

IMPLEMENTACE AUTOMATIZOVANÉHO MĚŘENÍ HRTF V MATLABU

O. Šupka, F. Rund, J. Bouše

Katedra radioelektroniky, fakulta elektrotechnická
České vysoké učení technické v Praze, Česká republika

Abstrakt

Tento příspěvek popisuje návrh komplexního systému pro měření HRTF (Head Related Transfer Function) s využitím prostředí MATLAB. Automatizovaný systém je navržen tak, aby byl univerzální a kompaktní, poskytoval rychlé a přesné výsledky a umožňoval snadnou práci s daty, která mohou být poté zpracovávána. Otáčení subjektu je řízeno z prostředí Matlab, ve kterém je také implementována celá měřicí metoda. Celý systém byl experimentálně testován při měření směrových charakteristik mikrofonů.

1 Úvod

Prostorový zvuk je již neodmyslitelnou součástí filmů, počítačových her či dalších prvků virtuální reality. Jednou z často využívaných cest pro syntézu prostorového zvuku je využití HRTF (Head Related Transfer Function) [1]. Tato funkce popisuje směrově závislou filtraci zvuku způsobenou tělem, hlavou a boltcem. V časové oblasti tuto funkci popisuje HRIR (Head Related Impulse Response). Data HRTF mohou být využita např. pro vytvoření VAS (Virtual Auditory Space) [2].

Je několik možností, jak lze HRTF získat. Patří mezi ně výpočet pomocí fyzikálního modelu a různé metody měření. Měření je prováděno pro vybrané diskrétní hodnoty azimutu a mezipolohy jsou dopočítávány interpolací. Existují dvě metody – metoda hlavní a reciproká. Obě metody jsou podrobněji rozebrány v [3]. K měření lze použít figurínu, ale vzhledem k unikátnosti každého jedince je lepší změřit HRTF přímo konkrétní osobě nebo vybírat z databáze naměřených vzorků. Možnosti měření a syntézy HRTF jsou více rozebrány například v [1].

Na našem pracovišti byla realizována experimentální měřicí sestava (viz. [4]), která má však několik nedostatků, jež je třeba odstranit. Tento článek přináší návrh komplexního systému pro měření HRTF s využitím prostředí Matlab.

2 Návrh systému

Pro měření HRTF byl na našem pracovišti používán jednoduchý systém [4], kde testovaný subjekt seděl na otočné židli, v uších měl umístěné binaurální mikrofony a měřicí signál byl reprodukován pomocí širokopásmového reproduktoru (viz Obr. 1). Židli otáčel subjekt manuálně a azimut natočení (tj. směr získané HRTF) byl monitorován kamerou snímající obrazec, jak bylo popsáno v [5]. Samotné měření bylo prováděno pomocí externího softwaru EASERA.



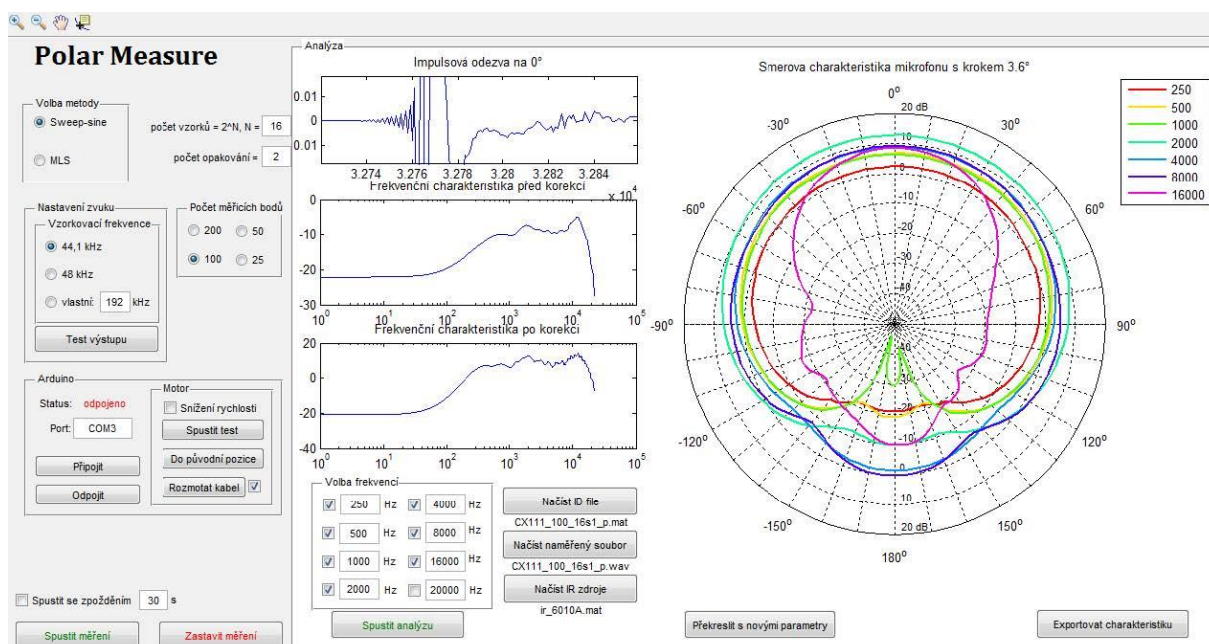
Obrázek 1: Stávající systém využívající manuálně otáčenou židli.

