



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta elektrotechnická
Katedra radioelektroniky**

Ověření metody testování lokalizace ve virtuálním akustickém prostoru

Verification of a Localization Test Method in Virtual Acoustic Space

Bakalářská práce

Studijní program: Komunikace, multimédia a elektronika
Studijní obor: Multimediální technika

Vedoucí práce: Ing. František Rund, Ph.D.

Saniya Dyussekenova

Praha 2014

Zadání bakalářské práce

(Originál v originálu diplomové práce, oboustranná kopie v kopii diplomové práce)

Poděkování

Ráda bych srdečně poděkovala Ing. F. Rundovi, Ph.D. za odborné vedení mé bakalářské práce, poskytování užitečné informací, cenné rady a za velkou trpělivost a podporu během studia.

Ráda bych taky poděkovala Ing. J. Boušovi za veškerou odbornou pomoc, rady a doporučení.

Dále bych chtěla poděkovat Bc. T. Lindnerovi za spolupráci a poskytnutí dat pro subjektivní lokalizační testy, Ing. T. Baráthovi za poskytnuté materiály, a všem, kdo se jakkoli podíleli na experimentech.

A na závěr chci poděkovat své rodině a kamarádům za jejich podporu a motivaci během studia.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne _____

Abstrakt

Cílem této práce je ověření použitelnosti a případné vylepšení metody testování orientace ve virtuálním akustickém prostoru, navrženou Ing. T. Baráthem. Teoretická část je věnována základům lokalizaci zvuku v prostoru a prozkoumané metodě. Testy a jejich výsledky jsou popsány v praktické části. Byly provedeny čtyři testy: test pro výběr vhodného zvukového signálu; test pro ověření nového způsobu určení azimutu; test pro stanovení vlivu použitých sluchátek na výsledky lokalizačních testů; a subjektivní audio test pro ověření provedených zlepšení. Na konci jsou shrnuty výsledky testů a navržena další možná vylepšení této metody.

Klíčová slova

HRTF, HRIR, lokalizace zvuku, VAS, měření, binarizace obrazu.

Abstract

The aim of this thesis is to verify applicability and suggest potential improvements for the method of orientation testing in virtual acoustic space, designed by Ind. T. Baráth. The theoretical part is devoted to the basics of human sound localization in space and to a studied testing method. Tests and their results are described in the practical part. Four tests have been performed: test to select an appropriate sound signal; test to verify a new method of determining the azimuth; test to determine the effect of used headphones on test results; and subjective audio tests to verify the produced improvements. At the end results of the tests are concluded and another improvements for this method are suggested.

Key Words

HRTF, HRIR, sound localization, VAS, measurement, image binarization.

Obsah

1 Úvod	7
2 Teoretická část	8
2.1 Základní principy lokalizace zvuku	8
2.1.1 Lokalizace v horizontální rovině	8
2.1.2 Lokalizace ve vertikální rovině	10
2.1.3 Vjem vzdálenosti	10
2.1.4 HRIR a HRTF	10
2.2 Poslechové testy	12
2.2.1 Testovací metoda navržená Ing. T. Baráthem	12
3 Praktická část	14
3.1 Ověření přesnosti a návrh možných vylepšení	14
3.1.1 Výběr vhodného stimulu	14
3.1.2 Výpočet azimutu	16
3.1.3 Vliv sluchátek	26
3.1.4 Subjektivní test	33
3.2 Návrhy pro další práce	41
4 Závěr	42
Seznam použité literatury	44
Přílohy	i
A. Spektra šumů různých barev	i
B. Tabulka výsledků ověření přesnosti detekování hran	iv
C. Návod k testu vlivu sluchátek na lokalizaci vnějšího zdroje	v
D. Grafy „Subjekt – Sluchátka“	vi
E. Tabulky výsledků lokalizačních testů	x
F. Přílohy na CD	xv
F.1 Calibration	xv
F.2 SoundTest	xvi
F.3 HeadphonesTest	xvi
F.4 LocalizationTest	xvii
G. Obrazová příloha	xviii

1 Úvod

Virtuální akustický prostor je nedílnou součástí technologie virtuální reality a používá se ve mnoha oborech, od zábavy po vzdělávání. Jako většina multimediálních technologií se ve dnešní době neustále rozvíjí, což vyžaduje podrobné zkoumání lokalizační schopnosti člověka. Pro tyto účely existuje řada testovacích metod.

Cílem této bakalářské práce je seznámení s jednou z těchto metod, ověření její použitelnosti v praxi a návrh možných vylepšení.

Následující kapitola je věnována teoretickým podkladům pro provedenou práci - základy lokalizace zvuku, testovací metoda T. Barátha. Dále jsou popsána provedená měření – kontrola a minimalizace vlivů na výsledky některých faktorů, jako např. druh použitého referenčního signálu [3.1.1], nasazení sluchátek na dobu celého testu [3.1.3]; vyzkoušení různých algoritmů binarizaci obrazu a návrh nového způsobu zpracování testovacího obrázku pro zjištění polohy uživatele [3.1.2]. Všechny provedené změny byly ověřeny při několika lokalizačních testech [3.1.4]. V dalších kapitolách jsou popsány všechny použité programy a návrhy pro další práci. Všechny výsledky jsou shrnuty v závěru.

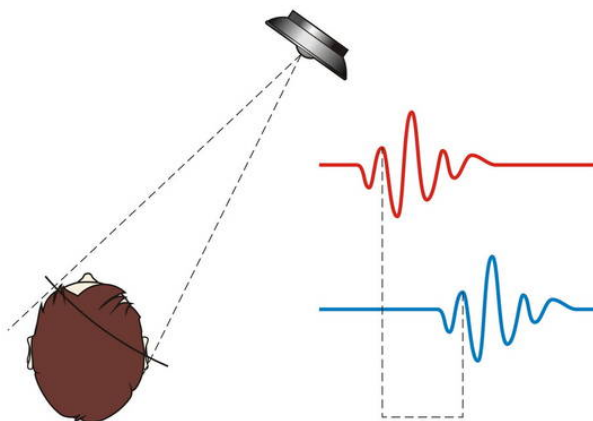
2 Teoretická část

2.1 Základní principy lokalizace zvuku

Lokalizační schopnost lidského ucha se těžko zkoumá, většinou kvůli antropometrickým rozdílům mezi lidmi (tvar ušního boltce, rozměr hlavy, torza atd.). Ve většině případů nemůžeme operovat s přesně změřenými veličinami, ale pomocí experimentů se daly zjistit základní principy orientace ve zvukovém prostoru.

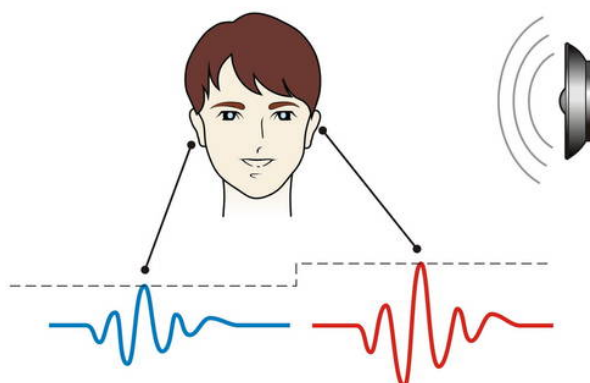
2.1.1 Lokalizace v horizontální rovině

Když je azimut φ odlišný od nuly, signál dochází do pravého a levého ucha různě. Za prvé, mezi okamžikem dospění signálu do každého ucha bude určitý časový rozdíl. Toto zpoždění se označuje ITD (Interaural Time Difference) [Obr. 2.1]. Je lépe poznatelné při nízkých frekvencích, protože při vyšších frekvencích se fázový posun zvětšuje, a když je přibližně roven polovině periody, nemůžeme přesně říct, jestli signál v jednom uchu předstihne nebo naopak. Fázový posun je závislý na hodnotě azimutu, tj. čím větší je frekvence, tím menší je úhel, při kterém lokalizace je dostatečně přesná. [3]



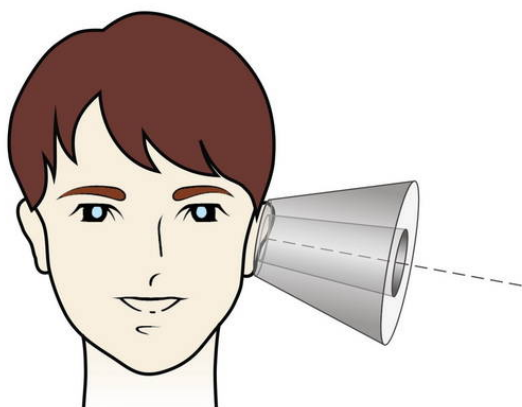
Obr. 2.1 - Princip ITD (Interaural Time Difference) [3]

Za druhé, signál, který dochází později, bude i o určitou hodnotu slabší. Rozdíl intenzit signálů zprava a zleva označujeme ILD (Interaural Level Difference) [Obr. 2.2]. Je to klíčový faktor pro určení azimutu, ale při frekvenci menší než 2 kHz už nebude tak efektivní, protože při vlnové délce porovnatelné s průměrem hlavy člověka zvuková vlna hlavu obejde. [3]



Obr. 2.2 - Princip ILD (Interaural Level Difference) [3]

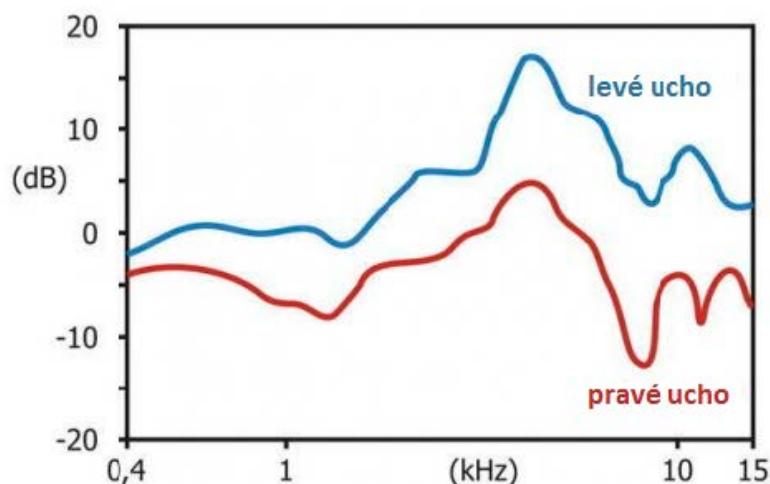
Ale ITD a ILD neobsahují žádnou informaci pro odvození elevace θ . Teoreticky pro určitou hodnotu azimutu ITD a ILD jsou vždy stejné, tj. dostaneme pro každý zvolený azimut tzv. kužel neurčitosti (angl. cone of confusion) [Obr. 2.3], na hranici jehož podstavy nemůžeme určit, je-li zdroj zvuku vpředu/vzadu a nahoře/dole. [2]



Obr. 2.3 - Kužel neurčitosti [3]

2.1.2 Lokalizace ve vertikální rovině

Ve vertikální rovině hraje klíčovou roli odlišnost spektrálních obsahů obou sluchových kanálů [Obr. 2.4]. Je to způsobeno tvarem ušního boltce (funguje jako přirozený akustický filtr) a odrazem signálu od hlavy, ramene, torza atd. V obou případech se odráží různá kmitočtová pásma, a proto pro dobrou lokalizovatelnost potřebujeme signál s širokým kmitočtovým pásmem – s šumovým nebo perkusním charakterem. [2]



Obr. 2.4 - Spektrální rozdíl časových signálů v pravém a levém uchu [3]

2.1.3 Vjem vzdálenosti

Vyhodnocování vzdálenosti od zdroje zvuku je nejkomplicovanější a nejméně přesné. Nejvýznamnějšími principy tady jsou určení hlasitosti (signálu o vyšší intenzitě odpovídá bližší zdroj), pohyb hlavou (v závislosti na konkrétní vzdálenosti se mění vjem změny azimutu – velké změny znamenají blízkou vzdálenost), ILD (velkému poměru amplitud odpovídá blízká vzdálenost), předchozí znalost charakteru zdroje signálu atd. [2]

2.1.4 HRIR a HRTF

HRIR (Head Related Impulse Response, impulzní odezva vztažená k hlavě) – odezva soustavy zdroj-ucho na Diracův impuls. Popisuje parametry soustavy, např. časové zpoždění nebo modulovou a fázovou charakteristiku přenosové funkce soustavy. Provedeme-li konvoluci vstupního signálu a příslušné odezvy pro levé a pravé ucho, bude mít levý a pravý kanál stejné vlastnosti jako při reálném šíření. Pokud takovéto signály přivedeme do levého a pravého ucha, dostává náš lokalizační aparát stejnou informaci o poloze jako v případě reálného zdroje a podle toho ji vyhodnotí. Tedy pro virtuální polohování zdroje zvuku potřebujeme sadu HRIR pro různé směry pro levé a pravé ucho. [2]

Významnou roli hraje i HRTF (Head Related Transfer Function, přenosová funkce vztažená k hlavě). Je obrazem HRIR na frekvenční rovině, dostaneme ji pomocí Fourierovy transformace. HRTF je komplexní funkce frekvence, azimutu, elevace, vzdálenosti. Významně závisí na antropometrických parametrech subjektu, neexistuje žádná universální HRTF pro všechny. Pokud budeme používat sadu HRTF měřené pro každého konkrétního posluchače [5], je rozlišující schopnost srovnatelná s lokalizací reálného zdroje. Problém nastane při využití cizí HRTF. Výsledná přesnost významně závisí na shodě antropometrických parametru posluchače a subjektu, u kterého byla změřena HRTF. [2]

2.2 Poslechové testy

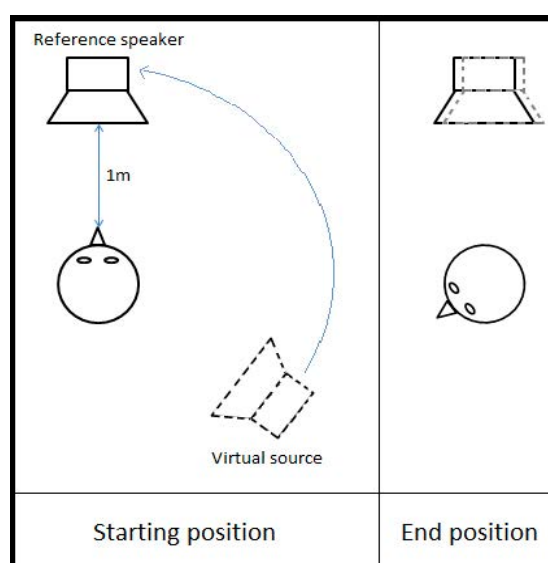
Existuje řada testů pro zkoumání schopnosti člověka se orientovat v akustickém prostoru. Všechny jsou založeny na různých principech: buď odhad ze sady předpokladaných poloh zdroje zvuku [10], nebo ukázání jeho polohy (směru) pomocí polohovacího zařízení [11]. V některých případech se sleduje poloha hlavy subjektu, když se otáčí ve směru, ze kterého předpokládá že se šíří zvuk[12].

Každý způsob má své výhody a nevýhody. Situace je navíc zkomplikovaná tím, že schopnosti lokalizace se u každého člověka liší, kromě toho, testování často nemají čas na správné hodnocení. Z toho důvodu jedním z hlavních kritérií lokalizačních testů je kromě přesnosti i jejich rychlost, jednoduchost a srozumitelnost pro testované, dále se nemá podceňovat ani důležitost trénovací sekvence. Zároveň má být zajištěna i příjemná atmosféra při provedení testu: nálada subjektu přímo ovlivňuje, kolik pozornosti bude věnovat správné lokalizaci.

