

Matlab pre simulácie

Tento článok naväzuje na state v Chipu 3/02 a 6/02, v ktorých bol popísaný Communications Toolbox ako vhodný prostriedok pre analýzu a syntézu komunikačných systémov. V tejto téme pokračujeme prezentácií simulácie prenosu s digitálnym modulátorom/demodulátorom.

V mnohých komunikačných médiách musí byť prenášaný signál prispôsobený vlastnostiam kanála z hľadiska jeho frekvenčného spektra. Obvyklým riešením je použitie modulačných a demodulačných obvodov, ktoré vstupný signál namodulujú na príslušnú nosnú frekvenciu F_c (carrier frequency) do požadovaného frekvenčného pásma a na strane prijímača prebehne inverzný proces demodulácia. Modulovaný signál potom môže byť prenášaný na väčšie vzdialenosti s menšími energetickými nákladmi ako signál nemodulovaný. V súčasnosti sa používa veľký počet rôznych typov formátov modulácií, vhodných pre metalickú aj bezdrôtovú komunikáciu. Vývojovo najstaršie sú analógové modulácie. Neskôr sa začali uplatňovať diskrétne modulácie, najprv v základnom pásme (baseband) a potom vo vysokofrekvenčnej oblasti - v preloženom pásme (passband). Diskrétna modulácia v základnom pásme boli zo začiatku nekódované a za nimi nasledovali modulácie kódované. Najmladšími sú diskrétne modulácie s nosnými vlnami. Od 90. rokov sa dostáva do praxe kódová modulácia, ktorá vzniká spojením kanálového kódéra a modulátora. Najpoužívanejšia je trellis kódová modulácia - TCM (Trellis Coded Modulation), ktorá sa používa pri prenose dát pomocou modemov, napr. v odporúčaní V.32 a V.34. Všetky spomínané skupiny modulácií sú zastúpené v programovom prostredí Matlab, v Communications Toolboxu a Simulinku. Intenzívny vývoj nových typov modulácií mal v nových verziách Communications Toolboxu za následok rapidné zvýšenie počtu funkcií a dialógových blokov z tejto oblasti v Simulinku. Podknižnica "modulácia" bola inovovaná hlavne o funkčné bloky nových typov digitálnych modulácií/demodulácií, ale aj o pomocné bloky, ktoré s prenosom modulovaného signálu súvisia bloky diferenčného kódéra/dekódéra, interleavera/deinterleavera, skrambleara/deskramblera, generátora pseudonáhodnej postupnosti a iné.

Modely digitálnych modulácií

Digitálne modulácie sú v Communications Toolboxe a Simulinku realizované v dvoch častiach (obr. 1): v časti digitálneho mapovania signálu a v časti 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 podknižnice:

- * podknižnica digitálnych modulácií/demodulácií (mapovač a modulátor v jednom bloku);
- * podknižnica digitálnych modulácií so separovaným mapovačom a modulátorom.

K modulácii sa používa väčšinou binárny impluzne kódovaný signál (PCM) alebo niektorá jeho modifikácia. Binárnym modulačným signálom je možné modulovať amplitúdu, frekvenciu a fázu. Podľa toho rozlišujeme tieto základné typy digitálnych modulácií: amplitúdová - ASK (Amplitude Shift Keying), frekvenčná - FSK (Frequency Shift Keying) a fázová - PSK (Phase Shift Keying). Ak meníme dva parametre nosného signálu, amplitúdu aj fázu, hovoríme o kvadrátnej modulácii QAM (Quadrature Amplitude Modulation; niekedy označovaná aj ako APK alebo QASK modulácia). Základná množina uvedených digitálnych modulácií je v nových verziách Communications Toolboxu rozšírená o formáty modulácií so spojitou fázou CPM (Continuous Phase Modulation) - MSK (Minimum Shift Keying), CPFSK (Continuous Phase Frequency Shift Keying) a GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying). Pre ilustráciu podknižnice digitálnych modulácií/demodulácií v Communications Toolboxe a Simulinku sú uvedené blokové diagramy M-QAM modulácie a demodulácie. Na obr. 2a sú v bloku S-QASK mapovač a modulátor koncipované spoločne, kým na obr. 2b je blokový diagram realizovaný so separovaným mapovačom (QASK S-map) a analógovým modulátorom QAM. Oba spôsoby reprezentácie digitálnej modulácie sú funkčne totožné, blokové vyjadrenie na obr. 2b je však vhodnejšie na detailnejšiu analýzu (napr. pre pripojenie diagramu oka). U dvojstavových modulácií odpovedá každý modulačný stav modulovanej nosnej vlny jednému bitu modulačného signálu PCM. U modulácie s M stavmi platí, že každý symbol prenáša informáciu v $k = \log_2 M$ bitoch, čím sa zvýši prenosová kapacita modulácie. Šírka pásma FM M-stavovej modulácie v závislosti na šírke pásma 2-stavovej modulácie F_2 je určená vzťahom $F_M = F_2 / \log_2 M$.

