

Syntéza audio signálů

B2M31SYN

Semestrální práce

Syntéza nástrojů a nehudebních zvuků ve skladbě "Yellow Submarine"

Eugeniu Berdan

Zimní semestr

2017/2018

Fakulta elektrotechnická

ČVUT v Praze

Zadání semestrální práce:

a) Syntéza nástrojů a nehudebních zvuků ve skladbě:

Paul McCartney a John Lennon "Yellow Submarine" s využitím MIDI souboru Submarine.mid. V příloženém MIDI souboru je použito celkem 23 typů hudebních nástrojů a zvuků: vibrafon, akustické kytary s ocelovými a nylonovými strunami, pizzicato na kontrabas, tuba, pozoun, trumpet, příčná flétna, 13 různých doprovodných bicích nástrojů, sbor zpívající samohlásku /a/ a mořský příboj.

Celkový charakter skladby musí zůstat zachován – je požadována syntéza kytar, perkusí, žesťů, hlasu a příboje. Hlavní melodický nástroj – vibrafon, lze nahradit jiným nástrojem. Ostatní nástroje lze obměňovat a redukovat.

b) Tři oktávy durové hudební stupnice, ve které se vystřídají vytvořené hudební nástroje následované použitými nehudebními zvuky.

c) Libovolná vlastní realizace audio syntézy v MATLABu (možnost i nehudebních zvuků). Ve volné skladbě lze vytvářet libovolné zvuky, včetně syntézy čistě syntetických nástrojů (např. Theremin, Hammondovy varhany, zvuky FM syntezátorů, ...) a každodenní zvuky. Ke zvýraznění skladeb lze použít různé efekty jako reverb, echo, chorus, stereo, a další.

Obsah

Úvod.....	4
1. Syntéza hudebních nástrojů.....	5
1.1 Acoustic Steel Guitar (MIDI Channel 01: instrument no. 26).....	5
1.2 Acoustic Bass Channel (MIDI Channel 02: instrument no. 33).....	6
1.3 Acoustic Nylon Guitar (MIDI Channel 03: instrument no. 25).....	6
1.4 Vibraphone (MIDI Channel 04: instrument no. 12).....	6
1.5 Choir "Aah"(MIDI Channel 05: instrument no. 53).....	6
1.6 Tuba (MIDI Channel 06: instrument no. 59).....	7
1.7 Trombone (MIDI Channel 07: instrument no. 58).....	7
1.8 Trumpet (MIDI Channel 08: instrument no. 57).....	7
1.9 Flute (MIDI Channel 09: instrument no. 74).....	7
1.10 Seashore (MIDI Channel 11: instrument no. 123).....	7
1.11 Perkusní nástroje (MIDI Channel 10).....	8
1.11.1 Bass drum (note 35).....	8
1.11.2 Snare (note 40).....	8
1.11.3 Closed Hi-Hat (note 42).....	8
1.11.4 Open Hi-Hat (note 46).....	9
1.11.5 Mid Tom (note 47).....	9
1.11.6 Crash 1 (note 49).....	9
1.11.7 Tambourine (note 54).....	9
1.11.8 Crash 2 (note 57).....	9
1.11.9 High bongo (note 60).....	9
1.11.10 High agogo (note 67).....	10
1.11.11 Jingle bells (note 83).....	10
1.11.12 Belltree (note 84).....	10
1.11.13 Surdo (note 87).....	10
2. Realizace oktáv a ukázek perkusních nástrojů.....	10
3. Vlastní syntéza.....	11
4. Zdroje.....	12

Úvod

V této semestrální práci bylo zadáním syntetizovat hudební nástroje ve skladbě „Yellow submarine“ s využitím MIDI souboru. Úkolem tedy bylo, vytvořit nástroje tak, aby se co nejvíce podobaly reálným zvukům a jednotlivé produkty aplikovat na MIDI soubor pro přehrání skladby s použitím vytvořených nástrojů. Celkem bylo nutné vytvořit 22 nástrojů (strunných, dechových, perkusních a zpěv) a jeden nehudební zvuk – mořský příboj. Nutno bylo dodržet podmínku nemodifikovat MIDI soubor resp. zachovat charakter skladby. S využitím vytvořených nástrojů se následně dle druhého úkolu vytvořila stupnice (3 oktávy) s ukázkami jednotlivých nástrojů společně s audio posloupností perkusních nástrojů a nehudebního zvuku. V posledním úkolu jsem se pokusil vytvořit zvukovou kulisu „válečná zóna“ převážně pomocí filtrační a granulační syntézy.

