

TECHNICKÁ UNIVERZITA KOŠICE
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY
Katedra kybernetiky a umelej inteligencie

DIPLOMOVÁ PRÁCA

Vedúci diplomovej práce:
Ing. Norbert Kopčo, PhD.

Diplomant:
Martin Bernát

Konzultant diplomovej práce:
Ing. Norbert Kopčo, PhD.

Košice 2005

TECHNICKÁ UNIVERZITA KOŠICE
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY
Katedra kybernetiky a umelej inteligencie

**Sluchová priestorová pozornosť vyvolaná
sluchovými a zrakovými podnetmi**

**Auditory spatial attention evoked by auditory
and visual cues**

Vedúci diplomovej práce:
Ing. Norbert Kopčo, PhD.

Diplomant:
Martin Bernát

Čestné prehlásenie

Prehlasujem, že som diplomovú prácu vypracoval samostatne s využitím uvedenej odbornej literatúry.

V Košiciach dňa 02.05. 2005

.....
vlastnoručný podpis

Pod'akovanie

Ďakujem Ing. Norovi Kopčovi PhD. za cenné pripomienky a odbornú pomoc pri vypracovaní diplomovej práce, moja vďaka patrí taktiež rodine a priateľom, ktorí sa dobrovoľne zúčastnili na experimentoch.

Názov práce : Sluchová priestorová pozornosť vyvolaná sluchovými a zrakovými podnetmi

Katedra : Katedra kybernetiky a umelej inteligencie, TU FEI Košice

Autor : Martin Bernát

Vedúci DP : Ing. Norbert Kopčo, PhD.

Konzultant DP : Ing. Norbert Kopčo, PhD.

Dátum : 02.05.2005

Kľúčové slová : Lokalizácia zvuku, pozornosť, endogénna pozornosť, exogénna pozornosť, podnet, informatívny podnet, virtuálny sluchový priestor, smerové prenosové funkcie, HRTF, interaurálne časové rozdiely, ITD, interaurálne rozdiely v intenzite, ILD

Anotácia : Cieľom tejto práce je štúdium interakcie medzi ľudskou pozornosťou a priestorovým sluchovým vnímaním. V úvode práca podáva základné informácie o pozornosti a predošlých štúdiách interakcie s priestorovým sluchovým vnímaním. Jadrom je experiment zameraný na lokalizáciu zvuku vo virtuálnom prostredí. V záverečnej časti je analýza nameraných dát a zhodnotenie výsledkov experimentu.

Thesis title : Auditory attention evoked by auditory and visual cues

Department : Department of Cybernetics and Artificial Intelligence, TU
FEI Košice

Author : Martin Bernát

Supervisor : Ing. Norbert Kopčo, PhD.

Tutor : Ing. Norbert Kopčo, PhD..

Date : 02.05.2005

Keywords : sound localization, attention, endogenous attention,
exogenous attention, cue, informative cue, virtual auditory
space, head-related transfer function, interaural time
difference, interaural level difference

Annotation : The main goal of this thesis is to study the interaction
between human attention and spatial auditory perception.
First, the introduction to human attention is given and
related prior studies are discussed. An experiment studying
the influence of auditory attention on sound localization
constitutes the main part of this thesis. Finally, the results of
the experiment are analyzed and discussed.

Obsah

1	Úvod.....	8
1.1	Formulácia úlohy	9
1.2	Popis diplomovej práce	10
2	Pozornosť	11
2.1	Definícia	11
2.2	Druhy pozornosti	12
2.2.1	Otvorená a skrytá pozornosť	12
2.3	Pozornostné fenomény	12
2.3.1	Cocktail-party effect.....	12
2.3.2	Zlyhanie pozornosti.....	13
2.4	Modely pozornosti	14
2.4.1	Modely „skorých“ a „neskorých“ filtrov	14
3	Lokalizovanie zvukov v priestore.....	16
3.1	Interaurálne časové rozdiely (ITD).....	16
3.2	Interaurálne rozdiely v intenzite (ILD)	17
3.4	Smerové prenosové funkcie.....	18
3.5	Príčiny chýb lokalizácie	19
4	Predošlé štúdie.....	21
5	Experiment	23
5.1	Hypotézy.....	23
5.2	Metódy a techniky použité v experimentoch.....	24
5.2.1	Použité HRTF funkcie	24
5.2.2	Cieľové zvuky a podnety	24
5.3	Pilotné experimenty	24
5.3.1	Azimuty cieľových zvukov.....	24
5.3.2	Zadávanie pozícií (odpovedanie)	25
5.4	Tréning	27
5.5	Experimentálna procedúra.....	27
5.6	Merané subjekty.....	28
6	Výsledky analýzy dát.....	30
6.1	Analýza originálnych dát.....	31
6.2	Analýza preklopených dát	36
6.2.1	ANOVA test signifikancie.....	44
6.2.2	Porovnanie dvoch skupín subjektov.....	44
7	Záver	46
7.1	Zhodnotenie hypotéz	46
7.2	Zhrnutie a diskusia	47
	Bibliografia	49
	Zoznam príloh	50
	Zoznam obrázkov	51

1 Úvod

Spôsob, akým pracuje sluchová pozornosť, ešte nie je úplne zrejmý. Jej fungovanie a princípy sa študujú experimentálne, v štúdiách akou je aj táto. V experimentoch sa pozornosť študuje nepriamo, skúma sa iba jej vplyv na určité ľudské aktivity. Táto práca nadviazala na viacero predošlých štúdií, v ktorých sa študoval vplyv endogénnej (strategickej, vedome riadenej) aj exogénnej (automatickej, vyvolanej vonkajším podnetom) pozornosti na presnosť lokalizácie zvukov v priestore.

A. J. Sach vo svojej štúdií [1] experimentálne ukázal, že endogénna pozornosť vyvolaná podnetmi (sluchovými) zlepšuje schopnosť lokalizácie zdroja zvuku. Na simulovanie cieľových zvukov prichádzajúcich z rôzneho azimutu v slúchadlách použil však len však len interaurálne rozdiely v čase, kedy stimul dorazí do ľavého a pravého ucha (skratka ITD z angického interaural time difference, pozri kap. 3.1), teda nešlo ani tak o zlepšenie lokalizácie zdroja zvuku, ale skôr o zlepšenie rozlišovania ITD zvuku. Ďalšie štúdie [2, 3] vykonávané v reálnej miestnosti (echoickej i anechoickej) sú v rozpore s výsledkami A. J. Sacha. Podnet síce ovplyvňoval presnosť lokalizácie zdroja zvuku, ale skôr negatívne. To, že podnet môže zhoršovať presnosť lokalizácie ukázal aj M. Obrin vo svojej diplomovej práci v roku 2004. [12]

Cieľom tejto práce je potvrdiť alebo vyvrátiť výsledky predošlých štúdií a tým pomôcť pochopiť, ako sluchová pozornosť vyvolaná sluchovými alebo zrakovými podnetmi ovplyvňuje priestorové sluchové vnímanie, t.j. schopnosť lokalizácie zvukov v priestore.

1.1 Formulácia úlohy

Témou tejto diplomovej práce je sluchová pozornosť, ktorá sa študuje experimentálne, vo virtuálnom sluchovom prostredí. Súčasťou práce je teda aj návrh experimentálnej procedúry v prostredí MATLAB R13, návrh samotného virtuálneho prostredia a vyhodnotenie výsledkov experimentov.

Cieľom týchto meraní je posúdiť, či endogénna (strategická, vedomím riadená) pozornosť vyvolaná sluchovými alebo zrakovými podnetmi, zlepšuje schopnosť človeka lokalizovať zvuky v azimutálnej rovine.

V rámci diplomovej práce sú stanovené nasledovné úlohy:

1. Vypracovať prehľad problematiky priestorového sluchového vnímania a mechanizmov riadenia vizuálnej a sluchovej pozornosti, ako aj relevantných modelov.
2. Pripraviť procedúru pre experimentálne meranie presnosti sluchovej lokalizácie vyvolanej sluchovými a zrakovými podnetmi v prostredí MATLAB.
3. Vykonať experimentálne meranie na 5 dobrovoľných ľudských subjektoch.
4. Analyzovať a vyhodnotiť experimentálne dáta v kontexte existujúcich modelov riadenia pozornosti.

Popis organizácie práce je v nasledujúcej kapitole.

1.2 Popis diplomovej práce

Diplomová práca je rozčlenená do 7 kapitol, jednotlivé kapitoly na seba nadväzujú v súlade s formuláciou úlohy.

Druhá kapitola: *Pozornosť*, definícia a základné informácie, fenomény pozornosti, metódy štúdia, súčasné modely.

Tretia kapitola: *Lokalizovanie zvukov v priestore*, popis interakcie zvuku s hlavou, vnímanie azimutu a elevácie.

Štvrtá kapitola: *Predošlé štúdie*, závery z predošlých štúdií, pozorované javy pri experimentálnom štúdiu sluchovej pozornosti vyvolanej sluchovými podnetmi.

Piata kapitola: *Experiment*, definovanie hypotéz, ktoré experiment overuje, vysvetlenie pojmov potrebných pre pochopenie metód použitých v experimente, detailný popis prípravy a priebehu experimentu.

Šiesta kapitola: *Výsledky*, popis postupu pri analýze nazbieraných dát, sumárne výsledky pre všetky subjekty.

Siedma kapitola: *Záver*, overenie hypotéz, využitie daných poznatkov, aplikačné možnosti, záver.

2 Pozornosť

2.1 Definícia

Existuje množstvo definícií pojmu pozornosť. Za všetky si uvedme aspoň tie najpoužívanejšie. *Pozornosť je mentálne koncentrovanie sa (sústredenie sa) na senzorické (vnemové), alebo mentálne udalosti (Dana Murphy), alebo aktivácia mechanizmov, ktoré umožňujú neprerušenu kognitívnu aktivitu zameranú na objekt pozornosti (David Somers).* [5]

Vynárajú sa však aj otázky, či je vôbec koncept pozornosti zmysluplný, teda či existuje pozornosť sama o sebe, alebo je len súčasťou tých mozgových funkcií, v ktorých ju pozorujeme (vnímanie, učenie sa). Vedci Johnston a Dark vyjadrili obavy, že štúdium pozornosti je „ultimately futile“, teda naveky márne [5].

Na pozornosť sa môžeme pozerieť aj ako na filter veľkého množstva prichádzajúcich podnetov, pomáhajúci nám k tomu, aby sme z nich vedeli vybrať len tie, ktoré majú pre nás v danej situácii význam [6] a odignorovať nepodstatné. Pozornosť funguje ako pódiový reflektor (angl. spotlight), t.j. to, čo je na pódiu osvetlené, sa kognitívne spracuje, to čo nie, sa ignoruje.

Základnými vlastnosťami pozornosti sú *obmedzenosť* a *selektívnosť*. Pozornosť je obmedzená, pretože nedokážeme venovať pozornosť veľkému množstvu podnetov naraz. Selektívnosť spočíva v tom, že pozornosť môžeme vedome zamerať na senzorické podnety, informácie v pamäti (rozpamätávanie sa), alebo motorické odozvy [5]. Ďalšími vlastnosťami pozornosti sú intenzita, rozdelenie, rozsah a stálosť [6]. Intenzita pozornosti udáva silu sústredenia, ak venujeme pozornosť viacerým objektom naraz, potom koncentrácia na jednotlivé objekty klesá. Pozornosť u niektorých činností môžeme rozdeliť, napr. variť a zároveň telefonovať, ale nemôžeme riešiť súčasne dve matematické rovnice. Rozsahom sa myslí množstvo podnetov, ktoré je človek schopný zachytiť a stálosťou doba, po ktorú sa dokážeme sústrediť na jeden a ten istý objekt.

