

GENEROVÁNÍ TESTOVACÍCH SIGNÁLŮ PRO ARBITRÁRNÍ GENERÁTORY

J. Šebesta

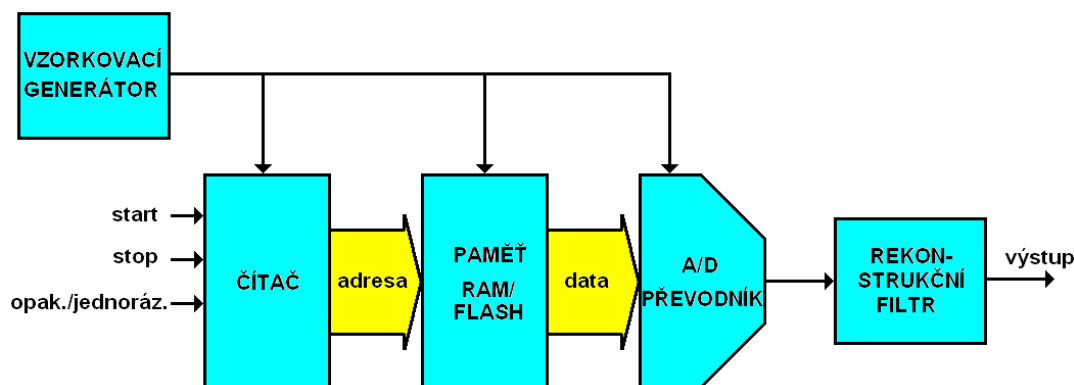
Ústav radioelektroniky, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, VUT v Brně

Abstrakt

Arbitrární generátory umožňují generování prakticky libovolného průběhu signálu. Výrobci těchto generátorů nabízejí různé programy, které tvorbu signálových vzorů umožňují, obvykle však v omezené škále. Matlab je proto vhodným prostředkem, který nabízí řešení tohoto problému. V příspěvku je popsáno řešení univerzálního matlabovského prostředí pro generování signálů včetně přímého ovládání generátorů Tabor řady WW.

1 Princip arbitrárních generátorů

V poslední době se na trhu měřicí techniky objevují generátory, které umožňují generování libovolného průběhu signálu. Obecně se pro ně vžil název arbitrární generátory. Funkce arbitrárního generátoru je založena na RAM pamětech s rychlou vybavovací dobou a velkou kapacitou. Při procesu generování signálu jsou postupně vyčítána data z paměti RAM definovanou vzorkovací frekvencí, přičemž adresa aktuálně vyčítaného vzorku je generována speciálním čítačem, viz obrázek 1. Digitální vzorky jsou pak vedeny na D/A převodník s velkým rozlišením, jehož výstup je po průchodu rekonstrukčním filtrem i výstupem arbitrárního generátoru. Před vlastním procesem generování požadovaného signálu je tedy nutno z hlediska uživatele nadefinovat kýžený průběh signálu jako posloupnost dat, která se vhodným způsobem uloží do vyčítané paměti RAM. Obvykle je umožněno uložení několika průběhů do různě vymezených prostorů paměti, čítač je pak spouštěný od adresy „start“ do adresy „stop“. Průběh je možno generovat opakovaně nebo jednou. Jednotliví výrobci arbitrárních generátorů nabízejí ke generátorům software, kterým lze definovat výstupní průběhy generátoru. Nevýhodou těchto programů je však skutečnost, že množina definovatelných průběhů je více či méně omezena.



Obrázek 1: Principiální blokové schéma arbitrárního generátoru

Cílem příspěvku je prezentace aplikace vytvořené na bázi Matlabu, která umožňuje sofistikovanou přípravu testovacích průběhů pro arbitrární generátory. Aplikace je zaměřena především na generování rádiových signálů s využitím matlabovských knihoven. Umožňuje vytvářet signály rozsáhlé z množiny analogově a digitálně modulovaných signálů s různými zdrojovými daty i jejich kódováním, včetně aplikace řady parametrů přenosových kanálů. I takový produkt však neumožňuje vytváření absolutně libovolného průběhu, a proto je jeho součástí i možnost spouštění externích matlabovských skriptů. V každém kroku generování kýženého signálu je zobrazován průběh signálu jak v časové tak i ve frekvenční oblasti včetně časově frekvenční analýzy a uživatel tak má stálou kontrolu při vytváření příslušného signálu. Součástí aplikace je rovněž skript pro optimální převzorkování pro dané možnosti arbitrárního generátoru.

