

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

Priestorová expanzia a posun ako alternatívne modely popisujúce
kontextuálnu plasticitu pri priestorovom počúvaní

Jozef PEKLANSKÝ

DIPLOMOVÁ PRÁCA

2009

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

Katedra kybernetiky a umelej inteligencie

**Priestorová expanzia a posun ako alternatívne modely
popisujúce kontextuálnu plasticitu pri priestorovom počúvaní**

DIPLOMOVÁ PRÁCA

Jozef Peklanský

Vedúci diplomovej práce:

Ing. Norbert Kopčo, Ph.D.

Konzultant diplomovej práce:

Ing. Beata Tomoriová

Košice 2009

Analytický list

| | |
|----------------------|--|
| Autor: | Jozef Peklanský |
| Názov práce: | Priestorová expanzia a posun ako alternatívne modely popisujúce kontextuálnu plasticitu pri priestorovom počúvaní |
| Podnázov práce: | |
| Jazyk práce: | slovenský |
| Typ práce: | Diplomová práca |
| Počet strán: | 62 |
| 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, Ph.D. |
| Konzultanti práce: | Ing. Beata Tomoriová |
| Dátum odovzdania: | 7. máj 2009 |
| Dátum obhajoby: | 28. máj 2009 |
| Kľúčové slová: | Kontextuálna plasticita, sluchové vnímanie, sluchový systém |
| Kategória konspekt: | Výpočtová technika; Umelá inteligencia |
| Citovanie práce: | Peklanský, Jozef: Priestorová expanzia a posun ako alternatívne modely popisujúce kontextuálnu plasticitu pri priestorovom počúvaní. Diplomová práca. Košice: Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2009. 62 s. |
| Názov práce v AJ: | Spatial expansion vs. shift as a model of contextual plasticity in spatial auditory perception |
| Podnázov práce v AJ: | |
| Kľúčové slová v AJ: | Contextual plasticity, spatial hearing, auditory system |

Abstrakt v SJ

V tichom, respektíve nie veľmi hlučnom prostredí dokáže človek so zdravým sluchovým a zrakovým vnímaním určiť polohu, odkiaľ prichádza zvuk bez problémov. V prípade, že je tento zvuk ovplyvnený distraktorom, rušivým zvukom, ktorý mu predchádza, je určovanie polohy zdroja náročnejšie. Tento efekt sa nazýva kontextuálna plasticita a táto práca sa zaoberá jej výskumom a sledovaním jej posunu poprípade expanzie v zvukovej mape sluchového systému každého jedinca. Väčšia časť tejto práce sa zaoberala opisom sluchovej plasticity, ako aj opisom priestorového sluchového vnímania a jeho spracovaní v mozgu človeka. Z nameraných výsledkov vyplýva, že vplyv distraktora na sluchový systém spôsobil expanziu len pri laterálnom otočení subjektu.

Abstrakt v AJ

In quiet, or not very noisy environment, a person with healthy hearing and sight organs is able straight to locate from where a noise is coming. In case that this noise is influenced by a distractor, disturbing noise, which precedes it, localization is more difficult. This effect is called contextual plasticity and this work deals by its research and monitoring of its advance or expansion in acoustic map of hearing system of each individual. More of the work is dealing by description of hearing plasticity as well as by description of spatial hearing perception and its processing in human brain. It results from measured results that influence of distractor on hearing system has caused expansion only by lateral distractor of subjekt.

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH

Fakulta elektrotechniky a informatiky Katedra kybernetiky a umelej inteligencie

DIPLOMOVÁ PRÁCA

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

**Priestorová expanzia a posun ako alternatívne modely popisujúce kontextuálnu
plasticitu pri priestorovom počúvaní**
**Spatial expansion vs. shift as a model of contextual plasticity in spatial auditory
perception**

Pokyny na vypracovanie:

1. Vypracovať prehľad problematiky priestorového sluchového vnímania s dôrazom na priestorové reprezentácie v sluchových neurálnych štruktúrach.
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 overiť navrhnuté alternatívne modely sluchovej reprezentácie.
4. Vykonať experimentálne meranie na minimálne 8 dobrovoľných ľudských subjektoch.
5. Analyzovať a vyhodnotiť experimentálne dáta.
6. Navrhnuť konceptuálny model popisujúci priestorovú reprezentáciu, v ktorej pozorujeme kontextuálnu plasticitu.
7. Vypracovať dokumentáciu podľa pokynov vedúceho diplomovej práce.

Vedúci diplomovej práce: Ing. Norbert Kopčo, PhD.
Konzultant diplomovej práce: Ing. Beáta Tomoriová

Dátum odovzdania diplomovej práce: 7.5.2009



prof. Ing. Ján Samovský, CSc.

vedúci zadávajúceho
vedecko-pedagogického pracoviska



prof. Ing. Liberios Vokorokos, PhD.

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., konzultantke Ing. Beáte Tomoriovej za pripomienky, usmernenia a odbornú pomoc pri vypracovaní diplomovej práce. Taktiež by som rád poďakoval dobrovoľníkom, ktorí sa zúčastnili na experimentoch.

Predhovor

Vplyv nežiaducich či neočakávaných rušivých vnemov na organizmus spôsobuje jeho zmenu, prispôsobovanie sa kontextom v okolí. Táto zmena sa nazýva plasticita a popisuje postupnú reakciu organizmu na jeho okolie. Kontextuálnu plasticitu môžeme sledovať vo vizuálnom, tak aj sluchovom vnímaní.

Kontextuálna plasticita je predmetom štúdií už mnoho desaťročí. Aj keď sa s plasticitou každodenne ľudia stretávajú, väčšina z nich ani nevie, ako sa prejavuje. Ľudia sa pohybujú v rušnom a hlučnom prostredí. Vedome sa sústreďia na konkrétne situácie, no často krát sa stáva, že podvedome človeka upúta zvuk či dianie mimo jeho záujmu. Jeho vnímania sa tým presmeruje na danú udalosť a mení sa, teda prispôsobuje sa situáciám okolia. Väčšie množstvo informácií dokáže prijať vizuálny systém v jeho zornom poli, no zase komplexnejší a prispôsobivejší je systém sluchový, keďže nie je závislý na otáčaní hlavy, a tým podáva aj informácie z celého okolia hlavy.

Skúmaním plasticity sa už zisťovalo, ako zvukový signál ovplyvňuje iný, časovo tesne mu predchádzajúci zvykový signál. Cieľom mojej práce je objasniť, ako plasticita mení priestor v mozgu, zodpovednej za spracovanie prichádzajúceho zvuk. Mojou úlohou bolo po rozsiahlych experimentoch určiť, či pri priestorovej kontextuálnej plasticite môžeme hovoriť o jej posune, alebo expanzii. Dáta nazbierané pri experimentoch boli štatisticky vyhodnotené a vykreslené do grafov podľa viacerých vlastností a kritérií.

Obsah

| | |
|--|-----------|
| Zoznam obrázkov | 10 |
| Zoznam tabuliek | 12 |
| Zoznam symbolov a skratiek | 13 |
| Slovník termínov | 14 |
| Úvod | 15 |
| 1 Formulácia úlohy | 17 |
| 2 Priestorové sluchové vnímanie..... | 18 |
| 2.1 Lokalizácia zvukov v horizontálnej rovine | 19 |
| 2.1.1 ITD - interaurálny časový rozdiel | 20 |
| 2.1.2 ILD - interaurálny rozdiel v intenzitách..... | 21 |
| 2.1.3 Kužeľ nejednoznačnosti..... | 22 |
| 2.2 Lokalizácia zvukov v vertikálnej rovine | 23 |
| 2.3 Vnímanie vzdialenosti | 24 |
| 2.4 Pozornosť..... | 24 |
| 3 Spracovanie zvukového signálu v sluchovej dráhe mozgu | 26 |
| 3.1 Periférny sluchový systém..... | 26 |
| 3.2 Centrálny sluchový systém..... | 27 |
| 3.2.1 Cochlear nucleus (CN)..... | 28 |
| 3.2.2 Superior olivary complexes (SOC)..... | 29 |
| 3.2.3 Lateral lemniscus (LL)..... | 30 |
| 3.2.4 Colliculus inferior (IC) | 30 |
| 3.2.5 Colliculus Superior (SC)..... | 31 |
| 3.2.6 Sluchový kortex | 31 |
| 4 Priestorové charakteristiky kontextuálnej plasticity | 33 |
| 4.1 Sluchová mapa..... | 33 |
| 5 Experimentálna časť..... | 36 |
| 5.1 Motivácia experimentu | 37 |
| 5.1.1 Hypotézy | 37 |
| 5.2 Experimentálna procedúra..... | 38 |
| 5.2.1 Popis experimentu | 38 |
| 5.3 Analýza zozbieraných dát..... | 43 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 5.3.1 | Analýza jedného subjektu | 44 |
| 5.3.2 | Analýza všetkých subjektov | 48 |
| 5.3.3 | Zhrnutie, analýza hypotéz | 57 |
| 6 | Záver..... | 59 |
| | Zoznam použitej literatúry | 60 |
| | Prílohy | 62 |

Zoznam obrázkov

| | |
|--|----|
| Obr. 1 Súradnicový systém pre zdroj zvuku v priestore[1] | 18 |
| Obr. 2 Pozícia zvuku vo vzťahu k referenčnému bodu[1]..... | 19 |
| Obr. 3 Časové oneskorenie signálu vzhľadom na polohu zdroja a hlavy[2] | 20 |
| Obr. 4 Graf ITD vzhľadom na natočenie zdroja signálu[2]..... | 21 |
| Obr. 5 Vznik akustického tieňa za prekážkou pri vysokofrekvenčnom tóne[3]..... | 21 |
| Obr. 6 Kužeľ nejednoznačnosti a zmena ITD a ILD pri zmene azimutu[4]..... | 22 |
| Obr. 7 Určovanie lokalizácie zdroja zvuku pomocou odrazov od častí vonkajšieho ucha [6] | 23 |
| Obr. 8 Schematická anatomia ucha..... | 27 |
| Obr. 9 Časti centrálného sluchového systému | 28 |
| Obr.10 Lateral lemniscus spájajúce kochleárne jadro s inferiol collicis, pohľad zozadu | 30 |
| Obr.11 Multimodálne vnímanie priestoru znázorňujúce závislosť jednotlivých modalít a neuroanatomických oblastí, ktoré ich spracúvajú [16] | 33 |
| Obr. 12 Experimentálna odhlučnená miestnosť pri pohľade zhora snímaná kamerou umiestnenou presne nad stredom hlavy subjektu..... | 40 |
| Obr.13 Smer otočenia hlavy subjektu a umiestnenie reproduktorov v miestnosti pri pohľade zhora..... | 41 |
| Obr. 14 Graf znázorňujúci všetky typy otočenia pre všetky typy kôl | 45 |
| Obr. 15 Graf znázorňujúci všetky typy otočenia pre všetky typy kôl, preklopené dáta..... | 46 |
| Obr. 16 Rovnaký typ kola pre ľavé a pravé otočenie, a preklopenie pravého otočenia na ľavé pre ten istý typ kola. | 47 |
| Obr. 17 Preklopené dáta vzhľadom k nedistraktorovému meraniu. | 47 |
| Obr. 18 Distraktorové merania pre všetky typy otočenia znázorňujúce posun voči skutočnej polohe. | 48 |
| Obr. 19 Preklopené dáta všetkých subjektov pre otočenie vľavo..... | 49 |
| Obr. 20 Zozbierané dáta všetkých subjektov pre frontálne otočenie..... | 50 |
| Obr. 21 Spriemernenie posunu pre prehrávanie z reproduktorov 1-3, otočenie vľavo, preklopené dáta..... | 51 |
| Obr. 22 Spriemernenie posunu pre prehrávanie z reproduktorov 5-7, otočenie vľavo, preklopené dáta..... | 51 |
| Obr. 23 Spriemernenie posunu pre prehrávanie z reproduktorov 1-3, otočenie do stredy, preklopené dáta. | 52 |

| | | |
|---------|--|----|
| Obr. 24 | Spriemernenie posunu pre prehrávanie z reproduktorov 5-7, otočenie do stredu, preklopené dáta. | 53 |
| Obr. 25 | Graf znázorňujúci posun voči nedistraktorovému kolu pri otočení k distraktorovému reproduktoru. | 53 |
| Obr. 26 | Graf znázorňujúci posun voči nedistraktorovému kolu pri otočení vľavo, preklopené dáta | 54 |
| Obr. 27 | Distraktorové merania v distraktorových kolách, preklopené dáta | 55 |
| Obr. 28 | Distraktorové merania v distraktorových kolách, frontálne otočenie..... | 56 |
| Obr. 29 | Nedistraktorové a distraktorové merania pre typ kola 11-78, otočenie VĽAVO | 56 |
| Obr. 30 | Nedistraktorové a distraktorové merania pre typ kola 11-78, otočenie do STREDU | 57 |

Zoznam tabuliek

Zoznam symbolov a skratiek

- 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 príchodom toho istého zvuku k jednému a k druhému uchu.
- HRTF** **H**ead **R**elated **T**ransfer **F**unction, funkcia popisujúca transformáciu, ktorou prejde zvukový signál od zdroja po ucho.
- SOA** **S**timulus **O**nset **A**synchrony, oneskorenie cieľového stimulu voči primárnemu podnetu.

Slovník termínov

Monaurálny je platné pre jedno ucho.

Binaurálny je platný pre obe uši.

Interaurálny je nachádzajúci sa v priestore medzi ušami.

Plasticita je bezproblémové prispôsobenie sa okoliu alebo vplyvu okolia.

Distraktor je rušivý vnem, identický šum pre všetky subjekty v celom experimente s dĺžkou 2ms.

Subjekt je človek, ktorý sa dobrovoľne zúčastnil experimentov.

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

Sub-kolo (subrun) je tá časť kola, v ktorej boli prehrávané zvuky zo všetkých pozícií reproduktora práve jedenkrát.

Meranie prezentácia cieľového zvuku a odpovede subjektu.

Úvod

„Možno ste počuli, že mozog je plastický, no nie je z plastu“. Aj s takouto vetou som sa stretol pri štúdiu plasticity v jednom článku na internete. Plasticita, pojem pre niekoho známy, pre niekoho menej. Väčšina si k tomuto slovu hneď priradí plno ďalších výrazov, či skôr slovies a prídavných mien – plastický, meniaci sa, tvarovateľný, tvárny, ohybný, pružný. Keďže v tejto práci opisujem priestorové sluchové vnímanie, či spracovanie zvukových signálov v mozgu, v tomto prípade kontextuálna plasticita bude zmena v štruktúre či funkcii sluchového systému vplyvom nejakých kontextov, skúseností, faktorov.

Vo všeobecnosti plasticita je reakcia či zmena nervových buniek na vonkajšie prostredie, séria fyziologických zmien v centrálnom nervovom systéme a vplyvom reakcií na zmyslové skúsenosti. Jednoducho povedané mozog, a jeho sluchový systém sa mení v závislosti od okolitého prostredia, adaptuje sa mu.

Adaptácia u človeka prebieha v detstve. Pri raste dochádza aj k anatomickým zväčšeniam hlavy. Keďže vplyvom toho dochádza aj k zmene polohy oboch uší, vzdialujú sa, a tým dochádza aj k zmene ITD a ILD. Plasticita je v detstve človeka nevyhnutná [13].

Sluchový systém je vysoko organizovaný. Napríklad obsahuje množstvo periférnych máp existuje v celom periférnom aj centrálnom zvukovom systéme. Výskum plasticity sluchového systému pritom napreduje pomaly. No viac výskumov prebieha na zvieratách, neurálna báza je asi najlepšie zmapovaná na mozgu sovy.

Donedávna pretrvávalo poznanie, že u ľudí je zvuková mapa odolná voči zmenám. Avšak až zmeny v posledných desaťročiach ukázali, že poškodenie vnútorného ucha postihuje zvukovú mapu v celom centrálnom sluchovom systéme. Inými slovami, periférne škody spojené s akustickým úrazom nie sú výsledkami poškodenia len vonkajších vlasových buniek, ale spôsobujú zmenu v celom systéme. Nastáva zmena v kódovaní sluchovej sústavy vplyvom poškodenia, tým pádom aj jeho adaptácia na novú situáciu [14].

V súčasnom svete veda napreduje míľovými krokmi. Neustále vznikajú nové názvy a termíny, ktoré je potrebné vysvetliť. Jednou z nich je aj kontextuálna plasticita pri priestorovom počutí. Výskum v tejto oblasti je potrebný, pretože existuje ešte množstvo nezodpovedaných otázok. To je hlavná príčina, prečo som sa tejto téme

v tejto práci venoval ja. Vplyvom kontextuálnej plasticity sa mení sluchová mapa v mozgu každého jedinca. Mojm cieom bolo preskúmať, ako táto kontextuálna plasticita vplýva na túto sluchovú mapu z hľadiska priestorovej polohy, a to či na ňu vplýva posunutím, alebo expanziou.