2.2 Druhy pozornosti

Podľa toho, či pozornosť selektívne ovládame alebo nie, rozlišujeme ju na pozornosť endogénnu (strategickú, vedomím riadenú) a pozornosť exogénnu (automatickú). Exogénna pozornosť má vrodenný základ, tým je reflex. Je vyvolaný náhlým novým silným alebo neočakávaným podnetom. Človek je napr. ponorený do čítania knihy a v tom prievan pribuchne dvere, dôsledkom je okamžitý pohľad smerom ku zdroju zvuku, t.j. ku dverám. Hneď ako dotyčný vyhodnotí situáciu vráti sa naspäť k čítaniu knihy a to je už reč o pozornosti endogénnej, ktorá je riadená vedome. [5]

2.2.1 Otvorená a skrytá pozornosť

Zvyčajne sa na objekt, ktorému venujeme pozornosť aj dívame (otvorená, angl. overt pozornosť). Smer pozornosti a pohľadu vieme ale separovať (otvorená, angl. covert pozornosť). Príkladom toho je napr. nahrávka, alebo príjem prihrávky v loptovom športe, bez toho, aby sme sa pozerali na loptu. To že reflexívna (exogénna) pozornosť a pohyby očí sú na sebe nezávislé ukázal A.R. Hunt a A. Kingstone vo svojom pokuse, keď subjekty (skryto) zamerané na určité miesto kde sa mal zobrazit' objekt, reagovali (odpovedali) rýchlejšie stlačením klávesu (oči zostali nehybné), ako keď mali odpovedať iba pohľadom na miesto, kde sa objekt zobrazil (pohyb očí snímal senzor). [7, 11] Bol pozorovaný aj jav známy ako "inhibition of return" (tento jav pozorovali ako prví Posner a Cohen v roku 1984). Subjekty odpovedali rýchlejšie, keď nebol prezentovaný podnet, ktorý im napovedal kde sa objekt zobrazí. [11]

2.3 Pozornostné fenomény

2.3.1 Cocktail-party effect

Exogénnu pozornosť vyvolá tak isto aj podnet, ktorý má pre nás nejaký osobný význam, môže to byť naše meno, meno mesta, z ktorého pochádzame a podobne. V skutočnosti venujeme pozornosť i podnetom, o ktorých to ani netušíme. Tento jav

ilustruje tzv. cocktail-party efekt (Moray, 1959). Konverzácia, ktorej nevenujeme pozornosť prenikne do nášho vedomia, ak obsahuje relevantné, pre nás zaujímavé informácie, alebo v nej zaznelo naše meno (meno našich blízkych). [5]

2.3.2 Zlyhanie pozornosti

2.3.2.1 Pozornosť a dichotické počúvanie

Subjekt počúva cez slúchadlá v každom kanáli (t.j. každým uchom) iný čítaný text a má za úlohu reprodukovať to, čo počuje v jednom kanáli (venuje pozornosť iba jednému uchu). Z textu, ktorému venoval pozornosť si väčšinu zapamätá, pri čítaní si všimne zmenu hlasu čítajúceho, zmenu pohlavia, jazyka aj hlasitosti. Z toho čo počul v druhom uchu (v tom na ktoré nebol sústredený) si zapamätá veľmi málo, všimne si iba radikálne zmeny (zmeny hlasitosti, zmena pohlavia čítajúceho, ak sa zvuk zmení na niečo iné ako reč), ale menej výrazné zmeny nepostrehne (zmenu na inverzne prehrávanú reč, zmenu jazyka). Tento fenomén pozoroval Cherry v roku 1953. [5]

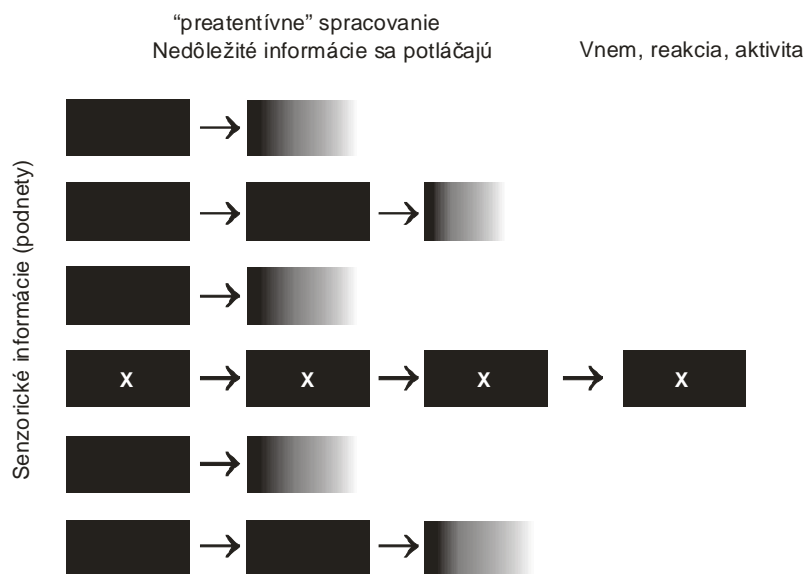
2.3.2.2 Nevidenie kvôli nepozornosti (Inattentional blindness) & nevidenie zmien (Change blindness)

Inattentional blindness je fenomén spôsobený zlyhaním endogénnej pozornosti. Ak našu pozornosť pritiahol nejaký objekt (distraktor) a my mu sústredene venujeme pozornosť, nevšimneme si iné udalosti, aj keď sa dejú priamo pred našimi očami.

Na detekciu zmien v prostredí využívame spravidla exogénnu pozornosť. Princíp je jednoduchý. Zmena prostredia (polohy objektu) vyvolá tranzient, ktorý pritiahne našu pozornosť a zmenu zaregistrujeme. Akonáhle však začnú pôsobiť distraktory a/alebo iné tranzienty (ako napríklad pohyby očí synchronizované s pohybmi objektov v prostredí), tento systém zlyhá a zmeny nezaregistrujeme, aj keď sú zreteľné. *Change blindness* je teda zlyhaním exogénnej pozornosti [5].

2.4 Modely pozornosti

Ako už bolo spomenuté, pozornosť si môžeme predstaviť ako filter, ktorý určité senzორické informácie (podnety) prepustí, iné potlačí. Táto vlastnosť je dôležitá pre spracovanie informácií. Tieto sa na vstupe (v periférii) spracovávajú paralelne, avšak v neskorších kognitívnych fázach sériovo. Kapacita sériového spracovania je obmedzená, preto pozornosť riadi (vyberá), čo tento „sériový procesor“ bude spracovávať a čo nie. Otázkou ostáva, kedy sa pozornosť aktivuje. V periférii („skoré“ filtrovanie), či až neskôr v centre („neskoré“ filtrovanie)? [5]

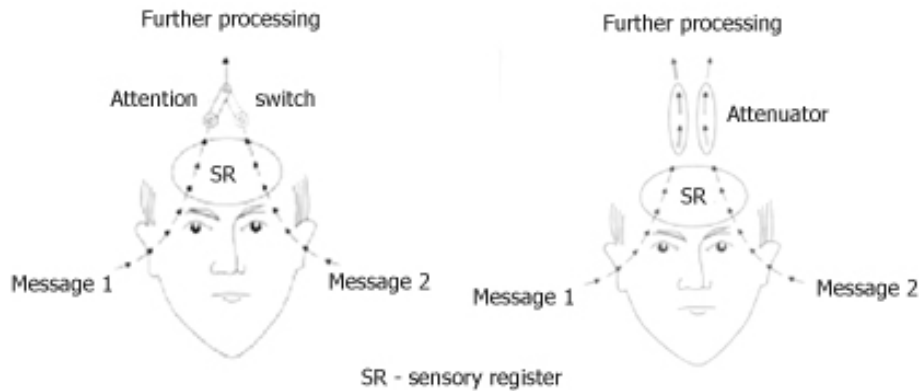


Obr 2.4.1 Pozornosť ako filter. Do kognitívnej fázy spracovania sa dostane len informácia označená ako „x“, napr. neočakávaná, dôležitá zmena prostredia, vyžadujúca okamžitú reakciu.

2.4.1 Modely „skorých“ a „neskorých“ filtrov

Broadbentov „switch“ model (1958) hovorí, že voľba podnetu prebieha už veľmi skoro v procesnej dráhe a nevybrané (nedôležité) podnety sa nespracujú vôbec (stratia sa). To je ale v rozpore, napr. so spomínaným cocktail-party efektom, keď sa relevantná informácia dostane za filter, a teda je spracovaná. S týmto javom počítajú tzv. „attenuator“ model (Anne Treisman, 1960). Filter pozornosti neodstráni tie podnety, na

ktoré sa nesústredíme úplne, len ich potlačí. Silné informácie (vnemy) teda majú stále šancu byť spracované. [5]



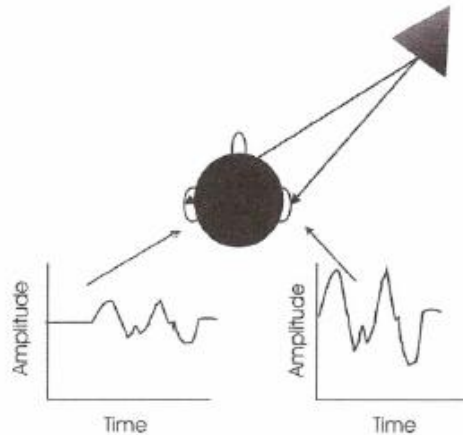
Obr 2.4.1.1 Schémy modelov „skorých“ filtrov. Vľavo „switch“ model, vpravo „attenuator“ model

Medzi modely „neskorých“ filtrov patrí Niesserov dvojfázový model. Predpokladá, že pozornosť je determinovaná procesmi na dvoch úrovniach a to preatentívnej (predpozornostnej) a atentívnej (pozornostnej). Procesy na preatentívnej úrovni prebiehajú rýchlo, paralelne, bez definovania významu podnetov. Na atentívnej úrovni sú (kognitívne) procesy pomalšie, vykonávané sériovo [5].

S týmto modelom súvisí pojem preatentívne spracovanie (pop-out), t.j. paralelné spracovanie vnemov bez pozornosti. Napríklad preatentívne videnie nám umožní vyhľadať jeden objekt medzi viacerými hneď na prvý pohľad podľa charakteristických črt, ale len ak sú tieto črty separované (napr. hľadáme čierny objekt medzi bielymi). Ak má ale objekt, ktorý chceme vyhľadať viacero kombinovaných črt a navyše podobných s inými objektmi, vyhľadanie bude ťažšie a bude trvať dlhšie. To preto, lebo bolo nutné zapojiť pozornosť (atentívnu úroveň). [5]

3 Lokalizovanie zvukov v priestore

Keď sa zvuk šíri od zdroja (napr. reproduktora) do našich uší, transformuje sa interakciou s prostredím, našou hlavou, plecami, ušnicami a sluchovým kanálom. Táto transformácia spôsobí, že zvuk, ktorý počujeme, sa v skutočnosti líši od toho, aký vyšiel zo zdroja. Navyiac, líši sa aj to, aký zvuk počujeme ľavým a pravým uchom (obr. 3.1). Zvuk prichádzajúci zo strany dorazí do jedného ucha skôr ako do druhého a navyše aj s vyššou intenzitou. Mozog analyzuje tieto rozdiely a snaží sa vypočítať, odkiaľ zvuk prišiel. My si potom uvedomujeme len to, že sme počuli zvuk, a že prišiel napr. sprava. [5]



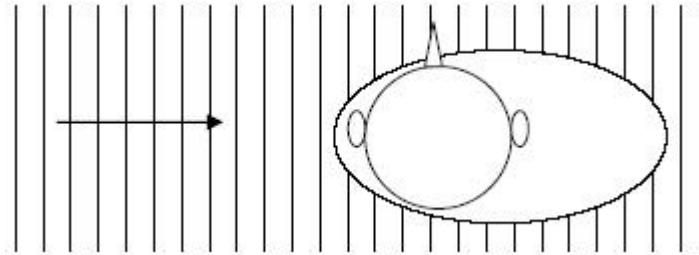
Obr. 3.1 Zvuk prichádzajúci zo strany dorazí do jedného ucha skôr ako do druhého, pretože prechádza kratšiu dráhu. Na ilustračných grafoch je vidieť časové priebehy zvukov v oboch ušiach. V ľavom má nižšiu intenzitu a dorazil neskôr [8].

3.1 Interaurálne časové rozdiely (ITD)

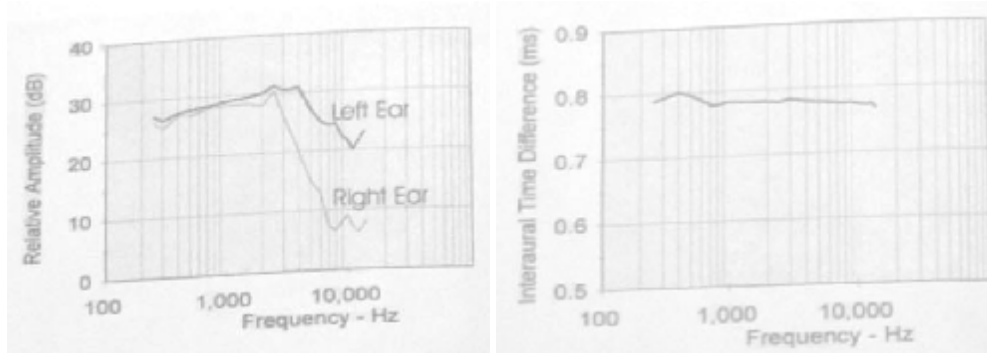
Rozdiel vo vzdialenosti zdroja od ľavého a pravého ucha spôsobuje rozdiel v čase, kedy signál k ušiam dorazí. Tieto rozdiely nazývame interaurálne („medziušné“) časové rozdiely (ITD). Sú približne nemenné pre daný azimut. ITD nezávisí na frekvencii (obr. 3.2.2) [8].

