

# MODELOVANIE KOMUNIKAČNÝCH SYSTÉMOV V PROGRAMOVOM PROSTREDÍ MATLAB, SIMULINK A COMMUNICATIONS TOOLBOX

*Ing. Mária Franeková, PhD.*

Katedra informačných a zabezpečovacích systémov  
Elektrotechnická fakulta  
Žilinská univerzita v Žiline

## Abstrakt

*Príspevok sumarizuje skúsenosti s modelovaním komunikačných systémov na úrovni 2-bodového spoja pri použití knižnice Communications Toolboxu. Poukazuje na prepojenie teoretického opisu jednotlivých elementov komunikačného systému do programovej simulácie. Je zameraný na simuláciu vlastností matematického modelu kanála, problematiku kanálového kódovania z množiny blokových a konvolučných kódov a digitálnych modulácií.*

## ÚVOD

V súčasnej dobe sa veľa hovorí o bezpečnosti informačných systémov [1]. Je dobre známe, že informačný systém je tak bezpečný ako je bezpečný jeho najslabší článok. Komunikačné systémy sú neoddeliteľnou súčasťou informačných systémov, u ktorých jednotlivé elementy významne určujú bezpečnosť komunikácie. Preto je potrebné dokonale poznať ich vlastnosti najprv jednotlivo a potom ako celku zoradeného do komunikačného reťazca.

Communications Toolbox je nástroj, ktorý uvedené požiadavky dokonale splňuje. Ide o Toolbox, ktorý má pevné miesto v rodine existujúcich knižníc programového prostredia Matlab. Prešiel vývojom, ako väčšina podknižníc a neustále sa inovuje. Pozostáva zo sady výpočtových funkcií a simulačných blokov z oblasti komunikácií, ktoré možno jednoducho modifikovať a implementovať ich do vlastných modelov a algoritmov. Zahrňuje nástroje pre analýzu a syntézu celého prenosového reťazca od vytvorenia dát, ich kompresie, ochrane proti chybám pri prenose, cez moduláciu až po modelovanie prenosového kanála s výskytom šumu.

Communications Toolbox je zvlášť vhodným nástrojom pre študentov a výskumných pracovníkov, ktorý si potrebujú potvrdiť teoretické základy digitálnej komunikácie a bezpečnostné vlastnosti jednotlivých elementov komunikačného reťazca na úrovni dvojbodového spoja. Nevylučuje sa však ich použitie aj pre odborníkov z praxe, ktorí pre analýzu a syntézu komunikačných systémov hľadajú vhodné programové prostredie.

Communications Toolbox je plne kompatibilný s produktom Real Time Workshop, ktorý generuje zo schém systému Simulink kód v jazyku C, ktorý je optimalizovaný pre beh v reálnom čase, napr. na doske so signálovými procesormi. Spojením týchto produktov je

možné prevádzať experimenty, kde časť modelu je simulovaná a druhá časť skutočná, čím sa dajú študovať jednotlivé fázy spracovania dát v reálnom čase. Od verzie *RI2* sa knižnica rozdelila na Communications Toolbox (pre prácu s *M* súbormi v Matlabe) a Communications Blockset (pre prácu s *MDL* súbormi v Simulinku).

Týmto dvom prístupom hovoríme aj simulácia toku dát (*data flow simulation*) a časová simulácia toku (*time flow simulation*). Pod simuláciou v Matlabe sa myslí, že dáta sú spracovávané v určitých výpočtových etapách, postupne vždy po absolvovaní predchádzajúcej výpočtovej etapy, ide o tzv. spracovanie v nereálnom čase. Pri simulácii v Simulinku sú funkcie všetkých blokov vykonávané zhodne podľa zvolenej časovej základne. Oba spôsoby riešenia dávajú rovnaký výsledok, okrem časovej rozdielnosti simulácie. Výhodou simulácie s podporou Simulinku je, že dokáže spätné získanie a zobrazenie prijatých bitov správy v každom simulovanom časovom okamihu, čo programová realizácia v Matlabe neumožňuje. S použitím užívateľského rozhrania možno parameter časového oneskorenia signálu v blokoch Simulinku nastaviť a názorne sledovať aj proces synchronizácie medzi jednotlivými elementmi komunikačného reťazca. Časové oneskorenie je dôležitý faktor pri návrhu komunikačného systému a preto je simulácia v prostredí Simulinku viac vhodná pre reálny návrh, kým simulácia len s podporou Matlabu sa používa skôr pre ozrejenie teoretických vedomostí a predpokladov.