1 Formulácia úlohy

Cieľom tejto práce je študovať kontextuálnu plasticitu pri priestorovom počúvaní, a jej modely, a to priestorovú expanziu, alebo posun.

V prvej časti práce sa zaoberám a objasňujem problematiku priestorového sluchového vnímania, spracovaním zvuku v sluchových neurálnych štruktúrach sluchovej dráhy a popisujem pojem kontextuálna plasticita a jej charakteristiky.

V druhej časti práce je detailnejšie popísaný východzí experiment kolektívu N. Kopčo, V. Best, and BG. Shinn-Cunningham: Sound localization with a preceding distractor [17], na ktorý nadväzuje aj môj experiment a taktiež procedúra vytvorená pre tento experiment vytvorená v prostredí MATLAB. Hlavná zmena v mojej procedúre bola v zložení jednotlivých kôl, ako aj v inštrukciách prehrávajúcich pokyny pre jednotlivé časti experimentu určené pre subjekty. Cieľom tejto práce bolo vyvolať krátkodobú plasticitu v sluchovom vnímaní a skúmať, ako pôsobí na sluchový systém, a to či spôsobuje posun sluchovej mapy, alebo jej expanziu.

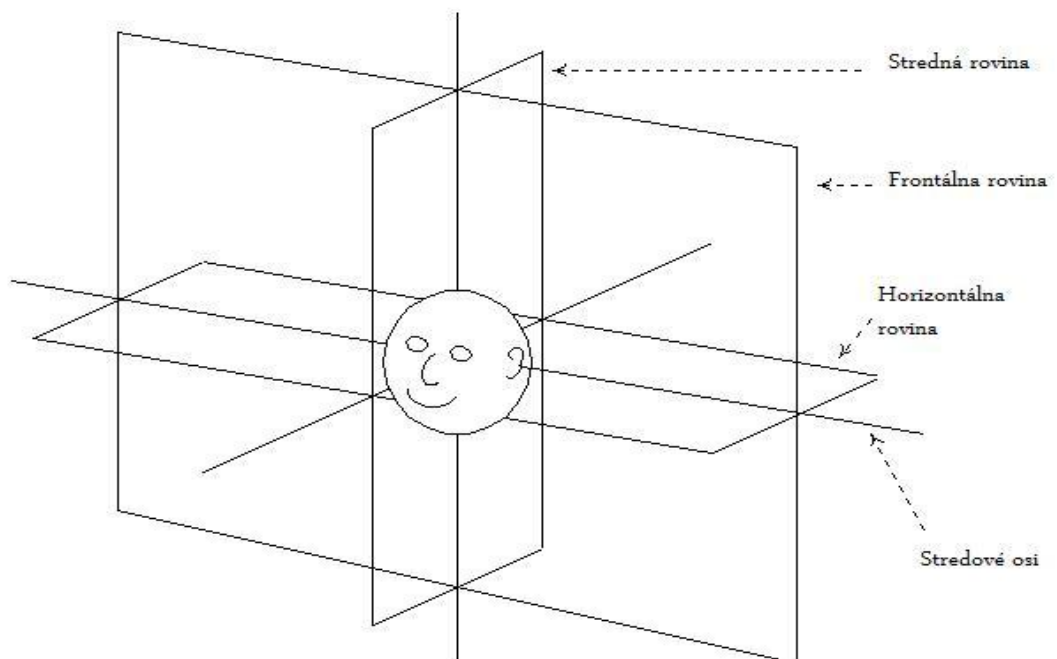
Tretia časť práce obsahuje výsledky experimentu zozbierané na siedmych dobrovoľných subjektoch, ich popis, analýzy a vybrané grafy, popisujúce či objasňujúce problematiku tejto diplomovej práce. Venujem sa taktiež aj dôkladnému opisu celej experimentálnej procedúry vykonanej na dobrovoľných subjektoch v odhlučnenej miestnosti. Na samotný výskum bol vytvorený program na získanie požadovaných dát na základe doteraz známych teoretických poznatkov z tejto oblasti. Všetky výsledné grafy uvádzam v priloženej obrazovej prílohe.

2 Priestorové sluchové vnímanie

Sluch je pre človeka vstupnou bránou pre informácie, ktoré predstavujú zásadný prínos pre ľudský existenčný a vývojový potenciál. Sluchový aparát, ucho, patrí medzi najmenšie orgány ľudského tela, obsahuje toľko „obvodov“ ako priemerná veľkomestská telefónna sieť. Napriek miniatúrnym rozmerom, alebo možno práve kvôli tomu, patrí do kategórie najdokonalejších a štruktúrne najzložitejších orgánov.

Sluch, asi najdôležitejší z piatich zmyslov človeka, slúži nielen sa dorozumievaniu, styk s ostatnými, rozvoj citového života či estetických zážitkov, ale má veľký význam aj na priestorovú orientáciu. Na rozdiel od vizuálneho priestorového vnímania, kde sa obraz premietá priamo na sietnicu, sluchové priestorové vnímanie „pokrýva“ väčší priestor v okolí každého človeka, dokáže vnímať zdroje zvuku, no neexistuje presná mapa, na ktorú by sa informácia zo zdroja premietla.

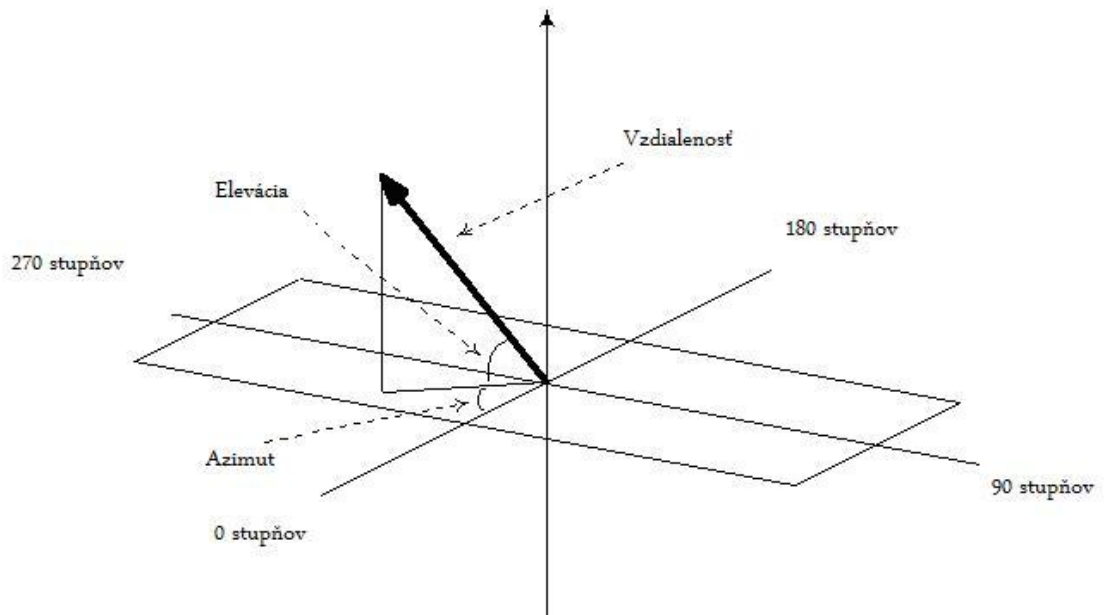
Každý zvuk má pôvod v zdroji zvuku. Zdrojom zvuku je každé pružné teleso, ktoré sa chveje, pričom sa chvenie prenáša do prostredia, a tým vzniká zvukové vlnenie. Poloha zdroja zvuku je určovaná súradnicovým systémom [1].



Obr. 1 Súradnicový systém pre zdroj zvuku v priestore [1]

Vektor popisujúci postavenie zdroja zvuku v pomere k poslucháčovej hlave je vyjadrený v polárnych súradniciach ako azimut, elevácia a vzdialenosť [1].

- Azimut – uhol medzi priemetom vektora do vodorovnej roviny a tejto roviny
- Elevácia - vertikálna odchýlka od nejakého referenčného bodu, väčšinou od prednej časti tváre
- Vzdialenosť – vzdialenosť poslucháča od zdroja zvuku



Obr. 2 Pozícia zvuku vo vzťahu k referenčnému bodu[1]

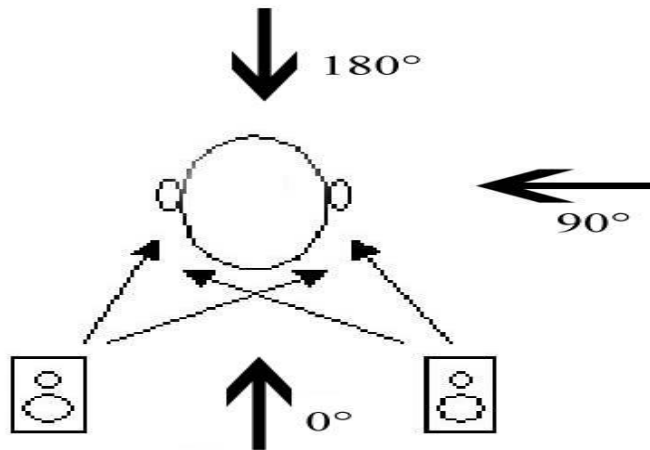
2.1 Lokalizácia zvukov v horizontálnej rovine

Človek na určovanie polohy zdroja zvuku pomocou tejto súradnicovej sústavy používa rôzne systémy. Pri monaurálnom počutí – počutí jedným uchom, postačia človeku informácie zo strednej, čiže vertikálnej polohy. Pri získavaní informácii z vertikálnej, ale aj horizontálnej roviny, hovoríme o binaurálnom počutí – počutie dvoma ušami. Na určenie polohy azimutu zdroja zvuku používame tieto binaurálne parametre:

- interaural time difference – ITD - opisuje čas, v ktorom prišiel zvuk zo zdroja do jedného a do druhého ucha
- interaural level difference – ILD - opisuje rozdiel intenzity v jednom a druhom uchu

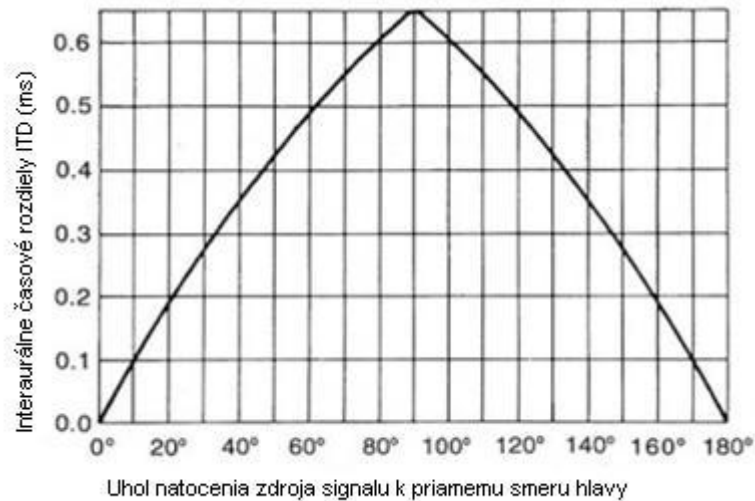
2.1.1 ITD - interaurálny časový rozdiel

U osôb alebo zvierat je príchod zvuku do oboch uší rozdielny. Časová zmena pre ľavé a pravé ucho závisí od polohy zdroja zvuku. V prípade horizontálnej roviny sa uhol medzi zdrojom zvuku a polohou hlavy označuje ako azimut. Priamo pred poslucháčom je azimut vzhľadom k zdroju zvuku 0° , za poslucháčom je tento uhol 180° . V oboch prípadoch zvuk prichádza do oboch uší v rovnakom čase. Ak zvuk vychádza zo zdroja pod iným uhlom ako je 0° resp. 90° , výsledkom je časový rozdiel v jednom uchu ako v druhom uchu (v závislosti od polohy zdroja zvuku)[2].



Obr. 3 Časové oneskorenie signálu vzhľadom na polohu zdroja a hlavy[2]

Zvuk sa šíri rýchlosťou 340m/s. Pri rozdielnych uhloch zdroja zvuku a polohy hlavy poslucháča ako pred alebo za, vznikajú rozdiely v čase pri dorazení do oboch uší tým že zvuk musí prejsť dlhšiu dráhu k jednému z uší ako ku druhému. Tieto rozdiely sú v milisekundách ale sú postačujúce na to aby mozog dokázal určiť smer odkiaľ daný zvuk pochádza[3]. Z toho vyplýva, že ITD je maximálne pre zvuky prichádzajúce z boku a minimálne pre zvuky prichádzajúce spredu/zozadu.

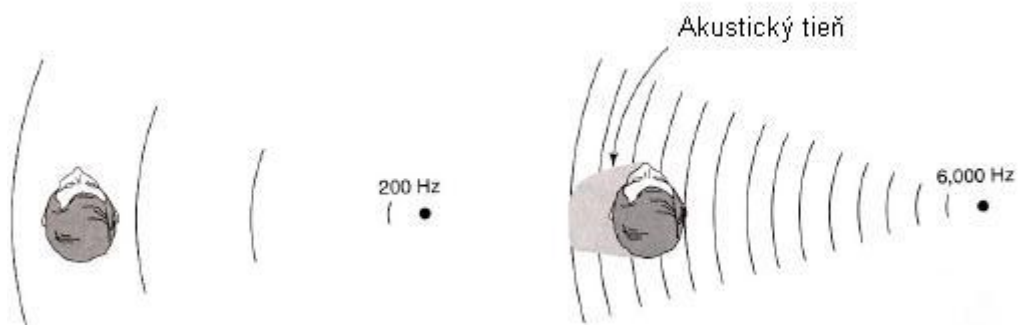


Obr. 4 Graf ITD vzhľadom na natočenie zdroja signálu[2]

ITD lokalizuje zvuky pre nízkofrekvenčné tony do 1.5 kHz, pre vysokofrekvenčné tóny sa používa lokalizácia pomocou ILD.

2.1.2 ILD - interaurálny rozdiel v intenzitách

Pri každej interakcii zvukovej vlny a prekážky, ktorá jej stojí v ceste, musí táto zvuková vlna obísť prekážku, v tomto prípade našu hlavu, aby sa dostala od ľavého ucha k pravému. Pri nízkych frekvenciách zvuk pokračuje za prekážkou bez zmeny, a pri vysokých frekvenciách za touto prekážkou vzniká akustický tieň.



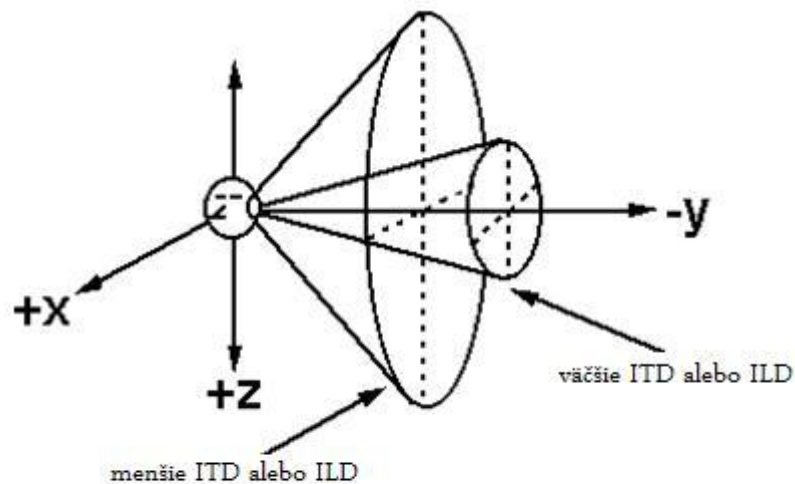
Obr. 5 Vznik akustického tieňa za prekážkou pri vysokofrekvenčnom tóne[3]

ILD je minimálne pre zvuk znejúci spredu, maximálne pre zvuky prichádzajúce z boka.

2.1.3 Kužel' nejednoznačnosti

Pre lokalizáciu zvuku majú ITD a ILD podstatne najdôležitejšiu úlohu, pričom nie vždy dokážu jednoznačne určiť presnú polohu zdroja zvuku. Príčinou tejto nejasnosti je zmena polohy azimutu hlavy, inak povedané vznik chýb pri pohybe hlavy smerom hore/dole a vpred/vzad. S určitosťou vieme povedať, že pri tomto pohybe hlavy zodpovedajú ITD aj ILD v priestore viaceré body. V prípade, ak by bola hlava guľatá a symetrická, vznikol by z týchto bodov kužel', nazývaný kužel' nejednoznačnosti, na povrchu ktorého by sa ITD/ILD nemenilo. V skutočnosti je tento kužel' čiastočne deformovaný čo je spôsobené nepravidelnosťou hlavy.