1. Syntéza hudebních nástrojů

Pro vytvoření jednotlivých nástrojů bylo použito více metod syntézy. Každá metoda použita v daném nástroji bude popsána níže v následujících podkapitolách. Hlavní parametry potřebné pro vytvoření jakéhokoliv tónu jsou základní frekvence f_{req} , vzorkovací frekvence F_s , amplituda tónu amp a délka tónu dur . Všechny tyto proměnné jsou čteny z MIDI souboru a zadávány algoritmem při vyvolávání funkce „synth.m“. Pro většinu nástrojů jsem vyzkoušel více metod syntézy a vybral jsem vždy takovou, která vytvořila zvuk co nejvíce blížíící se reálnému. Jak bude dále uvedeno, i přes podobný charakter některých nástrojů (např. dechové žesťové) jsem někdy použil různé metody. U mnoha nástrojů jsem aplikoval tzv. reverb, tedy efekt dozvuku, v daném případě pomocí konvoluce zvuku s impulzní odezvou reálné místnosti, nikoli pomocí uměle vytvořeného reverbu. Nutno také zdůraznit použití ADSR obálek, které v některých případech silně mění charakter daného nástroje. Častým nástrojem byla rovněž filtrace pomocí dolní i horní propusti. Každý nástroj je nakonec normalizován. Vzhledem k některým použitým metodám však po normalizaci bylo nutné násobit amplitudu konstantou pro dosažení rovnoměrné hlasitosti napříč všemi nástroji vzhledem k charakteru skladby.

Použité metody pro vytvoření všech nástrojů byly: aditivní syntéza, filtrační syntéza (pomocí rezonátoru i DP a HP filtrů), modulační syntéza FM, formantová syntéza, ADSR tvarování obálek, Karplusův-Strongův algoritmus včetně modifikovaného, číslicové efekty (reverb). Dále jsou popsány jednotlivé nástroje a použité metody pro jejich vytvoření.

1.1 Acoustic Steel Guitar (MIDI Channel 01: instrument no. 26)

Pro syntézu akustické kytary s kovovými strunami jsem vybral základní variantu algoritmu Karplus-Strong, který syntetizuje nástroj pomocí modelování struny. Zde jsem použil dva parametry g a gI , pomocí nich je vytvořen vektor koeficientů a pro následnou filtraci. Budící signál je šumový. Vzniklý zvuk jsem doplnil sinusovým tónem na stejné frekvenci s exponenciální obálkou a součtový zvuk jsem filtroval pásmovou zádrží. Tímto jsem dosáhl potlačení přílišné „ostroti“ struny a zjemnění zvuku.

Pro zachování charakteru zvuku bylo nutné prodlužovat v kódu dobu trvání noty, jelikož díky použité metodě by délka midi noty byla krátká a zvuk by neznel dobře. Zkoušel jsem zde i modifikovaný KS algoritmus, ale výsledek byl méně uspokojivý.

1.2 Acoustic Bass Channel (MIDI Channel 02: instrument no. 33)

Akustickou bassovou kytaru jsem se pokoušel modelovat různými metodami. Zkoušel jsem KS algoritmus v jeho základní je modifikované variantě, ale zvuk byl příliš ostrý na basovou kytaru, i přes některé modifikace. Nakonec jsem se rozhodl pro aditivní syntézu. Použil jsem hodnoty amplitud jednotlivých harmonických, které jsem extrahoval z jednoho vzorku basy. Vytvořil jsem tón s patnácti harmonickými. Následně jsem vzniklý zvuk filtroval dolní propustí, abych zvýraznil basový charakter a aplikoval jsem exponenciální obálku. Nakonec jsem musel kvůli zvolené obálce prodloužit dobu trvání noty a také zesílit normalizovanou amplitudu pro zesílení hlasitosti ve skladbě.