Ďalšie časti sú zamerané na modelovanie komunikačných systémov prostredníctvom *MDL* súborov, pričom je poukázané na niektoré užitočné funkčné bloky, vhodné na ozrejenie teoretických vlastností elementov zapojených do prenosového reťazca.

## 1 MODELY KOMUNIKAČNÝCH KANÁLOV

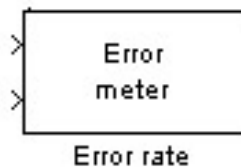
Aby sme mohli navrhnuť komunikačný systém najvhodnejší pre dané šumové prostredie, musíme poznať vlastnosti komunikačného kanála, cez ktorý prenášame správy. Komunikačný kanál ovplyvňuje prenášaný signál prostredníctvom šumu (*noise*), interferencií (*interference*), alebo môže spôsobiť úbytok amplitúdy užitočného signálu (*fading*). Pôsobenie šumu môže mať rôznu podobu a závisí v značnej miere od typu použitého média.

Matematický model kanála opisujeme náhodnými charakteristikami, pretože prepis vstupnej veličiny kanála na výstupnú je náhodný proces [2]. Kanál z hľadiska jeho kvality charakterizuje hodnota pravdepodobnosti nesprávne prijatého prvku signálu  $p_{err1}$ , ktorá je definovaná vzťahom (1):

$$p_{err1} = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{n_{ch}}{N}, \quad (1)$$

kde  $n_{ch}$  je počet nesprávne prijatých prvkov a  $N$  je celkový počet prenesených prvkov.

Communications Toolbox a Simulink podporujú výpočet tejto základnej charakteristiky prostredníctvom bloku „merač chybovosti“ (*Error Meter*) - obr. 1, ktorý určuje bitovú, alebo symbolovú chybovosť, podľa typu prenášanej postupnosti.



symbolovú chybovosť, podľa typu prenášanej postupnosti.

Ako ideálny skúšobný text je odporúčaná pseudonáhodná postupnosť (*PN sequence*) vybraných dĺžok (generátor *PN* postupnosti je tiež súčasťou knižnice *Communications Toolbox*).

Obr. 1 Blok na výpočet chybovosti

Pre správne stanovenie výsledku je nutné nastaviť čas simulácie prenosu v modeloch tak, aby celkový počet prenášaných symbolov  $N$  bolo dosť veľké číslo (v praxi sa dĺžka prenášaných skúšobných textov volí podľa toho, aké zhľady chýb sa v kanále dajú očakávať).

Druhou dôležitou charakteristikou matematického modelu kanála je  $p_{err2}$ , ktorá vyjadruje s akou pravdepodobnosťou sa vyskytuje  $i$ -násobná chyba pri prenose (2) je:

$$p_{err2} = (n_{ch} > i) \quad (2)$$

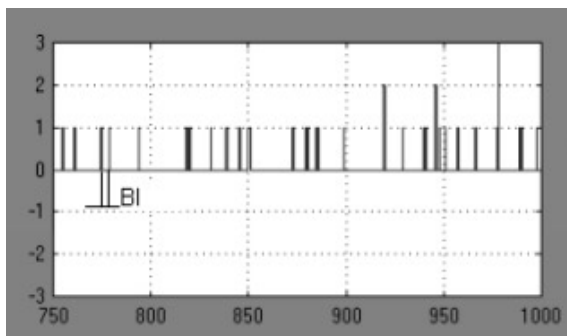
Túto charakteristiku síce nedokáže prostredie *Communications Toolboxu* odmerať, ale binárne kanály v knižnici *Simulink Binary Error Channel a Limited Binary Error Channel* (Obr. 2.a,b) ju dokážu generovať. Model *B-err* možno použiť na generovanie jednonásobných (nezávislých) chýb a model *Lmtd b-err* na generovanie 2, 3, až  $i$ -násobných chýb.



Obr. 2.a,b Modely binárneho chybového kanála a limitovaného binárneho kanála

Pravdepodobnosť, že medzi dvoma chybami je počet správne prijatých prvkov signálu  $\overline{n_{ch}}$  väčší ako  $N$  určuje vzťah (3), čo je ďalšia charakteristika matematického modelu kanála, ktorá sa používa na určenie bezpečného intervalu medzi chybami.

$$p_{err3} = \overline{n_{ch}} > N \quad (3)$$



Charakteristika (3) sa v prostredí *Communications Toolboxu* dá určiť experimentálne, napr. vytvorením modelu pre zobrazovanie štruktúry chýb pomocou osciloskopu (*scope*).

