

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra informačního inženýrství



Diplomová práce

Využití holofonního prostorového zvuku
pro účel rozšířené reality

Autor práce: **Bc. Tomáš Mudruňka**

Vedoucí práce: **Ing. Josef Pavlíček, Ph.D.**

©2017 ČZU v Praze

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Tomáš Mudruňka

Informatika

Název práce

Využití holofonního prostorového zvuku pro účel rozšířené reality

Název anglicky

Use of spatial holophonic sound for augmented reality purposes

Cíle práce

Prostudujte možnosti využití holofonního prostorového zvuku k implementaci rozšířené reality. Na základě získaných poznatků navrhnete systém, který bude demonstrovat jejich využití. Systém bude realizovaný formou aplikace pro mobilní telefon. Aplikace bude svému uživateli prezentovat informace získané z externích zdrojů. Tyto informace budou prezentovány pomocí holofonních zvukových signálů, což má umožnit jejich podvědomé vnímání uživatelem. V ideálním případě budou prezentovány informace z bezprostředního okolí uživatele způsobem, který umožní, aby je uživatel podvědomě zapracoval do svého subjektivního obrazu reality. Tím by měla u uživatele vzniknout iluze, že má "šestý smysl", skrze který může s informacemi pracovat nejen racionálně, ale také intuitivně. Provedte test tohoto řešení a výsledky publikujte.

Metodika

Metodika diplomové práce je založena na analýze lidského vnímání zvuků vytvořených nebo zachycených pomocí holofonní technologie. Dále budou poznatky využity v praxi při tvorbě mobilní aplikace. Následně bude kriticky zhodnocena přínosnost této aplikace a budou navržena případná vylepšení.

Doporučený rozsah práce

60 str.

Klíčová slova

holofonní zvuk, prostorový zvuk, rozšířená realita

Doporučené zdroje informací

Baxter, A.J., and Kemp, David T.; "Zuccarelli's Theory," New Scientist, 606-606 1983
Gilkey & Anderson, "Binaural and Spatial Hearing in Real and Virtual Environments"
Holophonics. [online]. [cit. 2016-03-21]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Holophonics>
"Process for forming an acoustic monitoring device", US Patent 4,680,856
Zuccarelli, Hugo; "Ears Hear by Making Sounds," New Scientist, 438-440 1983

Předběžný termín obhajoby

2017/18 ZS – PEF (únor 2018)

Vedoucí práce

Ing. Josef Pavlíček, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra informačního inženýrství

Elektronicky schváleno dne 1. 12. 2017

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 1. 12. 2017

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 01. 12. 2017

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci „Využití holofonního prostorového zvuku pro účel rozšířené reality” jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

Podepsán Tomáš Mudruňka dne 23.11. 2017

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Josefu Pavlíčkovi, Ph.D. za konzultace a odborné vedení práce. Poděkování patří též rodině a všem blízkým, kteří mě při psaní této práce podporovali. Děkuji respondentům dotazníkového šetření v této práci, bez kterých by její uskutečnění nebylo možné. Stejně tak i mé nejdražší Bc. Barboře Fišerové z fakulty tropického zemědělství ČZU, která pomáhala respondenty shánět. S díky se zmiňuji také o pracovnících multimediální laboratoře na MIT (Bill Gardner and Keith Martin), bez kterých bych pro tuto práci neměl dostatek dat. Taktéž děkuji autorům svobodného softwaru, který je v práci používán a popisován (3DSound by Gary Bishop, SoX by Lance Norskog, Chris Bagwell and contributors, PHP, Apache HTTPd, R Project, Just-A-Damn-Compass by James Baster), stejně jako autorům softwaru, který byl při psaní práce použit (sémantický editor L^AT_EX a verzovací systém Git). Poslední, ale za to čestné poděkování patří fence se zábavným jménem Pind'a, která mě při bloudění po Krkonošských lesích inspirovala k zájmu o tuto problematiku a vytvoření experimentální „štěkací“ mobilní aplikace pro zlepšení orientace v lesích.

Využití holofonního prostorového zvuku pro účel rozšířené reality

Abstrakt

Práce mapuje možnosti využití binaurálního prostorového zvuku k implementaci aplikací rozšířené reality pomocí mobilních telefonů.

Klíčová slova

holofonní zvuk, prostorový zvuk, rozšířená realita

Use of spatial holophonic sound for augmented reality purposes

Abstract

This thesis maps possibility of using binaural spatial audio in applications of augmented reality using mobile phones.

Keywords

holophonic sound, spatial sound, augmented reality

Obsah

Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	11
1 Cíl práce	12
2 Metodika práce	12
3 Popis prostředků využitých v práci	12
3.1 Přehled použitých konceptů	12
3.1.1 Stereo audio	12
3.1.2 Binaurální audio	13
3.2 Zázněj	13
3.2.1 Holofonní audio	14
3.2.2 Hologramy	15
3.2.3 Fázový posuv zvukového signálu	16
3.2.4 Přenosová funkce systému	17
3.2.5 HRTF - Anatomická přenosová funkce	17
3.2.6 Jednotkový impulz	18
3.2.7 Impulzní charakteristika	19
3.2.8 Anatomická impulzní charakteristika	19
3.2.9 Bezodrazová komora	20
3.2.10 KEMAR HATS	20
3.2.11 Binaurální syntéza prostorového zvuku	21
3.2.12 Rozšířená realita	22
3.3 Použité vybavení	24
3.3.1 Software 3DSound	24

4	Základní principy využití holofonního zvuku v práci	25
4.1	Subjektivní pohled na vnímání prostorového zvuku člověkem	25
4.2	Kompenzace nedostatků lidského prostorového sluchu	25
4.2.1	Kompenzace na úrovni HRIR	26
4.2.2	Modulace kompenzačních efektů	26
4.2.3	Kompenzace předozadní	27
4.2.4	Kompenzace pravolevá	27
4.2.5	Kompenzace inerciální	28
5	Objektivní měření vlivu lidského vnímání holofonního zvuku	29
5.1	Účel měření	29
5.2	Metodika měření	29
5.3	Kontrolní měření	29
5.4	Příprava testovacích vzorků ke zpracování	30
5.5	Dotazníkový software použitý pro měření	30
5.6	Formát naměřených dat	32
6	Zhodnocení výsledků měření	32
6.1	Shrnutí získaných dat	32
6.2	Import dat do statistického softwaru R	33
6.3	Detekce chyb v naměřených datech	33
6.3.1	Histogram úhlových odchylek	33
6.3.2	Náhodné odpovědi	34
6.3.3	Opačně nasazená sluchátka	34
6.4	Analýza naměřených dat	38
6.4.1	Rozdělení pravděpodobnosti úhlové odchylky	38
6.4.2	Boxplot absolutních úhlových odchylek	39
6.4.3	Základní popisné statistiky	40
6.4.4	Kumulovaná distribuční funkce absolutní úhlové odchylky	41
6.5	Interpretace naměřených a vypočtených hodnot	42
6.6	Připomínky respondentů	43

7	Návrh praktického využití na základě získaných dat	43
7.1	Inspirace	44
8	Praktické využití na ukázkovém případě	45
8.1	Platforma pro realizaci aplikace	45
8.2	Použitá kódová základna	45
8.3	Obsluha aplikace	45
8.4	Uvolnění aplikace pro využití veřejností	47
9	Subjektivní zhodnocení praktického přínosu technologie	47
9.1	Zkušenost s využitím aplikace v terénu	47
9.2	Možná vylepšení mobilní aplikace	48
9.3	Možnosti aplikace technologie	49
10	Závěr	49
11	Seznam použitých zdrojů	51
11.1	Seznam literatury	51
12	Přílohy	53
12.1	Kompletní soubor naměřených dat	53
12.2	Mobilní aplikace NorthDog	53
12.3	Webová aplikace použitá při poslechových testech	53

Seznam obrázků

1	Průběh výsledného záznamového signálu	14
2	Schéma Zuccarelliho mikrofону z US patentu	15
3	Princip pořízení holografického snímku	16

4	Fázový posun mezi dvěma signály	16
5	Grafické znázornění HRTF	18
6	Graf průběhu diracovo jednotkového impulsu	18
7	Frekvenční odezva HRTF pro zvuk přicházející kolmo z prava	19
8	Impulzní odezva HRTF pro zvuk přicházející kolmo z prava	20
9	Výzkumník Bill Gardner s modelem KEMAR v bezdozvukové komoře MIT	21
10	Schéma binaurální syntézy	22
11	Pískoviště „AR SandBox” doplněné o dynamicky generované barevné vrstevnice pomocí technologie rozšířené reality na festivalu umění „FreezeFest 2012”	23
12	Technologie rozšířené reality při testovacím letu vrtulníku pomáhá pilotovi s navedením na přistání a orientací v důležitých bodech v krajině	23
13	Screenshot dotazníkové aplikace	31
14	Histogram úhlových odchylek pro náhodné kliky	34
15	Histogram úhlových odchylek naměřených na respondentce s obrácenými sluchátky	36
16	Histogram úhlových odchylek po opravě dat získaných s otočenými sluchátky	37
17	Histogram naměřených úhlových odchylek	38
18	Jádrový odhad hustoty pravděpodobnosti naměřených úhlových odchylek .	39
19	Boxplot naměřených úhlových odchylek	40
20	Kumulativní distribuční funkce absolutních úhlových odchylek	42
21	Prototyp taktilního kompasu BrmLab NorthPaw (BrmPaw)	44
22	Mobilní telefon s aplikací NorthDog v0.1b (zvukový kompas)	46

Seznam tabulek

1	Ukázka naměřených dat	32
2	Základní statistiky souboru absolutních hodnot úhlových odchylek	41
3	Kvantily absolutních hodnot úhlových odchylek	41
4	Zleva kumulovaná pravděpodobnost	42

1 Cíl práce

Cílem této práce je zjistit, zda je možné použití holofonního prostorového zvuku k implementaci prostředků rozšířené reality. A následně na základě získaných poznatků navrhnout vzorovou implementaci formou mobilní aplikace. Aplikace bude svému uživateli prezentovat informace získané z externích zdrojů. Tyto informace budou prezentovány pomocí holofonních zvukových signálů, což má umožnit jejich podvědomé vnímání uživatelem. V ideálním případě budou prezentovány informace z bezprostředního okolí uživatele způsobem, který umožní, aby je uživatel podvědomě zapracoval do svého subjektivního obrazu reality. Tím by měla u uživatele vzniknout iluze, že má "šestý smysl", skrze který může s informacemi pracovat nejen racionálně, ale také intuitivně.

2 Metodika práce

Metodika diplomové práce je založena na analýze lidského vnímání zvuků vytvořených nebo zachycených pomocí holofonní technologie. Dále budou poznatky využity v praxi při tvorbě mobilní aplikace. Následně bude kriticky zhodnocena přínosnost této aplikace a budou navržena případná vylepšení.

3 Popis prostředků využitých v práci

3.1 Přehled použitých konceptů

3.1.1 Stereo audio

Technologie pro stereo reprodukci zvukových signálů se vyznačují tím, že přenášejí signál ve dvou více či méně nezávislých zvukových kanálech. To ale ještě nezaručuje, že tyto signály přijdou k posluchači ve stejném fázovém posuvu a se stejnými odrazy jako kdyby slyšel zdroj přenášeného zvuku bez zprostředkování. Typický stereo záznam hudebního nebo rozhlasového vystoupení často vzniká uměle. Tým zvukařů rozmístí jednotlivé mikrofony ke všem zdrojům zvuku, které mají zachytit. Signál z těchto mikrofonů je potom

uměle namixován do obou stereo kanálů tak, aby byl pro posluchače příjemný a dobře čitelný. V takovém případě není nutně kladen zřetel na prostorovou autentičnost, tak jak ji chápe binaurální audio (viz. dále). [2]

3.1.2 Binaurální audio

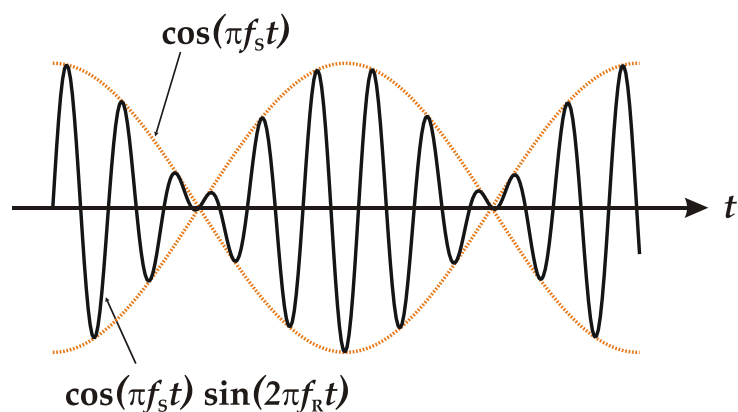
Slovo “binaurální” vychází z latinského “auris” (ucho), předpona potom značí, že jsou uši dvě. Můžeme tedy takto označovat vše, co využívá faktu, že člověk má pár uší. [1]

