

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

Spracovanie ITD a kortikálna lokalizácia kontextuálnej plasticity pri
priestorovom počúvaní

Peter KORYTIAK

DIPLOMOVÁ PRÁCA

2009

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

Katedra kybernetiky a umelej inteligencie

Spracovanie ITD a kortikálna lokalizácia kontextuálnej plasticity pri
priestorovom počúvaní

DIPLOMOVÁ PRÁCA

Peter Korytiak

Vedúci diplomovej práce:

Ing. Norbert Kopčo, PhD.

Konzultant diplomovej práce:

Ing. Beáta Tomoriová

Košice 2009

Analytický list

Autor:	Peter Korytiak
Názov práce:	Spracovanie ITD a kortikálna lokalizácia kontextuálnej plasticity pri priestorovom počúvaní
Podnázov práce:	
Jazyk práce:	slovenský
Typ práce:	Diplomová práca
Počet strán:	61
Akademický titul:	Inžinier
Univerzita:	Technická univerzita v Košiciach
Fakulta:	Fakulta elektrotechniky a informatiky (FEI)
Katedra:	Katedra kybernetiky a umelej inteligencie (KKUI)
Študijný odbor:	Umelá inteligencia
Študijný program:	Umelá inteligencia
Mesto:	Košice
Vedúci práce:	Ing. Norbert Kopčo, PhD.
Konzultanti práce:	Ing. Beáta Tomoriová
Dátum odovzdania:	7. máj 2009
Dátum obhajoby:	28 mája 2009
Kľúčové slová:	priestorové počúvanie, plasticita, spracovanie ITD
Kategória konspekt:	Technika, technológia, inžinierstvo; Elektrotechnika
Citovanie práce:	Korytiak, Peter: Spracovanie ITD a kortikálna lokalizácia kontextuálnej plasticity pri priestorovom počúvaní. Diplomová práca. Košice: Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2009. 61 s.
Názov práce v AJ:	ITD processing and cortical localization of contextual plasticity in spatial auditory perception
Podnázov práce v AJ:	
Kľúčové slová v AJ:	auditory perception, plasticity, ITD processing

Abstrakt v SJ

Kontextuálna plasticita je nepreskúmaný typ plasticity, ktorý bol pozorovaný pri experimentoch študujúcich priestorové počúvanie. Cieľom tejto práce je objasniť na akej úrovni spracovania zvuku vzniká plasticita pri priestorovom počúvaní, t.j. či na úrovni spracovania ITD (rozdiel v čase kedy sa daný zvuk dostal do oboch uší) a ILD (rozdiel v hlasitosti daného zvuku, ktorý sa dostal do oboch uší) alebo na vyššej úrovni v sluchovej dráhe, kde sa už integrujú signály z ITD a ILD mapy a vytvárajú tak sluchovú mapu.. Výsledky naznačujú, že plasticita sa deje na vyšších úrovniach spracovania zvuku.

Abstrakt v AJ

Contextual plasticity is unexplored type of plasticity, which was observed in experiments studying spatial hearing. Purpose of this work is explain at which stage of sound processing , i.e. at ITD (interaural time difference) processing and ILD (interaural time difference) or at more central processing stage at which auditory space is represented in exocentric spatial coordinates.. Result indicate that plasticity occurs at more central levels of auditory processing

Zadanie práce

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH

Fakulta elektrotechniky a informatiky Katedra kybernetiky a umelej inteligencie

DIPLOMOVÁ PRÁCA

Študent: **Peter Korytiak**
Študijný odbor: **Umelá inteligencia**
Akademický rok: **2008/2009**
Názov práce v slovenskom a anglickom jazyku:

Spracovanie ITD a kortikálna lokalizácia kontextuálnej plasticity pri priestorovom počúvaní
ITD processing and cortical localization of contextual plasticity in spatial auditory perception

Pokyny na vypracovanie:

1. Vypracovať prehľad problematiky spracovania priestorovej informácie v sluchovej dráhe s dôrazom na spracovanie interaurálnych časových rozdielov (ITD).
2. Implementovať experimentálnu štúdiu vychádzajúcu zo štúdie N Kopčo, V Best, and BG Shinn-Cunningham (2007). Sound localization with a preceding distractor, Journal of the Acoustical Society of America, 121, 420-432.
3. Upraviť experimentálnu procedúru v prostredí MATLAB tak, aby bolo možné určiť, či sa kontextuálna plasticita prejavuje na úrovni spracovania ITD alebo na vyššej úrovni v sluchovej dráhe.
4. Vykonať experimentálne meranie na minimálne 8 dobrovoľných ľudských subjektoch.
5. Analyzovať a vyhodnotiť experimentálne dáta.
6. Navrhnuť konceptuálny model popisujúci kontextuálnu plasticitu na rôznych úrovniach spracovania v sluchovej dráhe.
7. Vypracovať dokumentáciu podľa pokynov vedúceho diplomovej práce.

Vedúci diplomovej práce:
Konzultant diplomovej práce:

Ing. Norbert Kopčo, PhD.
Ing. Beáta Tomoriová

Dátum odovzdania diplomovej práce:

7.5.2009


prof. Ing. Ján Sarnovský, CSc.


prof. Ing. Liberios Vokorokos, PhD.

**vedúci zadávajúceho
vedecko-pedagogického pracoviska**

dekan

V Košiciach, dňa 31.10.2008

Čestné vyhlásenie

Vyhlasujem, že som celú diplomovú prácu vypracoval samostatne s použitím uvedenej odbornej literatúry.

Košice, 7. máj 2009

.....

vlastnoručný podpis

Pod'akovanie

Ďakujem vedúcemu mojej diplomovej práce Ing. Norbertovi Kopčovi, PhD., mojej konzultantke Ing. Beáte Tomoriovej za usmernenia a odbornú pomoc pri vypracovaní diplomovej práce a ďakujem tiež všetkým, ktorí sa zúčastnili na experimentoch.

Predhovor

Problematika plasticity je predmetom štúdií už mnoho desaťročí. Pojmom plasticita je označovaná zmena v štruktúre alebo vo funkčnosti binaurálneho sluchového systému. Aj keď sa s plasticitou každodenne stretávame, nevieme, aké procesy v mozgu jej podliehajú. Každodenné situácie typicky obsahujú viacero nekorelujúcich zdrojov zvuku prichádzajúcich z rozdielnych oblastí. Aby bolo možné vhodne odpovedať na podnety, poslucháč musí v takýchto situáciách často odhadnúť pozíciu zdroja zvuku. Dokonca v prostredí iba s jedným akustickým zdrojom je táto úloha výpočtovo náročná, pretože mozog musí vypočítať pozíciu z akustického signálu prijatého z dvoch uší. Viacero faktorov ovplyvňuje lokalizáciu jedného zvuku, od toho, ako sa zvuk šíri v prostredí, až po to, ako je informácia spracovaná poslucháčom. Naše porozumenie faktorov, ktoré ovplyvňujú lokalizáciu v prostredí s viacerými zdrojmi zvuku je veľmi limitované.

Predošlé experimenty už vysvetlili, ako distraktor prichádzajúci zo známej pozície ovplyvňuje lokalizáciu nasledujúceho zvuku. Pri frontálnom distraktore bol posun smerom od distraktora v smere hodinových ručičiek zhruba 5 až 15 stupňov. Pri laterálnom distraktore už nebol pozorovaný podobný efekt. Pri tomto distraktore boli odpovede posunuté smerom k polohe distraktora.

Aj keď už vieme, že plasticita sa prejavuje, stále nevieme, na akej úrovni spracovania zvuku mozgom sa to deje, či na úrovni ITD a ILD mapy alebo na vyššej úrovni spracovania. Zámerom mojej práce bolo skúmať, v ktorej časti mozgu sa tieto plastické zmeny dejú. Pre tieto účely bola navrhnutá experimentálna procedúra, v ktorej sme na vybudovanie plasticity použili určitú simuláciu zdroja zvuku a následne sme otestovali (za použitia inej simulácie zvuku), či plastická zmena pretrváva.

Dáta nazbierané pri experimentoch boli štatisticky vyhodnotené a vykreslené do grafov podľa viacerých vlastností a kritérií.

Obsah

Zoznam obrázkov	10
Zoznam tabuliek	11
Zoznam symbolov a skratiek	12
Slovník termínov	13
Úvod	14
1 Formulácia úlohy	15
2 Zvuk	16
3 Sluchový systém	18
3.1 Periférny sluchový systém.....	18
3.2 Centrálny sluchový systém	20
3.2.1 Cochlear nucleus (CN).....	21
3.2.2 Superior olivary complexes (SOC)	22
3.2.3 Inferior colliculus (IC)	22
3.2.4 Superior colliculus (SC).....	22
3.2.5 Sluchový kortex.....	23
4 Priestorové sluchové vnímanie	24
4.1 Smerová prenosová funkcia, tzv. Head - related transfer function (HRTF).....	25
4.2 Lokalizácia zvukov	26
4.2.1 ITD - Interaurálny časový rozdiel	26
4.2.2 ILD- Interaurálny rozdiel intenzít	28
4.2.3 Duplexná teória	29
4.3 Kužeľ nejednoznačnosti.....	30
4.4 Simulácia sluchového priestoru a lateralizácia.....	31
5 Plasticita v priestorovom sluchovom vnímaní	33
5.1 Príčiny vzniku plasticity	33
5.2 Adaptácia sluchového priestorového vnímania	34
5.3 Predošlá štúdia	34
6 Experimentálna časť	37
6.1 Cieľ	37
6.2 Hypotézy	37
6.3 Motivácia experimentu	37

6.4	Návrh experimentu	38
6.4.1	Stimuly	38
6.4.2	Popis a organizácia blokov.....	40
6.4.3	Metódy	42
6.5	Spracovanie dát.....	45
6.5.1	Analýza všetkých subjektov – nedistraktorové merania	47
6.5.2	Priame porovnanie nedistraktorových kôl všetkých typov	47
6.5.3	Vplyv rôznych typov simulácií na plnú simuláciu nedistraktorových meraní	48
6.5.4	Vplyv rôznych typov simulácií na ITD simuláciu nedistraktorových meraní	53
7	Záver	58
	Zoznam použitej literatúry.....	59
	Prílohy	61

Zoznam obrázkov

Obr. 1 Periodický pohyb sínusového harmonického priebehu[1].....	16
Obr. 2 Zhustenie a zriedenie plochy vlny pri šírení zvuku[1].....	17
Obr. 3 Anatómia ľudského ucha[14].....	19
Obr. 4 Schéma prepojenia hlavných jadier centrálného sluchového systému[11]	21
Obr. 5 Sluchový kortex[11].....	23
Obr. 6 Systém súradníc použitý pri sluchových experimentoch, r je vzdialenosť, φ je azimut a δ je elevácia zdroja zvuku[3].....	25
Obr. 7 Smerová prenosová funkcia (HRTF)[5]	26
Obr. 8 ITD v závislosti od horizontálnej polohy zdroja zvuku [3]	27
Obr. 9 Graf ITD vzhľadom na natočenie zdroja signálu [3][3]	28
Obr. 10 Nízkofrekvenčné zvuky nevytvárajú akustický tieň (obrázok hore), vysokofrekvenčné áno (obrázok dole) [6].....	29
Obr. 11 Kužeľ nejednoznačnosti. Body na jeho povrchu majú rovnaké ITD a ILD[8]	31
Obr. 12 Frontálny distraktor.....	35
Obr. 13 Laterálny distraktor	35
Obr. 14 Odpovede na lokalizáciu zvukov	36
Obr. 15 Vykreslené HRTF pre obe uši, odstránené ILD.....	39
Obr. 16 Vykreslené HRTF pre obe uši, odstránené ILD.....	40
Obr. 17 Experimentálna odhlučnená miestnosť pri pohľade	44
Obr. 18 Porovnanie nedistraktorových kôl všetkých typov, preklopené dáta.....	47
Obr. 19 Graf znázorňujúci posun voči skutočnej polohe pre ľavé a pravé otočenie	48
Obr. 20 Graf znázorňujúci posun voči skutočnej polohe, preklopené dáta	49
Obr. 21 Graf znázorňujúci posun voči nedistraktorovému kolu (plná simulácia)	50
Obr. 22 Graf znázorňujúci časový priebeh kola.....	51
Obr. 23 Posun voči nedistraktorovému kolu plnej simulácie, spriemernené cez azimuty	52
Obr. 24 Graf znázorňujúci posun voči skutočnej polohe pre ľavé a pravé otočenie	53
Obr. 25 Graf znázorňujúci posun voči skutočnej polohe, preklopené dáta	54
Obr. 26 Graf znázorňujúci posun voči nedistraktorovému kolu(ITD simulácia)	55
Obr. 27 Graf znázorňujúci časový priebeh kola.....	56
Obr. 28 Posun voči nedistraktorovému kolu ITD simulácie, spriemernené cez azimuty	57

Zoznam tabuliek

Tab. 1 Typy kôl.....	41
----------------------	----

Zoznam symbolov a skratiek

- HRTF** **H**ead **R**elated **T**ransfer **F**unction, funkcia popisujúca transformáciu, ktorou prejde zvukový signál od zdroja po ucho. Je závislá na jednotlivcovi, keďže závisí od tvaru hlavy, uší a ramien, pretože na nich sa zvuk rôznymi odrazmi transformuje.
- ILD** **I**nteraural **L**evel **D**ifference, rozdiel v intenzite, v akej je vnímaný zvuk v jednom a v druhom uchu, spôsobený akustickým tieňom hlavy.
- ITD** **I**nteraural **T**ime **D**ifference, časový rozdiel medzi tým, kedy dorazí ten istý zvuk k jednému a k druhému uchu.
- SOA** **S**timulus **O**nset **A**synchrony, opozdenie cieľového stimulu voči podnetu.

Slovník termínov

Bias je posun.

Binaurálny je platný pre obe uši.

Distraktor je rušivý zvuk, prichádzajúci z fixnej pozície, je identický pre všetky subjekty v celom experimente s dĺžkou 2ms.

Distraktor target je cieľový zvuk v distraktorovom meraní.

Frontálny je nachádzajúci sa priamo pred.

ILD simulácia je odstránenie ITD zložky zvuku z HRTF.

ITD simulácia je odstránenie ILD zložky zvuku z HRTF.

Mediálna rovina je pomyselná rovina vedená stredom hlavy rozdeľujúca priestor na dve časti- ľavú a pravú.

Meranie pozostáva z prezentácie cieľového zvuku (alebo distraktora a cieľového zvuku) a odpovede subjektu.

Plasticita je prispôsobenie sa okoliu alebo vplyvu okolia.

Podnet je upozorňujúci signál.

Subjekt je človek, ktorý sa dobrovoľne zúčastnil experimentov.

Úvod

Vychádzam zo štúdie Kopco et al. (2007)[9], ktorá skúmala, ako distraktor ovplyvňuje lokalizáciu po ňom nasledujúceho zvuku. Táto štúdia okrem iného naznačila, že lokalizácia zvukov môže byť ovplyvnená kontextom - t.j., že dochádza k tzv. kontextuálnej plasticite, podrobnejšie aspekty tejto plasticity však neboli skúmané. Jednou z nezodpovedaných otázok je aj to, na akej úrovni spracovania táto plasticita prebieha.

Plastické zmeny môžu prebiehať na rôznych úrovniach spracovania zvuku. Proces, akým mozog lokalizuje zvuk prebieha približne týmito stupňami: Zvuk dorazí do ucha, ktoré je bližšie k zdroju zvuku skôr a hlasnejšie ako do druhého. Niekde v mozgovom kmeni sú neuróny, ktoré tieto rozdiely v časoch (ITD) a intenzitách (ILD) spracujú. Na tejto úrovni je sluchový priestor reprezentovaný len hodnotami ITD a ILD, môžeme si to predstaviť ako nejakú ITD a ILD mapu. Plasticita môže vznikáť neskôr, teda na vyššej úrovni spracovania, v mape, do ktorej vstupujú výstupy z ITD a ILD mapy, a v ktorej je už sluchový priestor reprezentovaný v exocentrických priestorových súradniciach. Vo virtuálnom prostredí (t.j. za použitia slúchadiel) môžeme zmeniť ITD nejakého zvuku nezávisle od jeho ILD. Plasticitu budeme budovať len za pomoci ITD a lokalizáciu testovať na zvukoch simulovaných za pomoci ILD. Snažíme sa tak vyvolať zmeny na ceste z ITD mapy do priestorovej mapy. Teda sledujeme či sa takto vybudovaná plasticita prejavila v ILD mape.

Moju prácu som sa rozhodol začať opisom zvuku, ako vzniká a z čoho sa skladá. Veľkú časť som venoval lokalizácii zvuku a faktorov ktoré ju ovplyvňujú.

Zaoberal som sa aj poznatkami a experimentmi ktoré študovali kontextuálnu plasticitu. V práci je spomenutá predchádzajúca štúdia Kopco, Best, Shinn-Cunningham [9] ktorá skúmala aj ako poloha distraktora ovplyvňuje kontextuálnu plasticitu. Z tejto práce vychádza hypotéza, ktorá je dokazovaná v tejto práci.

Najdôležitejšou časťou mojej práce bola experimentálna štúdia, ktorú som implementoval a na základe ktorej som vyhodnotil, kde v mozgu sa dejú plastické zmeny, ktoré sledujeme. V závere som analyzoval všetky nadobudnuté merania a výsledky štatisticky vyhodnotil a vykreslil.

1 Formulácia úlohy

Táto práca nadväzuje na prácu kolektívu N. Kopčo, V. Best, and BG. Shinn-Cunningham[9].

Teoretickou časťou mojej práce bolo vypracovať problematiku zvuku, jeho spracovania na rôznych stupňoch a priestorového sluchového vnímania.