Obr. 3 Chybová štruktúra kanála zobrazená na modeli osciloskopu

Zistený minimálny bezpečný interval  $BI$  medzi chybami v čase možno prepočítať na počet bezchybných symbolov medzi chybami. Na Obr. 3 je zobrazená chybová štruktúra kanála pre časový okamih od 750 s do 1000 s. Vertikálna os znázorňuje počet vzniknutých  $i$ -násobných chýb. Z uvedeného príkladu je zrejmé, že počas prenosu, v danom časovo okamihu, vznikli 1, 2 a 3- násobné chyby.

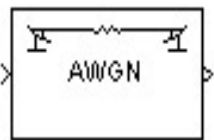
Okrem binárnych modelov kanála má Communications Toolbox implementované aj iné typy kanálov vhodných pre metalickú, alebo bezdrôtovú komunikáciu. [3],[4]. Medzi najpoužívanejšie patrí model kanála s gaussovským šumom, ktorého hustota rozdelenia pravdepodobnosti  $f(x)$  je daná [5] (4):

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right), \text{ kde} \quad (4)$$

$x$  je vektor dĺžky  $n$ ,

$\sigma^2$  je matica rozptylu, veľkosti  $[n \times n]$  viazaná veľkosťou na vektor  $x$ ,

$\mu$  je stredná hodnota signálu.



Šum, s týmto typom rozloženia je používaný najčastejšie v modeli typu *AWGN* (*Additive White Gaussian Noise*), ktorého blokový diagram z podknižnice kanálov v Simulinku je na obr. 4. Blok pripočítava gaussovský biely šum k signálu prenášanému cez kanál, podľa navolených parametrov.

Obr. 4 Model kanála s aditívnym bielym šumom

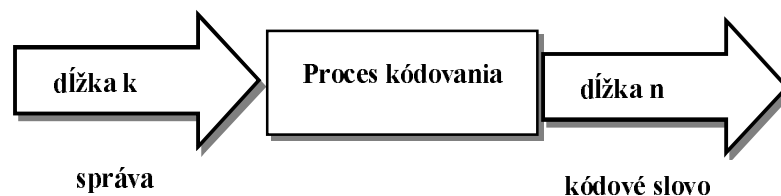
Tento typ kanála sa používa veľmi často v teórii komunikácie, pri odvodení rôznych zákonov (napr. Shannon-Harleyovho teoremu), alebo pri matematickom vyjadrení pravdepodobnosti chyby dekódovacích a demodulačných zariadení [6],[7],[8].

Charakteristiky, ktoré definované vzťahmi (1), (2) a (3) sú užitočné napr. pri výbere vhodnej dvojice kanálový kodér/dekodér. Charakteristika  $p_{err1}$  určuje kvalitu komunikačného systému, preto je snaha zapojiť do prenosového reťazca taký kanálový kodér/dekodér, ktorý zníži počet chýb vzniknutých v kanále na požadovanú hodnotu. Charakteristiky  $p_{err2}$  a  $p_{err3}$  sa v praxi používajú na stanovenie ďalších dôležitých prvkov, ktoré sú potrebné potrebné pri výbere kanálového, blokového kódu. Na základe hodnoty  $p_{err2}$  sa určuje počet redundantných prvkov, ktoré sú potrebné na opravu chýb a charakteristika  $p_{err3}$  sa používa na určenie bezpečného intervalu medzi chybami, podľa ktorého volíme dĺžku kódového slova.

## 2 MODELOVANIE KANÁLOVÝCH KÓDOV

Kódovacie a dekódovacie techniky kanálových kódov (v Communications Toolboxe bloky patriace pod *Error-Control Coding*) sa používajú na korekciu chýb pri prenose správ v digitálnom komunikačnom systéme. Vysielacia časť (kodér) pridáva k originálnej správe redundantné bity, ktoré sú v prijímacej časti (dekodéri) použité na detekciu, prípadne korekciu chyby. V súčasnej dobe existujú dve významné skupiny kanálových kódov - blokové a konvolučné.