1.3 Acoustic Nylon Guitar (MIDI Channel 03: instrument no. 25)

Pro vytvoření akustické kytary s nylonovými strunami jsem vybral podobně jakou u předešlé kytary Karplusův – Strongův algoritmus, ale modifikovanou variantu, kde je mj. možné nastavit útlum kobylky. Opět bylo nutné prodloužit délku tónu k dosažení lepšího znění struny. Vzniklým filtr jsem použil pro filtraci budícího signálu, který v tomto případě byl pilový (resp. trojúhelníkový) signál (zkoušeny byly i jiné signály jako „jednička“ nebo šum). Pro „zjemnění“ strunového zvuku pro dosažení charakteru nylonových strun jsem ještě výsledný zvuk filtroval pásmovou zádrží. Výsledek poměrně dobře ilustruje zvuk nylonových strun.

1.4 Vibraphone (MIDI Channel 04: instrument no. 12)

Syntéza vibrafonu byla poměrně náročná ve smyslu dosažení co nejvíce realistického tónu. Zkoušel jsem pouze aditivní syntézu, ale výsledek zdaleka nebyl uspokojivý. Po různých experimentech z některými metodami jsem došel k použití více syntéz. Základem byla modulační syntéza AM modulace s použitím exponenciální obálky. Pro dosažení kovového charakteru jsem přidal zvuk vytvořený aditivní syntézou s použitím neceločíselných násobků základní harmonické. Navíc jsem přičetl pásmově omezený šum s malou amplitudou. Nakonec jsem celkový zvuk vynásobil další exponenciální obálkou. Pro lepší charakter v celku ve skladbě jsem ještě aplikoval efekt reverb s použitím impulsní odezvy „scala.wav“ dostupné ze zdrojů k cvičením předmětu.

1.5 Choir "Aah"(MIDI Channel 05: instrument no. 53)

Pro zpěv samohlásky „A“ jsem vybral formantovou syntézu. Použil jsem a modifikoval algoritmus formantové syntézy ze cvičení. Zde je vytvořen pulzní a šumový budící signál reprezentující hlasové ústrojí. Nakonec jsem ale použil kombinaci těchto dvou budících signálů. Výsledek je pak filtrován formantovými filtry. Přesto takový zvuk působí uměle. Zlepšit dojem se mi podařilo použitím reverbu s poměrně dlouhou impulsní odezvou.

1.6 Tuba (MIDI Channel 06: instrument no. 59)

Pro tento dechový žesťový nástroj jsem použil kombinaci filtrační syntézy, sinusovky a tvarování ADSR obálkou. Nejdříve jsem filtroval trojúhelníkový signál k dosažení jasného žesťového tónu, k tomu jsem přičetl sinusovku se základní frekvencí několikanásobně větší než v případě předchozího signálu. Vzniklý signál jsem následně vytvaroval ADSR obálkou pro zdůraznění charakteru tuby. V tomto případě jsem musel ještě upravit algoritmus tak, že v případě příliš dlouhých not z MIDI souboru bude implicitně nastavena délka tónu na určitou hodnotu. Důvodem byla přítomnost jednoho tónu trvající poměrně dlouhou dobu ve skladbě. Použitá metoda by se s tímto případem neuměl poradit jinak.

1.7 Trombone (MIDI Channel 07: instrument no. 58)

K syntéze pozounu jsem oproti tubě použil jinou metodu, a to modulační syntézu s frekvenční modulací (FM). Základ algoritmu jsem převzal z materiálů ze cvičení. Experimentoval jsem s různými parametry abych dosáhl nejvěrnějšího zvuku. Nakonec jsem nastavil poměr $H = 0,5$ a maximální index modulace jsem nastavil na hodnotu $I_{max} = 10$. Následně jsem upravil obálky jak modulační, tak i modulované složky. Pro dojem prostorovosti ve skladbě jsem aplikoval efekt dozvuku.

