

**Semestrální práce**  
**Syntéza audio signálů**

Václav Patočka

ČVUT FEL, 2017

<b>ÚVOD .....</b>	<b>2</b>
<b>SYNTÉZA HUDEBNÍCH NÁSTROJŮ .....</b>	<b>3</b>
CEMBALO .....	3
HAMMONDOVY VARHANY .....	3
KYTARA .....	4
BASA .....	4
HLAS ZPÍVAJÍCÍ SAMOHLÁSKU „Á“ .....	4
TRUBKA .....	4
POZOUN .....	4
TUBA .....	5
FLÉTNÁ .....	5
<b>SYNTÉZA NEHUDEBNÍCH ZVUKŮ .....</b>	<b>6</b>
MOŘSKÝ PŘÍBOJ .....	6
VELKÝ BUBEN .....	6
MALÝ BUBEN .....	6
BICÍ SOUPRAVA .....	6
ČINELY .....	6
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>7</b>
<b>ZDROJE .....</b>	<b>7</b>

## Úvod

Cílem této semestrální práce je syntetizovat několik hudebních nástrojů pomocí MATLABu. V první části práce syntetizujeme nástroje obsažené v písničce Yellow Submarine, to znamená kytaru, basu, hlas zpívající samohlásku „á“, trubku, pozoun, tubu, flétnu, mořský příboj a bicí soupravu. Místo hlavního melodického nástroje vibrafonu jsem použil Hammondovy varhany.

V druhé části jsem syntetizoval 3 oktávy durové stupnice pomocí všech použitých nástrojů, v tomto pořadí: basa, pozoun, tuba, cembalo, flétna, hlas, Hammondovy varhany, kytara, trubka, mořský příboj, malý činel (zavřený), malý činel (otevřený), činel Crash, činel Splash, velký buben, 3 bubny bicí soupravy a malý buben. Frekvence tónů stupnice byly vypočítány od frekvence  $f_0 = 55$  Hz podle vzorce  $f = f_0 \cdot 2^{\frac{x}{12}}$ , kde  $x$  je počet půltónů od tónu se základní frekvencí  $f_0$ .

V poslední části, libovolná skladba, jsem syntetizoval píseň „Nee, Nee, Kouhai-kun!“, ze soundtracku k seriálu Sakurasou no pet na Kanojo (originál například zde: <https://www.youtube.com/watch?v=bwdgmH6W8LU>). Midi soubor k této písni jsem si vytvořil sám, jelikož jsem ho nikde na internetu nesehnal. Zde jsou použité nástroje cembalo, Hammondovy varhany, basa a bicí souprava.