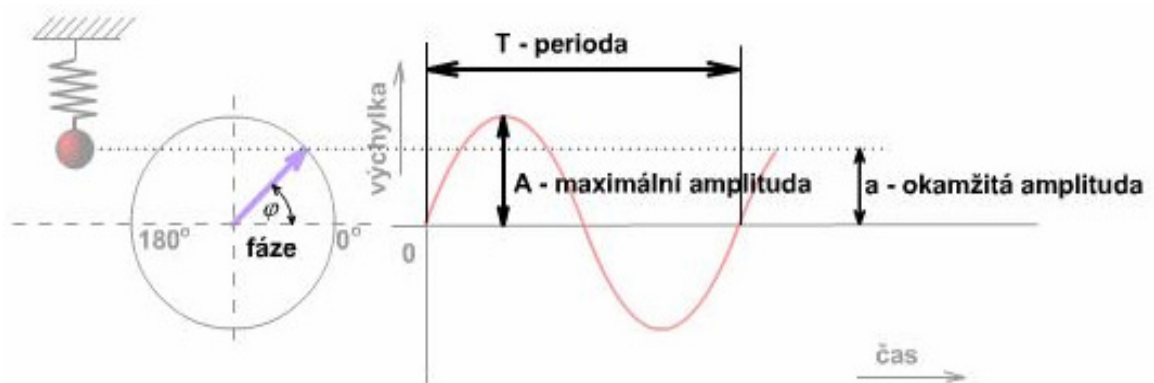
Implementoval som experimentálnu štúdiu a vykonal merania na štyroch mužských subjektoch. Pomocou tejto štúdie som vyhodnotil kde vzniká kontextuálna plasticita.

Namerané dáta boli zanalyzované a graficky vykreslené.

V závere som vyhodnotil namerané dáta a vyhodnotil môj prínos do danej problematiky.

2 Zvuk

Táto práca sa zaoberá plasticitou sluchového systému, ktorý je zodpovedný za spracovanie zvukov a preto práca začína letným úvodom do tejto oblasti. Zvuk vzniká kmitaním bodov a bodových sústav. Kmitavý pohyb je fyzikálny dej, kde sa v závislosti od času periodicky menia charakteristické veličiny ako napr. poloha, rozmer, tlak, rýchlosť a pod. Najjednoduchší je periodický pohyb sínusového (harmonického) priebehu, ktorý sa dá jednoducho popísať a znázorniť pohybom nejakého zaveseného oscilujúceho telesa[1].



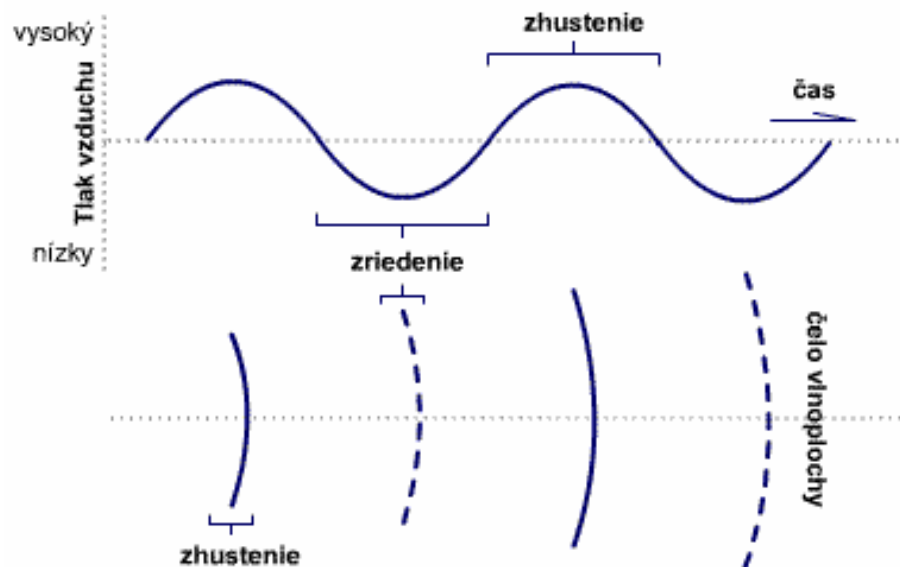
Obr. 1 Periodický pohyb sínusového harmonického priebehu[1]

- Perióda T – čas za ktorý sústava spravila jeden kmit (koncový bod vektoru obehol celú kružnicu). V akustike sa namiesto periódy častejšie používa počet periód za jednotku času (sekundu) – $1/T$ a označuje sa f – frekvencia. Jednotkou je **Hz** – počet kmitov za sekundu.
- Maximálna odchýlka A – najväčšia vzdialenosť, o ktorú sa sústava odchyli od rovnovážnej polohy.
- Okamžitá amplitúda a – vzdialenosť sústavy od rovnovážnej polohy v sledovanom okamihu t .

Zvukové vlny putujú tak, že sa vzduch striedavo zhusťuje a zrieduje[4]. Tak ako teleso kmitá, tlačí pred sebou vzduch a tým sa vytvára vzduchová vrstva, ktorej hustota je väčšia ako hustota okolitého vzduchu. Takáto stlačená vzduchová vrstva sa

rozťahuje, čím však stláča ďalší vzduch vo svojom okolí a vytvára novú vrstvu. Týmto spôsobom sa tlaková vlna šíri ďalej na všetky strany. Vodič zvuku, zvyčajne vzduch, sprostredkúva spojenie medzi zdrojom zvuku a jeho prijímačom (detektorom), ktorým je napríklad ľudské ucho. Ľudia vnímajú zvuky iba v určitom frekvenčnom rozsahu, od frekvencie 20 Hz (dolná hranica počuteľnosti) do frekvencie 20 kHz (horná hranica počuteľnosti). Najvýznamnejší rozsah je 2 až 4 kHz, ktorý je najdôležitejší pre zrozumiteľnosť reči a na tento rozsah je ľudské ucho najcitlivejšie. Najvyššia informačná hodnota reči je prenášaná v pásme od 0,5 do 2 kHz[1].

Každý zvuk môžeme popísať jednotlivými charakteristickými vlastnosťami. Intenzitou hladiny zvuku, čo je vlastne amplitúda, frekvenciou zvuku (počet zhustení alebo zriedení za základnú jednotku času), ktorá určuje výšku tónu a priebehom kmitania, ktorý ovplyvňuje zafarbenie tónu.



Obr. 2 Zhustenie a zriedenie plochy vlny pri šírení zvuku[4]

3 Sluchový systém

3.1 Periférny sluchový systém

V tejto časti sú popísané stupne spracovania zvuku.

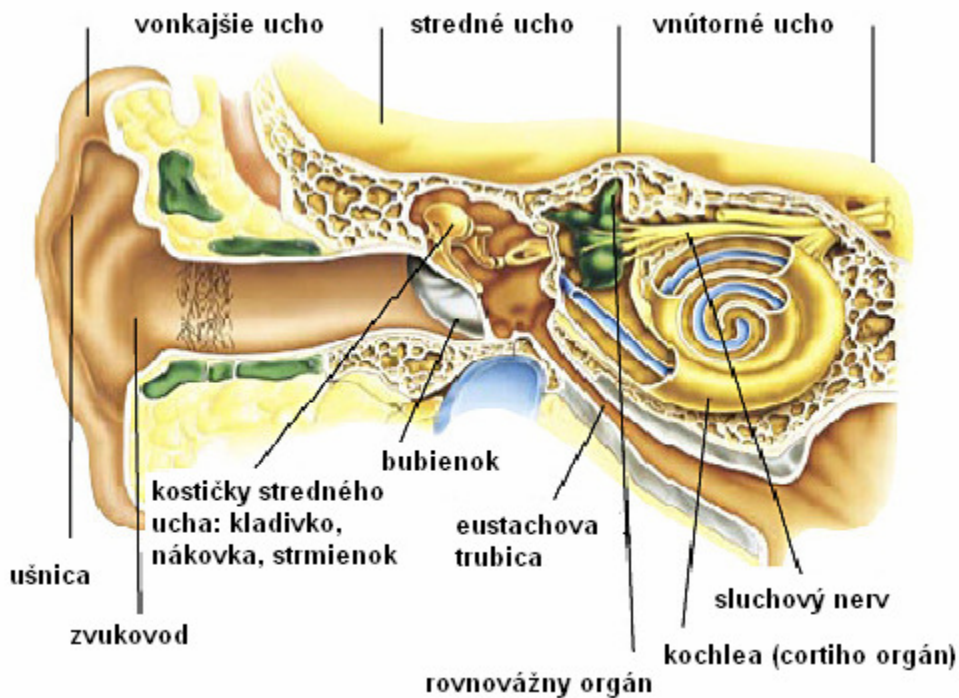
Cesta sluchového spracovania zvuku a následná transformácia na bioelektrické impulzy, ktoré reprezentujú zvukovú informáciu nášmu mozgu začína zmyslovým orgánom sluchu a tým je ucho.

Delí sa na tri časti:

vonkajšie ucho – Svojim zakrivením pomáha lokalizovať odkiaľ zvuky prichádzajú. Pozostáva z ušnice (elastická chrupka tvaru mušle, ktorá zachytáva zvukové vlny) a zvukovodu. Na konci vonkajšieho zvukovodu sa nachádza bubienok, tvorený tenkou väzivovou blankou, na ktorý dopadajú zvuky zachytené zvonku. Bubienok sa nachádza na rozhraní medzi vonkajším a stredným uchom, taktiež medzi nimi tvorí vzduchotesnú bariéru.

stredné ucho - je dutina medzi bubienkom a vnútorným uchom. Vpredu sa nachádza Eustachova trubica (vyrovnáva tlak na obidvoch stranách bubienka; tlak v strednomuchu sa vyrovnáva s tlakom vo vonkajšom prostredí), ktorá je spojená s nosohltanom. Stredné ucho je uložené v dutine spánkovej kosti. Na tomto mieste sú za sebou pospájané tri najmenšie kostičky ľudského tela – kladivko, nákovka, strmienok. Tieto kostičky fungujú ako zosilňovač zvuku. Spájajú bubienok s ďalšou membránou a tou je oválne okienko (začiatok vnútorného ucha).

vnútorné ucho – je centrum, kde nastáva zmena mechanickej vibrácie na elektrické nervové signály. Tieto zmeny sa dejú v slimákoví (kochlea), ktorý obsahuje miliardy zvukových sensorov. Je vnorené do skalnej kosti a smerom k mozgu z neho vybieha sluchový nerv.



Obr. 3 Anatómia ľudského ucha[14]

Proces spracovania zvukovej energie v sluchovom systéme má nasledujúce fyziologické stupne:

- Transport zvukových vln
- Podráždenie sluchových buniek
- Transformácia zvukového podráždenia na nervový impulz
- Spracovanie nervového podráždenia v sluchovom centre

K prenosu zvukovej energie dochádza dvojakou cestou. Prvou je šírenie sa zvuku vzduchom. Zvuk zachytáva ušnica, ktorá vďaka svojmu tvaru má schopnosť koncentrovať zvukové vlnenie tak, aby bol podnet čo najsilnejší. Druhou cestou je samotné spracovanie signálu vonkajším, stredným a vnútorným ušom. Zvuk, teda kmitanie častíc vzduchu sa dostáva cez ušnicu, zvukovodom k bubienku, ktorý rozkmitajú. Kmitaním bubienka sa prenášajú cez tri sluchové kostičky (kladivko, nákovka, strmienok) na oválne okienko a postupne na tekutiny vnútorného ucha. Rozvlnením tekutín sa rozkmitá bazálna membrána Cortiho orgánu. Tá obsahuje vlasové bunky, ktoré na základe vlnení, ktoré zachytia, transformujú tento signál impulz, ktorý následne vysielajú cez sluchový nerv do mozgu. Dráha, po ktorej sa táto

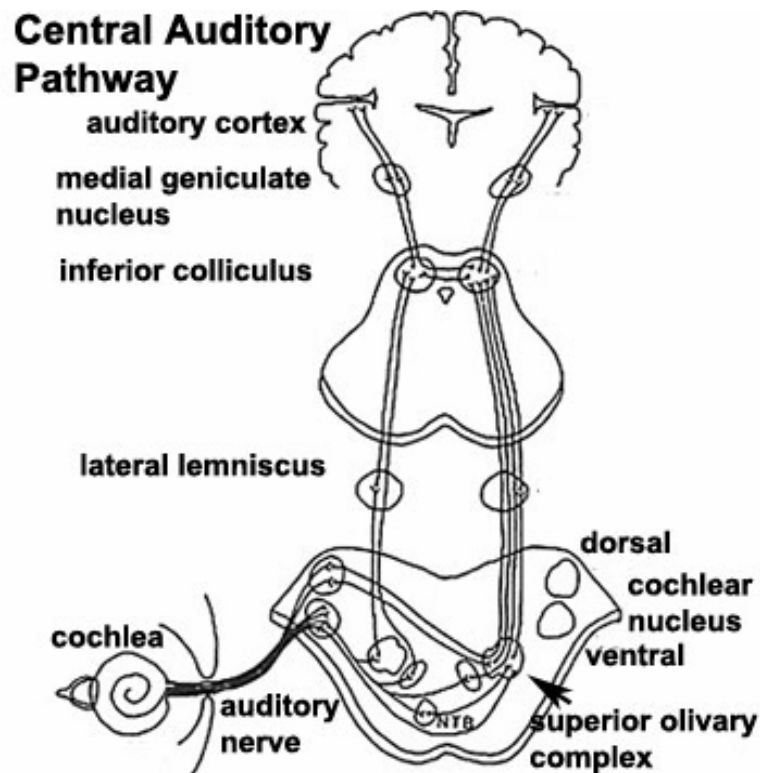
informácia šíri je rozdelená na tonotopické mapy. Sú to skupiny nervov citlivé na určité frekvencie tónov. Sú usporiadané podľa frekvencie, ktorú reprezentujú. Prvé takéto rozdelenie sa nachádza v slimákoví vnútorného ucha, kde vysoké tóny sa spracúvajú na začiatku a nízke tóny až na konci[8]. Podráždením Cortiho buniek dochádza k premene akustickej na bioelektrickú energiu – nervový vzruch. Takejto činnosti sú z celého organizmu schopné len sluchové bunky. Vzniknuté bioelektrické impulzy sú následne vedené smerom k centru. Najprv prechádzajú sluchovým nervom, následne sluchovými dráhami. Tie sa v štruktúrach predĺženej miechy krížia, takže impulz mieri do opačnej hemisféry mozgu. K samotnému uvedomeniu si akustického signálu dochádza v sluchovej mozgovej kôre, ktorá je nevyhnutná pre porozumenie reči. V tejto časti prebieha analýza zvukových signálov a syntéza zvukových podráždení v jednotný zvukový obraz[19].

3.2 Centrálny sluchový systém

Centrálny sluchový systém môžeme nazvať procesnou jednotkou spracovania zvukových signálov. Pozostáva zo zložitého systému nervových zväzkov a mozgových centier. Zvuková informácia transformovaná na nervový vzruch vedie do vyšších štruktúr sluchovej dráhy cez 40 tisíc myelinizovaných vlákien sluchového nervu.

Centrálny sluchový systém pozostáva z nasledujúcich častí[8]:

- CN - Slimákovité jadro (Cochlear nucleus)
 - DCN – zadné slimákovité jadro (dorsal cochlear nucleus)
 - AVCN - anteroventrálne slimákovité jadro (anteroventral cochlear nucleus)
- SOC – Horné olivové jadro (superior olivary complex)
 - MSO – prístredné horné olivové jadro (medial superior olive)
 - LSO – bočné horné olivové jadro (lateral superior olive)
- LL - bočná slučka (lateral lemniscus)
- IC – dolný hrbček (inferior colliculus)
- MGB – prístredné kolienkovité teleso (medial geniculate body)
- SC – horný hrbček (superior colliculus)
- AC - sluchový kortex (auditory cortex)



Obr. 4 Schéma prepojenia hlavných jadier centrálného sluchového systému[11]

3.2.1 Cochlear nucleus (CN)

Sluchový nerv vstupuje do mozgového kmeňa – do ipsilaterálneho (vyskytujúceho sa na tej istej strane tela) kochleárneho jadra (CN – Cochlear nucleus), kde sa vetví a časť jeho vlákien končí v oblasti ventrálneho kochleárneho jadra (VCN, ktoré sa ďalej delí na anterior (predný) a posterior (zadný), NCVA a NCVP) a druhá časť končí v dorsálnom kochleárnom jadre (DCN). Rozdelenie jadier je založené na prítomnosti prevažujúcich typov neurónov. Touto oblasťou prechádzajú všetky vzruchy.

Na úrovni CN, vstupy z oboch uší ostávajú z väčšej časti aj naďalej oddelené. Existujú dôkazy, že značný počet neurónov v KN prijíma vstupy z kontralaterálneho KN. To znamená, že väčšina zvukových informácií spracovávaných každou polovicou mozgu pochádza z ucha na druhej strane hlavy. Po komplexnom zvukovom spracovaní a prenose informácií sa signál prenáša na ďalšiu časť sluchovej dráhy – horné olivové jadro (superior olivary complex, SOC).

3.2.2 Superior olivary complexes (SOC)

SOC tvorí mediálny a laterálny oliva superior (MSO a LSO), tieto dve jadrá sú kľúčovou časťou v binaurálnom počúvaní. MSO je najväčšie jadro v ľudskom mozgu, obsahuje viac ako 15 500 neurónov[10] a jeho úloha spočíva predovšetkým v detekcii časového oneskorenia zvuku nízkej frekvencie. V LSO sa spracovávajú rozdiely v intenzite zvuku vyššej frekvencie (u človeka sa jedná o frekvencie > 2 kHz). MSO prijíma signály z ipsilaterálnej a kontra laterálnej časti AVCN, a výstupy má v lateral lemniscus(LL)[8]. Lateral lemniscus sú axóny neurónov smerujúce z kochleárneho jadra alebo z komplexu olivary superior do časti stredného mozgu, colliculus inferior (CI).