3.2 Interaurálne rozdiely v intenzite (ILD)

Interaurálne rozdiely v intenzite (ILD) sú rozdiely v intenzite, s ktorou dorazí zvuk k ľavému a pravému uchu. Ľudia sú citliví na rozdiely okolo 0,5 dB. ILD vznikajú tým, že hlava vytvára „akustický tieň“, preto zvuk dorazí do prvého ucha s vyššou intenzitou ako do druhého (obr. 3.2.1). ILD sú frekvenčne závislé, rastú s frekvenciou [8] (obr. 3.2.2).



Obr. 3.2.1 Vytvorenie „akustického tieňa“ [5]



Obr. 3.2.2 ITD a ILD ako funkcie frekvencie. ILD je závislý od frekvencie (>2kHz), ITD nie [8].

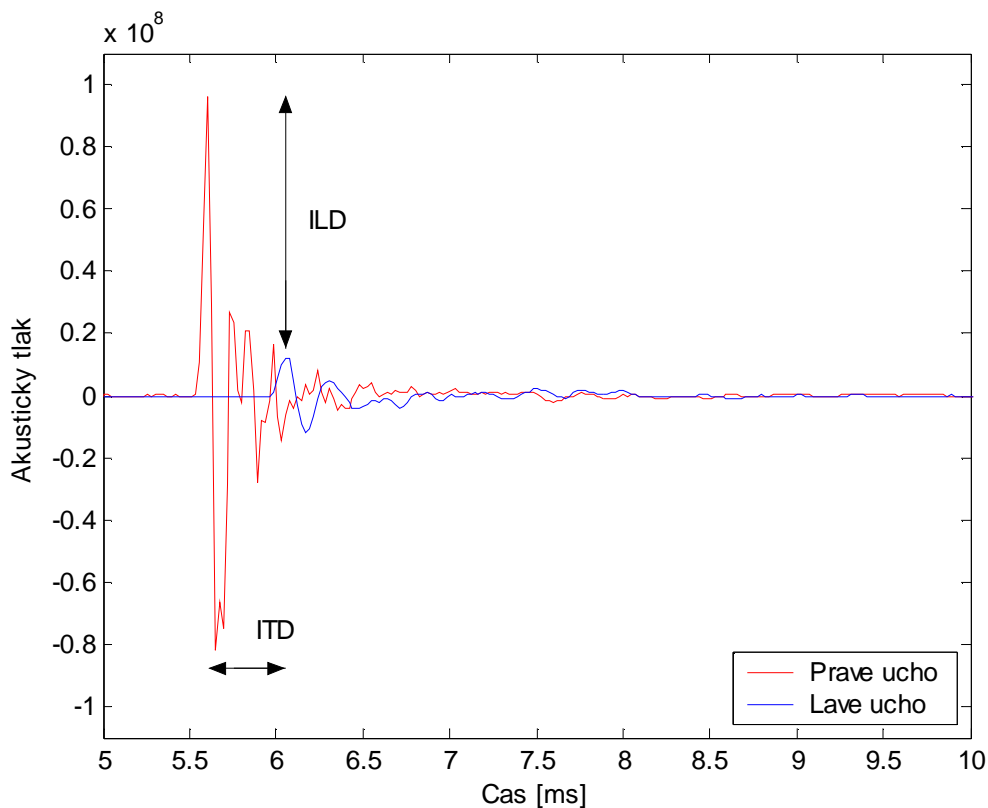
Napriek významnej úlohe interaurálnych rozdielov (ILD aj ITD) pri určovaní polohy zdroja zvuku, sú iba jednou časťou systému vnímania. To, ako je poloha zdroja zvuku vnímaná, závisí totiž napríklad aj na polohe a orientácii hlavy poslucháča, na vizuálnych vnemoch a z veľkej časti na tom, že poslucháč môže poznať zdroje zvuku vo svojom okolí a orientovať sa podľa toho [9].

3.4 Smerové prenosové funkcie

Matematicky sa transformácia, ktorou zvuk prešiel po ceste od zdroja zvuku po bubienky ľavého, resp. pravého ucha dá charakterizovať tzv. prenosovou funkciou (tiež nazývanou impulzná odozva). Každému bodu v priestore okolo nás zodpovedá jeden pár prenosových funkcií, jedna pre ľavé a jedna pre pravé ucho. Tieto prenosové funkcie sa v angličtine nazývajú Head-Related Transfer Functions (HRTFs). [5]

V HRTF sú zakódované všetky informácie, ktoré mozog potrebuje na to, aby odhadol odkiaľ zvuk prišiel, teda sú tam zakódované aj spomínané interaurálne rozdiely ITD a ILD.

Keď máme pre nejakého človeka (tvar hlavy, a teda aj HRTF je pre rôznych ľudí rozdielna) k dispozícii takýto pár prenosových funkcií zodpovedajúci určitému bodu v priestore, potom vieme veľmi jednoducho nasimulovať (konvolúciou zvuku s HRTF), ako tento človek vníma akýkoľvek zvuk (reč, husle, šum), keď prichádza z daného bodu. [5]



Obr. 3.3.1 Časový priebeh HRTF pre zvuk prichádzajúci z azimutu 60° . Je zreteľné, že do pravého ucha dorazil skôr a s niekoľkonásobne vyššou intenzitou ako do ľavého.

Keď sa HRTF merajú v reálnej miestnosti, neobsahujú tieto odozvy len to, ako zvuk dorazil zo zdroja priamo do našich uší, ale aj to, ako dorazili do našich uší odrazy tohto zvuku od stien. V zásade prídu tieto odrazy do našich uší neskôr než priamy zvuk, takže vo všeobecnosti môžeme získať HRTF bez odrazov od stien tak, že túto funkciu ukončíme po prvom impulze.

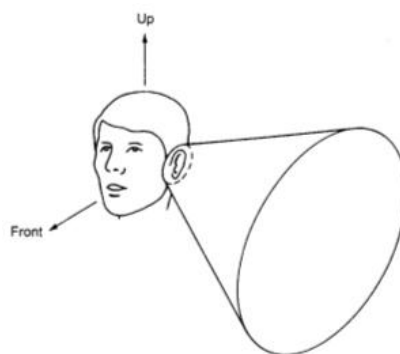
Pre zdroje aspoň jeden meter od hlavy sa HRTF menia len s azimutom a eleváciou. Pre blízke zdroje sa HRTF menia aj so vzdialenosťou. Matematický zápis HRTF:

$$y_L[t] = \frac{1}{r} h_L[t, q, f] * x_L[t] \quad H_L[w, q, f] = \mathfrak{S}(h_L[t, q, f])$$

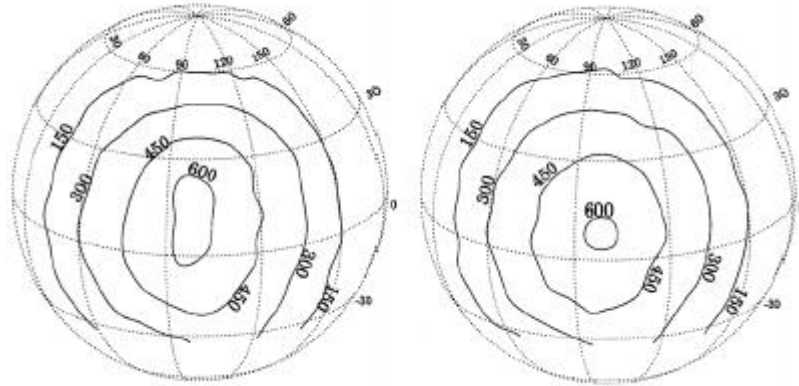
$$y_R[t] = \frac{1}{r} h_R[t, q, f] * x_R[t] \quad H_R[w, q, f] = \mathfrak{S}(h_R[t, q, f])$$

3.5 Príčiny chýb lokalizácie

Chyby v lokalizácii zdroja zvuku v smere hore, dole a vpredu a vzadu robíme lebo ITD a ILD neurčujú polohu zdroja zvuku jednoznačne (obr. 3.5.1, 3.5.2). Predstavme si kužeľ, ktorého os je totožná s interaurálnou osou. Nazveme ho kužeľom nejednoznačnosti (cone of confusion, Mills 1972). Body na povrchu tohto kužeľa vykazujú rovnaké interaurálne rozdiely. [9]

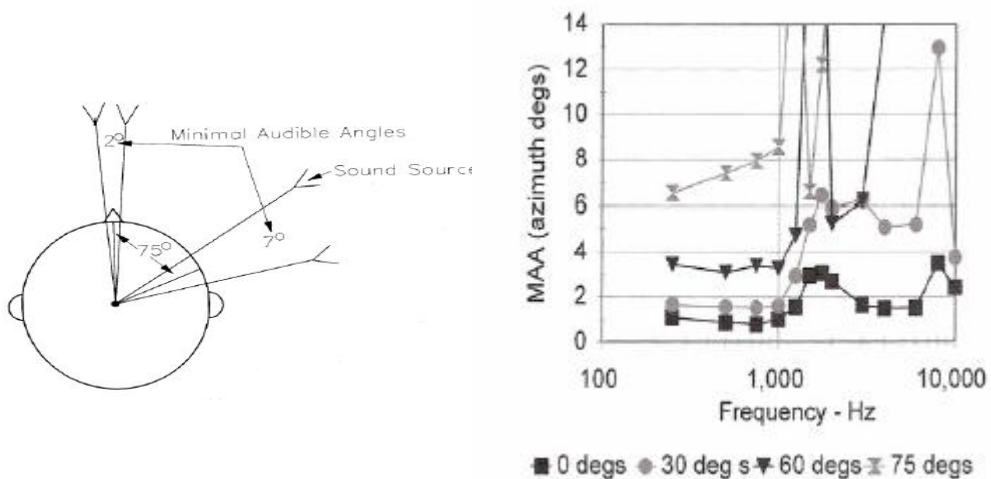


Obr. 3.5.1 Kužeľ nejednoznačnosti je v skutočnosti deformovaný, čo je zapríčinené skutočným tvarom hlavy [5]



Obr. 3.5.2 Kontúrové zobrazenie konštantného ITD (μs), pre zvuky prichádzajúce z rôzneho azimutu a elevácie pre 2. rôznych poslucháčov (vľavo a vpravo) [5]

Presnosť lokalizácie je obmedzená. Najmenšia spoľahlivo detekovateľná zmena zdroja zvuku (najmenší počuteľný uhol - minimal audible angle, MAA) je vpredu, priamo pred očami, najväčšia naboku (obr. 3.5.3a). MAA je závislý od frekvencie.



Obr. 3.5.3a,b Najmenší počuteľný uhol (vľavo) [5], závislosť MAA od frekvencie a vzdialenosti od osi kolmej na interaurálnu os (vpravo) [8]

Ako vidno na obrázku 3.5.3b (vpravo), MAA je najväčší pri stredných frekvenciách 2kHz – 4kHz. Je to spôsobené pravdepodobne tým, že pri týchto frekvenciách sú ITD a ILD primálne nato, aby boli spoľahlivými vodítkami na lokalizáciu zdroja zvuku. [8]

4 Predošlé štúdie

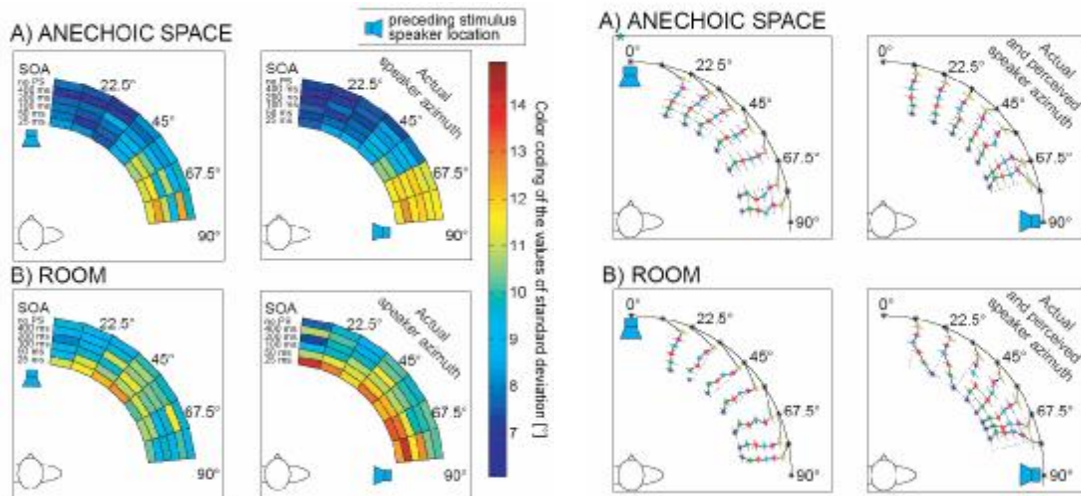
A. J. Sach vo svojej štúdií [1] experimentálne ukázal, že podnety (čistý tón 500Hz, trvanie 200ms + 10ms nástup a dobeh) zlepšujú lokalizáciu zdroja zvuku. Na simulovanie cieľových zvukov prichádzajúcich z rôzneho azimutu v slúchadlách použil však len ITD, teda nešlo ani tak o zlepšenie lokalizácie zdroja zvuku, ale skôr o zlepšenie rozlišovania ITD zvuku.