Celý systém vychází ze základní myšlenky, že lidské sluchové ústrojí dokáže působit jako zvukový interferometr. To v praxi znamená, že je člověk schopen rozpoznat velmi jemné rozdíly mezi signály, které přichází do levého a pravého ucha. Především jde o schopnost sluchového ústrojí rozpoznat fázový posuv a vytvořit z něj vjem směrovosti zvuku. Binaurální audio je tedy podmnožinou stereo audia, která tyto prostorové kvality zvuku zachovává. Poslech takového záznamu může být mnohem více pohlcující, než u klasického uměle mixovaného stereo záznamu. [8]

Pokud se na celou situaci podíváme pragmaticky, lze tvrdit následující: Člověk k prostorovému vnímání používá jen dvě uši, proto by nám měly k přenosu a záznamu prostorového zvuku stačit jen dva mikrofony a dvě sluchátka. [1][6]

3.2 Zázněj

Zázněj (anglicky „Beat”) je zvuk vzniklý složením dvou neharmonických tónů mírně odlišné frekvence. Vzniká při něm pulzující dojem, způsobený sřídavým skládáním fází a protifází obou tónů. Frekvence těchto pulzů závisí na rozdílu frekvencí obou tónů. [13]



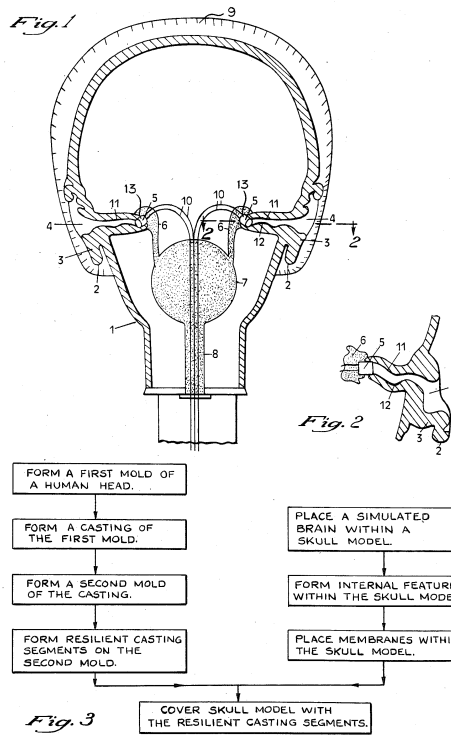
Obrázek 1: Průběh výsledného záznějového signálu

Zvláštní situace nastává, pokud se tyto dva zvuky neskládají v akustickém prostředí, ale přímo v mozku posluchače. Například při puštění každého z tónů do jednoho ze sluchátek. V takovém případě se tóny skládají až na úrovni nervových spojení mezi hemisférami mozku. U posluchače pak vzniká zvláštní pocit mírné dezorientace. Jde o klam, který je pro nás zajímavý tím, že poodhaluje fungování prostorového sluchu tím, že ho zneužívá podle principu „failure reveals character”. [13]

3.2.1 Holofonní audio

Holofonika (Holofonie) je binaurální systém pro záznam a reprodukci prostorového zvuku, který kolem roku 1983 vytvořil Hugo Zuccarelli. Celý pojem “holophonics” vznikl spíše jako Zuccareliho obchodní značka. Zároveň ale můžeme pod tímto názvem vnímat konkrétní metodiku pro implementaci binaurálního zvukového systému, která se vyznačuje především tím, že využívá k zachycení zvukových vln umělý model lidské hlavy s mikrofony místo uší. Nicméně to není neobvyklé ani pro jiné binaurální systémy. V praxi tedy existují jen drobné rozdíly v použití pojmů Binaurální a Holofonní. V této práci budou tyto termíny volně zaměňovány. [4][1]

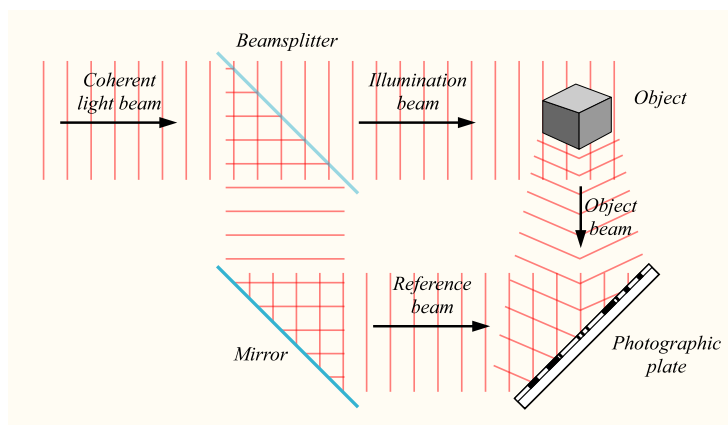
Zuccarelli se u svojí techniky snažil dosáhnout maximální anatomické korektnosti. To je vidět na následujícím obrázku z jeho patentu. Za povšimnutí stojí lebeční dutina a zvukovody. [4]



Obrázek 2: Schéma Zuccarelliho mikrofону z US patentu

3.2.2 Hologramy

Hologramy zde zmiňují hlavně proto, že název “holofonie” vznikl jako parafráze na termín “holografie”. Hologramy, podobně jako holofonie, využívají interference dvou vln k zachycení jejich prostorové konfigurace. U hologramů se ale nejedná o vlny zvukové, jedná se u nich o vlny světelné. Zjednodušeně řečeno tedy umožňují zachycení trojrozměrného obrazu. [1]

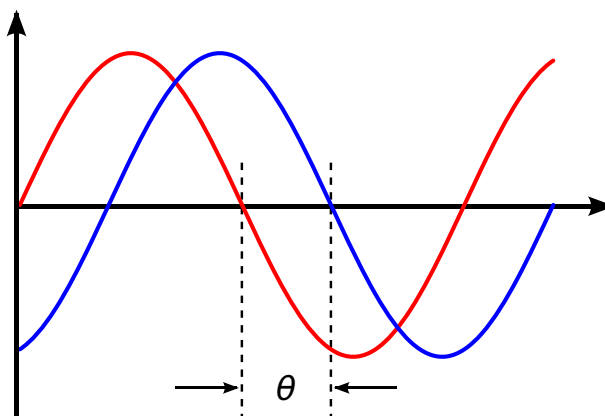


Obrázek 3: Princip pořízení holografického snímku

Na obrázku je patrné, že holografický snímek vzniká v místě, kde dochází k interakci dvou fází světelného vlnění ze stejného zdroje. V tom místě je možné zachytit prostorové aspekty světelného vlnění. Podobně je lidský sluch schopný zachytit „prostorovost“ zvuku, pokud se nachází v místě, kde dochází ke střetnutí dvou fází zvukového vlnění ze stejného zdroje a každou z nich zachytí jedním uchem. [1]

3.2.3 Fázový posuv zvukového signálu

Fázovým posuvem se v této práci rozumí diferenciální časový posuv signálu vlivem odrazů v prostoru, nebo odlišnou dobou vzdáleností od zdroje zvuku do obou uší. Toto zpoždění je tak nepatrné, že je typicky kratší než časový interval mezi zvukovými vlnami zkoumaného signálu. Nebo se alespoň řádově pohybuje v těchto hodnotách. [8][3]



Obrázek 4: Fázový posuv mezi dvěma signály

3.2.4 Přenosová funkce systému

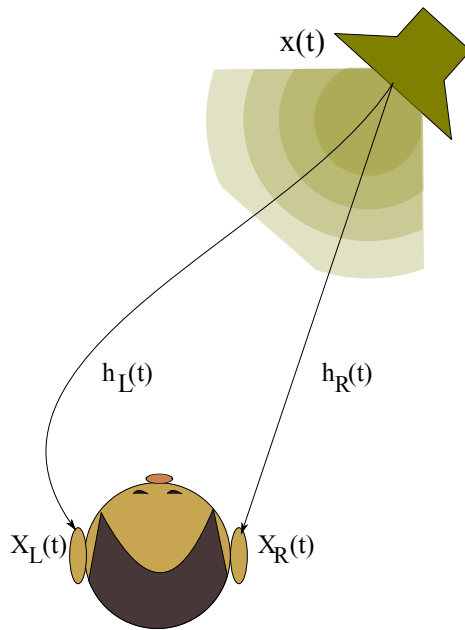
Přenosová funkce je matematické vyjádření toho, jak je ovlivněn signál systémem, který tento signál přenáší. [6]

3.2.5 HRTF - Anatomická přenosová funkce

Anglicky head-related transfer function (HRTF) nebo anatomical transfer function (ATF). Je přenosová funkce, která popisuje, jak je ovlivněn zvukový signál, který dorazí k nervovým zakončením v uchu z předem definovaného bodu v okolí posluchače. V tom hrají roli vlastnosti hlavy a uší, dutiny v nich a další podobné vlivy. [2][1][8]

Z čistě spektrálního pohledu HRTF zesiluje frekvence mezi 2 a 5 kHz, přičemž největší rezonance o magnitudě +17 dB se nachází na 2,7 kHz. To způsobují převážně odrazy uvnitř zvukovodu. Můžeme tedy tvrdit, že lidský sluch je uzpůsoben právě pro spolehlivé zachycení zvuků v této části spektra. To se následně zrcadlí i ve faktech, že se v této části spektra nachází i převážná část lidské řeči. Také dle mezinárodní telekomunikační unie se velmi podobné pásmo považuje za dostatečné pro srozumitelný přenos hlasových telefonních hovorů. [9]

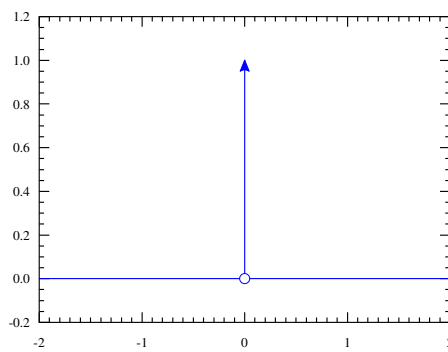
Pro tuto práci je ale důležité především jak se liší přenosová funkce pro zvuky přicházející do levého a pravého ucha. A jak se liší pro zvuky přicházející z různých směrů. [6]



Obrázek 5: Grafické znázornění HRTF

3.2.6 Jednotkový impulz

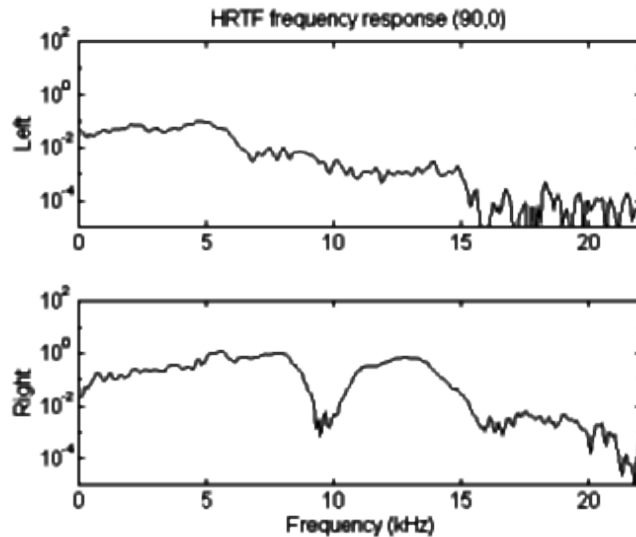
Diracův jednotkový impulz je funkce $f(t)$, která má v čase $t=0$ hodnotu 1 a ve všech ostatních bodech hodnotu 0. [10]



Obrázek 6: Graf průběhu diracovo jednotkového impulsu

3.2.7 Impulzní charakteristika

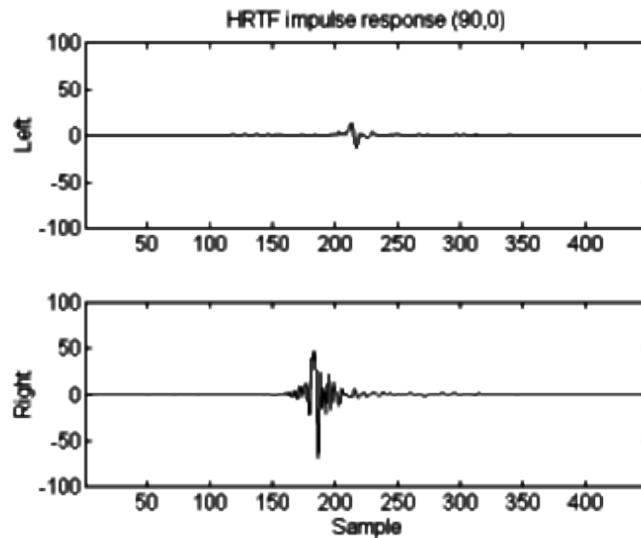
Také impulzní odezva, anglicky impulse response (IR). Je jedna z možností, jak lze numericky popsat přenosovou funkci systému. To teoreticky provedeme tak, že na vstup systému přivedeme jednotkový impulz a výstup systému pak odpovídá své vlastní impulzní odezvě. V praxi ale nelze při analogovém měření takový postup aplikovat. K tomu by bylo nutné mít reproduktor, který by byl schopný svoji membránu vychýlit nekonečnou rychlostí. Proto se impulzní charakteristika získává nepřímo pomocí složitějších měření. Do systému je postupně pouštěn sinusový průběh o různých frekvencích a na jeho výstupu je změřena frekvenční charakteristika. Z frekvenční charakteristiky je potom možné impulzní charakteristiku vypočítat. [10]



Obrázek 7: Frekvenční odezva HRTF pro zvuk přicházející kolmo z prava

3.2.8 Anatomická impulzní charakteristika

Anglicky Head Related Impulse Response (HRIR). Je impulzní charakteristika HRTF. [8]



Obrázek 8: Impulzní odezva HRTF pro zvuk přicházející kolmo z prava

Na obrázku HRIR můžeme vidět, že je pro naše účely názornější. Vidíme na něm, že zvuk přicházející kolmo z prava dorazí do levého ucha s časovým zpožděním (fázovým posuvem) a útlumem v porovnání s pravým uchem.