3.2.3 Inferior colliculus (IC)

Ďalším jadrom sluchovej dráhy je IC, je jednou z najvýznamnejších častí sluchovej dráhy. CI sú veľké sluchové centrá na pravej a ľavej strane stredného mozgu. Zvyčajne je rozdelený na tri hlavné podjadrá - centrálné jadro (CNIC) s typickou laminárnou štruktúrou, dorzálny a laterálny kortex. Schádzajú sa tu vstupy z viacerých neurónov v periférnejších častiach dráhy. Podľa frekvenčnej závislosti sa tu nachádzajú tri typy neurónov[8] :

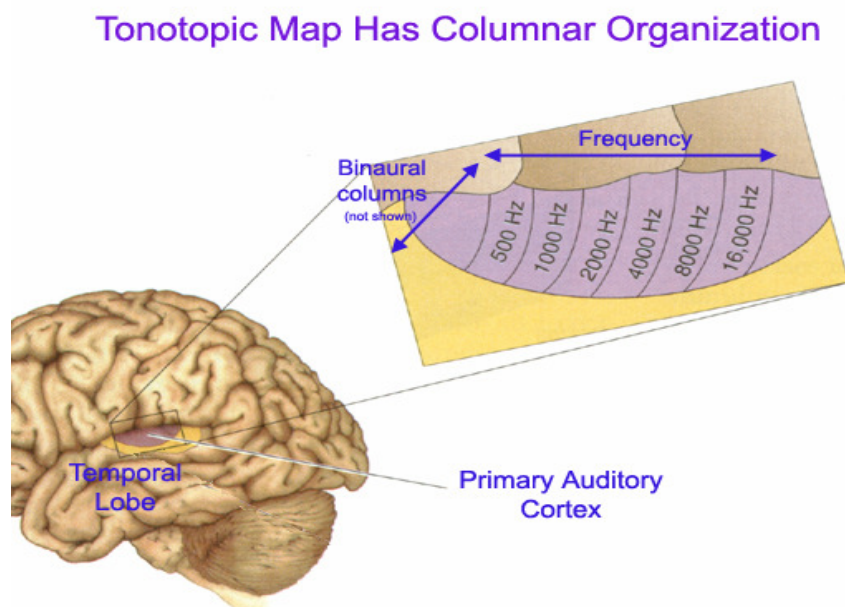
- Neurón typu V – má excitačnú oblasť v tvare V, rozširuje sa s hlasitosťou
- Neurón typu I – má silnú frekvenčnú selektivitu nezávislú od hlasitosti
- Neurón typu O – excitácia v blízkosti prahu, inhibícia pre vyššie hlasitosti

3.2.4 Superior colliculus (SC)

Superior colliculus zohráva kľúčovú úlohu pri kontrole pohybov, orientácie hlavy a očí. Obsahuje tzv. vizuálnu a iné sensorické mapy, ktoré sú vzájomne zarovnané a vytvárajú tak jednotnú multimodálnu reprezentáciu priestoru.[17]. Superior colliculus sa nazýva aj ako optické tektum. Optické tektum obsahuje neuróny reagujúce na jednotlivé sluchové a vizuálne stimuly, ktorých sluchové aj vizuálne polia sú prepojené a preto ak príde podnet z nejakého miesta, vieme kam sa máme otočiť.

3.2.5 Sluchový kortex

Sluchový kortex je najdôležitejšia a najviac organizovaná oblasť mozgu, ktorá spracováva zvukovú informáciu. Neuróny reagujú na niektoré frekvencie zvuku lepšie, na niektoré horšie a podľa toho sú aj organizované. Skladá sa z troch častí a to z primárnej, sekundárnej a terciálnej. Úlohou tejto časti primárneho kortexu je zistiť základné tóny zvuku, jeho hlasitosť. Sekundárny sluchový kortex už spracúva harmonické, rytmické a melodické tóny. V terciálnej časti sa spracúvajú všetky poznatky o prijímanom tóne. Sluchový kortex sa podieľa na úlohách, ako je identifikácia zvukových signálov.



Obr. 5 Sluchový kortex[11]

4 Priestorové sluchové vnímanie

Základné informácie o vonkajšom svete a o stave nášho organizmu získavame pomocou receptorov, dostredivých dráh a spracovaním v mozgovom centre. Procesy vnímania majú vzťah k vyšším úrovniam nervových funkcií ako poznávanie a hodnotenie.

Sluchové priestorové vnímanie je v skutočnosti komplikovanejšie ako vizuálne[2]. Pri vizuálnom máme obmedzený uhol vnímania obrazovej informácie, ktorá sa nám priamo premieta na sietnicu. Táto informácia sa vyše do mozgu a máme jasnú predstavu o obrazovej scéne v rámci možného viditeľného uhla vôkol nás.

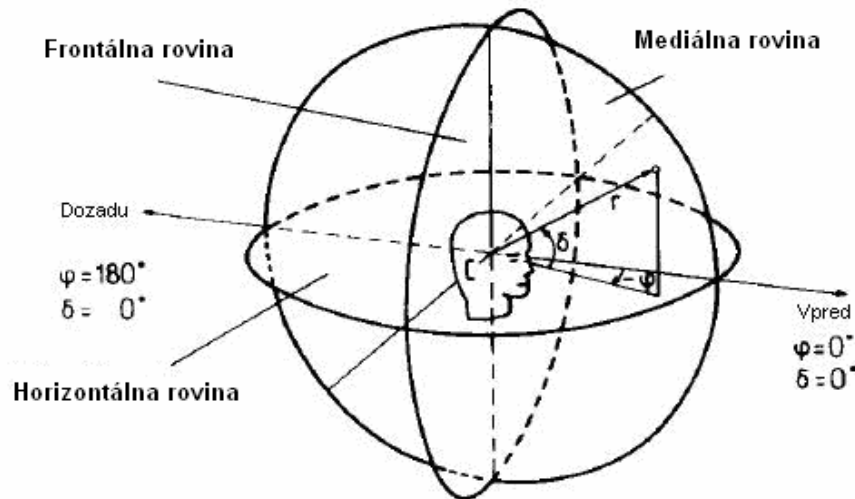
Základom sluchového vnímania priestoru je rozlišovanie akustických signálov prichádzajúcich k pravému a ľavému uchu. Binaurálne počutie ma význam pri lokalizácii zdroja zvuku na základe jeho fázového posunu v ušiach. Porovnanie vnemu ľavého a pravého ucha a celkovej intenzity je robené automaticky a umožňuje nám určiť približnú polohu zdroja zvuku. Lokalizácia zvukov je pravdepodobne najdôležitejšia funkcia sluchu.

Poloha zdroja zvuku sa určuje pomocou troch hlavných koordinátov [2] :

- Azimut - je to relatívna poloha zdroja zvuku v horizontálnej rovine vzhľadom na určitú referenciu. Obvykle touto referenciou je tvár poslucháča.
- Elevácia - je to relatívna poloha zdroja zvuku vo vertikálnej rovine vzhľadom na určitú referenciu. Obvykle touto referenciou je tvár poslucháča.
- Vzďialenosť - tento parameter určuje vzdialenosť poslucháča od zdroja zvuku.

Reprezentácia priestoru je definovaná troma rovinami[8]: horizontálnou, vertikálnou a mediálnou. Na určovanie polohy v jednotlivých rovinách využíva človek rozdielne systémy. Napríklad na detekciu zvuku vo vertikálnej rovine nám postačí informácia z jedného ucha ale v horizontálnej rovine potrebujeme informáciu z oboch. Na určenie azimutu používame dve hlavné metódy ITD (rozdiel v čase,

kedy je ten istý zvuk zachytený ľavým a pravým uchom) a ILD (rozdiel v hlasitosti kedy je ten istý zvuk zachytený ľavým a pravým uchom).

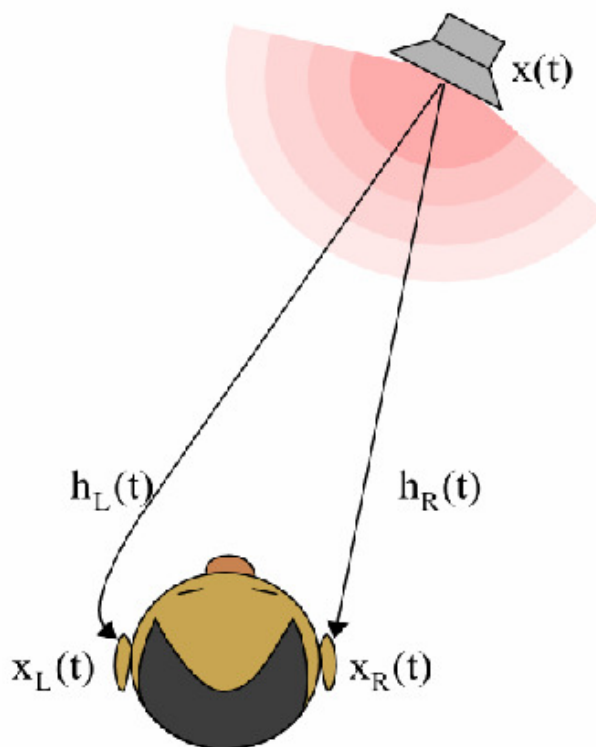


Obr. 6 Systém súradníc použitý pri sluchových experimentoch, r je vzdialenosť, φ je azimut a δ je elevácia zdroja zvuku[8]

4.1 Smerová prenosová funkcia, tzv. Head - related transfer function (HRTF)

Transformáciu, ktorou zvuk prejde od zdroja až po bubienok je možné popísať pomocou prenosovej funkcie, tzv. HRTF (head-related transfer function)[19]. HRTF obsahuje dve podstatné zložky a to ITD, ILD a zmeny v spektre spôsobené odrazmi zvukov. Ak chceme pomocou slúchadiel simulovať akýkoľvek zdroj situovaný niekde v priestore, musíme prehrať stereo signál, ktorý by mal prichádzať z požadovaného smeru. Teda na simuláciu ľubovoľného zdroja zvuku v konkrétnom mieste použijeme prenosové funkcie pre filtrovanie požadovaného zdroja signálu. Výsledný stereo signál sa dá potom použiť pre nahradenie prenosových vlastností daného zvuku a môže byť prezentovaný poslucháčovi.

Pre zdroje vzdialené od hlavy viac ako 1 meter HRTF závisí od azimutu a elevácie. Pre bližšie zdroje závisí HRTF aj od vzdialenosti. Každému bodu v priestore zodpovedá dvojica HRTF, jedna pre pravé, druhá pre ľavé ucho.



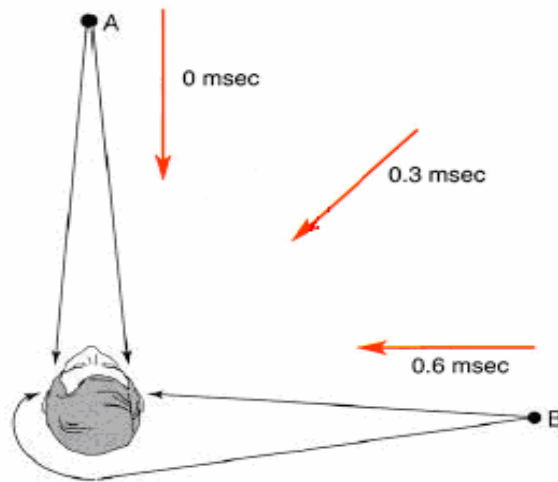
Obr. 7 Smerová prenosová funkcia (HRTF)[5]

4.2 Lokalizácia zvukov

4.2.1 ITD - Interaurálny časový rozdiel

Interaurálny časový rozdiel ITD rozdiel v čase, kedy je ten istý zvuk zachytený ľavým a pravým uchom v horizontálnej rovine [3]. Rozdiel je nulový ak sa zdroj zvukového signálu nachádza priamo pred alebo za poslucháčom. Tieto rozdiely sú rádovo v milisekundách, ale postačujúce na to, aby mozog dokázal určiť smer, odkiaľ daný zvuk pochádza[8]. Rozdiely pre jednotlivé azimuty sú vykreslené na obrázku 8. Určenie zdroja zvuku týmto spôsobom je relatívne jednoduché pre nízkofrekvenčné tóny, pretože vlnová dĺžka je väčšia ako obvod hlavy.

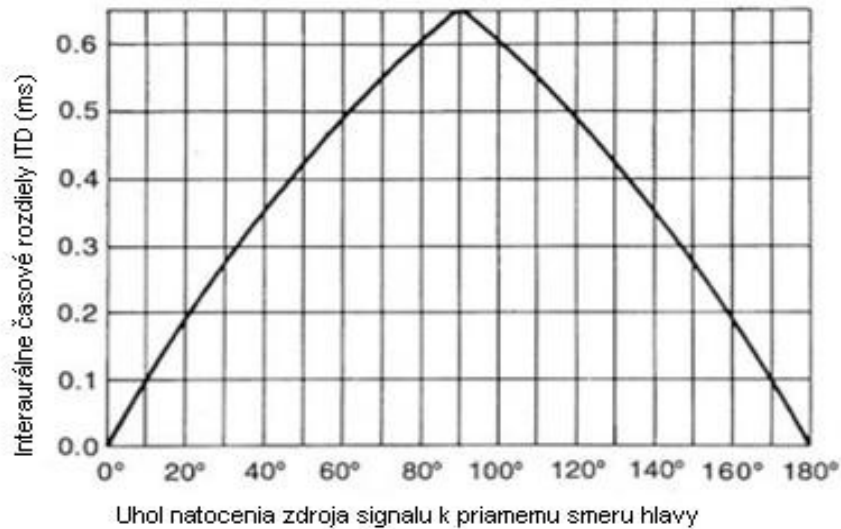
Problémy však nastávajú pri určovaní polohy vysokofrekvenčných tónov.



Obr. 8 ITD v závislosti od horizontálnej polohy zdroja zvuku [3]

Psychoakustické experimenty ukázali, že poslucháči môžu lokalizovať 500 Hz sínusový tón so značnou presnosťou. Pre zvuky prichádzajúce spredu sú poslucháči citliví na rozdiely 1-2 stupne [6]. Jednostupňový rozdiel v azimute korešponduje ku ITD na úrovni iba 13 ms [15]. Zdá sa byť nemožné, že nervový systém so synaptickými opozdzeniami v milisekundách môže úspešne dekodovať tak malé časové rozdiely. Avšak sluchový systém, neznalý takýchto matematických podrobností, aj tak funguje a činí tak v každej situácii. Táto schopnosť môže byť dokázaná v experimentoch použitím slúchadiel, vďaka čomu môže byť zvuk simulovaný len za pomoci ITD. Kľúčom k úspechu mozgu v tomto prípade je paralelné spracovanie. Binaurálny systém zrejme prekonáva nepriaznivú časovú dilemu prenášaním časovej informácie cez veľa neurónov.

Ostávajú tu nejaké logické problémy ako sa sluchový systém vysporiadáva s ITD. Superior olive (procesné centrum) alebo „nucleus“, ktorý sa nachádza v strednom mozgu, sú schopné uskutočniť kroskorelačnú operáciu na signály z dvoch uší. Slúchadlové experimenty s ITD dávajú poslucháčovi špecifickú skúsenosť. Pozícia zvuku je lokalizovaná vľavo alebo vpravo ako sa očakáva, závisiaca na ITD, ale zvuk sa zdá byť vo vnútri poslucháčovej hlavy (nie je vnímaný ako udalosť vo vonkajšom svete). Takýto zvuk sa označuje, že je lateralizovaný a nie lokalizovaný [7]. Hoci lateralizovaný slúchadlový vnem je odlišný od vnemu lokalizovaného zdroja zvuku, experimenty ukazujú, že táto lateralizácia je prepojená na lokalizáciu.

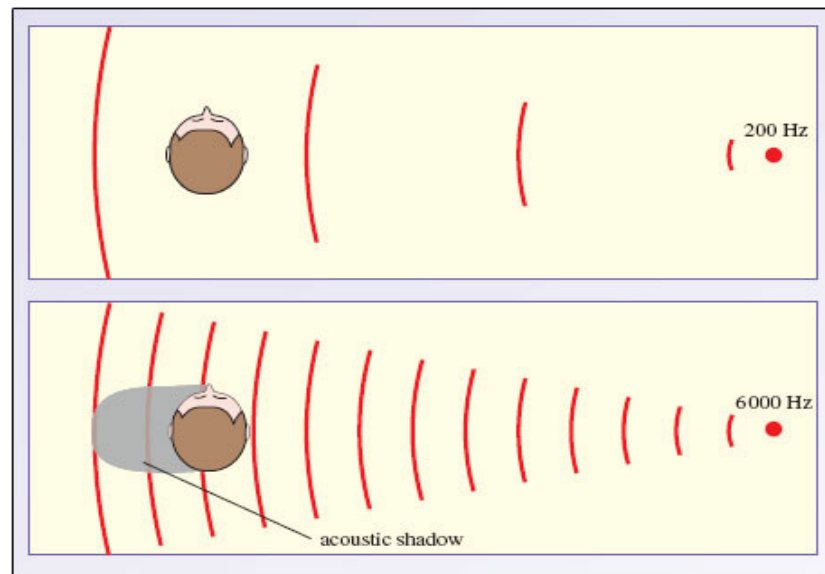


Obr. 9 Graf ITD vzhľadom na natočenie zdroja signálu [3][3]

4.2.2 ILD- Interaurálny rozdiel intenzít

Pri vysokofrekvenčných zdrojoch zvukov je systém ITD nepostačujúci na detekciu smeru. Avšak sluchový systém sa prispôbil a na lokalizáciu vysokofrekvenčných tónov využíva rozdiel v amplitúdach [2]. Zvuková vlna musí obísť prekážku, našu hlavu a dorazí k jednému uchu o frakciu sekundy neskôr. V tomto interaurálnom rozdieli sledujeme jednotlivé hlasitosti, niekedy sa používa výraz rozdiel intenzít. Jednoducho povedané v jednom uchu, aj keď si to neuvedomujeme, počujeme tón hlasnejšie a v druhom tichšie.