Ďalšie štúdie [2,3] vykonávané v reálnej miestnosti (echoickej i anechoickej) sú v rozpore s výsledkami A. J. Sacha. Podnet síce ovplyvňoval vnem azimutu cieľového zvuku, ale skôr negatívne. To, že podnet zhoršuje presnosť lokalizácie ukázal aj M. Obrin vo svojej diplomovej práci v roku 2004 [12]. Všetky tieto štúdie ale používali relatívne krátke opozdenie medzi podnetom a cieľovým zvukom (anglicky stimulus onset asynchrony, SOA).

Spence & Driver (1994) ukázali, že podnet nezvýšil presnosť lokalizácie, ale spôsobil signifikantný pokles reakčného času.

Ako dôležitý aspekt pri samotnej lokalizácii zdroja zvuku (už sa nedívame na pozornosť), sa ukázalo byť aj prostredie, v ktorom je experiment prevádzaný. V echoickom prostredí (v reálnej miestnosti) subjekty vykazovali horšiu presnosť lokalizácie ako v anechoickom prostredí [4]. V práci [4] bol síce subjektom prezentovaný podnet, ale bolo im povedané, aby ho ignorovali (je diskutabilné, či to tiež nie je určitá forma pozornosti). Podnet tu zhoršoval presnosť lokalizácie a subjekty mali tendenciu odpovedať smerom ďalej od podnetu (pozri obr. 4.1 vpravo). Podnet pôsobil dokonca ako distraktor [3] pri čase medzi podnetom a cieľovým zvukom (stimulus onset asynchrony, SOA) 0ms.

Pri experimentoch je potrebné brať do úvahy počet testovaných subjektov, keďže je príliš veľká variácia vo výsledkoch jednotlivých subjektov [3].



Obr. 4.1 Priemerná štandardná odchýlka vnímaného azimutu pre rôzne časy SOA (vľavo), priemerná chyba v odpovediach (vpravo) [4]

Na obrázku vľavo i v pravo je vidieť, že v echoickom prostredí (room) subjekty odpovedali menej presne ako v anechoickom prostredí, taktiež je na oboch obrázkoch viditeľné zhoršenie presnosti pri prezentovaní podnetu. Na obrázku vľavo je viditeľná tendencia subjektov odpovedať ďalej od prezentovaného podnetu.

- no preceding stimulus
- SOA = 400 ms
- SOA = 200 ms
- SOA = 100 ms
- SOA = 50 ms
- SOA = 25 ms
- actual target speaker locations
- preceding stimulus speaker location

5 Experiment

Jadrom práce je experiment, ktorý študuje interakciu medzi ľudskou pozornosťou a priestorovým sluchovým vnímaním. Pozeráme sa v ňom na to, ako pozornosť (exogénna aj endogénna) ovplyvňuje schopnosť lokalizovať zdroj zvuku (ďalej len lokalizácia). Cieľom je overiť hypotézu, že zameranie sa len na určitú časť priestoru zjednodušuje/zlepšuje lokalizáciu.

Experiment bol vykonaný v anechoickom virtuálnom sluchovom prostredí, nakoľko predošlé štúdie [4] ukázali, že v echoickom prostredí subjekty vykazovali horšie výsledky.

5.1 Hypotézy

Cieľom navrhnutého experimentu je overiť nasledovné hypotézy:

1. Prítomnosť informatívneho platného podnetu (pozri kapitolu 5.5), ktorý napovie subjektom, na ktorú oblasť sa sústrediť, priaznivo ovplyvní presnosť lokalizácie.
2. Efekt pozornosti bude väčší pre endogénnu ako pre exogénnu pozornosť, t.j. subjekty budú presnejšie, ak budú vďaka podnetu vedome zamerané na oblasť z ktorej cieľový zvuk (target) skutočne príde, a menej presné, keď príde target z neočakávanej oblasti.
3. Efekt pozornosti bude väčší pre vyššie SOA, teda vtedy, ak bude medzi podnetom a cieľovým zvukom dlhšia pauza a to z toho dôvodu, že človek má viac času preorientovať svoju pozornosť.

5.2 Metódy a techniky použité v experimentoch

5.2.1 Použité HRTF funkcie

Echoické HRTF funkcie namerali Norbert Kopčo a Claudia Persico v roku 2002 v tichej miestnosti s rozmermi 4x3 m v Auditory Neuroscience Lab of the Boston University CNS Dept. Subjekt bol v strede miestnosti – výška ucha nad podlahou bola približne 1,7 m, vzdialenosť prichádzajúceho zvuku od hlavy bola 120 cm. Bezechoické HRTFs boli vygenerované z echoických useknutím po prvom zákmitu. V našom prípade je useknutie po 480 vzorke pre všetky azimuty (pri použitej vzorkovacej frekvencii 44,1kHz po 10,88ms).

5.2.2 Cieľové zvuky a podnety

Ako cieľový zvuk (target) bola v experimentoch použitá samotná smerová prenosová funkcia (HRTF), t.j. impulz (klik) s trvaním jednej vzorky (obr. 3.3.1.). Sluchový podnetom (auditory cue) bol 100ms čistý sínusový tón s frekvenciou 2kHz + 10ms nábeh a dobeh. Sluchový podnet bol približne o 10dB hlasnejší ako target. Vizualným podnetom boli šípky prezentované na štandardnom 15“ monitore o reálnej veľkosti približne 100 x 80 mm. Pravá šípka bola červenej farby, ľavá modrej (v súlade s farebných označením slúchadiel a stupnice – pozri ďalej). Medzi zvukovým podnetom a cieľovým zvukom bolo ticho o dĺžke 400, 800 a 1600 ms (SOA), vizuálne podnety boli prezentované (zobrazené) po celú dobu SOA a následne bol prehraný cieľový zvuk.

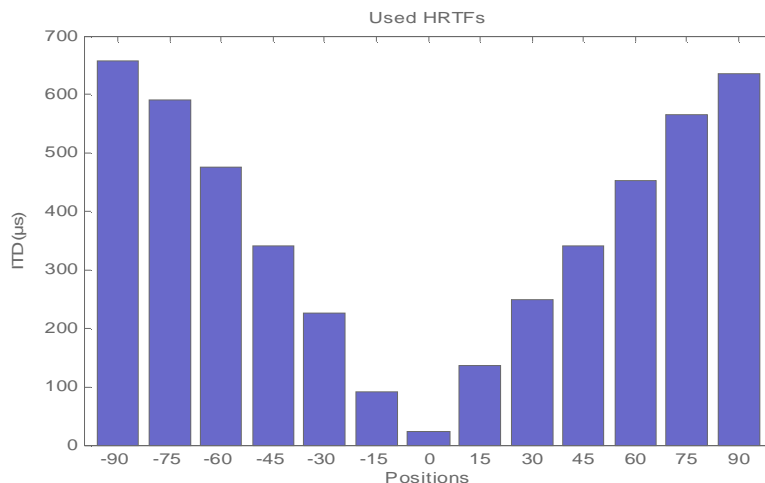
5.3 Pilotné experimenty

5.3.1 Azimuty cieľových zvukov

Prvé experimenty mali pomôcť vo výbere pozícií v azimutálnej rovine (-90° naľavo, 0° priamo pred očami, 90° napravo), ktoré budú v hlavnom experimente

prezentované subjektom. Pri výbere bol zohľadnený minimálny počuteľný uhol (skratka MAA z angl. minimal audible angle), v skutočnosti priemerne 5° v celej azimutálnej rovine, pozri kap. 3.5., obr. 3.5.3.

Trom subjektom boli prezentované vždy 2 susedné azimuty v krátkom časovom intervale po sebe. Za úlohu mali určiť, či boli zvuky totožné (t.j. prichádzali z rovnakého azimutu), alebo bol medzi nimi rozdiel. Na základe výsledkov testu, bola vytvorená množina azimutov od -90° až po 90° s krokom 15° . Vyradené boli azimuty $\pm 75^\circ$, pretože subjekty ich neboli schopné odlíšiť od $\pm 90^\circ$, resp. $\pm 60^\circ$.



Obr. 5.3.1.1 ITD použitých HRTF funkcií, azimuty $\pm 75^\circ$ boli vyradené.

5.3.2 Zadávanie pozícií (odpovedanie)

Ďalšie experimenty boli zamerané na to, akú metódu pre odpovedanie pri hlavnom experimente použiť, aby subjekty robili čo najmenej chýb a aby sme odpovedanie čo najviac uľahčili. Testované boli 3 metódy:

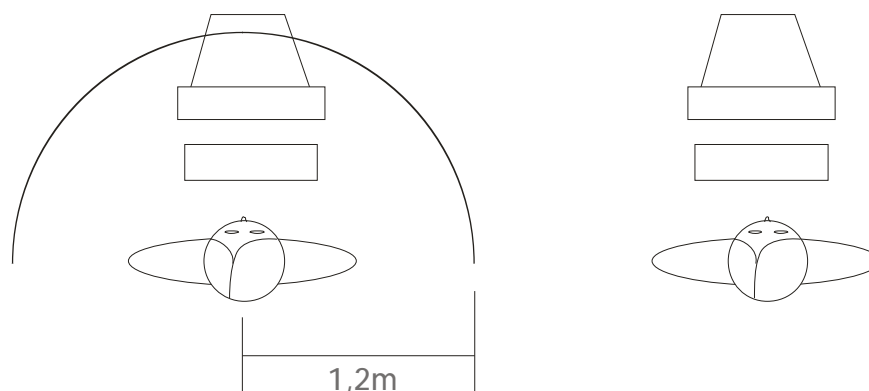
Odpovedanie

1. pomocou myši, kliknutím na ciachovanú stupnicu, tak ako [12] (spojito)
2. pomocou číselných klávesov (ktorým sú priradené jednotlivé azimuty, 1 = -90° , 2 = -60° , ..., 9 = -60° , 0 = 90°) na štandardnej klávesnici (diskrétno)
3. pomocou numerickej klávesnice, zadávaním číselnej hodnoty (v stupňoch, spojito) s pomocným polkruhom a bez (obr. 5.3.2.1).

Testované boli 2 subjekty, každý z nich odmeral každou metódou 3 krát všetky azimuty. Na konci bola vyhodnotená RMS chyba osobitne pre každú metódu.

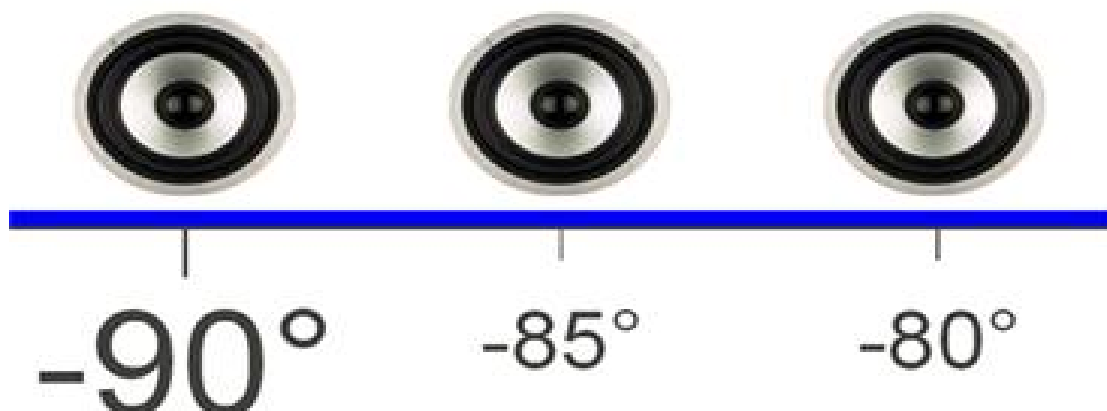
Metóda č. 1 sa ukázala ako najmenej presná. Zapríčinili to pravdepodobne nepresnosti pri klikaní (aby bol kliknutý uhol korektne prepočítaný bolo potrebné kliknúť presne na os, t.j. do priestoru širokého cca 15 pixlov) a nepresnosti pri prepočtoch uhlov (pozície blízko extrému naľavo boli nekorektne vypočítané aj po presnom kliknutí). Subjekty sa vyjadrili, že bolo ťažké „previesť“ počutý azimut na takúto os (polkružnica čiastočne položená do priestoru [12]), čo bolo ďalším faktorom svedčiacim proti použitiu tejto metódy.