1.8 Trumpet (MIDI Channel 08: instrument no. 57)

U trumpety jsem použil podobně postup jako u pozounu. Zde jsem pozměnil hodnoty některých parametrů a modifikoval hodnoty ADSR obálek. I tady jsem nakonec použil reverb.

1.9 Flute (MIDI Channel 09: instrument no. 74)

Syntézu flétny jsem realizoval pomocí aditivní syntézy. Původní kód je převzat z materiálů k cvičením. Zde je vytvořen zvuk pomocí oscilátorů pěti harmonických s různými amplitudami. K tomuto zvuku navíc s nízkou amplitudou přidávám šum odfiltrovaný dolní propustí, který má aspoň trochu připodobnit zvuk rozeznívání flétny foukáním. Následně vytvářím ADSR obálku pro zdůraznění charakteru zvuku flétny a na celek pak aplikuji konvoluci s impulsní odezvou daného prostoru pro dosažení reverbu. Výsledek se dá považovat za podobný reálnému zvuku flétny.

1.10 Seashore (MIDI Channel 11: instrument no. 123)

Seashore aneb mořský příboj jsem syntetizoval pomocí filtrace šumu. Základní šumový signál jsem nejprve vytvaroval obálkou ADSR tak, aby zvuk připomínal vodní vlnu na moři. Dále jsem tento zvuk filtroval dolní propustí. Poté jsem postup rozdělil na dvě větve. V každé jsem na vzniklý

šumový signál aplikoval reverb pomocí různých impulsních odezev. Oba zefektované signály jsem pak spojil do jednoho a tím se podařilo vytvořit vcelku dobrou syntézu zvuku mořského příboje.

1.11 Perkusní nástroje (MIDI Channel 10)

Pro perkusní nástroje je vyhrazen v MIDI protokolu kanál 10 a každý jednotlivý nástroj má svoji notu

1.11.1 Bass drum (note 35)

Pro syntézu bassového bubnu aneb „kopáku“ jsem vybral modulační syntézu s FM. Je jasné, že se dá použít více metod syntézy s tím, že se doba trvání noty znatelně zkrátí a tím se dosáhne určitého charakteru úderu. Tato metoda však zahrnuje nejen zkrácení tónu, ale také nastavení ostatních parametrů. Experimentálně jsem dosahl dobrých výsledků s těmito hodnotami parametrů: poměr $H = 0.2$, maximální index modulace $I_{max} = 50$. Obálky A a I_0 jsem nastavil na exponenciální. Pro dosažení požadovaného zvuku jsem musel násobit některé parametry konstantou.

1.11.2 Snare (note 40)

V syntéze rytmického bubnu jsem použil více metod. Nejdříve jsem vytvořil pomocí obyčejné sinusovky a vhodné obálky základ reprezentující základní tón bubnu (jeho membrány). Následně jsem syntetizoval dva šumové signály. První jen obyčejný signál bílý šum s exponenciální obálkou. Tímto signálem jsem chtěl dosáhnout charakteru struníku na rezonanční bláně bubnu. Druhý šumový signál je filtrován rezonátorem a též vynásoben exponenciální obálkou. Tímto druhým signálem je pak dosaženo určitého „zhuštění“ celkového zvuku bubínku. Nakonec jsem všechny tři složky sečetl ve vhodném poměru a pro lepší vjem jsem na výsledný zvuk aplikoval reverb s modifikovanou impulsní odezvou. Pro dostatečnou hlasitost ve skladbě jsem musel zesílit amplitudu zvuku vynásobením konstantou.