2 Řešení aplikace pro tvorbu signálů

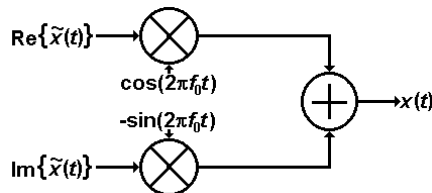
Aplikace pro tvorbu signálů v Matlabu pro arbitrární generátory je určena především pro přípravu signálů z prostředí rádiové komunikace. Tomuto je podřízena celá návrhová architektura. Generovaný signál je tvořen součtem jednotlivých pásmových signálů, které jsou individuálně vytvářeny. V základním pásmu je generována komplexní obálka každého signálu, která je pak transformována na reálný signál s příslušným nosným kmitočtem, viz. obrázek 2. Komplexní obálka má tvar [1]:

$$\tilde{x}(t) = \text{Re}\{\tilde{x}(t)\} + j \cdot \text{Im}\{\tilde{x}(t)\} = \tilde{x}_I(t) + j \cdot \tilde{x}_Q(t), \quad (1)$$

kde jednotlivé složky tvoří ortogonální bázi a odpovídají I a Q složkám v I-Q diagramu (pro lineární digitální modulace nabývají v čase optimálního vzorkování hodnot konstelačního diagramu příslušné modulace). Pásmový reálný signál je pak získán násobením jednotlivých složek komplexní obálky složkami komplexního harmonického signálu:

$$x(t) = [\text{Re}\{\tilde{x}(t)\} + j \cdot \text{Im}\{\tilde{x}(t)\}] \cdot e^{-j2\pi f_0 t} = \tilde{x}_I(t) \cdot \cos(2\pi f_0 t) - \tilde{x}_Q(t) \cdot \sin(2\pi f_0 t), \quad (2)$$

$$x(t) = \text{Re}\{\tilde{x}(n) \cdot e^{j(2\pi f_0 t)}\} = \tilde{x}_I(t) \cdot \cos(2\pi f_0 t) - \tilde{x}_Q(t) \cdot \sin(2\pi f_0 t). \quad (3)$$