Principiálna schéma kódovania s použitím blokového  $(n,k)$  kódu je na Obr. 5. Kodér je zariadenie bez pamäte, tj. k výpočtu nového kódového slova nie je potrebné si pamätať informačné symboly z predchádzajúceho kódového slova (kódové slová kódu sú na sebe nezávislé). Dekódovanie u blokových kódov využíva matematické vlastnosti lineárnej algebry a Galoisových konečných polí.

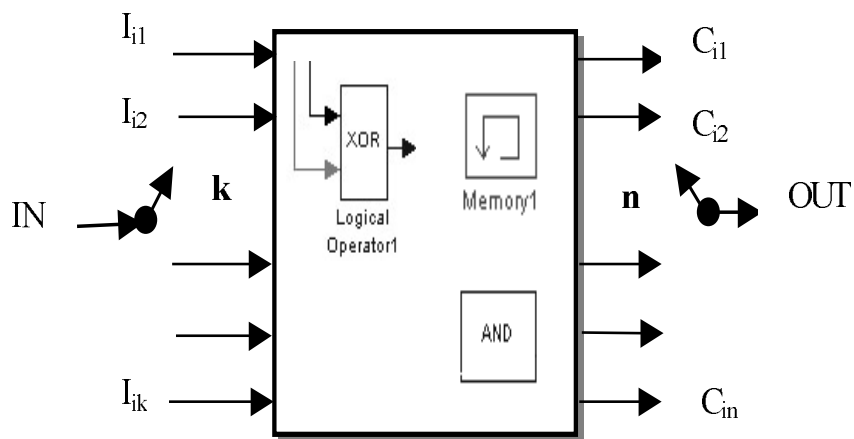


Obr. 5 Pricipiálna schéma kódovania u blokových kódov

Communications Toolbox a Simulink podporujú nasledujúce techniky kódovania a dekódovania z množiny blokových kódov: lineárne kódy, cyklické kódy, *BCH* kódy, Hammingove kódy a Reed-Solomonove kódy. Knižnica má veľké zastúpenie  $M$  funkcií na podporu teórie Galoisových polí. Je vhodným prostriedkom pri výbere  $(n,k)$  blokového kódu, pre daný model kanála (riešenie otázok syntézy: určenie počtu redundantných bitov, výber generičného polynómu, určenie dĺžky kódového slova...). Pomocou realizovaných modelov však možno testovať korekčné vlastnosti dekodérov u už existujúcich komunikačných systémov (riešenie otázok analýzy).

U konvolučných kódov, na rozdiel od blokových, je tvorba kódových slov na sebe závislá a preto sa im hovorí aj kódy s pamäťou. K výpočtu redundancie je potrebné si pamätať určitý počet informačných symbolov, o veľkosti tzv. kódovacieho záberu (*constraint length*) dĺžky  $m$ , preto ich označujeme  $(n,k,m)$  kódy. Kódovací pomer u oboch typov kódov sa označuje ako pomer vstupných a výstupných symbolov  $k/n$ . Dekódovanie konvolučných kódov je založené na maximálnom pravdepodobnostnom dekódovaní podľa Viterbiho algoritmu, ktorý podporuje aj Communications Toolbox. Kým u blokových kódov prevládajú lineárne syste-

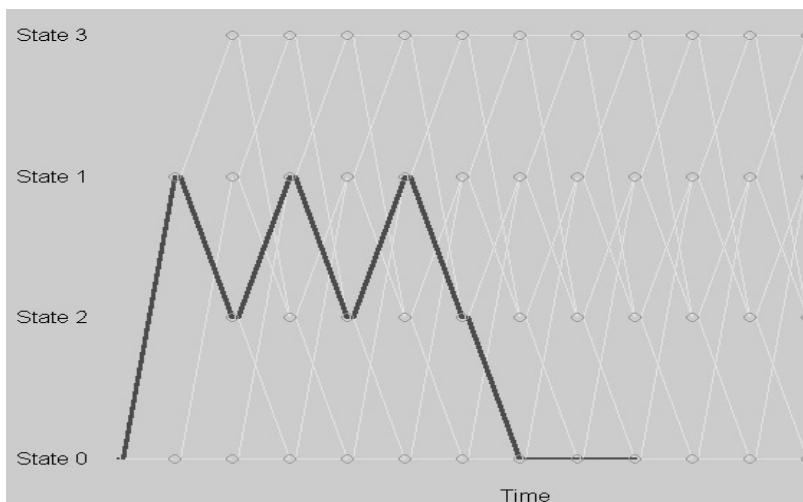
matické kódy u konvolučných kódov sú známe lineárne aj nelineárne zapojenia kodérov pracujúcich v systematickom a nesystematickom prevedení v režime „*hard decision*“ (pevné rozhodnutie) a „*soft decision*“ (rozhodnutie s výberom). Princiálna schéma konvolučného  $(n,k,m)$  kodéra je na Obr. 6.



