

PROGRAM PRO ANALÝZU HUDEBNÍCH NÁSTROJŮ

Jaromír Schindler

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická, katedra radioelektroniky

Abstrakt

V této práci bude popsán program realizovaný v prostředí MATLAB, který umožňuje analyzovat vzorkovaný signál hudebních nástrojů z hlediska barvy zvuku. Jádrem řešení je metoda založená na časově-frekvenční analýze signálu. Tato metoda je navržena speciálně pro analýzu zvuků s převládající tónovou složkou.

1. Úvod

Hudební nástroje jsou zařízení, pomocí kterých vyrábíme zvuk určitých parametrů pro posluchače – lidský systém slyšení. Tento systém je velice citlivý nejen na frekvenci, ale i na tzv. barvu zvuku. Každý hudební nástroj má specifickou barvu zvuku, podle níž je schopen posluchač nástroj identifikovat. Na frekvenční složky zvuku můžeme dostat dobrý náhled pomocí fourierovy analýzy, ale popis barvy zvuku vyžaduje použití složitějších algoritmů.

Program pro analýzu hudebních nástrojů umožňuje vytvořit si komplexní představu o zvuku, který hudební nástroje tvoří a hlavně o parametrech zvuku, které určují jeho barvu. Pomocí tohoto programu tedy lze i rozpoznat jednotlivé hudební nástroje.

2. Metody analýzy

Zvuk můžeme rozdělit na hluk (šum) a na tón. Při zjednodušeném popisu můžeme říct, že rozdíl mezi tónem a hlukem je ten, že tón je složen pouze z harmonických složek o frekvenci celočíselných násobků základní harmonické složky, která určuje tzv. výšku tónu. Příkladem hudebních nástrojů, které nevytvářejí tón jsou např. bicí. Naopak většina hudebních nástrojů (klavír, housle, kytara, trubka) tvoří víceméně pouze tónovou složku a na tomto předpokladu je založen i princip stěžejní metody pro analýzu hudebních nástrojů. Proto budeme v následujícím textu předpokládat pouze hudební nástroje vytvářející převážně tónovou složku.

Barva hudebního nástroje je dána časovým vývojem okamžitých amplitud jednotlivých harmonických složek. Pro určení okamžitých složek amplitud není možné aplikovat fourierovu analýzu kvůli principu neurčitosti, ani analyzovat kompozitní signál v oblasti časové. Proto je využito následujícího postupu :

3. Na celý kompozitní signál je aplikována fourierova transformace. Ze spektra se určí základní harmonická složka, která určuje výšku tónu. Všechny další frekvenční složky jsou očekávány na celočíselných násobcích frekvence základní harmonické složky.
4. Pomocí funkce „ELLIP“ ze signal toolboxu jsou poté automaticky generovány koeficienty pásmových propustí eliptických filtrů pro jednotlivé harmonické složky. Tyto filtry jsou navrženy tak, aby dokonale oddělily jednotlivé harmonické složky (aby vliv ostatních harmonických složek na filtrovanou složku byl zanedbatelný) a aby, pokud možno, nezměnily časový průběh amplitud jednotlivých harmonických složek. Tyto nároky vyžadují vysoký odstup propustného a potlačených pásem a malé zvlnění propustného pásma. Jelikož se jedná o IIR filtry, je nutné po návrhu vždy kontrolovat jejich stabilitu.

5. Z takto separovaných harmonických signálů se v časové oblasti určí okamžité amplitudy metodou měření maximální hodnoty signálu za periodu.

Vykreslením vývoje okamžitých amplitud jednotlivých harmonických složek do trojrozměrného grafu – tzv. harmonické mapy, získáme náhled na parametry, které určují barvu daného hudebního nástroje.

