

Digitální syntéza zvukového signálu

VÁCLAV SYROVÝ

Syntéza zvukového signálu byla v minulosti spojována převážně jenom s nekomerční oblastí elektronické hudby a s hudebně akustickým výzkumem. Bylo to způsobeno hlavně značnou technicko-realizační náročností vázanou na studiové a laboratorní podmínky. Úroveň analogové a nastupující digitální techniky v padesátých letech neumožňovala ve většině případů provádět syntézu v reálném čase a v reálných časových souvislostech. To znamená, že od zadání výšky příslušného tónu k jeho realizaci (digitální cestou) proběhl určitý, nezanedbatelný čas. Analogové systémy zase nedovedly postihnout časové závislosti vývoje frekvenčního spektra ve všech jeho parametrech. Přes tyto nedostatky byly již tehdy teoreticky i prakticky známy digitální způsoby zvykové syntézy, které realizovaly nejenom řízení syntetického procesu, ale též přímo generaci signálu. První pokusy o využití výpočetní techniky při syntéze zvukového signálu, spojované se jménem M. V. Mathewse, vedly k vývoji celé řady hudebně syntetických programů MUSIC a ukázaly na možné perspektivy digitalizace celé hudební elektroniky.

Počátek šedesátých let byl ve znamení nástupu komerčních syntezátorů, založených na rozdílové metodě řízení filtrace komplexního signálu a využívajících důsledně systém napěťového řízení funkce jednotlivých obvodů. Vedle D. Buchly a P. Ketoffa byl to zejména R. A. Moog, který přivedl rozdílovou syntézu do komerčně pódiově využitelné podoby. Postupná digitalizace těchto analogových systémů nejdříve zasáhla řízení vlastní zvukové syntézy a umožnila vedle zjednodušeného ovládání především propracování vícehlasé koncepce. Nástup mikroelektroniky přinesl též možnost rze digitální generace tónu, kterou už v roce 1971 využila firma Allen v prvních počítačem řízených digitálních varhanách. Digitalizace generace zvukového signálu souvisela s použitím pamětí ve funkci banky základních časových průběhů signálu, který byl i nadále zpracováván analogovou cestou. Digitalizace procesu zpracování zvukového signálu, např. řízenou filtrací, si vyžádala vývoj zvukových procesorů, tj. v podstatě jednoúčelových výpočetních systémů, které jsou schopny realizovat digitální cestou filtraci i modulaci signálu, jeho frekvenční transpozici, časovou kompresi a expanzi atd.

Digitální metody zvukové syntézy znamenají oproti metodám analogovým nejenom kvalitativní i kvantitativní pokrok, ale i řadu technicko-realizačních problémů. Digitalizace představuje totiž u velké části klasických metod syntézy přechod k podstatně složitějšímu řešení, než jaké je známo z analogové verze. Proces digitalizace vede na druhé straně zase ke zvýšení spolehlivosti a k reprodukovatelnosti zvukové syntézy. V neposlední řadě jsou tu hlavně u komerčních nástrojů ekonomická hlediska, též určující stupeň digitalizace zvolených metod syntézy.

Metod zvukové syntézy existuje celá řada a u většiny z nich je možné jak analogové, tak i digitální řešení. Vedle toho jsou známy i zcela autonomní digitální metody, které také znamenají odlišný pohled na vlastnosti i strukturu zvukového signálu, jehož digitální podoba přináší už sama o sobě řadu nových problémů spojených např. se vzorkováním a restitucí, které analogová technika vůbec neznala.

Součtové metody zvukové syntézy jsou ve své digitální podobě reprezentovány především diskretními trans-

formacemi, které postihují vztah mezi časovou a frekvenční doménou u vzorkovaného signálu. Zatímco Diskrétní Fourierova transformace (DTF) nebo její známý algoritmus Rychlé Fourierovy transformace (FFT) jsou vázány na dosti složitý výpočet, použití autonomních diskretních transformací Walshovy, Hadamardovy a dalších vychází přímo z výhod digitálního zpracování signálu a použití výpočetní techniky. Přes tyto přednosti je však uplatnění nefourierovských součtových metod omezeno na laboratorní podmínky z důvodů netradičního pojetí zvukové struktury, které se vymyká zřetelným představám o syntéze harmonických i neharmonických sinusových složek. Pro uvedené transformace existují již jeduúčelové procesory zaměřené na frekvenční analýzu. Procesory pro frekvenční syntézu představují ještě v současné době velmi nákladná řešení a proto se při realizaci součtových syntéz několika desítek frekvencí složek u komerčních i studiových nástrojů používají takové digitální metody, které mají svůj předobraz v klasickém analogovém modelu. Zajímavě řešenou digitální podobu míchání harmonických složek je vybaven např. syntezátor Synergy, jinou součtovou metodou tzv. parciálních ténbrů zase syntezátor Synclavier II.

Rozdílové metody zvukové syntézy založené na řízené filtraci komplexního signálu digitalizují v současné době vedle vlastního řízení též proces generace signálu. Do digitálních pamětí se ukládají takové časové průběhy, které rámcově odpovídají zvoleným barevným charakteristikám. Vlastní zpracování signálu filtrací a řízeným zesílením je pak prováděno analogovým způsobem. Další vývoj rozdílových metod bude sledovat využití zvukových procesorů ve funkci filtrů a modulátorů a bude soustřeďovat pozornost na prvotní generaci komplexního signálu. V jeho digitální podobě lze provádět řadu takových operací, které umožňují např. realizovat plynulý přechod mezi tvarově odlišnými časovými průběhy označovaný jako **vektorová syntéza**.