3.2.9 Bezodrazová komora

Také bezodzvuková komora, anglicky anechoic chamber je speciální laboratorní komora, která má na všech stěnách, stropu i v podlaze speciálně tvarované pohlcovače zvukových odrazů. Je tedy téměř ideálním místem pro provádění akustických měření všeho druhu. [11]

3.2.10 KEMAR HATS

KEMAR (Knowles Electronics Mannequin for Acoustics Research) je speciální model průměrné lidské busty se dvěma mikrofony místo uší. KEMAR patří do kategorie HATS (Head And Torso Simulator). Lze ho používat k binaurálnímu zachytávání zvukových signálů. KEMAR je mírně detailnější, než běžně používané binaurální mikrofony. Ty téměř nikdy nezahrnují trup lidského těla a často jde jen o velmi zjednodušený model hlavy. V některých případech jsou dokonce použity jen dva silikonové ušní laloky na tyčkách, nebo prostá

dřevěná koule. Můžeme tedy tvrdit, že je KEMAR jeden z nejkvalitnějších binaurálních mikrofonů. [11]

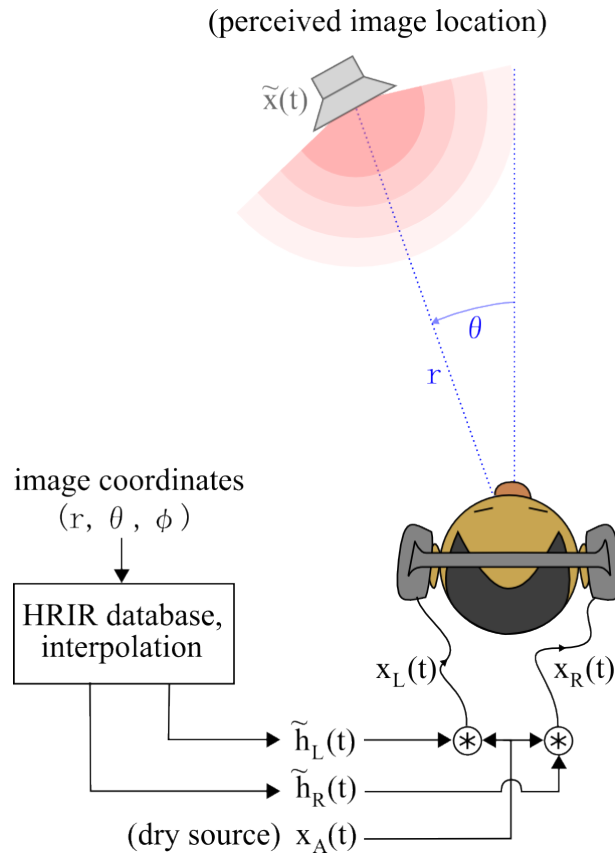
V roce 1994 byl KEMAR použit v bezodrazové komoře multimediální laboratoře MIT k získání souboru anatomických impulzních charakteristik (HRIR) pro obě uši a signál přicházející ze stovek různých směrů. Navíc byla provedena další kontrolní měření impulzní odezvy použitých reproduktorů a mikrofonů (pomocí několika modelů sluchátek nasazených přímo na KEMAR). Naměřená data byla poté zveřejněna na webu MIT pro veřejné využití a další výzkum. HRIR data je možné najít na webové adrese [11]
<http://sound.media.mit.edu/resources/KEMAR.html>



Obrázek 9: Výzkumník Bill Gardner s modelem KEMAR v bezdozvukové komoře MIT

3.2.11 Binaurální syntéza prostorového zvuku

Binaurální syntéza prostorového zvuku kombinuje výše popsané technologie k syntéze binaurálního signálu s prostorovými vlastnostmi. [8]



Obrázek 10: Schéma binaurální syntézy

Aplikací matematické konvoluce na vstupní signál a impulzní charakteristiku můžeme snadno vyjádřit podobu signálu po průchodu přenosovým systémem. To je pro tuto práci velmi důležité. V praxi to znamená, že můžeme vzít téměř libovolný digitální záznam zvuku $s_{in}(t)$ a pomocí konvoluce s impulzní odezvou $i_{hrtf}(t)$ ho přetransformovat na výsledný signál $s_{out}(t)$ tak, jak by se přetransformoval při průchodu reálným prostorem. [10]

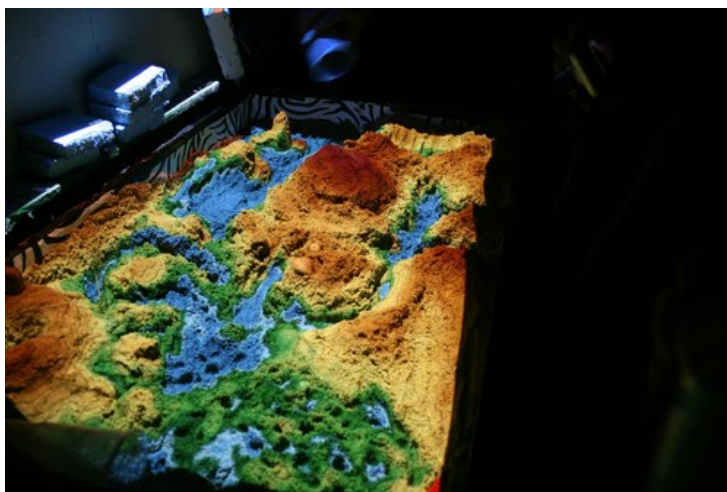
$$s_{out}(t) = s_{in}(t) * i_{hrtf}(t) \quad (1)$$

3.2.12 Rozšířená realita

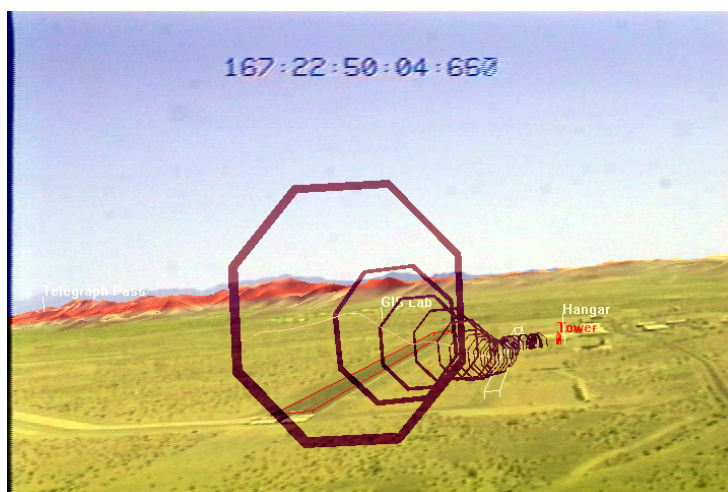
Anglicky augmented reality (AR). Je termín používaný pro systém, který nám pomáhá rozšířit vnímání reality o vjemy jinak nevnímátné. Nejčastěji je spojován s obrazovým systémem, ve kterém kamera snímá okolí, počítač do obrazu z kamery přimíchá užitečná

data a pak nám takto rozšířený obraz prezentuje. Jako jednoduchý příklad si můžeme představit “chytré” čelní sklo automobilu, které nám bude barevně zvýrazňovat rizikové faktory na vozovce. Tím dojde k rozšíření našeho vnímání reality a zlepšení schopnosti se v realitě pohybovat. [12]

Na následujících obrázcích je možné vidět některé ze zajímavých využití technologií rozšířené reality.



Obrázek 11: Pískoviště „AR SandBox” doplněné o dynamicky generované barevné vrstevnice pomocí technologie rozšířené reality na festivalu umění „FreezeFest 2012”



Obrázek 12: Technologie rozšířené reality při testovacím letu vrtulníku pomáhá pilotovi s navedením na přistání a orientací v důležitých bodech v krajině

V této práci ale není jako prostředek rozšířené reality používán obraz. Namísto toho je používán prostorový zvuk s cílem upozorňovat uživatele na dění v okolním prostoru. Konkrétně pomocí zvukových signálů zdánlivě přicházejících ze směru, na který se snažíme uživatele upozornit. [12]

3.3 Použité vybavení

3.3.1 Software 3DSound

Počítačový program na binaurální syntézu prostorového zvuku napsaný v jazyce Python 2. V roce 2011 ho napsal Gary Bishop z Department of Computer Science na University of North Carolina at Chapel Hill. Zdrojový kód i povolení k bezplatnému využití pro libovolné účely jsou dostupné na adrese <https://github.com/uncopenweb/3DSound>. Součástí programu jsou kromě hlavního skriptu `hrtf.py` rovnou také HRIR naměřené na KEMARu, není tedy nutné je stahovat zvlášť.

Implementuje dvoukanalovou konvoluci, která umožňuje na digitální zvukový záznam aplikovat přenosové charakteristiky naměřené na KEMARu v multimediální laboratoři MIT. Výhodou tohoto softwaru je, že je přímo napsaný pro práci s HRIR daty z MIT a není tedy nutné tato data převádět do jiného formátu.

K samotné konvoluci vstupního mono signálu s HRIR se používá metoda `scipy.signal.lfilter` z Python knihovny SciPy. Také je dobré zmínit, že skript provádí konvoluci jen pro pravý půlkruh. Levý půlkruh pak vygeneruje prostým přehozením levého a pravého kanálu ve výstupních souborech.

Tento software jsem drobně upravil, aby používal samplovací frekvenci 44.1 kHz, jakou mají i dostupná HRIR data. Jeho původní autor totiž výsledné soubory v kódu downsamploval na 22.05 kHz, aby ušetřil přenosové pásmo při následném použití na webu.

Pomocí tohoto softwaru jsem generoval zvukové soubory k dalšímu využití při testování na lidech a k implementaci aplikace rozšířené reality.

4 Základní principy využití holofonního zvuku v práci

V této části je popsána hypotéza, která bude v dalších částech testována a aplikována v praxi.

4.1 Subjektivní pohled na vnímání prostorového zvuku člověkem

Hned z počátku praktické práce se zvukovými vzorky jsem zjistil, že lidský sluch není dokonalý. Speciálně oblast prostorového vnímání zvuku má velká omezení. Pravolevá lokalizace zdroje zvuku je pro člověka z principu mnohem snadnější, než lokalizace předozadní nebo vertikální. Navíc funkci sluchu ovlivňují také neurologické a psychologické aspekty lidského vnímání. Cílem této práce není jejich zkoumání. Přesto je dobré alespoň stručně zmínit jeden fenomén, který jsem zaznamenal při poslechu holofonních vzorků. Je nesrovnatelně složitější lidské vnímání pomocí prostorového zvuku přesvědčit, že zvuk přichází zepředu, než že přichází zezadu.