Použitím metódy č. 2 a 3 bola dosiahnutá veľmi podobná presnosť, nakoniec bola ale vybraná metóda číslo 3, nakoľko nie každý subjekt ovláda prstoklad a na eliminovanie preklepov by bol pre niektorých potrebný dlhší tréning,



Obr. 5.3.2.1a,b Schéma experimentu

Na obrázku 5.3.2.1a (vľavo) je schéma experimentu. Subjekt sedí pred štandardným PC s pomocným polkruhom. Na tomto polkruhu s polomerom 1,2m (v súlade s nameranými HRTF, kap. 5.2.1) boli vyznačené azimuty (obr. 5.3.2.2). Polkruh mal slúžiť pre lepšiu orientáciu. Vpravo je schéma experimentu bez pomocného polkruhu.



Obr. 5.3.2.2 Výrez časti pomocného polkruhu

Pomocný polkruh bol vlastne pás o dĺžke 3,6m a šírke 35cm, na ktorom boli vyznačené azimuty tak, ako je to znázornené na obrázku.

5.4 Tréning

Každý subjekt pred samotným experimentom absolvoval tréningovú procedúru. Subjektom boli prezentované cieľové zvuky bez podnetov. Po každej odpovedi boli subjekty informované o tom, akú chybu spravili. Cieľom tréningu nebolo naučiť sa azimuty naspamäť, slúžil len ako prostriedok na zorientovanie sa. Takisto nebolo žiaduce, aby subjekty vedeli o tom, že sú prezentované len azimuty $\pm 90^\circ$, 60° , 45° , 30° a 15° . Z týchto dôvodov neboli informovaní o presnej chybe odpovede, náhodne sa k nej pripočítavali hodnoty $\pm 10^\circ$ a 5° . Ak subjekt dosiahol v tréningu RMS chybu približne 25° a menej, bol pripravený na hlavný experiment.

5.5 Experimentálna procedúra

Experiment bol rozdelený na 10 rovnakých sedení. V každom sedení bolo simulovaných 7 rôznych prostredí, líšiacich sa typom podnetu a časom SOA (stimulus onset asynchrony, čas medzi nástupom podnetu a cieľového zvuku). Jedno sedenie trvalo priemerne 18 minút, trvanie experimentu bolo teda $18 \times 10 = 180$ minút. Subjektom ale z dôvodu nižšej koncentrácie v dôsledku únavy nebolo dovolené robiť viac ako 3 sedenia bez (min. 10 minútovej) prestávky.

Simulované boli nasledovné prostredia:

1. prostredie bez podnetu (zaznel iba cieľový zvuk)
2. prostredie s vizuálnym informatívnym podnetom 100% (3 rôzne SOA)
3. prostredie s vizuálnym informatívnym podnetom 80% (3 rôzne SOA)
4. prostredie s vizuálnym neinformatívnym podnetom 50% (3 rôzne SOA)
5. prostredie s sluchovým informatívnym podnetom 100% (3 rôzne SOA)
6. prostredie s sluchovým informatívnym podnetom 80% (3 rôzne SOA)
7. prostredie s sluchovým neinformatívnym podnetom 50% (3 rôzne SOA)

V prostredí s informatívnym podnetom je najprv prezentovaný podnet, po ktorom zaznie cieľový zvuk z tej istej strany ako podnet. Rozlišujeme ešte 100% informatívny (prostredie 2 a 5) a 80% informatívny (prostredie 3 a 6). 100% vždy napovedá správnu stranu, 80% informatívny môže v 20% prezentácií subjekt „oklamať“, t.j. cieľový zvuk zaznie na opačnej strane ako podnet. Ak v prostredí s 80% informatívnym podnetom zaznie cieľový zvuk z rovnakej strany ako podnet, označujeme ho ako platný (valid), ak zaznie z opačnej strany ako podnet označujeme ho ako neplatný (invalid).

Prostredie s neinformatívnym podnetom (50%) neposkytuje subjektom žiadnu informáciu o tom, kde zaznie cieľový zvuk, pretože až v 50% prezentácií sú „oklamani“. Podobne ako v 80% informatívnom prostredí rozlišujeme platné a neplatné podnety.

Pri informatívnych podnetoch môžu fungovať oba mechanizmy pozornosti (t.j. endogénna aj exogénna), zatiaľ čo pri informatívnych/neinformatívnych neplatných podnetoch funguje len exogénna pozornosť.

Každé prostredie 2-7 bolo odmerané so SOA 400ms, 800ms a 1600ms.

Použité meracie zariadenia:

- štandardné PC, 15“ monitor, štandardná klávesnica
- profesionálna zvuková karta ECHO DARLA 20
- profesionálne slúchadlá ETYMOTIC RESEARCH ER-4B

5.6 Merané subjekty

Experimentov sa zúčastnilo 8 dobrovoľných subjektov (5 žien vo veku 20, 22, a 31 rokov a 3 muži vo veku 22, 23 rokov), jeden subjekt nedokončil meranie a jeden bol vyradený kvôli vysokej nepresnosti a neúnosnému počtu preklepov (až takmer 20% z celkového počtu odpovedí).

Každý subjekt bol pred hlavným experimentom podrobený testu sluchu, tzv. audiogramu. Takto boli získané prahy počuteľnosti pre rôzne frekvencie (125Hz, 250Hz, 500Hz, 1kHz, 2kHz, 4kHz, 8kHz), pre obe uši zvlášť. Všetky subjekty mali sluch v norme (príloha A).

Subjekty boli rozdelené do dvoch skupín. Prvá skupina vykonávala experiment s pomocným polkruhom (obr. 5.3.2.1a), subjekty teda neboli nútené vytvárať si vlastnú mapu prostredia. Druhá skupina nemala k dispozícii pomocný polkruh (obr. 5.3.2.1b), orientácia v priestore bola preto zložitejšia. Predpoklad bol taký, že prvá skupina bude v odpovediach presnejšia a pohotovejšia ako druhá.

6 Výsledky analýzy dát

Pred samotnou analýzou bolo potrebné predspracovanie dát, t.j. ich očistenie od nezmyselných odpovedí podľa objektívneho kritéria, nakoľko sa ukázalo, že príliš ovplyvňujú výsledky. Za objektívne kritérium bol zvolený „preklep“ a v tomto kontexte budeme pod týmto pojmom rozumieť odpoveď na opačnej strane ako bol prezentovaný cieľový zvuk (predpoklad, že subjekt vždy musí vedieť určiť správnu stranu odkiaľ cieľový zvuk prišiel). Predspracovanie dát ale pri veľkom počte preklepov spôsobilo, že niektoré hodnoty v súbore dát chýbali a priemery boli vypočítané bez nich.

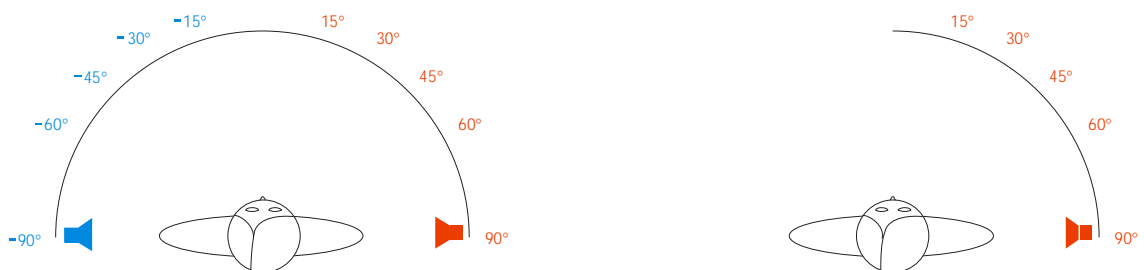
Dáta boli vyhodnocované dvakrát. Najprv boli vyhodnotené originálne dáta, zvlášť z ľavej a zvlášť z pravej strany (obr. 6.1a). Potom boli preklopené (vychádzajúc z predpokladu, že obe uši aj hemisféry mozgu sú symetrické) tak, že dáta z ľavej strany (po úprave znamienka) boli pridané k dátam z pravej strany. Týmto bol zdvojnásobený počet odpovedí pre každý azimut, dosiahla sa vyššia štatistická sila (obr. 6.1b).

Dáta boli analyzované cez ukazovatele ako RMS chyba (root mean square

$$\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (t-a)^2}{n}}, \text{ kde } t \text{ je azimut prezentovaného cieľového zvuku, } a \text{ je odpovedaný azimut a } n$$

je počet meraní), stredná absolútna hodnota chyby ($\frac{\sum_{i=1}^n \text{abs}(t-a)}{n}$), koeficienty korelácie a stredné hodnoty odpovedaných azimutov.

V nasledujúcej kapitole sú prezentované súhrnné výsledky analýzy, ako priemery spomínaných ukazovateľov cez subjekty. Errorbary znázorňujú štandardnú chybu priemeru definovanú ako ($\frac{s_n}{\sqrt{n}}$, kde n je počet subjektov a σ štandardná odchýlka)

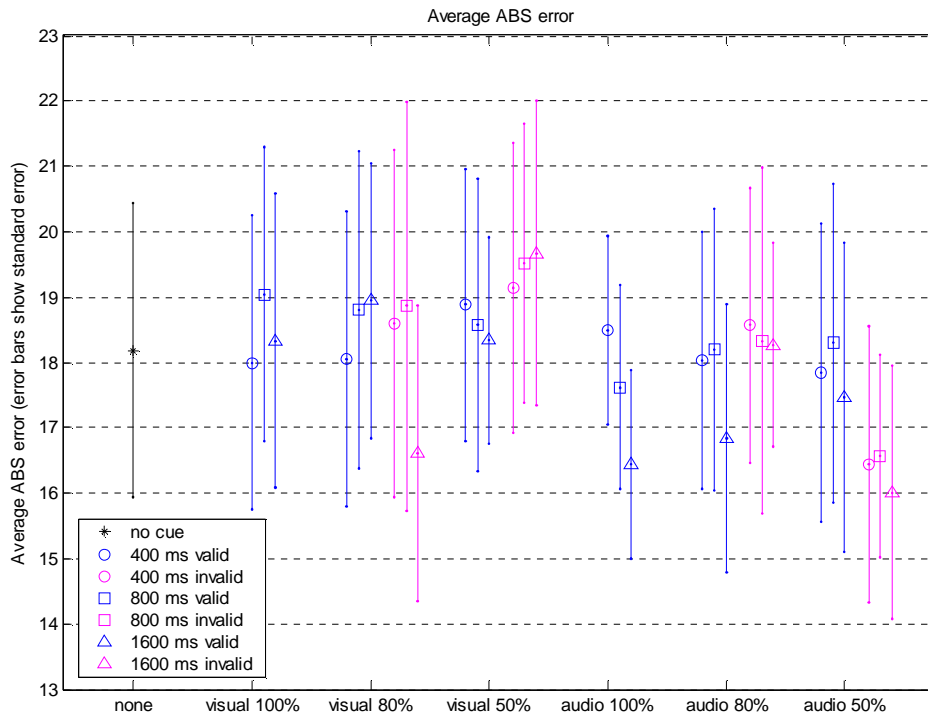


Obr. 6.1a,b Schéma dát

Na obrázku 6.1a (vľavo) sú znázornené originálne nazbierané dáta, vpravo (6.1b) preklopené.

6.1 Analýza originálnych dát

V tejto kapitole sú uvedené výsledky experimentov vyjadrené priemernými hodnotami výsledkov jednotlivých subjektov. V grafoch je vynesena aj štandardná chyba priemeru. Na analýzu boli použité originálne dáta (ďalej len OD, pozri obr. 6.1a). V prvej časti kapitoly (obr. 6.1.1, 6.1.2) je popísaná priemerná stredná absolútna chyba a efekt podnetu na strednú absolútnu chybu. V závere kapitoly (obr. 6.1.3a,b) sú popísané priemerné korelácie zvlášť pre cieľové zvuky prichádzajúce z ľavej a pravej strany.