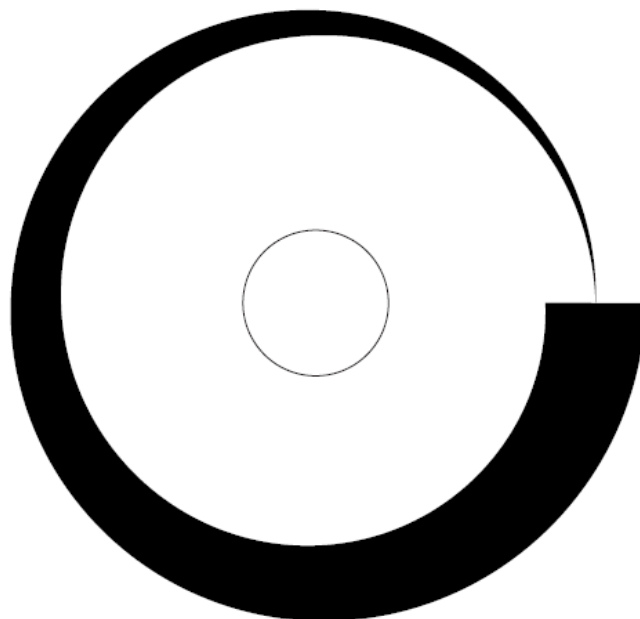
2.2.1 Testovací metoda navržená Ing. T. Baráthem

V roce 2013 Ing. T. Baráth v rámci své diplomové práce [1] navrhl testovací metodu, která byla inspirována jednou z metod měření HRTF.

Subjekt má na sobě binaurální sluchátka a sedí na otočné židli. Ve sluchátkách se reprodukuje binaurální záznam testovacího signálu z virtuálního zdroje. Subjekt může poslouchat nahrávku ze sluchátek a z reproduktoru, který je umístěn před ním. Jeho úkolem je se otáčet, dokud nebude jistý, že signály ze sluchátek a z referenčního reproduktoru zní jako by ze stejného směru. Tj. metoda je založena na shodě poloh virtuálního a reálného zdroje zvuku [Obr. 2.5]. Úhel otáčení se určí pomocí web-kamery instalované pod sedadlem a speciálního obrázku [Obr. 2.6], který se později zpracovává v Matlabu. [1]



Obr. 2.5 - Princip metody Ing. T. Barátha [1]



Obr. 2.6 - Testovací obrázec pro měření azimutu [1]

Metoda byla velice pozitivně hodnocena, mimo jiné byla zmiňována možnost poslouchat na virtuální nebo reálný zdroj tolikrát, kolik je potřeba. Ale, jako každá novinka, tato metoda se vyžaduje ověření a vylepšení.

3 Praktická část

3.1 Ověření přesnosti a návrh možných vylepšení

3.1.1 Výběr vhodného stimulu

Jak už bylo zmíněno, pro dobrou lokalizovatelnost potřebujeme signál s širokým kmitočtovým pásmem. T. Baráth používal signál, sestávající ze 3 úseků o 0.125 s a pauz mezi nimi o 0.065 s. Rozhodl se použít růžový šum. Testování však zmínily, že stejný signál při reprodukci z reproduktoru a ze sluchátek zněl různě, příčinou toho jsou odlišné přenosové funkce obou zařízení. [1] Proto jsem nejprve provedla test pro výběr vhodnějšího zvuku.

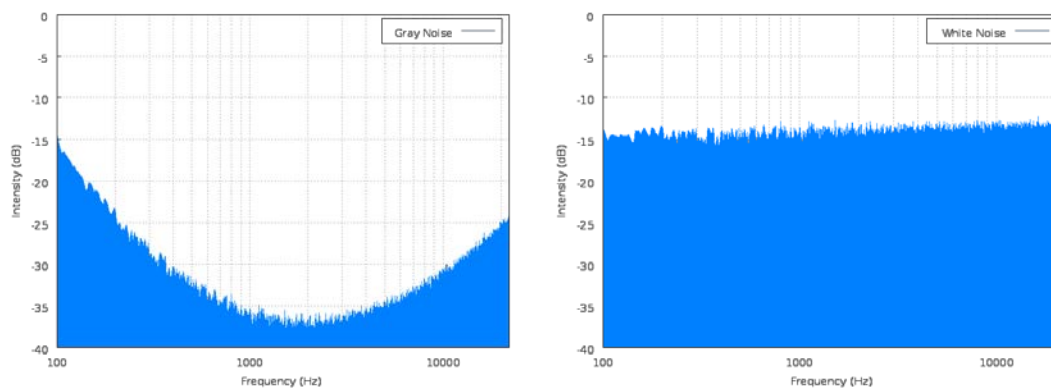
Vyzkoušela jsem šumové signály různých barev. Názvy barev pro různé typy šumu jsou vytvořeny jako přibližná analogie mezi jejich frekvenčním spektrem spektrem barevného světla (spektra různých barev šumu jsou uvedeny v příloze A): [13]

1. Bílý šum (náhodný signál s konstantní výkonovou spektrální hustotou. Stejně široká frekvenční pásma mají tedy stejnou energii) [13]
2. Růžový šum (také známý jako „1/f šum“, signál nebo proces, jehož výkonová frekvenční hustota je přímo úměrná převrácené hodnotě frekvence. Tedy při zdvojnásobení frekvence klesne energie o 3 dB) [13]
3. Hnědý (červený) šum (je podobný růžovému šumu, ale s výkonovou frekvenční hustotou sniženu o 6 dB za oktávu se zvyšující se frekvencí (hustota je úměrná $1/f^2$)) [13]
4. Modrý (azurový) šum (Výkonová frekvenční hustota modrého šumu se zvyšuje o 3 dB za oktávu se zvyšující se frekvencí (hustota je úměrná f) do konečného frekvenčního rozsahu) [13]
5. Purpurový (fialový) šum (Výkonová frekvenční hustota purpurového šumu se zvyšuje o 6 dB za oktávu s rostoucí frekvencí (hustota úměrná f^2) do konečného rozsahu frekvencí) [13]
6. Šedý šum (šum používaný k psychoakustice k měření křivky hladiny hlasitosti do stanoveného rozsahu frekvencí, takže zní stejně hlasitě na všech frekvencích) [13]

Subjekt	Bílý šum	Růžový šum	Červený šum	Modrý šum	Purpurový šum	Šedý šum
1 (T. Lindner)	1	1	1,5	1,2	1	1,5
2 (K. Mudroňová)	2	3	2	2,5	3	1,5
3 (J. Zmatlík)	2,5	1	3	2,5	2	3
4 (S. Dyussekenova)	2	2,5	3	2	1	2
5 (V. Barba)	3	4	2	3	4	2
6 (J. Šůva)	2	3	1	2	3	2
7 (L. Saska)	2	2	3	4	1	2
8 (L. Bíba)	3	2	4	2	3	1
Průměr	2,1875	2,3125	2,4375	2,4	2,25	1,875

Tab. 3.1 - Hodnocení rozdílu různých šumových signálů

Test byl proveden ve skupině 8 lidí. Subjekty měly poslouchat každý signál z určité sady postupně z reproduktoru a ze sluchátek a vyhodnotit rozdíl od 1 (nejmenší) do 5 (největší) bodů. Výsledky [Tab. 3.1] ukazují, že šedý šum má nejmenší průměrné hodnocení. Ale i když pro posluchače zní stejně hlasitě na všech frekvencích, má velmi nízké hodnoty ve středu spektra [Obr. 3.1]. Proto jsem rozhodla raději použít bílý šum, který má druhé nejlepší hodnocení. Bílý šum má konstantní výkonovou spektrální hustotou na všech frekvencích a často se používá v poslechových testech.



Obr. 3.1 - Spektra šedého (vlevo) a bílého šumu (vpravo) [13]

3.1.2 Výpočet azimutu

Ve své práci [1] Ing. T. Baráth používal web kameru Canyon CNR-WCAM820. Obraz se z ní uloží, pak se převede na šedotónový, a upraví se jeho kontrast. Dále se vybere určitý počet sloupců ($p\%$ od celkové šířky obrazu) a se provede jejich binarizace pomocí Bernsenova algoritmu [3.1.2.1]. Zároveň se promění černé pixely na bílé a naopak (abychom v ukládané matici měli "1" u černých pixelů a "0" u bílých). Potom se sečtou hodnoty všech pixelů v každém sloupci a se počítá jejich průměr, pomocí něhož pak zjistíme příslušný azimut (šířka obrazce je přímo úměrná hodnotě azimutu).

Ing. T. Baráth zpracovával obrazy v Matlabu s použitím Image Acquisition Toolboxu, který obsahuje funkce pro ovládání připojené externí kamery. Ten ale není k dispozici na fakultě. V [21] Ing. J. Bouše navrhuje a vyzkouší ovládání kamery pomocí externího programu RobotEyez [20], který zachytí obraz z kamery a uloží ho do aktuálního adresáře. Když jsem začala pracovat s tím programem, zjistila jsem, že použitá kamera nedokáže sejmout dostatečně kvalitní obrazy na správnou binarizaci, protože byl obrazec málo osvětlený. Pokusila jsem se řešit ten problém použitím jiné kamery, Trust SpotLight Webcam Pro, která je vybavena LED-osvětlením (foto kamer jsou v příloze G). Ale po připevnění a kalibraci té kamery se objevily odlesky. Výrazně zhoršovaly výsledky testu, zvláště v oblasti 220° - 360° . Na začátku jsem se pokusila měnit parametry zpracování obrazu: míru zvýšení kontrastu, rozměr se zpracovávající části obrazce v centru, způsob počítání prahu binarizace [3.1.2.1], koeficienty ve vztazích, intenzitu LED-osvětlení, polohu židle, aj. Několikrát jsem dokázala zvolit vhodné parametry tak, aby azimut se dalo počítat s přesností 1° až 4° . Ale jakmile program měl pracovat s jinými subjekty, ve výsledcích se objevovaly značné chyby, které se nedalo zanedbat. Ukázalo se, že program je velmi citlivý na změnu osvětlení obrazce. Potřebovala jsem použít zcela jiný postup počítání šířky obrazce, který by nevyžadoval obzvláště přesnou binarizaci. Vybrala jsem detekování hran [3.1.2.2].

3.1.2.1 Binarizace obrazu

Na začátku jsem vyzkoušela různé algoritmy binarizace obrazu. Základním principem binarizace obrazu je výběr vhodného prahu; pokud hodnota pixelu je nad prahem intenzity, bude považován za bílý, v opačném případě za černý. Podle toho, bude-li hodnota prahu konstantní, nebo se počítá-li pro každý pixel (příp. pro jeho okolí) zvláště, můžeme všechny metody rozdělit na globální (konstantní práh) a lokální (proměnný práh). [8]

Ing. T. Baráth použil ve svém skriptu Bernsenovou metodu lokální binarizace [1] [Obr. 3.10]. Podle ní se práh intenzity definuje jako aritmetický průměr maximální a minimální hodnot intenzit pixelů v okolí pixelu, jehož hodnotu posuzujeme. [8]

$$T(x, y) = \frac{\max(x, y) + \min(x, y)}{2}$$

Ale tato metoda funguje dobře jen při dostatečně velkém kontrastu obrazu, což omezuje její použitelnost. [8]

Další vyzkoušené metody jsou Niblackova [8] [Obr. 3.11]

$$T(x, y) = \text{mean}(x, y) + k * \text{standard_deviation}(x, y)$$

a Sauvolova [8] [Obr. 3.12]

$$T(x, y) = \text{mean}(x, y) * \left[1 + k * \left(1 - \frac{\text{standard_deviation}(x, y)}{R} \right) \right]$$

Sauvolova metoda byla navržena jako modifikace Niblackovy metody, je méně závislá na hodnotě k a s větší odolností proti skvrnám na pozadí obrazu. [7]. Doporučené hodnoty k pro Niblackovu metodu jsou -0.2 pro tmavé objekty, a 0.2 pro světlé objekty. Pro Sauvolovu metodu $k = 0,5$ a $R = 128$. [8] Ale při zpracování obrazu s těmito parametry program nedokázal najít skoro žádný bílý pixel, proto jsem změnila hodnotu R na 15.

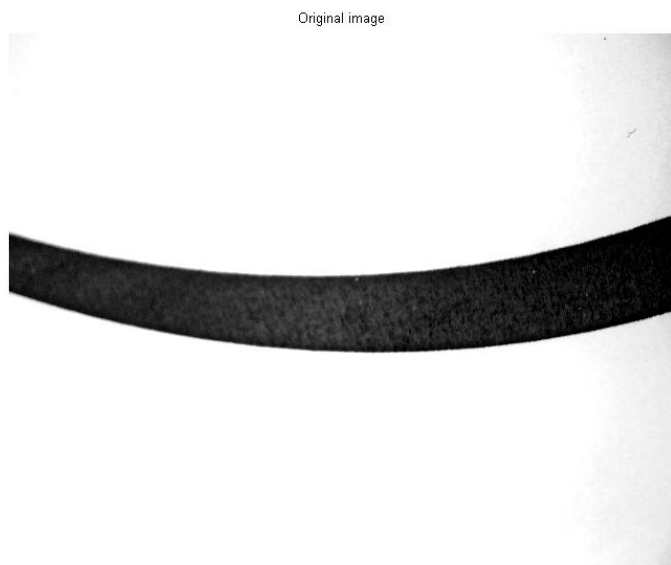
Kromě lokálních metod jsem taky vyzkoušela globální metodu binarizace – algoritmus Otsu [Obr. 3.13]. Je jednou z nejpoužívanějších metod; definuje práh pomocí histogramu obrazu. V Matlabu máme připravenou funkci pro zjištění práhu tímto způsobem – *graythresh*. [6]

Žádná z uvedených metod nepracovala dobře na celém obrázku. Buď se šířka správně počítala na tenké části pásma a na tlusté se docházelo k velké chybě, nebo naopak. Zásadním problémem je to, že zjistíme práh s ohledem pouze na intenzitu pixelu, neuvažujeme žádné vztahy mezi nimi. Při změně parametrů výpočtu, v každém případě ztratíme část informací. [18] Potřebovala jsem metodu, která by nebyla tak silně závislá na správné binarizaci obrazu.

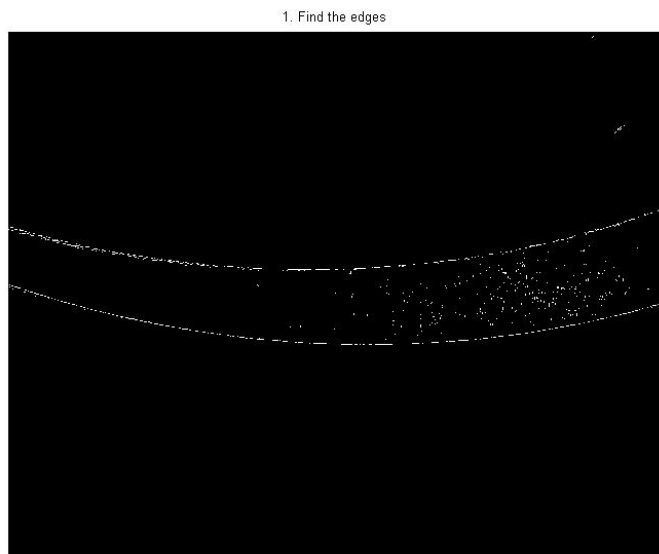
3.1.2.2 Detekování hran

Vyzkoušela jsem spočítat šířku pásma detekováním hran. V takovém případě nás by nezajímalo, dochází-li k chybné binarizaci, dokud chyba bude uvnitř pásma. Napsala jsem skript v Matlabu, inspirovala jsem se článkem o detekci hran různých objektů pomocí Matlabu. [17] Nejprve najdeme hrany pásma [Obr. 3.2] pomocí funkce *edges* (používáme Sobelovu metodu). Samozřejmě pouze to pro správnou

detekci nestačí, ale ve výsledném binárním obrázku bude uložen aspoň přibližný tvar pásma [Obr. 3.3].



