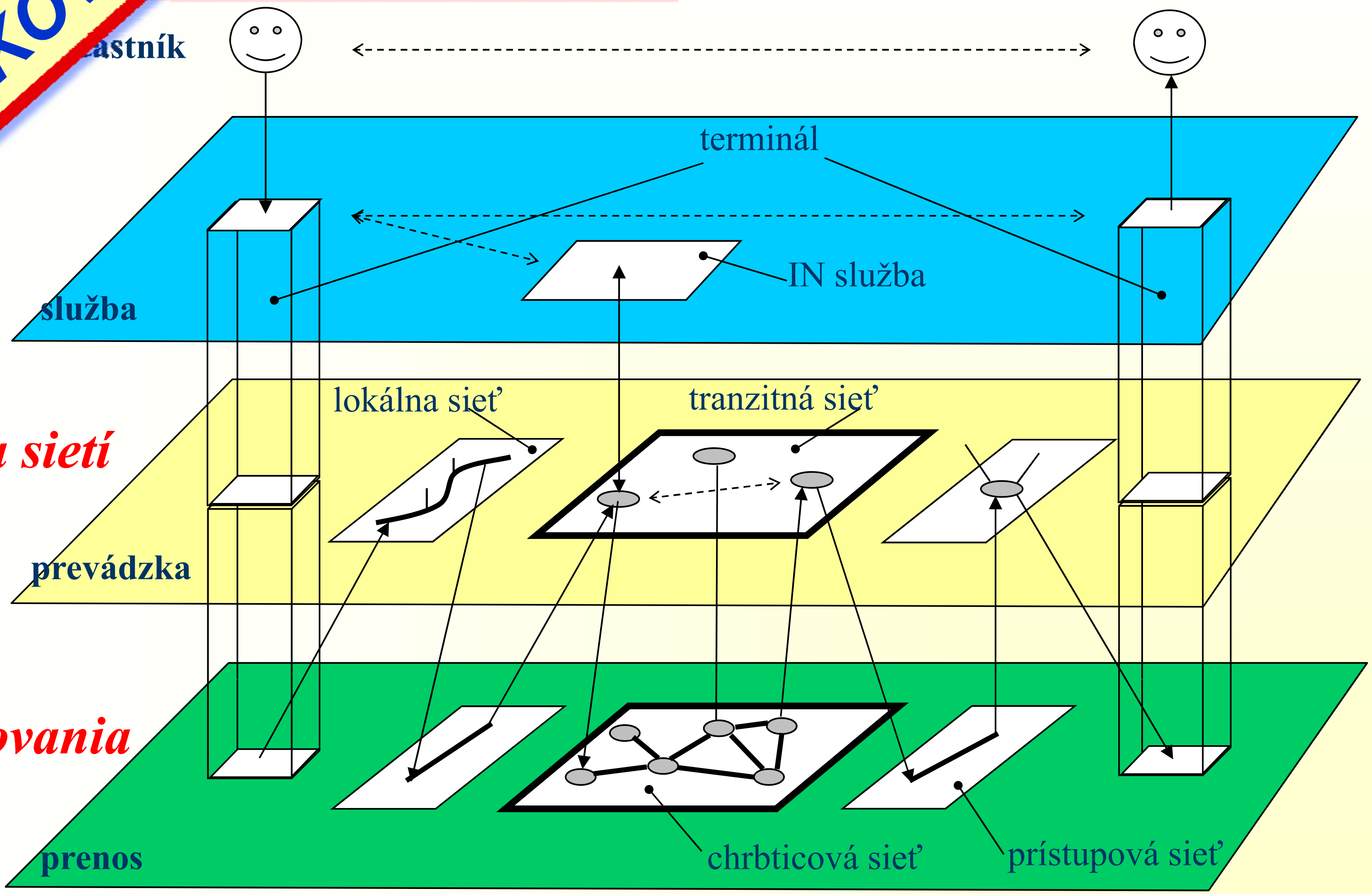
Teória oznamovania 12

Obsah:

- opakovanie
- kódový priestor
- komplexný kódový priestor
- skalárny súčin,
- ortogonálna báza
- Fourierova transformácia, spektrum kódu
- spektrum cyklického kódu, kódový multiplex

Základné vrstvy



Teória sietí

Teória oznamovania

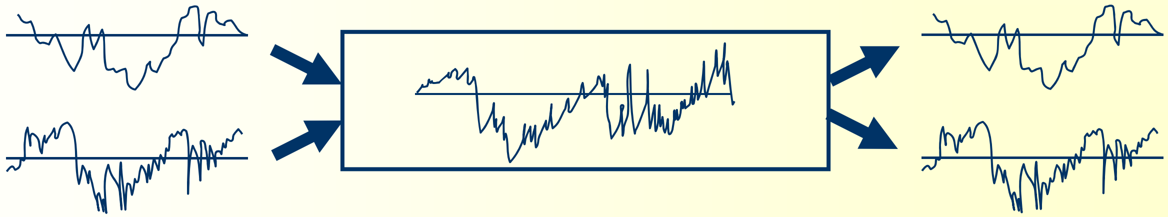
OPAKOVANIE

Vrstva prenosu

Hlavné úlohy: ??

