódovací systém (PKS/DPCM)
- Transformačný kódovací systém (TKS)
- Hybridný kódovací systém (HKS)
- Úvod do entropického kódovania

# Všeobecný kompresný model – základné pojmy

## **Informácia**

*je to súbor nových poznatkov o určitej udalosti, objekte, procese a má náhodný charakter. Nosičom informácie je signál a ten slúži na jej prenos v priestore a čase.*

## **Správa**

*je vo všeobecnosti všetko, čo podlieha prenosu od odosielateľa k príjemcovi (napr. hovor, text, obraz). Správa je vhodnou formou vyjadrená informácia.*

## **Kompresia**

*cielená činnosť, ktorej výsledkom je redukcia objemu dát so zreteľom na maximálne zachovanie informačného obsahu.*

## **Redundancia**

*je nadbytočná informácia, ktorá sa dá obnoviť.*

## **Irelevancia**

*je nadbytočná informácia, ktorá nemá význam (napr. pri prenose obrazu nemá význam prenášať obraz v spektrálnych oblastiach, ktoré ľudské oko nevidí).*

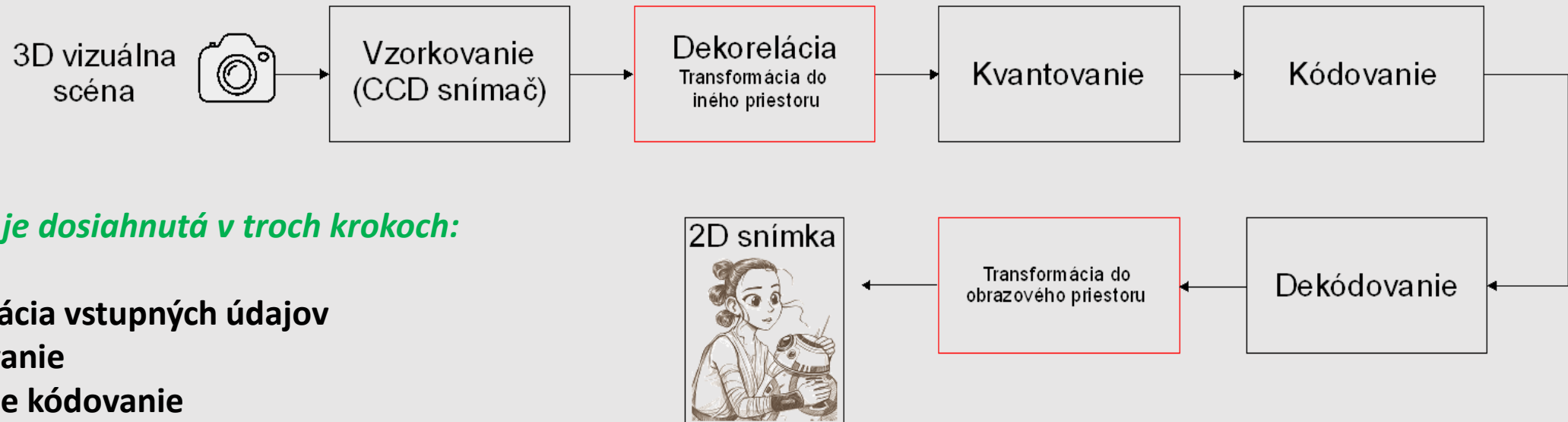
# Všeobecný kompresný model – základné pojmy

## **Stratová kompresia**

Dochádza okrem potlačenia redundancie aj k strate informácie. Typickým príkladom stratového odstránenia redundancie je kvantovanie. Využíva sa tu takzvaná prijateľná úroveň straty informácie, ktorá je vyhodnocovaná subjektívnymi technikami vyhodnocovania kvality.

## **Bezstratová kompresia**

Po spätnej rekonštrukcii obrazovej informácie musí byť táto identická s pôvodnou. Toto je docielené odstránením **irelevancie** a **redundancie** z pôvodného informačného obsahu.



**Kompresia je dosiahnutá v troch krokoch:**

- Dekorelácia vstupných údajov
- Kvantovanie
- Efektívne kódovanie



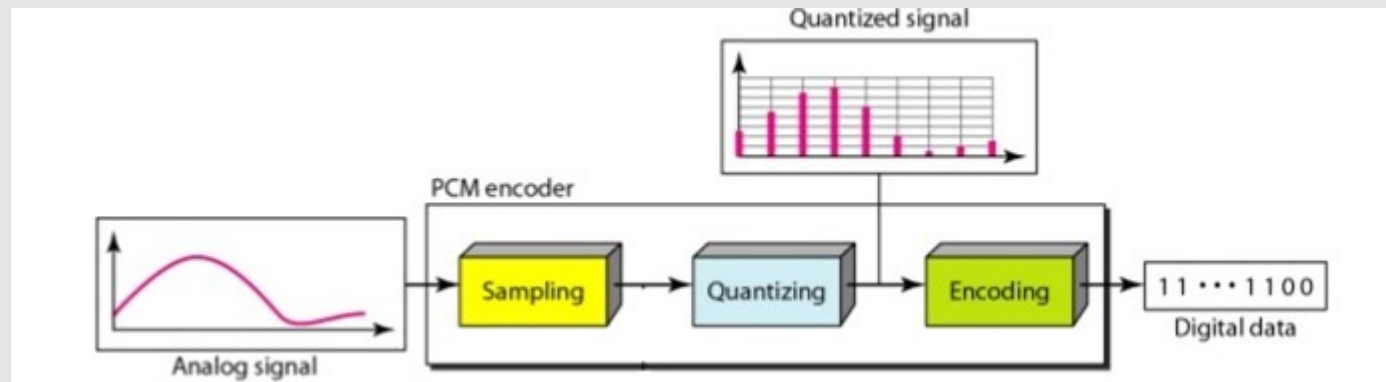
# Číslicové spracovanie obrazov

## Prednáška č. 6

- Všeobecný kompresný model
- **Pulzne kódová modulácia (PCM)**
- Predikčný kódovací systém (PKS/DPCM)
- Transformačný kódovací systém (TKS)
- Hybridný kódovací systém (HKS)
- Úvod do entropického kódovania

# Pulzne kódová modulácia (PCM)

- Kódovací systém, ktorý neaplikuje algoritmy dekorelácie a symboly kóduje pomocou rovnomerného kódu nazývame PCM systém.
- PCM prakticky nedosahuje žiadnu kompresiu, resp. len kompresiu zavedenú kvantizáciou.
- PCM sa využíval v začiatkoch telekomunikačných služieb a dnes ho považujeme za referenčný kódovací systém.
- Efektivita ostatných systémov sa vyhodnocuje na základe porovnania s týmto systémom.