Modulační metody zvukové syntézy náleží k metodám s poměrně jednoduchým matematickým modelem. Proto také syntéza frekvenční modulací (Chowningova) došla širokého uplatnění v digitální realizaci jak studiové (hudebně syntetický program MUSIC V), tak komerční, např. u syntezátorů Yamaha řady DX. Velkou předností modulační syntézy (frekvenční, kruhové, parametrické — zpětnovazební) je možnost generace neharmonických zvukových struktur a zcela nových zvuků (Moebiovův zvuk) a proto exaktní reprodukovatelnost digitálního provedení této syntézy je nejenom nutná, ale i velmi výhodná.

Tvarové metody zvukové syntézy jsou z velké části autonomními digitálními metodami, a to jak v případě nelineárního tvarování signálu, tak i jeho aproximace matematicky jednoduše vyjádřenou funkcí. Tyto metody mají možnost přímé manipulace s tvarem základní periody časového průběhu a tak realizovat např. všechny typy základních modulací. Zajímavou metodou, kterou použila firma Casio, je manipulace s časovým průběhem signálu na základě **fázového zkreslení**. Tato autonomní digitální metoda vychází z řízení průběhu fázového úhlu během jedné i více period sinusového signálu. Výsledný signál pak může v širokých mezích plynule měnit svoji barvu bez použití řízené filtrace.

Segmentačních metod existuje sice celá řada, ale největšího rozšíření ve zvukové syntéze došla segmentace obdélníková, která představuje restituovaný digitální signál. I když tato metoda ve srovnání např. se segmentací lineární není zvukově právě nejvýhodnější, je náročná na vzorkovací frekvenci, na rozměr digitálního slova a na kvalitu dolnopropustní filtrace při převodu do analogové podoby signálu, je metodou velmi progresivní. Je to metoda **vzorkovacích (sampling) nástrojů**, které zpracovávají nejenom signály uložené v interních či externích pamětech, ale i signály sejmuté mikrofonem. Kapacita paměti dovoluje zaznamenat signály o délce trvání několika sekund (dokonce už i desítek sekund) při použití 12 až 16ti bitovém formátu slova a vzorkovací frekvenci až 42 kHz. Digitalizovaný signál je s příslušnou frekvencí přiřazován právě stisknutým klávesám a může být reprodukován též retrográdně, časově expandován či komprimován, modulován apod. Pokud nejsou tyto systémy přímo vybaveny vlastním výkonným počítačem, pak jsou k počítačové spolupráci přímo ur-

čeny, např. Emulátor II, Kurzweil 250. Nejvýkonnější systémy jsou pak založeny na přímé počítačové bázi a přirozeně se neomezují na jednu metodu digitální syntézy, jako je to např. u nástroje Fairlight CMI III.

Nástup digitálních metod zvukové syntézy přesunul těžiště zpracování signálu do jeho **časové domény** z čistě technických důvodů, protože operace ve frekvenční doméně jsou náročnější na hard- i softwarové vybavení. Tento postupný odklon od klasické filtrace se projevuje nejenom u komerčního instrumentáře, ale též u studiové realizace. V těchto souvislostech byla vyvinuta řada metod syntézy, které přistupují ke generaci zvuku zcela netradičním způsobem.

Metoda **VOSIM (Voice Simulation)** vytváří základní časový průběh sérií sinusových pulzů, jejichž amplituda monotónně klesá. Tímto způsobem lze velmi jednoduše vytvářet signály s charakteristickými formantovými oblastmi, jako je např. lidský hlas, zvuk některých dechových nástrojů atd. K syntéze zvuku perkusních a drnkacích nástrojů je určen velmi jednoduchý **Karplus-Strongův algoritmus**, který je založen na opakovaném průměrování 2 sousedních vzorků zadaného průběhu signálu. Syntéza pomocí **funkce dvou proměnných** vychází z definice prostorové funkce, nejčastěji aproximované „prostorové“ sinusovky. Z této prostorové funkce je pomocí tzv. orbitální funkce vybírána okamžitá hodnota amplitudy generovaného signálu, jehož časový průběh může tak nabývat nejrůznějších tvarů. K čistě počítačovým syntézám patří také tzv. **granulační metoda**, která realizuje časové posloupnosti elementárních průběhů signálů velmi krátkého trvání.

Další vývoj zvukové syntézy bude směřovat k ještě užšímu spojení s výpočetní technikou ve smyslu stále prohlubující se digitalizace. Současně s tím budou však narůstat nároky na obsluhu. Už v současné době se většína syntezátorů „neovládá“, ale „programuje“. Zvýšení kapacity paměti dovolí zase zakládat celé banky nejrůznějších časových průběhů, které budou použitelné i v jednoduše koncipovaných nástrojích syntezátorového i varhanového typu. Z ryze zvukového hlediska přinesla sice digitalizace zcela nové možnosti, ale nenahradila v plné míře zvuk analogových nástrojů, který v podstatě ve své nepřesnosti dovede být charakteristický. Proto je už dnes u digitálních nástrojů napodobován „analogový“ zvuk „klasických“ syntezátorů šedesátých a sedmdesátých let. Vedle **technických problémů** přináší digitalizace zvukové syntézy též řadu **otáček estetických**, které ve svých důsledcích už dnes začínají ovlivňovat zvukové estetické cítění a zkušenosti posluchače. Řešení těchto otázek však znamená začít se zabývat kvalitativní stránkou umělé generace hudebního signálu.



Nejúspěšnějším úspěchem posluchačů JAMU v roce 1987 je titul laureáta Mezinárodní soutěže P. I. Čajkovského v Moskvě, který získal dvacetiletý posluchač Igor Ardašev. Na fotografii ČTK — V. Korčáka je I. Ardašev s profesorkou Inessou Janičkovou.