Teda aj keď vieme presne odhadnúť uhol, pod ktorým k nám dopadá zvuk zo zdroja, nedokážeme s presnosťou povedať, či prichádza spredu/zozadu, resp. zhora/zdola.

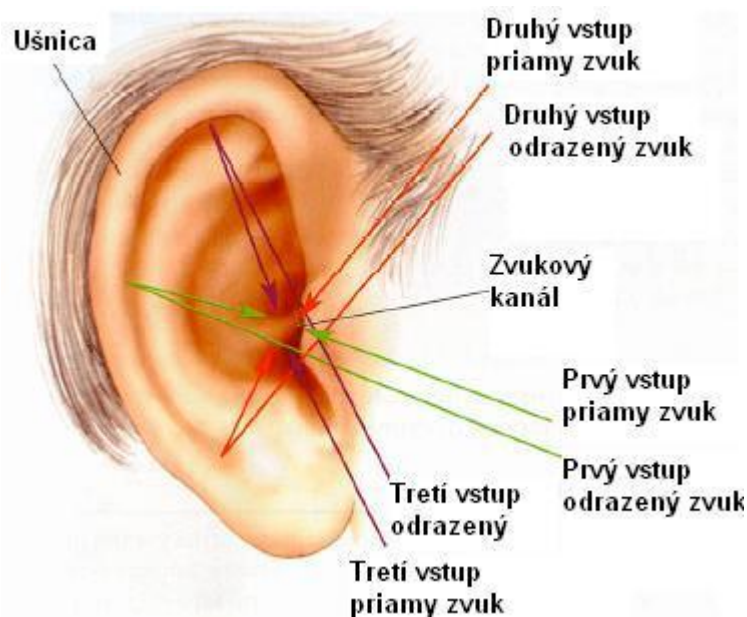


Obr. 6 Kužel' nejednoznačnosti a zmena ITD a ILD pri zmene azimutu[4]

Problém vyriešenia nejednoznačnosti pri určovaní polohy zdroja zvuku je v pootočení alebo naklonení hlavy, čím sa poloha kužľa posunie a nejednoznačnosť sa eliminuje[3].

2.2 Lokalizácia zvukov v vertikálnej rovine

ITD ani ILD nám sú nápomocné pri určovaní zdroja zvuku v horizontálnej rovine, nie vo vertikálnej. Najdôležitejšiu úlohu pri lokalizácii zvuku má v tomto prípade časť vonkajšieho ucha - ušnica. Ušnica vďaka svojim záhybom zvuk s rôznymi frekvenciami odráža a odrazený zvuk vstupuje do sluchového kanála s určitým omeškaním v závislosti od jeho polohy vo vertikálnej rovine [5]. Polohu zdroja zvuku a jeho vzdialenosť od nás vie náš sluchový systém vypočítať na základe rozdielu medzi priamym a odrazeným zvukovým stimulom.



Obr. 7 Určovanie lokalizácie zdroja zvuku pomocou odrazov od častí vonkajšieho ucha [6]

Funkciu, pri ktorej zvukové vlny prejdú od zdroja, cez odrazy na ušnici, častiach tváre a pliec až po bubienok a vnútorné ucho, sa nazýva head-related transfer function, tzv. HRTF. Táto smerová prenosová funkcia pri vzdialenosti viac ako 1m závisí od azimutu a elevácie. Pre bližšie zdroje závisí aj od vzdialenosti [6].

Funkcia HRTF je v priestore popísaná dvojicou čísiel, jednou pre ľavé, a druhou pre pravé ucho.

Sluchový systém dokáže pri lokalizácii zdroja rozlíšiť, či ide o priamy alebo odrazený zvuk. Odrazený zvuk pre dlhšiu dráhu prichádza do ucha za priamym zvukom a s časovým oneskorením. Sluchový systém berie do úvahy priamy zvuk, čím oneskorený potlačí. Tento jav však funguje len pri určitom časovom oneskorení, a to 1-

5ms. Tento jav oneskorenia odrazeného zvuku od priameho sa nazýva „Precedence effect“ [6].

2.3 Vnímanie vzdialenosti

Pri určovaní vzdialenosti sa sluchový systém spolieha na viacero zdrojov informácií [3]. ILD nám pomáha určiť vzdialenosť od zdroja ale je spoľahlivý len na veľmi krátku vzdialenosť, pretože vzniká rozdiel intenzít medzi ušami, keď sa zvuk nachádza blízko a klesá ak sa vzdďaľuje.

Druhým zdrojom informácií je hlasitosť zvuku. Ak poznáme bežnú intenzitu nejakého zvuku, vieme na základe aktuálnej intenzity odhadnúť, ako je ďaleko.

Zmenou našej polohy sa mení aj poloha zdroja vzhľadom k nám. Čím v našom pohybe je zdroj k nám bližšie, tým sa pre nás jeho poloha mení viac, ako pre zdroj vzdialenejší. Tie menia svoju polohu menej. Určovanie polohy zdroja v tomto prípade sa uskutočňuje pomocou pohybového paralaxu.

Takmer v akomkoľvek priestore k nám doliehajú zvuky odrazené od priestoru kde sa pohybujeme. K tomu nám ako zdroj informácií pre náš sluchový systém slúžia aj odrazy. Tieto odrazy sú filtrované a k nám sa dostáva len informácia o hlavnom zdroji zvuku.

Poslednou informáciou môže byť frekvencia. Vzduch pohlcuje vysoké frekvencie lepšie ako nízke [6][7].

2.4 Pozornosť

Neodmysliteľnou súčasťou vnímania každého človeka sú jeho zmysly. V určitej situácii sú pre neho niektoré dôležité, iné nie. Mozog nedokáže spracovať všetky primané podnety, vyberá len tie, ktoré sú pre neho podstatné. Dôležitú úlohu pri tom zohráva pozornosť.

Pozornosť nie je funkcia mozgu, je to skôr vedomie, čo nám pomáha sústreďovať naše zmysly na predmety či podnety v okolí, pričom ostatné úplne zanedbáva. Pozornosť je stav psychiky, kognitívny proces, pomocou ktorej sa človek zameria na daný jav, ktorý chce pozorovať. V tomto prípade hovoríme o senzorickej pozornosti. Ak však na nás vplýva nejaký podnet, ktorý bez našej kontroly upútava našu pozornosť,

hovoríme o automatickej pozornosti. Pozornosť ovplyvňuje lokalizáciu zvukov tak, že „príťahuje“ vnímanú polohu zdroja zvukov smerom k zameranej oblasti [8].

3 Spracovanie zvukového signálu v sluchovej dráhe mozgu

Zvuk primaný ušom sa spracováva v mozgu. Spracovanie sluchového podnetu začína v kochley, cez rôzne tonotopicky organizované oblasti končí až v sluchovom kortexe. Spracovanie sluchových stimulov sa uskutočňuje na základe reakcií neurónov v optickom tekte, kde sa spájajú senzorické mapy. Tomu tieto neuróny okrem sluchových stimulov reagujú aj na iné, napríklad vizuálne stimuly. Nastáva zarovnanie týchto máp, navzájom sa prispôsobujú. Nastávajú zmeny vplyvom ladenia neurónov, ktoré spôsobujú plasticitu. Tá je pozorovateľná v sluchovom kortexe sluchového systému [11]. Sluchový systém sa delí na periférny a centrálny.

3.1 Periférny sluchový systém

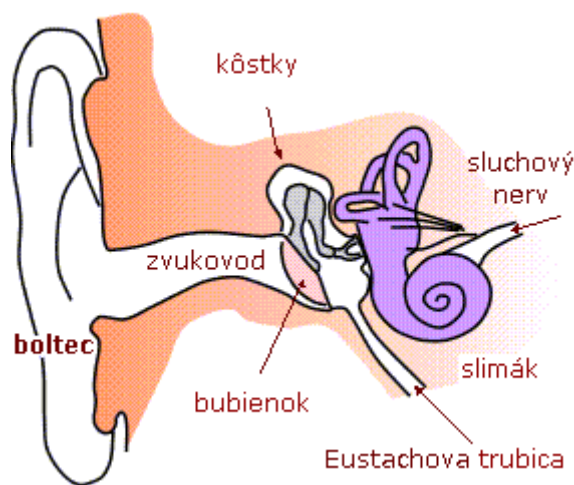
Zvuková vlna prúdiaca prostredím zo zdroja zvuku vzdialeného od orgánu sluchového zmyslu v akýchkoľvek hodnotách, s rôznou frekvenciou, či hlasitosťou sa po rôznych odrazoch a prekážkach (pozri kapitolu 2.2 – Lokalizáciu zvuku vo vertikálnej rovine) dostáva až k sluchovo-polohovému ústroju, ktorý pozostáva z troch častí:

- Vonkajšie ucho
- Stredné ucho
- Vnútorne ucho

Vonkajšie ucho tvorí ušnica a zvukovod- trubica s chrupavkovitou a kostenou časťou. Koža vo vnútri ucha vytvára lepkavú žltkastú tekutinu, nazývanú ušný maz. Bubienok má väzivovú blanu širokú asi 0,1mm, ktorý tvorí hranicu medzi vonkajším a stredným ušom. Po príchode zvukových vln v **strednom uchu** k bubienku naň vlny udierajú, a bubienok začne vibrovať. Vibrácia v strednom uchu sa šíri tromi kostičkami – kladivkom, nákovkou a strmienkom.

Vnútorne ucho je najzložitejšia. Veľká trubica slimákovitého tvaru sa nazýva slimák alebo kochlea. Slimák prevádza mechanické kmitanie na elektrické impulzy. Normálne je slimák zložený zo stočeného kanálka a je vyplnený kvapalinou, ktorá obsahuje tzv. Cortiho orgán s nervovými zakončeniami. Tak, ako mnohé hudobné nástroje, je slimák na jednej strane širší, aby zachytil nižšie

tony, a na druhej strane užší, aby zachytil vyššie tóny. Viac ako 2 milióny chlpkov sleduje pohyb Cochleárnej tekutiny a prevádzajú ich signály vo forme elektrických impulzov. Tri polkruhové kanáliky nesúvisia s počutím ale s rovnováhou. Každý kanálik registruje pohyb v inej rovine. Kanáliky obsahujú tekutinu a špeciálne vlasové bunky. Keď sa tekutina pohne, vlasové bunky vyšlú informáciu mozgu o tom, že hlava zmenila svoju polohu. Úzka trubica (tzv. Eustachová trubica) vedie z vnútorného ucha dozadu do hrdla. Pri prehltnutí, žuvaní alebo zívání sa vchod do trubice otvorí a vzduch môže vchádzať do stredného ucha alebo z neho vychádzať. To spôsobí, že tlak je na oboch stranách ušného bubienka rovnaký. Ušný bubienok môže teda ľahko vibrovať a my riadne počujeme.



Obr. 8 Schematická anatomia ucha

V asociačnej sluchovej kôre prebieha sekundárne spracovanie a interakcia s pamäťou[3]. Periférny sluchový systém končí sluchovým nervom, oblasťou mozgového kmeňa a mozgom začína centrálny sluchový systém.

3.2 Centrálny sluchový systém

Po prejdení vonkajším, stredným a vnútorným uchom sa zvukový signál spracováva v aferentnej sluchovej dráhe centrálného sluchového systému, ktorá sa čiastočne podieľa už aj na spracovaní prichádzajúcej informácie. Kapacita mozgu však nie je dostatočná na to aby spracoval všetky informácie, ktoré dostáva o zvukoch z okolia[10]. Preto už v počiatku aferentnej dráhy je zabudovaný filter, ktorý určuje

podstatnosť informácií a nepodstatné neposiela ďalej. Významným prvkom pri tejto filtrácii je pozornosť.

Centrálny sluchový systém má tieto časti[3]:

CN – cochlear nucleus, pozostáva z dvoch častí:

- dorsal cochlear nucleus DCN
- ventral cochlear nucleus VCN

SOC - Superior olivary complexes, má tri primárne jadrá:

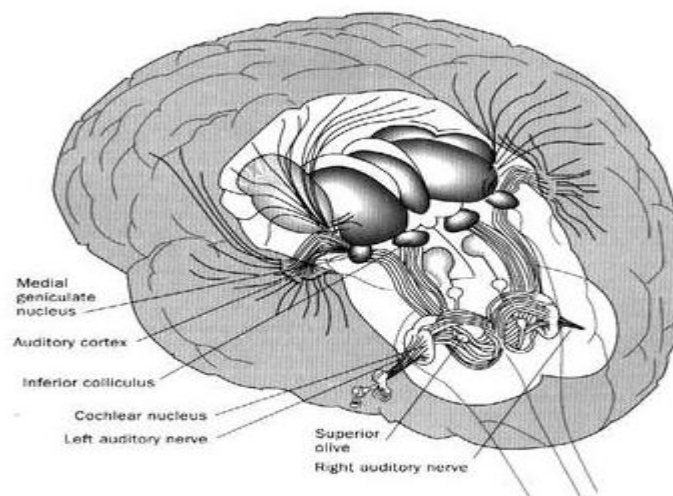
- medial superior olives MSO
- lateral superior olives LSO
- Medial Nucleus of Trapezoid Body MNTB

LL - Lateral Lemniscus

IL – inferior colliculus

SC – Colliculus Superior

AC – sluchový kortex



Obr. 9 Časti centrálného sluchového systému

3.2.1 Cochlear nucleus (CN)

Pri prechode zvukového signálu z vnútorného ucha do častí mozgu sa signál dostáva do časti s názvom kochleárne jadro – anglický názov cochlear nucleus(CN). Touto oblasťou prechádzajú všetky vzruchy.

Informácie do kochleárneho nuklesu sú podávané prostredníctvom kochleárneho nervu (alebo taktiež Kraniálneho nervu). CN je anatomicky a fyziologicky rozdelená do dvoch oblastí - dorsal cochlear nucleus (DCN), a ventral cochlear nucleus (VCN). DCN sa ďalej delí na prednú (anterior ventral cochlear nucleus) a zadnú časť (posterior ventral cochlear nucleus). Tie sú od seba oddelené prechádzajúcimi sluchovými nervovými vláknami.

Po komplexnom zvukovom spracovaní a prenose informácií v deterministických bunkách DCN a VCN sa signál prenáša na ďalšiu časť sluchovej dráhy – superior olivary complexes (SOC).

3.2.2 Superior olivary complexes (SOC)

SOC je zhluk jadier nachádzajúcich sa v kaudálnej mozgovej časti a tvorí jednu z najzákladnejších častí sluchovej dráhy. SOC je rozdelený na tri primárne jadrá - medial superior olives (MSO), lateral superior olives (LSO), Medial Nucleus of Trapezoid Body (MNTB) a niekoľko menších častí, pričom ich funkcie sú na rozdiel od CN jasné.

MSO je jadro špecializované na meranie časového rozdielu prichádzajúceho zvuku medzi ušnicami (pozri kapitolu 2.1.1, kapitolu ITD – interaurálny časový rozdiel). ITD je používaný na určovanie azimutu nízkofrekvenčných zvukov, to znamená na určovanie azimutu zdroja zvuku k ľavému a pravému uchu, určuje časový rozdiel oneskorenia príchodu signálu do ľavého a pravého ucha. Ak je priemerná šírka ľudskej hlavy 17,5 cm, a zvuk sa šíri rýchlosťou 340 m/s, tak zvuková vlna obehne okolo hlavy za približne 700 mikrosekúnd, a predpokladá sa, že pomocou MSO vieme tento časový rozdiel určiť. MSO je najväčšie jadro v ľudskom mozgu a obsahuje viac ako 15 500 neurónov [18].

MSO prijíma signály z ipsilaterálnej a contralaterálnej časti AVCN, a výstupy má v lateral lemniscus (LL) [3].

LSO sa podieľa na meraní rozdielu intenzity zvuku medzi ušami. Keďže v tomto prípade ide o vysokofrekvenčné zvuky, hlavnou funkciou v tomto prípade bude ILD.

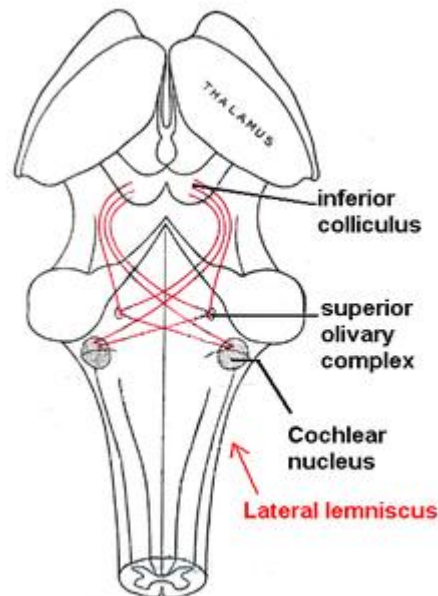
LSO má podobnú funkciu ako MSO, no snaží sa viac lokalizovať zdroj zvuku. Signály sem vstupujú z ipsilaterálnej a contralaterálnej časti AVCN

Najmenšia časť SOC je v MNTB, pričom jeho prítomnosť sa doposiaľ potvrdila len u zvierat, v ľudskom mozgovom kmeni sa možno ani nenachádza. Každý neurón prijíma len vysokofrekvenčné vstupy z kanálikov contralaterálnej časti AVCN a ich výstup je ipsilaterálne LSO.