Je to jen můj laický odhad, ale osobně si myslím, že to souvisí s tím, že mozek zdravého člověka je navyklý přijímat většinu informací o tom, co se děje před ním, pomocí zraku. Sluch nám tedy slouží z velké části k tomu, abysme měli přehled o dění, které nemůžeme přímo vidět. Z mých dosavadních zkušeností také vyplývá, že zavření očí v tomto případě pomůže jen minimálně. Zmiňovaná vlastnost sluchu bude přirozeně mít neblahé důsledky na výsledky této práce. Nicméně mi připadá velice zajímavá a rád bych se v budoucnu seznámil s rozdíly ve vnímání prostorového zvuku mezi zdravými lidmi a lidmi s vrozenou slepotou. Výsledky zajímavé pro tuto problematiku by mohli poskytnout také lidé, kteří oslepli až v pozdějším životě, nebo jsou slepí jen na jedno oko (a tudíž mají omezené vnímání prostoru skrz vidění). Další poněkud specifickou skupinou lidí, která by stála za pokusy s prostorovým zvukem jsou účastníci závěrečné fáze terapie tmou. Při terapii tmou lidé dobrovolně tráví dny, týdny a někdy i měsíce v naprosté tmě. Dá se tedy očekávat, že poslední den pobytu budou mít vlivem tmy zbystrěné ostatní smysly.

4.2 Kompenzace nedostatků lidského prostorového sluchu

Zmíněné nedostatky lidského prostorového vnímání zvuků bych rád alespoň z malé části kompenzoval a zvýšil tak užitnou hodnotu celé technologie rozšířené zvukové reality.

K tomu chci využít několik naivních předpokladů, které mám o lidském sluchu. V praxi bude pak kompenzace realizována aplikací jednoduchých zvukových efektů modulovaných na základě jednoduchých geometrických pravidel. Tyto efekty budou dodatečně aplikovány na vzorky vygenerované na základě HRTF modelu z KEMARu. Budou tedy jen jejich doplněním. Jejich účelem je z velké části také, aby bylo možné určit směr zvuku pomocí úvahy, než uživatel začne rozlišovat směrovost intuitivně.

Je nutno poznamenat, že efekty této kompenzace z jisté části napodobují efekty HRTF. Jsou ale dovedené až do absurdní míry. To je ale v našem případě spíše žádoucí. Zatím co HRTF je model vzniklý za účelem generování věrného prostorového zvuku. V mojí aplikaci AR je na prvním místě prostorovost zvuku, nikoliv jeho věrnost.

4.2.1 Kompenzace na úrovni HRIR

Jak již jsem zmínil, tak kompenzaci provádím až po aplikaci HRTF modelu. Přesto je nutné napsat, že by mělo být možné efekt HRTF matematicky zesílit a tak určitou míru kompenzace přidat už během konvoluce.

HRTF model také poskytuje HRIR měření pro různé elevace. Já jsem pracoval pouze s daty pro nulovou elevaci (zvuk krouží kolem hlavy posluchače pouze ve vodorovné rovině). Je možné, že data měřená při jiných elevacích by mohla při budoucích pokusech poskytnout lepší výsledky.

Provedl jsem několik rychlých pokusů drobnou úpravou programu `hrtf.py`, který konvoluci provádí. Žádných zajímavých výsledků se mi nepodařilo dosáhnout, takže jsem od těchto experimentů prozatím upustil. Tyto možnosti ale chci blíže prozkoumat až během práce následující po této, až budu mít příležitost lépe prozkoumat matematickou teorii, která se v procesu využívá. Prozatím budu pracovat jen s kompenzací naivními metodami.

4.2.2 Modulace kompenzačních efektů

K modulaci těchto naivních kompenzačních efektů budou použity goniometrické funkce úhlových hodnot. To umožní rovnoměrný nárůst míry efektu v závislosti na pravoúhlé složce směrového úhlu. Přesný matematický popis tohoto postupu je patrný ze vzorečků u popisu jednotlivých kompenzačních metod.

4.2.3 Kompenzace předožadní

Vychází z myšlenky, že ušní lalůčky brání šíření vyšších frekvencí ze zdrojů umístěných za hlavou. Pro delší vlny nižších frekvencí ale lalůčky nepředstavují tak významnou překážku. Na vzorky bude tedy aplikován low-pass filtr, kterému bude postupně snižována mezní frekvence. Mezní frekvence bude nejnižší u vzorků zvuku přicházejícího zezadu. V tomto místě bude mezní frekvence stanovena na 500 Hz, směrem dopředu se bude zvyšovat až za hranici slyšitelného pásma.

Mezní frekvenci f_{low} počítám z úhlu α pomocí následujícího vzorečku:

$$f_{low} = 500 + 5000 (1 + \cos(\alpha))^2 \quad (2)$$

Kompenzaci jsem realizoval pomocí Python kódu:

```
fix_cos = round(math.cos(az*(math.pi/180)), 2)
fix_lowpass = 500+(5000*pow(1+fix_cos, 2))
```

Tato frekvence je následně použita jako parametr efektu `lowpass`, který je poskytovaný programem SoX, který skript `hrtf.py` interně používá ke kompresi výsledných zvukových vzorků.

4.2.4 Kompenzace pravolevá

Vychází z jednoduchého principu, že čím blíže je zdroj zvuku pravé straně, tím by měl být slaběji slyšitelný levým uchem a naopak. Zesilování pravého kanálu pro zvuky přicházející z prava není možné, aby nedošlo ke clippingu. Bylo by možné se clippingu vyhnout pomocí zvukové komprese. Pro potřeby této práce se ale lépe hodí zeslabení protilehlého zvukového kanálu. Protilehlý kanál byl v mém případě vždy jen levý, protože skript `hrtf.py` generuje pouze vzorky pro úhly 0 až 180 stupňů (pravou stranu) a zbytek vzorků se z nich odvodí zrcadlově.

Koeficient zesílení protilehlého kanálu c_{lr} počítám z úhlu α pomocí následujícího vzorečku:

$$c_{lr} = 0.5 + 0.5 |\cos(\alpha)| \quad (3)$$

Kompenzaci jsem realizoval pomocí Python kódu:

```
fix_cos = round(math.cos(az*(math.pi/180)),2)
fix_left = 0.5+(0.5*abs(fix_cos))
```

Následně je tímto koeficientem vynásoben celý signál protilehlého kanálu.

4.2.5 Kompenzace inerciální

Jeden z mechanismů, který bude kompenzovat míru nejasnosti v předozadní ose a potažmo i ve všech ostatních úhlech přímo vyplývá z celkového konceptu technologie. Pokud se zvuk pohybuje kolem hlavy uživatele, bude často procházet postupně z jedné strany na druhou a prostorová představivost uživatele tak vhodně doplní efekty prostorového zvuku. Uživatel tak uslyší, jak se zvuk postupně přesouvá z jedné strany na druhou a může předpovídat, kdy dosáhne bodu, ve kterém je směr složitější určit. Tento princip bude fungovat ještě lépe, pokud bude zvuk fixovaný na světovou stranu a uživatel se celý otočí.

Například pokud bude uživatel slyšet zvuk z pravé strany, tak ho snadno určí, protože pravolevá lokalizace je snadnější. Potom se otočí o devadesát stupňů doprava, tedy směrem ke zdánlivému zdroji zvuku. To způsobí, že prostorová představivost výrazně pomůže lokalizovat tento zvuk a zabráni se tak chybné lokalizaci zvuku dozadu. Pokud budeme takový systém používat například během chůze terénem, bude nám tento efekt průběžně pomáhat udržovat povědomí o směrovosti zdánlivého zvuku. Samozřejmě vycházíme z předpokladu, že uživatel nepůjde po přímce, ale že se cesty budou průběžně klikatit a odbočovat.

Tento princip se dá vzdáleně přirovnat k tzv. inerciální navigaci, kterou používají například letadla pro orientaci za zhoršené viditelnosti, nebo ke způsobu, jakým GPS navigace odhaduje pozici ve chvíli, kdy je auto v tunelu bez signálu. V tomto případě ovšem tato aproximace bude probíhat čistě intuitivně v rámci prostorové představivosti uživatele systému rozšířené reality. Bohužel tento efekt je poměrně obtížné měřit, protože předpokládá, že respondent předem zná odpověď, kterou od něj chceme získat (tedy směr). Metodika měření použitá v této práci tedy tento efekt ignoruje a budeme s ním počítat jen jako s předpokládaným vedlejším efektem, který možná zlepší použitelnost celé technologie.

5 Objektivní měření vlivu lidského vnímání holofonního zvuku

5.1 Účel měření

Cílem měření je ověřit, zda bude mnou vygenerované zvukové vzorky možné použít pro potřeby rozšířené reality. Měření bude posuzovat, do jaké míry je člověk schopný vnímat a interpretovat směrovost binaurálního prostorového zvuku.

5.2 Metodika měření

Na vstupu měření budu mít sadu binaurálních zvukových vzorků vygenerovaných ze stejného mono vzorku, ale pro různé směry. Tato sada vzorků potom bude přehrávána respondentům, kteří v odpovědi uvedou úhel, ze kterého zvuk slyšeli. Po očištění dat bude vypočítána hodnota MAE. MAE (mean absolute error) je v našem případě průměr z absolutních hodnot úhlových odchylek od úhlů z HRIR modelu.

Abysme mohli spolehlivě rozlišit dva úhly (například světové strany) pomocí prostorového zvuku, budeme potřebovat, aby se nepřekrývaly jejich odchylky. Například mezi severem a jihem je rozdíl 180° , pokud budeme mít u severu odchylku -90° a u jihu $+90^\circ$, začínají se tyto odchylky překrývat a my nemůžeme jednoznačně odlišit sever od jihu. Budu tedy počítat s tím, že by absolutní úhlová odchylka neměla přesáhnout polovinu rozdílu úhlů, které chceme od sebe odlišit.

5.3 Kontrolní měření

Součástí dotazníku budou kontrolní zvukové vzorky. Nejdůležitější kontrola jsou vzorky, které budou přehrávány jen do jednoho ucha. Na rozdíl od binaurálních vzorků nelze u takových kontrolních vzorků zpochybnit ze které strany je má dotazovaný subjekt slyšet. Budou tedy sloužit pro vyřazení špatných dat vzniklých případnou nedostatečnou snahou respondenta, nebo jeho nekalými úmysly. Primárně ale poslouží k ověření, že si respondent nenasadil sluchátka obráceně a že zařízení na kterém dotazník vyplňuje má korektní podporu stereo zvuku.

Při vyhodnocování výsledků se ale ukázalo, že obráceně nasazená sluchátka jsou více než patrná i bez těchto kontrolních metod.

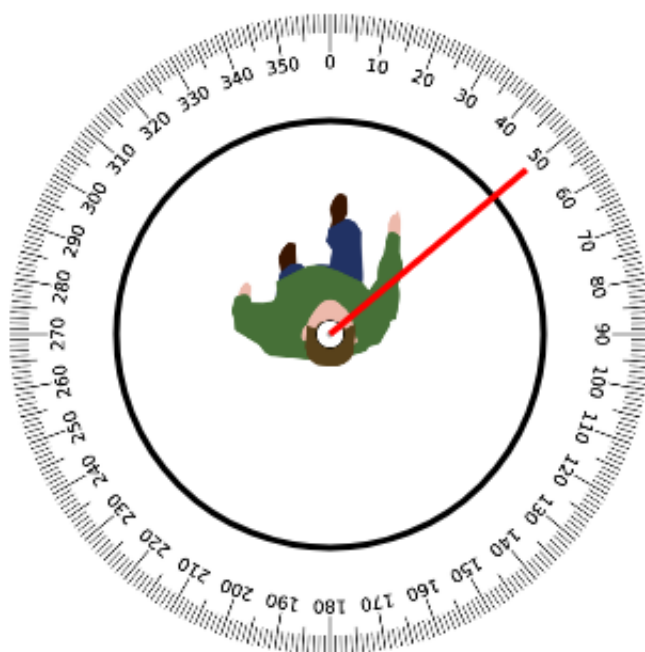
5.4 Příprava testovacích vzorků ke zpracování

Jako výchozí zvukový vzorek jsem použil krátký jednokanálový zvukový záznam psiho štěknutí ve formátu WAV. Z tohoto souboru jsem poté pomocí skriptu `hrtf.py` vygeneroval binaurální vzorky pro všechny azimuty od -180 do 180 stupňů s intervalem 5 stupňů. Skript `hrtf.py` byl modifikován, aby kromě HRTF aplikoval také naivní kompenzační metody popsané výše. Výstupem byly vzorky ve formátech OGG a MP3. Já ve zbytku práce pracoval výhradně se vzorky ve formátu MP3.

5.5 Dotazníkový software použitý pro měření

Chtěl jsem, aby dotazník mohli vyplnit respondenti bez mojí přítomnosti jen s pomocí svého počítače a sluchátek. Z tohoto důvodu jsem zvolil formu webové ankety. Bohužel vzhledem ke specifickým vlastnostem tohoto dotazníku bylo poněkud nepraktické využít běžně dostupný software, nebo existující webové stránky pro vytváření anket. Můj dotazník spočívá v tom, že je respondentovi přehráván zvuk a on následně zvolí azimut na stupnici úhloměru nebo kompasu. Při využití dnešní nejoblíbenější online služby na tvorbu dotazníků by to znamenalo vložit do dotazníku video, ve kterém by se vzorky přehrávaly po sobě, oddělené hlasovým pokynem s číslem vzorku a respondent by potom na úhloměru musel najít patřičný úhel a napsat ho do příslušného políčka.