Hlava figuruje ako bariéra a preto pri vysokofrekvenčných tónoch vzniká tzv. akustický tieň, ktorý ovplyvňuje amplitúdu týchto zvukov. Rozdiely v amplitúdach sú závislé na uhle zdroja vzhľadom na pozíciu hlavy a frekvencie. Tieto rozdiely intenzity sú nulové pri azimute 0° , čiže keď zvuk počujeme spredu alebo zozadu a maximálne pri 90° , keď zvuk prichádza zľava alebo sprava.



Obr. 10 Nízko frekvenčné zvuky nevytvárajú akustický tieň (obrázok hore), vysokofrekvenčné áno (obrázok dole) [6]

4.2.3 Duplexná teória

Duplexná teória poskytuje vysvetlenie pre schopnosť ľudí lokalizovať zvuky pomocou časových rozdielov medzi príchodom zvuku do oboch uší (ITD) a pomocou rozdielu v úrovni hlasitosti zvuku vstupujúcom do oboch uší (ILD)[19].

Duplexná teória hovorí, že ITD je používané na lokalizovanie nízko frekvenčných zvukov, zatiaľ čo ILD je používané pri lokalizácii vysokofrekvenčných zvukov. Limita duplexnej teórie je to, že neúplne vysvetľuje smerové pocity, ako nevysvetľuje schopnosť rozlíšiť zdroj zvuku priamo pred a za poslucháčom. Taktiež teória sa týka iba lokalizácie zvuku v horizontálnej rovine okolo hlavy. Tato teória taktiež neberie do úvahy použitie Pinny (viditeľnej časti ucha) pri lokalizácii.

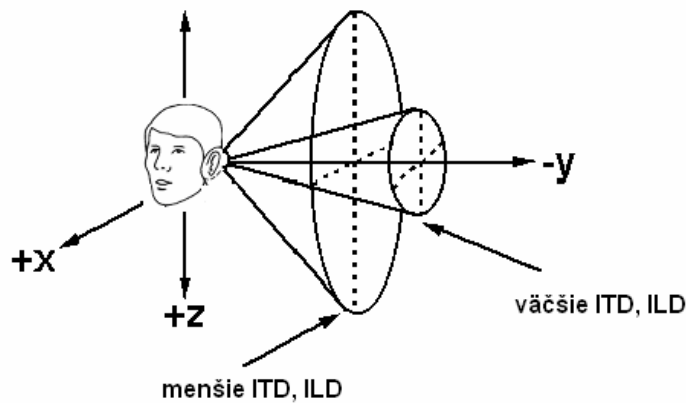
Experimenty testovali duplexnú teóriu použitím trojrozsomernej gule na modelovanie hlavy a meraniami určili ITD ako funkciu azimutu pre odlišné frekvencie [19]. Použitý model mal vzdialenosť medzi ušami približne 22-23 cm. Počiatočné merania zistili, že maximálny časový rozdiel, približne 660 us, nastal, keď zdroj zvuku bol umiestnený priamo v azimute 90 stupňov (t.j., pri jednom uchu). Tento časový rozdiel je nameraný pre zvuk o frekvencii 1500 Hz. Výsledky ukázali, že ak prehraný zvuk mal frekvenciu menšiu ako 1500 Hz, vlnová dĺžka zvuku bola väčšia ako časový rozdiel medzi ušami. Teda je tu fázový rozdiel medzi zvukovými vlnami vstupujúcimi do uší poskytujúci lokalizačnú nápovedu. Ak mal zvukový vstup frekvenciu blízku

1500 Hz, vlnová dĺžka zvuku je podobná skutočnému časovému oneskoreniu. Teda kvôli veľkosti hlavy a vzdialenosti medzi ušami je tu redukovaný fázový rozdiel, takže sa začína vytvárať lokalizačná chyba. Keď je použitý vysokofrekvenčný zvukový vstup o frekvencii vyššej ako 1500 Hz, vlnová dĺžka je kratšia ako vzdialenosť medzi dvoma ušami, hlava vytvorí zvukový tieň a tento zvuk môže byť lokalizovaný pomocou ILD..

Ďalšie experimenty skúmali, ako sa mení ITD s meniacim sa azimutom reproduktorov okolo hlavy pri rozdielnych frekvenciách, ale na rozdiel od experimentov s trojrozmernou guľou sa používali ľudské subjekty oproti modelu hlavy. Výsledok experimentu súhlasil so záverom o ITD. Experimenty taktiež potvrdili, že nie je žiadny rozdiel v ITD vtedy, ak je zvuk prezentovaný priamo pred alebo za poslucháčom (na 0 a 180 stupňoch). Interaurálny časový rozdiel sa menil s tým, ako sa menil azimut prezentovaného zvuku. Maximálne ITD (660 us) nastalo ak zdroj zvuku bol na pozícii 90 stupňoch.

4.3 Kužel' nejednoznačnosti

Interaurálne rozdiely plnia najdôležitejšiu funkciu pre lokalizáciu zvuku ale aj napriek tomu nedokážu určiť polohu zdroja zvuku jednoznačne. Ak sa mení len azimut, čiže určujeme zdroj v horizontálnej rovine, tak nie je problém lokalizovať zdroj zvuku. Avšak, v situácií keď sa nemení len azimut(mení sa pozícia v smere hore/dole alebo vpred/vzad), ITD a ILD nám neudávajú polohu zvuku úplne presne. Problémom je, že jednej hodnote ITD a ILD zodpovedá viacero bodov v priestore, ktoré geometricky vytvárajú kužel'. Tento kužel' sa nazýva „kužel' nejednoznačnosti“ [8]. Na povrchu tohto kužela sa nemení ani ITD ani ILD. V skutočnosti je tento kužel' trochu zdeformovaný, čo je spôsobené nepravidelným tvarom hlavy. Znamená to, že aj keď poznáme uhol odkiaľ znie zvuk, nevieme uhádnuť, či prichádza spredu alebo zozadu, zhora alebo zdola. Túto nejednoznačnosť si pomáhame eliminovať malým pootočením alebo naklonením hlavy.



Obr. 11 Kužel nejednoznačnosti. Body na jeho povrchu majú rovnaké ITD a ILD[18]

S lokalizáciou úzko súvisí aj minimálny počuteľný uhol, ktorý sme schopný rozlíšiť medzi dvoma zdrojmi zvuku. Najlepšie vieme tento uhol rozlíšiť vpredu, kde ma tento uhol hodnotu zhruba 1° . Smerom do strán sa tento uhol zhoršuje, až do 5° . Minimálny počuteľný uhol taktiež závisí aj od frekvencie stimulu.

4.4 Simulácia sluchového priestoru a lateralizácia

Simulované sluchové prostredie je v podstate virtuálna realita. Základ slova virtual pochádza z latinského „virtus“ a znamená účinný, chytrý, perfektný. Samotné slovíčko „virtual“ znamená niečo fiktívne, neskutočné a „real“ – skutočné. Mnohí ľudia si myslia, že virtuálna realita a počítačová simulácia súvisia s vedeckou fikciou, vysoko-technickým priemyslom a počítačovými hrami. Málokto pričlenia túto techniku k výskumu a vzdelávaniu.

Náš experiment bol založený na simulácii zvukov prostredníctvom slúchadiel, pomocou ktorej sme jednoducho vedeli upraviť hodnoty lokalizačných interaurálnych parametrov. Vďaka takejto simulácii sluchového priestoru bolo možné sledovať vplyv ITD a ILD na danú problematiku tejto štúdie. V reálnom prostredí je takáto možnosť vylúčená, pretože zmenou jedného parametra sa automaticky mení aj druhý parameter. Môžeme teda tvrdiť, že virtuálne sluchové prostredie je výborný nástroj, ktorým viem upravovať, meniť, vo všeobecnosti kontrolovať akúkoľvek sluchovú scénu, ktorú si umelo vytvoríme. Aj napriek tomu zvuky simulované pomocou slúchadiel nie sú v skutočnosti identické s reálnymi zvukmi v priestore. Keďže zvuk k nám nedolieha z priestoru ale zo slúchadiel, poslucháč vníma zvuky akoby vznikali v hlave medzi

spojnicou oboch uší a nie niekde v priestore. Preto musia poslucháči počutý zvuk „externalizovať“, čo znamená, že si musia zvuk premietnuť do priestoru a to môže mať veľký vplyv na lokalizáciu takýchto simulovaných zvukov. Preto v experimentoch tohto typu sa požaduje od poslucháčov aby vnímali posun do strany a nie samotný azimut. Preto sa v tomto prípade namiesto pojmu lokalizácia používa výraz „lateralizácia“ [19].

Pri simulácii zvukov, v ktorých meníme ILD a ITD sa sluchová scéna pohybuje, podobne akoby sme sa pohybovali v reálnom prostredí. Ak sa vnímaný obraz posunie do strany vplyvom zmeneného ITD, pomocou ILD zmeny ho vieme vrátiť späť. Táto ekvivalencia efektu ITD a ILD na laterálnu pozíciu sa nazýva „time-intezity trading“[19]. Ak simulujeme zvuk s vlastnosťami skutočného zvuku, tak akoby sa odrážal od pliec a hlavy, takýto zvuk sa javí ako priestorový a presnosť lokalizácia je vysoká. Avšak vytvoriť presne takúto simuláciu je dosť náročné, preto sa často používa jednoduchší variant, pri ktorom prostredie nie je priamo prispôbené konkrétnemu človeku. Potom lokalizačné parametre simulovaného zvuku nezodpovedajú v reálnom priestore skutočnej pozícii. Napriek tomu sa náš sluchový systém na základe dlhodobého alebo krátkodobého pôsobenia dokáže takýmto zmenám adaptovať a odstrániť nepresnosti. Tento jav potvrdzuje existenciu plasticity priestorového sluchového vnímania.

5 Plasticita v priestorovom sluchovom vnínaní

Plasticita ako pojem je intuitívne takmer jasný, vyvoláva schopnosť pretvárať, prispôbovať alebo meniť sa. Pojmom plasticita bude v tejto práci označovaná zmena v štruktúre alebo vo funkčnosti binaurálneho sluchového systému. Predošlé experimenty ukazujú, že sluchové vnímanie človeka nie je nemenné, a preto sa dokáže prispôbovať vplyvom skúseností. Táto práca má za cieľ objasniť, na akej úrovni spracovania sa takéto plastické zmeny dejú..

5.1 Príčiny vzniku plasticity

Pozícia zdroja zvuku v priestore nie je priamo premietnutá na kochleu, preto ju mozog musí spracovať na základe toho, ako prichádzajúci zvuk interagoval s hlavou a s ušami, čiže vypočítať interaurálny rozdiel časov (ITD) a intenzít (ILD), a aj spracovať amplitúdové spektrum v každom uchu. Tieto hodnoty asociuje s odpovedajúcim miestom v priestore. Avšak ak by mala lokalizácia byť správna, tieto hodnoty, ktoré odpovedajú nejakým miestam v priestore by sa už meniť nemali. Takáto asociácia sa však môže stať nesprávnou a v takom prípade by sa sluchový systém mal tejto zmene prispôbiť. To znamená zmeniť určitým hodnotám prislúchajúce miesto v priestore.

Plastické zmeny prebiehajú už v detstve, keď sa človek vyvíja, pretože pritom dochádza ku anatomickým zmenám hlavy. V tomto období je takáto adaptácia nevyhnutná. Rastom hlavy sa mení ITD. Taktiež sa mení aj tvar vonkajšieho ucha a tým sa ovplyvňuje ILD, čo ovplyvňuje spektrálne charakteristiky. Iný príklad sluchovej plasticity je to, že napriek tomu, že sa pohybujeme v prostrediach s rôznou akustikou, dokážeme sa v nich bez problémov sluchovo orientovať. Napríklad ak niekto rozpráva v miestnosti, do uší sa mu nedostáva len primárny zvuk ale aj jeho odrazy, čo by teoreticky malo zapríčiniť problém pri lokalizácii zvuku. Avšak nech sme v hocijakom prostredí vieme relatívne presne určiť prichádzajúce zvuky, z čoho vyplýva, že sa náš sluchový systém vie bez problémov prispôbiť týmto zmenám a adaptovať sa na nové podmienky. Ďalším príkladom môže byť poškodenie sluchu v jednom uchu alebo nejakej neskoršej časti dráhy spracovania a v takom prípade hodnoty sluchových parametrov už nebudú odpovedať danému miestu v priestore. Veľkou výhodou by bolo keby sa mozog s takouto zmenou dokázal vysporiadať a adaptovať sa na nové podmienky.

Plasticitu budeme chápať ako zmenu v štruktúre alebo funkcii binaurálneho sluchového systému vyvolanú zmenenými vstupmi, alebo ako dôsledok prezentovania abnormálnych vstupov (napr. choroba, prekrytie jedného ucha).

5.2 Adaptácia sluchového priestorového vnímania

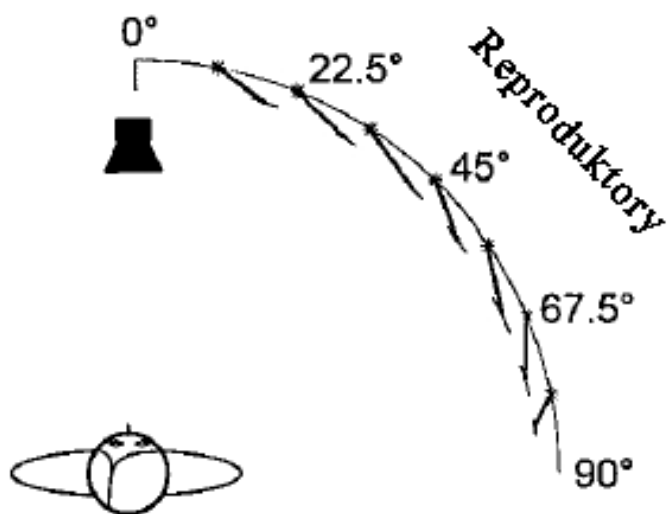
Plasticita sluchového priestorového vnímania sa prejavuje napríklad aj v tom, že sluchová mapa sa prispôsobuje vizuálnej, snaží sa s ňou „zarovnať“ [17]. Zarovnanie vizuálnej a sluchovej mapy má svoj význam. Priestorová mapa slúži na riadenie orientačných pohybov, preto musí byť reprezentácia priestoru jednotná. Ak sluchovo vnímaná pozícia zdroja zvuku nesúhlasí s polohou určenou vizuálnym vnemom, mozog sa snaží tento rozdiel eliminovať. V reáli to vyzerá asi tak, že ak počujeme zvuk z inej pozície ako ho vidíme, mozog sa adaptuje podľa zraku, dominantná je pritom vizuálna mapa a sluchová sa jej prispôsobí. Pri takýchto nezhodách je spoľahlivejšia vizuálna mapa, pretože je projekciou sietnicovej mapy, zatiaľ čo sluchová mapa sa musí vypočítať z hodnôt sluchových parametrov. Typickým príkladom takejto adaptácie je bruchomluvecký efekt [16], kde sa vnem polohy zdroja presunie podľa vizuálneho vnemu.

Sluchové priestorové vnímanie sa nemusí adaptovať iba na základe vizuálnej spätnej väzby. Adaptácia sa v takomto prípade môže udiť aj vo vyšších mozgových oblastiach v mozgovej kôre. Takouto spätnou väzbou môže byť propiocepcia, t.j. uvedomovanie si polohy tela a jeho častí, informujúca sluchový systém o polohe hlavy a tela v priestore [15][15].

5.3 Predošlá štúdia

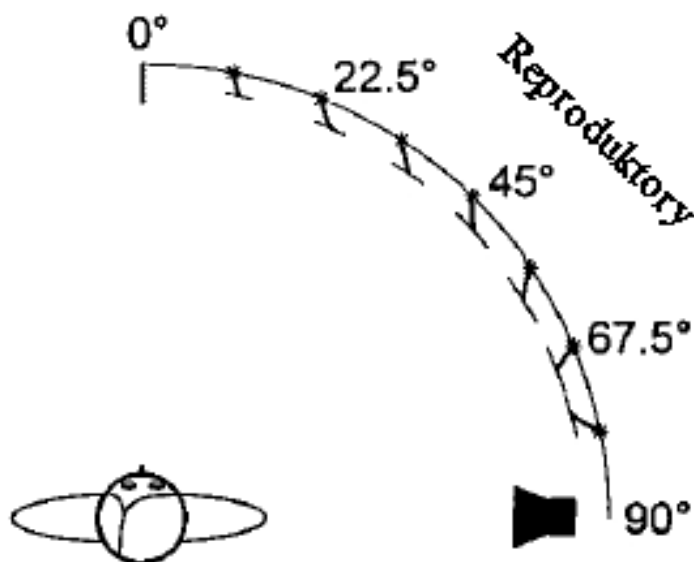
V predchádzajúcich štúdiách Shinn-Cunningham, Barbara, Gail [9] bolo testované ako vplýva poloha distraktora na kontextuálnu plasticitu. Používal sa laterálny aj frontálny distraktor.

Pri frontálnom distraktore bol posun smerom od distraktora v smere hodinových ručičiek zhruba 5 až 15 stupňov.