Medzi týmito tromi hlavnými časťami sa v SOC nachádza šesť až deväť menších jadier, angl. názov Periolivary Nuclei. Tieto jadrá obklopujú každé z troch primárnych jadier, a prispievajú k lepšej funkčnosti sluchového systému v mozgu.

3.2.3 Lateral lemniscus (LL)

Jeho funkcia doposiaľ nie je známa. Vďaka súboru nervových vlákien nesie informácie o zvuku z kochleárneho jadra až do inferior collicis medzimotozgu.



Obr.10 Lateral lemniscus spájajúce kochleárne jadro s inferior collicis, pohľad zozadu

3.2.4 Collicis inferior (IC)

Inferior collicis je jednou z najvýznamnejších častí sluchovej dráhy v strednom mozgu. Prijíma vstupy z niekoľkých okrajových mozgových centier, ako aj zo sluchového kortexu. Je rozdelený na tri časti – centrálné jadro IC, dorzálny a laterálny kortex. Schádzajú sa tu vstupy z viacerých neurónov v periférnejších častiach dráhy.

Podľa frekvenčnej závislosti sa tu nachádzajú tri typy neurónov [3]:

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

3.2.5 Colliculus Superior (SC)

Ďalšou fázou zvukového signálu je štruktúra colliculus superior, nazývaný aj optické tektum, kde sa k nej pridáva vizuálna a ďalšie senzorické mapy, pričom tieto mapy sú vzájomne zarovnané a vytvárajú tak jednotnú multimodálnu reprezentáciu priestoru [11].

V optickom tekte sú neuróny, ktoré reagujú ako na vizuálne, tak aj na sluchové stimuly, a ich vizuálne a sluchové polia sú navzájom zarovnané a prepojené, čo v praxi znamená napríklad to, že sa pozrieme približne na miesto, odkiaľ zaznel zvuk.

3.2.6 Sluchový kortex

Najdôležitejšou oblasťou mozgu, ktorá je zodpovedná za spracovanie zvukovej informácie je sluchový kortex. Neuróny v sluchovom kortexe sú usporiadané v závislosti od frekvencie zvuku. Neuróny na jednom konci kortexu najlepšie reagujú na nízke frekvencie, a naopak na druhom konci na vysoké frekvencie.

Sluchový kortex tvoria tri štruktúry – primárna, sekundárna a terciálna. Primárny sluchový kortex je tonologický organizovaný, čo znamená, že niektoré bunky v sluchovom kortexe sú citlivé na určitú frekvenciu. Úlohou tejto časti primárneho kortexu je zistiť základné tóny zvuku, jej hlasitosť. Sekundárny sluchový kortex už spracúva harmonické, rytmické a melodické tóny. V terciálnej časti sa spracúvajú všetky poznatky o prijímanom tóne.

Primárny sluchový kortex sa nachádza v tempolárnom laloku. Existujú ešte ďalšie časti mozgovej kôry, ktoré sa podieľajú na spracovaní zvuku – čelný a lebečný podbradový lalok.

Všetky zvuky súvisiace s rečou, či v sluchovej kôre, alebo v mozgu, sa pravdepodobne ukladajú do databázy zvukov, ktoré poznáme, do Wernickeho oblasti [12].

Za sluchové stredisko celého sluchového systému sa považuje Wernickeho oblasť, nachádzajúca sa v tempolárnom laloku. Táto oblasť je dôležitým strediskom pre spracovanie akustických signálov ako reč hudba alebo hluk.

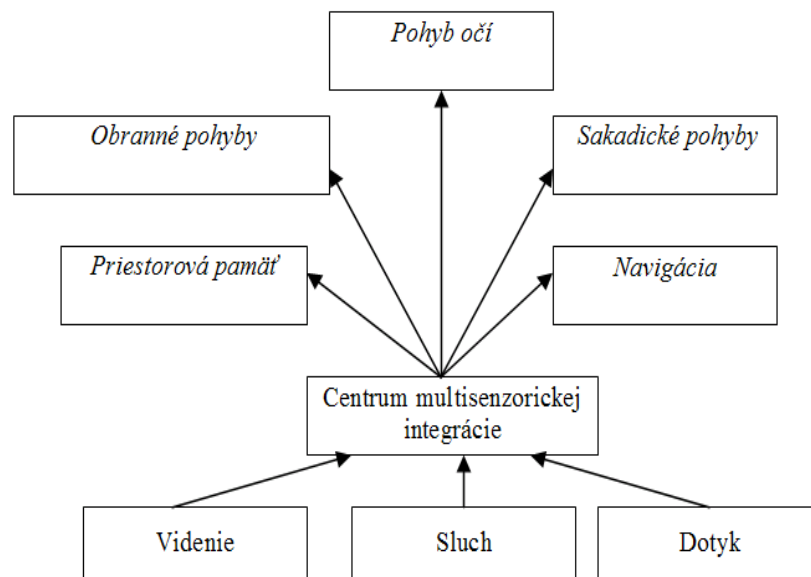
4 Priestorové charakteristiky kontextuálnej plasticity

Každý človek pri priestorovom sluchovom vnímaní vie svoju pozornosť zamerať na určitý zdroj zvuku. Vieme už, že táto pozornosť sa vplyvom určitých kontextov mení, tvaruje. Tento dej sa nazýva plasticita. Na prvé počutie je to pojem nejasný, vyjadrujúci rozdiel predchádzajúceho a súčasného stavu, či popisujúci zmenu týchto dvoch stavov.

V celej tejto práci opisujem priestorové sluchové vnímanie, tak aj v tomto prípade bude plasticita s tým spojená. Kontextuálnou plasticitou je v tomto prípade označená zmena vo funkcii, alebo štruktúre binaurálneho sluchového systému.

4.1 Sluchová mapa

Na to, aby sa vyvinula presná sluchová mapa, sú potrebné sluchové aj vizuálne vnemy [3]. Miesto, kde sa táto mapa v sluchovej dráhe vytvára, je Colliculus Inferior (pozri kapitolu 3.2.4 – Colliculus inferior), ktorý prijíma signály z ICC. Sluchová mapa sa potom presúva do ďalšej časti lokalizačnej sluchovej dráhy do Colliculus superior, kde dochádza k spojeniu sluchovej mapy s inými sensorickými mapami. V SC vznikajú neuróny, ktoré reagujú na sluchové aj vizuálne signály a ich mapy sú zarovnané – nastáva multimodálna reprezentácia priestoru na neurálnej úrovni [15].



Obr.11 Multimodálne vnímanie priestoru znázorňujúce závislosť jednotlivých modalít a neuroanatomických oblastí, ktoré ich spracúvajú [16]

Vnímanie priestoru multimodálne nám umožňuje vnímať súčasne viacero podnetov, ako napríklad podnety dotykové, vizuálne a sluchové. V oblasti multisenzorickej integrácie neuróny bimodálne reagujú na sluchové aj vizuálne podnety. Oblasť laterálneho intraparietálneho kortexu reprezentuje prepojenie medzi vizuálnym a sluchovým systémom. Sluchová priestorová informácia je v súradnicovej sústave definovanej stredom hlavy a polohou uší, zatiaľ čo vizuálna je v súradnicovom systéme definovanej stredom oka a smerom pohľadu. Tieto dva reprezentácie sa musia zjednotiť, aby bola výsledná reprezentácia priestoru konzistentná. Výsledky výskumov ukazujú, že sluchové podnety sú prekódované do súradnicovej sústavy definovanej stredom oka[16]. V mozgu je tomu vizuálna mapa dominantná nad sluchovou. V praxi to znamená, že vnímaná poloha sa prispôsobuje tomu, čo nám hovorí vizuálna mapa, a nie tomu, čo hovorí sluchová.

Plasticita je predmetom mnohých štúdií v zdravotníctve, či neurovede, či už za účelom získavania nových poznatkov, alebo za účelom chorôb spojených so sluchovým systémom. Pre jej detailnejšie skúmanie ju musíme vyvolať. Ako som už spomínal, plasticita sa najčastejšie pozoruje na zvieratách, a najviac poznatkov zo štúdií plasticity je na soviach. Lokalizačná dráha je u sovy iná ako u človeka, no pomáha nám aspoň pochopiť plasticitu u človeka. Priestorový sluch sovy sa kalibruje zrakom, to znamená, zrakovým zmenám sa prispôsobuje sluch[3].

Základná metóda štúdia inštruovaného učenia u sovy spočíva v snahe posunúť jej vizuálne pole, nasadením okuliarov, a sledovania smeru natáčania hlavy za zvukovými podnetmi. Normálne, neučené sovy majú mapu len jednu, normálnu. Sovy vychované s okuliarmi majú tieto mapy už dve, paralelné – normálnu aj posunutú. Dôležitú úlohu v tomto prípade zohrávajú receptory. Excitačné receptory slúžia na zachovanie normálnej mapy a potlačenie naučenej mapy, alebo naopak. Pri zablokovaní inhibičných receptorov sa sova okamžite vráti k používaniu pôvodnej mapy[3].

Existujú aj ďalšie možnosti vyvolávania plasticity. Plasticitu môžeme vyvolať zmenou polohy zdroja zvuku v priestore, a tým zmenou ITD či ILD [11].

Túto zmenu môžeme vyvolať prekrytím jedného ucha, čo zmení zmenu hlasitosti v jednom uchu. Ovplyvniť vnímanie môže aj vystavenie objektu dlhodobému konštantnému zvuku, pri ktorom sa zmení poloha zdroja zvuku smerom od adaptoru[11]. Prehrávaním z dvoch reproduktorov v uzavretej miestnosti s oneskorením druhého prehrávaného zvuku ako prvého sa skúma zmena plasticity vplyvom

precedence efektom. V “precedence effect” zvuk prichádzajúci krátko po predošlom zvuku ma malý vplyv na vnímanú pozíciu, až do bodu, v ktorom poslucháči ťažko detekujú zmeny v druhom zvuku[17].

Ďalšou možnosťou vyvolania plasticity je zmena akustického prostredia, či už pri prechode z hlučnejšieho do tichšieho prostredia, alebo naopak, alebo pri prechode z otvoreného priestranstva do priestranstva uzatvoreného, v ktorom sa už zvuk dokáže odrážať od rôznych prekážok, čo nám sťažuje správne a jednoducho lokalizovať zdroj zvuku.

5 Experimentálna časť

Môj experiment nadväzuje na prácu kolektívu N. Kopčo, V. Best, and BG. Shinn-Cunningham s názvom Sound localization with a preceding distractor a ich experiment[17], v ktorom vysvetľujú, ako rušivý signál prichádzajúci zo známej lokácie ovplyvňuje lokalizáciu nasledujúceho zvuku. Ich cieľom bolo charakterizovať dlho-trvajúce priestorové interakcie medzi po sebe idúcimi zdrojmi zvukov a faktormi ovplyvňujúcimi tieto interakcie. Experimentmi skúmali, ako vnímaný laterálny uhol single-klik targetu je ovplyvnený identickým podnetom prezentovaný pred cieľovým zvukom z odlišnej azimutu. Časový úsek medzi podnetom a cieľovým zvukom, označovaným ako SOA („stimulus onset asynchrony“) je od 25ms do 400ms.

Predošlé štúdie toho ako súbežný rušivý podnet ovplyvňuje lokalizáciu targetu ukazujú, že vnímaná pozícia zvuku môže byť buď „príťahovaná ku“ alebo „odpuďzovaná preč od“ pozícii zdroja podnetu.

Po analýze získaných výsledkom dospeli k týmto záverom:

1. lokalizácia zvuku je dynamický proces, ktorý závisí aj od kontextu aj od úrovne odrazov v prostredí
2. interakcie medzi nasledovnými zdrojmi zvuku sa vyskytujú v časovej mierke od stoviek milisekúnd až po minúty.
3. vnímané pozície targetov na stredových uhloch sú posunuté ku distraktoru, efekt mizne so zvyšujúcim sa SOA.
4. prítomnosť distraktora spôsobila, že odpovede pre target klik boli ukazované preč od pozície distraktora v danom kole, dokonca aj v trialoch so žiadnym distraktorom.
5. Kontextuálny posun nastane ako v trialoch s distraktorom, tak bez neho, spôsobujúci posun vo vnímanej pozícii targetu vo frontálno-distraktorovom rúne porovnaným s laterálno-distraktorovými rúnmí. Tento posun je konzistentne mimo pozície distraktora v kole a vybuduje sa v priebehu pár minút. Kontextuálny posun môže byť spôsobený buď bottom-up alebo top-down faktormi.

5.1 Motivácia experimentu

V tejto práci som sa zaoberal štúdiom vplyvu rušivých signálov na priestorové sluchové vnímanie človeka. V doterajších štúdiách kontextuálnej plasticity sa skúmalo, či lokalizácia target kliku bola ovplyvnená prítomnosťou predchádzajúceho kliku v niekoľkých odlišných spôsoboch v závislosti aj od časových rozdielov. Výsledky môjho experimentu by mali priniesť vysvetlenie, ako sa zvuková mapa v mozgu človeka vplyvom týchto rušivých kontextov mení. Mojou úlohou bolo pozorovať túto zmenu z dvoch alternatív:

1. Priestorový posun - distraktor vplyvom kontextuálnej plasticity vplýva na zvukovú mapu tak, že ju celú posúva.
2. Priestorová expanzia - vplyvom zmeny polohy distraktora vzhľadom k subjektu a jeho striedaniu z frontálnej na laterálnu pozíciu a naopak nastáva rozťahovanie zvukovej mapy a jej rozpínanie.

Pri vyvolávaní kontextuálnej plasticity nastával vždy posun smerom od distraktora. Posun nastal len pri vyvolávaní plasticity naľavo, alebo napravo od distraktora. V prípade vyvolávania plasticity po ľavej, aj pravej strane distraktora, môže nastať posun oboma smermi od distraktora, čiže priestor, v ktorom vyvoláme plasticitu sa bude zväčšovať, nastane jeho expanzia.

V navrhovanom experimente sa bude testovať, ako rušivý kontext prehrávaný pred meraním ovplyvňuje sluchovú priestorovú mapu s cieľom preskúmať priestorovú charakteristiku kontextuálnej plasticity. To dosiahneme testovaním plasticity pozorovanej v sluchových scénach s rôznymi priestorovými rozloženiami distraktora a stimulov.

5.1.1 Hypotézy

V predchádzajúcom experimente sa zistilo, že kontextuálna plasticita závisí od polohy distraktora. Keďže pri doterajších experimentoch[17] sa plasticita prejavovala v smere od distraktora, čiže do strán, to evokuje predpoklad, že sluchová mapa sa pravdepodobne rozťahuje. Tieto výsledky však boli získané pri polohe distraktora buď vľavo, alebo vpravo, nikdy nie v rámci jedného kola naraz, to znamená, že distraktor bol stále na kraji. Tým však môžeme povedať, že mapa sa len posunula, nie rozťahla.

Preto distraktor umiestním tak, aby testovacie zvuky zneli v rámci jedného kola z oboch strán, čiže distraktor bude v strede štvrt' kruhu, pričom jeho poloha voči subjektu bude frontálna, priamo pred subjektom, alebo laterálna. Vyvodzujeme nasledujúce hypotézy:

1. Prvá testovaná hypotéza hovorí, že frontálny distraktor narozdiel od laterálneho vyvoláva Kontextuálny posun, pretože mediálna rovina, v ktorej sú interaurálne rozdiely nulové, je špecifická v tom, že sa používa ako základ, ktorý subjekty použijú na lokalizáciu zvukov v ľavo-pravej dimenzii.
2. Druhá hypotéza hovorí, že kontextuálna plasticita vyvolaná frontálnym distraktorom je postrannou expanziou vnímaného priestoru smerom od stredovej roviny, nie iba jednoduchým posunom vo vnemovej rovine.
3. Tretia hypotéza je o vnímanej polohe distraktora, nie cieľa. Predpokladáme, že pri frontálnom distraktore sa jeho vnímaná poloha neposúva, naopak, pri laterálnom distraktore sa vnímaná poloha posúva do strán.