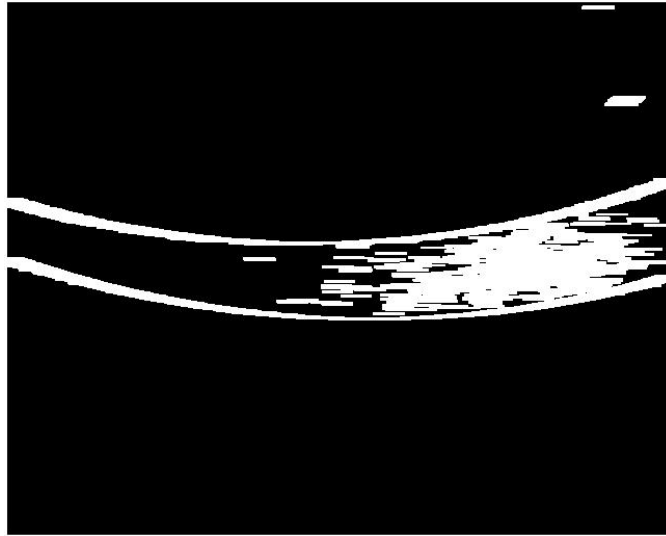
Obr. 3.2 - Originální obrazec pro detekci azimutu před zpacováním (azimut 70°)



Obr. 3.3 - Obrazec pro detekci azimutu po průchodu funkcí *edges*

Dále pomocí funkcí *strel* a *imdilate* protáhneme každý bílý pixel, aby se jednotlivé body spojily [Obr. 3.4]. Zaplníme prázdná místa na pásmu funkcí *imfill* [Obr. 3.5] a odstraníme zbytečnou tloušťku (objevila se po protahování) funkcí *imerode* [Obr. 3.6].

2. Dilate image



Obr. 3.4 - Obrazec pro detekci azimutu po pruchodu funkcí *imdilate*

3. Fill the holes



Obr. 3.5 - Obrazec pro detekci azimutu po pruchodu funkcí *imfill*

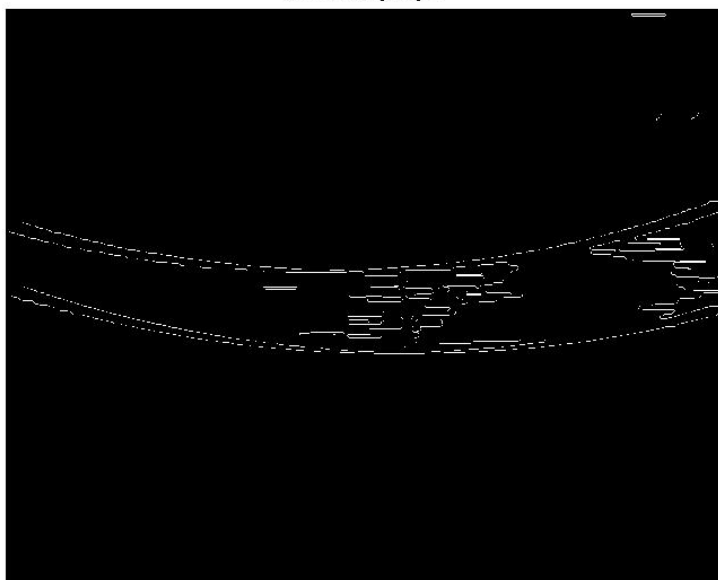
4. Erode image



Obr. 3.6 - Obrazec pro detekci azimutu po pruchodu funkcí *imerode*

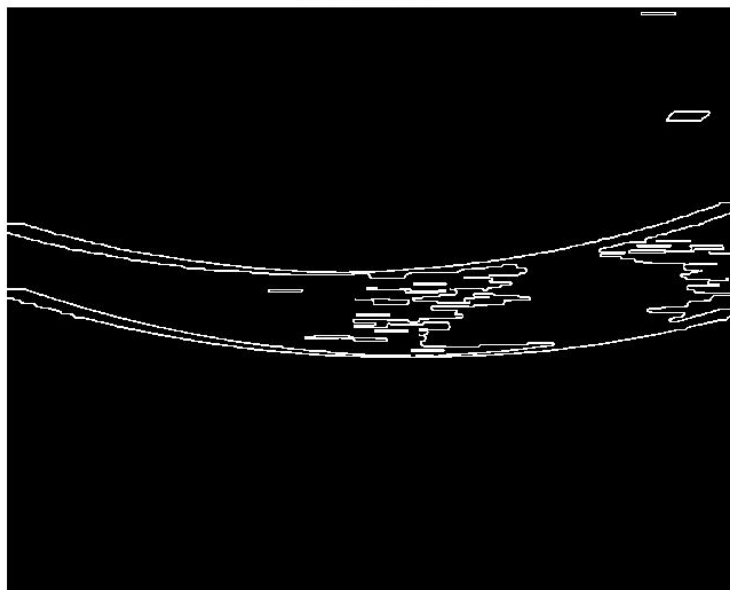
Když spočítáme hrany výsledného obrázku funkcí *edges* [Obr. 3.7] a *imdilate* [Obr. 3.8], vidíme, že hrany se pěkně detekují. Dál doplním skript sekci, kde se hrany interpolují, pro případ, kdy by chyba binarizace byla tak velká, že by se dotýkala hran [Obr. 3.9].

5. Find the edges again



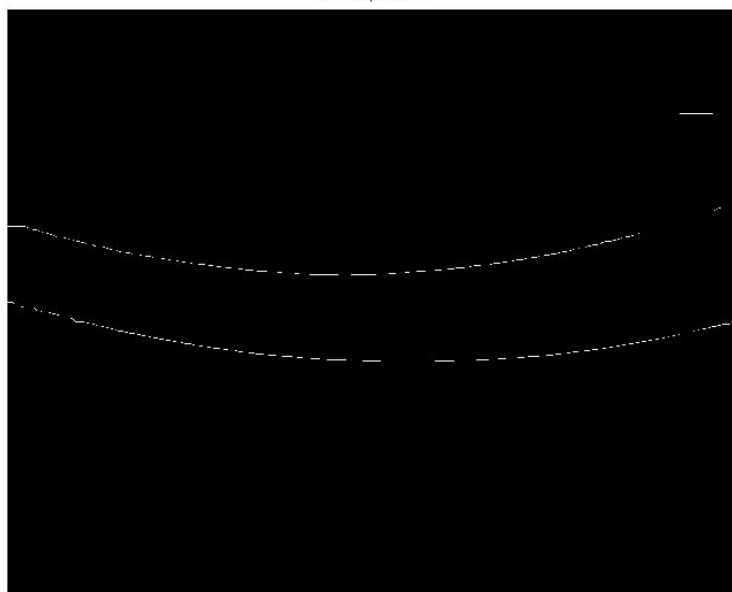
Obr. 3.7 - Obrazec pro detekci azimutu po druhém pruchodu funkcí *edges*

6. Dilate image again



Obr. 3.8 - Obrazec pro detekci azimutu po druhém pruchodu funkcí *imdilate*

7. Interpolation

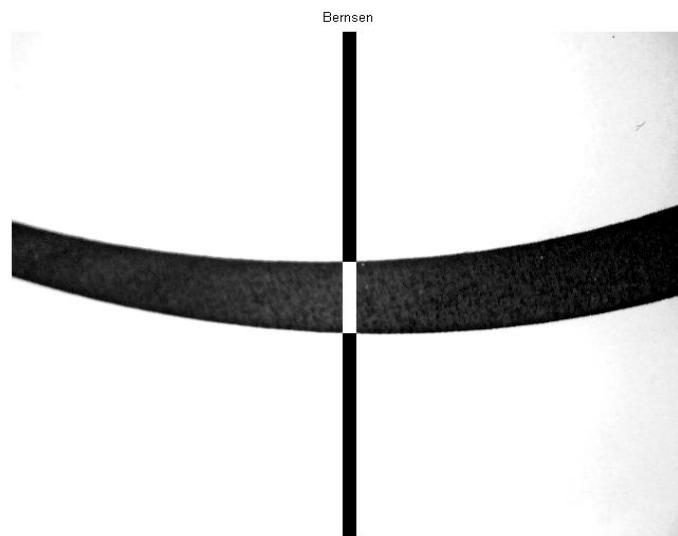


Obr. 3.9 - Obrazec pro detekci azimutu po celém zpracování

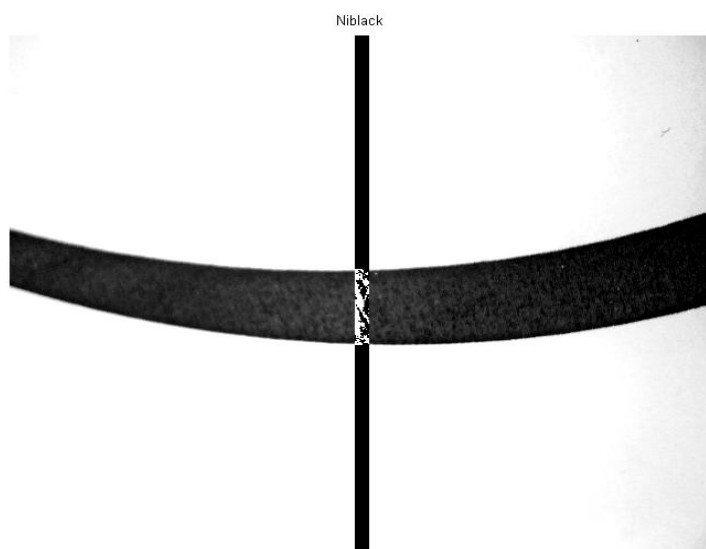
Nakonec zbývá pouze spočítat tloušťku pásma uprostřed obrázku. Zvolí se sloupec pixelů uprostřed obrázku a se postupně zkontroluje hodnota pixelů v tomto sloupci odshora dolů. Až najde bílý pixel, zapamatuje si jeho polohu, přeruší cyklus, a začne kontrolovat pixely zdola nahoru, dokud nenajde dolní hranu. Šířka obrazce je tedy roven rozdílu mezi polohami obou hran.

3.1.2.3 Přesnost výpočtu

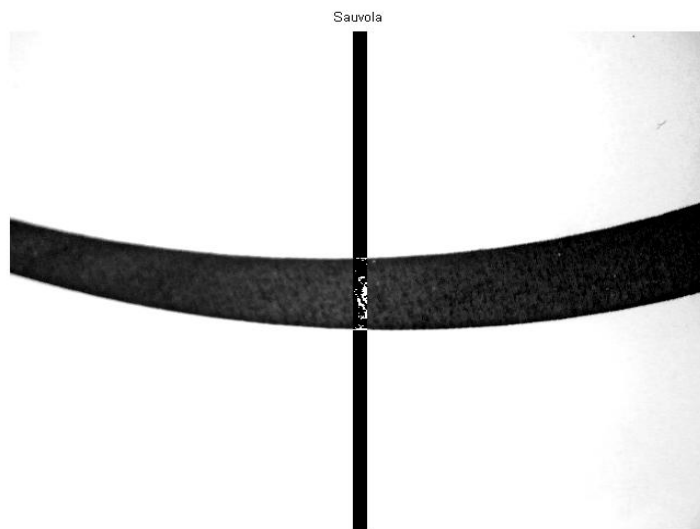
Porovnáme přesnosti navržených metod. Nastavíme polohu židle na 70° (stejný obrázek jako výše, [Obr. 3.2]) a uložený obrázek zpracujeme různými algoritmy. Při použití lokálních metod binarizace hodnota prahu se zjistí pro každý řádek uvnitř 2% sloupců v centrální části obrazu. Výsledky jsou zřejmé z obr. 3.10-3.13 (obraz se zpracovává pouze v centrální části, což přehledně znázorňuje rozdíl mezi binarizovaným a originálním obrazy).



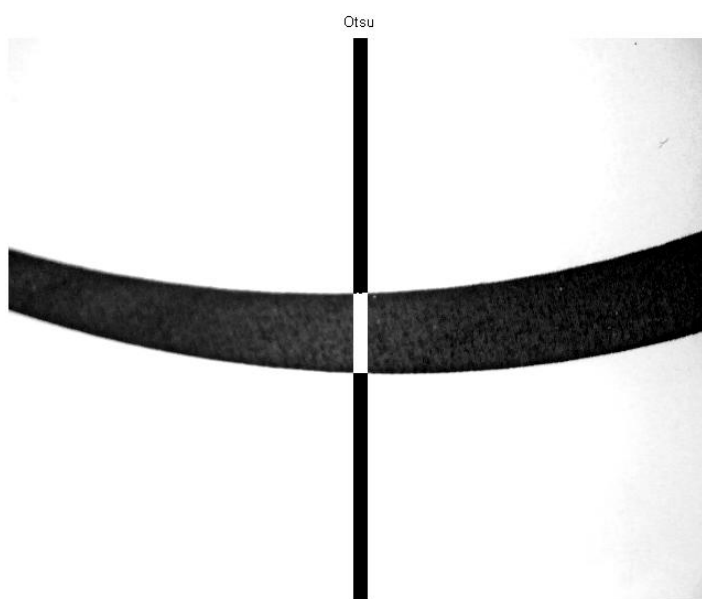
Obr. 3.10 - Obrazec pro detekci azimutu po zpracování Bernsenovým algoritmem



Obr. 3.11 - Obrazec pro detekci azimutu po zpracování Niblackovým algoritmem ($k = -0,2$)



Obr. 3.12 - Obrázek pro detekci azimutu po zpracování Sauvolovým algoritmem ($k = 0,5$; $R = 15$)



Obr. 3.13 - Obrázek pro detekci azimutu po zpracování Otsovým algoritmem

$\varphi_r = 70^\circ$	Bernsen	Niblack	Sauvola	Otsu	Detekce hran
φ_m	66,18	37,10	12,03	66,18	68,19
$\Delta\varphi$	3,82	32,90	57,97	3,82	1,81

Tab. 3.2 - Porovnání přesností počítání azimutu pomocí různých algoritmů binarizace (φ_r – testovaný úhel, φ_m – detekovaný úhel, $\Delta\varphi$ - absolutní chyba)

Z uvedené tabulky [Tab. 3.2] vidíme, že nejpřesnější je navržená metoda detekování hran. Otsův a Bernsenův algoritmy také ukazují velmi přesné výsledky, ale nevýhodou binarizace celého obrazu je, jak už bylo zmíněno, nemožnost použití na celém obrázku. Ještě jednou jsem ověřila přesnost své funkce. Počítala jsem různé hodnoty azimutu v rozsahu $0^\circ - 360^\circ$ (zvolený krok 10° , tabulka je v příloze). Průměrná odchylka je $1,99^\circ$, což je velmi přesný výsledek. Maximální odklonění od průměru je $4,26^\circ$.

Při dalším využití nové funkce taky někde docházelo k chybným výpočtům. Nejpravděpodobnější příčinou toho byla různá velikost a intenzita stínů u různých uživatelů. Problém se dal řešit změnou pózy uživatele (většinou stačí sedět zpříma). Pro následující testy jsem upravovala skript tak, aby bylo možné kontrolovat použitelnost obrázku, případně uložit ještě jeden, a posunout dál až bude jisté, že hrany se dobře detekují.