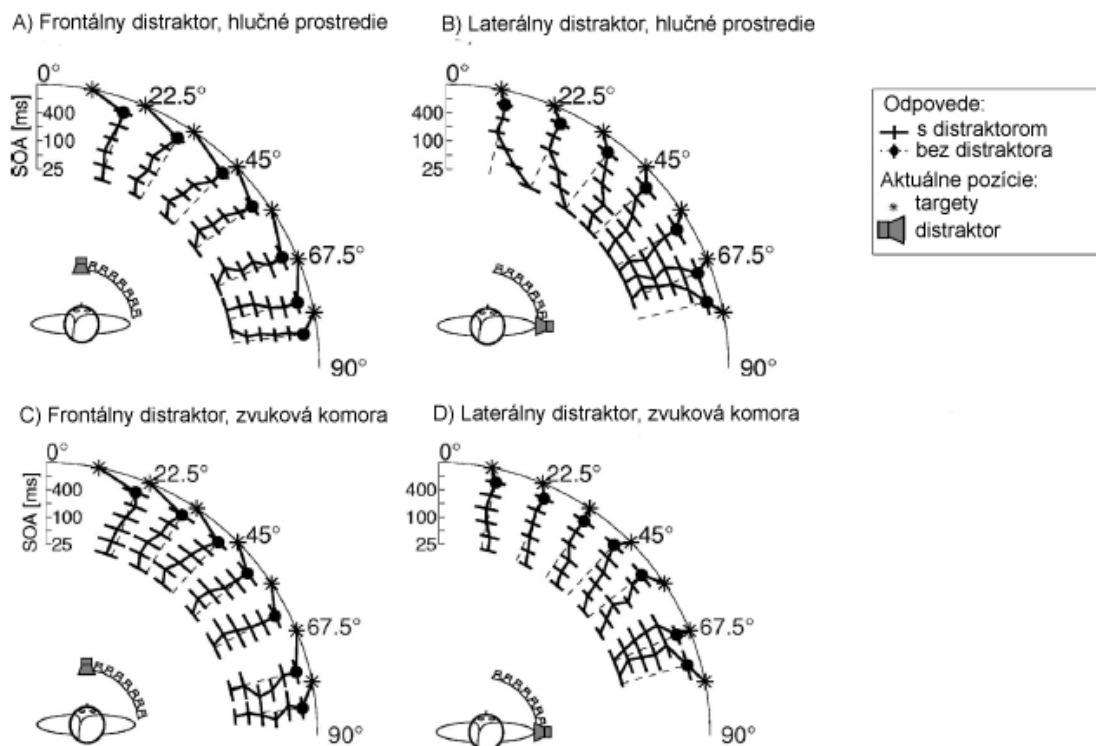
Obr. 12 Frontálny distraktor

Pri laterálnom distraktore už nebol pozorovaný podobný efekt. Pri tomto distraktore boli odpovede posunuté smerom k polohe distraktoru.



Obr. 13 Laterálny distraktor

Experimenty odhalili ako distraktor znejúci zo známej pozície ovplyvní lokalizáciu nasledujúceho zvuku v hlučnej miestnosti a zvukovej komore. Poslucháči lokalizovali cieľový zvuk, ktorému predchádzal distraktorový klik z pevnej pozície počas celého kola (buď frontálny alebo laterálny). SOA ktoré bolo použité medzi distraktorom a cieľovým zvukom bolo relatívne dlhé (25-400ms). Distraktor vyvolal posun a variabilitu v lokalizácii cieľového zvuku, dokonca aj pre najdlhšie SOA so špecifickou charakteristikou odlišnou pre obe miestnosti. Navyše, distraktor spôsobil posun aj pre stimuly ktorým nepredchádzal distraktor, a tento posun bol dokonca ešte väčší. Tento kontextuálny posun sa vytvoril znova v každom kole. Rozdielny efekt ukazuje, že zvuková lokalizácia je dynamický proces, ktorý závisí kontexte a na úrovni odrazu v prostredí, a interakciami medzi sekvenciami zvukov v závislosti na čase od stoviek po tisíce milisekúnd, až k minútam.



Obr. 14 Odpovede na lokalizáciu zvukov

V tomto experimente sa odpovedalo na stimuly ktorým predchádzal distraktor. To sa porovnávalo voči nedistraktorovým stimulom, ktoré boli zamiešane pomedzi nich. Keďže sa posun ukázal aj u týchto nedistraktorových stimuloch je zjavné že naša sluchová mapa je plastická.

6 Experimentálna časť

Experiment nadväzuje na štúdiu N Kopčo, V Best, and BG Shinn-Cunningham (2007) [9]. Sound localization with a preceding distractor, Journal of the Acoustical Society of America.

6.1 Cieľ

Cieľom tejto práce bolo určiť, na ktorej úrovni spracovania zvuku v mozgu sa dejú plastické zmeny, ktoré sledujeme pri kontextuálnej plasticite.

6.2 Hypotézy

Sluchová dráha má niekoľko centier špecializovaných pre spracovanie priestorovej informácie. Sluchová štruktúra mozgového kmeňa (superior olivary complex, inferior colliculus) reprezentuje sluchový priestor rozkódovaním odpovedajúceho binaurálneho podnetu, čiže interaurálneho rozdielu v hlasitosti a časového rozdielu kedy zvuk dorazí do oboch uší. Predpokladá sa, že kontextuálna plasticita nastáva na vyššom stupni spracovania zvuku v ktorom je sluchový priestor reprezentovaný exocentrickými priestorovými súradnicami a nie binaurálnymi podnetmi. Tento stupeň môže byť v primárnej sluchovej kôre alebo vo vyšších kortikálnych oblastiach, ako napríklad posteriorna parientálna kôra, v ktorej interaguje priestorová reprezentácia a priestorová pozornosť.

6.3 Motivácia experimentu

Kontextuálnu plasticitu, ktorú sme sledovali, môže prebiehať na rôznych úrovniach spracovávania sluchového podnetu. Lokalizácia zvuku je proces, ktorý prebieha niekoľkými štádiami. Zvuk dorazí do uší, hlasnejšie a skôr do toho ucha, ktoré je bližšie zdroju zvuku. Niekde v mozgovom kmeni sú neuróny, ktoré spracujú rozdiely v časoch (ITD) a intenzitách (ILD). Na tejto úrovni je sluchový priestor reprezentovaný len hodnotami ITD a ILD (môžeme si to predstaviť ako nejakú ITD a ILD mapu), plasticita ale možno vzniká niekde na vyššej úrovni spracovania, v mape, do ktorej vstupujú výstupy z ILD a ITD mapy, a v ktorej je sluchový priestor reprezentovaný

v exocentrických priestorových súradniciach a nazveme ju priestorová mapa. Vo virtuálnom sluchovom prostredí je možné zmeniť ITD nejakého zvuku nezávisle od jeho ILD. Plasticita sa bude budovať priestorovým zvukom simulovaným len za pomoci ITD (upravíme ho tak, aby ILD bolo rovnaké pre oba zvuky) a testovať lokalizáciu na zvukoch simulovaných za pomoci ILD. Plasticita by sa tak mala vybudovať na ceste z ITD mapy do priestorovej mapy. Ak sa zmeny prejavujú v ILD mape, znamená to, že zmena sa musela udiať niekde na vyššej úrovni spracovania, ak nie, tak len niekde na úrovni ITD mapy.

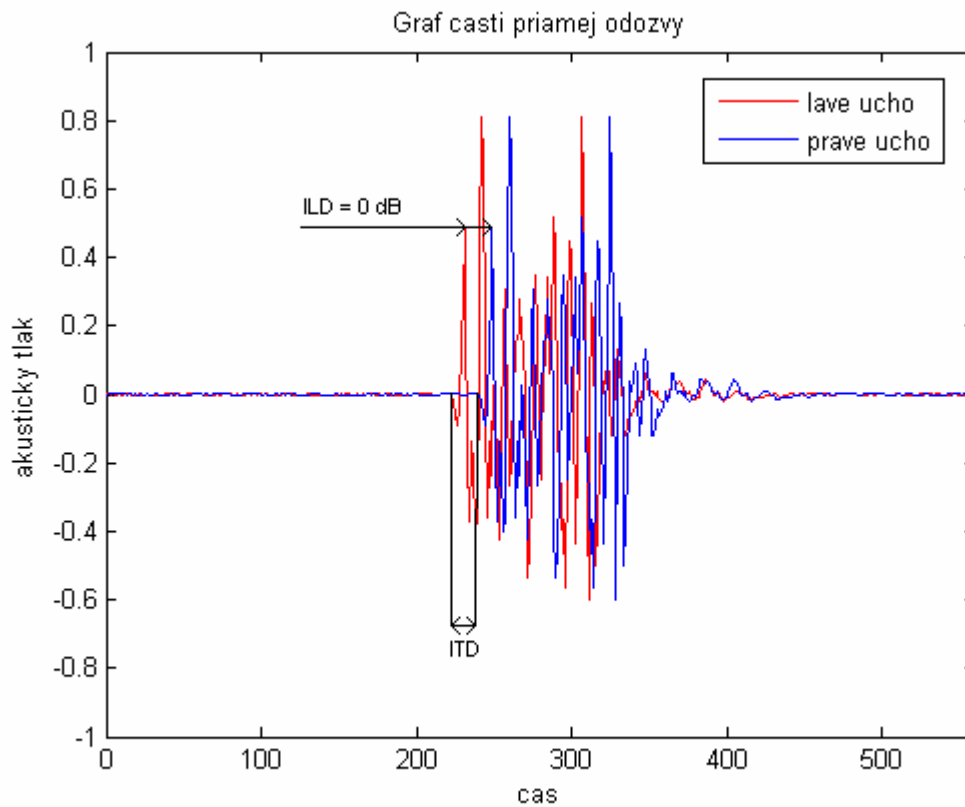
6.4 Návrh experimentu

6.4.1 Stimuly

V experimente sa používali rôzne typy simulácie stimulov. V tejto kapitole vysvetlím spôsob ich prípravy.

6.4.1.1 ITD simulácia

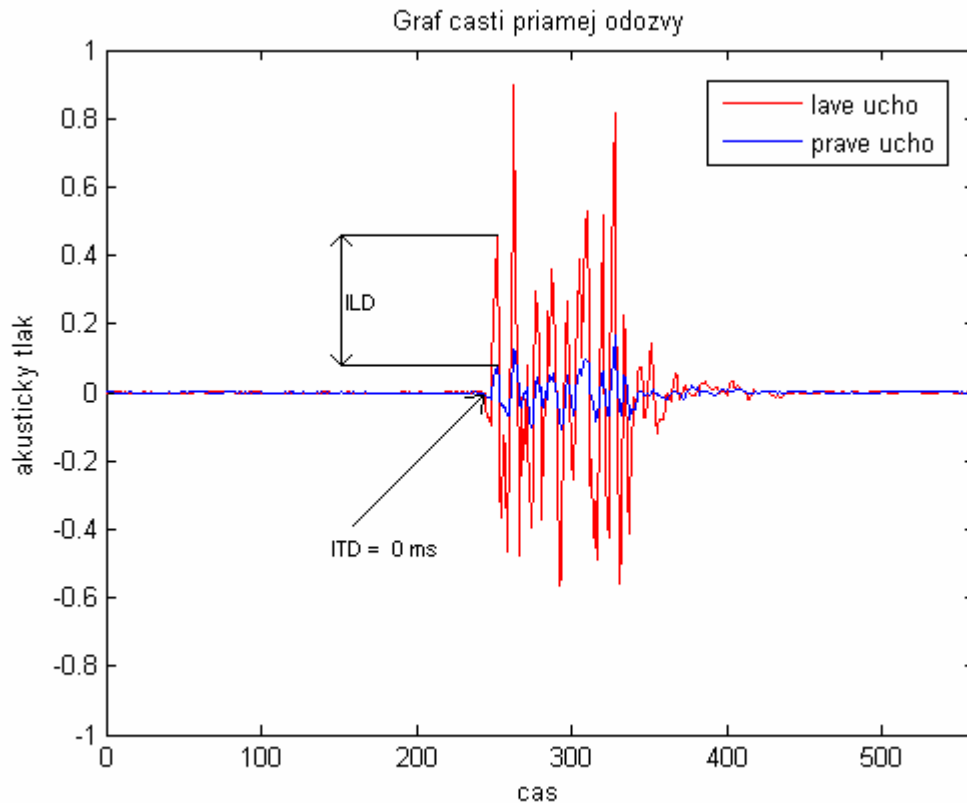
Pre potreby experimentu bolo potrebné odstrániť ILD časť zvukov z HRTF. Pri tvorbe takýchto HRTF sa postupovalo cez niekoľko krokov. Najprv sa pre každú simuláciu zvuku (t.j. od -70 stupňov po 70 stupňov s krokom 10 stupňov) sa vypočítala kroskorelácia (časové opozdenie priebehu zvuku pre ľavé a pravé ucho, taktiež to vyjadruje ITD). Pre HRTF od -70 stupňov po 0 stupňov sme ponechali HRTF pre ľavé ucho a HRTF pre pravé ucho sme získali oneskorením HRTF ľavého ucha o hodnotu ITD. Pre HRTF od 10 stupňov po 70 stupňov sme postupovali rovnako, ale ponechali sme HRTF pre pravé ucho. Nasledovala konvolúcia so šumom, čo znamená, že sa za pomoci šumu a daného HRTF vytvorí nový šum, ktorý je simulovaný, aby prichádzal z toho azimutu, ktorý určuje HRTF.



Obr. 15 Vykreslené HRTF pre obe uši, odstránené ILD

6.4.1.2 ILD simulácia

Pri tvorbe HRTF bez ITD sa postupovalo tak, že pre každú simuláciu zvuku (t.j. od -70 stupňov po 70 stupňov) sme vypočítali kroskoreláciu (časové oneskorenie priebehu zvuku pre ľavé a pravé ucho, taktiež to vyjadruje ITD). Následne pre HRTF od -70 stupňov po 0 stupňov sme ponechali HRTF pre ľavé ucho, HRTF pre pravé ucho sme získali posunutím celého časového priebehu pravého ucha o hodnotu ITD. Pre HRTF od 10 stupňov po 70 stupňov sme postupovali rovnako, ale ponechali sme HRTF pre pravé ucho. Následne sa spravila konvolúcia so šumom.



Obr. 16 Vykreslené HRTF pre obe uši, odstránené ILD

6.4.2 Popis a organizácia blokov

Experiment pozostával z 8 kôl, v každom kole bola plasticita budovaná a testovaná rôznymi typmi simulácie (buď ITD alebo plná simulácia). V experimente boli 3 typy merania, pričom každé typ bol zafixovaný v jednom kole, v závislosti od simulácie distraktorových meraní:

- plná simulácia
- simulácia pomocou ITD

Každé kolo má ako nedistraktorové testovacie meraní jeden z 3 typov:

- plná simulácia
- simulácia pomocou ITD
- simulácia pomocou ILD

Jednotlivé kolá teda vyzerali nasledovne:

ID kola	Typ kola
1	Distraktor-Plná sim, nD-plná sim
2	Distraktor-Plná sim, nD-sim ITD
3	Distraktor-sim ITD, nD-plná sim
4	Distraktor-sim ITD, nD-sim ITD
5	Distraktor-sim ITD, nD-sim ILD
6	bez Distraktora, plná simulácia
7	bez Distraktor, ITD simulácia
8	bez Distraktor, ILD simulácia

Tab. 1 Typy kôl

“Distraktor“ v tabuľke znamená použitú simuláciu distraktorových meraní a “nD“ znamená použitú simuláciu nedistraktorových meraní.

Pomer počtu nedistraktorových a distraktorových meraní v rámci jedného kola bol 25% ku 75 %. V kole bez distraktora, distraktorové merania neboli prezentované.

Jedno distraktorové kolo pozostávalo zo 182 meraní:

- 7 pozícií cieľového zvuku x 2 opakovania, to dávalo 14 meraní označovaných ako úvodné merania

- 7 pozícií x 4 opakovania, čo bolo 28 meraní označovaných ako koncové merania

- zo stredných 140 meraní, kde bola plasticita budovaná bolo 25% nedistraktorových a 75% distraktorových meraní, teda:

- 7 pozícií x 5 opakovaní bolo 35 nedistraktorových meraní

- 7 pozícií x 15 opakovaní bolo 105 distraktorových meraní

Jednotlivé typy meraní:

- distraktor klik plná simulácia (distraktor plná simulácia + 23 ms ticho + cieľový zvuk plná simulácia)
- nedistraktorový klik plna simulácia
- distraktor klik ILD simulácia (distraktor ILD simulácia + 23 ms ticho + cieľový zvuk ILD simulácia)
- nedistraktorový klik ILD simulácia
- distraktor klik ITD simulácia (distraktor ITD simulácia + 23 ms ticho + cieľový zvuk ITD simulácia)
- nedistraktorový klik ITD simulácia

Distraktor aj cieľový zvuk pozostávali z jedného kliku (2 ms dlhý šum) závislom na type simulácie. SOA medzi distraktorom a cieľovým zvukom bola nastavená na 25 ms. V každom sedení sa striedalo otočenie v ľavo a v pravo s tým, že pre celý experiment sa každý typ kola pomeral tri krát pri otočení vľavo, a tri krát pri otočení vpravo.

