

Zpráva k semestrální práci k předmětu B2M31SYN – Syntéza audio signálů

Lukáš Krauz

krauzluk@fel.cvut.cz

Úkol 1

- **Motivace**

Hlavním cílem této úlohy bylo vytvořit za pomoci MIDI souboru, obsahující noty a stopy k jednotlivým nástrojům, druhou symfonickou báseň Vltava z cyklu Má vlast od skladatele Bedřicha Smetany. Veškeré hudební nástroje bylo nutné vytvořit použitím syntézy provedené v prostředí MATLAB.

- **Provedení**

Typy nástrojů vyskytující se ve výše jmenované skladbě jsou vypsány zde: Viola, Violin, Violoncello, Kontrabas, Trubka, Francouzský roh, Tuba, Flétna, Hoboj, Klarinet, Fagot, Harfa, Tympány, Triangl. Jednotlivé nástroje byly vytvořeny pomocí různých syntéz.

- Nejvíce v této práci byla použita formantová syntéza, a to u nástrojů viola, violoncello, violin, kontrabas, roh, tuba, fagot. Formantová syntéza využívá znalosti formantů, neboli maxim ve frekvenčním spektru složených tónů. Ty vznikají za pomoci rezonance uvnitř hudebního nástroje. Díky znalosti umístění a šířek pásma pro jednotlivé formanty u každého hudebního nástroje, je možné tyto formanty vytvořit za pomoci rezonančních číslicových filtrů, do kterých je na vstupu přiveden příslušný vstupní signál odpovídající danému nástroji (sinus, pulzy, obdélníkový průběh, pilový průběh). Na vyfiltrovaný signál, na který byl aplikován určitý počet filtrů podle počtu formantů, byla použita odpovídající obálka signálu pro daný nástroj. Zde bylo důležité rozlišit zda nástroj uvedený v MIDI souboru hraje ve smyčcové sekci nebo v pizzicato sekci. Na smyčce byla použita obálka ADSR odpovídající hře smyčcem, na pizzicato jsme využili exponenciálně klesající obálku, simulující drnknutí struny. Následně byl signál normalizován a poslán na výstup příslušné funkce volané v MIDI-toolboxu (viz dále).
- Další často používanou syntézou byla syntéza tvarovací, vytvořena u Klarinetu, Flétny, Hoboje a Trubky. Zde se využilo vytvarování vstupního signálu nelineární

přenosovou funkcí vytvořené pomocí Čebyševových polynomů odpovídající následujícímu vyjádření pro jednotlivé polynomy [1]

$$T_0(x) = 1, \quad (1)$$

$$T_1(x) = x, \quad (2)$$

$$T_{n+1}(x) = 2xT_n(x) - T_{n-1}(x). \quad (3)$$

Při znalosti amplitudového spektra určitého nástroje a počtu harmonických odpovídající stupni Čebyševova polynomu, je generován signál s určitým specifickým frekvenčním obsahem odpovídající danému nástroji. Následně byla na takto tvarovaný signál aplikována ADSR obálka, signál byl znormalizován a odeslán na výstup funkce.

- Při vytváření nástrojů tympany a triangel byla využita aditivní syntéza. Zde se pro nástroj využívá jednotlivých oscilátorů odpovídající harmonickým složkám nástroje a jejich amplitudám, které byly zjištěny z amplitudového spektra, následně sečteny a vynásobeny odpovídající obálkou, zde klesající exponenciálou. Jedná se o podobný princip jako u tvarovací syntézy s tím rozdílem, že zde se využívá více oscilátorů k vytvoření chtěného signálu.
- Poslední nástroj, harfa, byl vytvořena Karplus-Strongovým algoritmem. Zde je znovu využita filtrace pro vytvoření fyzikálního modelování drknutí struny odpovídající harfě. Filtr pracuje na principu několikanásobného zpoždění, a také je zde aplikován filtr klouzavých průměrů. Buzení je zajištěno Gaussovským bílým šumem.[2]

Všechny vytvořené nástroje byly vloženy do funkcí v prostředí MATLAB, které byly následně volány ve funkci synth.m umístěné v MIDI-toolboxu. Zde bylo jednotlivým nástrojům přiřazeno určité číslo odpovídající danému nástroji a také kanál, určující rozlišení nástrojů, které se ve skladbě podle MIDI souboru vyskytovaly. Ve funkci synth.m byly jednotlivé nástroje volány podle zmíněného čísla a kanálu s přiřazením určitých parametrů, uložené v MIDI skladbě, zastupující frekvenci noty, trvání noty, vzorkovací frekvenci a velikosti amplitudy pro daný tón. Z následně vytvořené kompozice pomocí MIDI-toolboxu, byla v hlavním souboru main.m vytvořena a normalizována skladba ve tvaru .wav souboru. Ještě předtím byl aplikován konvoluční reverb, využívající impulzní odezvy velké haly [3], a původního signálu při násobení ve frekvenční oblasti, což odpovídá konvoluci v oblasti časové

$$y[n] = \sum_{n=0}^k x[n]h[k-n] \quad (4)$$

$$y[n] = \text{IFFT}\{\text{FFT}\{x[n]\} \cdot \text{FFT}\{h[n]\}\}, \quad (5)$$

a následné převedení zpět do časové domény (5). Pro přechod do i zpět z frekvenční oblasti byl použit algoritmus rychlé Fourierovy transformace. Z důvodu obrovského výpočetního výkonu pro tak dlouhou skladbu jako je Vltava, bylo přistoupeno k cyklické konvoluci OLA

(overlap and add) [4], pracující s rozsegmentováním signálu obecným oknem a následným sečtením přesahů. Tento proces by měl odpovídat běžné lineární konvoluci (4) v časové oblasti [5]. Vytvořená skladba tak získala dozvukový efekt, blízký hře v koncertní síni.