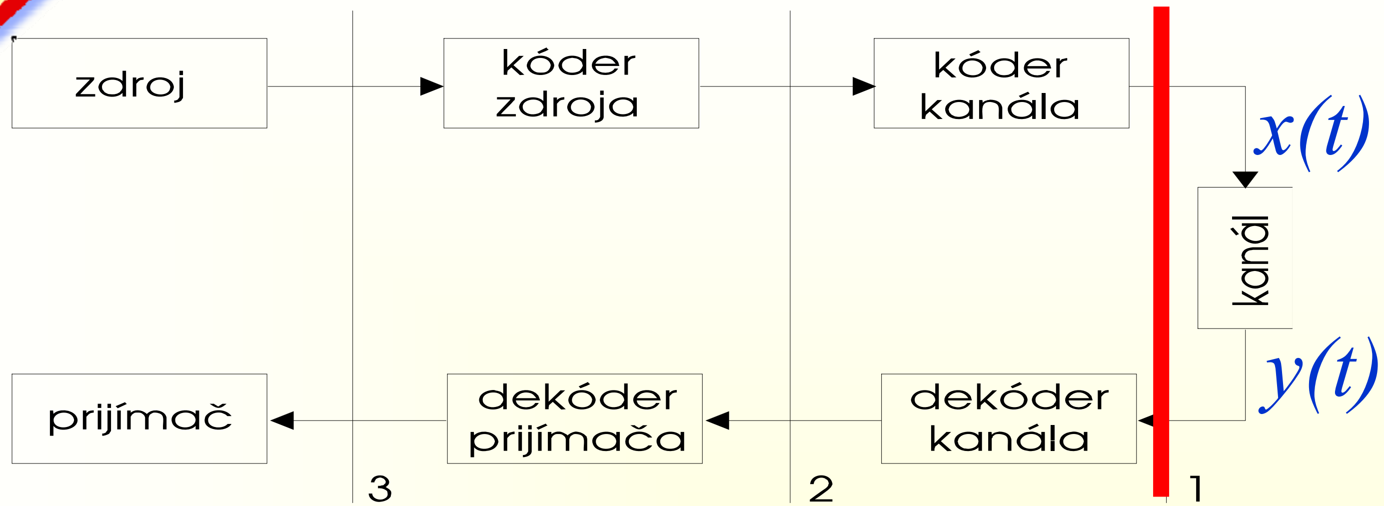
prenos jedného signálu

súčasný prenos signálov



OPAKOVANIE

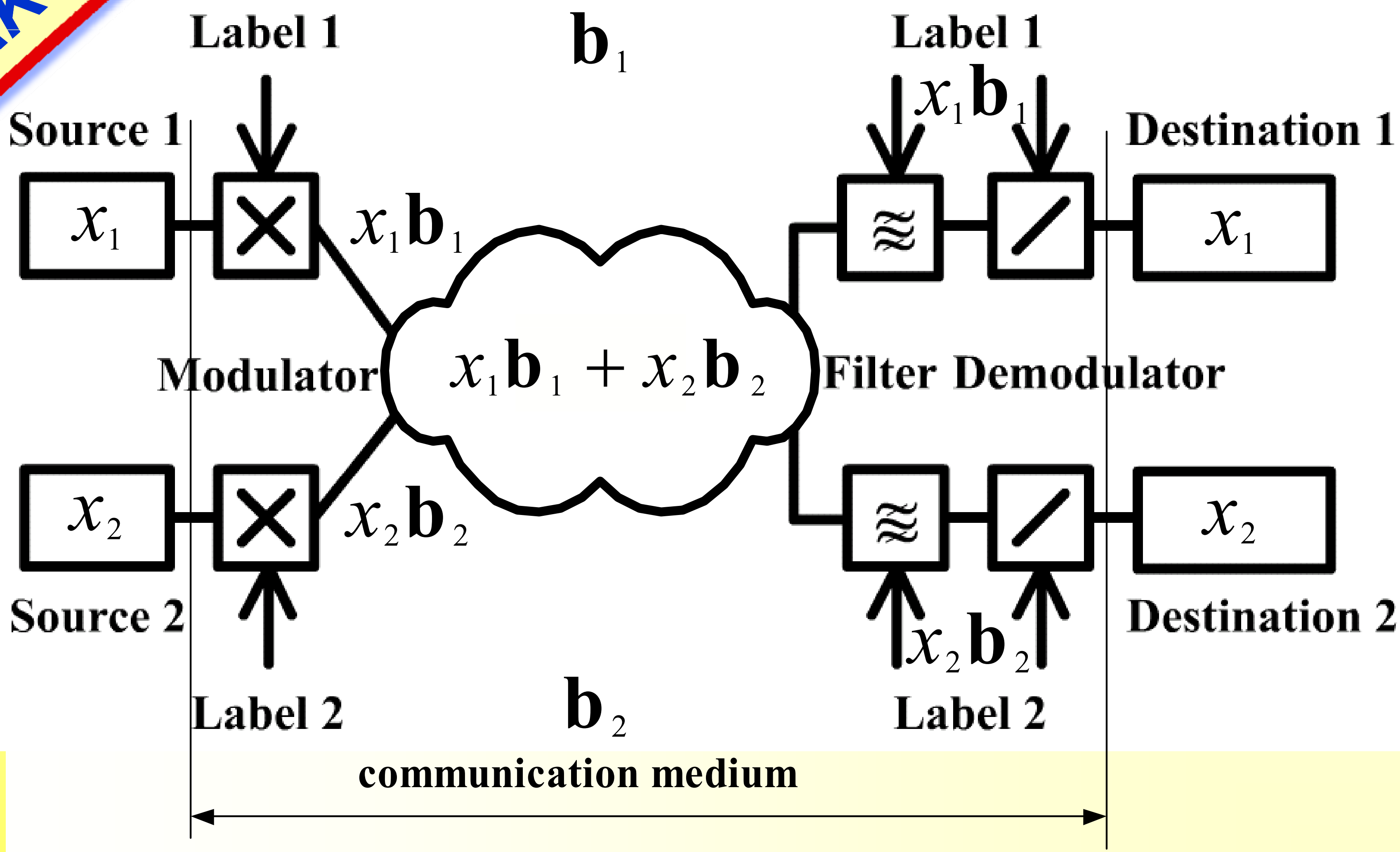
Prenos bez skreslenia



Prispôsobenie prenosovému médiu

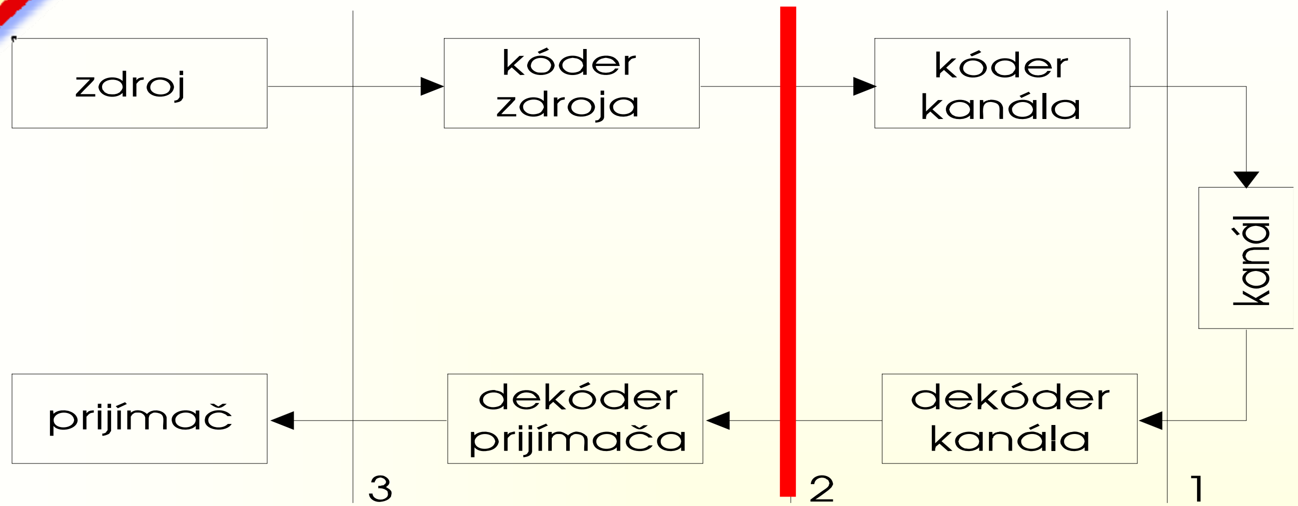
OPAKOVANIE

Príznakový multiplex



OPAKOVANIE

Prenos bez skreslenia

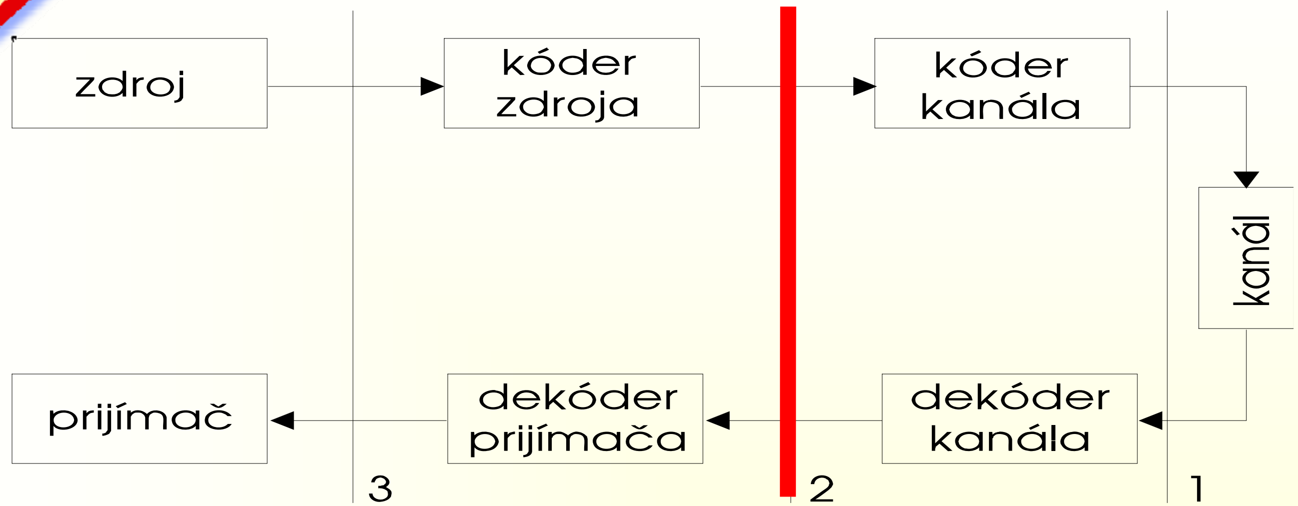


Korekcia kanála

$$\left|F_n^{kor}\right| = \alpha.\left|F_n\right|^{-1} \quad \varphi_n^{kor} = \varphi_n - \tfrac{2\pi}{N} n\Delta$$