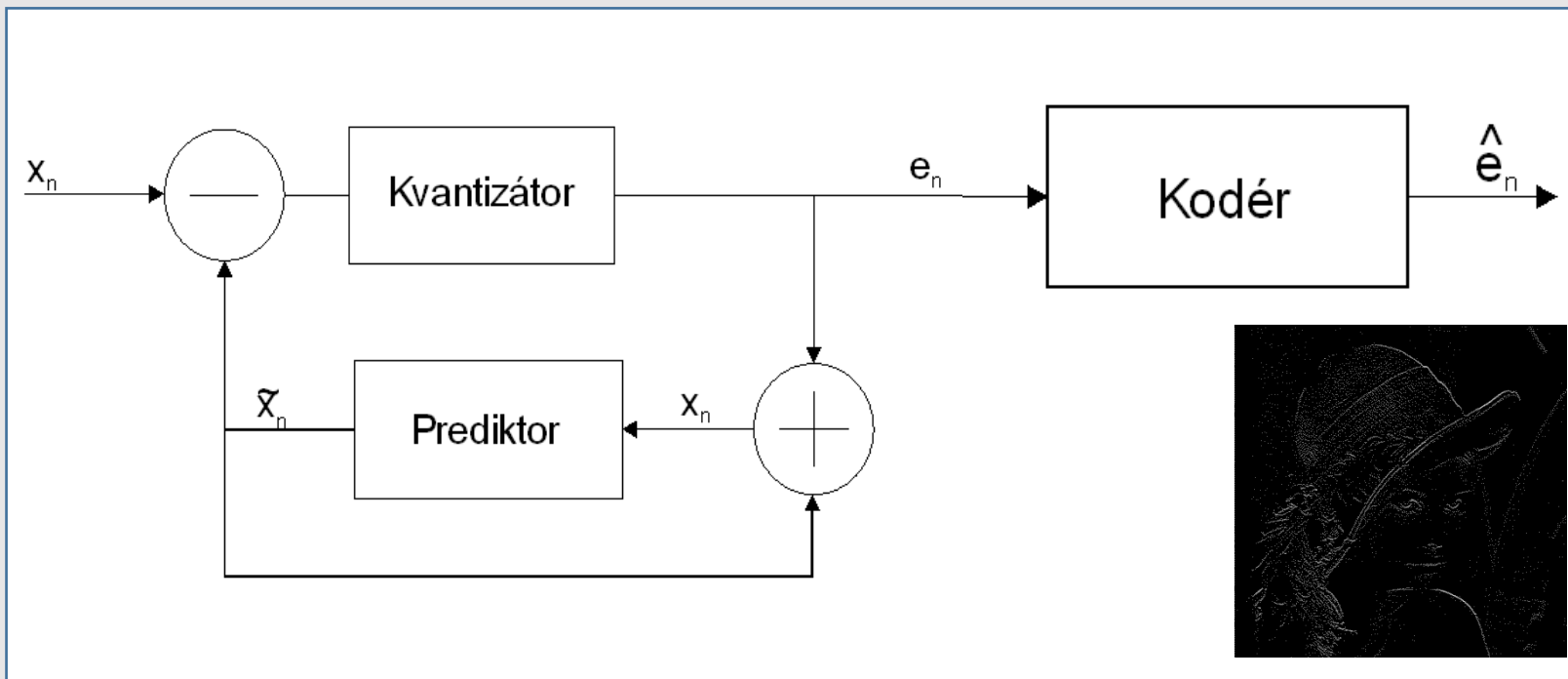
# Číslicové spracovanie obrazov

## Prednáška č. 6

- Všeobecný kompresný model
- Pulzne kódová modulácia (PCM)
- **Predikčný kódovací systém (PKS/DPCM)**
- Transformačný kódovací systém (TKS)
- Hybridný kódovací systém (HKS)
- Úvod do entropického kódovania

# Predikčný kódovací systém (PKS/DPCM)

- Princíp DPCM spočíva v kódovaní predikčných chýb
- Predikčné chyby môžu byť kódované rovnomerným alebo entropickým kódom
- **V prípade poruchy/rušenia je veľmi náchylný na rozšírenie chýb do veľkej časti obrazu!**



$$G = 10 \log_{10} \left( \frac{\sigma_x^2}{\sigma_e^2} \right) [dB]$$

- Predikčný zisk systému vypočítame ako podiel disperzie vstupného signálu a disperzie predikčných chýb
- Uvažujeme rovnomerný kód





# Číslicové spracovanie obrazov

## Prednáška č. 6

- Všeobecný kompresný model
- Pulzne kódová modulácia (PCM)
- Predikčný kódovací systém (PKS/DPCM)
- **Transformačný kódovací systém (TKS)**
- Hybridný kódovací systém (HKS)
- Úvod do entropického kódovania

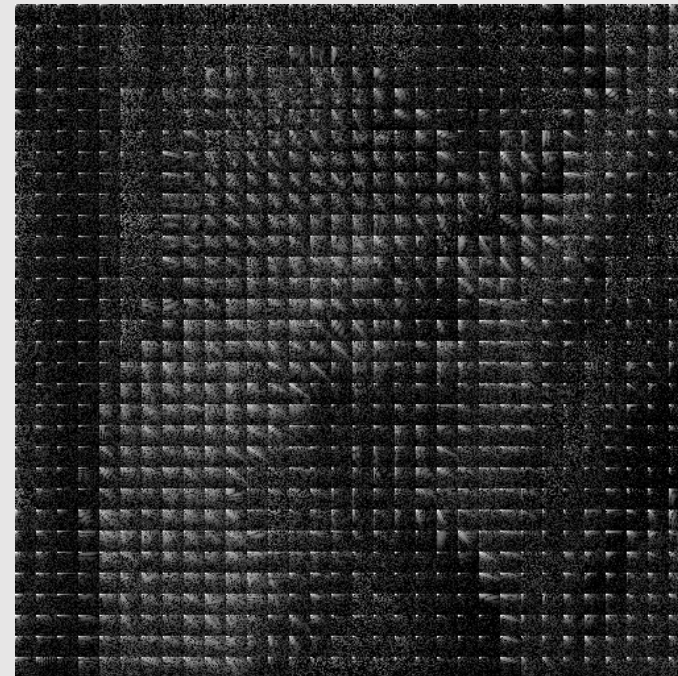
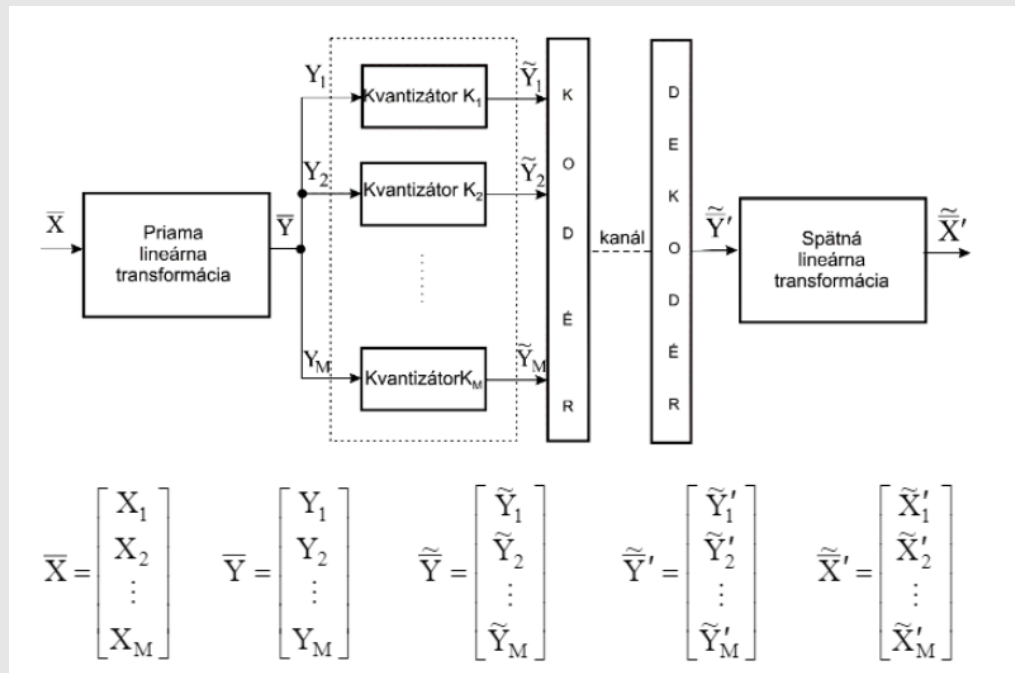


# Transformačný kódovací systém (TKS)

- TKS využíva diskkrétne ortogonálne transformácie
- Kompresiu údajov dosahuje predovšetkým potlačením irelevantných spektrálnych koeficientov.

## Typické vlastnosti TKS

- vysoká účinnosť kódovania,
- zložitá technická realizácia
- malá citlivosť na zmeny štatistických charakteristík vstupných signálov
- rozloženie kvantizačných aj kanálových chýb na celé bloky vzoriek



$$G = \frac{\sigma_x^2}{\left( \prod_{i=1}^M \sigma_{y_i}^2 \right)^{1/M}}$$



# Číslicové spracovanie obrazov

## Prednáška č. 6

- Všeobecný kompresný model
- Pulzne kódová modulácia (PCM)
- Predikčný kódovací systém (PKS/DPCM)
- Transformačný kódovací systém (TKS)
- **Hybridný kódovací systém (HKS)**
- Úvod do entropického kódovania