Výhodou stávajícího systému je jeho jednoduchost a také nezávislost na metodě měření, vzhledem k odděleným systémům pro vlastní měření a pro monitoring nastavení azimutu.

Hlavní nevýhodou stávajícího systému je příliš dlouhá doba trvání měření, vzhledem k složitému procesu natáčení, kdy se při každém otáčení musí subjekt sám pootočit, obsluha zkontrolovat úhel natočení a spustit další část měření. Druhou velkou nevýhodou je formát naměřených výsledků, ve kterém jsou data automaticky ukládána. Jedná se o formát měřicího softwaru. Po měření je tedy nutné data ručně exportovat do formátu vhodného pro načtení do prostředí Matlab.

Nový systém, který je ve fázi návrhu, tyto nedostatky odstraňuje. Měření je zrychleno zautomatizovaným otáčením subjektu, ke kterému je využita upravená otočná židle. Židli je otáčeno přes příslušný převod pomocí krokového motoru, který je řízen z Matlabu. Rozhraní mezi počítačem a motorem tvoří Arduino Uno a obvod EasyDriver s čipem A3967, určený k řízení krokových motorů. Druhým úkolem je vyřešit problém formátu. Jelikož je motor řízen z Matlabu, je nejjednodušší vytvořit komplexní aplikaci pro měření HRTF, ve které bude přímo implementována vhodná měřicí metoda (popř. metody). Aplikace tedy zajišťuje řízení otáčení subjektu, generování, reprodukci a záznam příslušných měřicích signálů a export dat do žádaných formátů.

Zatím byla vytvořena zkušební implementace popisovaného systému [6], namísto měřeného subjektu s binaurálními mikrofony bylo otáčeno pouze samostatným mikrofonom a byly měřeny jeho směrové charakteristiky (GUI testovací implementace je na Obr. 2). K otáčení mikrofону byl již využit krokový motor řízený z Matlabu prostřednictvím platformy Arduino a obvodu s čipem A3967. Měřicích metod bylo implementováno více, především však SineSweep a MLS, jelikož tyto metody umožňují měření v akusticky neupraveném prostoru. Výsledný systém byl exportován do formátu Matlab App.



Obrázek 2: GUI testovací aplikace s naměřenou směrovou charakteristikou mikrofonu Audix CX111.

3 Popis algoritmu

Navrhovaný algoritmus měření (Obr. 3) lze rozdělit na dvě části, a to na vlastní měření a analýzu (zpracování) naměřených hodnot.

Měření předchází procesy jako nastavení komunikace s Arduinem a zvukovou kartou a vygenerování měřicího signálu. Měření začíná přehráním a záznamem měřicího signálu – tento proces je opakován pro každý krok měření. Po ukončení záznamu u daného bodu je subjekt

(v testovací implementaci mikrofon) vždy otočen o nastavený azimut. V případě posledního měřeného bodu je židle kvůli rozmotání kabelů navracena na původní pozici v opačném směru, než po kterém byla otáčena.

Analýza signálu probíhá po úsecích odpovídajících jednotlivým azimutům, pro které byl signál zaznamenáván. U každého naměřeného vzorku je vypočtena impulsová odezva a je oříznuta před prvním odrazem. U prvního analyzovaného bodu je okénko výřezu je voleno ručně, pro ostatní body zůstává stejné, jen s rezervou pro pohyb mikrofonů v rámci otáčení (pokud je nejbližší odraz způsoben prvkem na horizontální rovině, bude se vzdálenost odrazu měnit). Finální data jsou exportována pro další použití.