Obr. 6 Principlná schéma konvolučného kodéra  $(n,k,m)$

Na  $k$  vstupov sekvenčného obvodu sa privádza  $k$ -tica zdrojových binárnych symbolov ( $I_{i1}$  až  $I_{ik}$ ) a zároveň je z jeho výstupov odoberaná  $n$ -tica kódových symbolov ( $C_{i1}$  až  $C_{in}$ ). Medzi základné elementy blokových schém kodérov patria: pamäťové bloky, XOR logika, vstupný port, výstupný port a AND logika.

Communications Toolbox podporuje bežné spôsoby opisu konvolučných kódov, s ktorými sa stretávame v teórii: opis pomocou blokovej schémy kodéra a vyjadrenie pomo-



cou prenosovej funkcie (*transfer function*), ktorá môže byť definovaná v binárnom, oktávovom a stavovom formáte. Prostredie dokáže zobraziť mrežový diagram - trellis (Obr.7) so zvýraznenou „preživšou“ cestou, z ktorej sa dekóduje prijatá postupnosť.

Obr. 7 Ukážka zobrazenia trellis diagramu

Je vhodnou pomôckou na overenie korekčných vlastností optimálnych a tzv. katastrofických (nevhodných) zapojení a na experimentálne určenie veľkosti dekódovacieho okna a bezchybného intervalu medzi zhlukmi chýb [9],[10].

Pri výbere modelov kanálových kódov z knižnice Communications Toolbox treba zväžiť v akom vstupno/výstupnom formáte bude blok pracovať. Všetky implementované typy kanálových kódov totiž existujú v dvoch formátoch pre zápis vstupného a výstupného vektora: v sekvenčnom a vektorovom. Pri vektorovom vstupno - výstupnom formáte kodér akceptuje dĺžku vstupného vektora  $k$  a výstupného vektora  $n$ . Dĺžka vstupného a výstupného vektora pre dekodér je inverzná ku kodéru. Pri použití tohoto vstupno - výstupného formátu musí byť v modeloch zapojený pred kodérom a za dekóderom pomocný blok (konvertor) *Vector to Scalar Converter* a *Scalar to Vector Converter*, ktoré menia vektorovú reprezentáciu na skalarú a naopak.

U sekvenčného vstupného a výstupného formátu sa na vstupe kodéra musí najprv naplniť vstupný buffer dĺžkou postupnosti  $k$  a na výstupe vyprázdniť s dĺžkou postupnosti  $n$ . Táto procedúra zapríčiňuje oneskorenie, ktoré sa rovná dĺžke vstupného vektora  $k$  vynásobeného časom vzorkovania vstupného signálu  $T_{s\text{ampin}}$ :  $T_{\text{del}} = k \cdot T_{s\text{ampin}}$  a ekvivalentne pre výstup dĺžke výstupného vektora  $n$  vynásobeného časom vzorkovania výstupného signálu  $T_{s\text{ampout}}$ :  $T_{\text{del}} = n \cdot T_{s\text{ampout}}$ . Treba si uvedomiť, že vnútorne čas vzorkovania vstupného signálu je rozdielny od času vzorkovania výstupného signálu, podľa vzťahu:  $T_{s\text{ampout}} = T_{s\text{ampin}} \cdot k / n$ .

Modelovanie s použitím vektorového a sekvenčného formátu v praxi možno prirovnať spôsobu prenosu (paralelný, alebo sériový). Sériový bitový prenos vernejšie opisuje sekvenčná forma kódovania/dekódovania, u ktorej je zrejmé, že samotným procesom kódovania a dekódovania vzniká oneskorenie, ktoré treba akceptovať pri nastavovaní parametrov dialógových okien blokov použitých v modely komunikačného systému.