1.11.3 Closed Hi-Hat (note 42)

Zavřené Hi Hat činely jsem syntetizoval pomocí modulační metody FM. Zde bylo nutné počítat s dost krátkým časem, ovšem délka noty z MIDI souboru je příliš krátká, proto ji násobím konstantou. Bylo potřeba také vhodně nastavit frekvenci nosné f_c a poměr H i modulační index I_{max} .

Poté jsem přidal šumový signál s malou amplitudou a exponenciální obálkou. Nakonec jsem použil pro atraktivnější zvuk efekt reverb.

1.11.4 Open Hi-Hat (note 46)

Otevřené HH činely byly vytvořeny podobně jako zavřené v předchozím bodě. Bylo ovšem potřeba změnit dobu trvání noty.

1.11.5 Mid Tom (note 47)

Buben mid tom (přechodný buben) jsem realizoval pomocí filtrační syntézy a sinusovky. Šumový signál jsem filtroval pomocí rezonátoru, abych dosáhl „úderu“. Tento signál jsem zkombinoval se sinusovým signálem za použití vhodných amplitud a obálek pro dosažení charakteristického tónu i doznění bubínku.

1.11.6 Crash 1 (note 49)

Pro činel Crash 1 jsem nejdříve zkoušel modulační syntézu FM, jenže se mi nepodařilo dosáhnout požadovaného výsledku. Nejvíce jsem se k přijatelnému zvuku činelu přiblížil aditivní syntézou doplněnou o filtraci šumu. Pomocí aditivní syntézy jsem vytvořil kovový zvuk díky neceločíselným poměrům harmonických. K tomu jsem přičetl ve vhodném poměru šumový signál filtrovaný horní propustí. Výsledný zvuk jsem vynásobil exponenciální obálkou.

1.11.7 Tambourine (note 54)

Tamburínu jsem syntetizoval metodou FM. Zde jsem modifikoval algoritmus použitý pro Hi Hat. Vycházel jsem ze skutečnosti, že tamburína je sestavena z více malých verzí Hi Hat činelů. Proto při syntéze celkového zvuku vytvářím samostatně tón pro každý takový malý činel s různou frekvencí. Navíc přidávám šumový signál pro lepší charakter zvuku. Pro lepší dojem zvuku tamburíny bylo nutné přidat dozvuk.

1.11.8 Crash 2 (note 57)

Druhý činel jsem pochopitelně vytvořil stejnou metodou jako předešlý s tím, že jsem pozměnil základní frekvenci pro dosažení jiného tónu činelu.

1.11.9 High bongo (note 60)

U bonga jsem podobně jako u jiných bubnů použil metodu filtrace a frekvenční modulaci (FM). První část je pozměněný kód syntézy snare bubnu, která vytváří základ nástroje. Poté vytvářím pomocí frekvenční modulace dva krátké tóny s různou nosnou frekvencí a dobou trvání. Tím vznikne zvuk „úderu“ na blánu. Nakonec aplikuji vhodným způsobem reverb a pro zvýšení hlasitosti ve skladbě zvýším amplitudu, tak, aby nedocházelo ke zkreslení.

1.11.10 High agogo (note 67)

Agogo jsem vytvořil pomocí modifikace syntézy bonga a pro přidání kovového charakteru jsem přidal modifikaci algoritmu pro syntézu belltree, která je popsána dále. Použité syntézy: filtrační, modulační (FM), aditivní

1.11.11 Jingle bells (note 83)

Jingle bells aneb rolničky jsem realizoval podobně jako tamburínu, tedy pomocí frekvenční modulace. Parametry jsou ovšem rozdílné a vytvářím více po sobě jdoucích zvuků. Náročné zde bylo experimentálně nalézt správné koeficienty a hodnoty k dosažení uspokojivého zvuku. I proto je pak nutné pozměnit frekvenci i dobu trvání noty. Nakonec jsem opět aplikoval reverb, zde jsem použil impulsní odezvu velké haly utlumenou exponenciální obálkou.