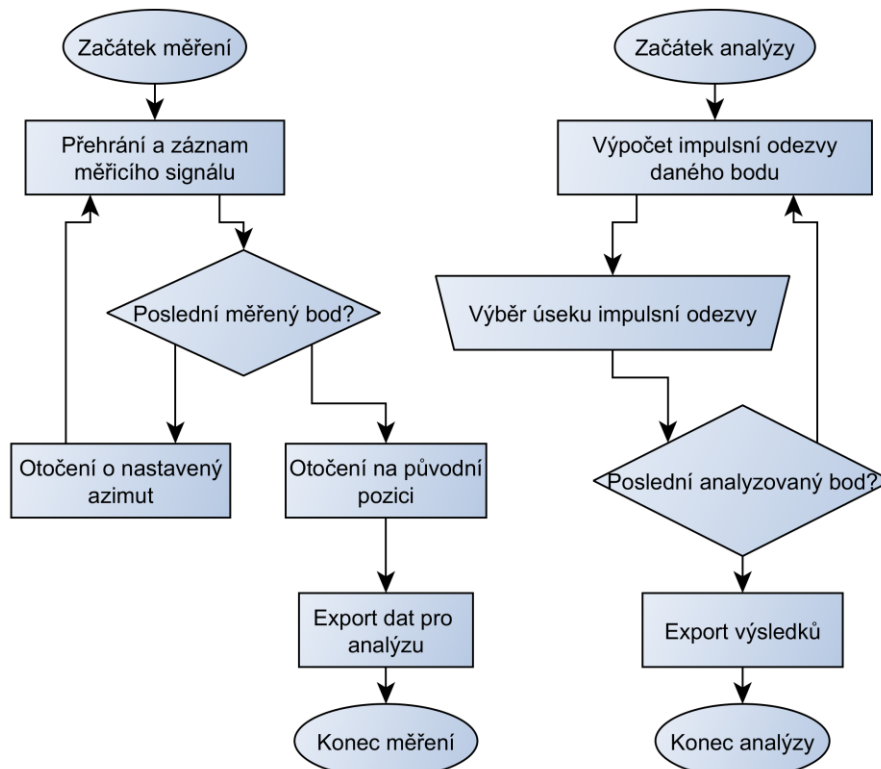
4 Implementační detaily

V první řadě je třeba zajistit komunikaci mezi Matlabem a Arduinem. Komunikace byla v testovací implementaci zprostředkována pomocí třídy Arduino IO Package, ale vzhledem k problémům se spolehlivostí a omezené rychlosti, s jakou dokáže Matlab Arduino posílat příkazy, byl napsán pro Arduino jednoduchý program v jazyku Wiring, který umožňuje bezproblémovou činnost.

Rychlost komunikace je nastavená na 11,52 kB/s a program je psaný tak, aby reagoval na konkrétní čísla posílaná z Matlabu. K dispozici je 256 hodnot, 1-250 je vyhrazeno na samotné otáčení (číslo odpovídá počtu sekvencí „1 0“ posílaných z Arduina do A3967 – čtyři tyto sekvence odpovídají otočení motoru o jeden krok, v případě potřeby více kroků, je třeba poslat více instrukcí za sebou), vyšší hodnoty slouží k počáteční inicializaci a nastavení směru otáčení.

V Matlabu se s Arduinem pracuje jako se sériovým objektem. Příklad části kódu, kdy se Arduino připojí, je mu posláno číslo 255 a následně je odpojeno, je zde:

```
a.ard=serial('COM3','BaudRate',115200); %zavedení Arduina na portu COM3 jako sériový objekt
fopen(a.ard); %otevření pro zápis
fwrite(a.ard,255); %posílání čísla 255
delete(instrfind({'Port'},{'COM3'})) %uzavření komunikace
```



Obrázek 3: Zjednodušený vývojový diagram algoritmu měření a navazující analýzy.

Dalším úkolem je vygenerovat měřicí signál dle zvolené metody, kterou je primárně SweepSine nebo MLS. SweepSine je generován funkcí *generate_sinesweeps* z Transfer Function Measurement toolboxu [7], MLS je generována funkcí *GenerateMLSSequence* z toolkitu z [8].

Pro komunikaci se zvukovou kartou je použit standardní Matlab DSP system toolbox, konkrétně funkce *dsp.AudioPlayer* a *dsp.AudioRecorder*. Současná implementace umožňuje využití komunikace přes ASIO (Audio Stream Input/Output) ovladač zvukové karty, čímž se sníží latence při měření a zároveň obejde Windows kernel mixer. Úspěšnou synchronizaci mezi přehráváním a nahráváním zajišťuje tzv. synchronizační kanál. Jedná se o přímé připojení výstupu zvukové karty se vstupem. Nahrává-li se tímto kanálem signál, poloha 1. maxima korelace mezi nahrávkou a originálním signálem udává časové zpoždění nahrávání ve vzorcích, které je následně kompenzováno v měřicích kanálech.