## Syntéza hudebních nástrojů

### Cembalo

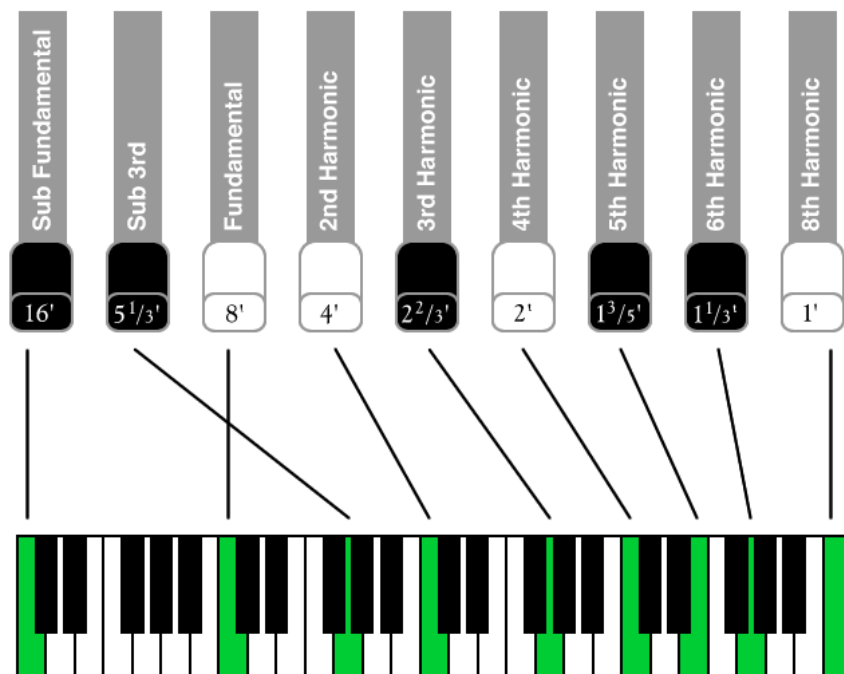
Cembalo je strunný nástroj, proto jsem se pro jeho syntézu rozhodl použít Karplus-Strongův algoritmus, navržený podle [7]. Princip spočívá ve filtrování vstupního signálu na požadované harmonické složky drknutí struny. Na rozdíl od KS algoritmu použitého u kytary jsem zde nevyužil šumu jako vstupního signálu, ale jako počáteční podmínku filtrace funkcí *filter*. Vstupní signál je v tomto případě nulový a veškerá syntéza probíhá z počátečního stavu soustavy.

Pro zvýšení autentičnosti syntetizovaného zvuku jsem přidal ještě zvuk mechanismu cembala při stisknutí klávesy, získaný z doplňkových materiálů k [1] (k nalezení na adrese <http://research.spa.aalto.fi/publications/papers/jasp-harpsy/>).

Amplitudová obálka generovaného zvuku odpovídá lineárnímu nárůstu na maximum po dobu 50 milisekund a poté exponenciálnímu poklesu.

### Hammondovy varhany

Hammondovy varhany jsou čistě syntetickým nástrojem, proto je nejvhodnější je syntetizovat stejným způsobem, jakým jsou realizovány ve skutečnosti, a to součtovou syntézou. Každý generovaný tón se skládá z několika harmonických složek, kontrolovaných přepínači o 9 polohách, od 0 do 8. Čím je větší nastavené číslo u harmonické složky, tím je amplituda této složky silnější. Rozložení jednotlivých složek lze vidět na obrázku níže, převzatého z [2], přičemž základní tón je kontrolován přepínačem Fundamental. Použité hodnoty jednotlivých přepínačů v mém skriptu jsou inspirovány hodnotami nalezenými v [3].



Pro zlepšení generovaného tónu jsem do něj ještě přidal tzv. „vibráto“. V podstatě se jedná o frekvenční modulaci vytvářeného signálu. V kroku vytváření jednotlivých harmonických složek výsledného zvuku se mění frekvence vytvářené složky v rozmezí 0.9999 – 1.0001 násobku právě generované frekvence (tedy frekvenční zdvih 0.0001). Frekvence modulačního signálu je 7 Hz.

## *Kytara*

Kytaru jsem syntetizoval podobně jako cembalo Karplus-Strongovým algoritmem, nicméně zde jsem nepoužil počátečních podmínek filtru, ale šumu jako vstupního signálu. Navíc jsem použil upravený KS algoritmus se zvýšenou přesností generované frekvence přidáním all-pass filtru na konec série filtrů KS algoritmu.

## *Basa*

Basu jsem se rozhodl syntetizovat pomocí tabulkové syntézy. Nahrál jsem si proto tón ze své vlastní basové kytary a použil jeho část pro tabulkovou syntézu. Princip této syntézy spočívá ve změně frekvence původního vzorku pomocí interpolace, popřípadě decimace. Pokud je frekvence menší, než původní, použije se interpolace pro výpočet chybějících bodů. Pro dosažení požadované délky tónu se vzorek několikrát opakuje.