OPAKOVANIE

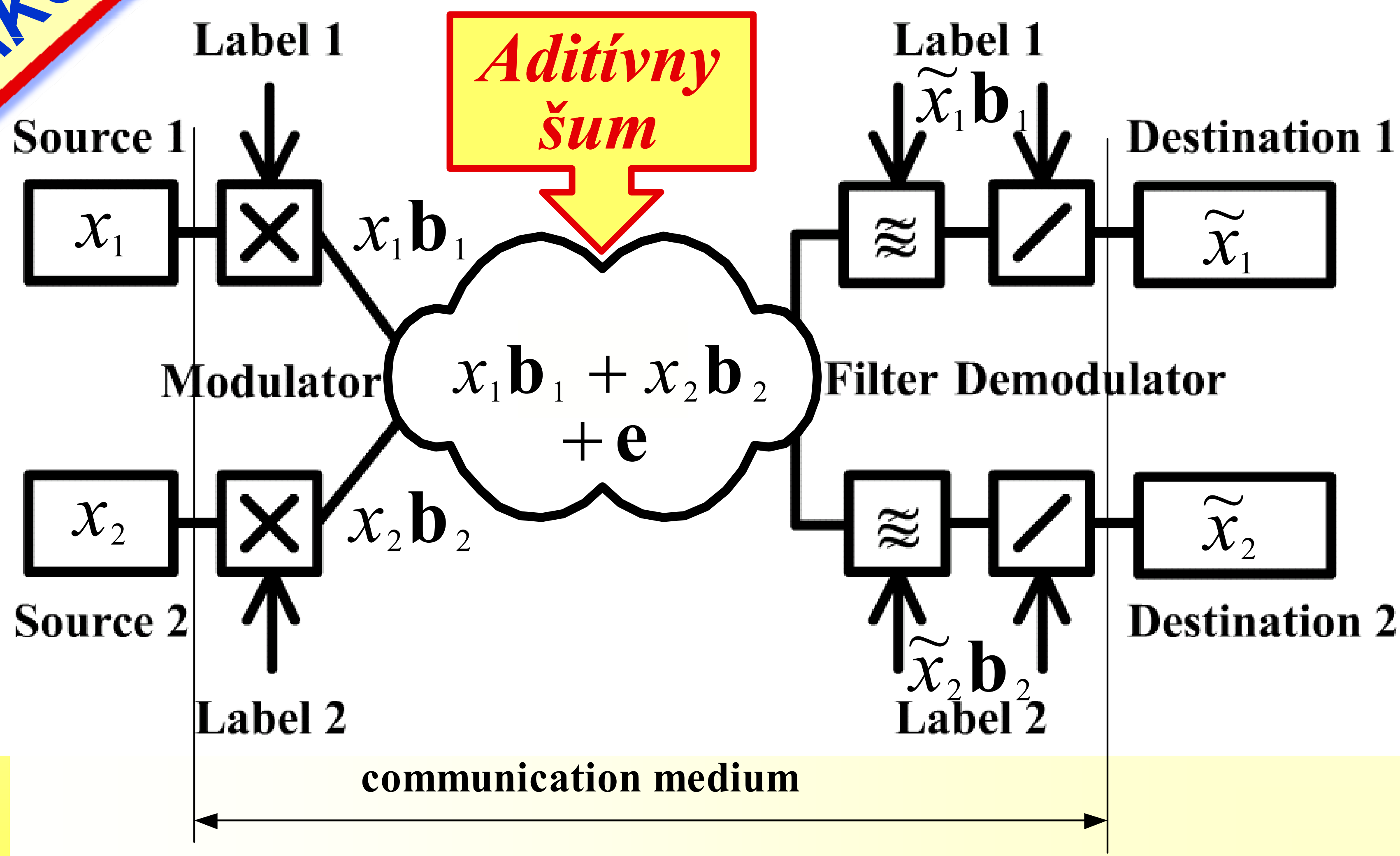
Prenos bez skreslenia



Zabránenie vplyvu šumu

OPAKOVANIE

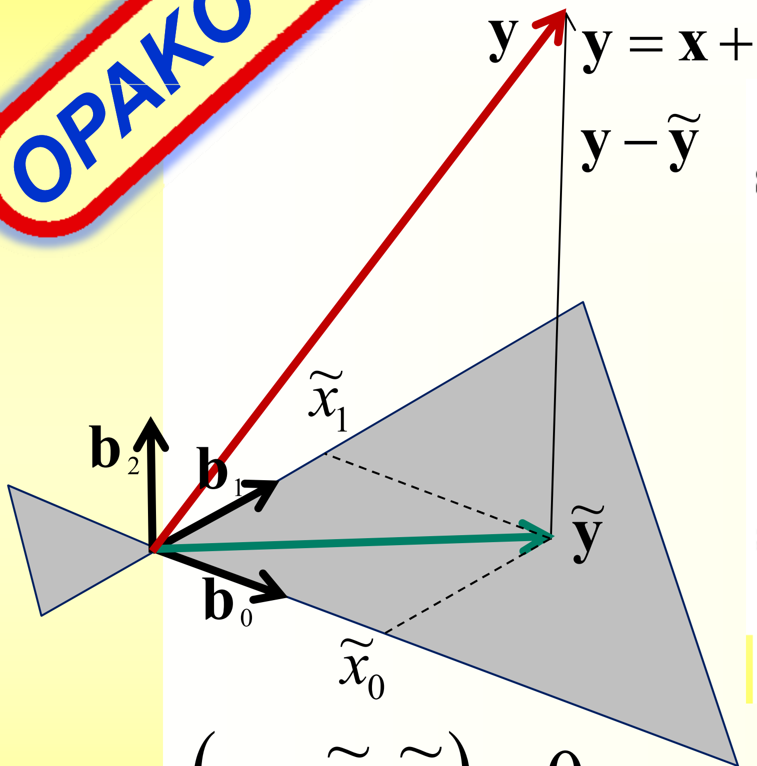
Multiplex so šumom

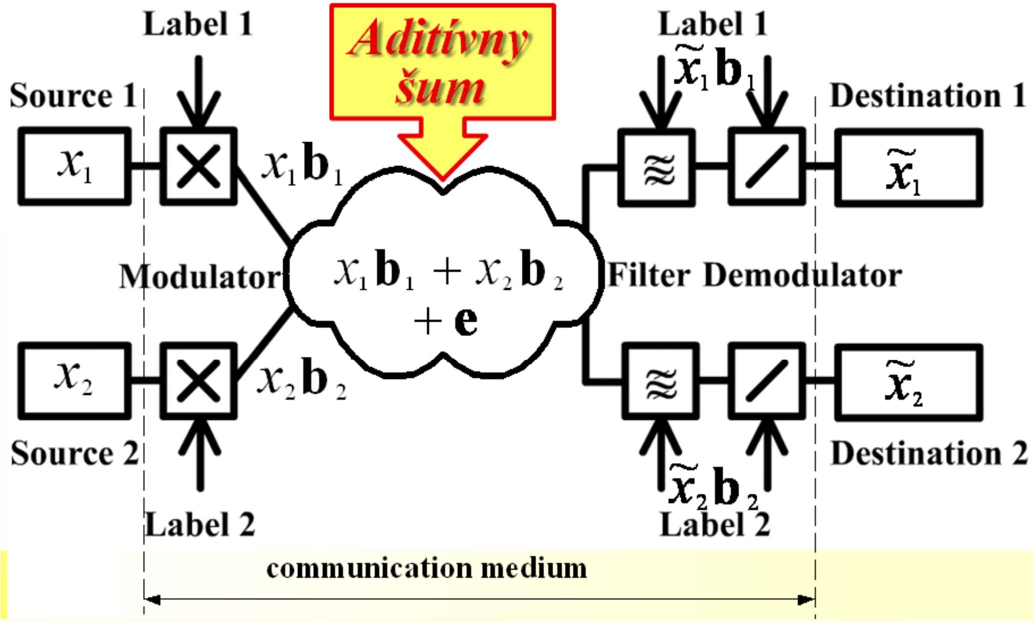


Optimálny prijímač

OPAKOVANIE

$$\mathbf{y} = \mathbf{x} + \mathbf{e} = (x_0 + e_0)\mathbf{b}_0 + (x_1 + e_1)\mathbf{b}_1 + e_2\mathbf{b}_2 + \ldots$$