Konštelácie signálových bodov digitálneho signálu

U viacstavových modulácií sa často používa zobrazenie M stavov digitálnej modulácie v komplexnej rovine pomocou fázorov alebo pomocou ich koncových bodov. Reálna os sa tu označuje ako I (In-phase) a imaginárna Q (Quadrature-phase). Uvažovaná rovina sa obvykle nazýva rovina IQ a zobrazené body vytvárajú konšteláčny diagram. Tento diagram sa používa aj v technickej praxi a možno ho považovať za zvláštny prípad zobrazenia modulovaných signálov v tzv. signálovom priestore. V modulačných formátoch existuje veľa konštelácií signálov, používaných na mapovanie vstupných symbolov. Niektoré z nich sú odporúčané - z hľadiska dosiahnutia menšej chybovosti pri prenose je to napríklad v odporúčaní V.32 konštelácia "diamond".

Communications Toolbox ponúka nasledujúce možnosti tvorby konštelácií signálov pre digitálnu M-QAM moduláciu:

- * štvorcová konštelácia (square);
- * kruhová konštelácia (circle);
- c) vlastná konštelácia (arbitrary).

Na generovanie jednotlivých konštelácií možno použiť nasledujúce funkcie:

* `modmap('qask', M)` - táto funkcia mapuje digitálny signál do štvorcovej konštelácie, podľa definovaného počtu stavov M.

Štvorcová konštelácia pre $M = 64$ je na obr. 3.

* `modmap('qask/cir', nic, ric, pic)` - táto funkcia mapuje digitálny signál do kruhovej konštelácie, podľa zadaných parametrov `nic` (počet bodov na kružnici), `ric` (polomer kružnice), `pic` (fázový posuv medzi jednotlivými signálovými bodmi).

Pomocou tejto funkcie možno vytvárať rôzne kruhové konštelácie, nielen na jednej kružnici, ale aj na sústredených kružniciach. Na obr. 4 je konštelácia pre parametre `nic = 16`, `ric = 1` a `pic = pi/16`. Konštelácia je totožná s 16 PSK moduláciou.

* `modmap('qask/arb', I, Q)` - táto funkcia mapuje digitálny signál do vlastnej konštelácie, ktorej každý signálový bod je zadaný dvojicou parametrov I a Q. Konštelácia "diamond" pre $M = 32$ je na obr. 5.

Poznámka: Funkciu `modmap` možno použiť aj pre iný typ digitálnej modulácie.