6. Zpětná syntéza zvuku

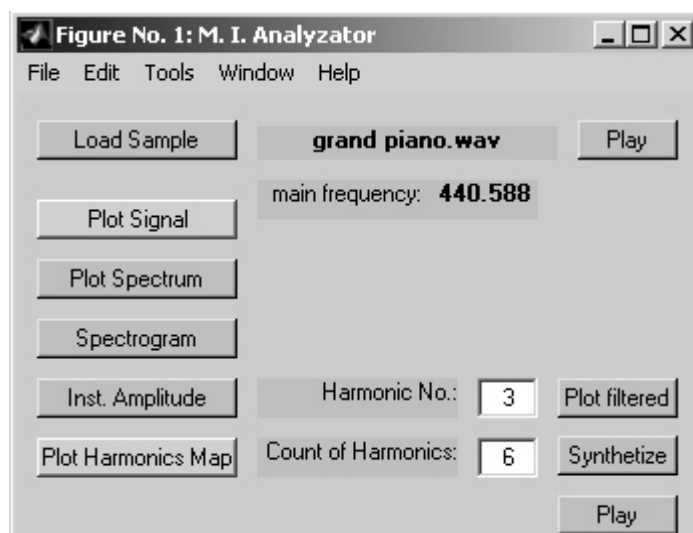
Při analýze hudebního nástroje jsme zavedli několik zjednodušení. Především jsme předpokládali pouze tónovou složku zvuku s konstantními frekvencemi harmonických složek. Reálné hudební nástroje ovšem vytváří, hlavně na začátku signálu, i složky šumové, které jsou dány přechodovými ději (například u klavíru je to dopad kladívka na strunu a doba, než se struna rozkmitá na správné frekvenci). Dále nejsou ani po uplynutí přechodového děje frekvence jednotlivých harmonických složek konstantní, ale s časem se mění.

Aby se prokázalo, že výše uvedené předpoklady a zjednodušení nemají na barvu zvuku dominantní vliv a generovaná harmonická mapa podstatným způsobem vypovídá o barvě zvuku, je v programu implementována funkce, která pouze z této mapy rekonstruuje zvuk analyzovaného nástroje. Je také dobré vědět, kolik harmonických složek se podílí na barvě zvuku a které jsou již pro specifickou barvu daného nástroje nepodstatné. Také na tuto otázku může odpovědět zpětná syntéza zvuku z vybraných harmonických složek a sluchové porovnání originálu se syntetickým zvukem.

Syntéza zvuku se provádí sečtením uměle generovaných harmonických signálů, které jsou amplitudově modulovány příslušnými hodnotami z harmonické mapy.

7. Popis programu

Program pro analýzu hudebních nástrojů se ovládá pomocí prostředí GUI (obrázek 1). Toto prostředí bylo vytvořeno pomocí vizuálního nástroje „guide“ z toolboxu uitools. Vstupní data se předpokládají ve formátu wav, 44100Hz, mono.