3.1.3 Vliv sluchátek

3.1.3.1 Popis testu

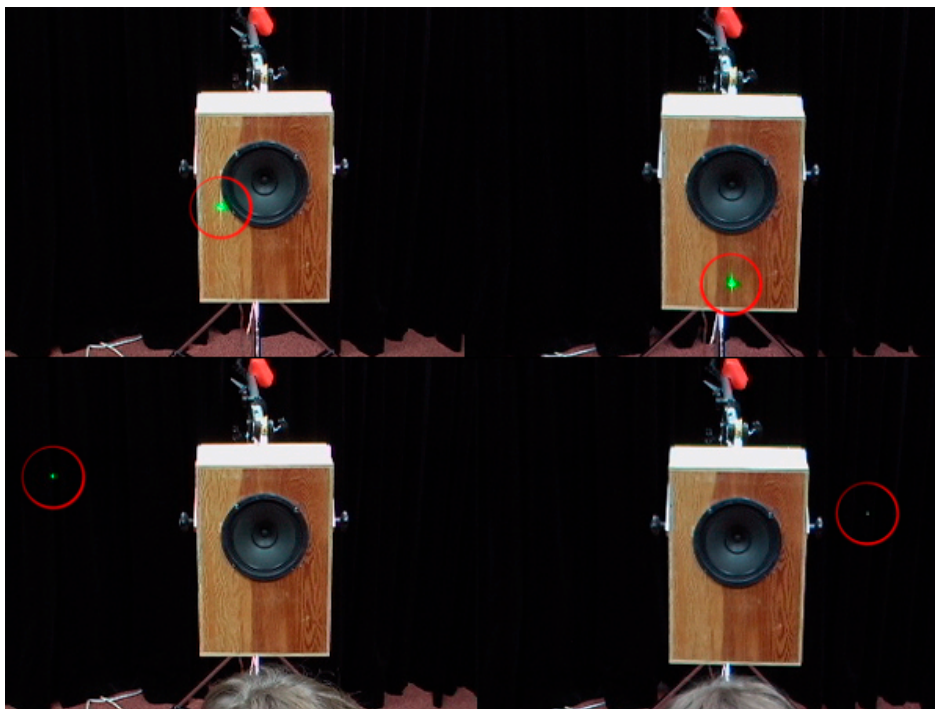
Metoda Ing. T. Barátha je založena na porovnání poloh reálného a virtuálního zdroje zvuku. Opakovaně nasazovat a sundávat sluchátka by bylo náročné a zbytečně by to odvádělo pozornost uživatele. Experimentálně pomocí objektivních a subjektivních poslechových testů bylo dokázáno, že všechny typy sluchátek snižují přesnost lokalizace, ale pokles je malý. Kromě toho, při nasazených sluchátkách subjekt potřebuje více času na lokalizaci. [14]

Pro ověření, je-li vliv nasazených sluchátek při lokalizaci referenčního reproduktoru příliš velký a kazí-li nezanedbatelně výsledky poslechových testů, provedla jsem subjektivní test. Test se prováděl se 3 subjekty (jiné než při lokalizačních testech). Každý subjekt nejprve byl seznámen s návodem k testu (viz. příloha C) a prošel trénovací sekvencí (otáčel se na židli a poslouchal, jak zní signál z reproduktoru z různých směrů). Potom se následoval test: subjekt měl na očích masku, a po roztáčení (pro ztrátu orientace v prostoru) se posadil na židli. Židle se potom nastavila na testovanou polohu azimutu (metoda Ing. T. Barátha pracuje jen v horizontální rovině, proto se test prováděl pro $\theta = 0^\circ$). Subjekt si musel poslechnout nahrávku z reproduktoru a ukázat jeho polohu pomocí laserového ukazovátka [Obr. 3.14]. Obraz reproduktoru a laseru byl zaznamenán pomocí SD kamery. Každý obrázek byl zpracováván, byla zjištěna hodnota Δl vzdálenosti laseru od vertikální osy, procházející přes střed reproduktoru. Dále jsem vypočítala úhlovou odchylku $\Delta\varphi$ dle vztahu:

$$\Delta\varphi = \cos^{-1}\left(\frac{L}{\sqrt{L^2 + \Delta l^2}}\right)$$

kde L – vzdálenost mezi hlavou subjektu a reproduktorem.

Pro pohyb v horizontální rovině jsem vybrala krok 30° (tj. celkem bylo ověřeno 12 hodnot). Každý subjekt se testoval čtyřikrát: dvakrát s nasazenými sluchátky a dvakrát bez.



Obr. 3.14 Příklad ukazování polohy reproduktoru pomocí laseru

Je zřejmé, že vliv sluchátek souvisí s jejich konstrukcí a způsobem usazení na ucho. Podle toho dělíme sluchátka na 3 typy [16]:

1. Circumaurální (full-size) - obepínají celé ucho. Tato konstrukce může velmi dobře izolovat posluchače od okolních zvuků, ovšem za cenu nadměrného pocení uší u modelů s uzavřenými mušlemi. Používá se hlavně u domácích a studiových modelů [16].
2. Supraaurální - leží přímo na uchu. Supraaurální konstrukce se používá hlavně u přenosných modelů, někdy i u domácích [16].
3. Intraaurální - se umísťují přímo do ucha. Dělí se na pecky (earbuds, leží u vyústění zvukovodu) a špunty (in-ear, se zasouvají přímo do zvukovodu). [16]

Testovala jsem vliv sluchátek, které se používaly při lokalizačním testu – pecky Sennheiser MX 375. Kromě toho, u jednoho subjektu jsem navíc vyzkoušela ještě jeden typ sluchátek, circumaurální uzavřená sluchátka Sennheiser HD 280.

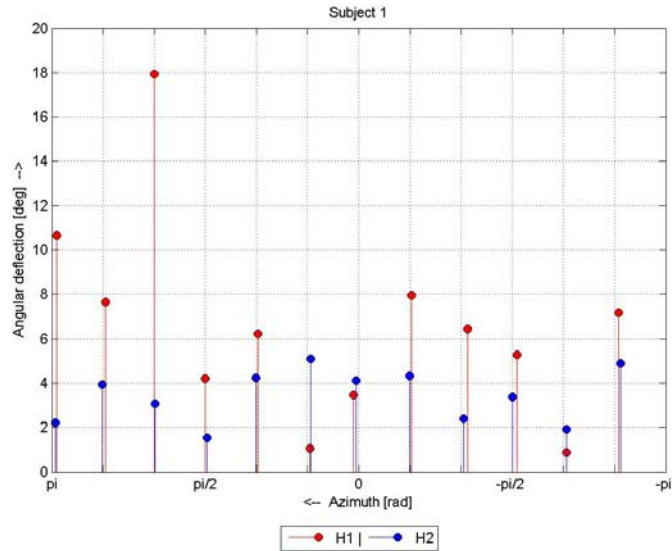
3.1.3.2 Skript na zpracování výsledku

Vytvořené skripty pro zpracování jsou v příloze na CD (úplný seznam příloh na CD je v příloze F). Rozdělila jsem zpracování dat na 3 části:

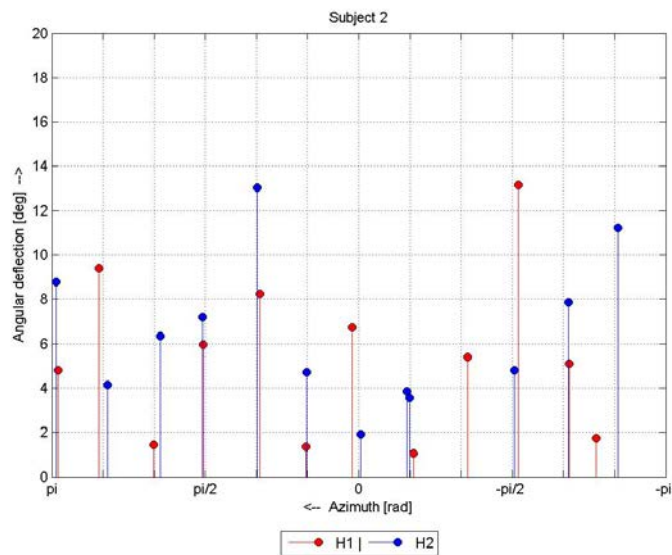
1. Část 1 - samotný test, jehož výstupem je složka s MAT-souborem, obsahujícím mj. hodnoty změřených azimutů, a s obrazy reproduktoru pro každou polohu (navíc se uloží obrazy z druhé kamery, pomocí kterých se spočítá azimut).
2. Část 2 - Výpočty. Zpracuje obrazy reproduktoru – zadáme rozsah hodnot 3 základních barevných složek, odpovídajících bodu laseru, a vytvoříme masku, která bude kontrolovat pixely ve všech 3 pásmech. Až najdeme polohu zeleného bodu, zjistíme její vzdálenost od centra reproduktoru, který je předem zadán. Vzdálenost v pixelech přepočteme na metry – proto se předem zadává šířka reproduktoru v metrech a v pixelech na obrázku. Kromě toho, musí se zadat vzdálenost mezi hlavou subjektu a reproduktorem. Úhlová odchylka se počítá pomocí výše uvedeného vztahu v stupních a radiánech; obě hodnoty se uloží do MAT-souboru.
3. Konstrukce grafů. Načte hodnoty z předchozích skriptů a sestrojí několik grafů. Za první, diskrétní grafy pro každou z kombinací Subjekt-Sluchátka. Ukazují vypočtené odchylky pro různé polohy při 1. a 2. měření, jejich průměr a směrodatnou odchylku (viz. Příloha). Za druhé, diskrétní grafy pro subjekty. Ukazují průměrnou odchylku pro měření se sluchátky a bez nich. Navíc, u 1. subjektu vykresluje graf pro 3 stavy (2 typy sluchátek a měření bez nich). Za třetí, diskrétní grafy pro měření se sluchátky a bez nich. Ukazují průměrnou odchylku každého uživatele, jejich průměr a směrodatnou odchylku.

3.1.3.3 Výsledky

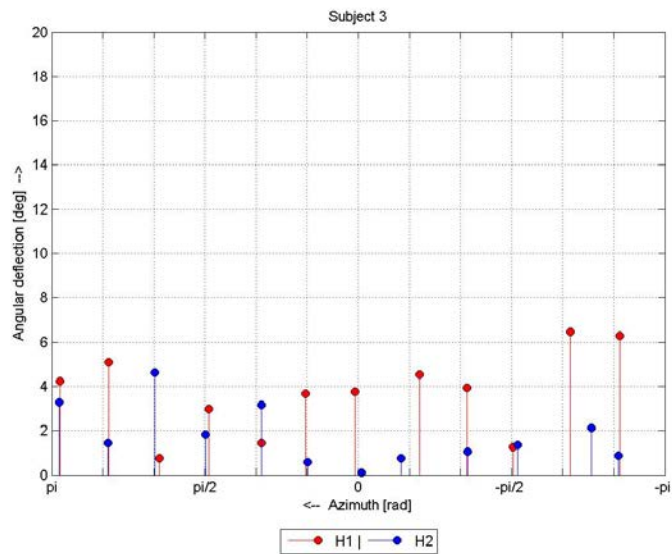
Výsledky testu vlivu sluchátek pro jednotlivé subjekty a jednotlivá sluchátka jsou v příloze D. Vypočtené průměrné hodnoty pro jednotlivé subjekty jsou zobrazeny na obr. 3.15-3.17.



Obr. 3.15 - Diskrétní grafy výsledků lokalizace referenčního zdroje zvuku, Subjekt 1 - Vagner (H1 - pecky Sennheiser MX 375, H2 - žádná sluchátka)

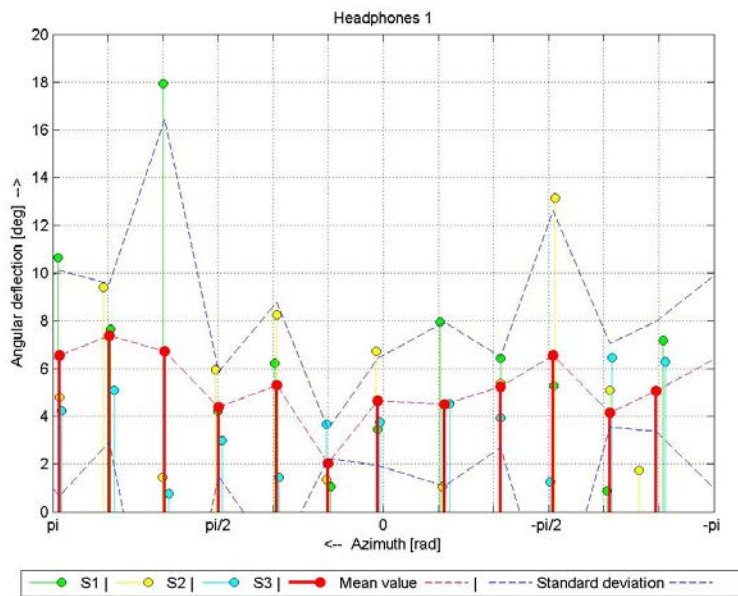


Obr. 3.16 - Diskrétní grafy výsledků lokalizace referenčního zdroje zvuku, Subjekt 2 - E. Vagner (H1 - pecky Sennheiser MX 375, H2 - žádná sluchátka)

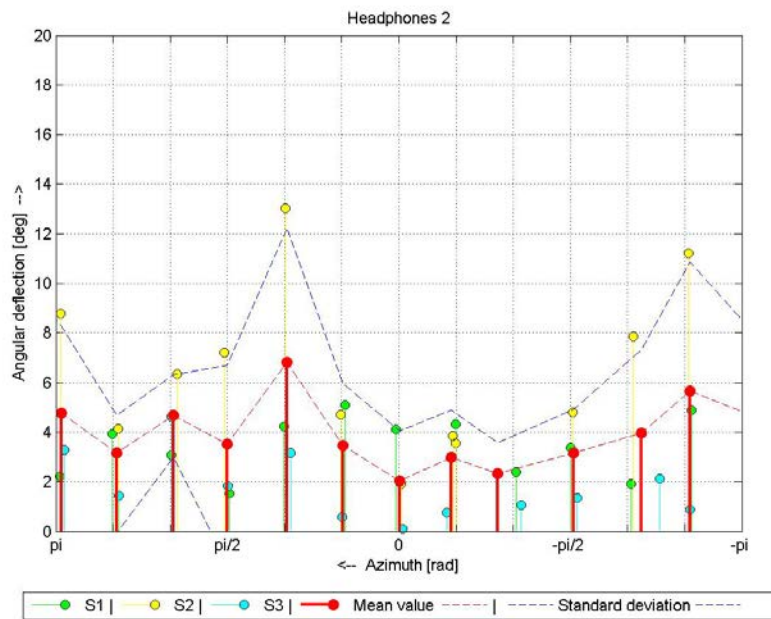


Obr. 3.17 - Diskrétní grafy výsledků lokalizace referenčního zdroje zvuku, Subjekt 3 - S. Dyussekenova (H1 - pecky Sennheiser MX 375, H2 – žádná sluchátka)

Z diskrétních grafů výsledků testů pro různé posluchače [Obr. 3.14-16] vidíme, že v některých bodech úhlová odchylka při měření bez sluchátek je větší než při měření s nasazenými sluchátky. Když se podíváme na průměrnou odchylku všech subjektů [Obr. 3.18-3.19]:

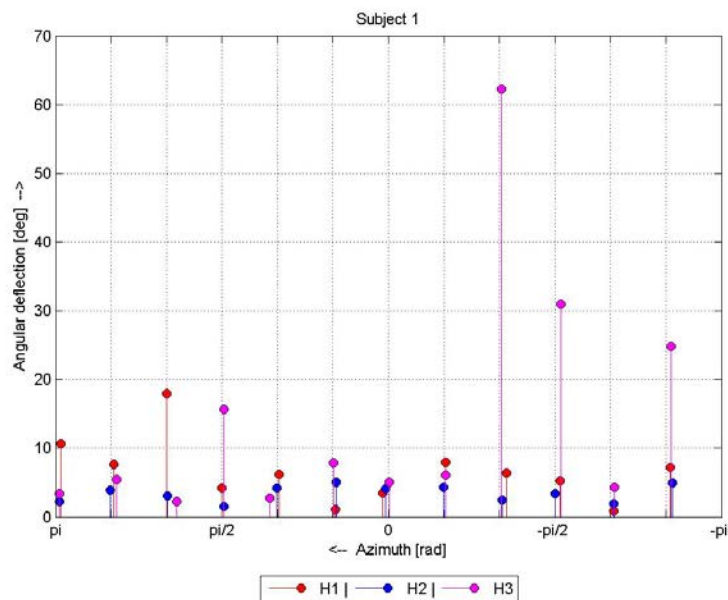


Obr. 3.18 - Diskrétní grafy výsledků lokalizace referenčního zdroje zvuku, Headphones 1 - pecky Sennheiser MX 375 (S1 - V. Vagner, S2 - E. Vagner, S3 - S. Dyussekenova)



Obr. 3.19 - Diskrétní grafy výsledků lokalizace referenčního zdroje zvuku, Headphones 2 - žádná sluchátka (S1 - V. Vagner, S2 - E. Vagner, S3 - S. Dyussekenova)

vidíme, že v obou případech průměrná odchylka pohybuje v rozmezí cca 2° - 7° . Ale maximální dosažená hodnota odchylky při měření se sluchátky (18°) je větší než při měření bez sluchátek (13°).