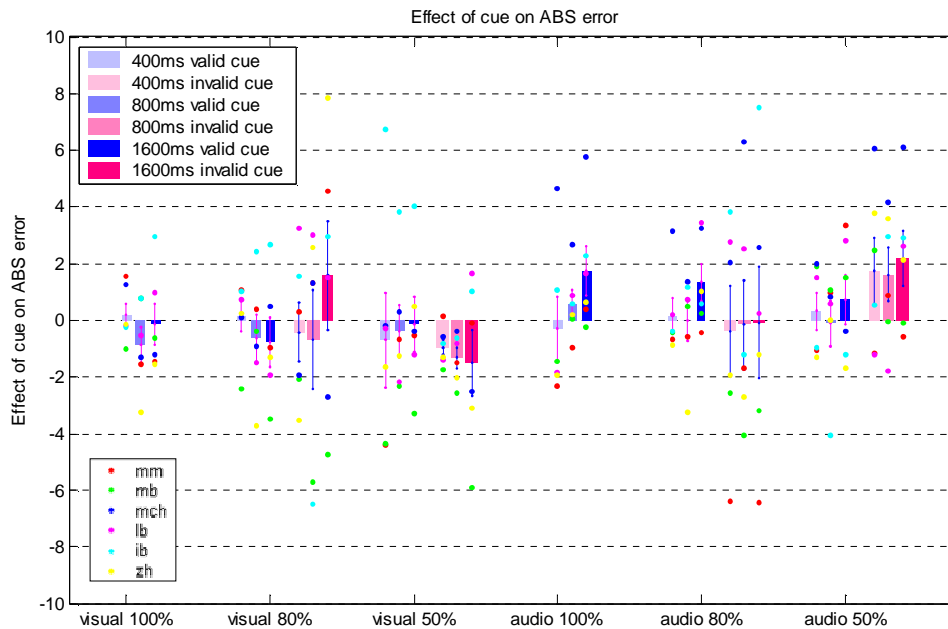
Obr. 6.1.1 Priemerná strednej absolútna chyba subjektov (a štandardná chyba priemeru) vynesená ako funkcia typu prostredia pre všetky typy prostredia a všetky SOA použité v experimente.

Na obrázku 6.1.1 je znázornená priemerná hodnota strednej absolútnej chyby subjektov (v stupňoch) a štandardná chyba priemeru (errorbar) pre všetky typy prostredia (1-7, pozri kap. 5.5) a všetky SOA použité v experimente.

Z obrázku je zrejmé, že subjekty odpovedali najpresnejšie pri neplatných podnetoch v audio 50% prostredí. Ako vidieť aj z nasledujúceho obrázka (6.1.2) efekt je konzistentný pre SOA 1600ms. V audio prostrediach je ďalej pozorovateľné výrazné zvýšenie presnosti pre SOA 1600ms oproti ostatným SOA (až o 1°), a zároveň presnosť so znižujúcou sa informatívnosťou podnetu klesala. Tento efekt je konzistentný, čo je zrejmé ako z obr. 6.1.2, tak aj s obrázkov v Obrazovej prílohe DP.

Jediný systematický efekt pozorovaný vo video prostrediach je ten, že pri prezentovaní neinformatívnych (50%) neplatných podnetov sa presnosť zhoršila. Okrem tohto trendu nie je vo video prostrediach badateľný žiadny iný.

Z uvedeného vyplýva, že podnet so SOA 1600ms pomáhal v 100% aj 80% informatívnom audio prostredí.

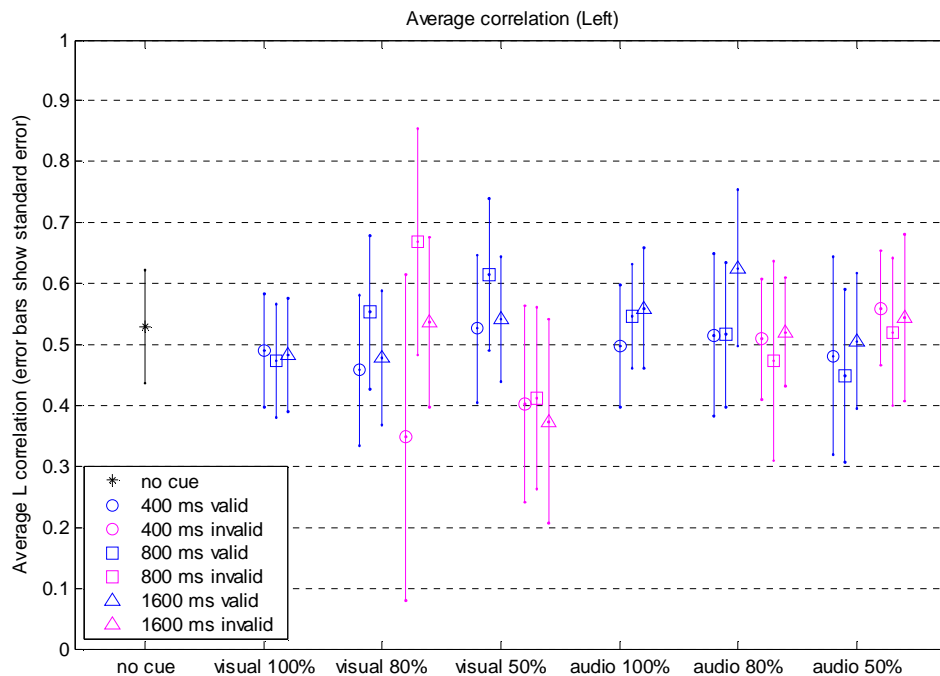


Obr. 6.1.2 Priemerný vplyv typu podnetu na priemernú strednú absolútnu chybu subjektov spolu s vplyvmi typu podnetu na jednotlivé subjekty (vyznačené farebnými bodkami) a štandardnou chybou priemeru (vyznačenou errorbarmi) pre všetky typy prostredia a všetky SOA.

Obrázok 6.1.2 znázorňuje priemerný vplyv typu podnetu (vypočítaný ako rozdiel priemernej strednej absolútnej chyby v prostredí bez podnetu a v prostrediach s podnetom) na priemernú strednú absolútnu chybu subjektov. Aby bolo jednoduchšie identifikovateľné, ktorý pozorovaný efekt je konzistentný a ktorý nie, farebnými bodmi boli vynesené aj vplyvy typu podnetu na strednú absolútnu chybu jednotlivých subjektov.

Najväčší efekt (pozitívny) mal neinformatívny (50%) neplatný zvukový podnet a to pre všetky SOA, konzistentne však len pre 1600ms. Zlepšil tu presnosť lokalizácie o cca 2°. Vo video prostredí s neinformatívnym (50%) neplatným podnetom, podnet zhoršoval presnosť pre SOA 400ms aj 800ms, výrazne, ale nekonzistentne aj pre SOA 1600ms. Tento typ podnetu zhoršoval presnosť o približne 1 stupeň.

Podobne ako v predošlom obrázku (obr. 6.1.1) je aj tu badateľný (a konzistentný) vplyv SOA 1600ms v audio prostrediach s 100% a 80% informatívnym platným podnetom.

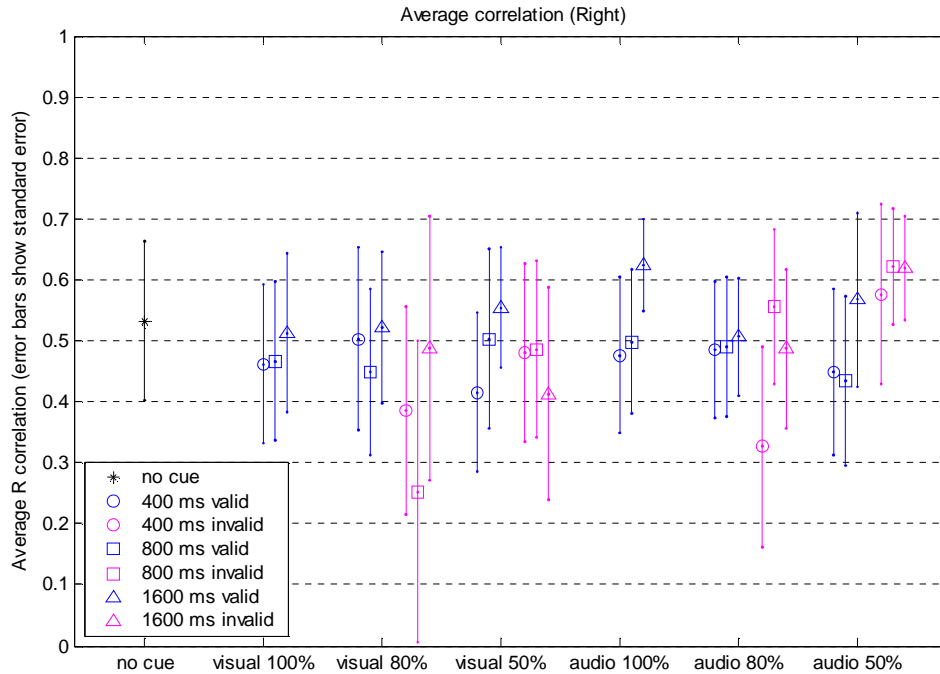


Obr. 6.1.3a Priemerné hodnoty korelačných koeficientov pre ľavú stranu so štandardnou chybou priemeru (vyznačenou errorbarmi) pre všetky typy prostredia a všetky SOA.

Na obrázku 6.1.3a sú vynesené priemerné hodnoty korelačných koeficientov všetkých subjektov ako funkcia typu prostredia a SOA, pre cieľové zvuky prichádzajúce zľava.

Korelačné koeficienty boli vyhodnocované zvlášť pre cieľové zvuky prichádzajúce zľava a sprava. Trendy sú takto zreteľnejšie, pretože subjekty boli takmer vždy schopné určiť správnu stranu odkiaľ zvuk prichádza, ťažšie bolo určiť odkiaľ presne. [12] V tejto štúdii sa tento fakt ukázal ešte viac, odpovede z opačnej strany boli totiž odstránené pri predspracovaní dát.

Priemerné korelačné koeficienty neukazujú žiadne výrazné trendy. Za zmienku stojí, že SOA 1600ms je znova najlepšie (v zmysle vyššej presnosti) oproti ostatným SOA v audio prostrediach. Vo video prostrediach efekt SOA 1600ms nebol pozorovaný.



Obr. 6.1.3b Priemerné hodnoty korelačných koeficientov pre pravú stranu so štandardnou chybou priemeru (vyznačenou errorbarmi) pre všetky typy prostredia a všetky SOA.

Na obrázku 6.1.3b sú vynesené priemerné hodnoty korelačných koeficientov (podobne ako 6.1.3a), pre cieľové zvuky prichádzajúce sprava.

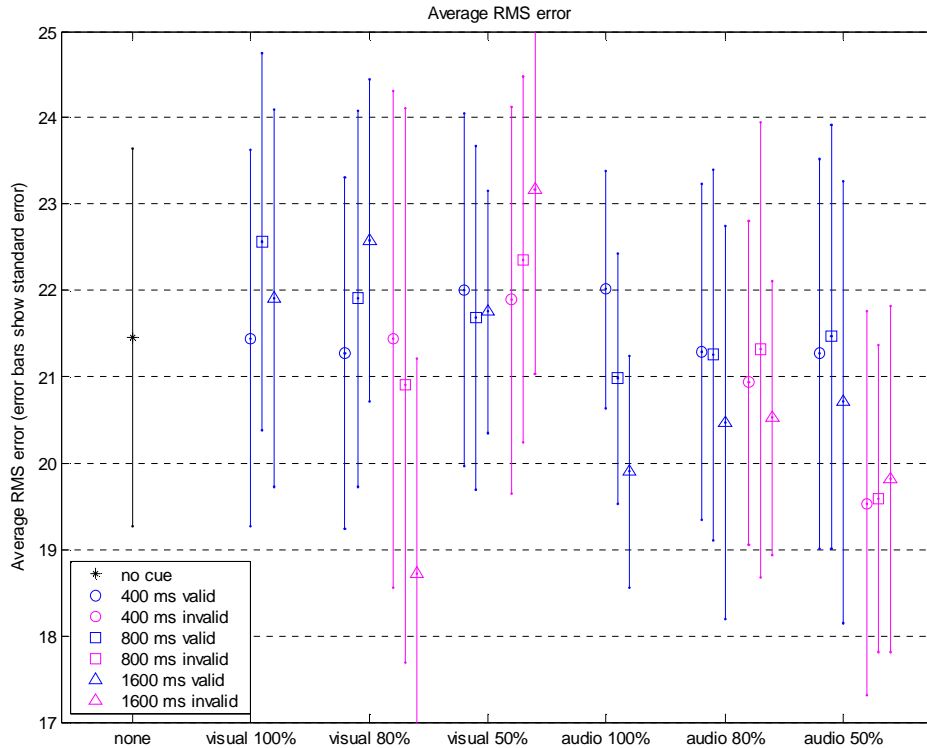
Znova je pozorovateľný efekt SOA 1600ms, tentoraz aj pre audio aj pre video prostredia s platným podnetom s výnimkou audio 80%. V audio prostrediach 100% a 50% (s platným podnetom) bola presnosť vyššia ako v prostredí bez podnetu len pri SOA 1600ms. Vo video prostrediach (s platným podnetom) boli subjekty pri SOA 1600ms vždy presnejšie ako pri ostatných SOA, vyššia presnosť ako v prostredí bez podnetu však bola dosiahnutá len v prostredí s neinformatívnym (50%) podnetom.