$$(\mathbf{y} - \tilde{\mathbf{y}}, \tilde{\mathbf{y}}) = 0$$

ortonormálna báza

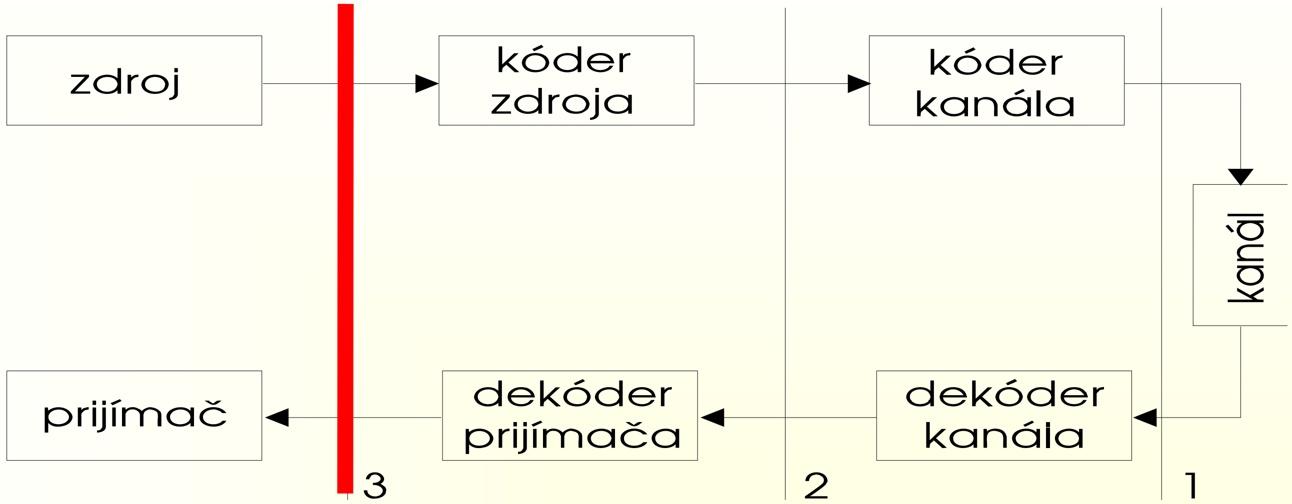
$$(\mathbf{b}_i, \mathbf{b}_j) = 0, i \neq j$$

$$|\mathbf{b}_i| = 1$$

$$\boxed{\tilde{x}_n = \frac{(\mathbf{y}, \mathbf{b}_n)}{(\mathbf{b}_n, \mathbf{b}_n)}}$$

OPAKOVANIE

Prenos bez skreslenia



Kódový priestor

Podpriestor slov kódu

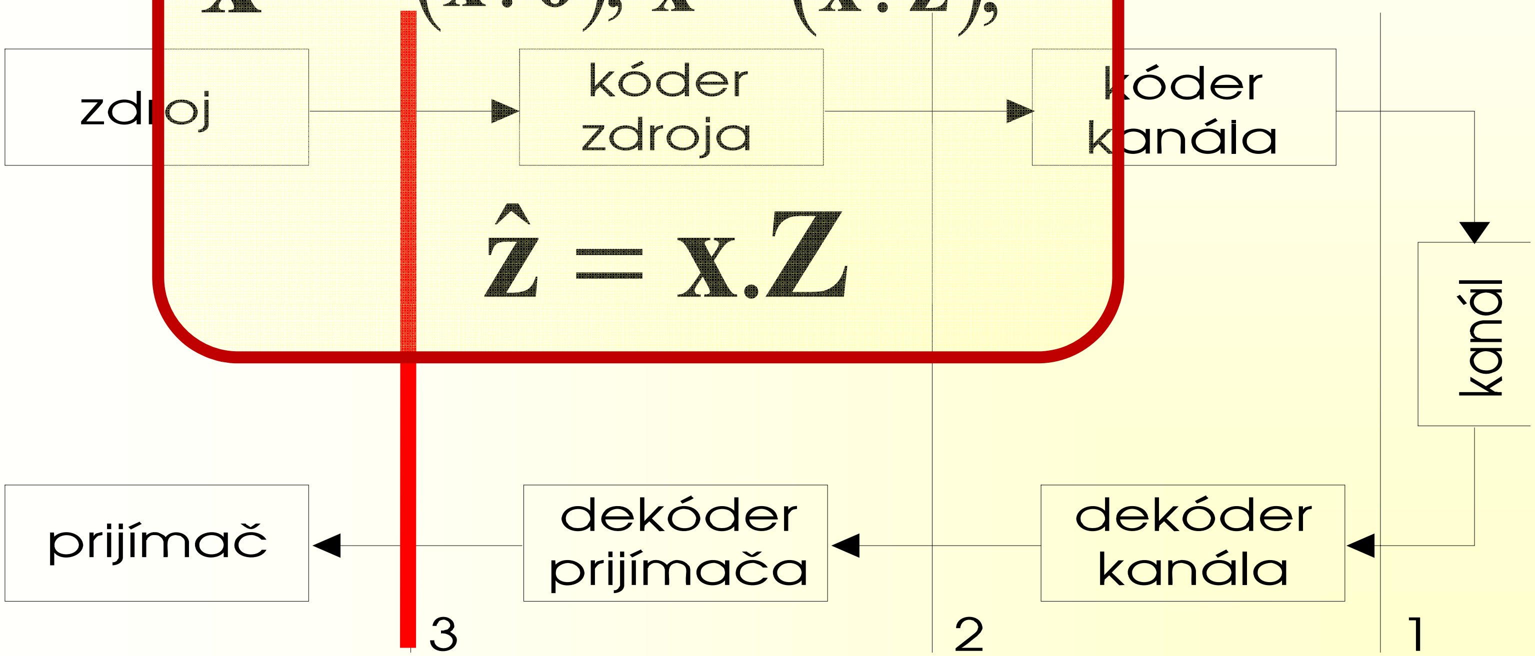
Doplnok podpriestoru (slová nepatriace kódu)