Obr. 3.20 - Diskrétní grafy výsledků lokalizace referenčního zdroje zvuku, Subjekt 1 - V. Vagner (H1 - pecky Sennheiser MX 375, H2 - žádná sluchátka, H3 - uzavřená sluchátka Sennheiser HD 280)

Uvedený graf [Obr. 3.20] porovnává uzavřené circumaurální sluchátka, pecky z minulého měření a měření bez sluchátek. Je vidět, že skoro všude odchylka u obou sluchátek je srovnatelná. Ale uzavřené sluchátka jsou speciálně konstruovány tak, aby izolovaly posluchače od vnějších zvuku, proto je zřejmě, že občas se zanáší obrovská chyba, až do 120° (viz. tabulky v příloze).

3.1.3.4 Hodnocení výsledků

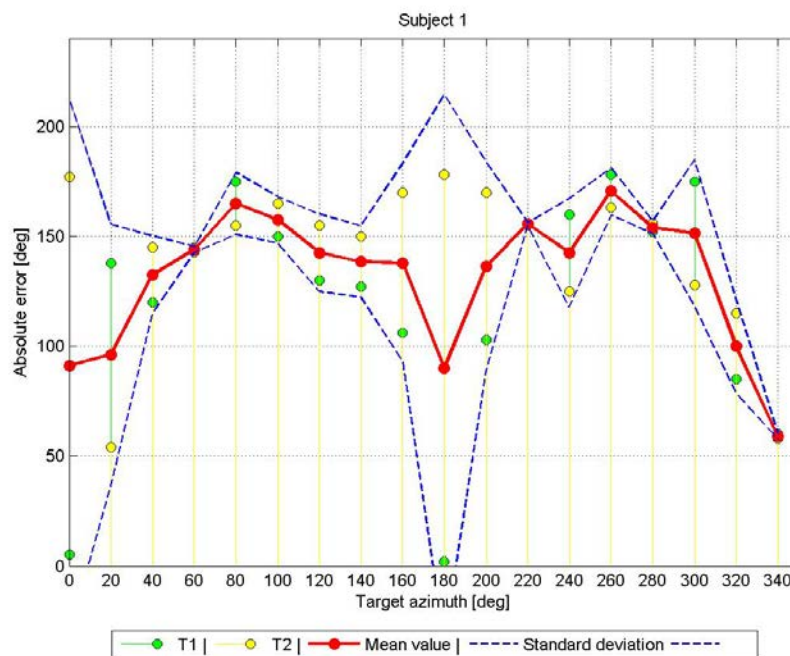
Po zpracování výsledků vidíme, že průměrná úhlová odchylka pro měření s a bez sluchátek je srovnatelná; ale u jednotlivých subjektů rozdíl dosahuje 15° . To je způsobeno tím, že chybu do testu zanáší nejen sluchátka, ale i způsob držení laseru, póza subjektu a další náhodné parametry. Nicméně, průměrná úhlová odchylka u jednotlivých subjektů se sluchátky nepřesahuje 18° , což je porovnatelné s obecnou přesností člověka při lokalizaci zdroje zvuku v horizontální rovině (10° - 15° [4]). Navíc průměrné odchylky všech subjektů při měření s a bez sluchátek se moc neliší a kolísají v rozmezí cca 2° až 7° . Dá se říct, že vliv sluchátek na přesnost testů není kritický a nekazí jeho výsledky.

3.1.4 Subjektivní test

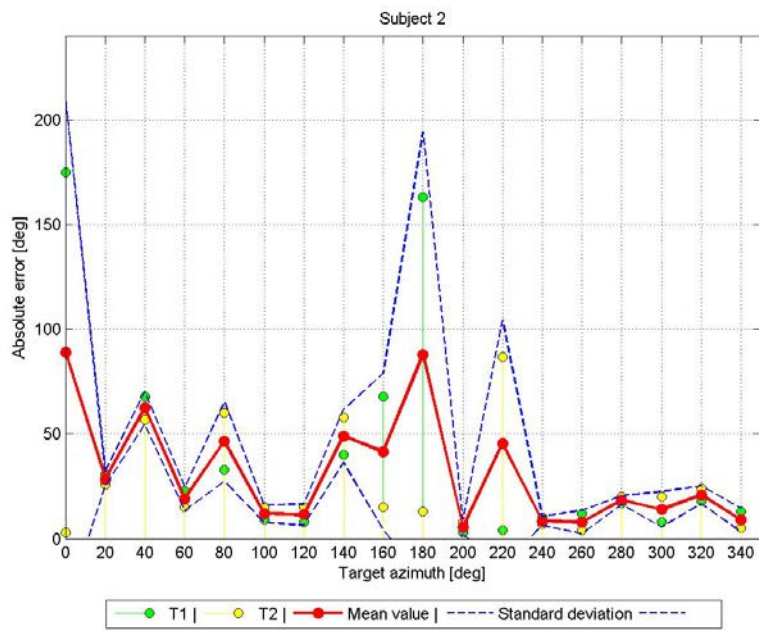
3.1.4.1 První test

První subjektivní test byl proveden s testovacím signálem navrženým v kapitole 3.1.1. Data pro měření (syntezované HRIR) byla poskytnuta Bc. T. Lindnerem, provedený test měl ověřit správnost navržené měřicí mřížky HRTF [9]. Tabulka s výsledky testu je v příloze E.

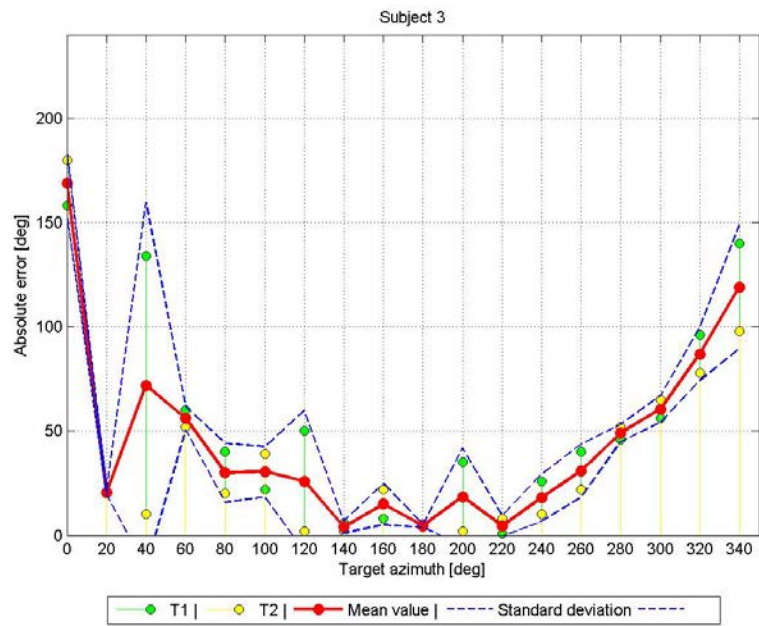
Měřili jsme 3 subjekty, s každým byly otestovány 2 mřížky – neuniformní, navržená Bc. T. Lindnerem, (Best Choice) a rovnoměrně rozložena s krokem 30° (Equidistant) [9]. Subjekt měl lokalizovat sadu virtuálních zdrojů, vytvořených pomocí konvoluce s krokem 20°, a poskytnutých v náhodném pořadí. Níže jsou uvedeny grafy, ukazující průměrnou chybu pro každý subjekt [Obr.3.21-23].



Obr. 3.21 - Grafy výsledků lokalizačních testů, Subjekt 1 - K. Mudroňová (T1 – Equidistant, T2 – Best Choice)



Obr. 3.22 - Grafy výsledků lokalizačních testů, Subjekt 2 - T. Lindner (T1 – Equidistant, T2 – Best Choice)

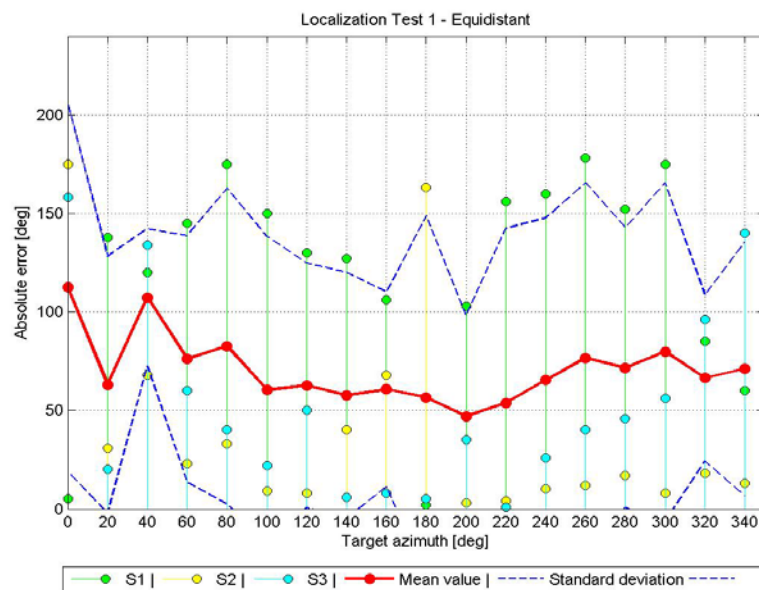


Obr. 3.23 - Grafy výsledků lokalizačních testů, Subjekt 3 - J. Zmatlík (T1 – Equidistant, T2 – Best Choice)

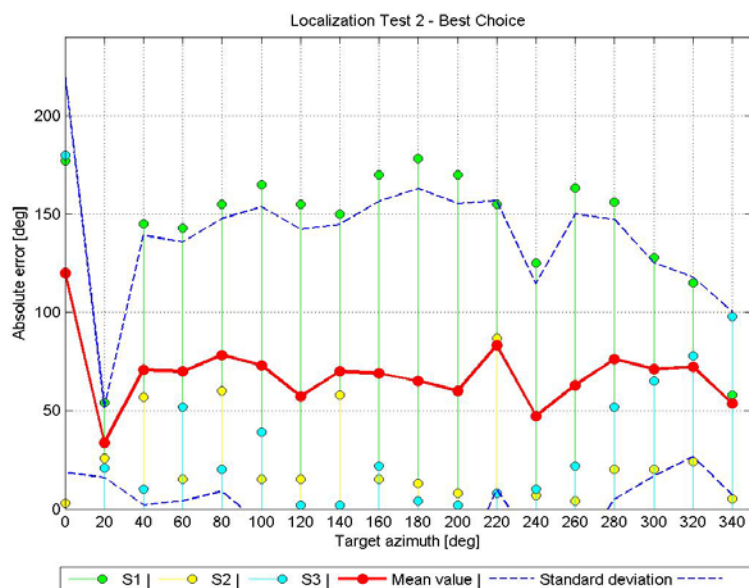
Kvůli tomu, že skript pro zpracování obrazu ještě nebyl hotov, poloha židle se odečítala ručně, což samozřejmě zhoršilo výsledky testu. Nicméně, z uvedených grafů je vidět, že chyby jsou mnohem větší než ty, které by vznikly z toho důvodu. Jednou z příčin je předozadní a boční zmatení: u 2. subjektu průměrná chyba je větší na cca 0° a 180°; u 3. subjektu průměrná chyba prudce roste když poloha virtuálního zdroje se blíží k 0°. U 1. subjektu průměrná chyba naopak dosáhne svého maxima na cca 90° a 270°.

To mohlo být způsobeno tím, že ve skutečnosti dojem zvuku vpředu a vzadu dává pohyb hlavou a způsobené tím „posunutí“ zdroje zvuku. Ale virtuální zvuk se během testu nahraje do sluchátek, a virtuální zdroj zvuku se pohybuje také. Proto se ve výsledcích objeví předozadní zmatení.

Další grafy [Obr. 3.24-3.25] ukazují průměrnou chybu pro každé HRTF [Tab. 3.3]. Vidíme, že rozptyl dat je velmi velký, a průměrná chyba se pohybuje v rozmezí cca 50°-100°.



Obr. 3.24 - Grafy výsledků lokalizačních testů, Test 1 - Equidistant (S1 – K. Mudroňová, S2 – T. Lindner, S3 – J. Zmatlík)



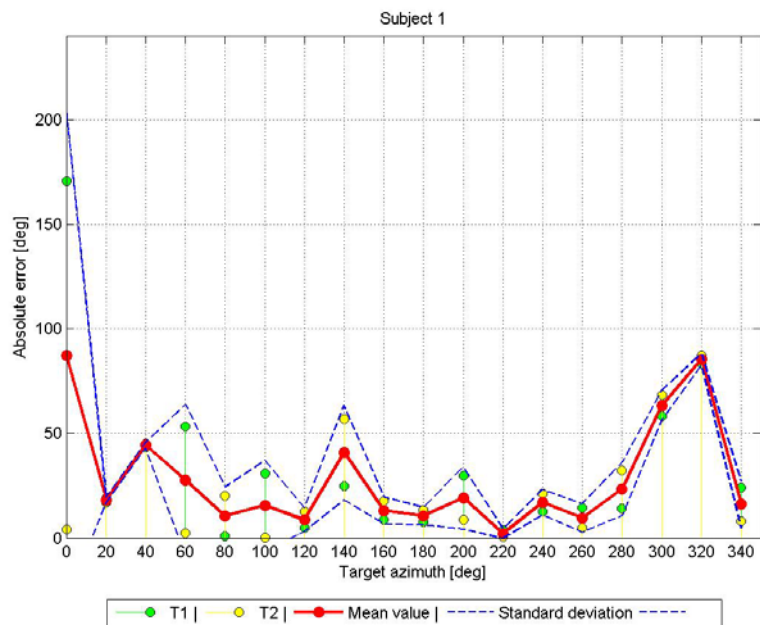
Obr. 3.25 - Grafy výsledků lokalizačních testů, Test 2 - Best Choice (S1 – K. Mudroňová, S2 – T. Lindner, S3 – J. Zmatlík)

φ_0 [°]	$\Delta\varphi_{meanT1}$ [°]	$\Delta\varphi_{meanT2}$ [°]
0,00	112,67	120,00
20,00	63,00	33,67
40,00	107,33	70,67
60,00	76,00	70,00
80,00	82,67	78,33
100,00	60,33	73,00
120,00	62,67	57,33
140,00	57,67	70,00
160,00	60,67	69,00
180,00	56,67	65,00
200,00	47,00	60,00
220,00	53,67	83,33
240,00	65,33	47,33
260,00	76,67	63,00
280,00	71,67	76,00
300,00	79,67	71,00
320,00	66,33	72,33
340,00	71,00	53,67

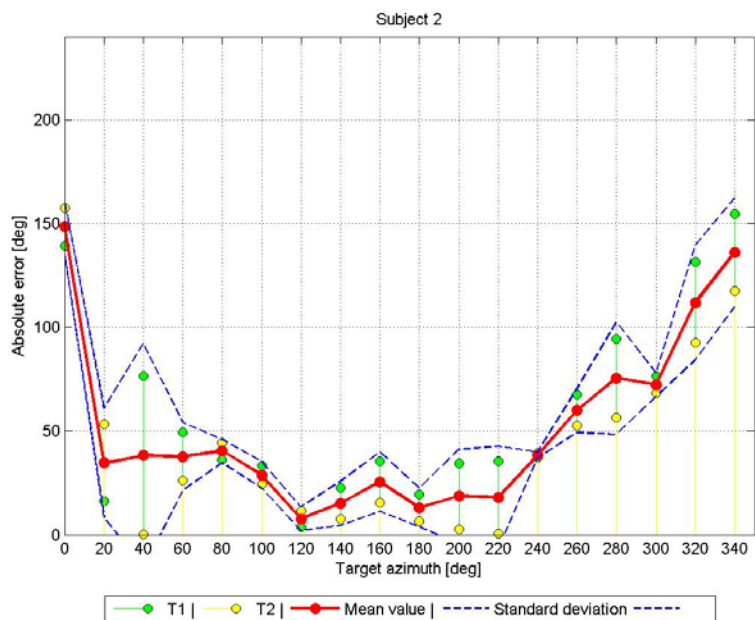
Tab. 3.3. – Průměrná chyba pro testované HRTF (φ_0 - testovaná hodnota, $\Delta\varphi_{mean}$ - průměrná chyba, T1 – Equidistant, T2 – Best Choice)

3.1.4.2 Druhý test

Po úpravě testovacích skriptů, aby se azimut odečítal automaticky, lokalizační testy byly provedeny po druhé. Měřila jsem 2 subjekty, znovu ty samé 2 mřížky a s krokem 20°. Tabulky s výsledky testu jsou v příloze E.