### 3 MODELOVANIE DIGITÁLNYCH MODULÁCIÍ

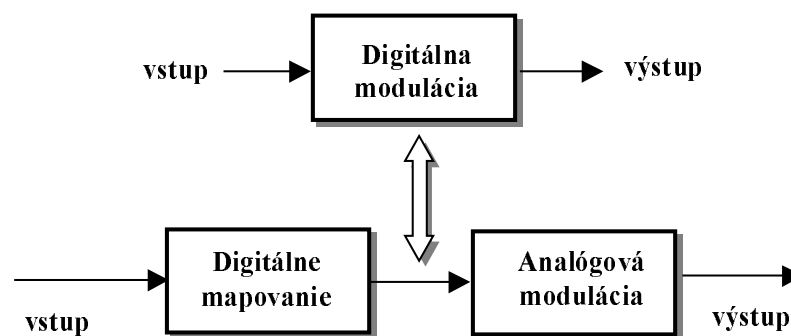
V mnohých komunikačných médiách musí byť prenášaný signál prispôbený vlastnostiam kanála z hľadiska jeho frekvenčného spektra. Obvyklým riešením je použitie modulačných a demodulačných obvodov, ktoré vstupný signál namodulujú na príslušnú nosnú frekvenciu (do požadovaného frekvenčného pásma) a na strane prijímača prebieha inverzný proces - demodulácia.

Treba skonštatovať, že od verzie Communications Toolbox 1.3 po verziu R13 sa rapídne zvýšila ponuka práve podknižnice digitálnej modulácie/demodulácie, u techník

s nosnou *passband modulation*”, alebo v základnom pásme (bez nosnej) “*baseband modulation*“.

Toolbox podporuje štandardné viactavové moduláčne techniky s kľúčovaním amplitúdy, frekvencie, fázy alebo amplitúdu aj fázy : *M-ASK*, *M-FSK*, *M-PSK*, *M-QASK*. Zároveň má podporu funkcií a funkčných blokov trellis kódovo - modulovaných systémov (*TCM*), ktoré sa od 90. rokov dostávajú do praxe, ako efektívne kódovacie a modulačné techniky implementované hlavne v telefónnych modemom a pomocných blokov ako bloky *interleaver/ de-interleaver*.

Digitálne modulácie sú v Communications Toolboxe a Simulinku realizované v dvoch častiach (Obr. 8): časť digitálneho mapovania signálu a časť modulácie. Mapovač konvertuje prijatý binárny signál do analógového signálu, ktorý sa ďalej moduluje v analógovom modulátore. Na tieto účely sú v knižnici modulácia vytvorené dve špeciálne podniknižnice: podniknižnica digitálnych modulácií/demodulácií (mapovač a modulátor v jednom bloku) a podniknižnica digitálnych modulácií so separovaným mapovačom a modulátorom



Obr. 8 Principiálna schéma tvorby modulácie v Communications Toolboxe

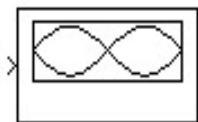
Communications Toolbox ponúka tri spôsoby tvorby konštelácií signálov: štvorcová (*square*), kruhová (*circle*) a vlastná konštelácia (*arbitrary*). Užívateľia môžu prostredníctvom realizovaných modelov s modulátorom/demodulátorom otestovať odolnosť systému voči chybám v závislosti od počtu sa zvyšujúcich stavov (v prípade viacstavových modulácií) a zároveň porovnať molely pri použití rôznych typov konštelácií.

Signály vyskytujúce sa u diskretných modulácií možno zobrazit pomocou spektrálneho analyzátoru vo frekvenčnej oblasti a pomocou osciloskopu v časovej oblasti. Knižnica Communications Toolboxu pre potreby digitálnych modulovaných signálov je vybavená blokovým diagramom (Obr. 9), ktorý podľa nastavenia dialógového okna môže zaznamenať dia-



gram oka (*Eye - pattern Diagram*), konštelačný (stavový) diagram (*Scatter Plot*) a vektorový diagramu (*xy - Plot Diagram*).

Diagram oka je grafická pomôcka, napodobujúca funkciu osciloskopu, ktorého časová základňa pracuje periodicky s rýchlosťou odpovedajúcou modulačnej rýchlosti. Diagram získal názov podľa tvaru, ktorý vykresľuje, lebo má podobu oka. Pomocou neho možno stanoviť optimálne okamžiky vzorkovania demodulovaného signálu v prijímači, tým odpovedajúcu rezervu signál/šum a iné dôležité parametre [11]. Diagram oka sa dá vytvoriť aj pre viacstavové modulácie *M-QASK* tým, že sa na obrazovke znázorní časový priebeh modulačnej zložky *I (In-Phase)* a *Q (Quadrature-phase)*, predstavujúcej viacstavový *PAM* signál.