Pri neplatných podnetoch vo video prostrediach bolo pozorované výrazné zhoršenie presnosti (hlavne pre 80%), štandardné chyby však ukazujú na veľké rozdiely medzi subjektmi, tomuto javu sa teda nedá príliš dôverovať.

Ak zhrnieme výsledky korelačných koeficientov pre obe strany (obr. 6.1.3a a 6.1.3b), môžeme povedať, že presnosť výraznejšie ovplyvňovali iba podnety so SOA 1600ms.

6.2 Analýza preklopených dát

V tejto kapitole, podobne ako v 6.1, sú uvedené výsledky experimentov vyjadrené priemernými hodnotami výsledkov jednotlivých subjektov. Na analýzu tu však boli použité preklopené dáta (ďalej len PD, pozri obr. 6.1b), ktoré skúmajú iba jednu hemisféru. Ukázalo sa, že predpoklad, že obe hemisféry sú symetrické sa potvrdil, preto boli na preklopených dátach urobené aj ďalšie (hlbšie) analýzy. V prvej časti kapitoly (obr. 6.2.1, 6.2.2) je popísaná priemerná RMS chyba a efekt podnetu na RMS chybu. V ďalšom (obr. 6.2.3, 6.2.4) je popísaná priemerná absolútna chyba spolu s efektom podnetu a priemerné štandardné odchýlky (obr. 6.2.5, 6.2.6). V závere kapitoly sú popísané priemerné korelácie aj s efektom podnetu (obr. 6.2.7, 6.2.8) (tu už iba pre jednu hemisféru).

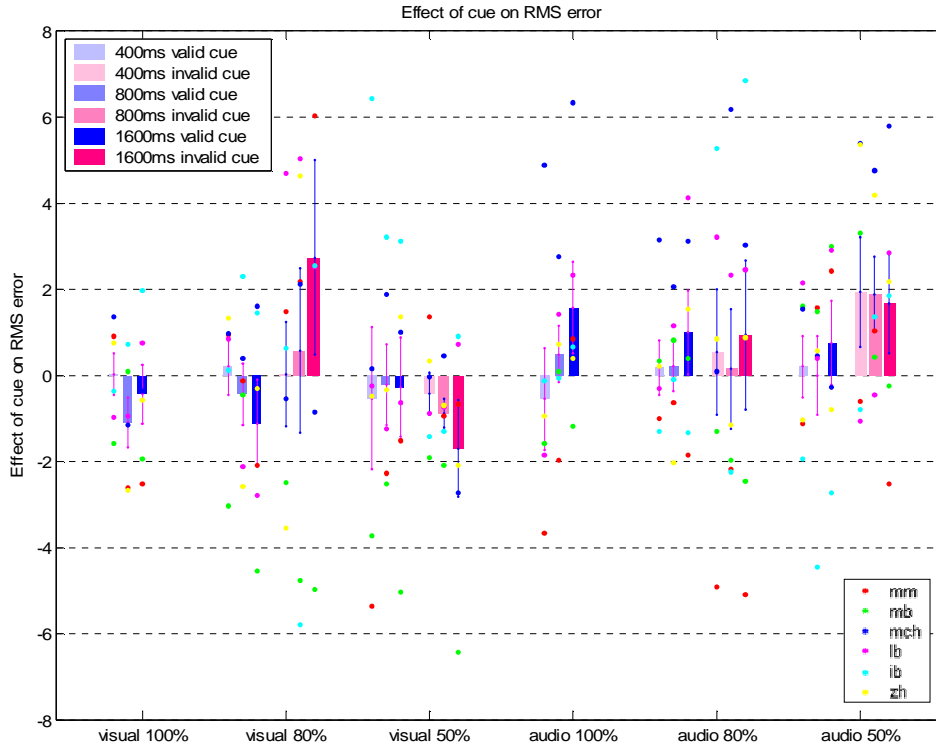


Obr. 6.2.1 Priemerná hodnota RMS chyby subjektov (a štandardná chyba priemeru) vynesená ako funkcia typu prostredia pre všetky typy prostredia a všetky SOA použité v experimente.

Na obrázku 6.2.1 sú vynesené priemerné hodnoty RMS chyby subjektov (v stupňoch) a štandardná chyba priemeru (errorbar) pre všetky typy prostredí a všetky SOA.

Je viditeľné, že subjekty odpovedali najpresnejšie pri neplatných podnetoch v prostredí s video podnetom 80% a v prostrediach s audio podnetom 80% aj 50%. Konzistentné sú však iba hodnoty v audio 50% prostredí (všetky SOA) a video 80% len SOA 1600ms (viditeľné na obr. 6.2.2, a na individuálnych grafoch RMS chyby v Obrazovej prílohe DP). V audio prostrediach je pozorovateľné výrazné zvýšenie presnosti pre SOA 1600ms oproti ostatným SOA (približne $0,5^{\circ}$ - 1°), a zároveň presnosť so znižujúcou sa informatívnosťou podnetu klesala. Tento efekt je ale konzistentný iba pre audio 100% platné prostredie, čo je zrejme ako z obr. 6.2.2, tak aj s obrázkov v Obrazovej prílohe DP.

Z uvedeného vyplýva, že podnet so SOA 1600ms výrazne pomáhal, ale len v audio prostrediach.



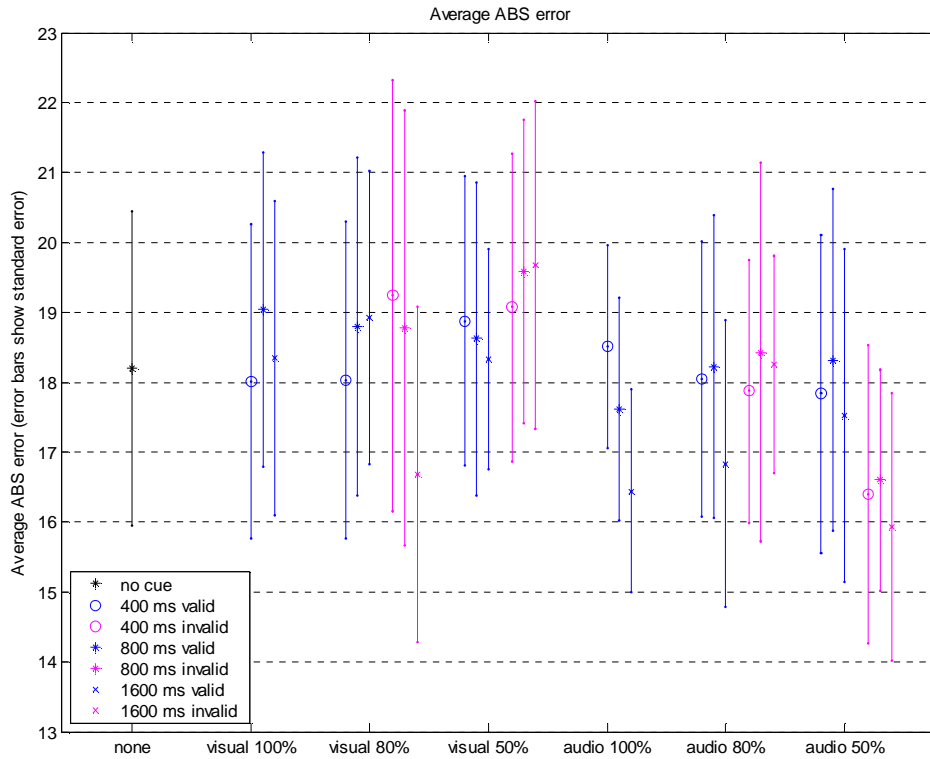
Obr. 6.2.2 Priemerný vplyv typu podnetu na priemernú RMS chybu subjektov spolu s vplyvmi typu podnetu na jednotlivé subjekty (vyznačené farebnými bodkami) a štandardnou chybou priemeru (vyznačenou errorbarmi) pre všetky typy prostredia a všetky SOA.

Obrázok 6.2.2 znázorňuje priemerný vplyv typu podnetu (vypočítaný ako rozdiel priemernej RMS chyby v prostredí bez podnetu a v prostrediach s podnetom) na priemernú RMS chybu subjektov. Podobne ako v 6.1.2 boli farebnými bodmi vynesené aj vplyvy typu podnetu na RMS chyby jednotlivých subjektov.

Najväčší pozitívny efekt na RMS chybu mal neplatný podnet v audio 50% prostredí a to konzistentne pre všetky SOA. Presnosť lokalizácie sa v tomto prostredí zlepšila o cca 2°. Podobne (ale konzistentne len pre SOA 1600ms) tomu bolo aj vo video prostredí 80%. Ďalší konzistentný efekt je vo video prostredí s neinformatívnym (50%) neplatným podnetom pre SOA 800ms a 1600ms (rovnako ako v obr. 6.1.2).

Efekt SOA 1600ms v audio prostrediach s platným podnetom je tu konzistentný len v audio 100%.

Pozorované efekty v 6.2.2 sú takmer identické ako v 6.1.2, aj z tohto je teda možné potvrdiť, že subjekty odpovedali symetricky na oboch stranách.



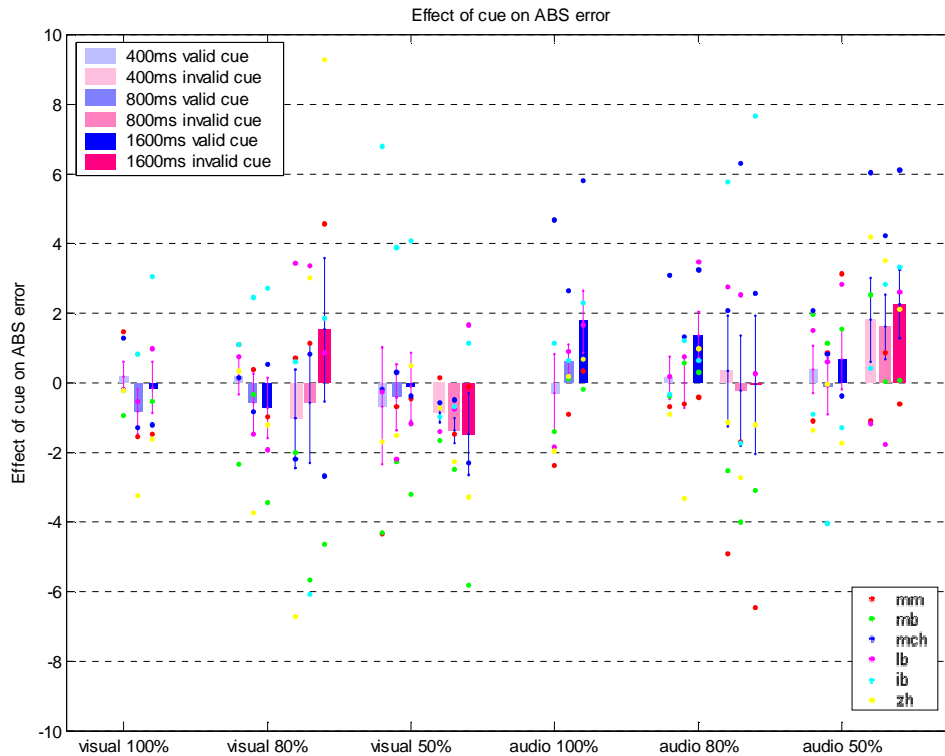
Obr. 6.2.3 Priemerná hodnota strednej absolútnej chyby subjektov (a štandardná chyba priemeru) vynesená ako funkcia typu prostredia pre všetky typy prostredia a všetky SOA použité v experimente.

Na obrázku 6.2.3 sú vynesené priemerné hodnoty stredných absolútnych chýb subjektov (v stupňoch) pre všetky merané prostredia a všetky SOA. Štandardné chyby priemeru sú opäť vynesené pomocou errorbarov.