Všetky hypotézy budú testované v podobných experimentálnych podmienkach ako v predošlej štúdií[17]. Jedinou úpravou bude, že miesto polohy distraktora z frontálnej pozície bude distraktor voči subjektu aj laterálnej polohe pod uhlom 90° v oboch stranách. Pri týchto symetrických podmienkach je očakávané, že bude pozorovaný Kontextuálny posun spôsobený distraktorom.

5.2 Experimentálna procedúra

V tejto kapitole detailnejšie popíšem celý experiment, jeho organizáciu a samotný proces merania. Program pre tento experiment som vytvoril vo vývojovom prostredí MATLAB.

5.2.1 Popis experimentu

Na experimente sa zúčastnilo 7 ľudí (všetko mužského pohlavia vo veku 22-24 rokov) so zdravým sluchom potvrdzujúci audiometrovým testom.

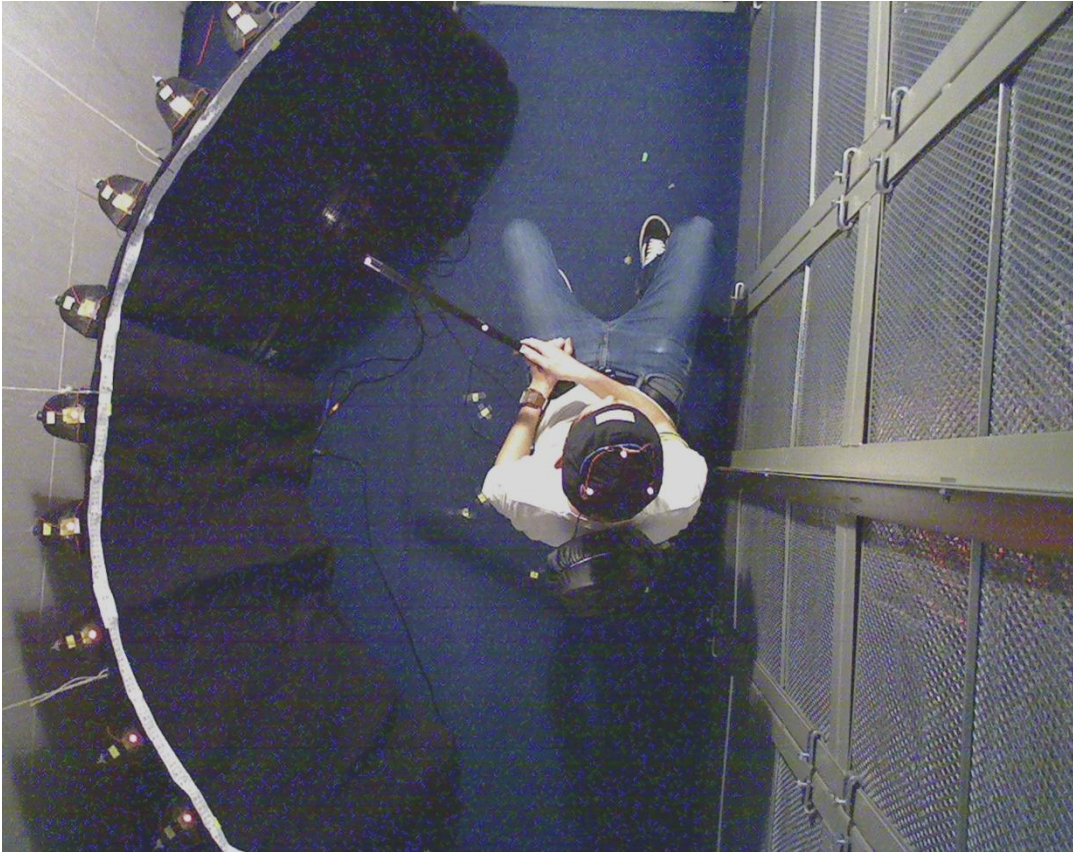
Distraktor aj meranie pozostávali z jedného kliku, vygenerovaného šumu s trvaním 2ms, s rovnakou a stálou úrovňou hlasitosti. SOA bola na rozdiel od východného experimentu[17] nastavená počas celého experimentu na jednotnú hladinu 25ms.

Experiment bol vykonávaný v prázdnej, tichej, odzvučnenej miestnosti s rozmermi 3,9 x 3,9 x 1,9m(d x v x š [m]).

Na zistenie polohy hlavy mal subjekt na hlave nasadenú čapicu s tromi červenými LED diódami, ktoré znázorňujú smer otočenia hlavy subjektu. Poslucháč určoval vnímaný smer zdroja zvuku pomocou ukazovadla. Nami vytvorené ukazovadlo, na ktorom boli taktiež pre zaznamenávanie jeho smeru dve LED diódy, je tlačidlom napojené na experimentálny počítač, v ktorom sa zaznamenávali postupne získané dáta. Poslucháč sedí na stoličke umiestnenej v strede mysleného štvrtého kruhu, ktorý tvoria reproduktory. Štvrtý kruh má na dĺžku priemer 1,2m a pozostáva z deviatich reproduktorov vzdialených od seba pod uhlom 11,25° od stredu mysleného kruhu. Reproduktory boli vo výške 1,5m fixované na podstavcoch, približne vo výške uší pre objekt sediacu na stoličke. Každý reproduktor mal na sebe upevnenú taktiež LED diódu. Každým stlačením tlačidla na ukazovadle sa uložil smer ukazovadla (body všetkých 14 LED diód v miestnosti) do experimentálneho počítača pomocou kamery umiestnenej nad stredom hlavy na strope miestnosti. V miestnosti sa nachádzal ešte jeden dodatočný reproduktor, používaný na prehrávanie inštrukcií počas experimentu.

Zhrnutie pomôcok potrebných pre celý experiment:

- Odhlučnená miestnosť so stoličkou a upevnenou kamerou
- Experimentálny počítač so zvukovou kartou Fireface 400 a prepínacím relé
- Zvukový zosilňovač typu Crown D-75A
- Desiat'(deväť experimentálnych a jeden inštruktážny) profesionálnych reproduktor značky Jameson
- Experimentálna čapica a ukazovadlo

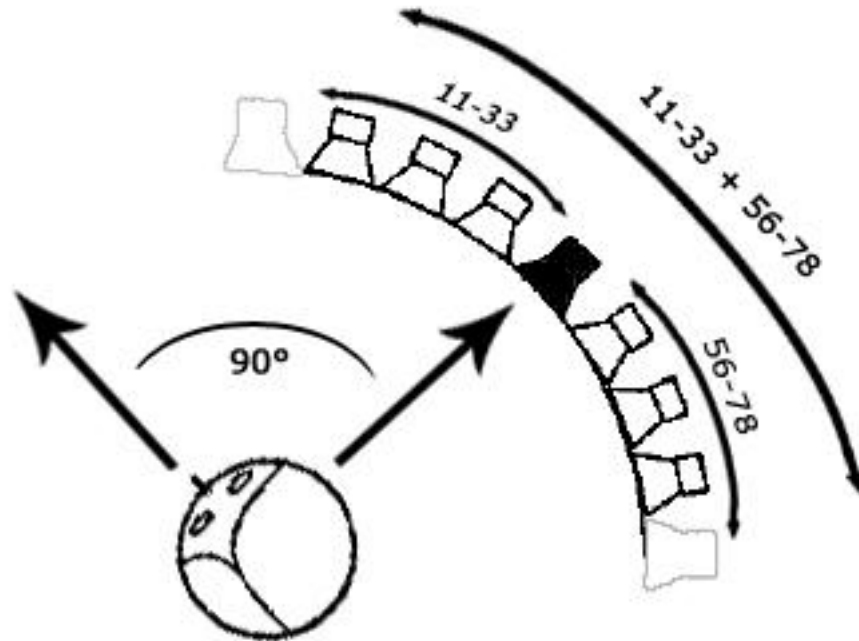


Obr. 12 Experimentálna odhlučnená miestnosť pri pohľade zhora snímaná kamerou umiestnenou presne nad stredom hlavy subjektu.

Pri východnom experimente [17] bol pre poslucháča distraktor frontálny, to znamená, že bol otočený k nemu čelom, poloha distraktora bola voči poslucháčovi 0° . Keďže sa poslucháč každé kolo otáčal striedavo frontálne k distraktoru, jedno kolo k ľavému, nasledujúce kolo k pravému reproduktoru, aj poloha distraktora sa tým menila. Pri otočení subjektu vľavo, bol distraktor priamo pred ním, čiže ľavý reproduktor, v nasledujúcom kole bol otočený smerom k pravému reproduktoru, ktorý bol zároveň aj distraktorom. Merania, ktoré poslucháč pomocou ukazovadla zaznamenával, boli potom prezentované z ostatných, stredných siedmych reproduktorov, pričom pri celom experimente bol distraktor umiestnený v strede mysleného štvrtkruhu, z ľavej aj pravej strany boli po tri reproduktory určené na prehrávanie cieľových zvukov. Distraktorové reproduktory z východnej štúdie [17], t.j. úplne ľavý a úplne pravý reproduktor, som vo svojom experimente nepoužíval.

Na nasledujúcom obrázku je znázornené otočenie subjektu vzhľadom k experimentálnym reproduktorom. Distraktorový reproduktor je v strede, znázornený čiernou farbou. Po jeho ľavej strane pri pohľade zhora sú reproduktory číslo 1, 2, 3.

Popis pri týchto reproduktoroch 11-33 je určenie azimutu v stupňoch. Na pravo od distraktorového stredného reproduktora sú tri reproduktory na prehrávanie cieľových distraktorových zvukov s azimutom 56-78 stupňov.



Obr.13 Smer otočenia hlavy subjektu a umiestnenie reproduktorov v miestnosti pri pohľade zhora

Každý experiment pozostával zo štyroch sedení. Časová dĺžka jedného sedenia bola asi 80-90 minút. Celý experiment pozostával zo štyroch rôznych typov kôl, pre každý typ kola boli tri rôzne otočenie subjektu:

- A. Kolo s frontálnym distraktorom, to znamená otočenie subjektu čelom k strednému, distraktorovému reproduktoru.
- B. Kolo s laterálnym distraktorom, to znamená otočenie subjektu od stredného distraktora pod uhlom 90° , čiže otočenie mimo štvrtkruhu.
- C. Kolo s laterálnym distraktorom, to znamená otočenie subjektu od stredného distraktora pod uhlom -90° , čiže otočenie mimo štvrtkruhu na opačnú stranu ako v type kola č. 2

Spolu tak bolo v celom experimente 12 rôznych typov kôl.

- A. Otočenie subjektu k distraktoru pod uhlom 0°

1. Nedistraktorové kolo, to znamená kolá bez prehrávania distraktora zo stredného reproduktora, a prehrávanie trialov zo všetkých siedmych reproduktorov
 2. Distraktorové kolo s prehrávaním trialov z reproduktorov naľavo od distraktora, t.j reproduktor č. 2, 3, 4 (vid' obr. 13)
 3. Distraktorové kolo s prehrávaním trialov z reproduktorov napravo od distraktora, t.j reproduktor č. 6, 7, 8.
 4. Distraktorové kolo s prehrávaním trialov z reproduktorov naľavo aj napravo od distraktora, t.j reproduktor č. 2, 3, 4, 6, 7, 8.
- B. Otočenie subjektu od distraktora pod uhlom 90° , rozpis kôl je totožný s rozpisom kôl typu A, t.j. pre otočenie subjektu k distraktoru pod uhlom 0° , mení sa len otočenie subjektu.
- C. Otočenie subjektu od distraktora pod uhlom -90° , rozpis kôl je totožný s rozpisom kôl typu A, t.j. pre otočenie subjektu k distraktoru pod uhlom 0° , mení sa len otočenie subjektu.

Sedenie č.1 a č.3 obsahuje po osem kôl zo skupiny kôl typu A a B, náhodne zamiešaných pre každý subjekt so striedavým frontálnym a laterálnym otočením.

Sedenie č.2 a č.4 obsahuje po osem kôl zo skupiny kôl typu A a C, náhodne zamiešaných pre každý subjekt so striedavým frontálnym a laterálnym otočením.

Každé kolo má 259 meraní v nasledovnom rozdelení:

1. Úvodných 14 meraní = 7 (sub-kolo – pozícia každého reproduktora s prehrávaním cieľového zvuku) x 2 (opakovania)
2. Plasticitu sme vyvolávali strednými 224 meraniami, ktoré boli v pomere 75% distraktorových a 25 % nedistraktorových meraní náhodne premiešaných. Distraktorový resp. nedistraktorový cieľový zvuk je náhodne vyvolaný šum pomocou MATLABu s trvaním 2ms. Pri použití SOA 25ms je rozdiel medzi distraktorom a trialom 23ms (SOA 25ms – trvanie kliku 2ms = 23 ms).
3. Koncových 21 meraní = sub-kolo x 3 (opakovania)

Úvodnými resp. koncovými meraniami v každom kole sme rušili kontextuálnu plasticitu z predchádzajúceho kola.

Po každej odpovedi poslucháča nastáva konštantná pauza 0,5s pred ďalším prezentovaním nasledujúceho trialu. Subjekt pri odpovedi nie je časovo ohraničený, dĺžka odpovede tým aj dĺžka kola je v jeho závislosti. V priemere jeden trial trval 2-3 s a kolo trvalo 9-12 minút.

Pred každým sedením a pred každým kolom si subjekt vypočuje inštrukcie, v ktorých sa dozvie poradie aktuálneho kola z celkového počtu kôl, smer otočenia v nasledujúcom kole, ako aj informáciu, v ktorej časti štvrt' kruhu budú prehrávané trialy. V celom experimente má subjekt zatvorené oči, a v každom kole by mal zostať v rovnakej nemeniacej polohe.

5.3 Analýza zozbieraných dát

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

Na analýzu som použil všetky zozbierané dáta v experimente získaných kamerou umiestnenou nad hlavou subjektu, ktorá zachytávala 14 bodov znázorňujúcich rozmiestnenie LED diód v experimentálnej miestnosti.

Všetky výsledky boli uložené do matice s rozmermi 8288 (počet všetkých meraní v experimente) * 9 (informácia o každom meraní – typ sedenia, typ merania, typ kola – s distraktorom alebo bez neho, pozícia cieľového zvuku, odpoveď subjektu). Na základe tejto matice sa vypočítal posun – odklon v stupňoch medzi pozíciou cieľového zvuku a odpoveďou subjektu.

Jedno kolo pozostávalo z 259 meraní. Pre lepšiu prácu so zozbieranými dátami som si pre analýzu každé kolo rozdelil na sub-kolá. Jedno sub-kolo je pozícia každého reproduktora s prehraným cieľovým zvukom. Po tomto rozdelení každé kolo vyzeralo nasledovne:

1. Pred-adaptačná časť – 2 sub-kolá (14 úvodným nedistraktorových meraní)
2. Adaptačná časť - 32 sub-kôl (224 stredným meraní)
3. Po-adaptačná časť - 3 sub-kolá (24 koncových nedistraktorových meraní)

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

- 8 sub-kôl nedistraktoorvých meraní
- 24 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 13 sub-kôl (2 pred-adaptačné + 8 adaptačné + 3 po-adaptačné merania), pre distraktorové merania 29 sub-kôl (2+ 24+ 3).

Základné, a pre výsledok tejto práce najdôležitejšie sú grafy, v ktorých porovnávam výsledky všetkých subjektov, no pre lepší prehľad a porovnanie znázorňujem aj vybrané grafy z analýzy jednotlivých subjektov.

5.3.1 Analýza jedného subjektu

Analýzy pre jeden subjekt, rovnako ako aj analýzy pre všetky subjekty sú delené:

- na grafy, v ktorých sú vykreslené nedistraktorové merania v ditraktorových aj nedistraktorových typoch kôl. Plasticitu vykresľujem v grafoch pre výsek sub-kôl 3-10, to znamená výsek sub-kôl, v ktorých vyvolávam plasticitu – pre adatačnú časť.
- na grafy, v ktorých sú vykreslené distraktorové merania z distraktorových kôl. V tomto prípade beriem do úvahy výsek 1-28.