Obr. 9 Diagram oka

S diagramom oka súvisí aj spôsob vyhodnotenia rozptýlenia signálových bodov okolo ich nominálnych hodnôt, ktorý umožňuje zakresliť konštelačný diagram (*Scatter Plot*). Tento zaznamenáva hodnoty prijatých signálov v diskretných časových okamihoch, v ktorých sa signály vzorkujú. Ak vstupný signál je 2-dimenzionálny, aj diagram sa vykresľuje zvlášť pre *I* a *Q* zložku.

Vektorové diagramy vznikajú plynulým zobrazením výslednice *I* a *Q* modulačnej zložky, kreslením tzv. trajektórií. Treba si uvedomiť, že na vykreslenie vektorového diagramu je potrebné zaznamenať dostatočný počet trajektórií, čo je náročné na čas a preto simulácia prenosu v Communications Toolboxe s aktivovaným vektorovým diagramom je veľmi pomalá. Simulácia prenosu je omnoho rýchlejšia, ak je aktívny len konštelačný diagram, ktorý zachytáva len výsledné body v okamihoch rozhodovania prenosu.

U modelov komunikačných systémov s modulátorom/demodulátorom možno rovnako, ako v prípade kanálových kodérov/dekodérov, na výpočet bitovej, alebo symbolovej chybovosti použiť blok merač chybovosti (*Error Meter*).

## ZÁVER

V príspevku boli uvedené len niektoré elementy komunikačného systému na úrovni 2-bodového spoja. Communications Toolbox, však zahrňuje nástroje pre analýzu a syntézu celého prenosového reťazca. Má implementované funkcie a funkčné bloky v Simulinku zdrojov s rôznym typom rozloženia, zdrojové kodéry pre zníženie objemu dát (napr.  $\mu$ , A krivka), databanku rôznych typov vysielačich a prijímacích filtrov, blokov pre umožnenie viacnásobného prístupu vo frekvenčnej a časovej oblasti a pomocné bloky, zabezpečujúce synchronizáciu a konverziu medzi sústavami. Všetky verzie Communications Toolboxu sú

doplnené okrem funkčných blokov demonštračnými blokmi, vhodnými na lepšie pochopenie nastavenia dialógových okien jednotlivých prvkov v modeli, čo vytvára predpoklady tvorby vlastných funkčných modelov.

## LITERATÚRA

- [1] J. Příbyl, J. Kodl: Ochrana dát v informatice, ČVUT Praha, 1996
- [2] P. Tomašov, Kanály prenosu dát v oznamovacej sieti, NADAS, Praha, 1988
- [3] Communications Toolbox For Use with Matlab, version 2, The MathWorks, 2002
- [4] Communications Blockset For Use with Simulink, version 2, The MathWorks, 2002
- [5] J. Prchal: Teorie pravdepodobnosti ve sdělovací technice, Nakladatelství dopravy a spojov, Praha, 1975
- [6] Z. Hrdina, F. Vejražka: Digitální radiová komunikace, ČVUT Praha, 1994
- [7] P. Farkaš, Kódovanie a modulácia, STU Bratislava, 1993
- [8] M. Franeková, E. Bubeníková : The calculation of the probability of undetected sequence error for ARQ systems, MOSIS 2000, s. 203-208
- [9] L. Muzikářová, M. Franeková, Konvolučné kódy s použitím Viterbiho algoritmu, Medzinárodná vedecká konf. Elektro 1995, Žilina s. 77-83
- [10] M. Franeková, Konvolučné kódovacie štruktúry, kandidátska práca, Žilina 1995
- [11] V. Žalud' : Moderní radioelektronika, BEN, Praha, 2000

Príspevok súvisí s grantovou výskumnou úlohou VEGA č. 1/8182/1: „Teoretické podklady pre výpočet akceptovateľného rizika v riadení dopravného procesu, najmä železničného“.

Ing. Mária Franeková, PhD.  
KIZS, Elektrotechnická fakulta, Žilinská univerzita  
Veľký diel, blok NF  
010 26 Žilina  
Slovensko  
tel.: +421-041-5133248  
e-mail: [frane@fel.utc.sk](mailto:frane@fel.utc.sk)