Vyhodnocovacie zariadenia digitálnych modulácií

Digitálne modulované signály možno najčastejšie zobraziť pomocou spektrálneho analyzátoru vo frekvenčnej oblasti a pomocou osciloskopu v časovej oblasti. Knižnica Communications Toolboxu v Simulinku je vybavená blokovým diagramom, vhodným pre analýzu digitálnych modulovaných signálov, ktorý podľa nastavenia dialógového okna môže pracovať vo funkcii diagramu oka (Eye-Pattern Diagram), diagramu pre zachytenie rozptýlenia koncových bodov (Scatter Plot) a vektorového diagramu (xy diagram). Diagram oka je grafická pomôcka napodobujúca funkciu osciloskopu, ktorého časová základňa pracuje periodicky s rýchlosťou odpovedajúcou modulačnej rýchlosti $1/T$. Diagram získal názov podľa tvaru, ktorý vykresľuje. Počas prenosu môže byť prijatý signál narušený vplyvom mnohých faktorov, akými sú vysielací/prijímací filter, šum v kanáli, interferencie vzniknuté v kanáli a typ filtra použitý pri demodulácii. Čím viac sú jednotlivé stopy rozptýlené, tým je oko viac privreté a tým je väčšia chybovosť celého systému. Z diagramu oka možno určiť optimálny okamžik vzorkovania demodulovaného signálu v prijímači a tým citlivosť systému voči chybám. Diagram oka možno zobraziť aj pre viacstavové modulácie M-QAM tým, že sa na obrazovke znázorní časový priebeh modulačnej zložky I a Q. To odpovedá v praxi privedeniu zložky I na horizontálny vychýľovací systém obrazovky osciloskopu a zložky Q na vertikálny. Diagram typu Scatter Plot je zviazaný s diagramom oka. Zaznamenáva hodnoty prijatých signálov v ich rozhodovacích okamihoch. Čím väčší šum pôsobí na signál, tým je rozptýlenie hodnôt okolo ich nominálnej hodnoty väčšie. Základným parametrom pre hodnotenie komunikačných systémov je bitová chybovosť BER (Bit Error Rate) - definíciu, viď príspevok Chip 3/02. Pre daný typ modulácie je chybovosť závislá hlavne na pomere nosná/šum - C/N , vzťahnutého obvykle na vstup demodulátora prijímača, kde je táto hodnota najmenšia. Preto sa uvádzajú grafické závislosti $BER = F(S/N)$. Tieto závislosti sa dajú odvodiť aj teoreticky pre každý typ digitálnej modulácie za idealizujúceho predpokladu, že v uvažovanom systéme je jediným zdrojom chybovosti aditívny biely gaussovský šum (AWGN). Pre M-QAM konšteláciu signálov do štvorca je možno pravdepodobnosť chyby bitu približne vzťahovať: kde k je počet bitov pripadajúci na jeden symbol ($M = 2^k$), E_b/N_0 je odstup signál šum na jeden bit v dB, $Q(x)$ je komplementárna chybová funkcia, ktorá je pre biely šum podľa gaussovského rozloženia normalizovaná. Meranie bitovej chybovosti na výstupe digitálneho demodulátora možno v Communications Toolboxe a Simulinku simulovať blokovým diagramom Error Rate, ktorý vypočíta bitovú a symbolovú chybovosť porovnaním nenarušeného signálu z vysielateľa a signálu po prechode komunikačným kanálom (v

prijímači). Model na určenie bitovej chybovosti pri použití viacstavovej kvadratúrnej modulácie s konšteláciou signálových bodov do štvorca (blok S-QASK) pri prenose cez AWGN kanál je na obr. 6.

Záver

Pri prenose digitálneho viacstavového modulovaného signálu je veľmi dôležité použiť optimálnu konšteláciu signálových bodov pre dané prenosové prostredie. Podknižnica "modulácia" Communications Toolboxu nám prostredníctvom svojich funkcií umožňuje modelovať komunikačné systémy s rôznymi formátmi digitálnych modulácií a konšteláciami signálov v priestore. Modely možno analyzovať v časovej oblasti s použitím diagramu oka, pomocou ktorého možno stanoviť optimálny okamžik vzorkovania demodulovaného signálu v prijímači a určiť citlivosť systému voči rušivým faktorom. Jednotlivé typy modulačných techník možno medzi sebou porovnávať z hľadiska bitovej chybovosti, alebo v novších verziách Communications Toolboxu v tzv. rovine pravdepodobnosti chyby závislosť $BER = F(S/N)$. K posúdeniu správneho výberu digitálnej modulácie a demodulácie pre konkrétnu aplikáciu sú v praxi rozhodujúce okrem chybovosti aj iné faktory, ako výkonová a spektrálna účinnosť, možnosť koherentnej a nekoherentnej demodulácie, náročnosť realizácie - s tým súvisiaca cena a iné. V tomto smere treba uvítať rozšírenie vyhodnocovacích jednotiek v najnovšej verzii Matlab R12, Communications Blockset, s podporou DSP Bloksetu, o blokový diagram frekvenčného analyzátoru v Simulinku (Frequency Vector Scope), ktorý dokáže analyzovať modulované signály aj vo frekvenčnej oblasti. Na záver treba skonštatovať, že Communications Toolbox v kombinácii so Simulinkom je vhodným nástrojom na objasnenie problematiky digitálnych prenosov, nielen vo vyučovacom procese, ale aj pre odborníkov z praxe.

Mária Franeková