Mým záměrem ale bylo získat dostatek dat a ne otrávit respondenty ještě než data odešlou. Proto jsem se rozhodl naprogramovat vlastní jednoduchý software na měření prostorového zvuku. Je relativně jednéúčelový a rozsahem se pohybuje kolem 200 řádek kódu, který naleznete v sekci příloh této práce. Princip je jednoduchý. Respondentovi jsou přehrávány zvuky a on jen kliká na kruhové stupnici na směry, ze kterých tyto zvuky slyší. Nejdůležitější část rozhraní aplikace vypadá zhruba takto:



Počet měření: 0/100

Spustit

Smazat

prezdivka (nepovinne)

Odeslat

Obrázek 13: Screenshot dotazníkové aplikace

Před spuštěním měření jsou respondentovi přehrávány prostorové zvuky v číselné posloupnosti a na stupnici je mu ukazován úhel, aby mohl zkontrolovat nastavení zvuku na svém zařízení a zorientovat se v systému. Po spuštění jsou zvuky přehrávány v náhodném pořadí, aniž by se na stupnici zobrazoval úhel. V tuto chvíli je na respondentovi, aby na odpovídající úhel kliknul.

Po zaznamenání 100 nebo více měření je možné data odeslat. Ta jsou pak uložena do textového souboru oddělovaného tabelátory. V souboru nalezneme úhel zvuku podle HRTF, úhel na který kliknul uživatel, nejkratší úhlovou odchylku mezi těmito úhly a cestu k přehrávanému zvukovému souboru. Máme tedy dostatek dat i pro dohledání a řešení případných

nejasností týkajících se měření. Navíc se zaznamenávají metadata sloužící k identifikaci respondenta a kontrolní součet celého souboru.

5.6 Formát naměřených dat

V následující tabulce je vidět krátký úryvek dat, která dotazníkový software poskytuje. Výstup obsahuje úhel přehraného zvukového vzorku, úhel na který respondent kliknul, předpočítaný nejkratší rozdíl mezi předchozími dvěmi hodnotami a pro případnou kontrolu i cestu k přehranému souboru. Cesta ke konkrétnímu souboru může být obzvlášť užitečná, pokud by se porovnávalo více sad zvukových vzorků. Tomu se ale tato práce nevěnuje.

Audio	Clicked	Diff	File
145	90	-55	./dog3/a145.mp3
-150	-150	0	./dog3/a-150.mp3
-75	-110	-35	./dog3/a-75.mp3
170	140	-30	./dog3/a170.mp3
80	95	15	./dog3/a80.mp3
-105	-95	10	./dog3/a-105.mp3
150	140	-10	./dog3/a155.mp3
-70	-50	20	./dog3/a-10.mp3
105	80	-25	./dog3/a150.mp3
-105	-110	-5	./dog3/a-70.mp3
...

Tabulka 1: Ukázka naměřených dat

6 Zhodnocení výsledků měření

6.1 Shrnutí získaných dat

Celkem jsem získal data od 15 respondentů. Pro každého z nich jsem zaznamenal minimálně 100 měření, u některých ale i více. Každý respondent měl možnost po dosažení minimálního počtu 100 měření pokračovat dál a přispět větším množstvím dat. Celkem jsem zaznamenal 1644 měření.

6.2 Import dat do statistického softwaru R

Datové soubory je možné jednotlivě načíst do statistického softwaru R pomocí následujícího příkazu:

```
data = read.table("mereni.csv", header=T)
```

To je užitečné pro počáteční kontroly odpovědí od jednotlivých respondentů. Kromě toho jsem ale potřeboval načíst najednou měření od všech respondentů. Na to jsem použil následující R script:

```
setwd("data");  
files = list.files(pattern="*.csv");  
data = NULL;  
for (i in 1:length(files)) data = rbind(data, read.table(files[i], header=T));
```

Ten způsobí, že se do jedné tabulky zkombinují všechna měření ze souborů s příponou `.csv` v adresáři `data`. Můžeme tak pohodlně do adresáře přidávat nové výsledky měření bez potřeby upravovat obsah souborů.

6.3 Detekce chyb v naměřených datech

6.3.1 Histogram úhlových odchylek

Respondenti se měřili sami přes internet, bylo tedy nutné provést alespoň minimální kontrolu, jestli výsledky dávají smysl před tím, než jsem postoupil k jejich dalšímu zpracování. Výsledky od jednotlivých respondentů jsem tedy kontroloval, abych ověřil, že nebyla porušena metodika měření.

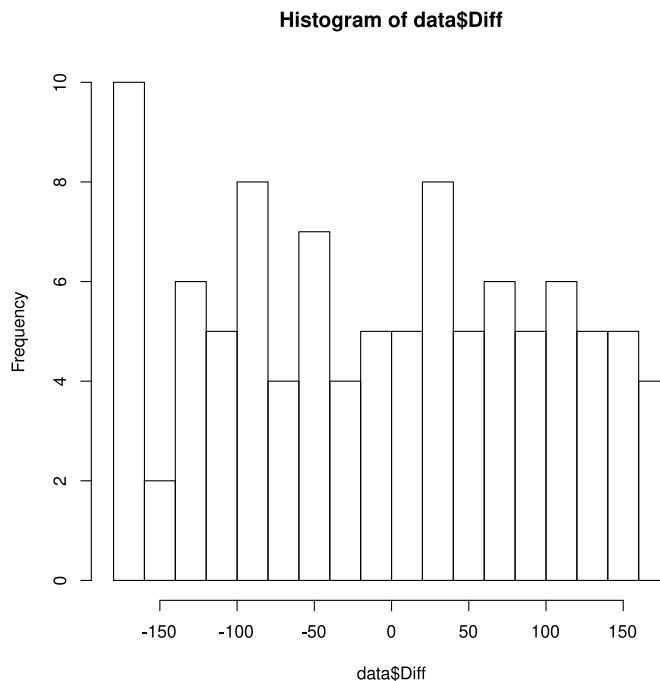
Nejužitečnějším nástrojem pro kontrolu sesbíraných dat se ukázal obyčejný grafický histogram. Ve statistickém softwaru R jsem ho generoval ze sloupce úhlových odchylek pomocí následujícího příkazu:

```
hist(data$Diff, breaks=20);
```

Následující odstavce popisují, jak lze na histogramech rozpoznat některé problémy vzniklé během měření.

6.3.2 Náhodné odpovědi

V rámci testu mého dotazníkového softwaru jsem zkusil klikat na náhodné úhly, abych získal nejhorší možná data. Očekával jsem, že hodnota MAE se bude pohybovat okolo 90 stupňů. Po zpracování pomocí statistického softwaru R se toto očekávání potvrdilo. V mém případě vyšla MAE rovna 90,3 stupně. Na histogramu můžeme vidět, že je rozložení odchylek víceméně rovnoměrné.



Obrázek 14: Histogram úhlových odchylek pro náhodné kliky

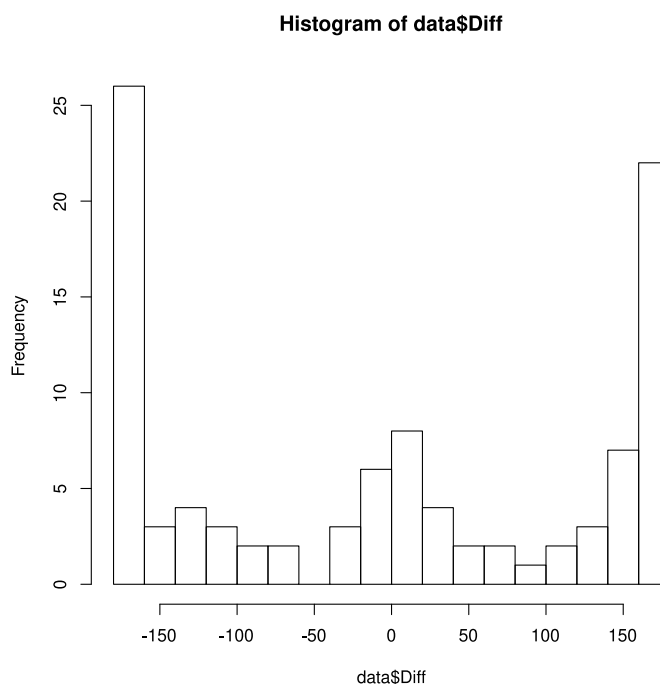
Z tohoto pokusného měření tedy můžeme udělat závěr, že při každém měření, při kterém vyjde MAE výrazně větší než 90 stupňů je potřeba blíže prozkoumat a zjistit, čím to bylo způsobeno. Může jít o sabotáž, nebo (což je samozřejmě častější) nedodržení metodiky.

6.3.3 Opačně nasazená sluchátka

Hned u druhé respondentky vyšla hodnota MAE rovna 121,95 stupňů. Nejprve jsem si myslel, že jde o celkově špatně navržený experiment a že jsou na vinně základní předpoklady celé práce. A že se na datech ukazuje nefunkčnost celého konceptu. Nicméně potom

jsem si dal data do souvislosti s ostatními výsledky a dospěl jsem k závěru, že tyto výsledky nevyovídají o nefunkčnosti popisované techniky. Účelem zkoumané technologie je předání směrových dat k subjektu pomocí prostorového zvuku. Kdyby k této komunikaci nedocházelo, tak by subjekt nemohl vyprodukovat výsledky s MAE výrazně větší než 90 stupňů, což se stalo. Výsledky měření tedy svědčí o tom, že subjekt prostorový zvuk vnímá, ale záměrně odpovídá opačně, než očekáváme. A je už snadné se dovtípit, jaká je příčina takových odpovědí. Samozřejmě šlo o nejočekávanější problém celého měření a tím jsou opačně nasazená sluchátka. Došlo tedy k přehození levé a pravé strany v měřených datech.

Nyní, když známe příčinu tohoto problému, se můžeme na data podívat. Na prvním histogramu vidíme odchylky pro odpovědi s přehozenými sluchátky. Narozdíl od náhodných kliků na stupnici zde můžeme pozorovat vliv přehrávaných zvuků na odpovědi respondentky. Vidíme opak gaussovy křivky, kterou známe z normálního rozdělení. Histogram tedy prudce roste u krajů, místo uprostřed. Na druhou stranu ale je také nutné si všimnout mírného vyvýšení uprostřed histogramu, které už tvarem normální rozdělení připomíná. Tento pahrbek vznikl tím, že některé aspekty měření nebyly přehozením sluchátek ovlivněny. Prohození levého a pravého kanálu totiž nemá vliv na předozadní vnímání směru zvuku.



Obrázek 15: Histogram úhlových odchylek naměřených na respondentce s obrácenými sluchátky

Ve výsledku nám tedy tato poněkud komická chyba v postupu měření přinesla velmi zajímavý výsledek. Z toho, co by bylo původně snadné odmítnout jako neplatné měření se totiž po krátkém pohledu stal žádaný indikátor. Takový graf totiž potvrzuje, že předozadní lokalizace zvuku u lidí skutečně funguje. I když podle očekávání se v grafu projevuje méně, než lokalizace pravolevá.

Data v této podobě jsou ale pro další zpracování nezajímavá, a tak bude nutné je opravit. Naštěstí jsem při měření kromě odchylky samotné zaznamenával i absolutní úhlové hodnoty směru zvuku přehraného počítačem a vnímaného respondentem. Není tedy problém vypočítat úhel zrcadlový. Protože jsem hodnoty zaznamenával v podobě, kdy vepředu je úhel 0, tak se levá a pravá strana liší jen znaménkem. Znaménko je velmi snadné otočit a z takto opravených úhlů vypočítat opravené úhlové odchylky.