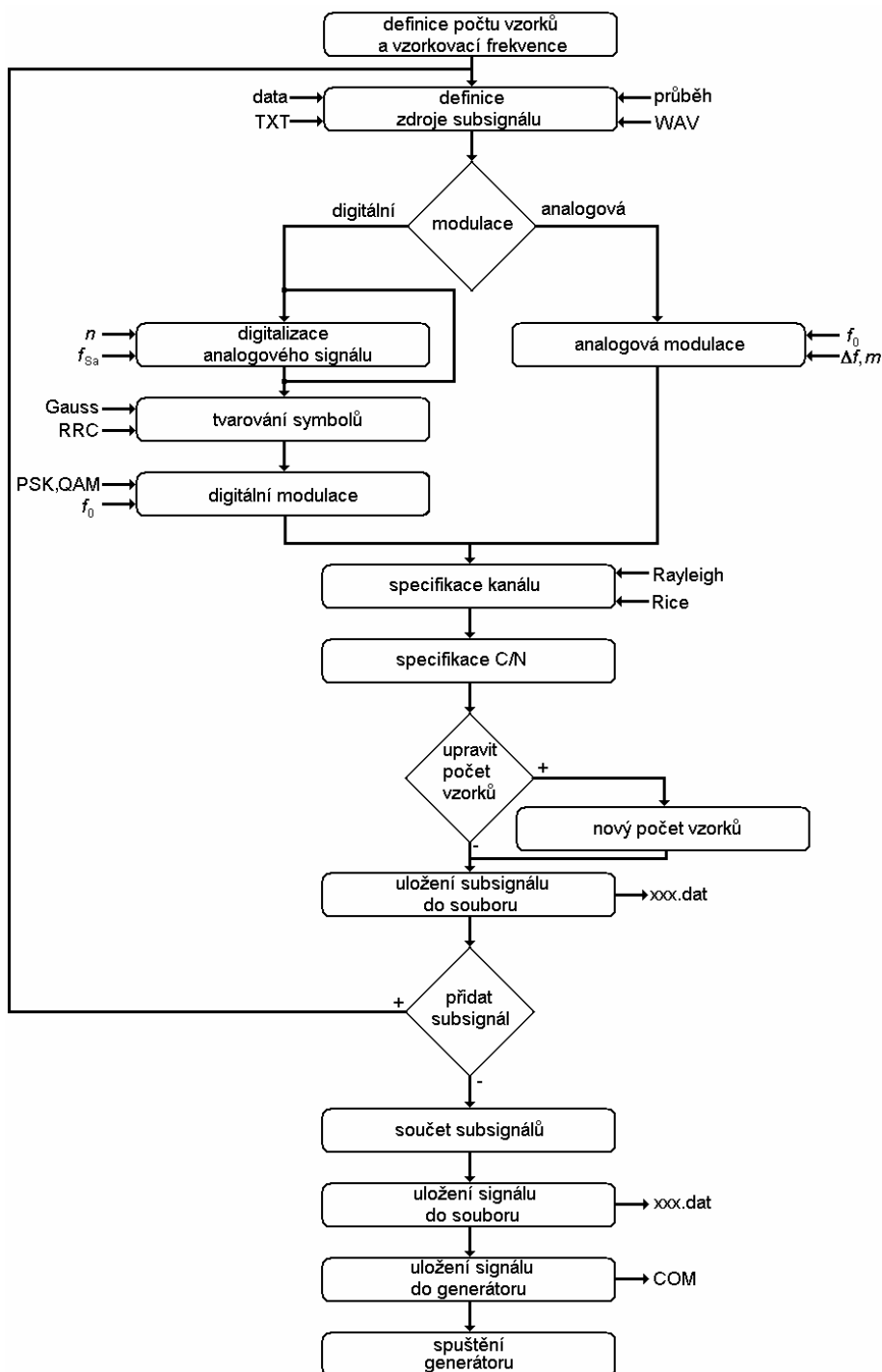


Obrázek 2: Metoda získání reálného pásmového signálu z komplexní obálky

Jednotlivé signály $x(t)$ jsou pak následně sečteny spolu s bílým šumem, jehož výkonová hustota je vztažena k vybranému signálu $x(t)$, poměr signál-šum je tedy definován k jednomu vybranému signálu. Specifikace poměru signál-šum u ostatních pásmových signálů (subsígnálů) se pak provádí úpravou amplitudy každého subsígnálu.

Generování signálů probíhá podle vývojového diagramu na obrázku 3. Nejprve je zvolen vzorkovací kmitočet celého signálu a jeho délka pro arbitrární generátor, ta se zadává v první fázi ručně, případně se po vytvoření subsígnálu může upravit se vztažením k danému subsígnálu. Délka ostatních subsígnálů se pak upraví automaticky, buďto zkrácením nebo vytvořením repetice. Následným souborem operací se provádí generování subsígnálů. Nejprve se zvolí zdroj modulačního signálu. Tím mohou být předpřipravená data nebo textový soubor. Lze použít i analogový signál ve formě zvukového souboru wav nebo vlastního průběhu (vygenerovaný operacemi Matlabu), který se u analogových modulací použije přímo, u digitálních modulací se digitalizuje, zde se určuje vzorkovací frekvence a bitové rozlišení, s tím že provede normalizace vstupního signálu tak, aby byl plně využit dynamický rozsah. Pro digitální modulace se provádí kódování dat (specifikace MSB, LSB, Grayovo kódování, hlavička rámce). Následuje operace tvarování signálů před vstupem do modulátoru při aplikaci digitální modulace. Při tvarování signálů se nejprve zvolí počet vzorků na jeden symbol (obvykle postačí 5 až 10), mezi základními tvarovacími pulsy jsou v nabídce gaussovské pulsy a tvarování RRC (root rise cosine). Následuje proces vlastní modulace, kde je určen typ modulace a symbolová rychlost a nosná frekvence. U analogových modulací je pak aplikace doplněna o definici dalších parametrů, jako je hloubka modulace např. u AM nebo zdvih u FM. Posledním procesem při specifikaci subsígnálu je definice kanálu. Aplikace umožňuje nastavit základní charakteristické únikové kanály (Rayleighův a Riceův únikový kanál [3]). Při tomto procesu se vytváří zpožděné repliky modulovaného signálu násobené různou amplitudou dle specifikace, které jsou následně sečteny. V této fázi již získáváme pásmový signál, který je vhodné uložit ve formě souboru s příponou DAT. Opakovaným postupem vygenerujeme až 10 subsígnálů, po každé operaci se rovněž zobrazí časový průběh vytvářeného signálu (lze definovat jen úsek zobrazení signálu, nebo zobrazit celý signál, nebo provést obdobu osciloskopického zobrazení se specifikací periody časové

základny a horizontálního posuvu) a spektrum signálu (opět lze definovat úsek signálu nebo spektrum z celého signálu). Poslední fází je sloučení vygenerovaných subsignálů (lze vybrat i jen část) a provedení amplitudové korekce jednotlivých subsignálů. K tomu slouží výpočet celkového výkonu každého vygenerovaného subsignálu s následnou automatickou korekcí (úpravou celkové amplitudy) podle požadovaného poměru signál šum. Takto vytvořený signál pro arbitrární generátor se uloží do souboru s příponou DAT a uloží se rovněž do generátoru. Celý systém generování signálu pro arbitrární generátor je integrován do matlabovského grafického rozhraní aplikace a je otevřený pro další doplňování funkcí. Součástí aplikace je rovněž příkazový řádek, kterým lze provést operaci na aktuálně zpracovávaném signálu s využitím libovolné funkce v Matlabu. Aktuální verzi poskytnu zájemcům přes email, je však třeba mít k dispozici toolboxy: Communications, Signal Processing a pro práci s reálným generátorem i Instrument Control.