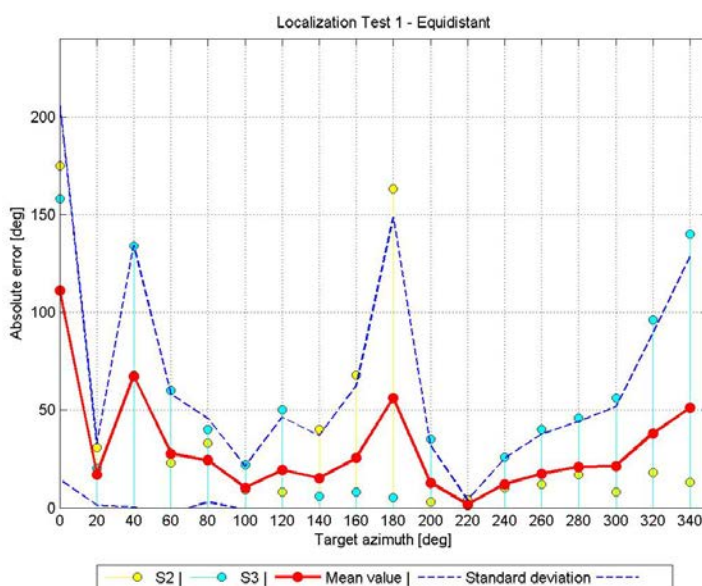


Obr. 3.26 - Grafy výsledků lokalizačních testů, Subjekt 1 - T. Lindner (T1 – Equidistant, T2 – Best Choice), druhý test

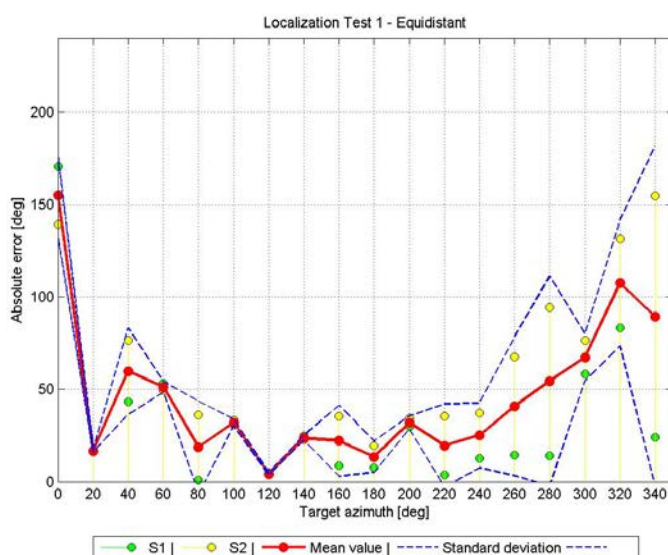


Obr. 3.27 - Grafy výsledků lokalizačních testů, Subjekt 2 - J. Zmatlík (T1 – Equidistant, T2 – Best Choice), druhý test

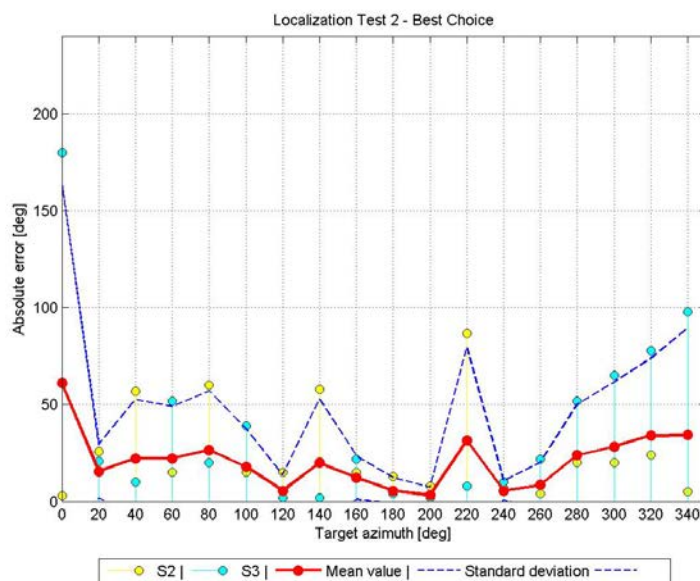
Při porovnání výsledků [Obr. 3.26-3.27] s prvním testem [Obr. 3.21-3.23] vidíme, že u 1. subjektu se zmenšila chyba na 180° ale se objevil vzrůst průměrné chyby na 300°-320°. Kromě toho, se zmenšil rozptyl chyb. U 2. subjektu se rozptyl chyb zvětšil na pravé straně (azimut od 180°) a zmenšil na levé straně (azimuth 0-180°). Celkem dá se říct, že stal víc rovnoměrně rozprostřeným. Tvar křivky (pokles na 180°, vzrůst na 0°) se zachovává.



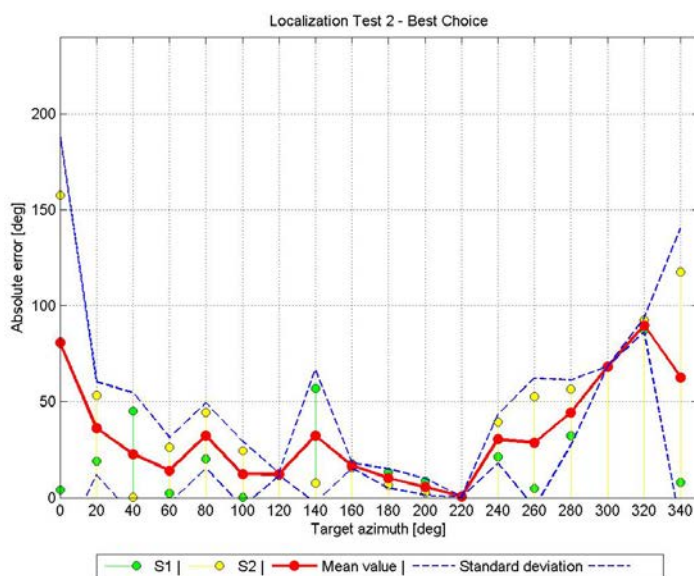
Obr. 3.28 - Grafy výsledků lokalizačních testů, Test 1 - Equidistant (S2 – T. Lindner, S3 – J. Zmatlík), první test



Obr. 3.29 - Grafy výsledků lokalizačních testů, Test 1 - Equidistant (S1 – T. Lindner, S2 – J. Zmatlík), druhý test



Obr. 3.30 - Grafy výsledků lokalizačních testů, Test 2 - Best Choice (S2 – T. Lindner, S3 – J. Zmatlík), první test



Obr. 3.31 - Grafy výsledků lokalizačních testů, Test 2 - Best Choice (S1 – T. Lindner, S2 – J. Zmatlík), druhý test

U 1. sady HRTF (rovnoměrné rozložení) [Obr. 3.28-3.29] se výrazně zmenšila průměrná chyba v okolí 180° a zmenšil se rozptyl chyb na levé straně. U 2. sady [Obr. 3.30-3.31] rozptyl se tak silně nemění, ale v obou případech křivka průměrné chyby získává tvar, vyjadřující předozadní zmatení subjektů, tj. zvětšila se chyba v okolí 0°.

Tabulka 3.4 ukazuje průměrnou chybu v prvním a druhém testu, počítanou pro T. Lindnera a J. Zmatlíka.

φ_0 [°]	$\Delta\varphi_{meanT1}$ [°] 1. test	$\Delta\varphi_{meanT1}$ [°] 2. test	$\Delta\varphi_{meanT2}$ [°] 1. test	$\Delta\varphi_{meanT2}$ [°] 2. test
0,00	111,00	154,93	61,00	80,72
20,00	17,00	16,60	15,67	36,10
40,00	67,33	59,78	22,33	22,67
60,00	27,67	51,31	22,33	14,21
80,00	24,33	18,55	26,67	32,31
100,00	10,33	32,09	18,00	12,31
120,00	19,33	4,18	5,67	12,20
140,00	15,33	23,68	20,00	32,20
160,00	25,33	22,12	12,33	16,60
180,00	56,00	13,54	5,67	10,03
200,00	12,67	32,09	3,33	5,57
220,00	1,67	19,55	31,67	0,50
240,00	12,00	25,07	5,67	30,42
260,00	17,33	40,89	8,67	28,58
280,00	21,00	54,37	24,00	44,35
300,00	21,33	67,35	28,33	68,36
320,00	38,00	107,41	34,00	89,86
340,00	51,00	89,30	34,33	62,73

Tab. 3.4 – Průměrná chyba pro testované HRTF v 1. a 2. testu (φ_0 - testovaná hodnota, $\Delta\varphi_{mean}$ - průměrná chyba, T1 – Equidistant, T2 – Best Choice)

3.1.4.3 Hodnocení výsledků

Jedinou závažnou změnou ve skriptu, provedenou po 1. testu, je zajištění automatického a přesnějšího odečítání azimutu. To urychlilo provedení testů, což dovolilo uživatelům víc se soustředit na lokalizaci virtuálních zdrojů zvuku. Předozadní zmatení, které se objevilo při prvním testu, zůstane se a zvýrazní se i ve výsledcích 2. testu. Lze usoudit, že je opravdu způsobeno znemožněním pohybu hlavou a individuálními lokalizačními schopnostmi subjektů, nebo nepřesnou syntézou HRTF. Kromě toho, rozptyl chyb se stal více rovnoměrným.

3.2 Návrhy pro další práce

Během testu subjekt používá sluchátka, klávesnici, pomocí které zvolí, jaký zdroj – reálný či virtuální – se bude přehrávat, a web-kameru, nainstalovanou pod sedadlem. Bylo zmíněno, že kabely všech těchto zařízení omezují pohyb při otáčení a překážejí ve správné lokalizaci. Bylo by možné použít bezdrátovou klávesnici nebo bezdrátová sluchátka, ale to by vyřešilo problém jen částečně.

4 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo se seznámit s metodami testování orientace ve virtuálním akustickém prostoru (VAS), se zaměřením na metodu Ing. T. Barátha. Měla jsem navrhnout a provést experimenty, ověřující její přesnost a použitelnost, a implementovat možná vylepšení.

V teoretické části probírala jsem základní mechanismy lokalizace zdroje zvuku ve VAS a metody poslechových testů včetně metody Ing. T. Barátha. V praktické části jsem popsala provedené experimenty.

První část zadání - ověřit přesnost prozkoumané metody. Zaměřila jsem se na vliv použitých sluchátek. Díky své konstrukci pecky nebudou tak silně kazit výsledky, jako uzavřená sluchátka, ale stejně zanášejí určitou chybu. Mým cílem bylo zjistit, jak velkou, a můžeme-li ji zanedbat. Nasazená sluchátka ovlivňují hlavně lokalizaci vnějšího referenčního zdroje zvuku, a tím překážejí správnému porovnání poloh vnějšího a virtuálního zdrojů. Proto jsem testovala, jak přesně se lokalizuje referenční zdroj, když má subjekt nasazená sluchátka bez signálu a když nemá žádná sluchátka. Lokalizovat vnější zdroj subjekty měli pomocí laserového ukazovátka, jehož poloha se počítala zpracováním obrazu v Matlabu. Zjistila jsem, že průměrná úhlová odchylka při nasazených sluchátkách u jednotlivých subjektů nepřesahuje 18° , což je hodnota porovnatelná s tolerovanou odchylkou lidského ucha v horizontální rovině (15° [4]). Když porovnáme grafy průměrných odchylek při měření s a bez sluchátek, uvidíme, že se moc neliší a kolísají v rozmezí cca 2° až 7° , což je zanedbatelná hodnota.

Potom jsem implementovala 2 vylepšení: vyměnila jsem referenční šumový signál z růžového na bílý šum; a použila jsem zcela jinou metodu zpracování obrázku pro zjištění polohy subjektu.

Ve své práci [1] Ing. T. Baráth píše, že subjekty jeho testu si všimli rozdílu mezi signálem z reproduktoru a ze sluchátek, způsobenému rozdílem mezi přenosovými funkcemi obou zařízení. Proto jsem vyzkoušela různé šumové signály - víme, že pro naše účely signál má být širokopásmový - postupnou reprodukcí z referenčního zdroje a ze sluchátek. Testování měli subjektivně vyhodnotit rozdíl mezi oběma případy. Z výsledků je jasné, že nejlepší hodnocení mají šedý a bílý šum. Ale šedý šum, i když zní stejně hlasitě, má velmi nízké hodnoty ve středu spektra, proto jsem rozhodla použít bílý šum. Když později jsem prováděla lokalizační testy, nikdo ze subjektů si na rozdíl signálů nestěžoval.

Další úpravou je metoda počítání azimutu. Počítá se pomocí testovacího obrazce - víme-li jeho šířku, můžeme rychle a jednoduše najít i úhel (úhel roste přímo úměrně šířce). Ve své práci [1] Ing. T. Baráth zaznamená obrazec pomocí web kamery a zpracovává všechny údaje v Matlabu pomocí Image Acquisition Toolboxu, který

není k dispozici na fakultě. Později Ing. J. Bouše v [21] navrhl způsob uložit data z kamery pomocí externího programu [20]. Způsob zpracování obrazu zůstal stejný - používá se prahová binarizace a počítá se počet černých pixelů v centrální části obrazce. První kamera, kterou používal Ing. T. Baráth, nedokázala sejmout dostatečně kvalitní obrazy na správnou binarizaci, obrazy byly příliš tmavé. Nainstalovala jsem jinou kameru, která je vybavena LED-osvětlením, ale ta taky zanášela chybu do výsledků, nyní kvůli odleskům. Pokusila jsem si měnit různé parametry zpracování, hlavně algoritmy binarizace, ale chybu to neodstranilo. Proto jsem místo prahové binarizaci obrazu napsala funkci, zaměřující se na detekci hran obrázku. Toto vylepšení bylo ověřeno při porovnání výsledků 2 lokalizačních testů, provedených před a po implementaci nové funkce. Zmenšila se doba provedení testu, díky tomu subjekty mohli věnovat víc pozornosti na správnou lokalizaci signálů; kromě toho, rozptyl chyb se zmenšil a stal více rovnoměrným. Předozadní zmatení, které se ukázalo při 1 testu, se zachovává – což znamená, že bylo způsobeno pravděpodobně individuálními lokalizačními schopnostmi subjektů, nebo chybnou syntézou HRTF.

Další práce v této oblasti, kterou by se chtělo zabývat, zahrnuje zlepšení a uspořádání testovacích prostředků pro rychlejší a snadnější testování.