6.4.3 Metódy

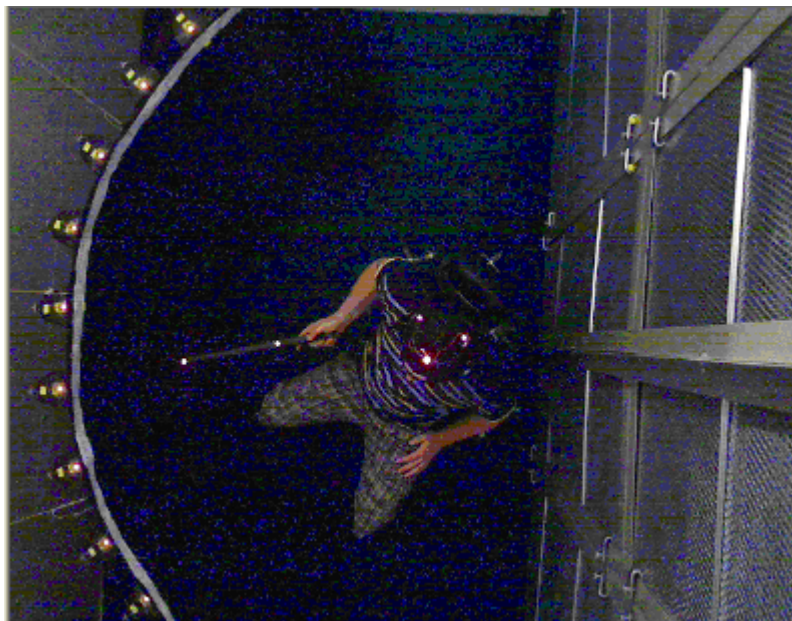
Na tomto experimente sa zúčastnili 4 subjekty (všetci muži). Všetky subjekty mali normálny sluchový systém, potvrdený audiometrickým testom. Vek bol od 23 do 25 rokov. Všetci poslucháči už mali predchádzajúcu predošlú skúsenosť s podobným experimentom.

Experiment bol navrhnutý v prostredí MATLAB. Na meranie a generovanie stimulov sa použil štandardný osobný počítač s profesionálnou zvukovou kartou RME Fireface 400, zosilňovačom a prehrané pomocou slúchadiel ER-1 TUBEPHONE (výrobca Etymotic research) určených na odstránenie vonkajších rušivých zvukov.

Na určenie polohy hlavy bola použitá čiapka s tromi červenými LED diódami, diódy boli umiestnené tak, aby sa dala určiť orientácia hlavy. Poslucháči určovali vnímaný smer zdroja cieľového zvuku ukazovaním pomocou ukazovátka s dvomi červenými LED diódami a stlačením pripevneného tlačidla. Poslucháči mali dovolené ukazovať do hocijakého smeru, aj mimo rozsahu možných cieľových zvukov. Takisto boli špecificky inštruovaný ukazovať na vnímaný smer zvuku. V miestnosti bolo aj deväť reproduktorov rovnomerne rozmiestnených po štvrt' kruhu o priemere 1,2 m s poslucháčom v strede.

Poslucháč sedel na stoličke, ktorá mohla byť otočená, takže smeroval buď na najľavejší alebo na najpravejší reproduktor. V experimente sa reproduktory na prezentáciu stimulov nepoužívali (všetky stimuly sa prehrávali v simulovanom prostredí za použitia slúchadiel), ale krajné reproduktory boli potrebné ako orientačné body, na ktoré sa mal subjekt otočiť. Počas experimentu boli prehrávané aj dodatočné inštrukcie o poradovom čísle kola a informácie o natočení subjektu.

Experiment bol vedený v prázdnej, tichej pravouhlej anechoickej miestnosti a jej steny, podlaha a strop pokrývali hrubé penové obklady. Šum pozadia neovplyvňoval poslucháčovu pozornosť, pretože boli použité slúchadlá, ktoré zabraňovali nežiaducim zvukom, aby sa dostali do ucha. Na obrázku (Obr. 17) je zobrazená orientácia a pozícia poslucháča. Poslucháč tu čelí najľavejšiemu reproduktoru a cieľové zvuky sú prehrávané po jeho pravej strane. V polovici kôl bol poslucháč orientovaný na najpravejší reproduktor a cieľové zvuky boli prehrávané po jeho ľavej strane.



**Obr. 17 Experimentálna odhlučnená miestnosť pri pohľade
zhora snímaná kamerou umiestnenou**

Experiment pozostával zo šiestich približne 80 minútových blokov oddelených prestávkami. V každom bloku poslucháči vykonali 8 kôl. Orientácia (subjekt čeliaci buď na najľavejší alebo najpravejší reproduktor) sa striedala medzi všetkými kolami, tak aby každé kolo bolo merané rovnaký počet krát pre oba otočenia. Každé kolo obsahovalo 182 meraní. Merania boli rôzneho typu simulácie v závislosti od typu kola. Jednotlivé merania sa dajú rozdeliť na dve skupiny. Jedna skupina obsahovala iba cieľový zvuk a druhá obsahovala distraktor + cieľový zvuk. Prvá skupina sa používala na testovanie, tá druhá na budovanie plasticity.

Na začiatku každého kola bol subjekt inštruovaný aby otočil stoličku tak aby čelila na vopred daný orientačný bod, sadol si na stoličku a dal hlavu do pokoja. Následne bol poslucháč inštruovaný aby zavrel oči a zostal v pokoji po zvyšok kola. Poslucháčovi bol prezentovaný distraktor klik v distraktorových meraniach stále na 0 stupňoch pre oba otočenia.

Jedno meranie pozostávalo z jedného stimulu nasledovaného poslucháčovou odpoveďou, po ktorej nasledovala krátka pauza ešte predtým ako bol prezentovaný stimul pre ďalšie meranie. S týmto oneskorením subjekt nemal žiadne problémy v reorientácii z predchádzajúcej pozície na prípravu pre ďalší stimul. Nebol tu žiaden

limit na to ako subjekt má odpovedať, takže rýchlosť experimentu bola kontrolovaná subjektom. V priemere jedno meranie trvalo 2-3 s a kolo trvalo 6-7 minút.

Každý stimul pozostával z cieľového zvuku prezentovaným z náhodne zvolenej pozície. Vo väčšine meraní bol distraktor prezentovaný pred cieľovým zvukom, vo zvyšku meraní nebol žiaden distraktor. Poslucháči vopred nevedeli či dané meranie bude obsahovať distraktor alebo nie, ale vždy mohli povedať či bol prezentovaný jeden alebo dva zdroje zvuku. Po každom stimule poslucháč ukázal na vnímaný smer cieľového zvuku a stlačil tlačidlo, ktoré spôsobilo, že odpoveď bola uložená a začalo ďalšie meranie.

V tomto experimente subjekty vykonali 1-3 bloky za deň. Medzi blokmi bola aspoň 10 minútová pauza. Na začiatku experimentu bola procedúra opísaná poslucháčom. Predovšetkým boli poslucháči inštruovaný pokúsiť sa ignorovať distraktor, pretože distraktorové a nedistraktorové merania sa striedali v rámci kola, a že by mali ukázať vnímanú pozíciu cieľového zvuku nedbajúc na to, čo vedia o experimente. Bolo taktiež zdôrazňované, že poslucháči nesmú pohnúť hlavou alebo otvoriť oči počas kola. čo by malo nepriaznivý vplyv.

6.5 Spracovanie dát

Odpovede subjektov, poloha hlavy a poloha reproduktorov bola zaznamenávaná počas každého merania vo forme obrázkov pomocou kamery umiestnenej priamo nad hlavou subjektu vo výške približne 3 m. Následne sa každý uložený obrázok spracoval do podoby karteziánskych súradníc všetkých bodov (3 súradnice hlavy, 2 ukazovátka, 9 reproduktorov). Uhol odpovedania bol vypočítaný na základe koncového bodu ukazovátka a stredu kružnice. Následne bol vypočítaný rozdiel medzi uhlom odpovedania a uhlom z ktorého bol prezentovaný stimul pre každé meranie. Dáta sa pred analýzou upravili preklopením cez mediálnu rovinu (dáta z ľavej a pravej strany boli približne symetrické), takto sa získal väčší počet hodnôt pre každý azimut.

V tejto časti práce sa nachádza analýza nameraných dát a z nich získaných grafov vytvorených v prostredí MATLAB.

Namerané dáta boli zoskupené podľa orientácie subjektu (na ľavú / pravú stranu), typu kola, azimutu, opakovania (sedenia), subkola, subjektu.

Jedno kolo pozostávalo z 182 meraní. Pre lepšiu prácu so zozbieranými dátami som si pre analýzu každé kolo rozdelil na sub-kolá. Jedno subkolo predstavuje opakovanie (v rámci kola) prezentácie zvuku z konkrétnej pozície. Po tomto rozdelení každé kolo vyzeralo nasledovne:

1. Pred-adaptačná časť – 2 sub-kolá (14 úvodných nedistraktorových meraní)
2. Adaptačná časť - 20 sub-kôl (140 stredným meraní)
3. Post-adaptačná časť - 4 sub-kolá (28 koncových nedistraktorových meraní)

Keďže adaptačná časť bola rozdelená na nedistraktorové a distraktorové merania v pomere 25% a 75% aj počet sub-kôl v tejto časti boli rozdelené tým istým pomerom:

- 5 sub-kôl nedistraktorových meraní
- 15 sub-kôl distraktorových meraní

V závislosti od vykresľovania grafov pre rôzne typy kôl som bral do úvahy aj rôzny počet sub-kôl. Pre nedistraktorové merania bolo 11 sub-kôl (2 pred-adaptačné + 5 adaptačné + 4 post-adaptačné merania), pre distraktorové merania bolo 15 sub-kôl.

V ďalšej časti sú grafy, v ktorých vykresľujeme a analyzujeme výsledky dát nameraných na všetkých subjektoch.

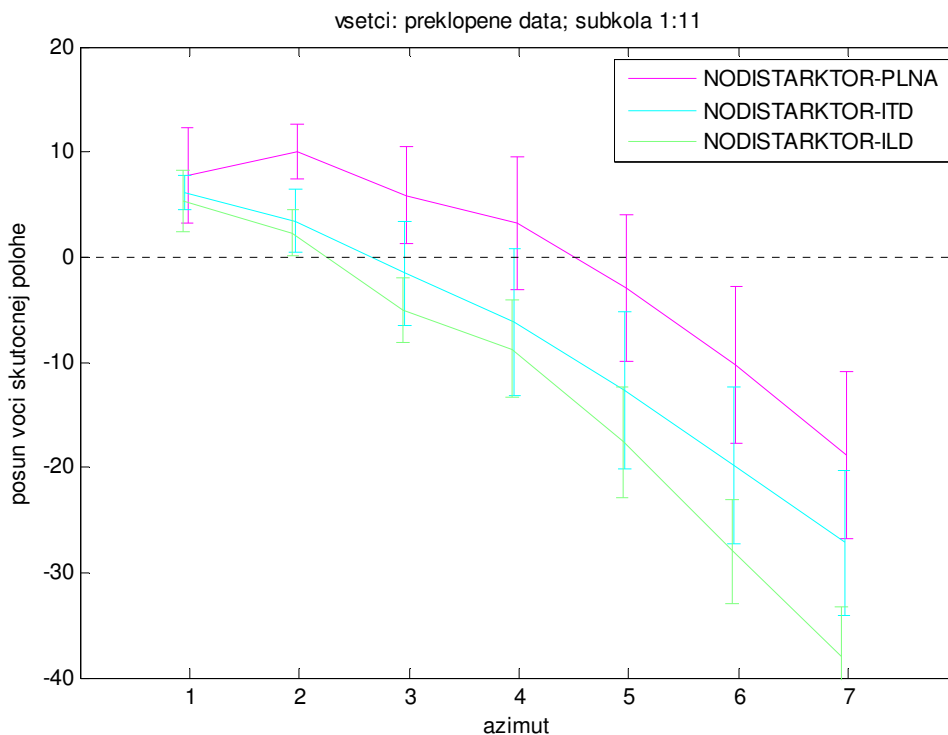
Základ analýzy pre všetky subjekty sú rozdelené na :

- Nedistraktorové merania - tieto merania sú vykreslené z nazbieraných dát z výseku sub-kôl a to v rozsahu od 5 až 7. Tento rozsah sme si zvolili z toho dôvodu, že v pred-adaptačnej časti a prvých dvoch sub-kolách adaptačnej časti ešte nedochádza ku plastickým zmenám. Plasticita sa začína budovať až niekde nami definovanom rozsahu 5 až 7, ktoré sme si zvolili na základe grafu v ktorom je vykreslené budovanie plasticity cez všetky sub-kolá
- Distraktorové merania – tieto merania sú vykreslené z nazbieraných dát zo všetkých sub-kôl adaptačnej časti, čiže z výseku 3 až 15

6.5.1 Analýza všetkých subjektov – nedistraktorové merania

Legenda obrázkov zobrazuje, aký typ simulácie sa používal na vyvolanie plasticity a následne na akom type simulácie bola testovaná (napr. ITD/ILD – budovanie plasticity stimulmi simulovanými pomocou ITD, testovanie vybudovanej plasticity pomocou ILD-simulovaných stimulov). Okrem popisu v legende, kde je napísané “NODISTRAKTOR - daný typ simulácie” - to vyjadruje, že celé kolo pozostávalo z meraní daného typu. Všetky errorbary (čiary rovnobežné s osou Y) v tejto práci zobrazujú štandardnú chybu priemeru cez všetky subjekty ak nie je uvedené inak. Vplyv kontextu na lokalizáciu zvukov bol určovaný z posunu odpovedí voči odpovediam v nedistraktorovom kole.

6.5.2 Priame porovnanie nedistraktorových kôl všetkých typov

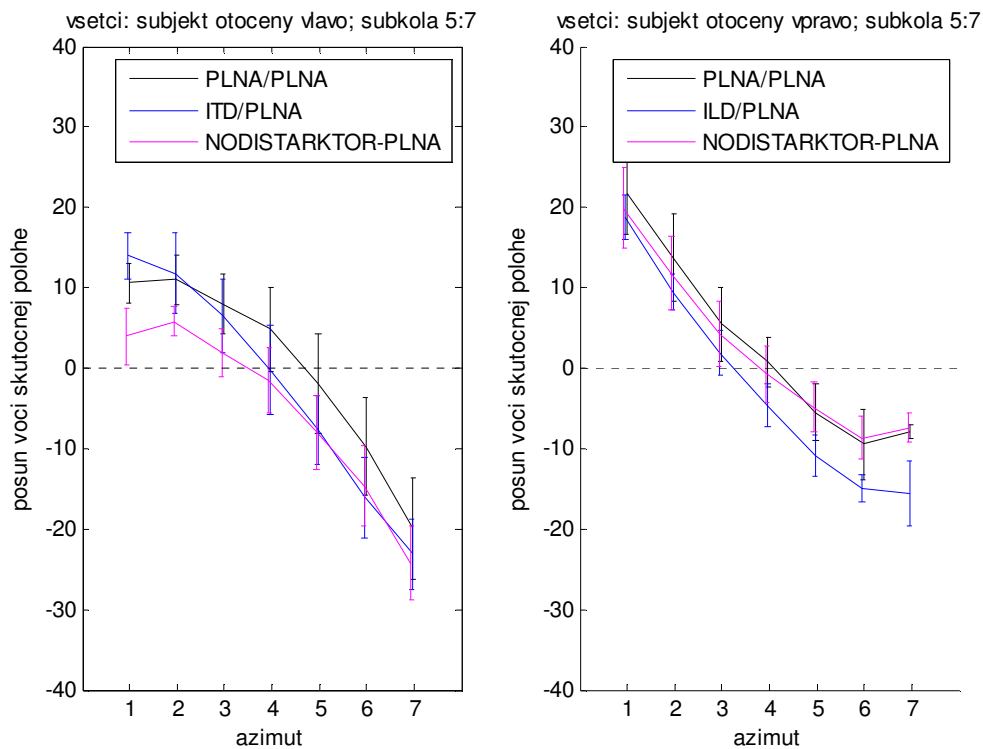


Obr. 18 Porovnanie nedistraktorových kôl všetkých typov, preklapené dáta

V tomto grafe je na osi Y posun voči skutočnému azimutu cieľového zvuku, na osi X azimuty prezentovaných cieľových zvukov. Priemer sa robí cez sedenia, subjekty a pre všetky subkolá. Errorbary zobrazujú štandardnú odchýlku cez všetky subjekty.

Na tomto obrázku je vidieť porovnanie jednotlivých typov nedistraktorových kôl. Je vidno veľké rozdiely v tom ako bolo vnímaná poloha cieľových zvukov. ILD simulácia mala najväčšie posuny voči skutočnej polohe. Ako je vidieť na štandardných odchýlkach, medzi subjektmi bol veľký rozdiel v tom ako dokázali ukázať na vnímaný smer cieľového zvuku. To dokazuje odlišnosť v odpovediach každého subjektu. Dôvodom mohlo byť použité simulované prostredie v experimente, čiže použitie slúchadiel. V takomto prostredí je oproti reálnemu prostrediu taký rozdiel, že subjekt zvuky neidentifikuje ako udalosti v externom prostredí, ale zvuk počuje akoby bol v jeho hlave. To je asi hlavný dôvod prečo sa odpovede takto líšili. Najväčší rozptyl mala ITD simulácia prezentovaných zvukov (svetlo-modrá čiara na Obr. 22). Štandardná odchýlka bola tým väčšia čím ďalej bol prezentovaný cieľový zvuk od 0 stupňov.