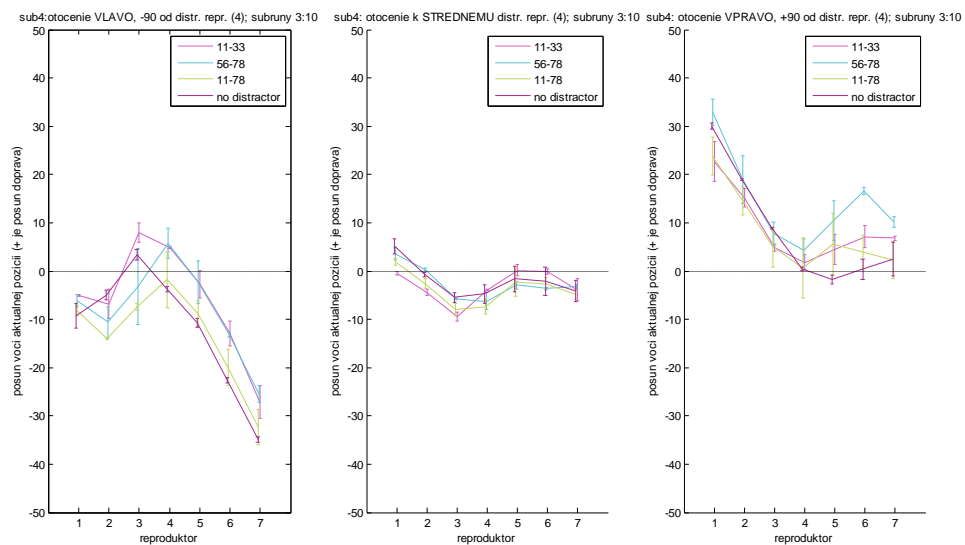
5.3.1.1 Analýza jedného subjektu – nedistraktorové merania

V celom experimente sa striedali tri rôzne otočenia – frontálne otočenie, čiže otočenie k strednému, distraktorovému reproduktoru, a laterálne otočenie, čiže otočenie, pri ktorom bola mediálna rovina subjektu a distraktorový reproduktor pod uhlom 90° po oboch stranách.

V nasledujúcom grafe sú znázornené práve tieto tri typy otočenia pre všetky typy kola –

- pre prehrávanie cieľových nedistraktorových meraní v distraktorových kolách s prehrávaním cieľových zvukov z reproduktorov 1, 2, 3 – v grafe označené ako 11-33

- pre prehrávanie cieľových nedistraktorových meraní v distraktorových kolách s prehrávaním cieľových zvukov z reproduktorov 5, 6, 7 – v grafe označené ako 56-78
- pre prehrávanie cieľových nedistraktorových meraní v distraktorových kolách s prehrávaním cieľových zvukov z reproduktorov 1, 2, 3, 5, 6, 7 – v grafe označené ako 11-78
- pre nedistraktorové merania



Obr. 14 Graf znázorňujúci všetky typy otočenia pre všetky typy kôl

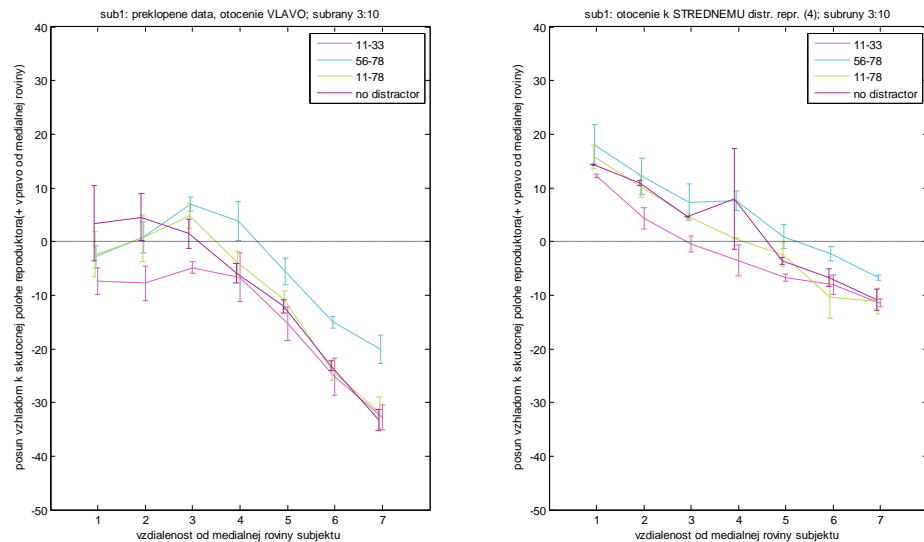
V grafe (Obr. 14) je vykreslený posun vzhľadom k skutočnej polohe reproduktora. Tento posun je znázornený na osi Y v stupňoch, na osi X je znázornené číslo reproduktora. Pre znázornené krivky nad X-ovou osou 0 nastáva posun doprava v myslenom štvrtkruhu reproduktorov, pre záporné hodnoty nastáva posun vľavo.

Ľavý podgraf je pre otočenie vľavo, stredný podgraf pre frontálne otočenie, pravý podgraf je opäť pre laterálne otočenie, vpravo.

Ako vidíme, pre všetky typy kola pri všetkých otočeniach bol posun približne rovnaký. Najmenší posun pre otočenie nastal pri frontálnom otočení, pri typoch kola je najmenšie posunutie pri prehrávaní nedistraktorových cieľových zvukov z reproduktora číslo 4, distraktorového, a reproduktorov po jeho stranách.

Pri otočení vľavo je prehrávanie cieľových zvukov z reproduktorov umiestnených medzi distraktorom a smerom otočenia subjektu symetrické ako pre otočenie vpravo. To znamená, že pri otočení vľavo sú pre nás reproduktory číslo 1, 2, 3 od subjektu v rovnakej vzdialenosti ako pri otočení vpravo reproduktory číslo 8, 7, 6. Z tohto dôvodu, pre jednoduchšie určovanie výsledkov sme mohli všetky dáta pre pravé otočenie preklopiť na ľavé otočenie, a spriemerniť ich hodnoty.

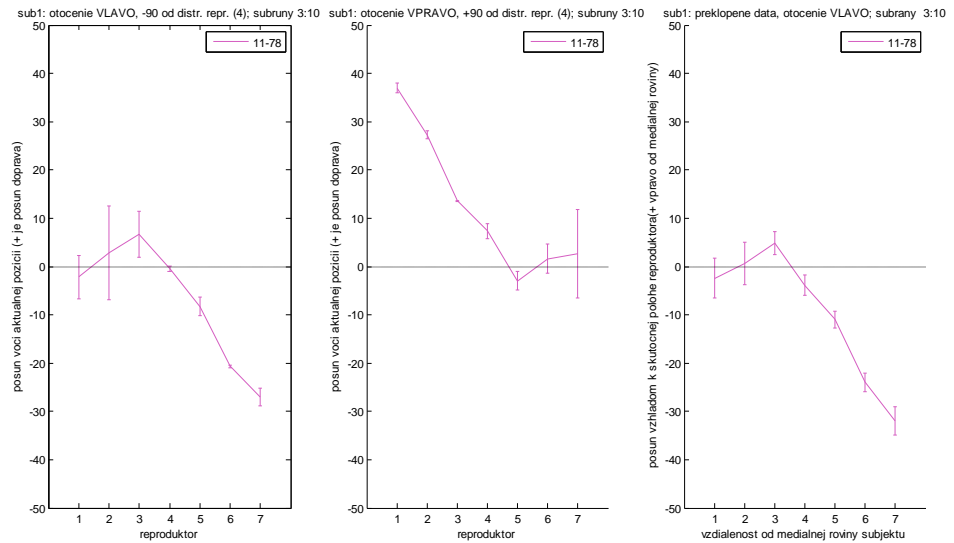
V nasledujúcom grafe sú znázornené preklopené dáta pre otočenie vľavo, a pre porovnanie dáta pre otočenie vpravo.



Obr. 15 Graf znázorňujúci všetky typy otočenia pre všetky typy kôl, preklopené dáta

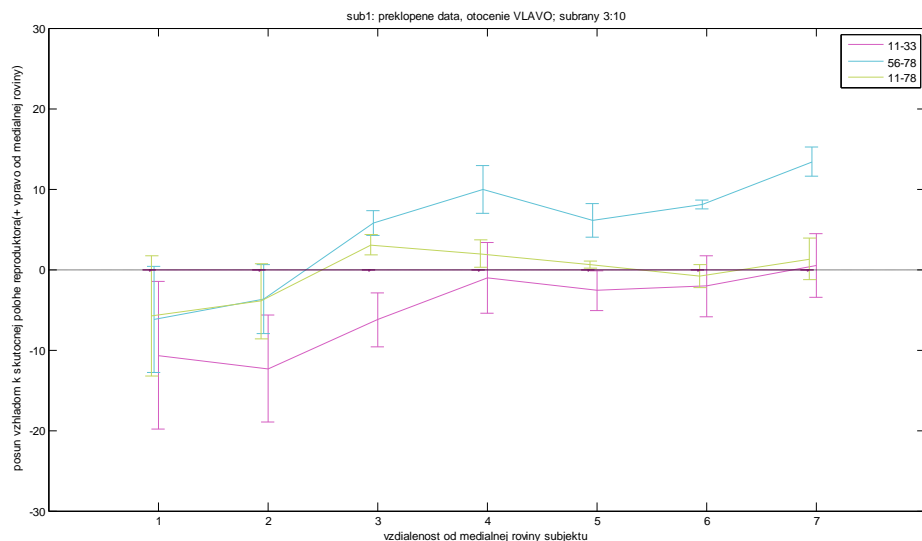
Čiary rovnobežné s osou Y sa nazývajú errorbary, a znázorňujú štandardnú chybu odpovedí cez všetky subjekty.

Pre jednoduchšiu predstavu preklápania pravého otočenia na ľavé na nasledujúcom grafe znázorňujem jeden typ kola pre otočenie vľavo, jeden typ kola pre otočenie vpravo, a preklopenie otočenia vpravo na ľavé otočenie.



Obr. 16 Rovnaký typ kola pre ľavé a pravé otočenie, a preklopenie pravého otočenia na ľavé pre ten istý typ kola.

Všetky doterajšie grafy popisovali posun voči skutočnej polohe reproduktora. V nasledujúcom grafe znázorňujem preklopené dáta a posun voči nedistraktorovému cieľovému meraniu.



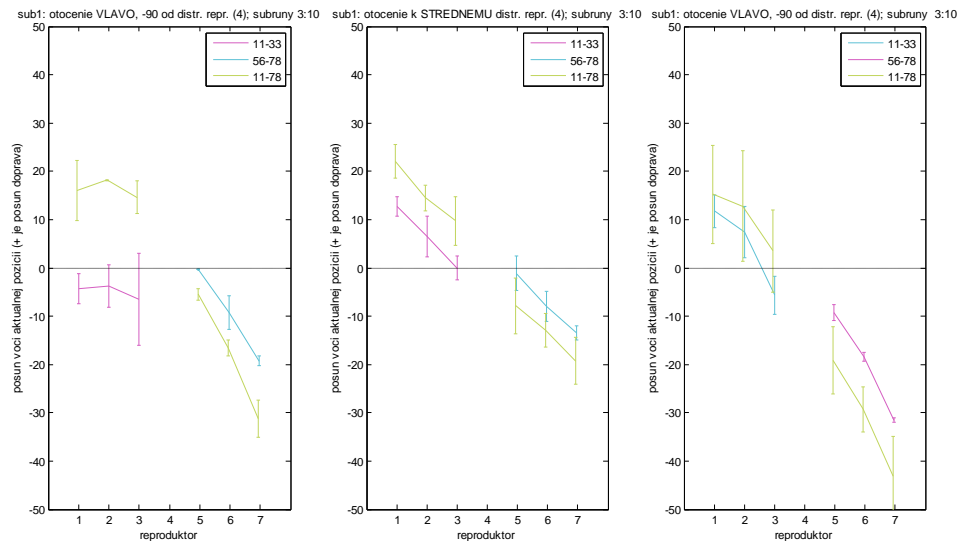
Obr. 17 Preklopené dáta vzhľadom k nedistraktorovému meraniu.

Vidíme, že najmenšie posuny boli zaznamenané z okolia distraktorového repr. (3,4,5), zaujímavý je posun prehrávania nedistraktorových meraní (11-33) pri reproduktore číslo 1, 2, 3, a symetricky (56-78) pri reproduktore číslo 5-7 – v tomto prípade sa javí, že vyvolaná plasticita spôsobuje posun oboma smermi.

5.3.1.2 Analýza jedného subjektu – distraktorové merania

Pri distraktorových meraniach vykresľujem odpovede subjektu na cieľový zvuk v distraktorovom meraní v distraktorových kolách.

Podobne ako pri nedistraktorových meraniach znázorňujem všetky distraktorové kola pre každé otočenie.



Obr. 18 Distraktorové merania pre všetky typy otočenia znázorňujúce posun voči skutočnej polohe.

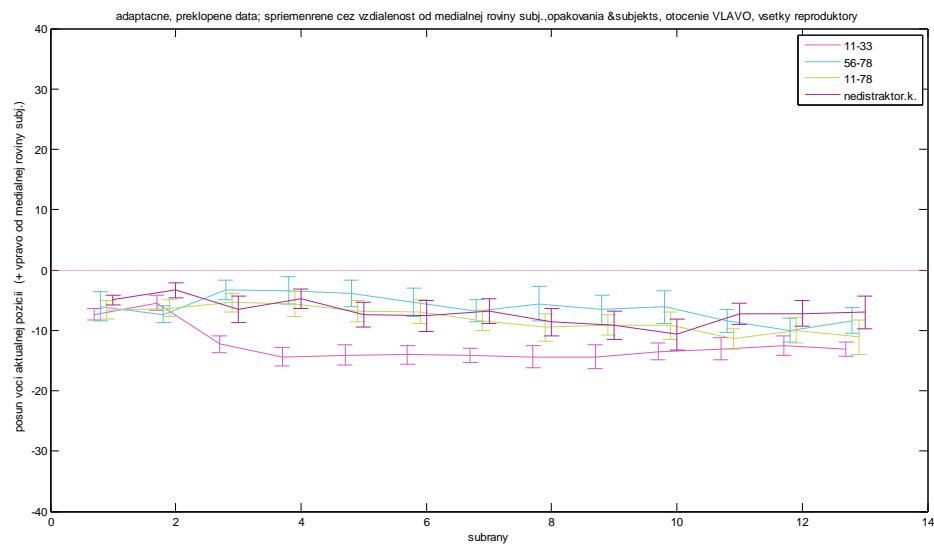
Pri tomto type distraktorových kôl som znázornenie bral vzhľadom k subjektu- pre otočenie vľavo boli jemu najbližšie reproduktory 11-33, najvzdialenejšie 56-78, naopak pri otočení vpravo mu boli najbližšie reproduktory 56-78, najďalej 11-33. Tomu je v podgrafe napravo červená čiara vymenená s fialovou (je to vlastne vzdialenosť reproduktora od bodu, ku ktorému je otočený subjekt).

5.3.2 Analýza všetkých subjektov

Jedinečnosť každého človeka dáva rôzne výsledky pre každý experiment. Preto sa pri získaní výsledkov pre túto prácu budem opierať a výsledné analýzy všetkých subjektov a ich zozbieraných dát. Výsledky sú po spriemernení presnejšie a chybovosť znázornená errorbarmi je menšia.

Nasledujúce grafy sú výsledky siedmich subjektov.

5.3.2.1 Analýza všetkých subjektov – nedistraktorové merania

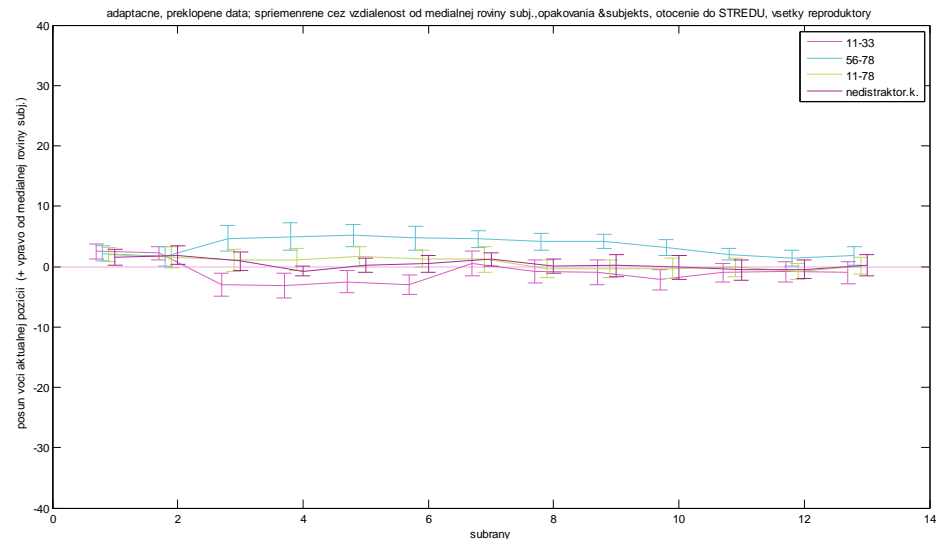


Obr. 19 Preklopené dáta všetkých subjektov pre otočenie vľavo.

V tomto grafe (Obr. 19) znázorňuje na osi Y posun voči skutočnej polohe reproduktora, na osi X sub-kolá. Priemer sa robí cez vzdialenosť od distraktora a opakovania.