Pro lepší syntézu vyšších frekvencí jsem nahrál ještě tón o dvě oktávy vyšší, než ten původní. Důvodem je, že pokud bych vyšší frekvence syntetizoval z původního hlubokého tónu, výsledný tón by zněl více uměle, než když jsem použil vyšší frekvenci základního tónu.

Amplitudová obálka tohoto nástroje je stejná, jako u cembala.

## *Hlas zpívající samohlásku „Á“*

Pro simulaci hlasového ústrojí se používá Klattova syntežátoru. Jedná se o formantovou syntézu, kde libovolný vstupní signál prochází řadou filtrů s danou frekvencí a šířkou pásma, které zhruba odpovídají fyzikálnímu modelu hlasového ústrojí. V našem případě jsem použil harmonického buzení a sériové spojení 4 filtrů odpovídajících tvorbě hlásky A v lidském hlasovém ústrojí. Použitý kód je převzatý z [6].

## *Trubka*

Trubku jsem složil pomocí modifikované součtové syntézy. Místo aplikování obálky na celý signál jsem použil různých obálek pro každou sinusovou složku signálu. To má za následek větší věrnost replikovaného signálu – v reálném signálu se mění amplitudy jednotlivých harmonických složek nezávisle na sobě. Veškeré použité hodnoty jsou převzaty z [6].

## *Pozoun*

Pozoun jsem realizoval tvarovací syntézou pomocí Čebyševových polynomů. V podstatě se jedná o typ součtové syntézy, nicméně pro výrobu vyšších harmonických složek se používá Čebyševových polynomů. Jednotlivé složky se aproximují a poté se veškeré složky sečtou do výsledného signálu. Jednotlivé amplitudy harmonických složek jsem získal z vyhlazeného výkonového spektra nahrávky reálného pozounu (k dispozici na stránkách předmětu), pomocí funkce *pwelch*. Jelikož byly získané hodnoty v dB, bylo potřeba je převést na absolutní hodnoty před jejich použitím v harmonických složkách.

Amplitudová obálka výsledného signálu je stejná jako u cembala.

## *Tuba*

Pro syntézu tuby jsem použil tabulkovou syntézu, s použitím vzorku tuby ze stránek předmětu. Amplitudová obálka je stejná jako u cembala.

## *Flétna*

Flétna je velmi jednoduchá na syntézu, jelikož její zvuk je složen čistě z lichých harmonických složek. Proto jsem použil jednoduchou aditivní syntézu se 3 harmonickými složkami.

## Syntéza nehudebních zvuků

### *Mořský příboj*

Mořskou vlnu jsem vytvořil filtrací šumu. Použil jsem Butterworthův bandpass IIR filtr 6. řádu s mezními frekvencemi 100 Hz – 4500 Hz. Pro simulaci průběhu celé vlny jsem amplitudovou obálku udělal tak, aby věrohodně napodoboval zvuk mořské vlny, tedy rychlý náběh, pomalejší útlum a pozvolné doznívání.

### *Velký buben*

Podle informací z [5] jsem se dozvěděl, že dobrým způsobem, jak vytvořit zvuk velkého bubnu, je rychle měnit frekvenci sinusovky. To má za následek obsazení mnoha frekvencí v malém čase, což se velice podobá zvuku velkého bubnu. Po dobu 3 milisekund se lineárně mění frekvence z 200 Hz na 50 Hz, což odpovídá prvotnímu uhození do bubnu. Poté se pozvolna snižuje frekvence až na 35 Hz, což má za následek doznívání úderu, kde jsou obsaženy již pouze velice nízké frekvence.

### *Malý buben*

Zde jsem vycházel z bílého šumu. Nejprve jsem tento šum pásmově omezil Butterworthovým IIR filtrem od 200 do 20.000 Hz (spodní frekvence určuje „lazení“ bubnu). Pro věrohodnější zvuk jsem poté přidal reverb. Ten jsem aplikoval velice jednoduše, skrze Fourierovu transformaci. Pokud máme k dispozici impulzní odezvu místnosti, poté aplikace reverbu je pouhé vynásobení fourierovských obrazů daného signálu a impulzní odezvy. Po zpětném převedení výsledku z frekvenční do časové oblasti máme upravený signál s reverbem.