Kóder syst. lineárneho kódu

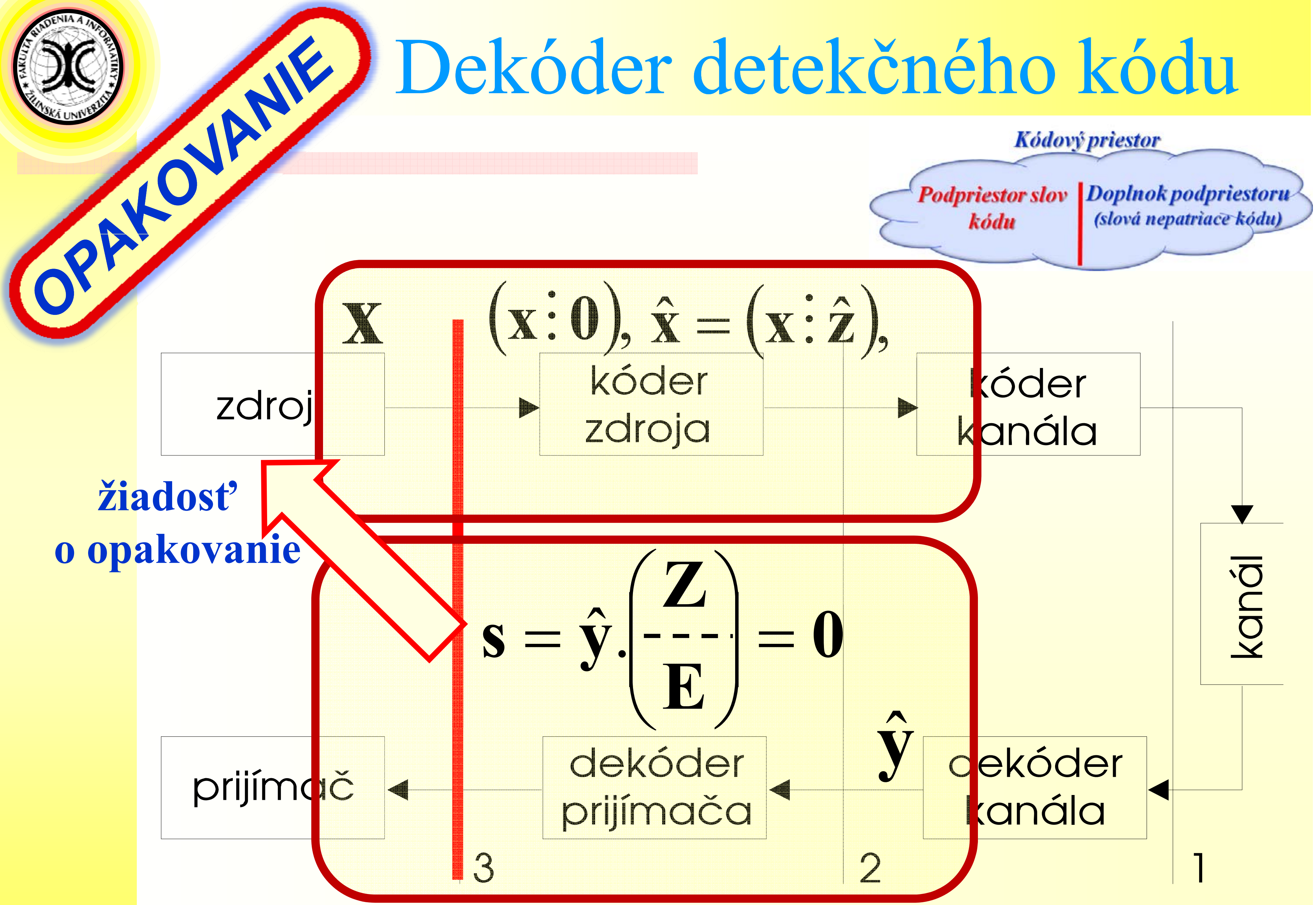
OPAKOVANIE

$$\mathbf{x} \qquad (\mathbf{x} \vdots \mathbf{0}),\ \hat{\mathbf{x}} = (\mathbf{x} \vdots \hat{\mathbf{z}}),$$

$$\hat{\mathbf{z}} = \mathbf{x}.\mathbf{Z}$$

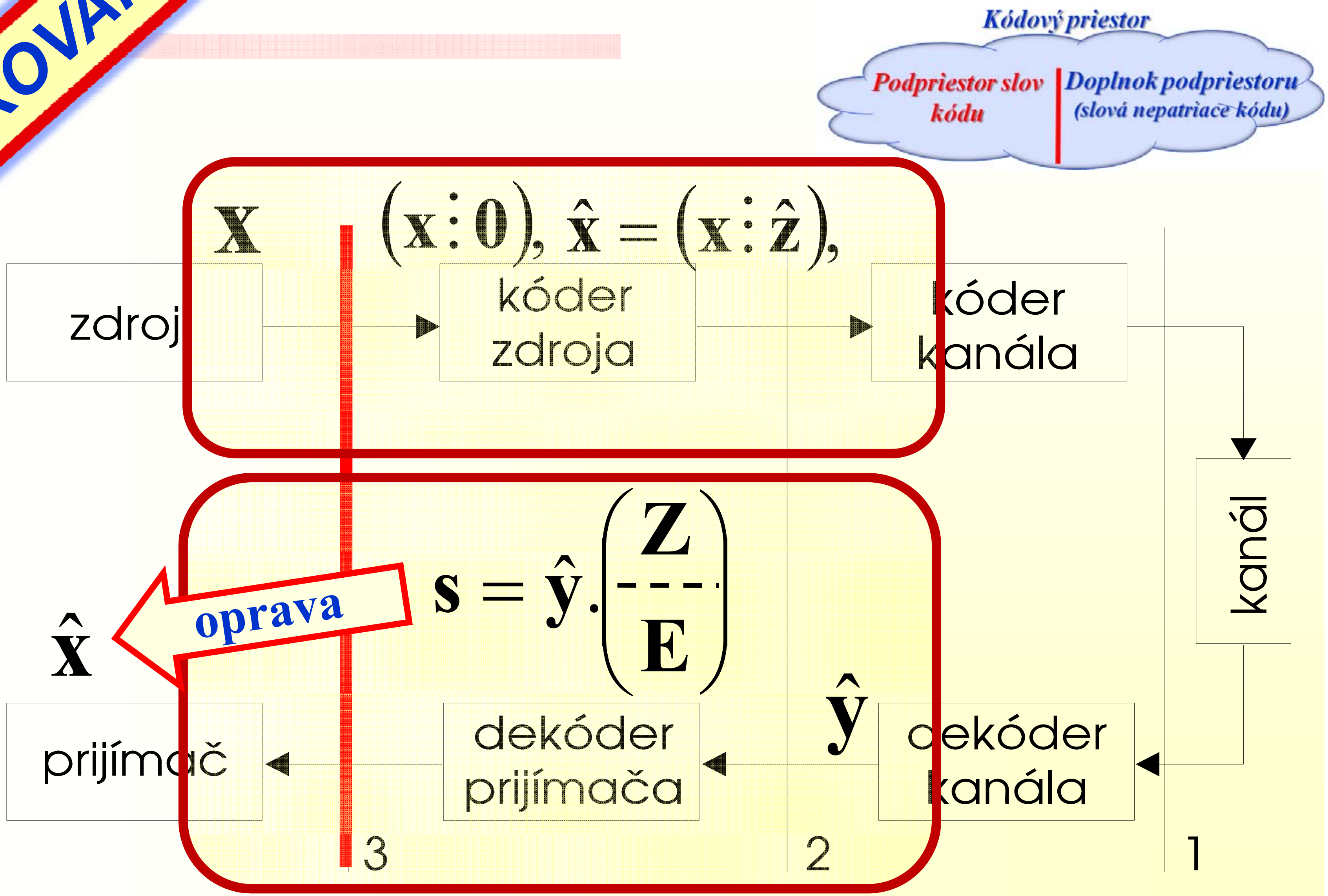


Dekóder detekčného kódu



Dekóder opravného kódu

OPAKOVANIE



Blokový systematický lineárny kód

OPAKOVANIE

Použili sme:

- **signálový priestor (báza, lineárna nezávislosť)**

Nepoužili sme:

- **skalárny súčin (kolmosť, vzdialenosť)**

Vieme:

- **zostaviť detekčný lineárny kód,**
  t.j. povedať, či prijaté slovo patrí do kódu
- **zostaviť korekčný lineárny kód,**
  t.j. opravovať vopred definované chyby

Reálny signálový priestor

Definícia:

Nech je daný signálový priestor φ nad poľom $(R,+,\cdot)$. Ak pre každé $\mathbf{f}_1,\mathbf{f}_2,\mathbf{f}_3 \in \varphi$ a $k \in R$ je daná reálna funkcia $(\mathbf{f}_1,\mathbf{f}_2) \in R$ tak, že platí

- $(\mathbf{f}_1,\mathbf{f}_2) = (\mathbf{f}_2,\mathbf{f}_1)$ (symetria)
- $(\mathbf{f}_1 \oplus \mathbf{f}_2,\mathbf{f}_3) = (\mathbf{f}_1,\mathbf{f}_3) + (\mathbf{f}_2,\mathbf{f}_3)$ (bilinearita)
- $(k \otimes \mathbf{f}_1,\mathbf{f}_2) = k \cdot (\mathbf{f}_1,\mathbf{f}_2)$
- $(\mathbf{f}_1,\mathbf{f}_1) \geq 0$ pričom $(\mathbf{f}_1,\mathbf{f}_1) = 0 \Leftrightarrow \mathbf{f}_1 = \mathbf{0}$ (pozitívnosť)

potom funkciu $(\mathbf{f}_1,\mathbf{f}_2)$ nazývame skalárnym súčinom signálov $\mathbf{f}_1,\mathbf{f}_2$ a uvedený signálový priestor reálnym signálovým priestorom.