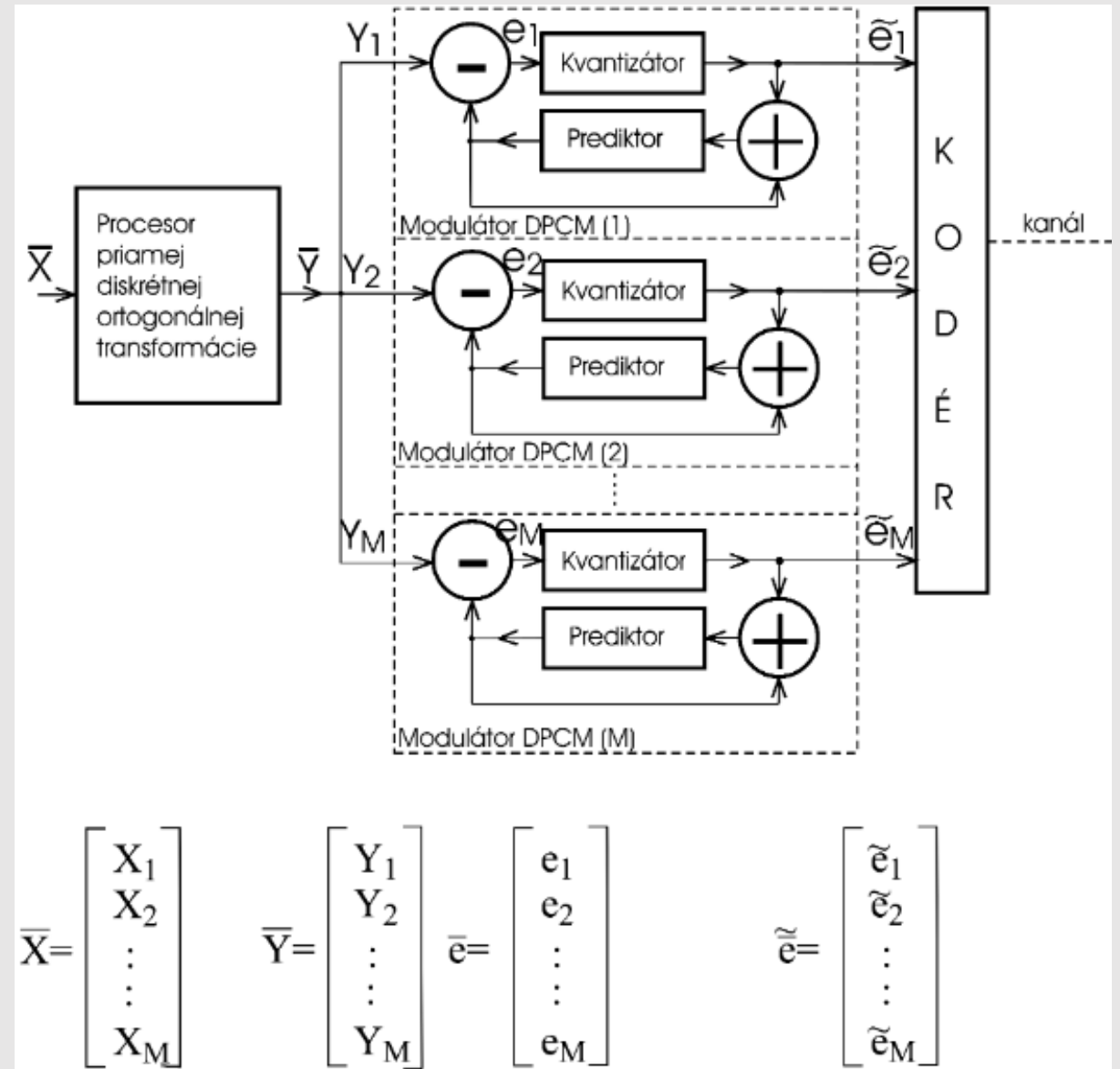
# Hybridný kódovací systém (TKS)

- Hybridné kódovanie obrazu používa jednorozmerné alebo dvojrozmerné diskkrétne ortogonálne transformácie v kombinácii s lineárnou predikciou.

## Typické vlastnosti HKS

- Kombinuje výhody TKS a PKS
- Odstraňuje medziblokovú koreláciu spektrálnych koeficientov

$$G = \frac{\sigma_x^2}{\left( \prod_{i=1}^M \sigma_{e_i}^2 \right)^{1/M}}$$





# Číslicové spracovanie obrazov

## Prednáška č. 6

- Všeobecný kompresný model
- Pulzne kódová modulácia (PCM)
- Predikčný kódovací systém (PKS/DPCM)
- Transformačný kódovací systém (TKS)
- Hybridný kódovací systém (HKS)
- **Úvod do entropického kódovania**

e

n

n

n

n

n

n

Úvod do entropického kódovania

# Úvod do entropického kódovania - Entropia

## Entropia

- Je to štatistická miera a je vždy kladná!
- Vo všeobecnosti hovoríme o **miere neusporiadanosti**
- V informačných technológiách pod pojmom entropia rozumieme **stredné množstvo informácie**

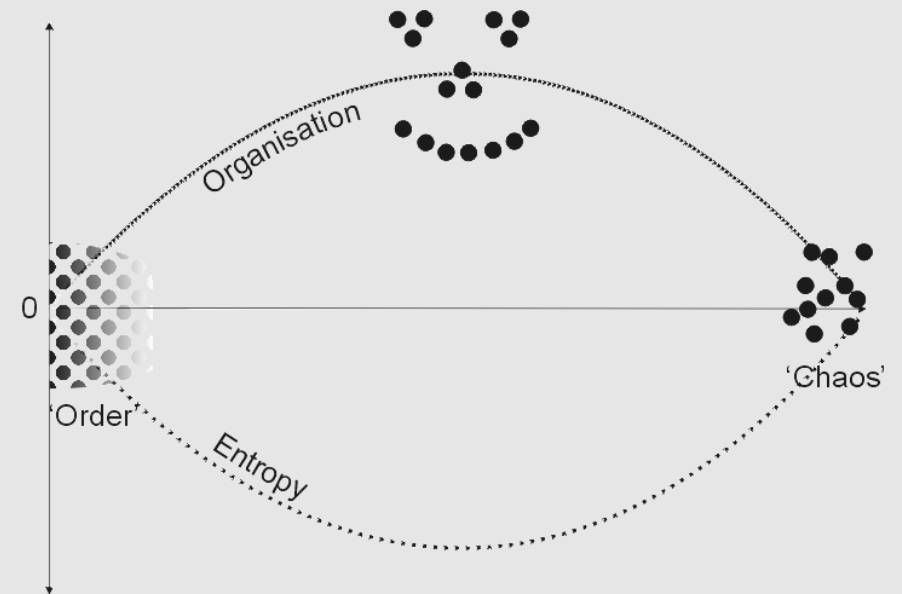
$$H = - \sum_{i=1}^N P_i (\log_2 P_i)$$

Entropiou je určená **minimálna stredná dĺžka kódového slova**. To znamená, že pri daných štatistických vlastnostiach obrazu nie je možné použiť kód s kratšou strednou dĺžkou, ako je daná entropiou nultého radu.

## Od poriadku k chaosu:

Čím vyššia entropia, tým je vyššia miera neusporiadanosti.

Mimochodom preto je potrebné neustále v domácnosti upratovať. Neporiadok sa spraví sám (zvýšenie entropie) ale poriadok treba zaviesť, resp. udržať ...



# Úvod do entropického kódovania – Kódovanie obrazu

Proces kódovania kvantizačných úrovní spočíva v priradení binárneho čísla každej kvantizačnej úrovni.

Každá kvantizačná hodnota alebo ich postupnosť musí mať jedinečný binárny kód a zároveň binárny kód jednej úrovne nesmie byť prefixom kódu inej úrovne.

- **Zdrojová abeceda** - predstavuje vstupné znaky (kvantizačné úrovne)
- **Kódová abeceda** - obsahuje kódové slová.

Kódy môžeme rozdeliť do dvoch základných kategórií

- **Rovnomerné** – Každému znaku (kv. úrovni) je priradený kód s rovnakou dĺžkou
- **Nerovnomerné** – Každému znaku je priradený kód s dĺžkou, ktorá je závislá od pravdepodobnosti daného znaku

Rovnomerné kódy - kódy s pevnou dĺžkou kódového slova

- Kódy priradia každému znaku zdrojovej abecedy kód rovnakej dĺžky.
- Nepochádza k žiadnej kompresii.
- **BCD (binárny kód)**
- **Grayov kód** - kódové slová nasledujúce za sebou sa líšia iba v jednom bite

Zdrojový znak	Kódové slovo	
	BCD kód	Grayov kód
0	000	000
1	001	001
2	010	011
3	011	010
4	100	110
5	101	111
6	110	101
7	111	100