V mém případě jsem použil volně dostupnou impulzní odezvu místnosti ze [4]. Použil jsem impulzní odezvu „RoomMedium“ ze sady Airwindows Impulses.

### *Bicí souprava*

Ostatní bubny z bicí soupravy jsem vytvořil kombinací obou předchozích způsobů. Nejdříve jsem udělal zvuk podobný velkému bubnu, tedy FM modulací, nicméně u každého bubnu jsem použil jiné počáteční i konečné frekvence – tím jsem bubny naladil. Poté jsem k tomu přidal zvuk malého bubnu, ale bez reverbu, aby byl více zřetelný zvuk úderu do bubnu – neboli přidal jsem vyšší frekvence.

### *Činely*

Činely jsem vytvořil také ze šumu. Nejdříve malý činel – uzavřená varianta je krátký (0,2 sekundy) pásmově omezený šum. Použil jsem Butterworthův IIR filtr horní propust od frekvence 2000 Hz. Otevřená varianta je to samé, ale běžící po delší dobu 0,8 sekundy. Amplitudová obálka je zde exponenciála.

Činely Crash a Splash jsou produkovány stejným způsobem, filtry jsou ale navrženy jiným způsobem, než funkcí *butter*. Také se zde jedná o pásmovou propust místo horní propusti. Činel Crash má centrální frekvenci na 7000 Hz, činel Splash na 4500 Hz. Šířka pásma je v obou případech 1000 Hz.

## Závěr

Podařilo se mi syntetizovat hudební nástroje potřebné k reprodukci zadané písně Yellow Submarine a vlastní písně. K vytvoření zvuků jsem se snažil použít co nejvíce druhů syntézy, probíraných v celém předmětu. Pro jednotlivé nástroje jsem se snažil vybrat co nejvhodnější typ syntézy, aby byl co nejlépe zachován charakter daného nástroje.

## Zdroje

- [1] VÄLIMÄKI, Vesa, Henri PENTTINEN, Jonte KNIF, Mikael LAURSON a Cumhur ERKUT. Sound Synthesis of the Harpsichord Using a Computationally Efficient Physical Model. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing* [online]. 2004, **2004**(7), - [cit. 2017-12-30]. DOI: 10.1155/S111086570440211X. ISSN 1687-6180. Dostupné z: <https://asp-urasipjournals.springeropen.com/articles/10.1155/S111086570440211X>
- [2] Technical aspects of the Hammond Organ. *Electric Druid* [online]. 2008 [cit. 2017-12-30]. Dostupné z: <https://electricdruid.net/technical-aspects-of-the-hammond-organ/>
- [3] Rock Organ Drawbar Tricks and Licks. *KeyboardMag* [online]. 2013 [cit. 2017-12-30]. Dostupné z: <http://www.keyboardmag.com/lessons/1251/rock-organ-drawbar-tricks-and-licks/29792>
- [4] Airwindows Impulses. *Airwindows* [online]. 2017 [cit. 2017-12-30]. Dostupné z: <http://www.airwindows.com/airwindows-impulses/>
- [5] Tutorial: Synthesizing a Kickdrum. *IDMf - Electronic Music & Production forum* [online]. 2008 [cit. 2017-12-30]. Dostupné z: <http://www.idmforums.com/showthread.php?t=17747>
- [6] Přednášky a cvičení předmětu B2M31SYN. ČVUT FEL, 2017.
- [7] Generating Guitar Chords using the Karplus-Strong Algorithm. *MATLAB Documentation* [online]. [cit. 2017-12-30]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/help/signal/examples/generating-guitar-chords-using-the-karplus-strong-algorithm.html>