Veľkosť signálu

$$\|\mathbf{f}\| = +\sqrt{(\mathbf{f},\mathbf{f})} \in \Re$$

N-rozmerný Euklidov priestor

$$(\mathbf{f},\mathbf{g}) = \sum_{k=1}^{N-1} f_k g_k \in \Re$$

Signálový priestor

Definícia:

Signálový (vektorový) priestor φ nad poľom $(F,\oplus,\otimes)$ je množina takých signálov (vektorov), že ku každej dvojici signálov $\mathbf{f}_1,\mathbf{f}_2 \in \varphi$ je jednoznačne priradený signál $\mathbf{f}_1+\mathbf{f}_2 \in \varphi$ a každému signálu $\mathbf{f} \in \varphi$ a skaláru $k \in F$ je jednoznačne priradený signál $k\cdot\mathbf{f} \in \varphi$, pričom platí:

1. pre všetky $\mathbf{f}_1,\mathbf{f}_2,\mathbf{f}_3 \in \varphi$
   - $\mathbf{f}_1+\mathbf{f}_2=\mathbf{f}_2+\mathbf{f}_1$ (súčet signálov je komutatívny)
   - $\mathbf{f}_1+(\mathbf{f}_2+\mathbf{f}_3)=(\mathbf{f}_1+\mathbf{f}_2)+\mathbf{f}_3$ (súčet signálov je asociatívny)
2. existuje signál $\mathbf{0} \in \varphi$, pre ktorý
   - $\mathbf{f}+\mathbf{0}=\mathbf{f}$ pre všetky $\mathbf{f} \in \varphi$
   - ku každému $\mathbf{f}_1 \in \varphi$ existuje $\mathbf{f}_2 \in \varphi$ tak, že $\mathbf{f}_1+\mathbf{f}_2=\mathbf{0}$
3. pre všetky $\mathbf{f}_1,\mathbf{f}_2 \in \varphi$ a $k_1,k_2 \in F$
   - $1\cdot\mathbf{f}_1=\mathbf{f}_1$
   - $k_1\cdot(k_2\cdot\mathbf{f}_1)=(k_1\otimes k_2)\cdot\mathbf{f}_1$
   - $k_1\cdot(\mathbf{f}_1+\mathbf{f}_2)=k_1\cdot\mathbf{f}_1+k_1\cdot\mathbf{f}_2$
   - $(k_1\oplus k_2)\cdot\mathbf{f}_1=k_1\cdot\mathbf{f}_1+k_2\cdot\mathbf{f}_1$

Kódový priestor

Ak sú signály tvaru $\mathbf{f} = \left(f_0, \ldots, f_{N-1}\right)$ potom podmienky

3. pre všetky $\mathbf{f}_1, \mathbf{f}_2 \in \varphi$ a $k_1, k_2 \in F$

- $1 \cdot \mathbf{f}_1 = \mathbf{f}_1$
- $k_1 \cdot \left(k_2 \cdot \mathbf{f}_1\right) = \left(k_1 \otimes k_2\right) \cdot \mathbf{f}_1$
- $k_1 \cdot \left(\mathbf{f}_1 + \mathbf{f}_2\right) = k_1 \cdot \mathbf{f}_1 + k_1 \cdot \mathbf{f}_2$
- $\left(k_1 \oplus k_2\right) \cdot \mathbf{f}_1 = k_1 \cdot \mathbf{f}_1 + k_2 \cdot \mathbf{f}_1$

ľahko splníme, ak skaláre a súradnice vektora budú z toho istého Galoisovho poľa GF

Kódový priestor

Definícia:

Nech je daný signálový priestor φ nad poľom $(F,\oplus,\otimes)$. Ak pre každé $\mathbf{f}_1,\mathbf{f}_2,\mathbf{f}_3 \in \varphi$ a $k \in F$ je daná reálna funkcia $(\mathbf{f}_1,\mathbf{f}_2) \in F$ tak, že platí

- $(\mathbf{f}_1,\mathbf{f}_2) = (\mathbf{f}_2,\mathbf{f}_1)$ (symetria)
- $(\mathbf{f}_1 \oplus \mathbf{f}_2,\mathbf{f}_3) = (\mathbf{f}_1,\mathbf{f}_3) + (\mathbf{f}_2,\mathbf{f}_3)$ (bilinearita)
- $(k \otimes \mathbf{f}_1,\mathbf{f}_2) = k \cdot (\mathbf{f}_1,\mathbf{f}_2)$
- $(\mathbf{f}_1,\mathbf{f}_1) \geq 0$ pričom $(\mathbf{f}_1,\mathbf{f}_1) = 0 \Leftrightarrow \mathbf{f}_1 = \mathbf{0}$ (pozitívnosť)

potom funkciu $(\mathbf{f}_1,\mathbf{f}_2)$ nazývame skalárnym súčinom signálov $\mathbf{f}_1,\mathbf{f}_2$ a uvedený signálový priestor *kódovým* signálovým priestorom.

N-rozmerný kódový priestor $\mathbf{f} = (f_0,\ldots,f_{N-1}),\ f_k \in F$

$$(\mathbf{f},\mathbf{g}) = \sum_{k=1}^{N-1}{}^{\oplus} f_k \otimes g_k \in F$$

Kódový priestor - príklady

binárny N-rozmerný kódový priestor

$$\mathbf{f} = \left(f_0, \ldots, f_{N-1}\right),\ f_k \in \{0,1\}$$

$$\left(\mathbf{f}, \mathbf{g}\right) \in \{0,1\}$$

p-nárny N-rozmerný kódový priestor

$$\mathbf{f} = \left(f_0, \ldots, f_{N-1}\right),\ f_k \in \{0,1,\ldots, p-1\}$$

$$\left(\mathbf{f}, \mathbf{g}\right) \in \{0,1\}$$

polynomiálny N-rozmerný kódový priestor

$$\mathbf{f} = \left(f_0, \ldots, f_{N-1}\right),\ f_k = a_1 x + a_0,\ a_i \in \{0,1\}$$

$$\left(\mathbf{f}, \mathbf{g}\right) = a_1 x + a_0,\ a_i \in \{0,1\}$$

p-nárny kódový priestor

$\mathbf{f} = (f_0,\ldots,f_{N-1}),\ f_k \in \{0,1,\ldots,p-1\}$ p - prvočíslo

$F = \{0,1,2,3,4\},\ p = 5$

$2^0 = 1,\quad 2^1 = 2,\quad 2^2 = 4,\quad 2^3 = 3$

$F = \{0, 2^0, 2^1, 2^3, 2^2\}$

$$\boxed{\begin{gathered} f_i = 2^k,\ f_j = 2^l \\ f_i \underset{5}{\otimes} f_j = 2^{k \underset{4}{\oplus} l} \end{gathered}}$$

$\otimes$	0	1	2	3	4
0	0	0	0	0	0
1	0	1	2	3	4
2	0	2	4	1	3
3	0	3	1	4	2
4	0	4	3	2	1

$\otimes$	0	2^0	2^1	2^3	2^2
0	0	0	0	0	0
2^0	0	2^0	2^1	2^3	2^2
2^1	0	2^1	2^2	2^0	2^3
2^3	0	2^3	2^0	2^2	2^1
2^2	0	2^2	2^3	2^1	2^0

Polynomiálny kódový priestor

$$\mathbf{f} = \left(f_0, \ldots, f_{N-1}\right),\ f_k \in \{0, 1, x, x+1\} \quad q(x)=x^2+x+1$$

$$F = \{0, 1, x, x+1\}$$

$$x^0 = 1, \quad x^1 = x, \quad x^2 = x+1$$

$$F = \{0, x^0, x^1, x^2\}$$

$$\boxed{\begin{gathered} f_i = x^k, f_j = x^l \\ f_i \underset{x^2+x+1}{\otimes} f_j = x^{k \underset{3}{\oplus} l} \end{gathered}}$$