# Úvod do entropického kódovania – Nerovnomerné kódy

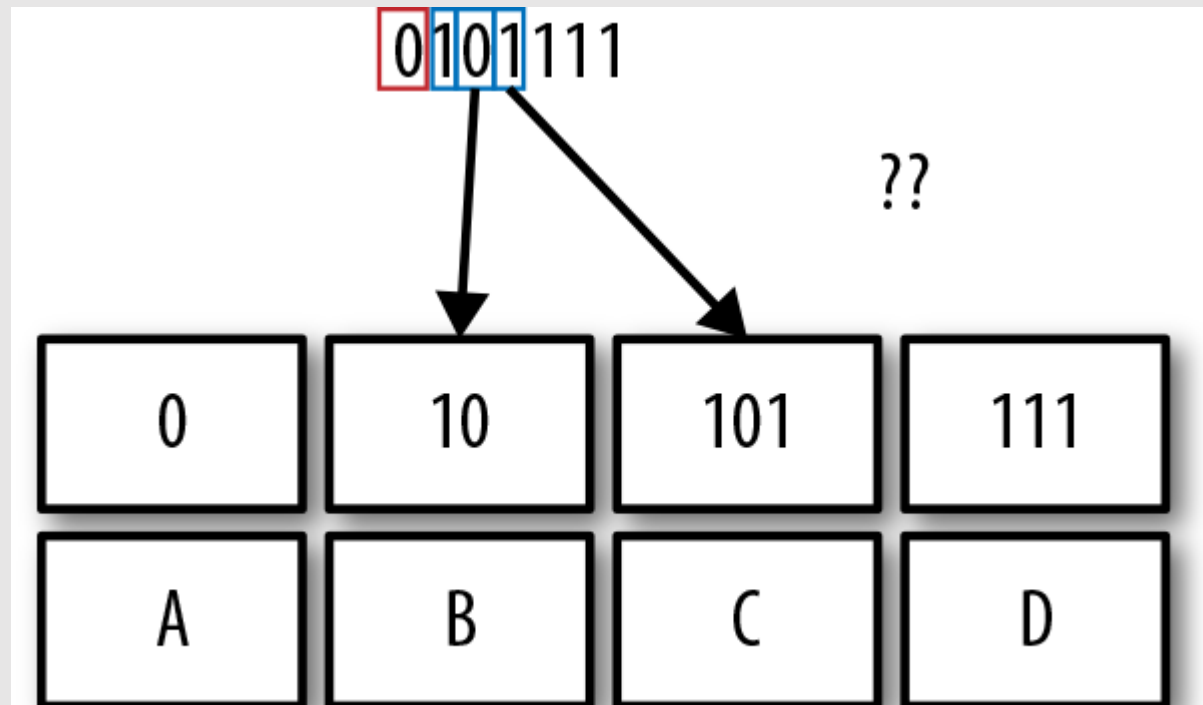
Tieto kódy zohľadňujú štatistické vlastnosti zdrojovej abecedy a predstavujú kompresné kódovanie. Hovoríme, že sú to **entropické kódy**.

- znakom zdrojovej abecedy, ktoré sa vyskytujú často, budú priradené krátke kódové slová
- znakom, ktoré sa vyskytujú zriedkavo, zase dlhšie kódové slová

Medzi nerovnomernými kódmi majú významné miesto tzv. prefixové kódy.

**Každé prefixové kódovanie je jednoznačne dekódovateľné**, ktoré je možné vykonať znak po znaku.

**Prefixový kód je taký kód, ktorého žiadne z kódových slov nie je prefixom iného kódového slova.**





# Úvod do entropického kódovania – Nerovnomerné kódy

Tieto kódy zohľadňujú štatistické vlastnosti zdrojovej abecedy a predstavujú kompresné kódovanie. Hovoríme, že sú to **entropické kódy**.

- znakom zdrojovej abecedy, ktoré sa vyskytujú často, budú priradené krátke kódové slová
- znakom, ktoré sa vyskytujú zriedkavo, zase dlhšie kódové slová

Medzi nerovnomernými kódmi majú významné miesto tzv. prefixové kódy.

**Každé prefixové kódovanie je jednoznačne dekódovateľné, ktoré je možné vykonať znak po znaku.**

**Prefixový kód je taký kód, ktorého žiadne z kódových slov nie je prefixom iného kódového slova.**

*Majme dve kódové abecedy, pomocou ktorých zakódujeme postupnosť „ABBA“*

1.

A – 0

B – 10

C – 11

*Po zakódovaní 010100*

*Možné dekódovanie ABBA*

*JEDNOZNAČNÉ*

2.

A – 0

B – 01

C – 10

*Po zakódovaní 001010*

*Možné dekódovanie AACC, ABBA*

*NEJEDNOZNAČNE*

Pri rovnomernom kóde nemôže vzniknúť nejednoznačnosť, pri nerovnomernom kóde na to treba dať pozor.

# Úvod do entropického kódovania – Nerovnomerné kódy

Tieto kódy zohľadňujú štatistické vlastnosti zdrojovej abecedy a predstavujú kompresné kódovanie. Hovoríme, že sú to **entropické kódy**.

- znakom zdrojovej abecedy, ktoré sa vyskytujú často, budú priradené krátke kódové slová
- znakom, ktoré sa vyskytujú zriedkavo, zase dlhšie kódové slová

Medzi nerovnomernými kódmi majú významné miesto tzv. prefixové kódy.

**Každé prefixové kódovanie je jednoznačne dekódovateľné, ktoré je možné vykonať znak po znaku.**

**Prefixový kód je taký kód, ktorého žiadne z kódových slov nie je prefixom iného kódového slova.**

**Stredná dĺžka kódového slova**

$$n^* = \sum_{i=1}^N P_i n_i$$

**Entropia** – Teoretické minimum str. dĺžky kódového slova

$$H = - \sum_{i=1}^N P_i (\log_2 P_i)$$

**Účinnosť kódu** – Miera efektivity kódovania, t. z. ako veľmi sa stredná dĺžka kódového slova približuje teoretickému minimu.

$$\eta = \frac{H}{n^*}$$

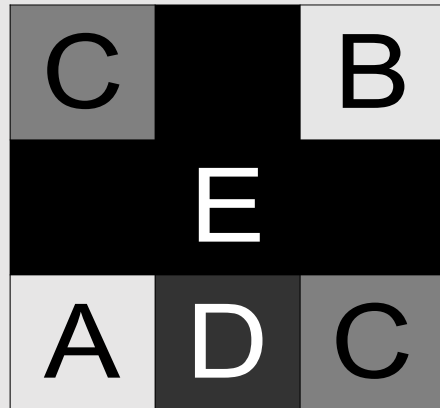
**Redukovaná redundancia** – rozdiel dĺžky slova rovnomerného kódu a strednej dĺžky kódového slova

$$R = n_{rk} - n^*$$

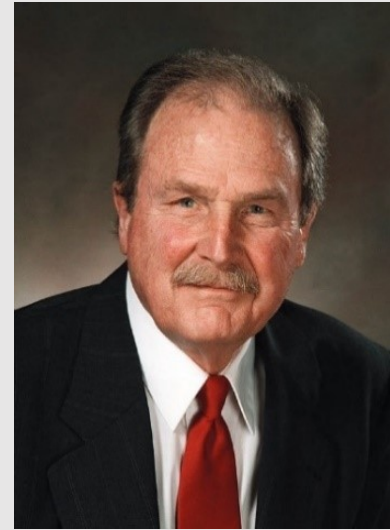
# Úvod do entropického kódovania – Huffmanov kód

Huffmanov algoritmus tvorby kódu generuje binárne stromy, kde cesty z počiatočného do koncového uzlu umožňujú vytvoriť kódové slová

Huf. kód tvoríme tak, že najprv určíme pravdepodobnosť znakov zdrojovej abecedy a tie zoradíme od najpravdepodobnejšieho po najmenej pravdepodobný



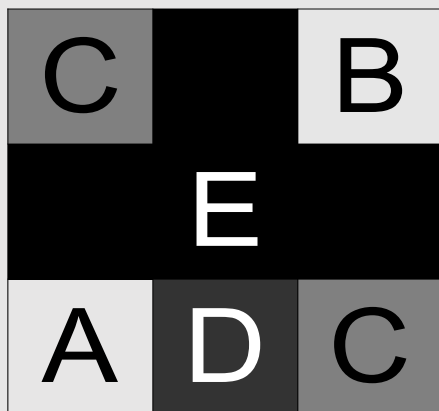
Symbol	$P_i$
E	4/9
C	2/9
A	1/9
B	1/9
D	1/9



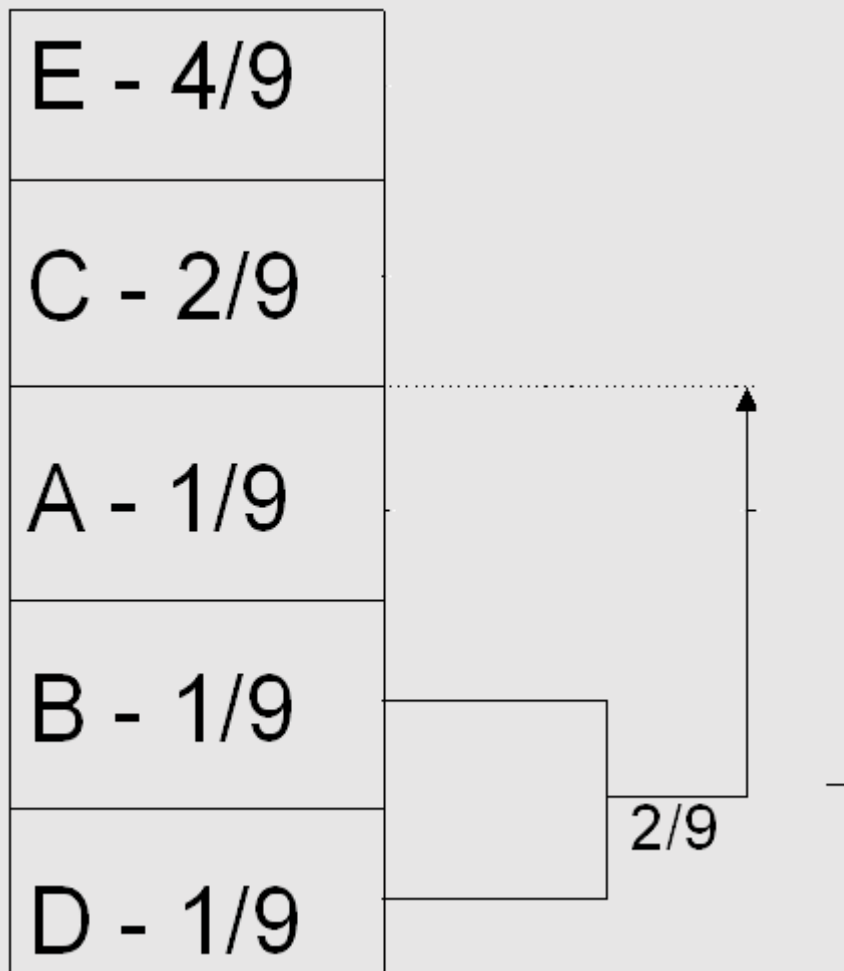
D.A. Huffman  
(1925-1999)