Úkol 2

- **Motivace**

Vytvoření třech oktáv durové stupnice pro výše uvedené nástroje, použité ve skladbě Vltava.

- **Provedení**

Funkce `stupnice.m` volá postupně funkce všech nástrojů, kterým přiřazuje parametry o frekvenci dané noty, délce noty a vzorkovací frekvenci.

Úkol 3 - samostatně zvolený

- **Motivace**

Použití různých typů syntéz stejného nástroje v jedné skladbě vážné hudby.

- **Provedení**

V tomto úkolu jsme znovu využili možností MIDI-toolboxu a pro nalezenou skladbu od skladatele Francise Poulence s názvem *Sonata for two clarinets* [6], respektive zkrácený úsek této sonáty, jsme čtyřmi různými způsoby syntéz vytvořili klarinet a postupně tyto syntézy ve skladbě vystřídali. Nejprve bylo zapotřebí upravit MIDI soubor taky aby výše zmíněný postup byl proveditelný. Pomocí freeware MIDI editoru Sekaiju jsme přidali 2 stopy pro další syntézy klarinetu a upravily stopy tak, aby se ve skladbě každá stopa plynule vystřídala a mohli jsme tak vytvořit úplný průběh skladby. Stejným způsobem jako u skladby Vltava v úkolu 1 jsme každé stopě ve funkci `synth.m` přiřadili jednu syntézu klarinetu a ošetřili případ, kdy z neznámého důvodu MIDI soubor přiřazoval jedné stopě nástroj flétny místo klarinetu. Funkcím nástrojů byly znovu přiřazovány parametry frekvence not, délky not, vzorkovací frekvence a amplitudy. Na výsledný signál byl opět před uložením do .wav souboru aplikován konvoluční reverb. Opětovně jsme zde použili cyklickou konvoluci OLA, popisovanou výše, kvůli zjednodušení výpočetní náročnosti. Změněna byla však impulzní odezva, tentokrát získaná z malé jeskyně [3], která dává skladbě jiný efekt dozvuku. Dále jsou popsány zvolené typy syntéz.

- Prvním typem byla výše popsána aditivní neboli součtová syntéza, kdy jsme zjistili amplitudy harmonických v amplitudovém spektru nástroje, vytvořili oscilátory s těmito parametry a ty dále sečetli a dostali průběh chtěného signálu nástroje. Následně byla aplikována typická obálka pro klarinet a zvuk nástroje byl znormován.
- Druhým typem byla znovu již uvedena tvarovací syntéza využívající Čebyševovy polynomy, uvedené v úkolu 1.

- Třetím typem byla syntéza klarinetu za pomoci formantů. Taktéž již popsána výše.
- Poslední typ syntézy použité v tomto bodě byla syntéza modulační.

$$f(t) = \sin((2f_c t) + m_i \sin(2f_m t)) \quad (6)$$

Zde se využívá předpisu pro Frekvenční modulaci (6), kdy nosná (carrier) f_c vlna je modulována jinou vlnou o různé frekvenci f_m . Takto vytvořený signál má chtěná frekvenční pásma našeho nástroje a následně je přenásoben signálovou obálkou. Důležitými parametry pro tvarování signálu jsou poměr frekvencí nosné a modulační vlny, modulační index m_i a vstupní tvar signálu (sin, cos, pila, obdélník)[7].

Závěr

V prvním úkolu bylo popsáno jakým způsobem byl splněn úkol syntetizace hudebních nástrojů obsažených v MIDI souboru k symfonické básni Vltava. Využity zde pro nástroje byly syntézy formantová, součtová, tvarovací, a Karpus-Strongův algoritmus. Následně za použití cyklické konvoluce OLA byl vytvořen efekt dozvuku pro koncertní halu.

V druhém úkolu bylo krátce popsáno vytvoření durové stupnice s použitými nástroji z prvního úkolu.

Ve třetím úkolu byl popsán postup vytvoření samostatné práce různých syntéz jednoho nástroje ve stejné skladbě od autora Francise Poulence. Dále byly popsány jednotlivé syntézy i postup úpravy MIDI souboru pro možnost zpracování této úlohy.

Reference

- [1] J. Lipouch, *Čebyševovy polynomy*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2000. [Online]. K dispozici z: <http://www-troja.fjfi.cvut.cz/limpouch/numet/aprox/node16.html>
- [2] R. Čmejla a P. Sovka, *Úvod do číslicového zpracování signálů*, vyd. 1. ed. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005.
- [3] [Online]. K dispozici z: <http://www.voxengo.com/impulses/>
- [4] J. Kalpuch, *Diplomová práce: Potlačování akustického echa a šumu prostředí v mobilním telefonu*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2012.
- [5] R. Berka, F. Rund, L. Husník, a A. J. Sporcka, *Multimédia I*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2016.
- [6] [Online]. K dispozici z: <http://www.clarinetinstitute.com/clarinet-midi-files.html>
- [7] J. Dobeš a V. Žalud, *Moderní radiotechnika*, 1st ed. Praha: BEN - technická literatura, 2006.