1.11.12 Belltree (note 84)

Jedna z největších výzev v této práci bylo vytvořit právě belltree (perkusní nástroj s mnoha zvonky uspořádanými to jakéhosi stromu (posloupně po sobě jdoucí se změnou velikosti a tedy i výšky tónu)). Pro tento nástroj jsem nakonec použil aditivní syntézu. Základem bylo vytvořit kovový zvuk jednoho zvonku a to opět pomocí neceločíselných poměrů harmonických. Také zde vytvářím stupnici frekvencí pro každý jednotlivý zvonek. Opět přidávám pásmově omezený šum. Dále bylo potřeba vytvořit posloupnost zvonků, které s pozicí ve „stromu“ mění svoji frekvenci. Pomocí cyklu se to poměrně dobře podařilo s tím, že bylo nutné vkládat zvuk nového zvonku už do části předchozího, abychom dosáhli charakteru souvislého celkového zvuku. Pro lepší vjem mírně zeslabuji amplitudu zvonku oproti předchozímu. I zde bylo pro lepší celkový zvuk použít reverb, který tomuto nástroji nakonec přidal příjemný charakter dozvuku.

1.11.13 Surdo (note 87)

Surdo, jenž je druh bubny, jsem realizoval pomocí aditivní syntézy. Použil jsem hodnoty harmonických pro tympány (převzato z materiálů k předmětu), neboť jsou tyto nástroje charakterem vcelku podobné. Pro modelování úderu paličkou jsem přidal filtrovaný šum násobený obálkou. Nakonec jsem i celkový výsledek musel násobit vhodnou obálkou.

2. Realizace oktáv a ukávek perkusních nástrojů

Zde generuji vektor frekvencí s logaritmickým krokem pro vytvoření tří oktáv. Dále syntetizuji 2-4 tóny pro každý z nástrojů (zadávání čísla kanálu a nástroje jako argumenty funkce). Pro dodržení stejných intervalů mezi danými tóny bylo potřeba zadat vhodnou délku noty. K tomu pak generuji

ostatní zvuky (perkuse a mořský příboj) a přidávám k vektoru oktáv. Výslednou posloupnost oktáv nástrojů a perkusí zapisuji do souboru „stupnice_a_perkuse.wav“ (nebo zvlášť „stupnice.wav“ a „perkuse.wav“).

3. Vlastní syntéza

Pro vlastní syntézu jsem se rozhodl pro efekt resp. zvukovou ilustraci „válečné zóny“, nacházející se na pobřeží (inspirace: den D – vylodění). Pokusil jsem se o zvukové efekty výbuchů, střelby, mořských vln, helikoptéry. Jako „pozadí“ jsem vytvořil efekt pomocí granulační syntézy, dále jsem převzal a mírně modifikoval kód pro mořský příboj z prvního úkolu, zde jsem použil filtrační syntézu spolu s obálkou a reverb s různými impulsními odezvami. Navíc jsem použil ještě jednu syntézu zvuku vlny vytvořenou podobným způsobem. Poté jsem pomocí filtrační syntézy vytvořil dva druhy „výstřelů“ a efekt výbuchu. I zde jsem v některých případech aplikoval reverb pro vytvoření dojmu střelby a výbuchů v dálce. Také jsem převzal a upravil kód pro helikoptéru, který jsem vytvořil v semestrální práci v bakalářské verzi tohoto předmětu. Tento efekt je vytvořen pomocí granulační syntézy s využitím obálky. Nutno zmínit, že jsem všechny tyto zvuky vytvářel jako levý i pravý kanál abych se aspoň trochu přiblížil stereo dojmu. Nakonec jsem spojil všechny efekty do jednoho celku a pokusil jsem se je poskládat tak, abych tím vytvořil celkovou „zvukovou kulisu“ - válečná zóna na pobřeží. Někteří respondenti při ukázce efektu posoudili zvuk jako přestřelku na nádraží. (Soubor: *war_zone.wav*)

4. Zdroje

[1] ČMEJLA, R., Přednášky k předmětu B2M31SYN – Syntéza audio signálů, 2017.