# Úvod do entropického kódovania – Huffmanov kód

V nasledujúcom kroku sa sčítavajú pravdepodobnosti dvoch najnižších prvkov. Pritom sa vytvárajú vetvy stromu tak, že novovzniknuté „dočasné medziprvky“ sa podľa hodnoty pravdepodobnosti posúvajú na patričné miesto.

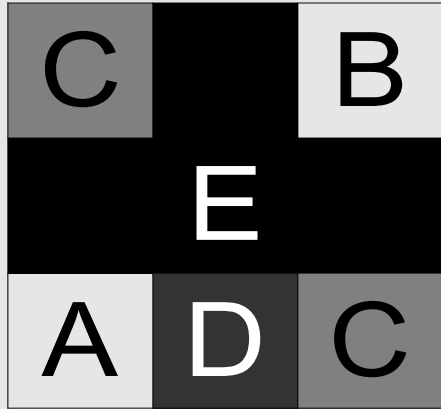


Symbol	$P_i$
E	4/9
C	2/9
A	1/9
B	1/9
D	1/9

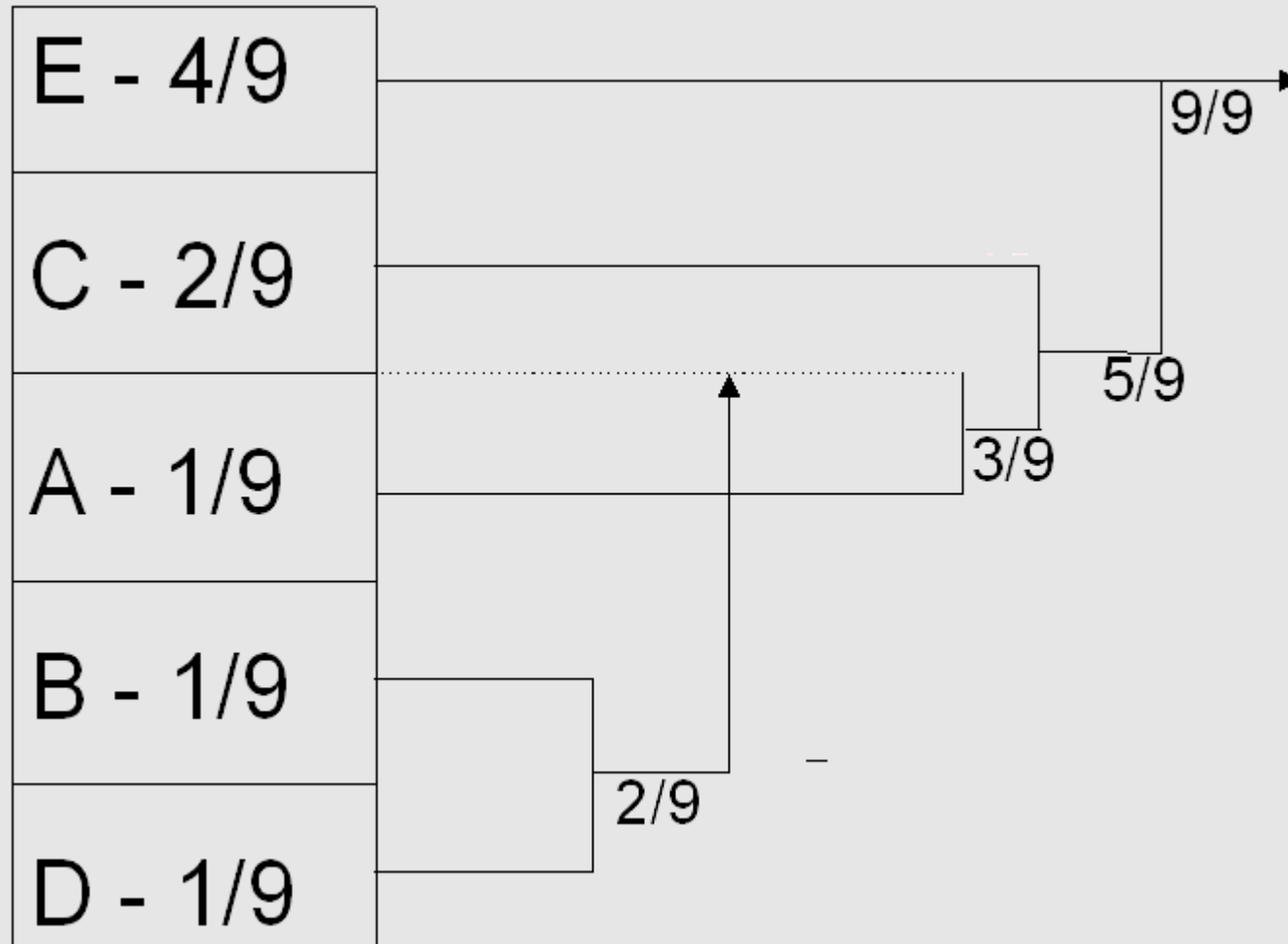


# Úvod do entropického kódovania – Huffmanov kód

Postupuje sa sčítavaním dvoch najnižších pravdepodobnosti a vytváranie vetiev, prípadne dočasných vetiev pre medziprvky.