Seznam použité literatury

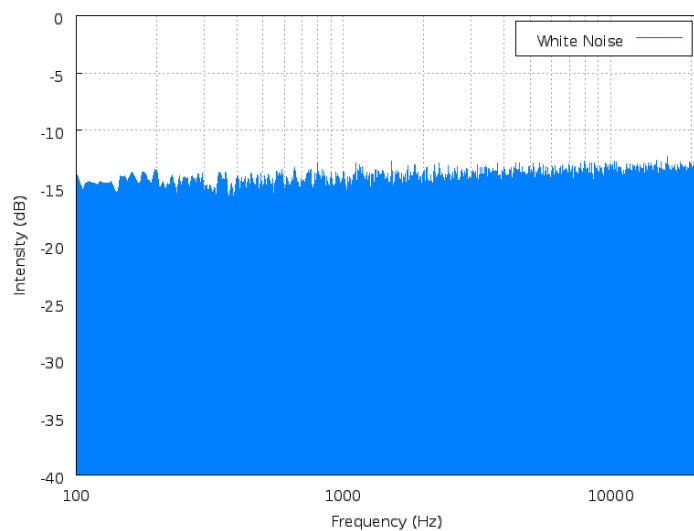
- [1] Baráth, T.: Localization Test in Virtual Acoustic Space. Praha: ČVUT v Praze. Elektrotechnická fakulta. Katedra radioelektroniky, 2013. Vedoucí diplomové práce Ing. František Rund, Ph.D.
- [2] Štorek, D.: Studium binaurální lokalizace zdroje zvuku. Praha: ČVUT v Praze. Elektrotechnická fakulta. Katedra radioelektroniky, 2010. Vedoucí diplomové práce Ing. František Rund, Ph.D.
- [3] Vorobjev, J.: V okruženii virtual'nogo zvuka <http://hitech.mail.ru/article/misc/v_okruženii_virt-zvuka_avreport.html>
- [4] Domashniy teatr | Magazin "Elektro" <<http://electro-mn.ru/art-23>>
- [5] Algazi, V.R.; Duda, R.O.; Thompson, D.M.; Avendano, C. "The CIPIC HRTF database", Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics, 2001 IEEE Workshop on the , vol., no., pp.99-102, 2001
- [6] Otsu, N.: A threshold selection method from grey-level histograms. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-8, 1979, pp. 62-66
- [7] Sauvola*, J., Pietkainen, M.: Adaptive document image binarization. Pattern Recognition Society, 1999, pp. 231-232
- [8] Jiejing Zhou, Yunfei Liu, Peng Li: Research on Binarization of QR Code Image. International Conference on Multimedia Technology (ICMT), 2010, pp. 1-4
- [9] Lindner, T.: Optimalizace měření a zpracování HRTF. Praha: ČVUT v Praze. Elektrotechnická fakulta. Katedra radioelektroniky, 2014. Vedoucí diplomové práce Ing. František Rund, Ph.D.
- [10] Rychtáriková, Monika; Bogaert, Tim Van den; Vermeir, Gerrit; Wouters, Jan: Binaural Sound Source Localization in Real and Virtual Rooms. JAES Volume 57 Issue 4, pp. 205-220; April 2009
- [11] Gröhn, M., Lokki, T., Savioja, L.: Using binaural hearing for localization in multimodal virtual environments. Proceedings of the 17th International Congress of Acoustics (ICA 2001) (Vol. IV).
- [12] Zotkin D., Hwang J., Duraiswami R., Davis L.: HRTF Personalization using anthropometric measurements. IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics, October 2003
- [13] Barvy šumu – Wikipedie

- [14] Satongar, D., Pike, C., Lam Yiu, Tew, A. I.: On the Influence of Headphones on Localisation of Loudspeaker Sources. 135th Audio Engineering Society Convention, New York, 2013.
- [15] Syrový, V.: Hudební akustika. Akademie múzických umění, 2003.
- [16] Sluchátka – Wikipedie
- [17] Edge Detection - MATLAB and Simulink, <<http://www.mathworks.com/discovery/edge-detection.html>>
- [18] Morse, B. S.: Lecture 4: Thresholding. Brigham Young University, 1998–2000
- [19] Jos, "getkey", Matlab Central, File exchange, <<http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/7465>>, Uploaded 18.4.2005, Updated 26.6.2012
- [20] Burke, T.: Ultra-simple machine vision in C with RobotEyez, Uploaded 27 Nov. 2011, Last Updated 7 Mar. 2012 <<http://batchloaf.wordpress.com/2011/11/27/ultra-simple-machine-vision-in-c-with-roboteyes/>>
- [21] Baráth, T., Rund, F., Bouše, J.: Comprehensive MATLAB Tool for HRTF Measurement and Virtual Auditory Space Testing”. In: 21st Annual Conference Proceedings Technical Computing Prague (2013). <http://www2.humusoft.cz/www/papers/matlab13/052_rund.pdf>

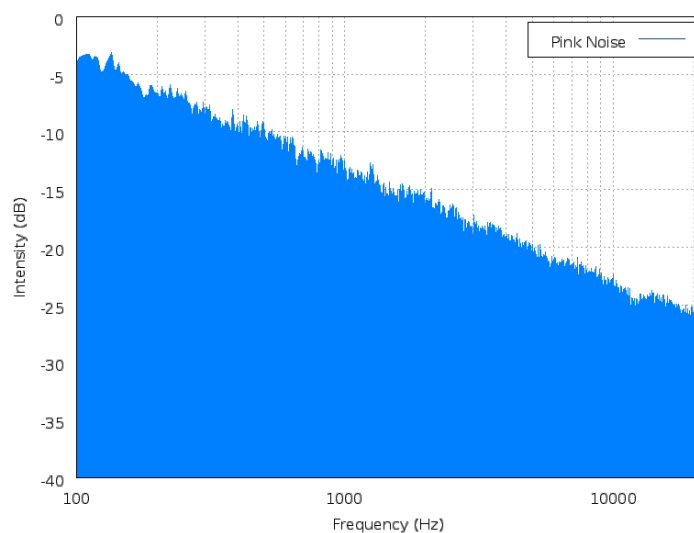
Přílohy

A. Spektra šumů různých barev

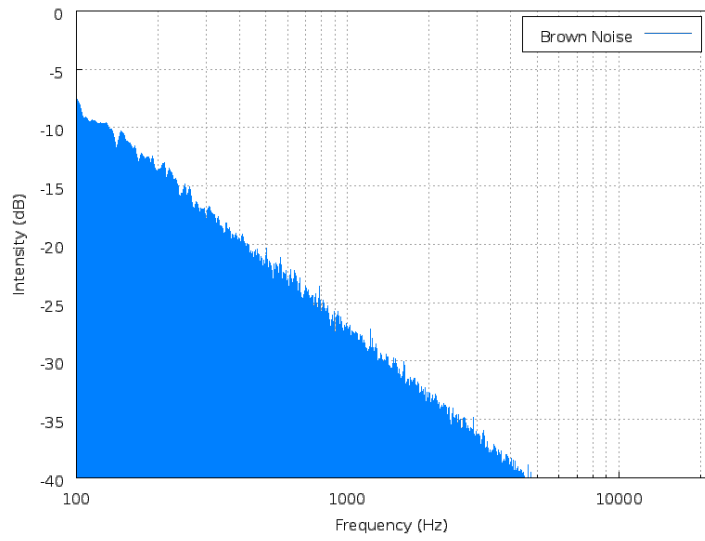
Bílý šum [13]



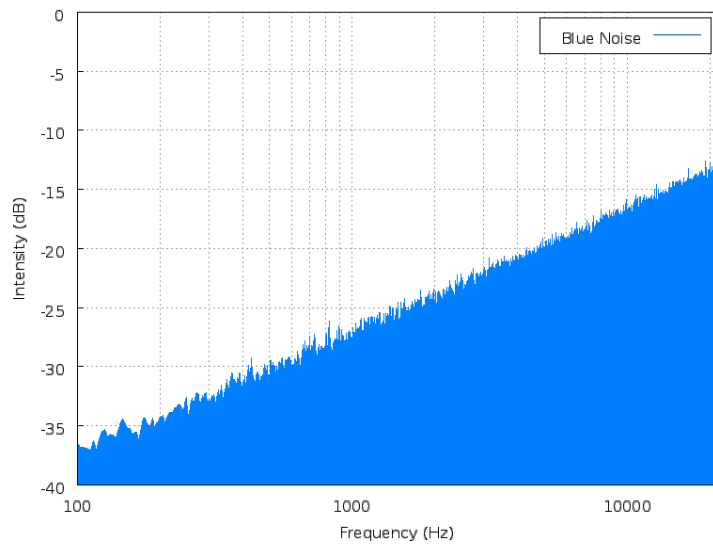
Růžový šum [13]



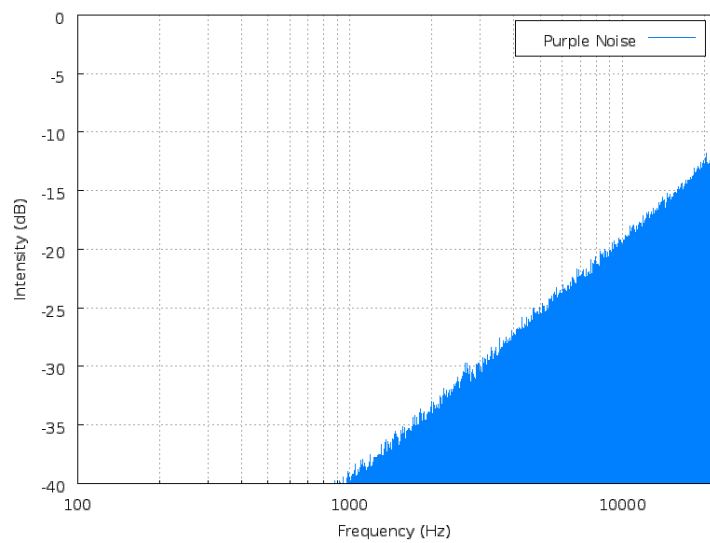
Červený (hnědý) šum [13]



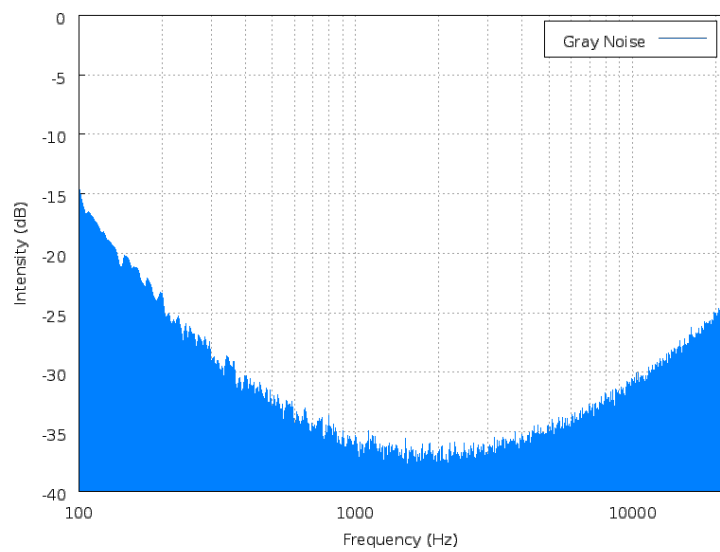
Modrý šum [13]



Purpurový šum [13]



Šedý šum [13]



B. Tabulka výsledků ověření přesnosti detekování hran

φ_r [°]	φ_m [°]	$\Delta\varphi$ [°]	φ_r [°]	φ_m [°]	$\Delta\varphi$ [°]	φ_r [°]	φ_m [°]	$\Delta\varphi$ [°]	φ_r [°]	φ_m [°]	$\Delta\varphi$ [°]
10	10,03	0,03	100	98,27	1,73	190	187,52	2,48	280	275,77	4,23
20	19,05	0,95	110	108,30	1,70	200	196,55	3,45	290	286,80	3,20
30	31,09	1,09	120	118,33	1,67	210	204,57	5,43	300	297,83	2,17
40	40,11	0,11	130	130,36	0,36	220	216,60	3,40	310	311,87	1,87
50	49,14	0,86	140	141,39	1,39	230	225,63	4,37	320	321,89	1,89
60	59,16	0,84	150	149,42	0,58	240	238,66	1,34	330	331,92	1,92
70	68,19	1,81	160	158,44	1,56	250	247,69	2,31	340	339,94	0,06
80	79,22	0,78	170	169,47	0,53	260	256,71	3,29	350	351,98	1,98
90	87,24	2,76	180	177,49	2,51	270	263,73	6,27	360	361,00	1,00

φ_r – nastavený úhel

φ_m – detekovaný úhel

$\Delta\varphi$ – absolutní chyba měření

Průměrná chyba je 1,998°.

C. Návod k testu vlivu sluchátek na lokalizaci vnějšího zdroje

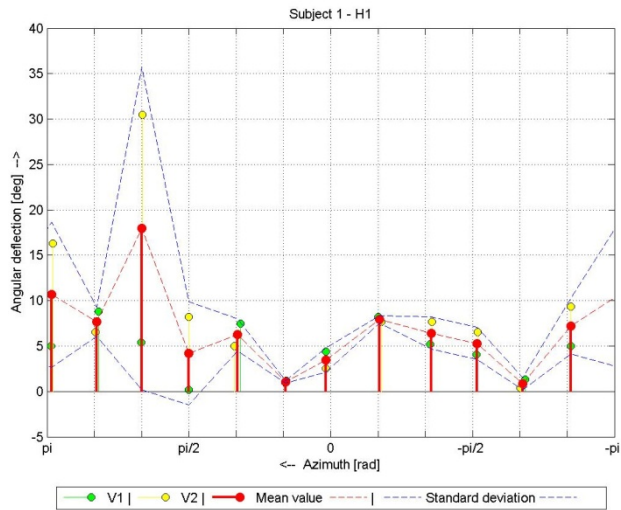
Vaším úkolem je najít zdroj zvuku s zavřenými očmi. Nejprve to se udělá s nasazenými sluchátky, pak bez nich, výsledky se porovnávají. Než se začne měřit, provede se trénovací sekvence (máte se otáčet na židli a poslouchat, jak zní signál z reproduktoru z různých směrů).

1. Nasadíte masku na oči. Přesvědčte se, že nevidíte vůbec nic.
2. Asistent Vás roztočí, pokud se úplně neztratíte, pomůže si sednout na točící židli a nastaví její polohu.
3. Asistent spustí zvukový signál. Je to šumový signál ve tvaru 3 krátkých impulzů.
4. Vaším úkolem je vzít laserové ukazovátka a ukázat směr, ze kterého si myslíte, že přichází zvuk.
5. Všechno se opakuje.

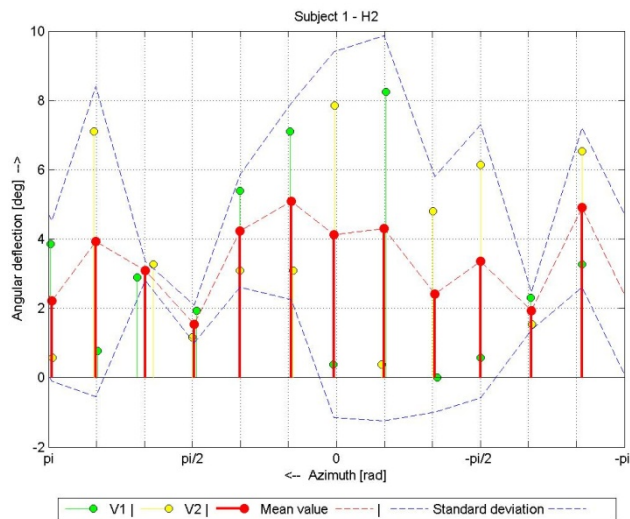
D. Grafy „Subjekt – Sluchátka“

V. Vagner

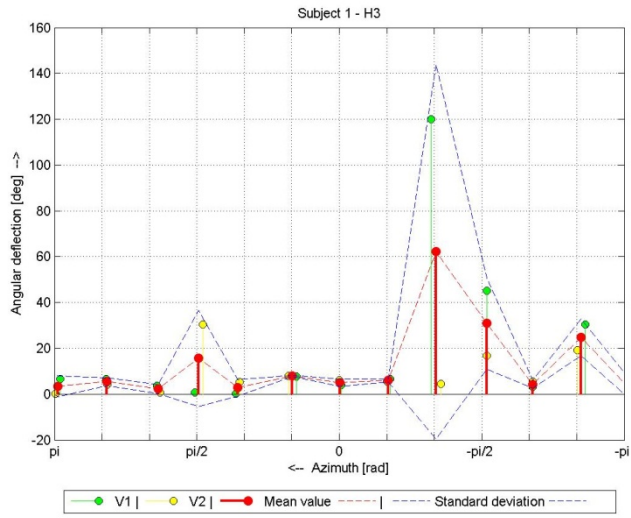
H1 - pecky Sennheiser MX 375 (V1 – 1. měření, V2 – 2. měření)



H2 – žádná sluchátka (V1 – 1. měření, V2 – 2. měření)