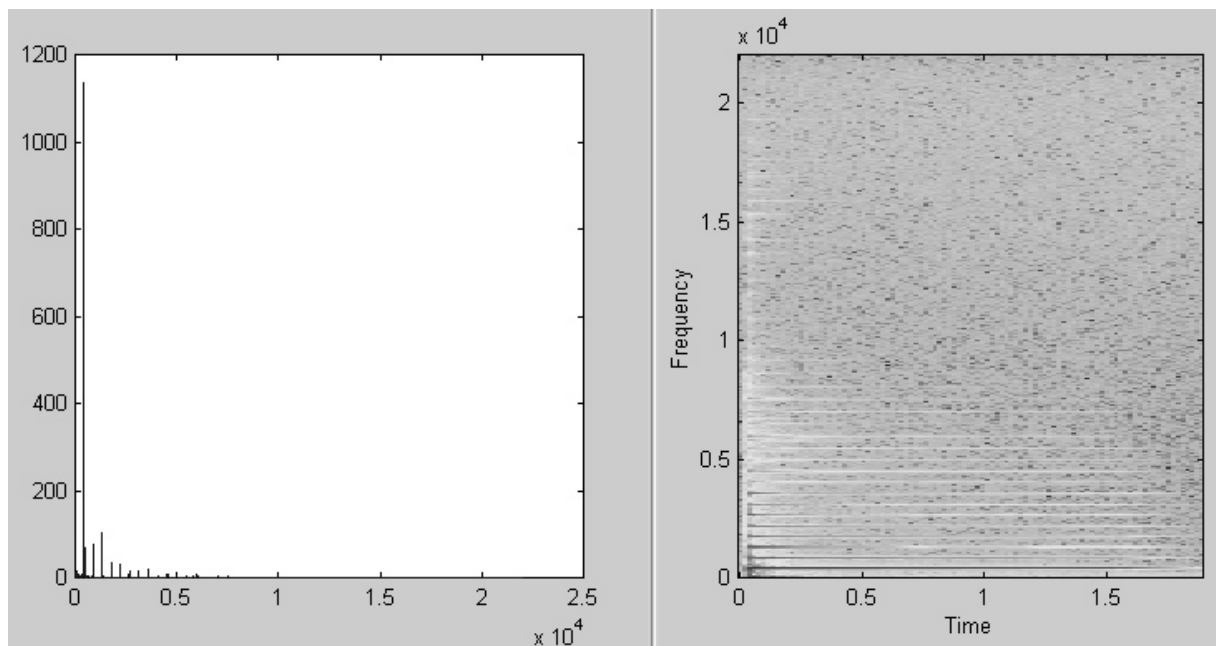


obrázek 1 – Ovládací okno programu

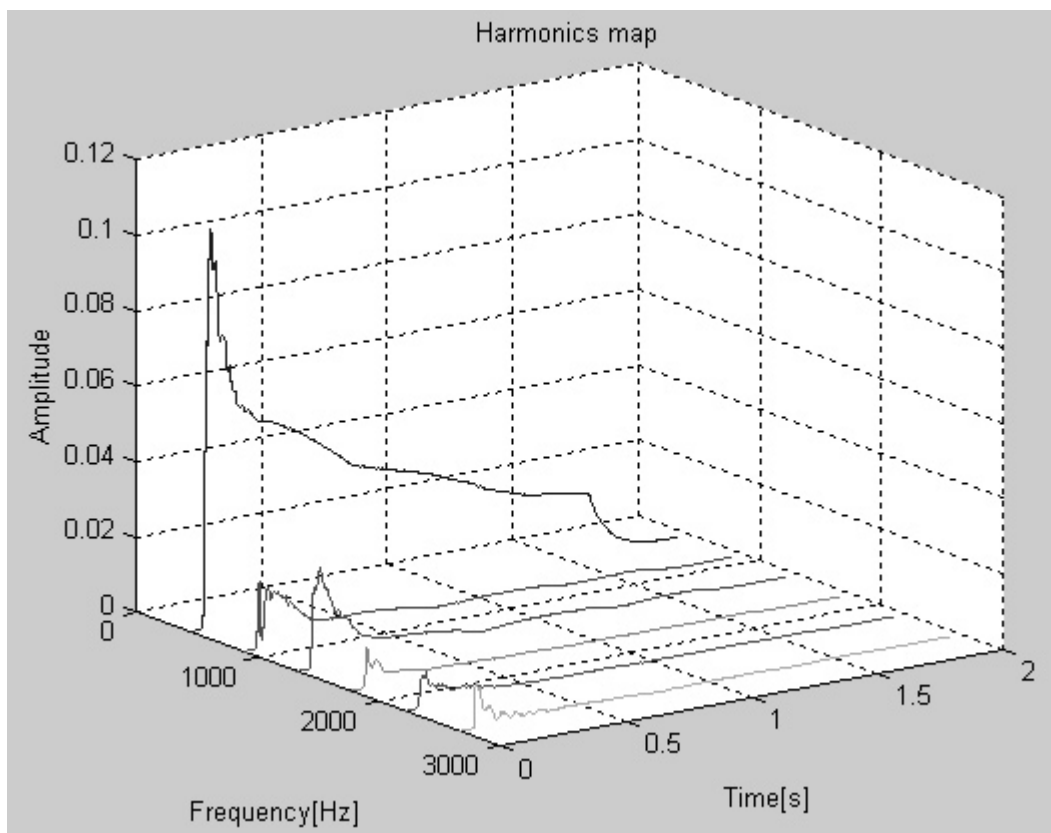
V programu jsou implementovány i jednoduché funkce jako FT nebo STFT v podobě spektrogramu (obrázek 2). Je možné zobrazit vybranou harmonickou složku po filtraci, její průběh okamžité amplitudy nebo celou harmonickou mapu (obrázek 3 a obrázek 4), která

názorně ukazuje časové průběhy amplitud jednotlivých harmonických složek, ze kterých můžeme určit barvu tónu. Harmonická mapa se vykreslí pro zadaný počet složek.