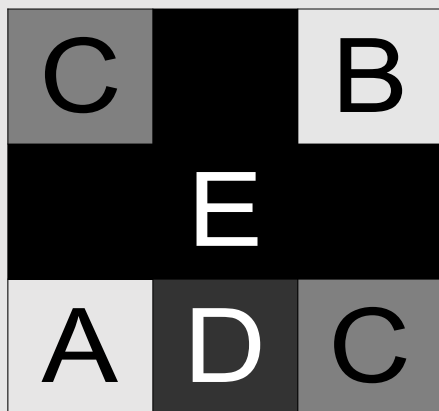


Symbol	$P_i$
E	4/9
C	2/9
A	1/9
B	1/9
D	1/9

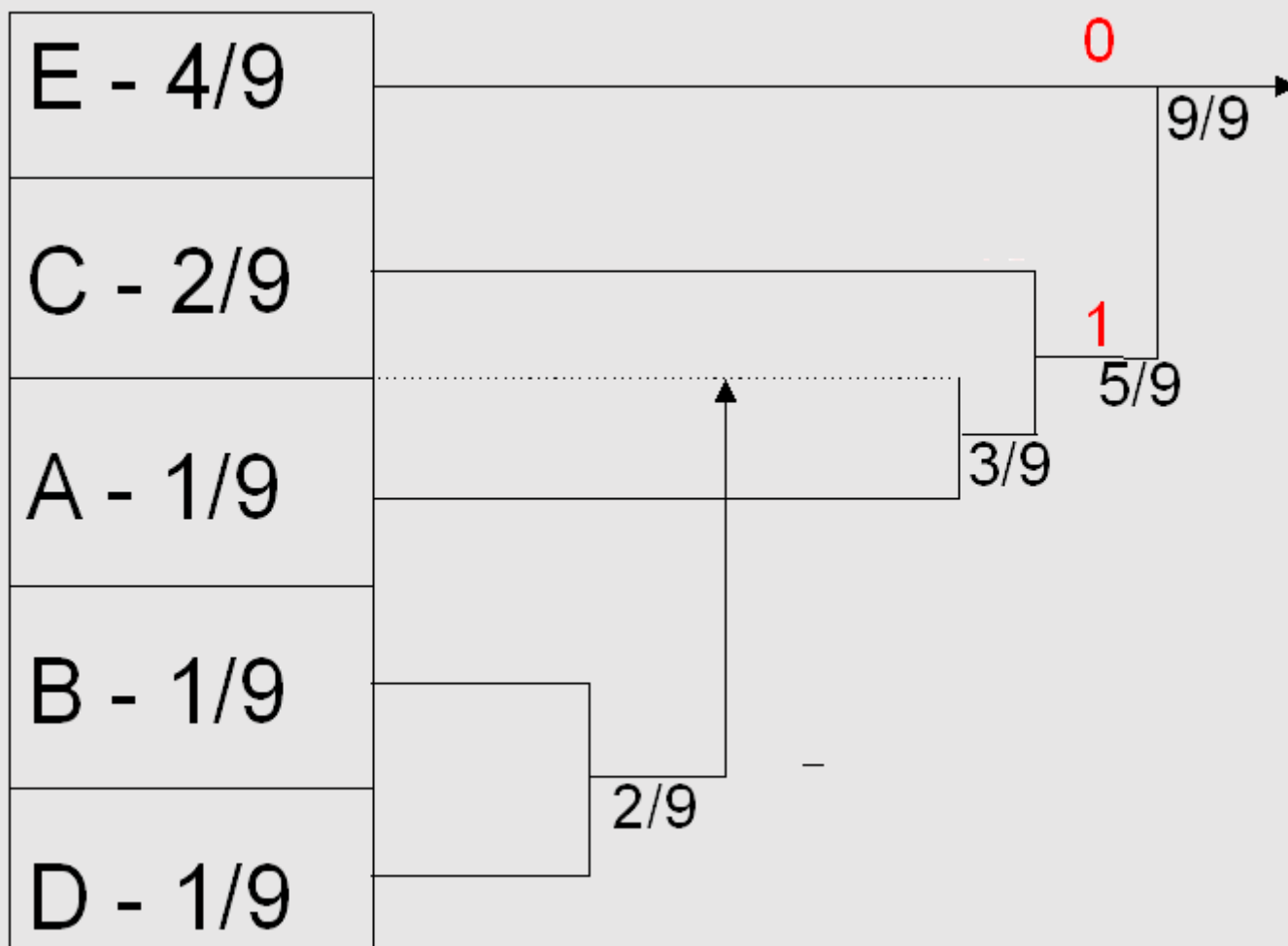


# Úvod do entropického kódovania – Huffmanov kód

Keď sa vetvy zlúčia do koreňa s pravdepodobnosťou 1 vetvám začneme priradzovať kódové slová. Začíname jednoznakovými slovami 0 a 1.

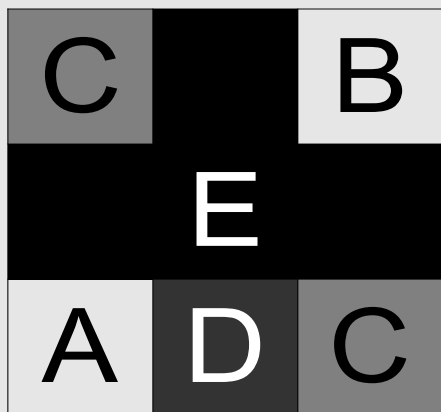


Symbol	$P_i$
E	4/9
C	2/9
A	1/9
B	1/9
D	1/9

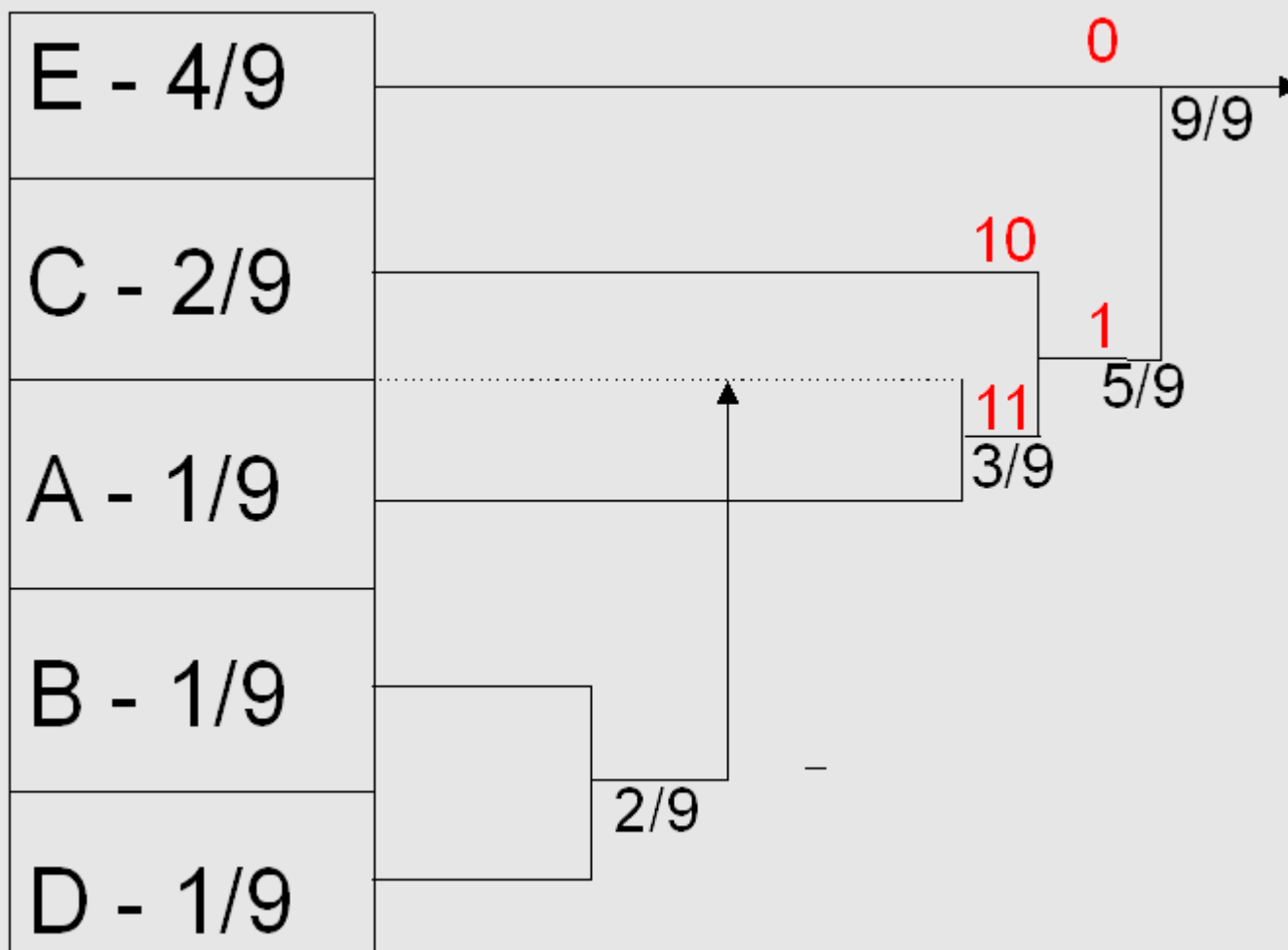


# Úvod do entropického kódovania – Huffmanov kód

V ďalších vetvách pridávame znaky a dodržiavame pravidlo : hore 0 dole 1 (alebo naopak **ale v celom procese rovnako!**).