$\otimes$	0	1	x	$x+1$
0	0	0	0	0
1	0	1	x	$x+1$
x	0	x	$x+1$	1
$x+1$	0	$x+1$	1	x

$\otimes$	0	x^0	x^1	x^2
0	0	0	0	0
x^0	0	x^0	x^1	x^2
x^1	0	x^1	x^2	x^0
x^2	0	x^2	x^0	x^1

Polynomiálny kódový priestor

$\oplus$	0	1	x	$x+1$
0	0	1	x	$x+1$
1	1	0	$x+1$	x
x	x	$x+1$	0	1
$x+1$	$x+1$	x	1	0

$\oplus$	0	x^0	x^1	x^2
0	0	x^0	x^1	x^2
x^0	x^0	0	x^2	x^1
x^1	x^1	x^2	0	x^0
x^2	x^2	x^1	x^0	0

$\otimes$	0	1	x	$x+1$
0	0	0	0	0
1	0	1	x	$x+1$
x	0	x	$x+1$	1
$x+1$	0	$x+1$	1	x

$\otimes$	0	x^0	x^1	x^2
0	0	0	0	0
x^0	0	x^0	x^1	x^2
x^1	0	x^1	x^2	x^0
x^2	0	x^2	x^0	x^1

Polynomiálny kódový priestor

Veta:

Každý prvok konečného poľa rádu p^m je koreňom rovnice $X^{p^m} - X = 0$

Dôkaz:

nech $y \in F - \{0\}$ a x je primitívnym prvkom.

Existuje k tak že $y = x^k$. Potom

$$y^{p^m - 1} = x^{k.(p^m - 1)} = 1$$

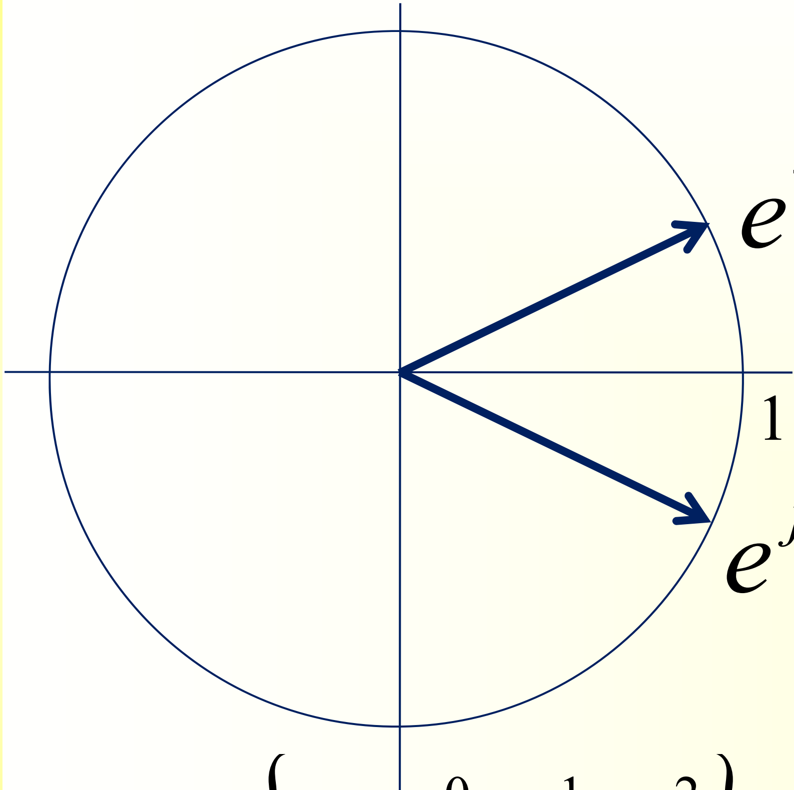
$$y^{p^m - 1} - 1 = 0$$

$\otimes$	0	x^0	x^1	x^2
0	0	0	0	0
x^0	0	x^0	x^1	x^2
x^1	0	x^1	x^2	x^0
x^2	0	x^2	x^0	x^1

Príklad: $p=2$, $m=2$

$$y^{2^2 - 1} = y^3 = 1 \qquad y = x^k \Rightarrow x^{3.k} = 1$$

Komplexne združené číslo



$$e^{-j\frac{2\pi}{N}nk} = W^{-nk}$$

$$W = e^{j\frac{2\pi}{N}}$$

$$e^{j\frac{2\pi}{N}nk} = W^{nk}$$

$$X_n = \overline{X}_{N-n}$$

$$F = \left\{0, x^0, x^1, x^2\right\}$$

$$\overline{F} = \left\{0, x^{3-0}, x^{3-1}, x^{3-2}\right\} = \left\{0, x^0, x^2, x^1\right\}$$

Polynomiálny kódový priestor

⊕	0	x^0	x^1	x^2
0	0	x^0	x^1	x^2
x^0	x^0	0	x^2	x^1
x^1	x^1	x^2	0	x^0
x^2	x^2	x^1	x^0	0

⊗	0	x^0	x^1	x^2
0	0	0	0	0
x^0	0	x^0	x^1	x^2
x^1	0	x^1	x^2	x^0
x^2	0	x^2	x^0	x^1

$$\mathbf{f} = \left(x^0, 0, x^2, x^2, x^0\right)$$

$$\mathbf{g} = \left(x^1, x^2, 0, x^1, x^0\right)$$

Vypočítajte ich skalárny súčin

$$\left(\mathbf{f}, \mathbf{g}\right) = \sum_{k=1}^{N-1}\!\!\oplus\, f_k \otimes \overline{g}_k$$

$$\overline{\mathbf{g}} = \left(x^{3-1}, x^{3-2}, 0, x^{3-1}, x^{3-0}\right) = \left(x^2, x^1, 0, x^2, x^0\right)$$

$$\left(\mathbf{f}, \mathbf{g}\right) = x^0 x^2 + 0x^1 + x^2 0 + x^2 x^2 + x^0 x^0$$

$$\left(\mathbf{f}, \mathbf{g}\right) = \left(x^2 + 0 + 0 + x^1\right) + x^0 = x^0 + x^0 = 0$$

Vektory sú ortogonálne!

OPAKOVANIE

Spektrum diskrétnych signálov

$$\mathbf{b}_n = \tfrac{1}{N}\left(e^{j\frac{2\pi}{N}n0}, e^{j\frac{2\pi}{N}n1}, \dots, e^{j\frac{2\pi}{N}n(N-1)}\right)$$

$$(\mathbf{b}_n, \mathbf{b}_n) = 1$$

$$\mathbf{x} = \sum_{n=0}^{N-1} X_n \mathbf{b}_n \qquad x_k = \sum_{n=0}^{N-1} X_n e^{j\frac{2\pi}{N}nk}$$

$$X_n = \frac{(\mathbf{x}, \mathbf{b}_n)}{(\mathbf{b}_n, \mathbf{b}_n)} = \sum_{k=0}^{N-1} x_k e^{-j\frac{2\pi}{N}nk} = \sum_{k=0}^{N-1} x_k W^{nk}$$

Spektrum číslicových signálov

$$\mathbf{b}_n = \tfrac{1}{N}\left(W^{n0},\ldots,W^{nk},\ldots,W^{n(N-1)}\right) \quad W^N = e^{j\frac{2\pi}{N}N} = 1$$

$$\mathbf{b}_n = \left(b_{n,0},\ldots b_{n,k},\ldots,b_{n,N-1}\right) \quad n = 0,1,\ldots,N-1$$

$$b_{n,k} \in F = \left\{0\,,x^0,\ldots,x^{N-1}\right\} \qquad \boxed{x^N = 1}$$

$$b_{n,k} \in \left\{a_{m\text{-}1}x^{m-1} + \ldots + a_0; a_i \in \{0,\ldots,p-1\}, i = 0,1,\ldots,m-1\right\}$$

$$x^N = x^{p^m-1} = x^{k.\left(p^m-1\right)} = 1$$

$N = k.\left(p^m - 1\right)$ **N je deliteľom p^m-1**

Kódy so spektrom

Skriptá str. 109

Spektrum číslicových signálov

$$\mathbf{b}_n = \left(x^{n.0}, \ldots x^{n.k}, \ldots, x^{n.(N-1)}\right), \; n = 0,1,\ldots, N-1$$

$$\left(\mathbf{b}_n, \mathbf{b}_n\right) = \sum_{n=0}^{N-1} x^{n.k} . x^{-n.k} = \sum_{n=0}^{N-1} x^0 = \begin{cases} 1, & N \; nepárne \\ 0, & N \; párne \end{cases}$$

Vektor nie je sám na seba kolmý q nepárne

$$\left(\mathbf{b}_n, \mathbf{b}_m\right) = \sum_{n=0}^{N-1} x^{n.k} . x^{-m.k} = \sum_{n=0}^{N-1} x^{(n-m).k} = 0, \qquad n \neq m$$

dôkaz – skriptá str. 110

Báza je ortonormálna!