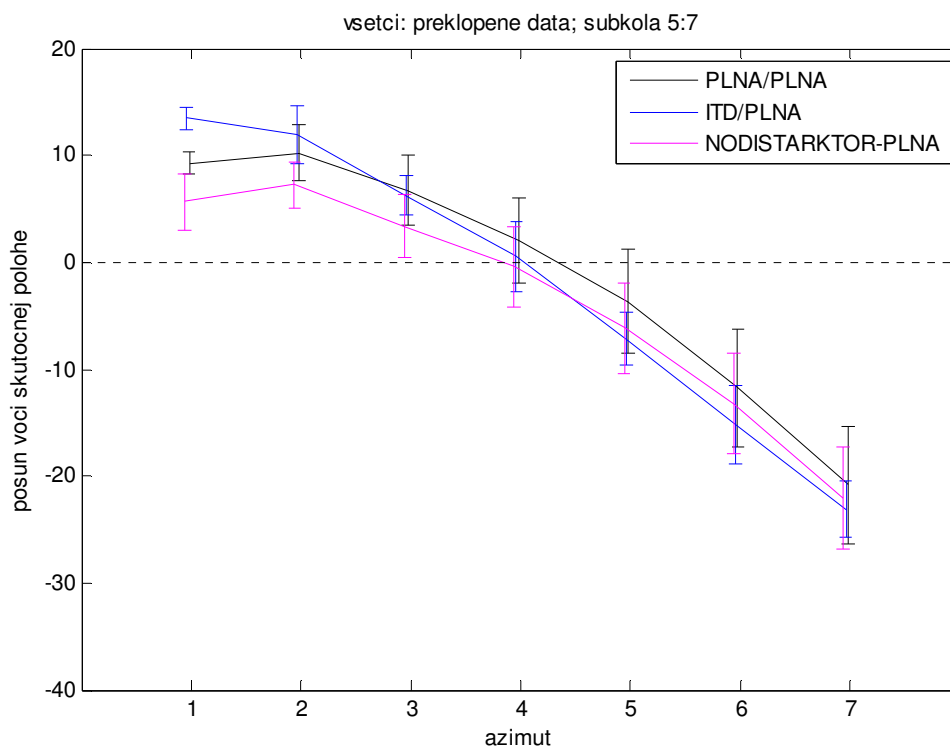
6.5.3 Vplyv rôznych typov simulácií na plnú simuláciu nedistraktorových meraní



Obr. 19 Graf znázorňujúci posun voči skutočnej polohe pre ľavé a pravé otočenie

V tomto grafe je na osi Y posun voči skutočnému azimutu cieľového zvuku, na osi X prezentované cieľové zvuky. Priemer sa robí cez sedenia, subjekty a z výseku subkôl.

Odpovede subjektov boli posunuté voči skutočnej polohe prezentovaného zvuku a to jednak v distraktorových aj v nedistraktorových kolách (Obr. 16, prerušovaná čiara znázorňuje reálnu polohu cieľových zvukov). Tak isto vidno, že dáta sú približne rovnaké, preto sa tieto dáta preklopili, aby sa získal väčší počet hodnôt pre jednotlivé typy kôl, ako je vidno na ďalšom obrázku.

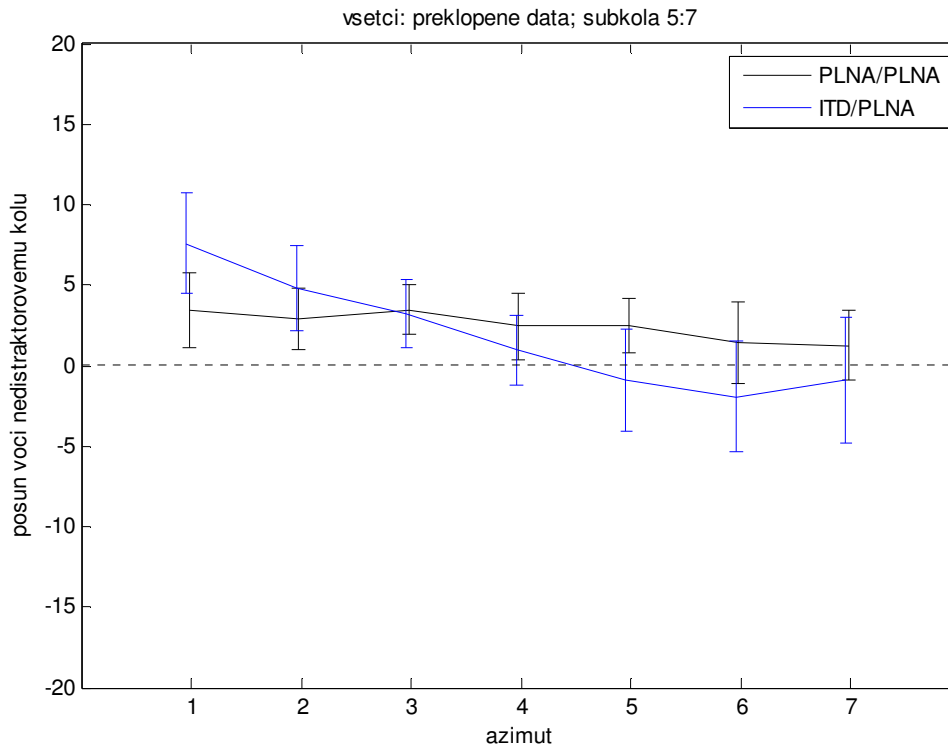


Obr. 20 Graf znázorňujúci posun voči skutočnej polohe, preklopené dáta

V tomto grafe (Obr.17) je na osi Y posun voči skutočnému azimutu cieľového zvuku, na osi X azimut prezentovaných cieľových zvukov. Priemer sa robí cez sedenia, subjekty a z výseku subkôl.

V týchto grafoch môžeme vidieť taktiež posuny, ktoré spôsobil distraktor. Ak by subjekty odpovedali presne tým smerom odkiaľ prichádzal daný zvuk, odpovede v nedistraktorovom kole (NODISTRAKTOR-PLNA na Obr. 17) by boli blízke

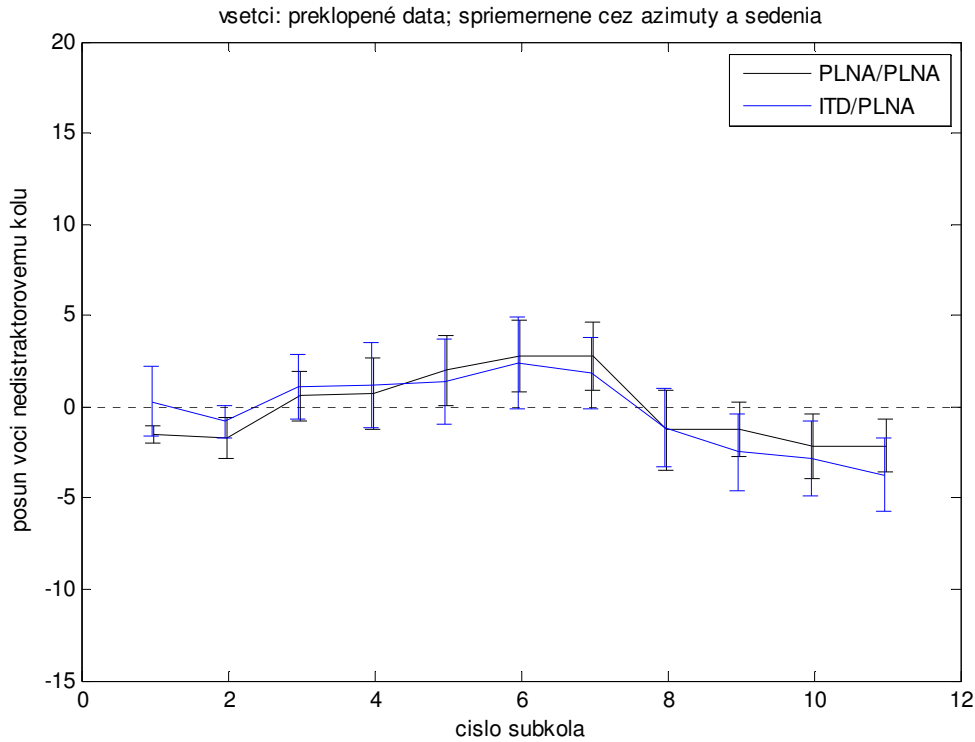
prerušovanej čiare, pretože v tomto type kola boli na lokalizáciu zvukov použité dve lokalizačné nápovedy (ITD aj ILD). Avšak ako je vidno, subjekty takto cieľové zvuky nelokalizovali úplne presne. Kvôli lepšej prehľadnosti boli uvažované posuny voči tejto čiare, čo je znázornené na ďalšom obrázku.



Obr. 21 Graf znázorňujúci posun voči nedistraktorovému kolu (plná simulácia)

V tomto grafe je znázornené na osi Y posun voči odpovediam v nedistraktorovom kole, na osi X prezentované cieľové zvuky. Priemer sa robí cez sedenia, subjekty a z výseku sub-kôl. V tomto grafe je priamo vidieť posun voči nedistraktorovému kolu.

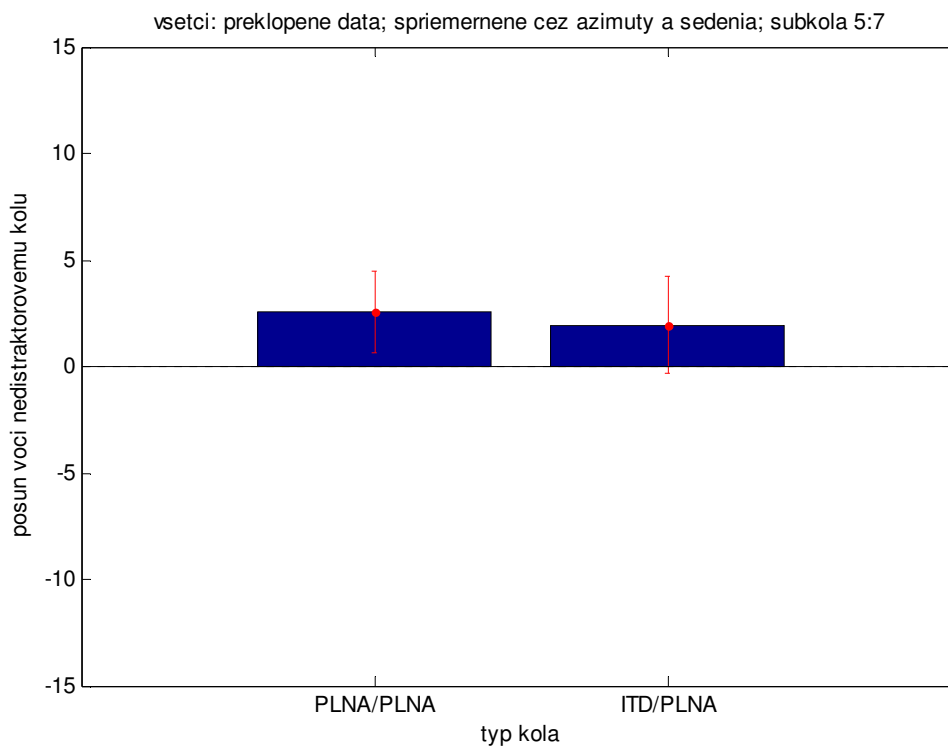
Pri budovaní plasticity plnou simuláciou a testovaní taktiež plnou simuláciou nastal posun pre všetky azimuty cieľových zvukov cca približne o 4 stupne. Je to v súlade s predpokladanými výsledkami, a len to potvrdzuje, že distraktor umiestnený na 0 stupňoch mal vplyv, a subjekty ukazovali preč od pozície distraktora. Výrazný posun pri lokalizácii zvukov mal aj typ ITD simulácie distraktorových meraní, ktorý mal klesajúcu tendenciu a pre azimuty 50 až 70 stupňov bol posun opačný alebo žiadny. Ak štandardná chyba priemeru presahuje cez nulu, nedá sa tvrdiť, že je to tak.



Obr. 22 Graf znázorňujúci časový priebeh kola

V tomto grafe je na osi Y posun voči odpovediam v nedistraktorovom kole, os X predstavuje subkolá pre nedistraktorové merania. Priemer sa robí cez sedenia, subjekty a azimuty cieľových zvukov.

Graf znázorňuje ako je budovaná plasticita v priebehu jednotlivých subkôl. Z grafu je vidno, že v pred-adaptačnej časti nenastal posun. Od tretieho subkola sa plasticita začala budovať, najväčší efekt mala od piateho po siedme subkolo, v post-adaptačnej časti zanikla. Práve preto bol použitý výsek 5-7.

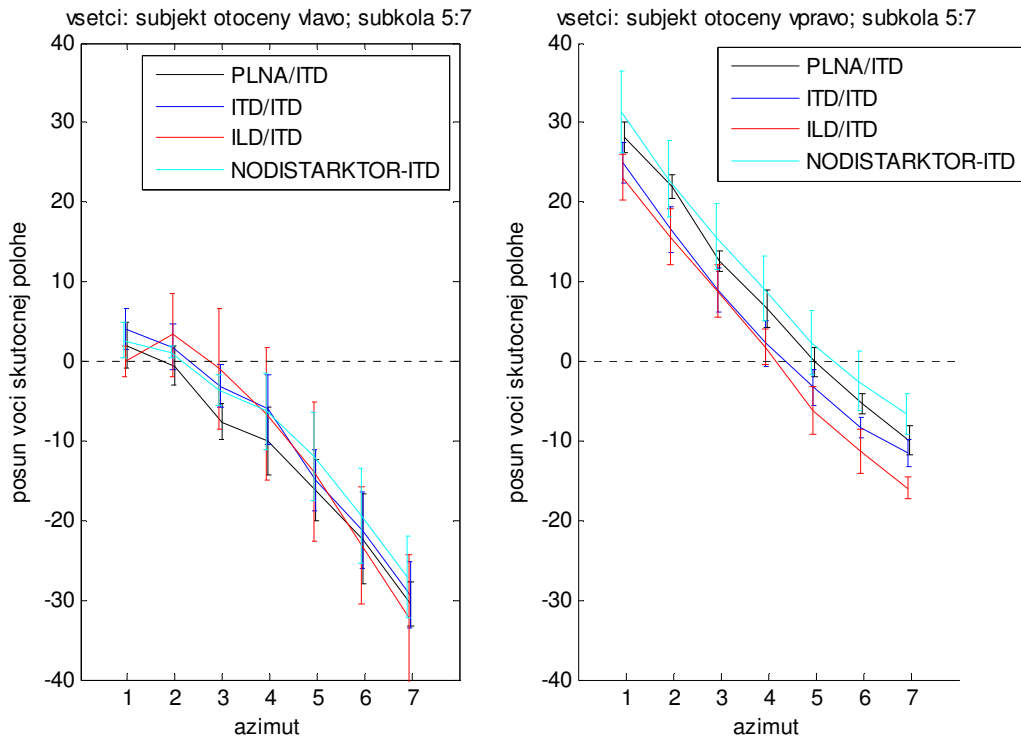


Obr. 23 Posun voči nedistraktorovému kolu plnej simulácie, spriemernené cez azimuty

V tomto grafe je na osi Y posun voči odpovediam v nedistraktorovom kole, os X predstavuje jednotlivé typy kôl. Priemer sa robí cez sedenia, subjekty a azimuty cieľových zvukov a cez výsek sub-kôl.

Tieto grafy naznačujú, že posun nastal pri všetkých typoch kôl, čiže všetky typy distraktorových meraní majú vplyv. Avšak pri ITD simulácii sa to kvôli štandardnej chybe priemeru nedá potvrdiť.

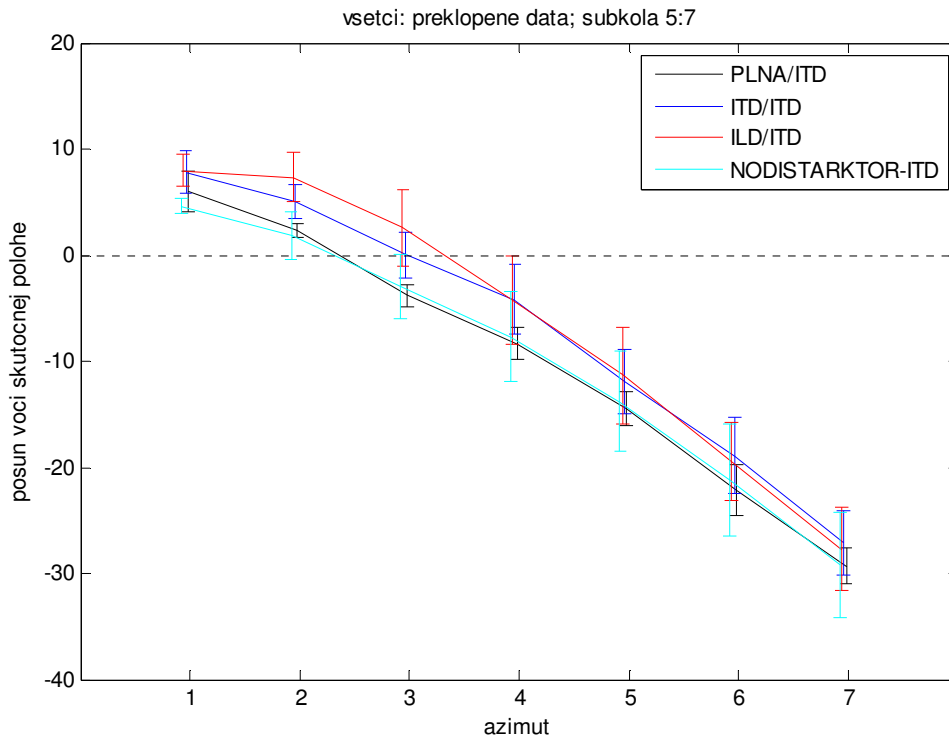
6.5.4 Vplyv rôznych typov simulácií na ITD simuláciu nedistraktorových meraní



Obr. 24 Graf znázorňujúci posun voči skutočnej polohe pre ľavé a pravé otočenie

V tomto grafe je na osi Y posun voči skutočnému azimutu cieľového zvuku, na osi X sú prezentované cieľové zvuky. Priemer sa robí cez sedenia, subjekty a z výseku subkôl.