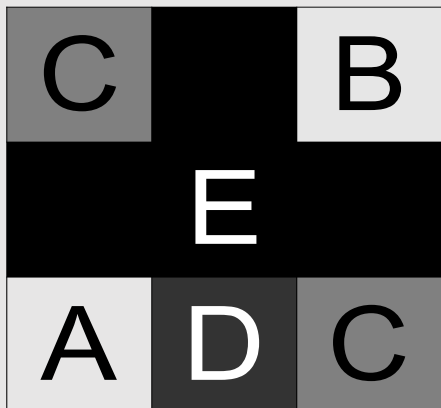


Symbol	$P_i$
E	4/9
C	2/9
A	1/9
B	1/9
D	1/9

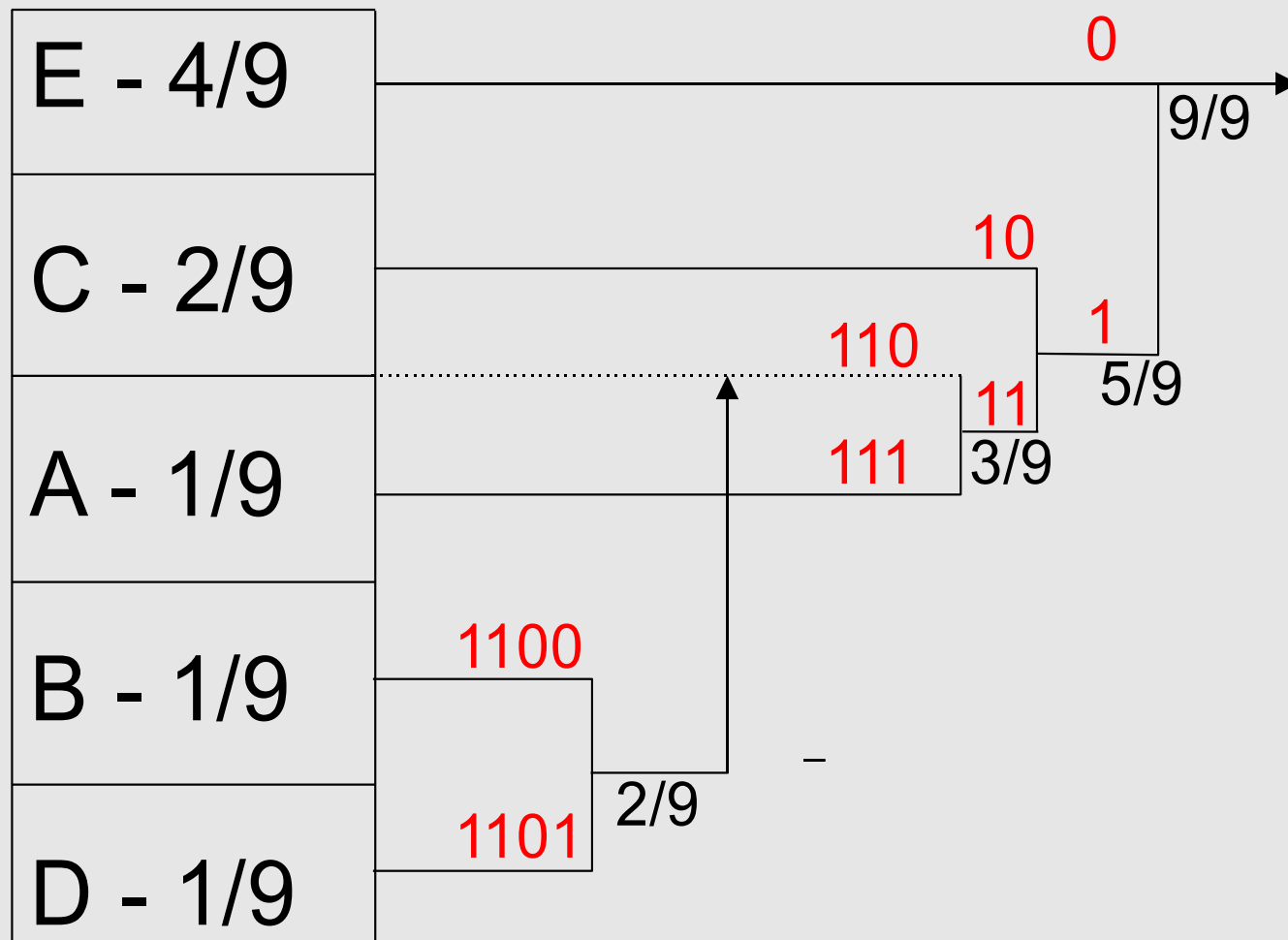


# Úvod do entropického kódovania – Huffmanov kód

V záverečnom kroku prepíšeme kódové slová, ktoré sú vo vetvách znakov do tabuľky.



Symbol	$P_i$	Kódové slovo
E	4/9	0
C	2/9	10
A	1/9	111
B	1/9	1100
D	1/9	1101



Obraz možno zakódovať po riadkoch nasledovne: **10 0 1100 0 0 0 111 1101 10** – t. j. 19 bitov namiesto 27b ak by jedno slovo malo 3b.

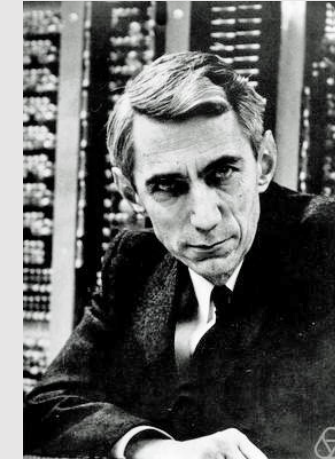


# Úvod do entropického kódovania – Shannon-Fanov kód

Konštrukcia tohto kódu spočíva v zostupnom zoradení prvkov podľa pravdepodobnosti ich výskytu a následnom delení intervalu pravdepodobnosti na dve polovice s približne rovnakými pravdepodobnosťami.

Môže vzniknúť rovnaký kód ako pri použití Huff. kodu. Kódy sa môžu aj líšiť ale účinnosť oboch kódov je porovnateľná.

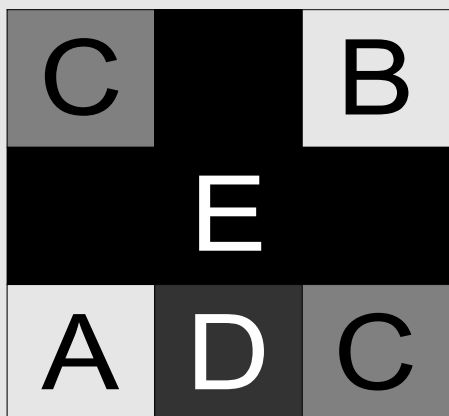
Symbol	Pi	Iterácia delenia				S-F kód
		1	2	3	4	
E	4/9	0	-	-	-	0
C	2/9	1	0	-	-	10
A	1/9		0	-	-	110
B	1/9		1	0	-	1110
D	1/9		1	1	1	1111



Claude Shannon  
(1916 – 2001)



Robert Fano  
(1917 - 2016)



$$n^* = \sum_{i=1}^5 P_i n_i = \frac{4.1}{9} + \frac{2.2}{9} + \frac{1.3}{9} + \frac{1.4}{9} + \frac{1.4}{9} = \frac{19}{9} = 2, \overline{11} \text{ bit}$$

$$H = - \sum_{i=1}^5 P_i \log_2(P_i) = 2,0588 \text{ bit/symbol}$$

$$\eta = \frac{H}{n^*} = 0,9752 = 97,52\%$$

# Úvod do entropického kódovania – Aritmetický kód (AK)

Nevýhodou prefixových kódov je, že symboly sa musia kódovať pomocou celočíselného počtu bitov. Tento nedostatok odstraňuje aritmetický kód (AK), ktorý sa strednou dĺžkou kódového slova ešte viac približuje entropii nultého rádu.

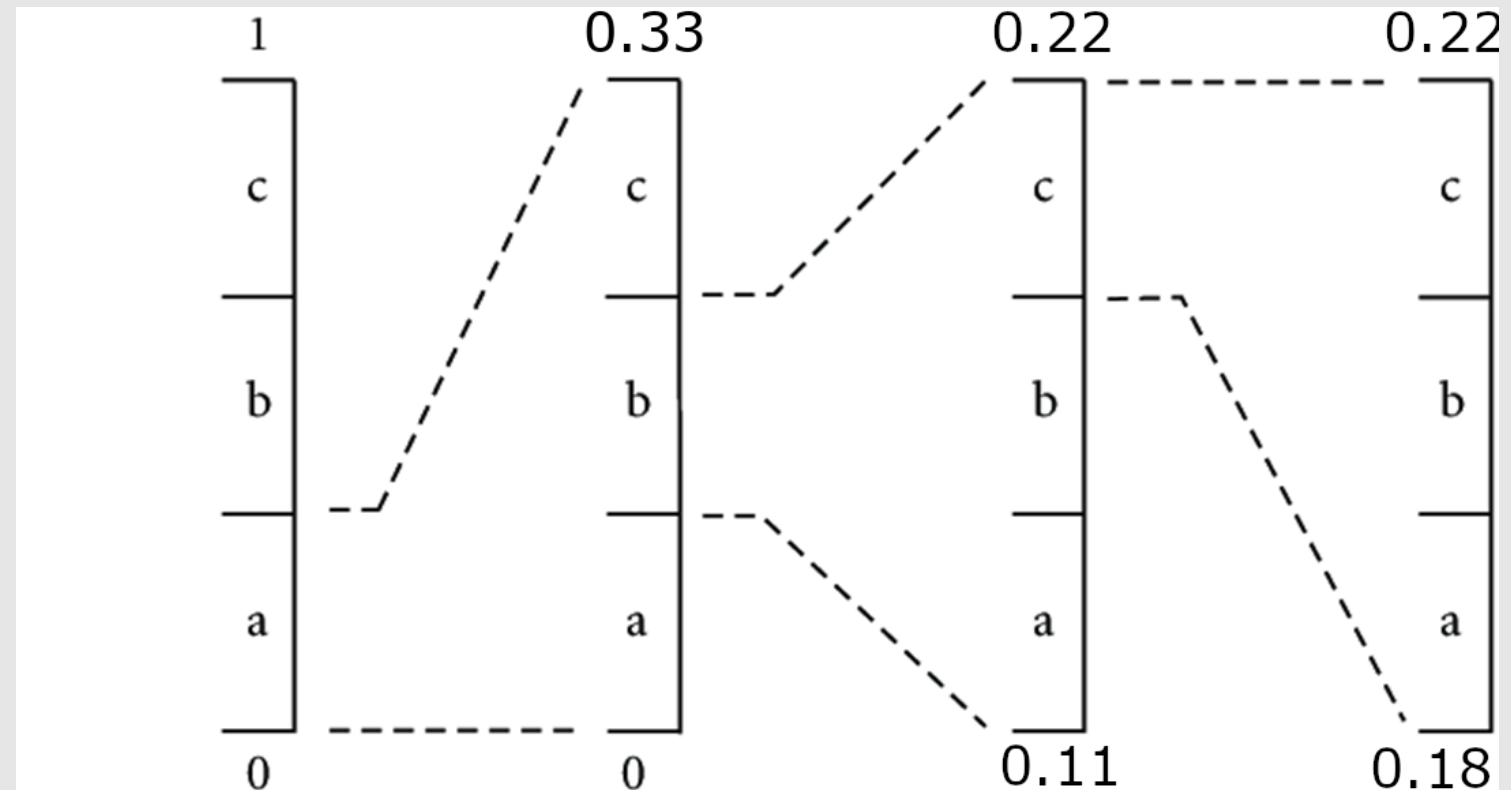
Princíp tohto kódu spočíva v rozdelení symbolov do poloopených intervalov pravdepodobnosti. Symboly sa potom kódujú postupne delením intervalu na menšie subintervaly.