K tomu jsem použil následující R skript. Nejdříve jsem si definoval funkci pro výpočet nejkratší vzdálenosti mezi dvěma úhly:

```
angle_diff <- function(a, b){
```

```

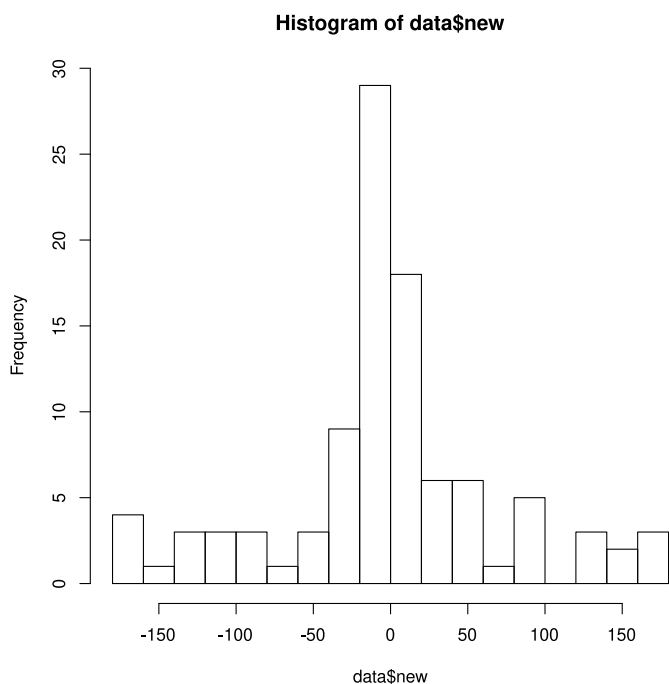
diff = a - b;
while (diff < -180) { diff = diff + 360; }
while (diff > 180) { diff = diff - 360; }
diff
}

```

Potom jsem funkci aplikoval na celou tabulku a výsledným vektorem jsem nahradil chybná data:

```
data$Diff <- mapply(angle_diff, -data$Clicked, data$Audio)
```

Všiměte si záporného znaménka před `data$Clicked`, to efektivně převrací levou a pravou stranu stupnice u zaznamenaného výsledku. Histogram opravených dat už vypadá velmi podobně jako histogram dat pořízených se správně nasazenými sluchátky:



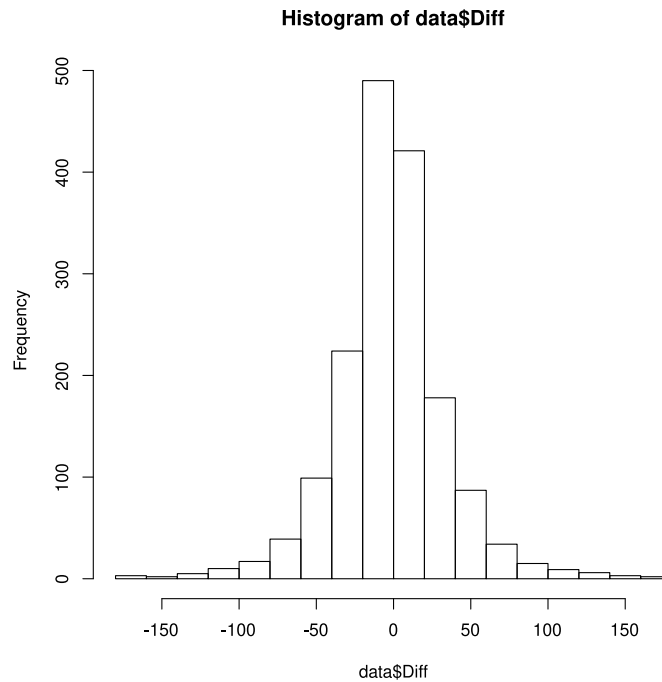
Obrázek 16: Histogram úhlových odchylek po opravě dat získaných s otočenými sluchátky

Jediný nedostatek tohoto postupu je, že s obrácenými sluchátky probíhalo i seznámení subjektu s metodikou měření a přehrávání testovacích vzorků. Přesto by však výsledky neměly být horší, než u subjektu, který při úvodu měření nedává pozor, což se stejně nedá dokonale vyloučit. S těmito daty tedy budu dále pracovat.

6.4 Analýza naměřených dat

6.4.1 Rozdělení pravděpodobnosti úhlové odchylky

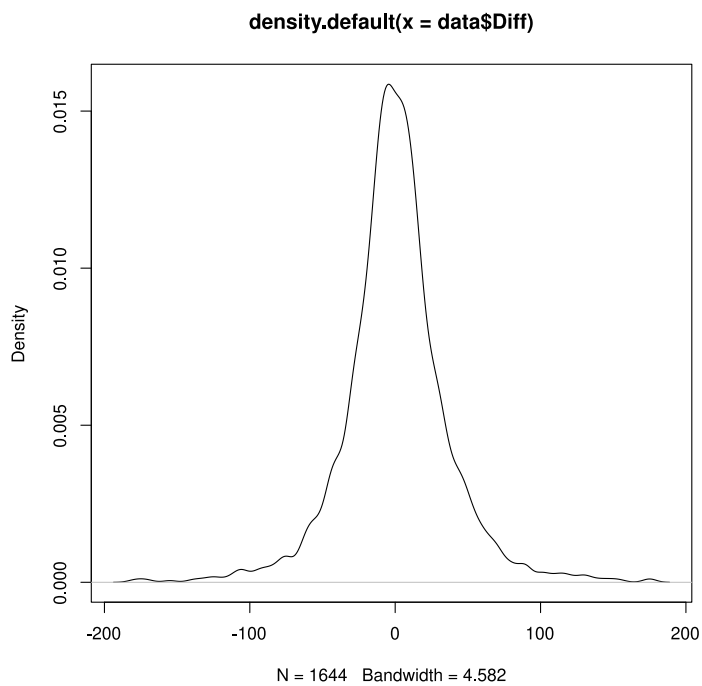
První pohled na celková data nám poskytne následující histogram.



Obrázek 17: Histogram naměřených úhlových odchylek

Stejné informace můžeme vidět i na o něco hladším grafu jádrového odhadu hustoty. Ten jsem získal pomocí následujícího příkazu:

```
plot(density(data$Diff))
```

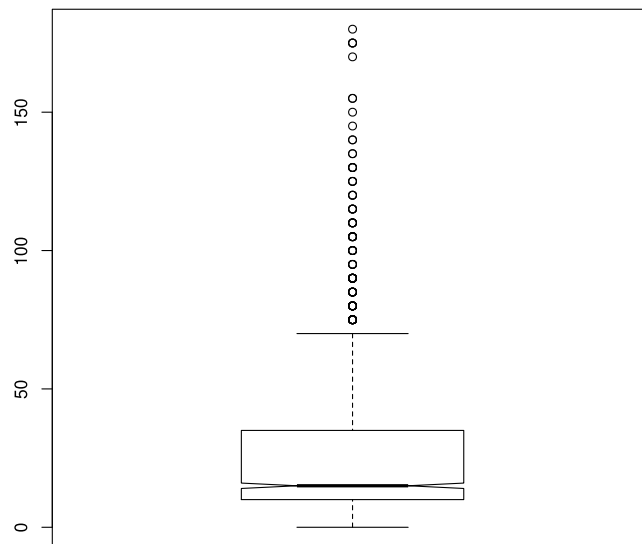


Obrázek 18: Jádrový odhad hustoty pravděpodobnosti naměřených úhlových odchylek

6.4.2 Boxplot absolutních úhlových odchylek

Zajímavé informace také vidíme na boxplotu absolutních hodnot úhlových odchylek, který jsem vygeneroval pomocí příkazu

```
boxplot(abs(data$Diff), notch=T)
```



Obrázek 19: Boxplot naměřených úhlových odchylek

Na boxplotu je patrné, že máme několik málo desítek odlehlých hodnot. Vzhledem k počtu měření jde o několik málo jednotek procent. Můžeme ale prohlásit, že až na tyto výjimky nedosahuje odchylka více než 70 úhlových stupňů.

6.4.3 Základní popisné statistiky

Základní číselné statistiky o tomto souboru měření je možné získat příkazem

```
summary(abs(data$Diff))
```

Výsledkem je následující tabulka

Statistika	Hodnota
Minimum	0
1. Kvartil	10.00
Medián	15.00
Průměr	25.24
3. Kvartil	35.00
Maximum	180

Tabulka 2: Základní statistiky souboru absolutních hodnot úhlových odchylek

Další statistiky, které nás jistě zajímají jsou různé kvantily. Ty vypočítáme příkazem

```
quantile(abs(data$Diff), c(.50, .60, .75, .85, .90, .95, .97))
```

Výsledek nalezneme v této tabulce:

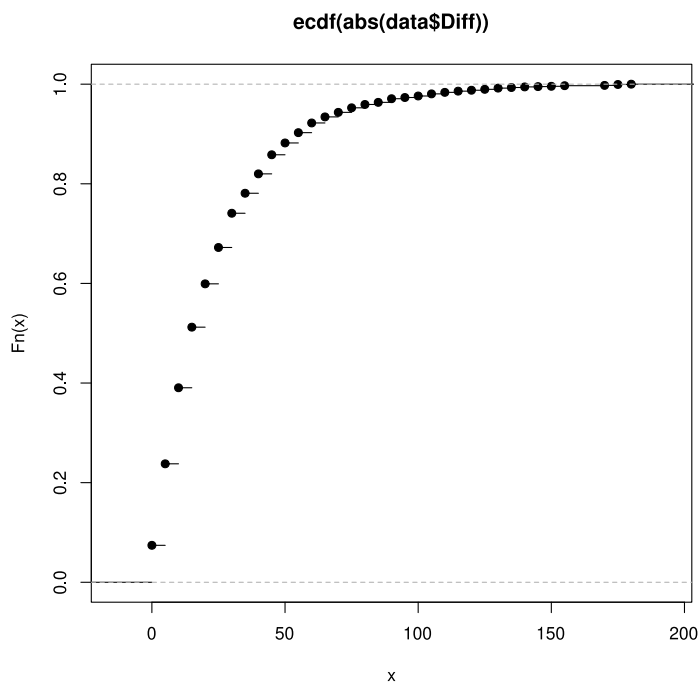
Kvantil	Hodnota
50%	15
60%	25
75%	35
85%	45
90%	55
95%	75
97%	90

Tabulka 3: Kvantily absolutních hodnot úhlových odchylek

6.4.4 Kumulovaná distribuční funkce absolutní úhlové odchylky

Kvantilům také odpovídá graf kumulované distribuční funkce. Ten jsem vykreslil příkazem

```
plot(ecdf(abs(data$Diff)))
```



Obrázek 20: Kumulativní distribuční funkce absolutních úhlových odchylek

Pomocí stejné funkce jsem si naopak vypočítal, jakému kvantilu odpovídá jaká absolutní úhlová odchylka. Vypočítal jsem si to pro úhly 90, 45 a 22.5 stupně pomocí následujícího příkazu

```
ecdf(abs(data$Diff))(c(22.5,45,90))
```

Výsledek je následující:

Absolutní úhlová odchylka	Kumulativní pravděpodobnost
$\leq 22.5^\circ$	0.6
$\leq 45^\circ$	0.86
$\leq 90^\circ$	0.97

Tabulka 4: Zleva kumulovaná pravděpodobnost

6.5 Interpretace naměřených a vypočtených hodnot

Pokud pro naše účely bude stačit odlišit sever od jihu, budeme tedy vyžadovat absolutní úhlovou úchylku menší nebo rovnu 90° . Z naměřených dat vyplývá, že pravděpodobnost,

že správně rozlišíme sever od jihu bude 97%. To znamená, že při hladině významnosti $\alpha = 0.05$ můžeme tvrdit, že je možné bezpečně rozlišit sever od jihu pomocí prostorového zvuku vygenerovaného podle postupů popsaných v první části práce.

Pravděpodobnost, že s odchylkou $\leq 45^\circ$ rozlišíme všechny 4 světové strany je 86%.

Pravděpodobnost, že s odchylkou $\leq 22.5^\circ$ rozlišíme kromě 4 světových stran i 4 vedlejší směry (tj. jihovýchod, jihozápad, atd...) je potom 60%.

6.6 Připomínky respondentů

Kromě číselných dat jsem od některých respondentů dostal navíc připomínky k průběhu měření. Považuji za vhodné je zde alespoň zmínit. Tři z respondentů měli dojem, že se zdánlivý zdroj zvuku místo dopředu a dozadu pohybuje kolem hlavy spíše nahoru a dolů. Dle mého názoru by mohlo být zajímavé tato tvrzení prozkoumat v rámci dalšího výzkumu.

7 Návrh praktického využití na základě získaných dat

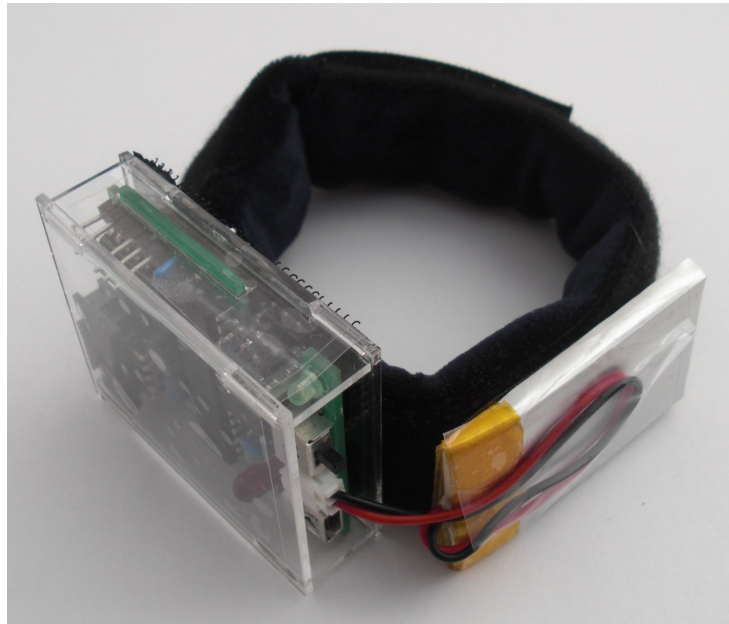
Běžnou výbavou současných mobilních telefonů je stereo zvukový výstup pro připojení sluchátek. Navíc tato zařízení obsahují magnetometry založené na Hallovo jevu. Ty umožňují využít mobilní telefon jako kompas. Pokud známe relativní polohu severu vůči telefonu a mobil máme v jedné přímce s hlavou uživatele se sluchátky, můžeme přehrávat odpovídající binaurální vzorky. U uživatele pak vznikne dojem, že nehledě na jeho pohyb a otáčení v prostoru slyší zvuk přicházet ze severu.