Obrázek 3: Postup generování signálu pro arbitrární generátor

3 Komunikace s arbitrárním generátorem

Komunikace s arbitrárním generátorem je možná pomocí vhodného komunikačního rozhraní. V případě generátorů Tabor řady WW se nabízí využití sběrnice USB, GPIB a Ethernetového rozhraní. Pro příslušně použité rozhraní je třeba vždy mít nainstalovány správné drivers. Ovládání generátoru je pak řešeno zasíláním textových příkazů na příslušné rozhraní. Většina přístrojů využívá standardizovanou syntaxi SCPI (*Standard Commands for Programmable Instruments*) vyvinutou v National Instruments a shrnutou do normy IEEE-STD-488.2 [4]. Pak lze toutéž aplikací ovládat různé typy přístrojů. V mém případě jsem využil rozhraní USB v generátoru Tabor WW1071 (vzorkovací frekvence 100 MSa/s, paměť 4 MB, rozlišení DAC 14 bitů). Po připojení generátoru k řídicímu počítači systém USB zařízení (generátor) nakonfiguruje jako port COM X. Ve vlastní aplikaci v Matlabu je pak třeba nejprve nastavit parametry komunikace specifikací objektu portu COM X pomocí funkce *serial()*, parametry objektu se nastaví pomocí funkce *set()*. Příslušný port COM X se chová stejně jako soubor, který lze otevřít – *fopen()*, zapisovat do něj – *fprint()* nebo *fwrite()*, číst – *fread()* a na konci komunikace uzavřít – *fclose()*. Příkazy dle standardu IEEE-STD-488.2 se posílají ve formě textového řetězce ASCII pomocí funkce *fprint()*. Příkazy se dělí na dvě základní skupiny a to systémové a aplikační. K systémovým patří např. reset ‘*RST‘ nebo dotaz na identifikaci měřicího přístroje ‘*IDN?’. Aplikačními příkazy se pak nastavují jednotlivé parametry měřicího přístroje, u generátoru např. amplituda ve tvaru ‘:SOUR:AMPL xxx’, kde xxx je hodnota ve V. Pro zavedení dat vygenerovaného průběhu do arbitrárního generátoru se využívá funkce *fwrite()*, s tím že se data ukládají do binárního souboru (paměti generátoru). Pro daný typ generátoru se 14ti bitovým rozlišením je jeden vzorek přenesen jako dvojice bajtů ve standardizovaném pořadí LSB byte - MSB byte. Generování sestaveného a uloženého průběhu arbitrárním generátorem se pak aktivuje nastavením módu ‘:FUNC:MODE USER’ a aktivací výstupu ‘:OUTP 1’ nebo ‘:OUTP ON’.

4 Závěr

Systém propojení arbitrárního generátoru s aplikací v Matlabu umožňuje generování věrných testovacích signálů pro měření parametrů reálných rádiových zařízení nebo částí obvodů jako jsou demodulátory, dekodéry, A/D převodníky u softwarově definovaného přijímače apod. Výhodou takového řešení je, že lze velmi jednoduchým a levným způsobem modelovat skutečné reálné podmínky a to s velmi přesnou specifikací a klasifikací. Vlastní modul aplikace pro tvorbu testovacích signálů pro arbitrární generátor je otevřenou aplikací, kterou lze dále rozšiřovat. V budoucnu se předpokládá doplnění systému o měřicí akviziční jednotku, která umožňuje záznam velmi rychlých naměřených průběhů do paměti s následným zpracováním pomocí matlabovských funkcí. Takový systém pak může představovat velmi kvalitní měřicí systém, který lze využít pro řešení řady testovacích úloh včetně následného vyhodnocení, a který lze zařadit do i skutečného procesu testování systémů s subsystémů v praxi s poměrně nízkými pořizovacími náklady

Literatura

- [1] G. J. Miao. *Signal Processing in Digital Communication*. Artech House, Norwood, USA, first edition, 2007.
- [2] R. G. Gallager. *Principles of Digital Communication*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., first edition, 2008.
- [3] M. K. Simon, M. S. Alouini. *Digital Communication over Fading Channels*. John Wiley & Sons, Hoboken, USA, second edition, 2005.
- [4] *Arbitrary Generator WW 1071/1072. User Manual*. Tabor Electronics Ltd., Tel Hanan, Israel, 2005.