Z grafu sa dá vyčítať, že najväčšia posun sa vykonal pre typ kola, v ktorom boli prehrávané cieľové zvuky, ktorým predchádzal distraktor pri prehrávaní z reproduktorov číslo 1, 2, 3. Z tohto grafu je vidieť, že plasticita sa začala prejavovať pri treťom sub-kole a trvala až do skončenia celého kola.

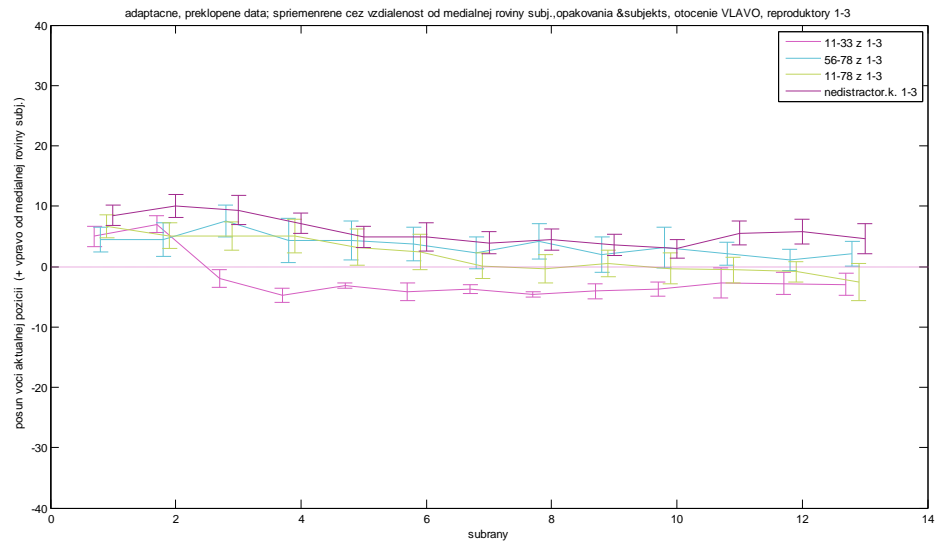
Nasledujúci graf popisuje rovnaké posuny, no pri otočení k strednému, distraktorovému reproduktoru.



Obr. 20 Zozbierané dáta všetkých subjektov pre frontálne otočenie

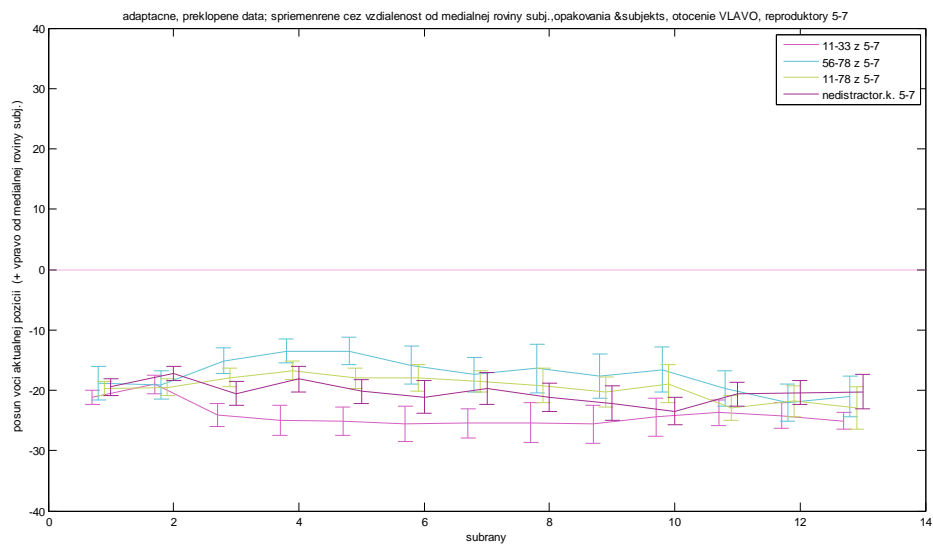
Potvrďuje sa nám vyvolanie plasticity hneď po druhom sub-kole, v ktorom sa začali prehrávať distraktorové merania. Pri otočení do stredu sa síce plasticita vyvolala, no s minimálnym posunom. Zaujímavý je posun distraktorových meraní pri prehrávaní cieľových zvukov z reproduktorov 5-7. Posun nastal od tretieho sub-kola a trval až do konca celého kola, pričom pri prehrávaní distraktorových meraní z reproduktorov 1-3 síce nastal posun rovnako ako pri prehrávaní z reproduktorov 5-7, smerom od distraktora, no tento posun sa približne v polovici kola zminimalizoval.

Pri porovnaní grafov pre ľavé a stredné otočenie vidíme, že efekty sú rozdielne na ľavej a pravej strane, čiže nám nedávajú veľký význam. Každý bod vykreslenej čiary je spriemernenie posunu cez všetky reproduktory 1-7 pre dané sub-kolo. Preto som pre obe otočenia vykreslil grafy v ktorých je spriemernené len prehrávanie nedistraktorových meraní pri distraktorových kolách len z reproduktorov 1-3, a len z reproduktorov 5-7.



Obr. 21 Spriemernenie posunu pre prehrávanie z reproduktorov 1-3, otočenie vľavo, preklopené dáta.

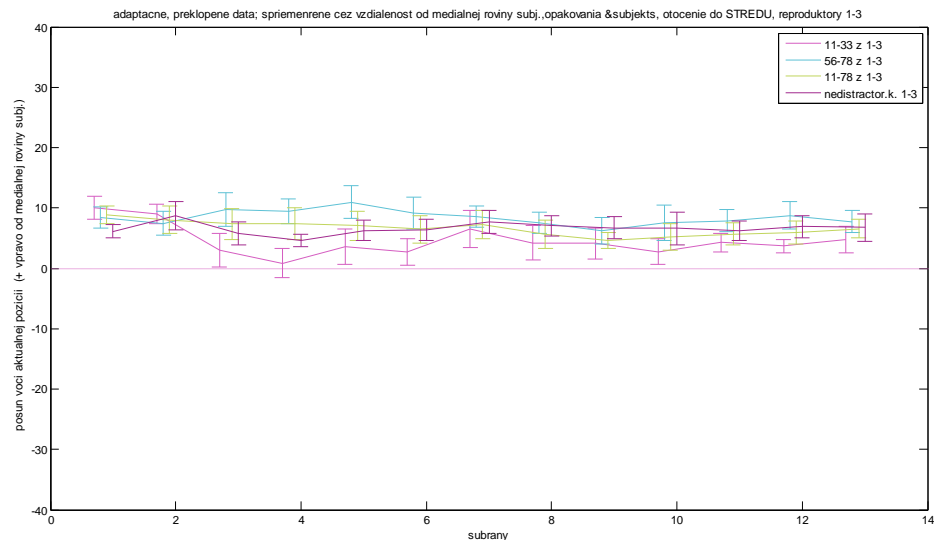
Najväčší posun v porovnaní s nedistraktorovým kolom nastáva pre nedistraktorové merania v distraktorovom kole s prehrávaním z reproduktorov 1-3. Pre typy kôl 5-7 a 1-7 nastáva posun rovnakým smerom, čiže smerom od distraktora k mediálnej rovine subjektu, no s oveľa menšími posunmi.



Obr. 22 Spriemernenie posunu pre prehrávanie z reproduktorov 5-7, otočenie vľavo, preklopené dáta.

V type kola 1-3 pri odpovedaní na nedistraktorové merania nastáva rovnako posun smerom od distraktora k mediálnej rovine. V porovnaní nedistraktorového kola s typmi kôl 5-7 a 1-7 nastáva posun opačným smerom, čiže smerom, z ktorého sa prehrávali cieľové zvuky pri distraktorových meraniach.

To v nás evokuje domnienku, že pri frontálnom otočení kontextuálna plasticita pôsobí na sluchovú mapu v smeroch, odkiaľ sa prehrávali cieľové zvuky. Pri prehrávaní z ľavej časti mysleného štvrtkruhu vľavo, pravej vpravo. Podľa tejto domnienky tak nastáva expanzia.

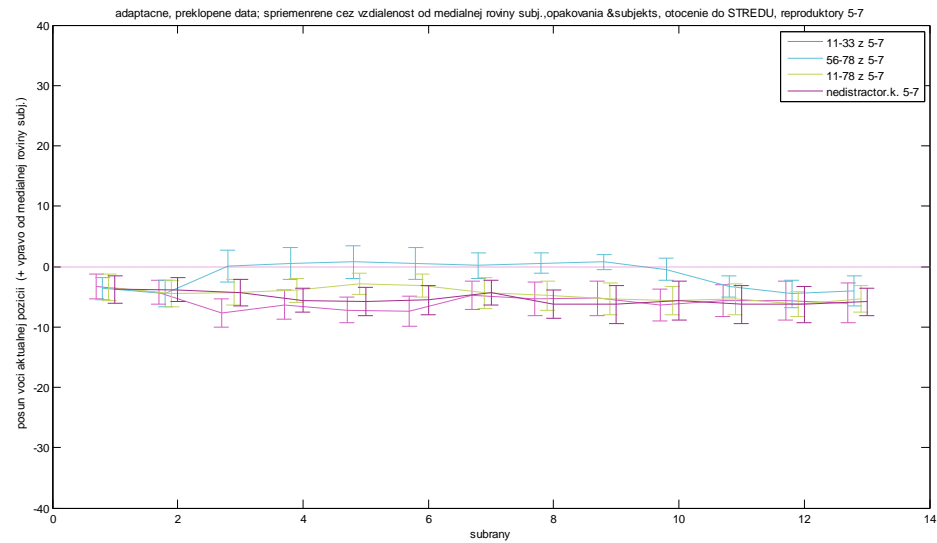


Obr. 23 Spriemernenie posunu pre prehrávanie z reproduktorov 1-3, otočenie do stredu, preklopené dáta.

Pri otočení do stredu, tak ako pri spriemernení reproduktorov (Obr. 20), aj pri prehrávaní cieľových zvukov spriemernených reproduktorov 1-3 nastáva voči nedistraktorovému kolu minimálny posun.

Zreteľnejší je len posun pri spriemernení reproduktorov 5-7, a to práve pri type kola prehrávajúcim cieľové zvuky z pozície reproduktorov 5-7.

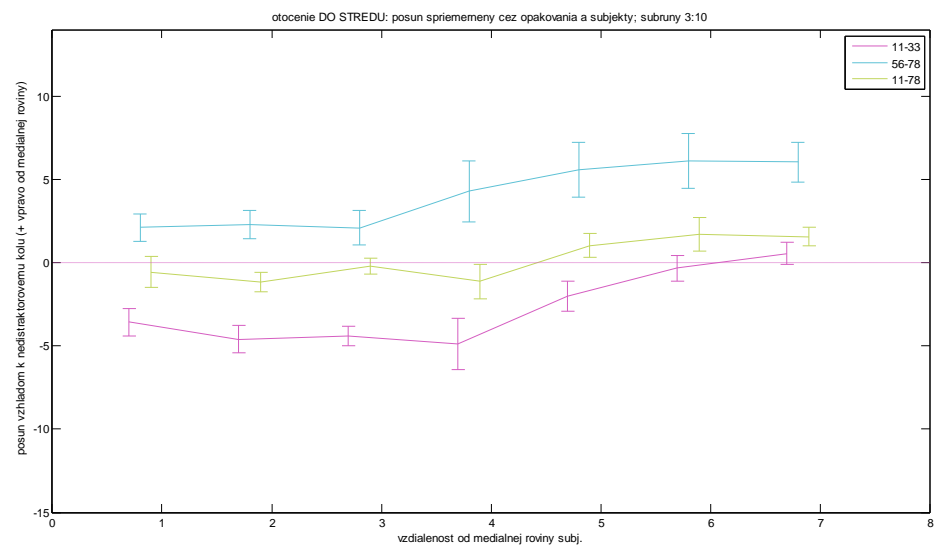
Rozdiely medzi nedistraktorovým kolom a typmi kôl 1-3, resp. 1-7 sú minimálne.



Obr. 24 Spriemernenie posunu pre prehrávanie z reproduktorov 5-7, otočenie do stredú, preklopané dáta.

Z dvoch posledných grafov, spriemernených pre frontálne otočenie, pri prehrávaní nedistraktorových meraní nastáva posun pre všetky typy minimálny. Najviac pre typy kôl, kde sa prehráva aj z reproduktorov 1-3, minimálne pre 5-7.

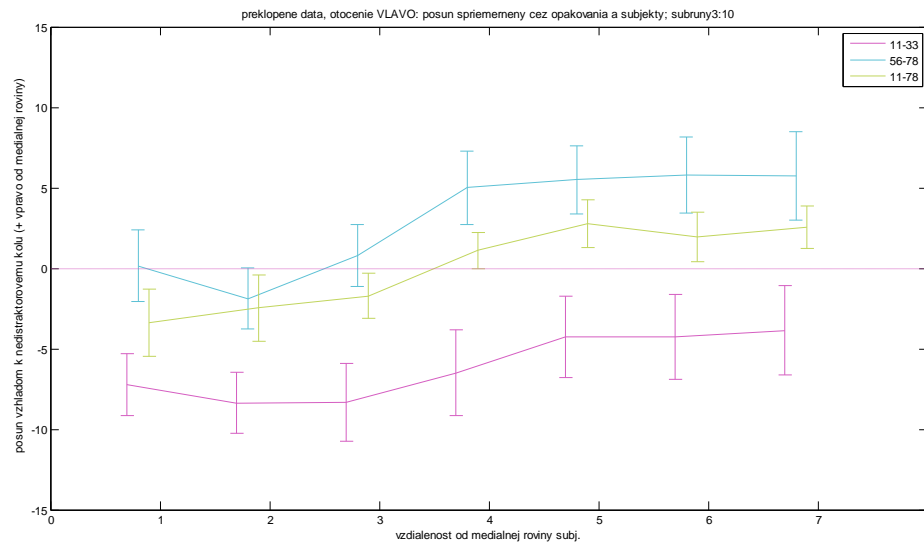
V nasledujúcich grafoch znázorňujem posun vzhľadom k nedistraktorovému kolu. Tento posun je na osi Y, na osi X je vzdialenosť reproduktora od subjektu, posuny sú znázornené cez všetky priemery a subjekty.



Obr. 25 Graf znázorňujúci posun voči nedistraktorovému kolu pri otočení k distraktorovému reproduktoru.

V tomto zobrazení približne rovnaké posuny voči nedistraktorovému kolu. Pri prehrávaní z ľavej časti mysleného štvrtkruhu reproduktorov nastal posun vľavo voči nedistraktorovému kolu, pri prehrávaní pravej časti vidíme posun vpravo. Pri typ kola, pri ktorom sa distraktorové merania prehrávali zo všetkých reproduktorov, je posun voči nedistraktorovému kolu minimálny.

Pre otočenia vľavo a vpravo boli tieto posuny podstatne väčšie, no takmer totožné. Veľmi podobné je aj vykreslenie preklopených dát, preklopenia pravého otočenia na ľavé.



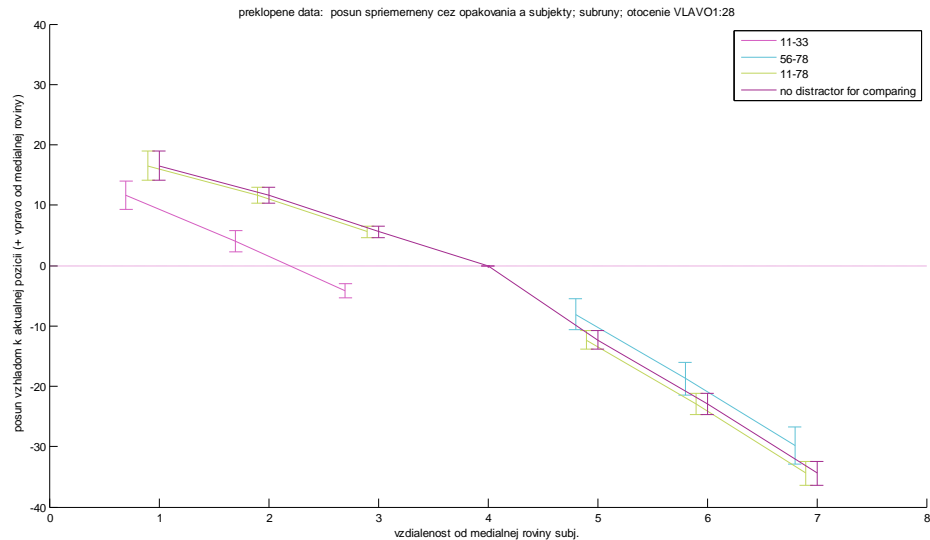
Obr. 26 Graf znázorňujúci posun voči nedistraktorovému kolu pri otočení vľavo, preklopené dáta

Jeden z najdôležitejších grafov, ktorý nám v podstate dáva odpoveď na otázky týkajúce sa posunu alebo expanzie.