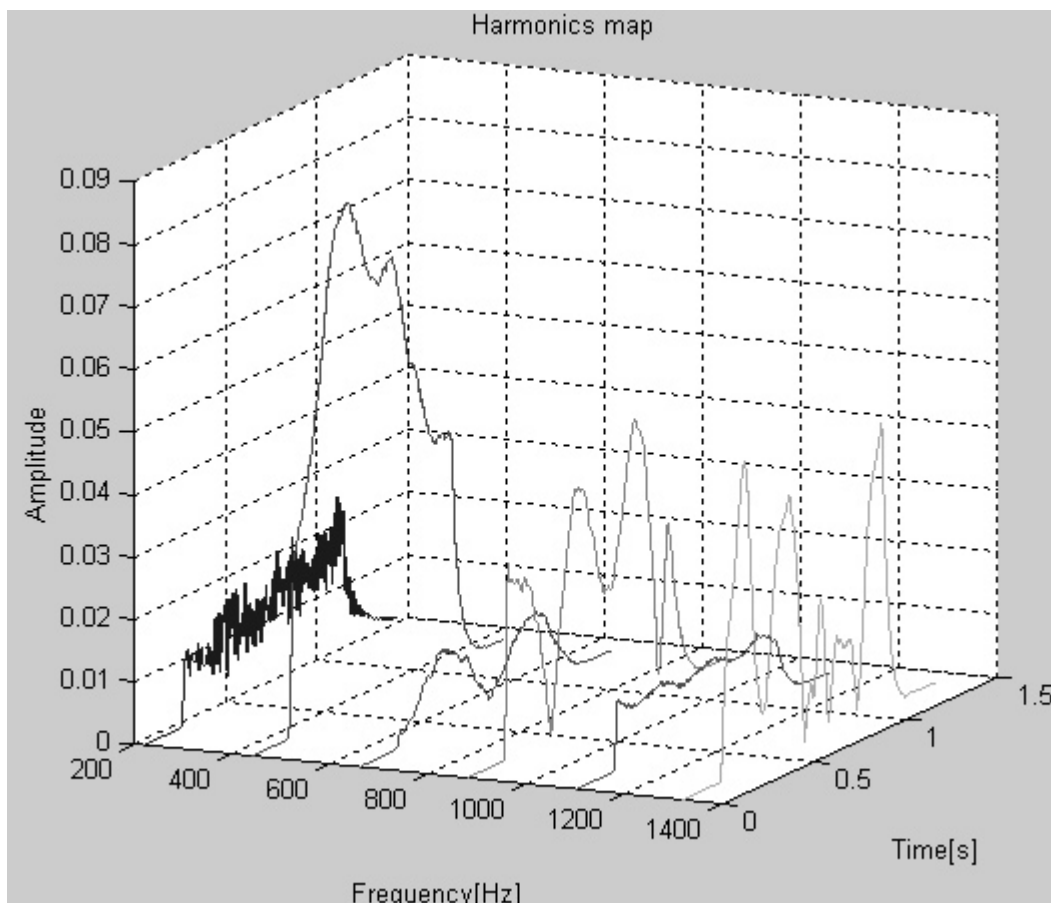
Syntéza zvuku se provede po úspěšném vygenerování harmonické mapy a pouze pro zobrazený počet harmonických složek.



obrázek 2 – FT a STFT - klavír



obrázek 3 – Harmonická mapa – klavír



obrázek 4 – Harmonická mapa - varhany

8. Závěr

Předpoklady a zjednodušení použité při tvorbě harmonické mapy se ukázaly být správné. Zpětná syntéza tónu z harmonické mapy je překvapivě věrnou kopií originálu. Zpětně vyrobený zvuk ovšem samozřejmě postrádá případné efekty, jako třeba vibrato, při kterých se mění frekvence jednotlivých harmonických složek.

Program se velice jednoduše ovládá a umožňuje vytvořit si komplexní náhled na analyzovaný signál hudebního nástroje. Kromě standardních metod, jako je fourierova transformace nebo krátkodobá fourierova transformace, nabízí zobrazení harmonické mapy, ze které lze usuzovat na barvu nástroje.

Dalším krokem analýzy hudebních nástrojů by mělo být přesné měření odchylek frekvence od jednotlivých harmonických složek. Tímto by se do harmonické mapy zanesly i efekty založené na změnách frekvence. Toto měření předpokládá současně výborné časové i frekvenční rozlišení, což odporuje známému principu neurčitosti. Přesto se domnívám, že speciálně pro tóny by mohla existovat metoda, kterou by mohlo být dosaženo jak uspokojivého časového, tak frekvenčního rozlišení.

Kontakt : Ing. Jaromír Schindler, E-mail : schindj@fel.cvut.cz