Z naměřených dat vyplývá, že ačkoliv není prostorový sluch člověka dokonalý, bylo by možné ho za určitých okolností použít například k alespoň orientační lokalizaci severu pomocí zvukových signálů. Rozhodně není možné pomocí uživatelského rozhraní postaveného na prostorovém zvuku nahradit přesné numerické displeje, úhlooměry a digitální kompas. To ani není cílem práce. V takovém případě by bylo možné číselná data uživateli prostě diktovat pomocí text-to-speech systému. V této práci se naopak snažím poskytnout čistě intuitivní uživatelský zážitek, který bude fungovat bez přemýšlení o významu čísel a slov a dokonce i bez znalosti mluveného jazyka.

Také je nutné si uvědomit, že určování světových stran pomocí magnetické interakce má také své limity. V praxi jsem se nesetkal s kompasem (ať už mechanickým, nebo elektronickým postaveným na Hallovo jevu), který by dokázal za chůze udržet větší přesnost bez ztráty rychlosti odezvy. Data která chceme uživateli prezentovat pomocí rozšířené reality také nebudou tak přesná, aby bylo nutné si s nepřesnostmi způsobenými vnímáním prostorového zvuku příliš lámat hlavu.

7.1 Inspirace

Inspirací k tomuto řešení byl náramek BrmPaw, klon zařízení NorthPaw postavený Janem Hrachem v pražském hackerspacu BrmLab. Princip zařízení spočívá v tom, že si ho uživatel navlékne na nohu a náramek pak vždy pomocí jednoho z osmi malých vibračních motorků signalizuje sever.



Obrázek 21: Prototyp taktilního kompasu BrmLab NorthPaw (BrmPaw)

Tento design je jistě zajímavý a funkční, ale jde o specializovaný hardware, který není komerčně dostupný a ne každý má možnost si zařízení vyrobit sám. Proto se nabízí řešení s běžně dostupným mobilním telefonem a 3D zvukem, které jsem v této části navrhl.

Další zkušeností, která mě přivedla na tuto myšlenku byl pěší výlet po Krkonoších. Šel jsem sám jen s fenkou Pindou a neměl jsem žádný konkrétní cíl. V takovém případě chodím jen intuitivně a snažím se udržet si v mysli směr odkud jsem přišel, abych se tam po čase zase vrátil po kružnici z druhé strany bez nutnosti studovat mapu. Jde tedy o takový mentální kompas, kdy pomocí intuice tuším, kam se vracet. Proto mě napadlo, že by mohlo být zajímavé zkusit tuto intuitivní navigaci rozšířit pomocí technických prostředků, které by nevyžadovaly pozornost uživatele. Tak vznikla tato myšlenka. Pak jsem přemýšlel, který zvuk by v přírodě působil nejméně rušivě, ale zároveň byl dostatečně čitelný. Díky přítomnosti Piňdy ale bylo snadné zvolit zvuk psího štěkotu.

8 Praktické využití na ukázkovém případu

8.1 Platforma pro realizaci aplikace

Mobilní aplikaci jsem programoval pro mobilní platformu Android. Aplikace je napsána v programovacím jazyce Java. K práci jsem použil vývojové prostředí Android Studio 3.0.1. K sestavení aplikačního balíčku je použit build systém Gradle.

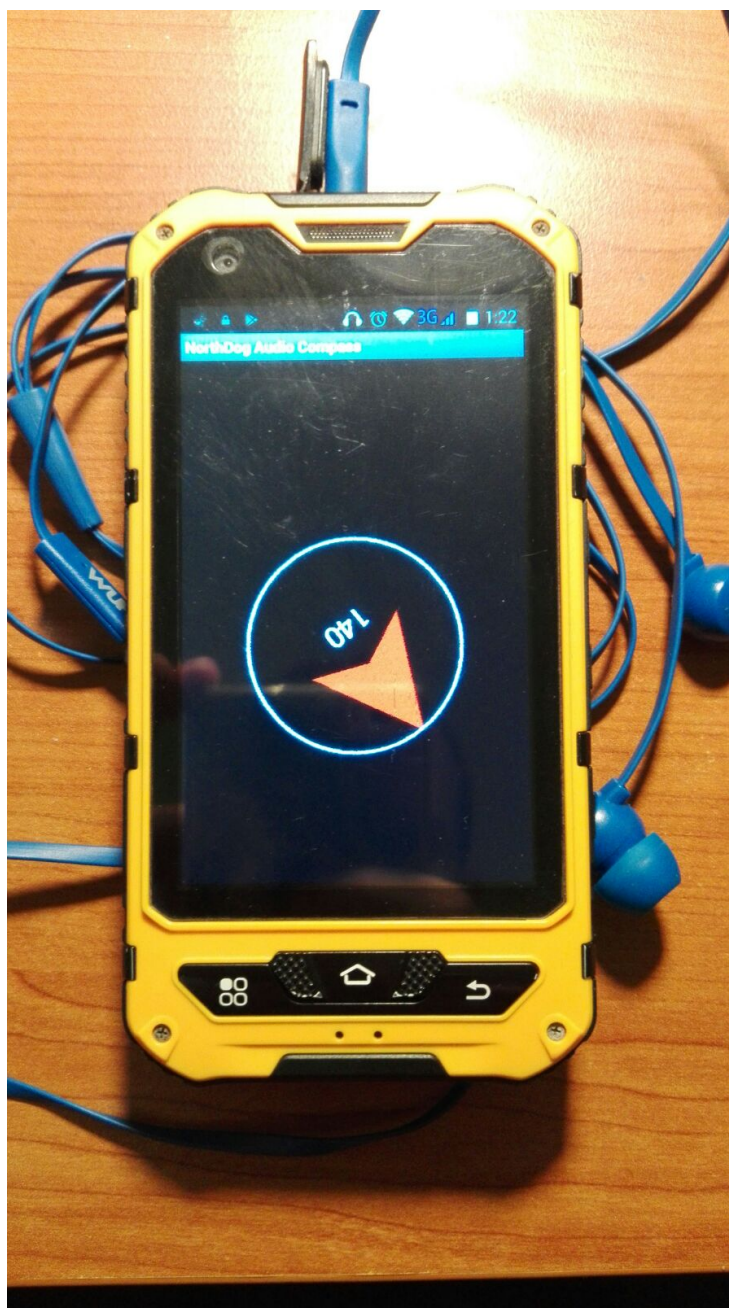
8.2 Použitá kódová základna

Aplikace vznikla úpravou opensource aplikace „Just a Damn Compass“, kterou v roce 2011 napsal James Baster na základě učebnicového příkladu „Compass“ z The Android Open Source Project (2007). Tento projekt vyžaduje, aby celá aplikace byla šířena pod licencí „Apache License 2“, která umožňuje volné šíření a úpravy za podmínky, že je zachována informace o původním kódu a jeho autorech.

8.3 Obsluha aplikace

Obsluha aplikace je velmi jednoduchá. Po spuštění je zobrazena šipka ukazující na sever. V jejím prostředku je vidět azimut na kterém leží sever vůči telefonu. Ten je zaokrouhlený na přesnost 5 stupňů a tedy zarovnaný na názvy zvukových souborů přibalených k aplikaci.

Odpovídající zvukové soubory jsou zároveň přehrávány. Pokud je telefon v klidu a nedochází ke změnám magnetického pole, tak je přehrávání pozastaveno až do další změny. Pro plné využití je nutné použít stereo sluchátka. Je nutné, aby byl mobil displayem ve vodorovné poloze a v jedné přímce s hlavou uživatele. Při správném použití by měl uživatel slyšet štěkání ze severu.



Obrázek 22: Mobilní telefon s aplikací NorthDog v0.1b (zvukový kompas)

8.4 Uvolnění aplikace pro využití veřejností

Zdrojový kód aplikace je možné stáhnout na adrese <https://github.com/Harvie/NorthDog>, kam budu postupně přidávat i další úpravy vzniklé po ukončení této práce.

Aplikaci jsem také pod názvem NorthDog (s identifikátorem `cz.harvie.northdog`) zařadil k publikaci v repozitáři opensource aplikací F-Droid.org. V době psaní tohoto textu čekala v pořadníku na schválení k začlenění. Ve snaze o začlenění budu pokračovat i po uzavření této práce.

9 Subjektivní zhodnocení praktického přínosu technologie

9.1 Zkušenost s využitím aplikace v terénu

Ihned po zprovoznění prototypu aplikace jsem se vydal na krátkou procházku v okolí domova. Měl jsem nasazená sluchátka a telefon jsem držel vodorovně před sebou, aby orientace magnetometrů odpovídala poloze mojí hlavy. Takto dekorován jsem obešel část čtvrti a pozoroval jsem jak moc mi aplikace pomáhá s orientací vůči světovým stranám.

Nebylo výjimkou, že se mi zdálo, že zvuk vnímám z jiného směru, než kde jsem si myslel, že je sever, a po kontrole na displayi jsem zjistil, že zvuk se ozýval ze správné strany. Sever byl ve skutečnosti jinde, než jsem myslel. To samo lze považovat za užitečnou vlastnost. Byly ale i případy, kdy se mi sever pomocí zvuku nepodařilo určit úplně správně. Naštěstí více bylo případů, kdy aplikace fungovala korektně. Vzhledem k tomu, že se sever nepohybuje, tak se přesnost jeho podvědomého určení v průběhu pohybu terénem zlepšuje. Je nutné poznamenat, že nejsnadnější je určit sever, pokud je přímo napravo nebo nalevo od uživatele. Také chvíle, kdy je vpředu a vzadu je snadné rozpoznat. Naopak úhly mezi rameny tohoto pravoúhlého kříže se odhadují o něco hůře. Není to však nemožné. Při pohybu v terénu samozřejmě velmi pomáhá, pokud se uživatel i se zařízením otočí kolem dokola. V takovém případě jsem si udělal velice jasnou představu o poloze severu. K podobnému efektu samozřejmě dochází i při průchodu zatáčkami, nebo odbočení z cesty, kdy jsem se přirozeně otočil do nového směru.

Myslím, že jsem z deseti pokusů zhruba jednou nebo dvakrát nedokázal správně určit sever pomocí zvukového signálu, což zhruba odpovídá naměřené 86% úspěšnosti při určování světových stran.

Přesnost a citlivost kompasu v mobilním telefonu byla překvapivě dobrá. Alespoň při stání na místě. Za chůze se vlivem pohybu kompas velmi vychyloval. Je to jen doměnka, ale nemyslím si, že je to způsobeno pohybem mobilního telefonu v magnetickém poli. Výchylky při pohybu dosahovaly cca 20 a někdy až 40 úhlových stupňů. To by dle mého názoru mohlo být způsobeno tím, že mobilní telefon interně kompas kompenzuje nebo stabilizuje pomocí dalších senzorů nemagnetických veličin. Například pomocí akcelerometrů. Tomu by tato reakce na pohyb odpovídala.

Paradoxně největší výhrady, které jsem k aplikaci měl při jejím používání se netýkaly ani tak nedostatečné schopnosti lokalizovat zvuk. Spíše jsem vnímal některé drobné praktické nedostatky, jako například nutnost držet mobil v ruce, nebo příliš časté přehrávání vzorku. Prototyp totiž neomezuje intervaly mezi jednotlivými zvukovými signály a tak se používání aplikace může rychle stát otravným. Prototyp měl samozřejmě sloužit primárně k ověření konceptu v praxi a tyto drobné praktické nedostatky bude v možné poměrně snadno vyřešit. Z velké části půjdou vyřešit pomocí softwarových úprav a už přemýšlím i o možnostech mechanického řešení některých problémů.

9.2 Možná vylepšení mobilní aplikace

Aplikace v současné formě nepodporuje provoz na pozadí se zhasnutým displayem, což by jistě posunulo její užitečnost ze stavu funkčního prototypu do stavu použitelného v každodenní praxi. Toto vylepšení plánuji realizovat po dokončení studia. Následně odladěnou aplikaci zveřejním skrz některý z běžných kanálů.