Najväčší posun je pri kolách s prehrávaním cieľových zvukov a reproduktorov 1-3, čiže z reproduktorov, ktoré sú k poslucháčovi bližšie. Posun v tomto type kola bol vždy vľavo, aj pri prehrávaní z reproduktorov, ktoré boli za poslucháčom(5-7). Približne rovnaké zmeny posunov boli pre typy kôl 5-7 a 1-7. Pri prehrávaní z ľavej časti štvrtkruhu bol posun smerom k otočeniu, pri prehrávaní z reproduktorov 5-7 bol posun smerom od smeru otočenia vzhľadom voči nedistraktorovému kolu.

5.3.2.2 Analýza všetkých subjektov – distraktorové merania

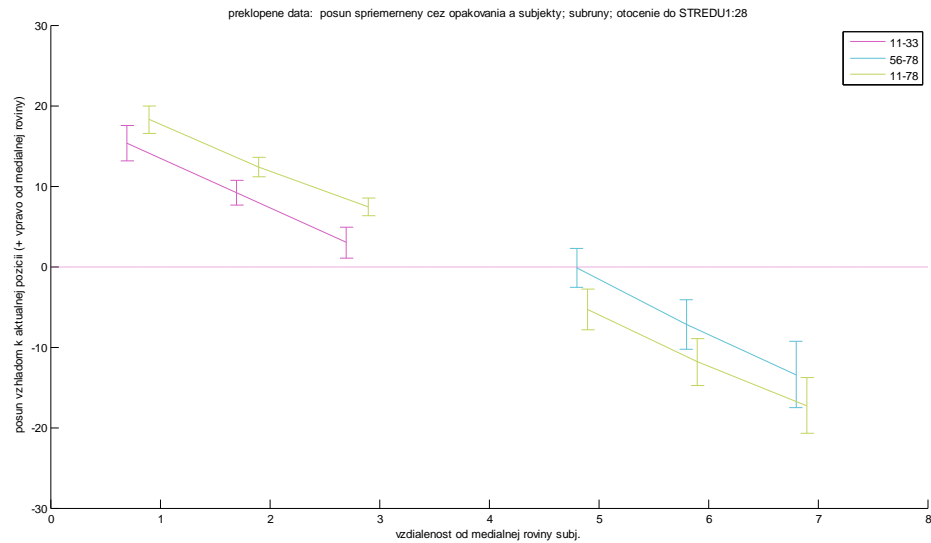
V tejto kapitole znázorňujem grafy s odpoveďami na distraktorové merania pri distraktorových kolách. Vo nasledujúcom grafe udávam aj porovnanie nedistraktorový typ kola.



Obr. 27 Distraktorové merania v distraktorových kolách, preklopené dáta

V tomto grafe tak ako pri nedistraktorových meraniach znázorňujem posuny cez všetky priemery a subjekty vzhľadom k aktuálnej pozícii subjektu (os Y). Na osi X znázorňujem vzdialenosť pozície reproduktora.

Aj v tomto prípade je nedistraktorový typ kola takmer totožný a typom kola 11-78, v ktorom sa distraktorové merania prehrávali zo všetkých reproduktorov. Zaujímavý posun vznikol pri type kola 11-33. Pre otočenie do stredu majú posuny voči sebe približne rovnako veľkosť.

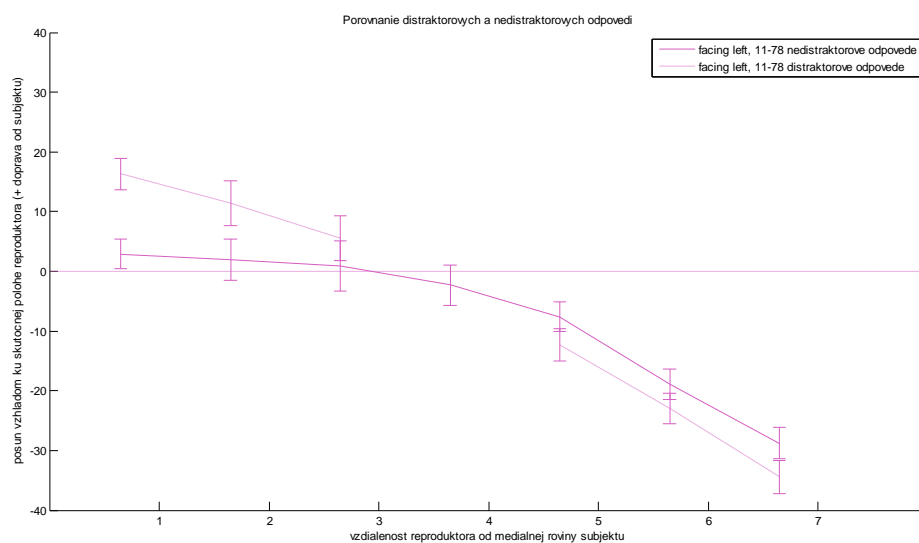


Obr. 28 Distraktorové merania v distraktorových kolách, frontálne otočenie

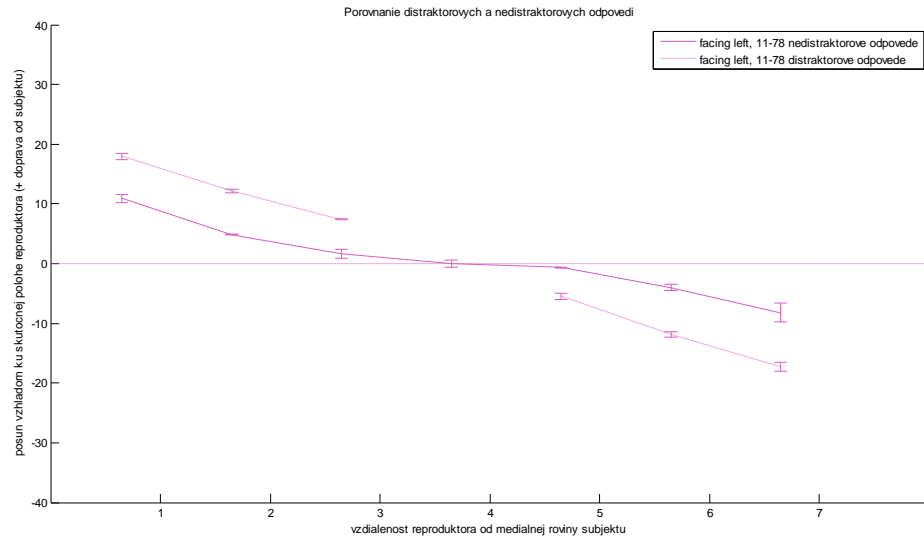
Z grafov vidíme, že odpovede subjektu . Pri prehrávaní z ľavej časti štvrtkruhu mal subjekt ukazovať smerom doľava, z pravej časti smerom doľava, čiže v oboch prípadoch smerom k distraktorovému strednému reproduktoru.

5.3.2.3 Porovnanie distraktorových a nedistraktorových odpovedí

Každý zo štyroch typov kôl už bol znázornený pre každý typ otočenia, alebo pre distraktorové či nedistraktorové odpovede . Pre porovnanie znázorňujem aj vykreslenie distraktorových a nedistraktorových meraní v jednom grafe.



Obr. 29 Nedistraktorové a distraktorové merania pre typ kola 11-78, otočenie VĽAVO



Obr. 30 Nedistraktorové a distraktorové merania pre typ kola 11-78, otočenie do STREDU

Obe znázornené grafy sú pre typ kola 11-78, čiže kola, v ktorom subjekt odpovedal na cieľové zvuky v celom myslenom štvrtkruhu. Pre oba grafy je pri reproduktoroch 1-3 posunutie približne rovnaké, pri nedistraktorových odpovediach vznikala pri otočení vľavo menšia plasticita ako pri otočení k distraktorovému reproduktoru. Taktiež vidíme, ako pri tomto type kola, tak aj pri osttaných, pri distraktorových odpovediach vznikali výraznejšie posuny ako pri odpovediach nedistraktorových.

Pre reproduktory 5-7 je posunutie pri týchto dvoch typoch otočenia rozdielne. Kým pri otočení do stredy je pravá časť štvrtkruhu približne symetrická s ľavou, pri otočení vľavo nastali väčšie posuny. Väčšie posuny boli spôsobené väčšou vzdialenosťou od mediálnej roviny subjektu, pri otočení vľavo bol napríklad reproduktor číslo 7 vo väčšej vzdialenosti ako pri otočení do stredy.

5.3.3 Zhrnutie, analýza hypotéz

Na základe mojich výsledkov som potvrdil závery predošlej štúdie[17] tvrdiace, že lokalizácia zvuku ako dynamický proces je závislá od kontextu. Jednoduchá odpoveď na otázku, ktorou som sa zaoberal v tejto práci neexistuje – odpoveď je určite zložitejšia než jednoduchý posun alebo expanzia.

Hypotézy:

1. Prvá testovaná hypotéza hovorí, že frontálny distraktor narozdiel od laterálneho vyvoláva Kontextuálny posun, pretože mediálna rovina, v ktorej sú interaurálne rozdiely nulové, je špecifická v tom, že sa používa ako základ, ktorý subjekty použijú na lokalizáciu zvukov v ľavo-pravej dimenzii.

Táto hypotéza sa potvrdila. Pri laterálnych otočeniach vznikali kontextuálne posuny do strán. Distraktor bol umiestnený v strede mysleného štvrt'kruhu, odpovede subjektov pri týchto typoch kôl boli zaznamenávané smerom od neho, do oboch strán, čiže sluchová mapa sa rozťahuje, nastáva postranná expanzia vnímaného priestoru.

2. Druhá hypotéza hovorí, že kontextuálna plasticita vyvolaná frontálnym distraktorom je postrannou expanziou vnímaného priestoru smerom od stredovej roviny, nie iba jednoduchým posunom vo vnemovej rovine.

Pri frontálnom distraktore vznikali posuny, no značne menšie ako pri laterálnom distraktore, otočení do strán. Z výsledných grafov pre otočenie k strednému distraktorovému reproduktoru sme zistili opačný posun ako v práci Sound localization with a preceding distractor[17], to znamená, že odpovede boli ukazované smerom k pozícii distraktora.

3. Tretia hypotéza je o vnímanej polohe distraktora, nie cieľa. Predpokladáme, že pri frontálnom distraktore sa jeho vnímaná poloha neposúva, naopak, pri laterálnom distraktore sa vnímaná poloha posúva do strán.

Keďže v mojom experimente subjekty polohu distraktora vôbec neurčovali, túto hypotézu som netestoval.

6 Záver

Cieľom tejto práce bolo objasnenie správania sa sluchovej mapy v centrálnom sluchovom systéme vplyvom kontextuálnej plasticity vyvolanej rušivými vnemami. Tieto rušivé vnemy spôsobujú dynamickú zmenu sluchového systému pri lokalizácii zvukov v priestorovom počutí.

V doterajších štúdiách sa zisťovalo, či, a ak aký vplyv má distraktor na sluchový systém pri kontextuálnej plasticite. Súčasťou tejto práce bolo preštudovanie už známych výsledkov, a následná nadväznosť na ne. Hlavným zdrojom informácií bol výskum tejto oblasti na Bostonskej Univerzite, popísaný v článku *Sound localization with a preceding distractor* [17], a táto práca sa odráža zo zistených výsledkov popísaných v tejto štúdií. Základným poznatkom tejto práce je fakt, že distraktor posúva sluchovú mapu smerom od distraktora. V celom experimente však bol distraktor umiestnený na kraji myšleného štvrt'kruhu, z čoho sme nevedeli usúdiť, či pojem smerom od distraktora znamená posunutie len jedným smerom, alebo expanziou v oboch smeroch. Umiestnili sme tak distraktorový reproduktor do stredu štvrt'kruhu. Aby boli výsledky čo najpresnejšie a dôveryhodné, experiment sa musel vykonať na viacerých dobrovoľných subjektoch. Môjho experimentu sa zúčastnilo 7 dobrovoľníkov.

Zozbierané výsledky som vyhodnotil v analytickej procedúre, znázornil do grafov, z ktorých som vyčítal výsledky pre rôzne typy kôl či otočení. Získanými výsledkami som potvrdil, respektíve z časti vyvrátil dané hypotézy.

Expanzia vplyvom distraktora pri priestorovom počutí vyvolaná kontextuálnou plasticitou vzniká pre všetky typy kola pre otočenia, v ktorom je subjekt voči distraktoru laterálny. Pre distraktor frontálny, vzniká posun – subjekt odpovedal na cieľové zvuky, nastával posun smerom k distraktoru.

Táto práca vysvetlila problematiku možných modelov pri kontextuálnej plasticite pri priestorovom počutí. Presnejšie, alebo ďalšie nové poznatky sa dajú zistiť z ďalšieho skúmania expanzie či posunu plasticity, napríklad aj otestovaním poslednej, tretej hypotézy, ktorej som sa ja v tejto práci nevenoval.

Presnejšie výsledky sa podľa môjho názoru získajú zvýšením SOA. V mojom experimente bola SOA 25ms. Pre SOA 400ms by mal subjekt lepšie rozlíšiť časový rozdiel medzi distraktorom a cieľovým zvukom, a tým získať presnejšie výsledky.

Zoznam použitej literatúry

- [1] WEST, Jim : An analztical and experimental comparsion, chaper 2 Spatial hearing, dostupné na internete: http://www.music.miami.edu/programs/mue/Research/jwest/Chap_2/Chap_2_Spatial_Hearing.html
- [2] GAUTHIER, Phillipe-Aubert: Artificial reproduction of the natural spatial karakter of hearing, dostupné na internete: http://www3.sympatico.ca/philippe_aubert_gauthier/spatial_sound.html
- [3] KOPČO, N., *Výpočtová a kognitívna neuroveda*, prednášky k predmetu, 2008, dostupné na internete: <http://neuron-ai.tuke.sk/~kopco/kui440/>
- [4] 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
- [5] BEAR, M.F., CONNORS, B.W., PARADISO M.A., *Neuroscience: exploring the brain (second edition)*, Lipincott Williams and Wilkins, Baltimore.
- [6] FRANCIS, G. : *Sensory and perceptual processes*, prednášky k predmetu, dostupné na internete: <http://www2.psych.purdue.edu/~gfrancis/Classes/PSY310/>
- [7] HOLAN, P.: Mechanizmy sluchovej pozornosti pri binaurálnej detekcii zvukov. Diplomová práca. Košice: Technická univerzita v Košiciach, Fakulta Elektrotechniky a Informatiky, 2008. 63s.
- [8] TOMORIOVÁ, Jozef.: Priestorová expanzia a posun ako alternatívne modely popisujúce kontextuálnu plasticitu pri priestorovom počúvaní. Diplomová práca. Košice: Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2007. 79 s.
- [9] Peklanský, Jozef: Priestorová expanzia a posun ako alternatívne modely popisujúce kontextuálnu plasticitu pri priestorovom počúvaní. Diplomová práca. Košice: Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2009. 62 s.
- [10] KOPČO, N. – PODOLÍNSKY, M. : Endogénna pozornosť a priestorový sluch, prednáška dostupná na internete: http://cns.bu.edu/~kopco/k/06/kognice06/kopco_podolinsky_kognice06.pdf
- [11] 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.
- [12] DOBEŠ, M.: *Základy neuropsychológie*, Spoločenský ústav Košice, 2005, ISBN 80-967182-X, publikácia dostupná na internete: <http://www.saske.sk/SVU/downloads/publikacie/neuropsychy.pdf>

-
- [13] PARKS N.T. – RUBEL W.E.: Plasticity of the auditory system, Springer, 2004, ISBN 03-872098-67, dostupné na internete: <http://books.google.com/books?id=gB4gCQYcZiMC&printsec=frontcover&hl=sk>
- [14] TREMBLEY, K.L.: Central auditory plasticity, článok dostupný na internete: http://www.audiologyonline.com/theHearingJournal/pdfs/HJ2003_01_pg10.pdf
- [15] BUONOMANO, D. – MERZENICH, M.: Cortical plasticity from synaps to maps, dostupné na internete: http://arjournals.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.neuro.21.1.149?url_ver=Z39.88-003&rfr_id=ori:rid:crossref.org&rfr_dat=cr_pub%3dnncbi.nlm.nih.gov
- [16] ANDOGA, R. – KOPČO, N.: Mozgové štruktúry a mechanizmy riadenia strategickej pozornosti. Publikácia dostupná na internete: http://cns.bu.edu/~kopco/k/07/kuzbook/andoga_kopco_kuzbook2007.pdf
- [17] 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>
- [18] Kulesza, R. J., Jr. (2007). "Cytoarchitecture of the human superior olivary complex: medial and lateral superior olive." Hear Res 225(1-2): 80-90.

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