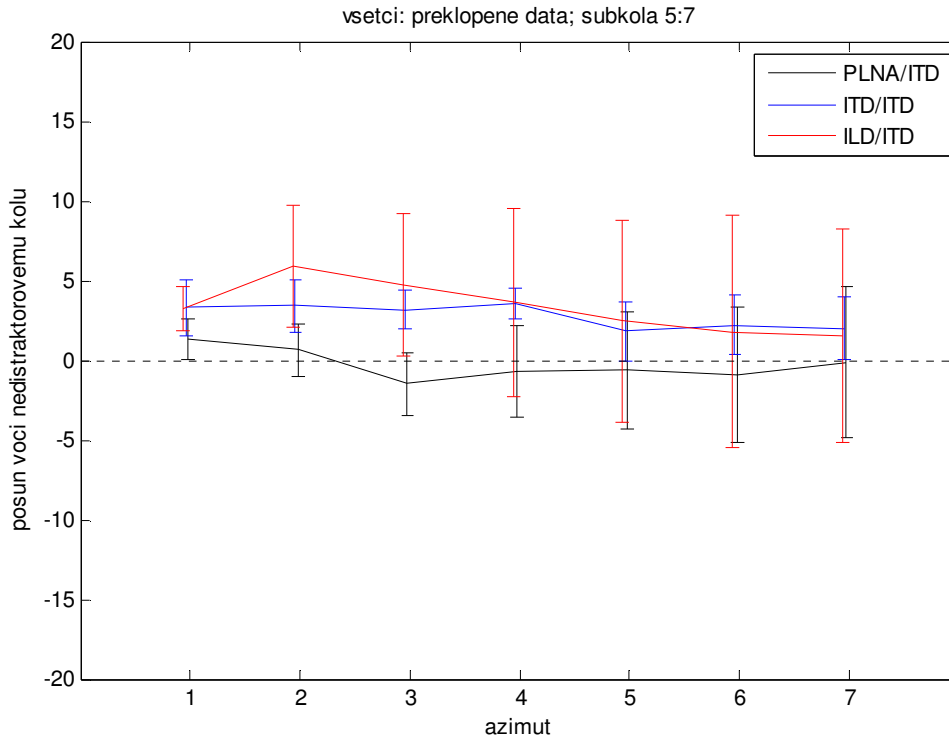
Prerušovaná čiara znázorňuje reálnu polohu cieľových zvukov. V grafe je vidieť, že distraktor spôsobil posun v nedistraktorových odpovediach subjektov. Tak isto vidno, že dáta sú približne symetrické, preto sa tieto dáta preklopili aby sa získal väčší počet hodnôt pre jednotlivé typy kôl, ako je vidno na ďalšom obrázku.



Obr. 25 Graf znázorňujúci posun voči skutočnej polohe, preklopané dáta

V tomto grafe je na osi Y posun voči skutočnému azimutu cieľového zvuku, na osi X prezentované cieľové zvuky. Priemer sa robí cez sedenia, subjekty a z výseku sub-kôl.

V týchto grafoch môžeme vidieť taktiež posuny, ktoré spôsobil distraktor. Graf nedistraktorového merania (NODISTRAKTOR-ITD na Obr. 22) znázorňuje posun voči skutočným azimutom prehrávaných zvukov. Kvôli lepšej prehľadnosti boli uvažované posuny voči tejto čiare, čo je znázornené na ďalšom obrázku.



Obr. 26 Graf znázorňujúci posun voči nedistraktorovému kolu(ITD simulácia)

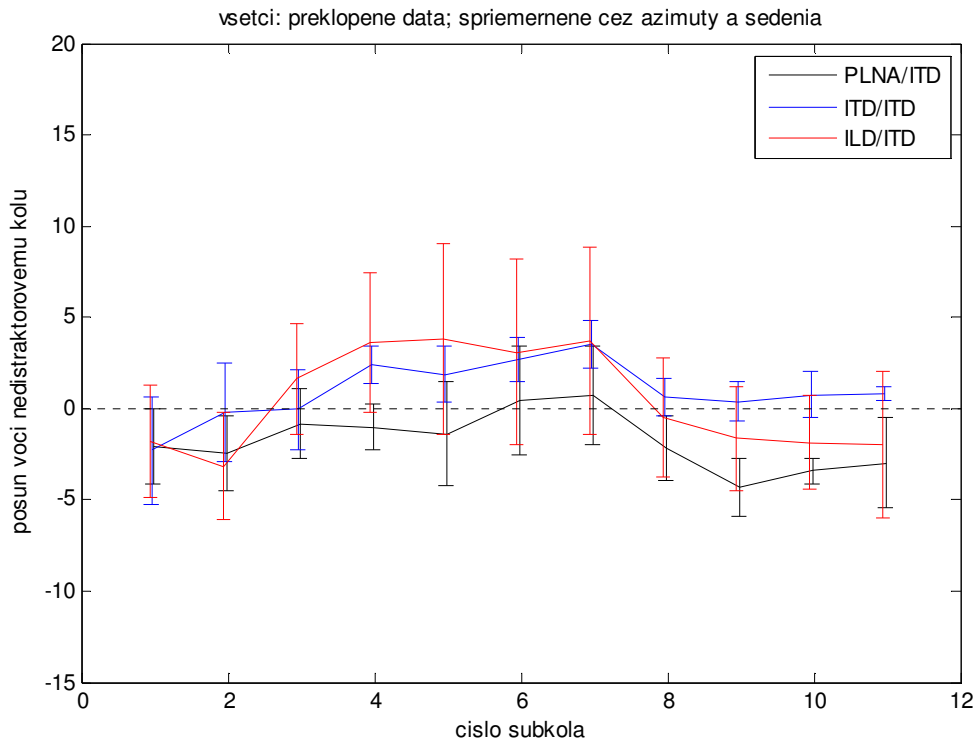
V tomto grafe je na osi Y znázornený posun voči odpovediam v nedistraktorovom kole, na osi X azimuty prezentovaných cieľových zvukov.

Pri budovaní plasticity plnou simuláciou a testovaní simuláciou ITD ako je vidieť v grafe, nenastal skoro žiadny posun (čierna čiara na Obr. 23 je blízka 0). Predpokladá sa, že v tomto prípade by takto vybudovaná plasticita mala spôsobiť plastické zmeny (aj keď sa z toho síce priamo nedá určiť na ktorej úrovni spracovania) a následné testovanie by malo tieto plastické zmeny potvrdiť. Očakával sa posun smerom od distraktora (v grafe by to bolo vidieť ako kladný posun), čo sa však nestalo.

Plasticita vybudovaná simuláciou distraktorových meraní typu ITD vyvolala viditeľný posun v lokalizácii (modrá čiara Obr. 23). V tomto prípade sa takýto posun očakával. Plasticita sa potvrdila, avšak tento graf nám nedáva jednoznačnú odpoveď na to, aby sa dalo určiť na ktorej úrovni sa to deje. Môže sa to diať aj na nižšej aj na vyššej úrovni.

Posun bol vyvolaný aj ILD simuláciou. Tento graf, ak by ukázal kladný posun, znamenalo by to, že plastické zmeny sa museli udiať na vyššej úrovni spracovania, avšak s určitosťou to môžeme tvrdiť len pre stupne s azimutom 10 a 20, pre ostatné

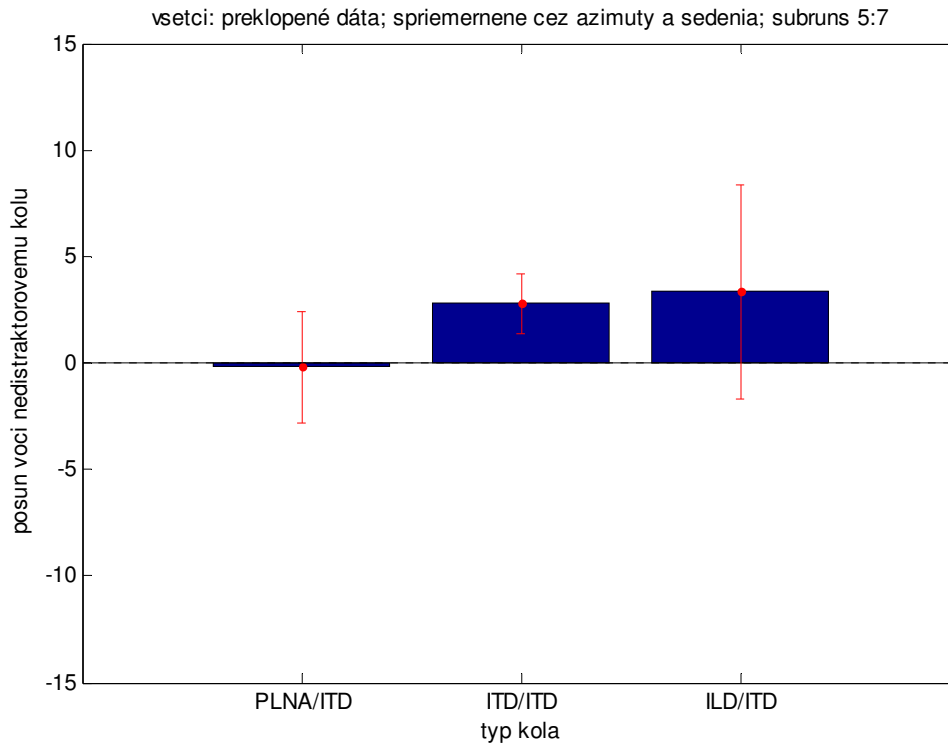
stupne sú errorbary veľmi veľké nato aby sa to dalo vyčítať z grafu. Ak by tento graf neukázal vyvolaný posun, dalo by sa tvrdiť, že plastické zmeny sa dejú na nižšej úrovni.



Obr. 27 Graf znázorňujúci časový priebeh kola

V tomto grafe je na osi Y posun voči odpovediam v nedistraktorovom kole, os X predstavuje subkolá pre nedistraktorové merania. Priemer sa robí cez sedenia, subjekty a azimuty cieľových zvukov.

Graf znázorňuje ako je budovaná plasticita v priebehu jednotlivých subkôl. Z grafu je vidno, že v pred-adaptačnej časti nenastal posun. Od tretieho subkola sa plasticita začala budovať, najväčší efekt mala od štvrtého po siedme subkolo, v post-adaptačnej časti zanikla. Práve preto bol použitý výsek 5-7.



Obr. 28 Posun voči nedistraktorovému kolu ITD simulácie, spriemernené cez azimuty

V tomto grafe je na osi Y posun voči odpovediam v nedistraktorovom kole, os X predstavuje jednotlivé typy kôl. Priemer sa robí cez sedenia, subjekty a azimuty cieľových zvukov a cez výsek sub-kôl.

Jediné čo je možné z určitosťou tvrdiť z tohto grafu je, že plasticita bola vybudovaná pri distraktorových meraniach simuláciou ITD. Je tu náznak, že sa plasticita, ktorá bola vybudovaná za pomoci ILD prejavila aj pri testovaní na ITD, z čoho by sa dalo usudzovať, že plastické zmeny, ktoré sledujeme pri kontextuálnej plasticite sa dejú na vyššej úrovni spracovania zvuku a nie na nižšej úrovni, kde sa spracováva ITD a ILD, avšak kvôli veľkej štandardnej chybe sa to nedá s určitosťou povedať.

7 Záver

V tejto práci bolo skúmané na ktorej úrovni spracovania zvuku mozgom sa dejú plastické zmeny, ktoré boli sledované pri kontextuálnej plasticite. Otázkou bolo, či sa tieto zmeny dejú na nižšej úrovni, t.j. na úrovni ITD a ILD spracovania, ktorá sa nachádza v mozgovom kmeni alebo na vyššej úrovni, kde je už priestor reprezentovaný v exocentrických súradniciach a interaguje v ňom priestorová reprezentácia a priestorová pozornosť.

Hypotéza bola, že ak sa plastické zmeny vyvolané na úrovni ITD prejavia na úrovni ILD tieto plastické zmeny sa nemôžu udiť na nižšej úrovni spracovania, ale naopak, udejú sa na vyššej. Použitou experimentálnou procedúrou sa overovalo toto tvrdenie.

Ako ukazujú výsledky dát nazbieraných na štyroch subjektoch, je tu náznak, že sa tak deje na vyššej úrovni spracovania zvuku. Najlepšie je to vidieť na Obr. 26 (červená čiara), kde sa plasticita budovala za použitia ITD a testovala za použitia ILD. Vybudovaná plasticita mala vplyv na ILD simuláciu a bol by to priamy dôkaz, že sa tieto plastické zmeny udiali na vyššej úrovni spracovania, avšak kvôli veľkej štandardnej chybe sa to dokázať nedá. Táto chyba priemeru bola spôsobená jedinečnosťou odpovedí každého subjektu, ktoré sa líšili ako je vidieť v štandardnej odchýlke na Obr. 18. Zvláštne bola aj to, že plasticita vybudovaná plnou simuláciou a testovaná na ITD simulácii (Obr. 26 čierna čiara) sa neprejavila, pričom sa predpokladalo, že nastane. Z nameraných dát, ktoré boli k dispozícii sa hypotéza nedá jednoznačne vylúčiť ani potvrdiť.

V rovnakom období konania tohto experimentu sa konal obdobný experiment, ktorý mal za účel dokázať tú istú hypotézu, ale za použitia iných metód. Tento experiment potvrdil, že plastické zmeny sa dejú na vyššej úrovni spracovania, niekde vo vyšších kortikálnych oblastiach, ako napríklad posteriórna parientálna kôra [13].

Pre získanie presnejších údajov je potrebné tento experiment zopakovať pre viac subjektov. Potrebné by bolo aj vyhodíť kolá, z ktorých sa táto hypotéza nedá vyvodíť, ako napríklad typ kola 1, 4, (Tab. 1), v nich sa buduje a testuje plasticita za použitia rovnakej simulácie. Tieto kolá by mohli byť použité na opakovanie ostatných kôl. V takom prípade sa štandardné chyby priemeru zmenšia a z daných údajov sa bude dať lepšie overiť hypotéza.

Zoznam použitej literatúry

- [1] Bernat, Peter - Akustika, vznik a šírení zvuku, frekvenční analýza a syntéza, sluchový vjem zvukového signálu, dostupné na internete: http://home.vsb.cz/petr.bernat/texty/varhany/anatomie/pistaly_akustika.htm
- [2] FRANCIS, G., *Sensory and perceptual processes*, prednášky k predmetu, dostupné na <http://www2.psych.purdue.edu/~gfrancis/Classes/PSY310/>
- [3] GAUTHIER, Philippe-Aubert: Artificial reproduction of the natural spatial character of hearing, dostupné na internete: http://www3.sympatico.ca/philippe_aubert_gauthier/spatial_sound.html
- [4] Guniš, Ján – nahrávanie zvuku, dostupné na internete http://www.gt12.sk/predmety/inf/materialy/ucebnica/informacie_okolo_nas/informacie_okolo_nas.htm
- [5] Hofman, Paul M. (September 1998). Dostupné na internete: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/50/HRTF.svg>
- [6] J. Blauert, *Spatial Hearing*, 2nd ed., J. S. Allen, trans., MIT Press, Cambridge, Mass. (1997).
- [7] J. W. Strutt (Lord Rayleigh), *Phil. Mag.* 3, 456 (1877). Dostupný na internete: <http://www.aip.org/pt/nov99/locsound.html>
- [8] KOPČO, N., *Výpočtová a kognitívna neuroveda*, prednášky k predmetu, 2007, dostupné na internete: <http://neuron-ai.tuke.sk/~kopco/kui440/>
- [9] KOPČO, N. - BEST, V. – SHIN CUNNINGHAM, BG (2007). Sound localization with a preceding distractor, *Journal of the Acoustical Society of America*, 121, 420-432. Dostupné na internete: <http://cns.bu.edu/~kopco/k/06/clickpaper/clickpaper.pdf>
- [10] Kulesza, R. J., Jr. (2007). "Cytoarchitecture of the human superior olivary complex: medial and lateral superior olive."
- [11] Lambert P.R., Congenital malformations of the external auditory canal. *Otolaryngol Clin North Am.* (1996). Dostupné na internete: <http://embryology.med.unsw.edu.au/notes/ear9.htm>
- [12] MOORE, D.R. & KING, A.J., Plasticity of binaural systems. In T.N.. Parks, E.W Rubel, R.R. Fay & A.N. Popper (eds.) *Plasticity of the Auditory System*, Springer, New York (2004)
- [13] PANGRÁC, B.: Spracovanie ILD a kortikálna lokalizácia kontextuálnej plasticity pri priestorovom počúvaní
- [14] POPPER, A.N. & FAY, R.R., *Sound Source Localization*, Springer, New York (2005)
- [15] RAUSCHECKER, J., Auditory reassignment; in *Handbook of Neuropsychology: Plasticity and Rehabilitation*, Boller, F. et al., Elsevier Health Sciences, 2003

-
- [16] SPENCE, C; DRIVER, J. Attracting attention to the illusory location of a sound: reflexive crossmodal orienting and ventriloquism. *Neuroreport*. 2000
- [17] TOMORIOVÁ, B.: Neurálna plasticita a riadenie strategickej pozornosti pri priestorovom sluchovom vnímaní. Minimová práca. Košice: Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2008. 57 s
- [18] WENZEL Elizabeth M. – BEGAULT Durand R.: The Role of Dynamic Information in Virtual Acoustic Displays, článok dostupný na internete: http://humansystems.arc.nasa.gov/groups/ACD/projects/dynamic_info.php
- [19] YOST, W.A., (2000), *Fundamentals of hearing: An introduction* (4th ed.), New York: Academic Press

Prílohy

Príloha A: CD médium – diplomová práca v elektronickej podobe, prílohy v elektronickej podobe.

Príloha B: Používateľská príručka

Príloha C: Systémová príručka

Príloha D: Obrazová príloha