Další užitečnou vlastností aplikace by bylo, kdyby se místo předzpracovaných zvuků nahraných z počítače bylo možné zvukové vzorky zpracovat přímo v mobilním telefonu. Tak by bylo pro uživatele výrazně snadnější měnit zvuky podle svého individuálního vkusu.

V této práci bylo pracováno se zvukovým vzorkem psího štěkotu. Také je možné, že jiné zvukové vzorky by byly pro tento účel vhodnější a je na dalším výzkumu je vytvořit, porovnat a zvolit ten nejvhodnější. Stejně tak se nabízí možnost experimentálně upravit postup generování binaurálních vzorků a pomocí testů najít nejvhodnější pro tento účel.

Vnímám také potenciál tuto aplikaci rozšířit o další funkcionalitu. Například by bylo snadné přidat možnost měření vzdálenosti. Aplikace by pak každých sto metrů cinkla, po kilometru by se ozval gong a po deseti kilometrech fanfára. To by spolu se zvukovým kompasem stačilo například na návrat z lesa. Uživatel by si pamatoval, že šel dva gongy na sever a jeden gong na západ. Potom by se snadno vrátil jeden gong na východ a dva gongy na jih, aniž by musel kontrolovat displej navigace. Pokud by tento systém měření vzdálenosti byl zamčen na geografické souřadnice, docházelo by k užitečnému efektu. Gong by byl slyšet vždy na konkrétním místě a bylo by tedy možné se navigovat v takto rozšířené realitě pomocí symbolů jako „gong u borovice”, nebo „u třetího gongu od řeky do prava”. V zásadě jde o podobný koncept, jako je „geohashing” vymyšlený Randallem Munroem - bývalým zaměstnancem NASA a autorem oblíbeného komixu XKCD. Ten také definuje síť virtuálních orientačních bodů v krajině a rozšiřuje tak význam volného prostoru.

9.3 Možnosti aplikace technologie

Technologii popsanou v této kapitole by po doladění počátečních neduhů mělo být možné použít pro více různých účelů. Celá myšlenka vznikla za účelem rekreačního využití při turistice pro snadnou orientaci v terénu. Spatřuji však i určitý potenciál ve využití této technologie lidmi se sníženou schopností orientace. To je ovšem nad rámec této práce.

10 Závěr

V této práci bylo na základě objektivních měření i subjektivních pozorování dokázáno, že je možné využít binaurální prostorový zvuk pro účely rozšířené reality. Je však nutné mít na paměti, že lokalizace zvuku lidským sluchem není zdaleka tak jednoznačná, jako je například lokalizace objektů pomocí hmatu a zraku. V práci byla také změřena míra, do jaké je možné se na tento systém spolehnout.

Tento zjištěný fakt byl demonstrován v praxi na funkční mobilní aplikaci, která umožňuje uživateli rozšířit svou realitu o pomyslný šestý smysl, který umožňuje podvědomě vnímat světové strany.

Jako vedlejší produkt této práce vznikl počítačový program vhodný pro provádění podobných měření při budoucím výzkumu schopností lidského sluchu lokalizovat zdroj prostorového zvuku.

Za důležitý vedlejší přínos této práce také považuji otevření tohoto tématu. V současnosti se většina snah na poli rozšířené reality zaměřuje na obrazové systémy, které jsou pro většinu lidí pochopitelně lákavé. To ale neznamená, že bysme se měli soustředit jen na zrak a celkově opomíjet využití ostatních smyslů pro účely rozšířené reality.

11 Seznam použitých zdrojů

11.1 Seznam literatury

- [1] BAXTER, A.J., KEMP, David T., "Zuccarelli's Theory," New Scientist, 1983, ISSN 606-606
- [2] GILKEY, Robert H., ANDERSON, Timothy A., "Binaural and Spatial Hearing in Real and Virtual Environments", ISBN 978-1138987852
- [3] JEFFRESS, Lloyd A., "A place theory of sound localization", Journal of Comparative and Physiological Psychology, 1948, doi:10.1037/h0061495. PMID 18904764
- [4] ZUCCARELLI, Hugo, "Process for forming an acoustic monitoring device", US Patent 4,680,856
- [5] ZUCCARELLI, Hugo, "Ears Hear by Making Sounds," New Scientist, 1983, ISSN 438-440
- [6] BEGAULT, D.R., „3D sound for virtual reality and multimedia”, AP Professional, 1994
- [7] BLAUERT, J., „Spatial hearing: the psychophysics of human sound localization, MIT Press, 1997
- [8] SO, R.H.Y., NGAN, B., HORNER, A., LEUNG, K.L., BRAASCH, J., BLAUERT, J., „Toward orthogonal non-individualized head-related transfer functions for forward and backward directional sound: cluster analysis and an experimental study. Ergonomics”, 2010 , 53(6), pp.767-781.
- [9] ROSEN, Stuart, „Signals and Systems for Speech and Hearing (2nd ed.)”, BRILL, 2011, p. 163.
- [10] ALTON, F., „Master Handbook of Acoustics (Fourth ed.)”, McGraw-Hill Professional, Everest, 2000, ISBN 0-07-136097-2.
- [11] GARDNER, Bill, MARTIN, Keith, „HRTF Measurements of a KEMAR Dummy-Head Microphone” [online], 2000, [cit. 23.11.2017], Dostupné z: <http://sound.media.mit.edu/reso>

- [12] BEHRINGER, R., KLINKER, G., MIZELL, D., „Augmented Reality – Placing Artificial Objects in Real Scenes”, Proceedings of IWAR '98. A.K.Peters, Natick, 1999. ISBN 1-56881-098-9
- [13] THAUT, Michael H., „Rhythm, music, and the brain : scientific foundations and clinical applications (1st in paperback ed.)”, New York, NY [u.a.]: Routledge, 2005, ISBN 0415973708

12 Přílohy

12.1 Kompletní soubor naměřených dat

Je k dispozici na webu univerzity společně s touto prací.

12.2 Mobilní aplikace NorthDog

Zdrojové kódy jsou k dispozici na webu univerzity společně s touto prací a na github.com/harvie. Časem by měla být k dispozici i zkompileovaná verze v online repozitáři F-Droid.org.

12.3 Webová aplikace použitá při poslechových testech

```
<?php
    if(isset($_POST['data'])) {
        echo("<h1>Děkuji za spolupráci </h1><a href='?'>Spustit znovu</a>\n");
        $data = '#Nick: ' . $_POST['nick'] . "\n" . $_POST['data'];
        $dir = './data/' . date("Y-m-d");
        $file = $dir . '/' . md5($data) . '.csv';

        @mkdir($dir, 0775, true);
        file_put_contents($file, $data);

        echo('<hr /><pre>');
        echo("\n#Zapsano do souboru: " . $file . "\n");
        print($data);
        echo('</pre>');
        die();
    }
?>
<!DOCTYPE html>
<html lang="cs">
<head>
    <title>Anketa</title>
    <meta charset="utf-8" />
</head>
<body style="padding: 40px;">
<div style="width: 50%; float: right; border:0px solid pink;">
<h1>Průzkum – prostorové vnímání zvuku</h1>
<ul>
<li>Pro tento průzkum je <b>bezpodmínečně nutné</b> využití sluchátek</b> a tichého prostoru</li>
<li>Během první části vám budou přehrávány prostorové zvuky a na kompasu vlevo se bude ukazovat směr ze kterého zdánlivě přicházejí</li>
<li>Při této příležitosti prosím upravte hlasitost na svém zařízení na pohodlnou úroveň</li>
<li>Zkontrolujte, zda <b>nemáte</b> obráceně levé a pravé sluchátko</b> (90 stupnu na kompasu odpovídá pravému uchu, 270 levému)</li>
<li>Až budete připraveni spustit průzkum, klikněte na tlačítko [Spustit]</li>
<li>Začnou se přehrávat zvuky z náhodných uhlů, na kompasu klikejte na stupnici na směr odkud podle vás zvuk přichází. Využijte přitom <b>zkušenosti s poslechem v přípravné části</b>.</li>
<li>Měření je zaznamenáno okamžitě po kliknutí na stupnici a nelze ho vrátit v případě chyby</b>. Je ale možné smazat všechna měření tlačítkem [Smazat] a začít znovu.</li>
<li>Po dosažení 100 měření je možné data odeslat tlačítkem [Odeslat], nebo pokračovat v měření (výzkum se urychlí, pokud odešlete více než 100 měření, ale preferována je kvalita odpovědi před kvantitou).</li>
</ul>
```

```

<li><b>Děkuji vám za účast na tomto výzkumu.</b> ~TM</li>
</ul>
</div>
<canvas id="myCanvas" width="300" height="300" style="border:0px solid pink;"></canvas>
<!-- audio controls>
  <source src="./dog3/a0.mp3" type="audio/ogg">
</audio -->
<br />
<h1>Count: <span id="count">0</span>/100</h1>
<span id="dbg"></span>
<br />
<button id="reset">Spustit</button>
<input type="button" value="Reset" onClick="window.location.reload()" />
<br />
<br />
<form method="POST">
<input type="text" name="nick" placeholder="prezdivka (nepovinne)" />
<input id="send" type="submit" disabled value="Odeslat" />
<br />
<textarea name="data" id="data" style="width: 600px; height: 600px; display: none;">
</textarea>
</form>

<script>
debug = true;
drawing = new Image();
drawing.src = "./compass.png"; // can also be a remote URL e.g. http://
var angle = 0;

function angle_norm(angle) {
  angle = Math.round(angle/5)*5;
  angle = ((angle+180)%360)-180;
  return angle;
}

function compass_audiourl(angle) {
  angle = angle_norm(angle);
  var audiourl = './dog3/a'+angle+'.mp3';
  //document.getElementById("dbg").innerHTML = audiourl;
  return audiourl;
}

function compass_audio(angle) {
  new Audio(compass_audiourl(angle)).play();
}

function compass(angle) {
  var c = document.getElementById("myCanvas");
  var ctx = c.getContext("2d");

  ctx.clearRect(0, 0, c.width, c.height);

  ctx.drawImage(drawing,0,0,c.width,c.height);

  ctx.beginPath();
  ctx.arc(c.width/2,c.height/2,100,0,2*Math.PI);
  ctx.lineWidth = 3;
  ctx.strokeStyle = '#000000';
  ctx.stroke();
  ctx.closePath();

  if (!(typeof angle === 'undefined')) {
    ctx.beginPath();
    angle=angle_norm(angle);
    rad=(angle-90)*(Math.PI/180);
    ctx.moveTo(c.width/2,c.height/2);
    ctx.lineTo(c.width/2+Math.cos(rad)*120,c.height/2+Math.sin(rad)*120);
    ctx.lineWidth = 3;
    ctx.strokeStyle = '#ff0000';
    ctx.stroke();
    ctx.closePath();
  }
}

```

```

    }
}

document.getElementById('myCanvas').addEventListener('click',function(evt){
    if(running == 0) return;
    var c = document.getElementById("myCanvas");
    var rect = c.getBoundingClientRect();
    var x = evt.clientX - rect.left - c.width/2;
    var y = evt.clientY - rect.top - c.height/2;
    var angle_click = Math.atan2(y,x)/(Math.PI/180)+90;
    //angle_click=angle_norm(angle_click);
    compass(angle_click);
    //compass();

    var diff = angle_norm(angle_click)-angle_norm(angle);
    if(diff > 180) {
        diff = angle_norm(angle_click)-360-angle_norm(angle);
    } else {
        if(diff < -180) diff = angle_norm(angle_click)+360-angle_norm(angle);
    }

    document.getElementById("data").value += angle_norm(angle)+"\t"+angle_norm(angle_click)+"\t"+diff+"\t"+compass_audiourl(angle)+"\n";
    document.getElementById("count").innerHTML++;
    if(document.getElementById("count").innerHTML >= 5) document.getElementById("send").disabled = false
    ;
    next();
},false);

var preview;
var running = 0;
drawing.onload = function() {
    compass();
    preview = setInterval(function(){ compass(angle); compass_audio(angle); angle+=10; }, 1000);
}

function next() {
    clearInterval(preview);
    angle = Math.random()*360;
    //alert(angle);
    compass(angle);
    if(running == 0) {
        setInterval(function(){ compass_audio(angle); }, 1000);
        running = 1;
    }
}

document.getElementById('reset').addEventListener('click',function(evt){
    document.getElementById("reset").disabled = true;
    clearInterval(preview);
    compass();
    document.getElementById("count").innerHTML = "0";
    document.getElementById("data").value = "#Audio\tClicked\tDiff\tFile\n";
    document.getElementById("reset").innerHTML = "Smazat\n";
    document.getElementById("send").disabled = true;
    next();
},false);
</script>

</body>
</html>

```