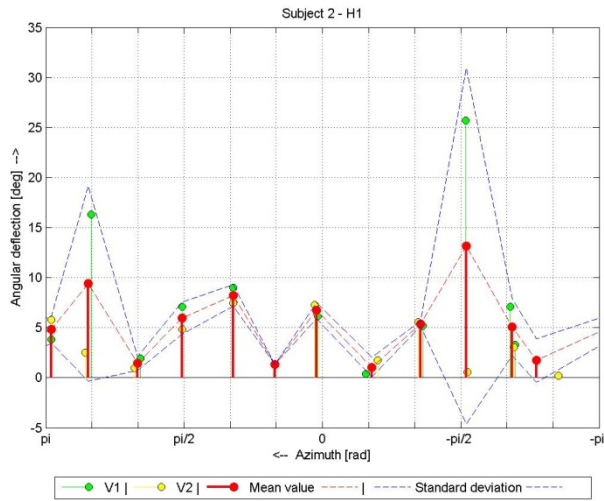


H3 - uzavřená sluchátka Sennheiser HD 280 (V1 – 1. měření, V2 – 2. měření)

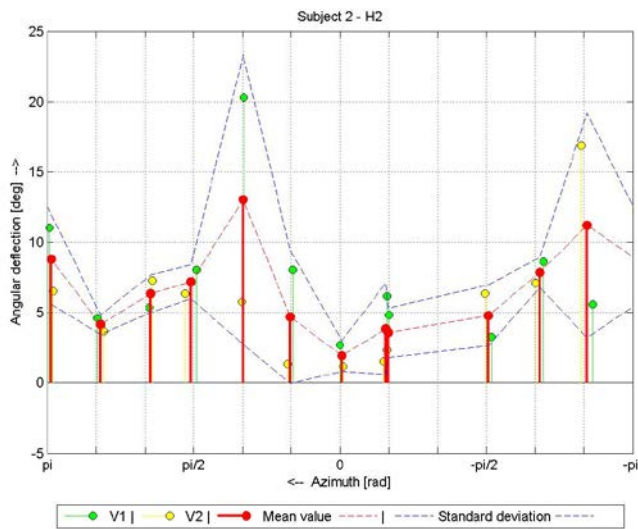


E. Vagner

H1 - pecky Sennheiser MX 375 (V1 – 1. měření, V2 – 2. měření)

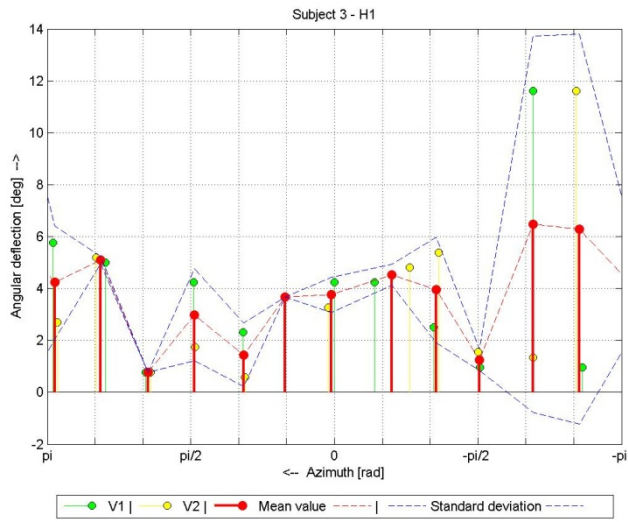


H2 – žádná sluchátka (V1 – 1. měření, V2 – 2. měření)

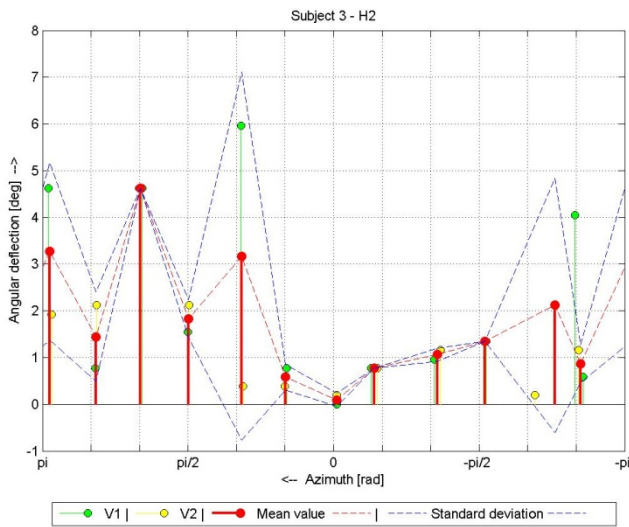


S. Dyussekenova

H1 - pecky Sennheiser MX 375 (V1 – 1. měření, V2 – 2. měření)



H2 – žádná sluchátka (V1 – 1. měření, V2 – 2. měření)



E. Tabulky výsledků lokalizačních testů

φ_0 – testovaná hodnota

φ – ukazovaná hodnota (T1 – Equidistant, T2 – Best Choice)

$\Delta\varphi$ – absolutní chyba

$\Delta\varphi_{mean}$ – průměrná chyba

$\Delta\varphi_{std}$ – směrodatná odchylka

První test

K. Mudroňová

φ_0 [°]	φ_{T1} [°]	$\Delta\varphi_{T1}$ [°]	φ_{T2} [°]	$\Delta\varphi_{T2}$ [°]	$\Delta\varphi_{mean}$ [°]	$\Delta\varphi_{std}$ [°]
0,00	355,00	5,00	183,00	177,00	91,00	121,62
20,00	242,00	138,00	326,00	54,00	96,00	59,40
40,00	280,00	120,00	255,00	145,00	132,50	17,68
60,00	275,00	145,00	277,00	143,00	144,00	1,41
80,00	255,00	175,00	285,00	155,00	165,00	14,14
100,00	250,00	150,00	265,00	165,00	157,50	10,61
120,00	250,00	130,00	275,00	155,00	142,50	17,68
140,00	267,00	127,00	290,00	150,00	138,50	16,26
160,00	266,00	106,00	330,00	170,00	138,00	45,25
180,00	182,00	2,00	358,00	178,00	90,00	124,45
200,00	97,00	103,00	30,00	170,00	136,50	47,38
220,00	64,00	156,00	65,00	155,00	155,50	0,71
240,00	80,00	160,00	115,00	125,00	142,50	24,75
260,00	82,00	178,00	97,00	163,00	170,50	10,61
280,00	72,00	152,00	76,00	156,00	154,00	2,83
300,00	115,00	175,00	68,00	128,00	151,50	33,23
320,00	45,00	85,00	75,00	115,00	100,00	21,21
340,00	40,00	60,00	38,00	58,00	59,00	1,41

T. Lindner

φ_0 [°]	φ_{T1} [°]	$\Delta\varphi_{T1}$ [°]	φ_{T2} [°]	$\Delta\varphi_{T2}$ [°]	$\Delta\varphi_{mean}$ [°]	$\Delta\varphi_{std}$ [°]
0,00	175,00	175,00	3,00	3,00	89,00	121,62
20,00	51,00	31,00	46,00	26,00	28,50	3,54
40,00	108,00	68,00	97,00	57,00	62,50	7,78
60,00	83,00	23,00	75,00	15,00	19,00	5,66
80,00	113,00	33,00	140,00	60,00	46,50	19,09
100,00	91,00	9,00	115,00	15,00	12,00	4,24
120,00	128,00	8,00	105,00	15,00	11,50	4,95
140,00	100,00	40,00	82,00	58,00	49,00	12,73
160,00	92,00	68,00	145,00	15,00	41,50	37,48
180,00	343,00	163,00	193,00	13,00	88,00	106,07
200,00	197,00	3,00	208,00	8,00	5,50	3,54
220,00	216,00	4,00	307,00	87,00	45,50	58,69
240,00	250,00	10,00	247,00	7,00	8,50	2,12
260,00	272,00	12,00	264,00	4,00	8,00	5,66
280,00	263,00	17,00	260,00	20,00	18,50	2,12
300,00	292,00	8,00	280,00	20,00	14,00	8,49
320,00	302,00	18,00	296,00	24,00	21,00	4,24
340,00	327,00	13,00	335,00	5,00	9,00	5,66

J. Zmatlík

φ_0 [°]	φ_{T1} [°]	$\Delta\varphi_{T1}$ [°]	φ_{T2} [°]	$\Delta\varphi_{T2}$ [°]	$\Delta\varphi_{mean}$ [°]	$\Delta\varphi_{std}$ [°]
0,00	158,00	158,00	180,00	180,00	169,00	15,56
20,00	40,00	20,00	41,00	21,00	20,50	0,71
40,00	174,00	134,00	50,00	10,00	72,00	87,68
60,00	120,00	60,00	112,00	52,00	56,00	5,66
80,00	120,00	40,00	60,00	20,00	30,00	14,14
100,00	122,00	22,00	139,00	39,00	30,50	12,02
120,00	70,00	50,00	118,00	2,00	26,00	33,94
140,00	134,00	6,00	138,00	2,00	4,00	2,83
160,00	152,00	8,00	138,00	22,00	15,00	9,90
180,00	175,00	5,00	176,00	4,00	4,50	0,71
200,00	235,00	35,00	198,00	2,00	18,50	23,33
220,00	221,00	1,00	212,00	8,00	4,50	4,95
240,00	214,00	26,00	230,00	10,00	18,00	11,31
260,00	220,00	40,00	238,00	22,00	31,00	12,73
280,00	234,00	46,00	228,00	52,00	49,00	4,24
300,00	244,00	56,00	235,00	65,00	60,50	6,36
320,00	224,00	96,00	242,00	78,00	87,00	12,73
340,00	200,00	140,00	242,00	98,00	119,00	29,70

Druhý test

T. Lindner

φ_0 [°]	φ_{T1} [°]	$\Delta\varphi_{T1}$ [°]	φ_{T2} [°]	$\Delta\varphi_{T2}$ [°]	$\Delta\varphi_{mean}$ [°]	$\Delta\varphi_{std}$ [°]
0,00	189,53	170,47	355,99	4,01	87,24	117,71
20,00	37,10	17,10	1,00	19,00	18,05	1,34
40,00	83,23	43,23	85,24	45,24	44,23	1,42
60,00	113,31	53,31	62,17	2,17	27,74	36,16
80,00	79,22	0,78	100,28	20,28	10,53	13,79
100,00	69,19	30,81	100,28	0,28	15,54	21,59
120,00	115,32	4,68	107,30	12,70	8,69	5,67
140,00	115,32	24,68	83,23	56,77	40,72	22,69
160,00	151,42	8,58	142,40	17,60	13,09	6,38
180,00	187,52	7,52	166,46	13,54	10,53	4,25
200,00	229,64	29,64	208,58	8,58	19,11	14,89
220,00	223,62	3,62	219,61	0,39	2,01	2,28
240,00	252,70	12,70	218,61	21,39	17,05	6,15
260,00	245,68	14,32	264,74	4,74	9,53	6,78
280,00	265,74	14,26	247,69	32,31	23,29	12,76
300,00	241,67	58,33	231,64	68,36	63,34	7,09
320,00	236,66	83,34	232,65	87,35	85,35	2,84
340,00	315,88	24,12	331,92	8,08	16,10	11,35

J. Zmatlík

φ_0 [°]	φ_{T1} [°]	$\Delta\varphi_{T1}$ [°]	φ_{T2} [°]	$\Delta\varphi_{T2}$ [°]	$\Delta\varphi_{mean}$ [°]	$\Delta\varphi_{std}$ [°]
0,00	139,39	139,39	157,44	157,44	148,41	12,76
20,00	36,10	16,10	73,20	53,20	34,65	26,24
40,00	116,32	76,32	40,11	0,11	38,22	53,89
60,00	109,30	49,30	86,24	26,24	37,77	16,31
80,00	116,32	36,32	124,35	44,35	40,33	5,67
100,00	133,37	33,37	124,35	24,35	28,86	6,38
120,00	116,32	3,68	108,30	11,70	7,69	5,67
140,00	117,33	22,67	132,37	7,63	15,15	10,64
160,00	124,35	35,65	144,40	15,60	25,63	14,18
180,00	160,45	19,55	173,48	6,52	13,04	9,22
200,00	165,46	34,54	202,56	2,56	18,55	22,61
220,00	184,51	35,49	220,61	0,61	18,05	24,66
240,00	202,56	37,44	200,56	39,44	38,44	1,42
260,00	192,53	67,47	207,58	52,42	59,94	10,64
280,00	185,52	94,48	223,62	56,38	75,43	26,94
300,00	223,62	76,38	231,64	68,36	72,37	5,67
320,00	188,52	131,48	227,63	92,37	111,92	27,65
340,00	185,52	154,48	222,62	117,38	135,93	26,24

F. Přílohy na CD

* - autor souboru je Ing. T. Baráth, jsem pouze upravovala text pro své testy.

** - autor souboru je Ing. J. Bouše

F.1 Calibration

Tady jsou uloženy všechny skripta a soubory, použité při kalibraci azimutu, a porovnání přesností různých algoritmů binarizace.

- **Compare.m**
Skript na porovnání přesností různých algoritmů binarizace.
- **Example.m***
Vzorek, ukazuje, jak má se počítat azimut.
- **GetAccuracy.m**
Skript na počítání průměrné přesností metody detekce hran.
- **GetAzmth.m***
Funkce na počítání azimutu
- **GetZeroAzimuth.m***
Funkce, která uloží počáteční polohu
- **GetBnd.m**
Funkce pro případnou kalibraci výpočtu.
- **preproc.m**
Funkce na zpracování obrazu metodou detekci hran. Výstupem je šířka obrázku v centrální části.
- **getkey.m**
Funkce z [19] pro vyhodnocení vstupu z klávesnice.
- **RobotEyez.exe**
Soubor z [20], umožňuje ukládat obrazy z web kamery.

F.1.1 Compare

V této složce jsou uloženy výsledné obrázky a matice ze skripta *Compare.m*, ve které se porovnávali různé metody binarizace obrazu.

F.1.2 Frames

V této složce jsou uloženy obrázky, které se zůstaly po ověření přesností metody detekce hran obrázky.

F.2 SoundTest

Složka zahrnuje WAV-soubory jednotlivých šumových signálů a skript, v němž je uložen postup testování.

- **SoundTest.m**
- **getkey.m**
- **playDsp.m****

Skript na přehrávání audio souboru z reproduktoru nebo ze sluchátek.

F.3 HeadphonesTest

Tady jsou uloženy všechny skripta a soubory, použité při ověření vlivu sluchátek na lokalizaci.

- **HeadphonesTestScriptPart1Measurement.m**
Skript, zahrnující postup testu, výstupem je MAT-soubor s hodnotami změřených azimutů, a s obrazy reproduktoru pro každou polohu.
- **HeadphonesTestScriptPart2Calculation**
Skript na zpracování obrazů reproduktoru, uloží do původního MAT-souboru hodnoty úhlových odchylek.
- **HeadphonesTestScriptPart3Plots**
Skript na vykreslení grafů.
- **Azimuth.m***
To samé, jako *GetAzimuth.m*
- **preproc.m**
- **playDsp.m****
- **getkey.m**
- **GetBnd.m**

F.3.1 Results

Tady jsou uloženy výsledky testu – MAT-soubory a grafy.

F.4 LocalizationTest

Tady jsou uloženy všechny skripta a soubory, použité při subjektivních lokalizačních testech.

- **LocalizationTestScript.m***
Skript, zahrnující postup lokalizačního testu, výstupem je MAT-soubor s hodnotami azimutů (změřených a očekávaných), a jednotlivé obrazy z kamery, pomocí kterých se počítal azimut.
- **HRTFfilt.m****
Funkce na vytvoření virtuálního akustického prostoru.
- **playDsp.m****
- **getkey.m**
- **Azimuth.m***
- **preproc.m**
- **GetBnd.m**
- **DataProcessing.m**
Skript na zpracování výsledků testu. Vykresluje grafy.
- **RobotEyez.exe**

F.4.1 HRTF

Tady jsou uloženy MAT-soubory s HRIR pro jednotlivé subjekty.

F.4.2 Test1

- **DataProcessing1.m**

F.4.2.1 Results

Tady jsou uloženy výsledky 1. testu.

F.4.3 Results

Tady jsou uloženy výsledky 2. testu.

G. Obrazová příloha

Kamera Canyon CNR-WCAM820



Kamera Trust SpotLight Webcam Pro