Výpočet impulsové odezvy u měřicí metody SweepSine je realizován dělením naměřeného signálu signálem originálním ve spektrální oblasti. U měřicí metody využívající MLS je impulsová odezva počítána cyklickou korelací naměřeného a originálního signálu. To je realizováno funkcí *xcorr*, která počítá sice klasickou vzájemnou korelaci dvou signálů, ale vektor originálního signálu je cyklicky prodloužen a proto je výsledek stejný, jako by byl počítán cyklickou korelací. Kdyby nebyla použita cyklická korelace, byla by do impulsové odezvy zanášena chyba při násobení nulami.

Výřez části impulsové odezvy je prováděn ručně pomocí funkce *ginput*. Jelikož funkce neumožňuje zoomování, je po vykreslení odezvy automaticky zapnut zoom, konečný zoom musí být potvrzen stiskem klávesy a poté se teprve aktivuje funkce *ginput*. Celému procesu předchází reset bufferu, který v sobě nese informaci o poslední stisknuté klávese, aby nedocházelo k zapamatování si hodnoty klávesy z poslední analýzy a automatickému potvrzení zoomu.

5 Závěr

V rámci testovací implementace byla vytvořena komplexní aplikace pro měření směrových charakteristik mikrofonů, která byla úspěšně testována. Výsledky testování lze najít v [6]. Oproti testovací aplikaci je systém pro měření HRTF obohacen o komunikaci Matlabu se zvukovou kartou, takže měření může kompletně probíhat z Matlabu bez použití externího softwaru, dále byla upravena komunikace Matlab-Arduino, což zajišťuje lepší stabilitu systému a snadnější práci.

Následujícím krokem v realizaci navrženého systému je konstrukce motoricky otáčené židle pro pohyb subjektu, úprava algoritmů přímo pro měření HRTF a zajištění exportu dat do formátů používaných v HRTF.

Celý systém bude umožňovat automatizované měření HRTF (resp. HRIR) v akusticky neupraveném prostředí a výsledky budou exportovatelné do běžně používaných formátů.

Poděkování

Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS14/204/OHK3/3T/13.

Reference

- [1] G.ENZNER, Ch. ANTWEILER, S. SPORS. Trends in Acquisition of Individual Head Related Transfer Functions. In: *The Technology of Binaural Listening*. Springer Verlag Berlin 201, pp 57-72
- [2] F. RUND, D. ŠTOREK, O. GLASER, M. BARDA. 2010. *Orientation in Simple Virtual Auditory Space Created with Measured HRTF*. Technical Computing Bratislava 2010. pp 1–7.
- [3] T. LINDNER. Optimalizace měření a zpracování HRTF. In: *21st Annual Conference Proceedings Technical Computing Prague 2013*. pp. 191-197.
- [4] R. SUCHAN. *Metodika měření HRTF*. Praha, 2013. Diplomová práce. Fakulta elektrotechnická - České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Ing. F. Rund Ph.D.
- [5] F. RUND, J. BOUŠE, T. BARÁTH. Comprehensive Matlab Tool for HRTF Measurement and Virtual Auditory Space Testing. In: *21st Annual Conference Proceedings Technical Computing Prague 2013*. pp 284-290.
- [6] O. ŠUPKA. *Měření směrových charakteristik mikrofonů*. Praha, 2013. Bakalářská práce. Fakulta elektrotechnická - České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Ing. F. Rund Ph.D.
- [7] E. J. BERDAHL, J. O. SMITH III. 2008. *Transfer Function Measurement Toolbox*. [online] 17.10.2014. https://ccrma.stanford.edu/realsimple/imp_meas/
- [8] M. R. P. THOMAS. *Matlab Toolkit*. 2009. [online] 17.10.2014. <http://www.commsp.ee.ic.ac.uk/~mrt102/projects/mls.html>

Bc. Ondřej Šupka

Katedra radioelektroniky, FEL ČVUT v Praze, Technická 2, 166 27 Praha 6, ČR
email: supkaond@fel.cvut.cz

Ing. František Rund, Ph.D.

Katedra radioelektroniky, FEL ČVUT v Praze, Technická 2, 166 27 Praha 6, ČR
email: xrund@fel.cvut.cz

Ing. Jaroslav Bouše

Katedra radioelektroniky, FEL ČVUT v Praze, Technická 2, 166 27 Praha 6, ČR
email: bousejar@fel.cvut.cz