Spektrum číslicových signálov

Príklad: N=3, p=2 $\quad \mathbf{b}_n = \left(x^{n.0}, x^{n.1}, x^{n.2}\right), \; n = 0,1,2$

najmenšie m aby N delilo p^m-1: 3k = 2^m-1 $\quad m$=2

$$b_{n,k} \in F = \left\{0, x^0, x^1, x^2\right\} \qquad q(x)=x^2+x+1$$

$$\mathbf{b}_0 = \left(x^0, x^0, x^0\right)$$

$$\mathbf{b}_1 = \left(x^0, x^1, x^2\right) = \left(x^0, x^1, x^{3-1}\right)$$

$$\mathbf{b}_2 = \left(x^0, x^2, x^4\right) = \left(x^0, x^2, x^1\right) = \left(x^0, x^2, x^{3-2}\right)$$

Vlastnosť harmonickej bázy:

$$\mathbf{b}_n = \left(x^{n.0}, x^{n.1}, \ldots x^{n.k}, \ldots x^{n.(N-k)}, \ldots, x^{n.(N-1)}\right)$$

Spektrum číslicových signálov

$$\mathbf{b}_n = \left(x^{n0}, x^{n1}, \ldots, x^{n(N-1)}\right), \; n = 0,1,\ldots, N-1$$

$$\left(\mathbf{b}_n, \mathbf{b}_n\right) = 1 \qquad \left(\mathbf{b}_n, \mathbf{b}_m\right) = 1, \; n \neq m$$

$$\mathbf{x} = \sum_{n=0}^{N-1} X_n \mathbf{b}_n \qquad\qquad x_k = \sum_{n=0}^{N-1} X_n x^{nk}$$

$$X_n = \frac{\left(\mathbf{x}, \mathbf{b}_n\right)}{\left(\mathbf{b}_n, \mathbf{b}_n\right)} = \sum_{k=0}^{N-1} x_k x^{-nk}$$

Spektrum číslicových signálov

Príklad: N=3, p=2, m=2

$$\mathbf{b}_0 = (1,1,1)$$
$$\mathbf{b}_1 = (1, x, x^2)$$
$$\mathbf{b}_2 = (1, x^2, x)$$

$\oplus$	0	x^0	x^1	x^2
0	0	x^0	x^1	x^2
x^0	x^0	0	x^2	x^1
x^1	x^1	x^2	0	x^0
x^2	x^2	x^1	x^0	0

$\otimes$	0	x^0	x^1	x^2
0	0	0	0	0
x^0	0	x^0	x^1	x^2
x^1	0	x^1	x^2	x^0
x^2	0	x^2	x^0	x^1

Vypočítajte spektrum slov $\mathbf{x} = (1,0,1)$ $\mathbf{x}' = (1,1,1)$

$$X_0 = \frac{(\mathbf{x}, \mathbf{b}_0)}{(\mathbf{b}_0, \mathbf{b}_0)} = ((1,0,1),(1,1,1)) = 0$$

$$X_1 = \frac{(\mathbf{x}, \mathbf{b}_1)}{(\mathbf{b}_1, \mathbf{b}_1)} = ((1,0,1),(1, x, x^2)) = x$$

$$X_2 = \frac{(\mathbf{x}, \mathbf{b}_2)}{(\mathbf{b}_2, \mathbf{b}_2)} = ((1,0,1),(1, x^2, x)) = x^2$$

Spektrum číslicových signálov

Príklad: $N=3$, $p=2$, $m=2$

$$\mathbf{b}_0=(1,1,1)$$
$$\mathbf{b}_1=(1,x,x^2)$$
$$\mathbf{b}_2=(1,x^2,x)$$

$\oplus$	0	x^0	x^1	x^2
0	0	x^0	x^1	x^2
x^0	x^0	0	x^2	x^1
x^1	x^1	x^2	0	x^0
x^2	x^2	x^1	x^0	0

$\otimes$	0	x^0	x^1	x^2
0	0	0	0	0
x^0	0	x^0	x^1	x^2
x^1	0	x^1	x^2	x^0
x^2	0	x^2	x^0	x^1

Vypočítajte spektrum slov $\mathbf{x}=(1,0,1)$ $\mathbf{x}'=(1,1,1)$

$$X_0'=\frac{(\mathbf{x}',\mathbf{b}_0)}{(\mathbf{b}_0,\mathbf{b}_0)}=((1,1,1),(1,1,1))=1$$

$$X_1'=\frac{(\mathbf{x}',\mathbf{b}_1)}{(\mathbf{b}_1,\mathbf{b}_1)}=((1,1,1),(1,x,x^2))=0$$

$$X_2'=\frac{(\mathbf{x}',\mathbf{b}_2)}{(\mathbf{b}_2,\mathbf{b}_2)}=((1,1,1),(1,x^2,x))=0$$

Spektrum cyklického kódu

$$\mathbf{X} = \left(X_0, X_1, 0, X_3, \vdots \overline{X}_3, 0, \overline{X}_1\right)$$

Príklad: N=3, p=2, m=2 $\mathbf{X} = \left(X_0, 0, \vdots 0\right)$

$$\mathbf{b}_0 = (1,1,1)$$

$$\mathbf{b}_1 = \left(1, x, x^2\right)$$

$$\mathbf{b}_2 = \left(1, x^2, x\right)$$

$\oplus$	0	x^0	x^1	x^2
0	0	x^0	x^1	x^2
x^0	x^0	0	x^2	x^1
x^1	x^1	x^2	0	x^0
x^2	x^2	x^1	x^0	0

$\otimes$	0	x^0	x^1	x^2
0	0	0	0	0
x^0	0	x^0	x^1	x^2
x^1	0	x^1	x^2	x^0
x^2	0	x^2	x^0	x^1

Spektrá slov kódu $\mathbf{X} = \left(X_0, 0, \vdots 0\right),\ X_0 \in \left\{0, 1, x, x^2\right\}$

Spektrá slov nepatriacich do kódu

$$\mathbf{X} = \left(X_0, X_1, \vdots \overline{X}_1\right),\ X_0 \in \left\{0, 1, x, x^2\right\}, X_1 \in \left\{1, x, x^2\right\}$$

Kódový multiplex

$$\mathbf{X} = \left(0, X_1, 0, 0, \vdots\, 0, 0, \overline{X}_1\right)$$

$$\mathbf{X}' = \left(0, 0, X_2, 0, \vdots\, 0, \overline{X}_2 0\right)$$

Spektrálny multiplex

$$\mathbf{X}'' = \left(0, 0, 0, X_3, \vdots\, \overline{X}_3, 0, 0\right)$$

$$\mathbf{X} + \mathbf{X}' + \mathbf{X}'' = \left(0, X_1, X_2, X_3, \vdots\, \overline{X}_3, \overline{X}_2, \overline{X}_1\right)$$

Poznámka: uvedené spektrá kódových slov sú len ilustratívne a nemusia patriť realizovateľnému kódu

Ďakujem za Vašu pozornosť