Predpokladajme zdrojovú abecedu pozostávajúcu z troch symbolov **a b c**. Pre jednoduchosť uvažujme že majú rovnakú pravdepodobnosť **1/3**.

Subintervaly môžeme určiť nasledovne:

Symbol	Pi	Interval
a	1/3	$<0, 1/3)$
b	1/3	$<1/3, 2/3)$
c	1/3	$<2/3, 3/3)$

Proces kódovania postupnosti „abc“ je zobrazený vľavo. Po získaní posledného intervalu je výsledným kódom číslo patriace tohto intervalu (0.18, 0.22)



# Úvod do entropického kódovania – Aritmetický kód (AK)

Kódovanie pomocou AK možno zhrnúť do algoritmu pozostávajúceho z troch krokov

**Určenie veľkosti aktuálneho intervalu**

$$V = H - L$$

**Určenie novej hornej hranice po zakódovaní nasledujúceho znaku**

$$H_n = L + V \cdot P_H$$

**Určenie spodnej hranice po zakódovaní nasledujúceho znaku**

$$L_n = L + V \cdot P_L$$

Počet potrebných bitov na zakódovanie vstupnej postupnosti je daný ako logaritmus pri základe 2 z rozdielu hraníc výsledného intervalu, alebo ako súčin pravdepodobnosti všetkých kódovaných znakov

$$N = -\log_2 \left( \prod_i P_i \right) = -\log_2 (H_h - L_h)$$

**Následne možno výsledné desatinné číslo (zakódovaná postupnosť) previesť do binárneho tvaru!**

# Úvod do entropického kódovania – Aritmetický kód (AK)

Prevod desatinného čísla na binárne môžeme vykonať pomocou algoritmu

Iterácia	Desatinné číslo	Operácia násobenia	Základ sústavy	Celá časť (bin. číslo)	Desatinná časť
1	A	x	2	0 alebo 1	$D_1$
2	$0.D_1$	x	2	0 alebo 1	$D_2$
...					
n	$0.D_{N-1}$	x	2	0 alebo 1	Nepodstatné

Ak uvažujeme náš príklad tak minimálny počet bitov pre zakódovanie čísla z intervalu (0.18, 0.22) napr. 0.21, ktoré predstavuje kód pre postupnosť „abc“ je

$$N = -\log_2 \left( \prod_i P_i \right) \cong -\log_2(0.04) = 4.64 \rightarrow 5 \text{ bitov}$$

Postup bude vyzeráť nasledovne:

# Úvod do entropického kódovania – Aritmetický kód (AK)

Postup prevodu bude vyzerať nasledovne:

Iterácia	Desatinné číslo	Operácia násobenia	Základ sústavy	Celá časť (bin. číslo)	Desatinná časť
1	A	x	2	0 alebo 1	$D_1$
2	$0.D_1$	x	2	0 alebo 1	$D_2$
...					
n	$0.D_{N-1}$	x	2	0 alebo 1	Nepodstatné

$$1: 0.2100 \times 2 = 0.4200 \rightarrow 0$$

$$2: 0.4200 \times 2 = 0.8400 \rightarrow 0$$

$$3: 0.8400 \times 2 = 1.6800 \rightarrow 1$$

$$4: 0.6800 \times 2 = 1.3600 \rightarrow 1$$

$$5: 0.3600 \times 2 = 0.7200 \rightarrow 0$$

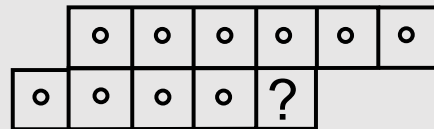
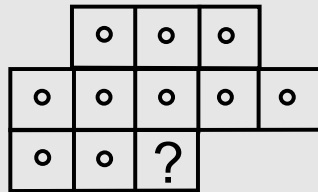
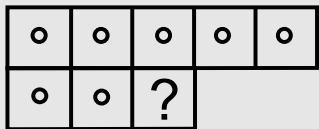




“abc” = 0.00110

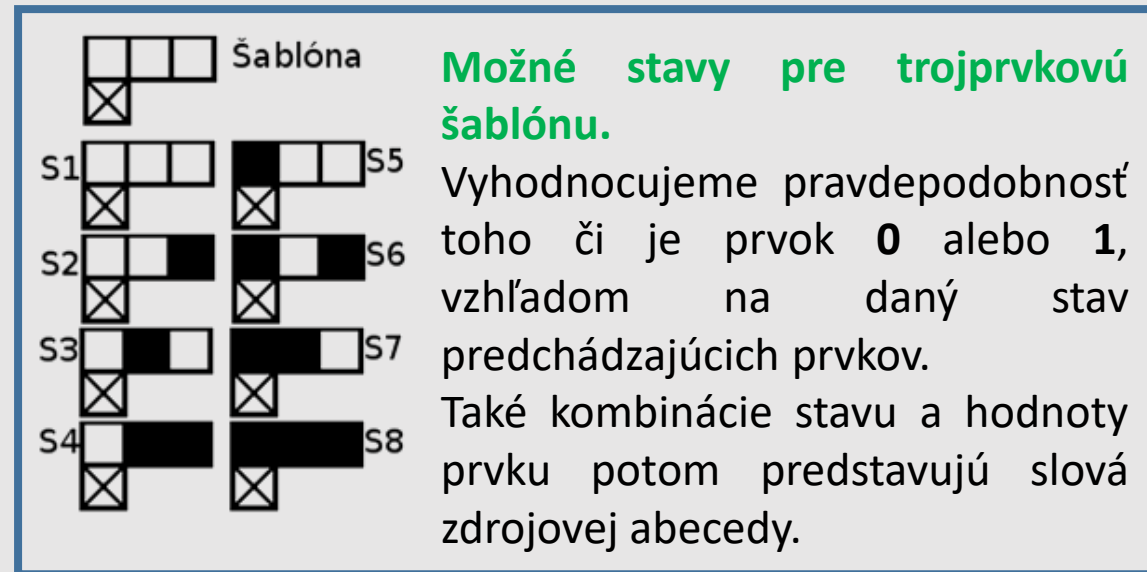
# Úvod do entropického kódovania – Stavový binárny AK

- **Stavový AK sa aplikuje na binárne obrazy.**
- Pre kódovanie obrazov s bitovou hĺbkou väčšou ako 1b je potrebné tieto obrazy previesť na bitové roviny a tieto kódovať samostatne.
- Na strane prijímača sa po dekódovaní všetkých rovín zostaví výsledný multi-úrovňový obraz
- Pri stavovom binárnom aritmetickom kódovaní (SBAK) je odhad pravdepodobnosti obrazového prvku (op) vykonávaný na základe informácie o stave viacerých okolitých op.
- Rozloženie skúmaných op určuje šablóna.
- Šablóna určuje rozloženie jednotlivých predchádzajúcich op voči aktuálnemu op a jej tvar môže byť ľubovoľný, ale musí byť v súlade s postupom kódovania jednotlivých op binárneho obrazu. Teda zahŕňa len prvky, ktoré sú boli pred aktuálnym prvkom.
- **Pod stavom sa rozumie možná kombinácia op obrazu v šablóne.**

7 bodová šablóna    10 bodová šablóna    10 bodová šablóna (dvojriadková)



 Kódovaný op  
 op šablóny



Ďakujem za  
pozornosť!

---

## Nabudúce

---

Metódy zmeny priestorového rozlíšenia obrazu

---

Pyramídová reprezentácia obrazu

---

Priestorová transformácia obrazu