Zdá sa, že vzhľadom na veľké odchýlky v odpovediach medzi sedeniami (trial to trial) jednotlivých subjektov (viditeľné na individuálnych grafoch v Obrazovej prílohe DP), je stredná absolútna chyba ($\frac{\sum_{i=1}^n abs(t-a)}{n}$) lepším ukazovateľom ako RMS

chyba ($\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t-a)^2}{n}}$), nakoľko neprihliada na odľahlé body v takej miere ako RMS. Z toho

dôvodu sú hodnoty strednej absolútnej chyby menšie ako RMS v každom prostredí. Aj napriek tomu však väčšina trendov pozorovaná v 6.2.1 ostala zachovaná aj v 6.2.3.

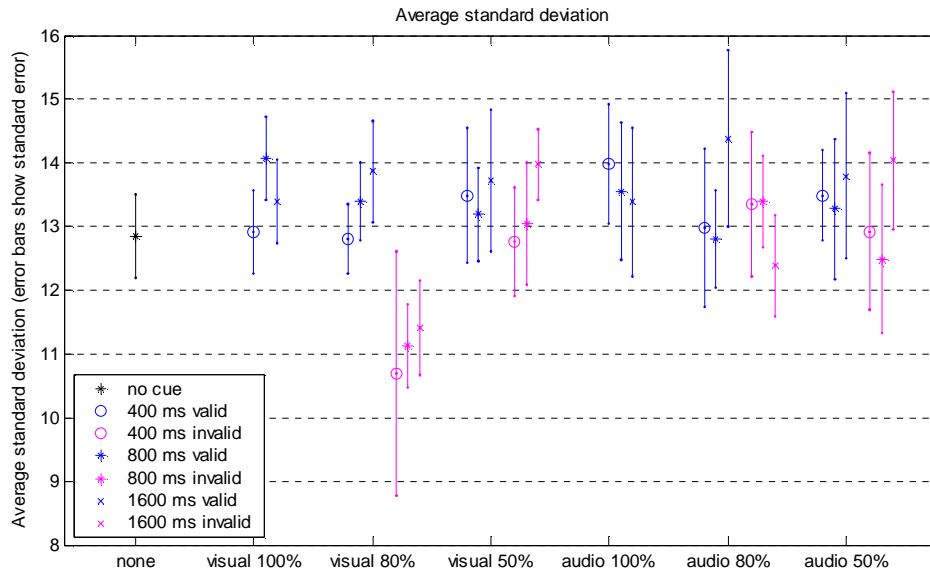


Obr. 6.2.4 Priemerný vplyv typu podnetu na priemernú absolútnu chybu subjektov spolu s vplyvmi typu podnetu na jednotlivé subjekty (vyznačené farebnými bodkami) a štandardnou chybou priemeru (vyznačenou errorbarmi) pre všetky typy prostredia a všetky SOA.

Obrázok 6.2.4 znázorňuje vplyv typu podnetu na priemernú absolútnu chybu subjektov. Spolu s priemerami cez subjekty sú do obrázku vynesené aj hodnoty jednotlivých subjektov (farebné body).

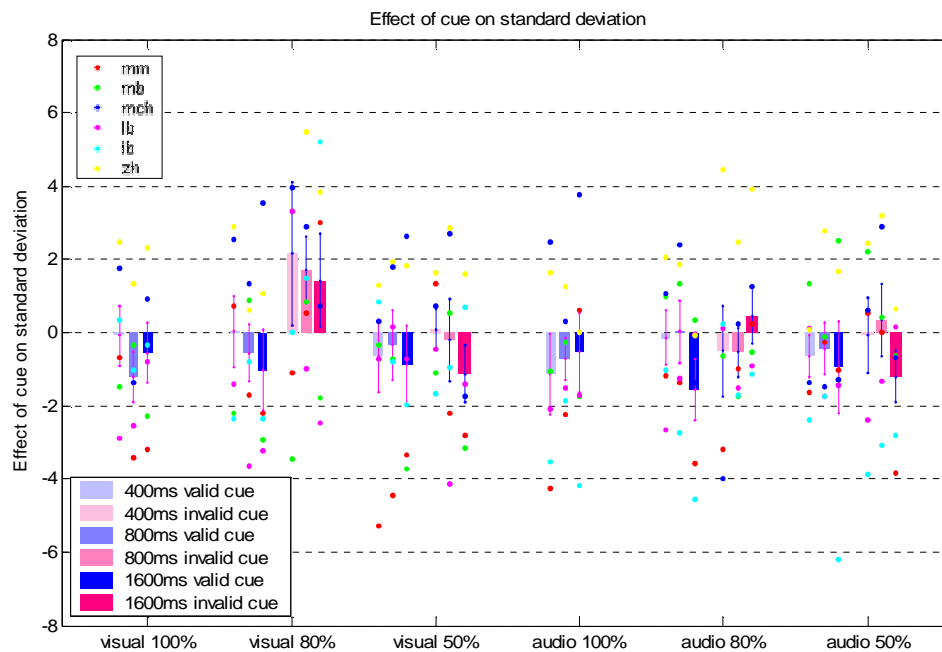
Ako konzistentné sa javí zhoršenie presnosti pri prezentovaní vizuálneho neinformatívneho (50%) podnetu a to pre všetky SOA okrem 1600ms. Pre SOA 1600ms je síce zhoršenie presnosti najvýraznejšie, ale je nekonzistentné (obr. 6.2.4). Vo video prostrediach nie je okrem tohto badateľný žiadny iný jav.

V audio prostrediach môžeme pozorovať pozitívny efekt podnetu so SOA 1600ms a to pri jeho 100% aj 80% platnosti konzistentne. Zlepšoval presnosť subjektov takmer o 2°. Najväčší (pozitívny) efekt mal však neinformatívny neplatný zvukový podnet (konzistentne pre SOA 1600ms).

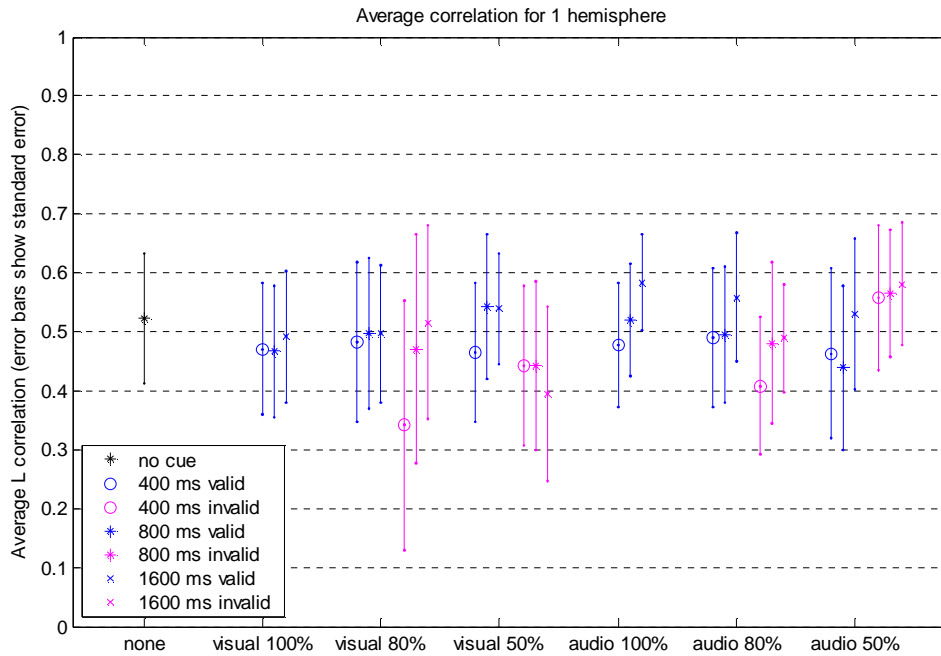


Obr. 6.2.5 Priemerná hodnota štandardnej odchýlky všetkých subjektov so štandardnou chybou priemeru (vyznačenou errorbarmi) pre všetky typy prostredia a všetky SOA.

Na obrázku 6.2.5 sú vynesené priemerné hodnoty štandardnej odchýlky odpovedí (ako priemer priemerov cez azimuty) pre všetky subjekty. Žiadne významné trendy v tomto obrázku neboli pozorované, súdime z toho, že podnet nemal žiadny vplyv na štandardnú odchýlku odpovedí subjektov. Podobne je tomu aj v obr. 6.2.6.



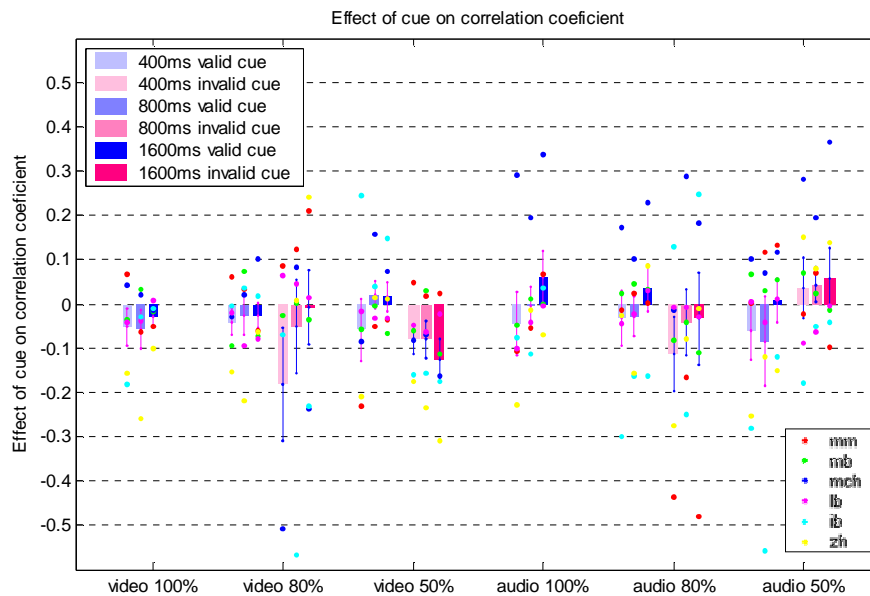
Obr. 6.2.6 Priemerný vplyv typu podnetu na priemernú štandardnú odchýlku subjektov spolu s vplyvmi typu podnetu na jednotlivé subjekty (vyznačené farebnými bodkami) a štandardnou chybou priemeru (vyznačenou errorbarmi) pre všetky typy prostredia a všetky SOA.



Obr. 6.2.7 Priemerné hodnoty korelačných koeficientov (pre 1 hemisféru) so štandardnou chybou priemeru (vyznačenou errorbarmi) pre všetky typy prostredia a všetky SOA.

Na obrázku 6.2.7 sú znázornené korelačné koeficienty ako priemery všetkých subjektov spolu so štandardnou chybou priemeru (tradične vyznačenou errorbarmi).

Analýza korelačných koeficientov (resp. ich priemerov cez subjekty) v preklopených dátach neukázala žiadne zmeny oproti originálnym dátam (obr. 6.1.3a,b), iba potvrdila prípadne spresnila niektoré hodnoty. Korelačné grafy asi najviac zo všetkých potvrdili základný predpoklad, t.j. že obe uši aj mozgové hemisféry sú symetrické, pretože priemerné korelácie pre jednu hemisféru (obr. 6.2.7) sú veľmi podobné priemerným koreláciám osobitne pre zvuky prichádzajúce zľava a sprava (obr. 6.1.3a,b), s výnimkou audio aj video prostredia s neplatným podnetom s 80% platnosťou, kde sú rozdiely najväčšie.



Obr. 6.2.8 Vplyv podnetu na korelačné koeficienty (pre 1 hemisféru) so štandardnou chybou priemeru (vyznačenou errorbarmi) pre všetky typy prostredia a všetky SOA.

Na rozdiel od analýzy originálnych dát, bol v preklopených dátach analyzovaný aj vplyv typu podnetu na korelačné koeficienty (obr. 6.2.8). Obrázok 6.2.8 znázorňuje tento vplyv, ako aj vplyvy podnetu na korelačné koeficienty osobitne pre jednotlivé subjekty (znázornené farebnými bodmi). Jediný konzistentný efekt pozorovaný v tomto obrázku je však iba vplyv neplatného neinformatívneho vizuálneho podnetu na zhoršenie presnosti (nižší koeficient korelácie).

6.2.1 ANOVA test signifikancie

Analýza rozptylu (ANalysis Of VAriance) skúma závislosť intervalovej premennej Y na jednej alebo viacerých nominálnych premenných X (faktoroch). Výberový súbor sa rozdelí na skupiny podľa jednotlivých obmien faktorov a testuje sa, či sú namerané rozdiely medzi priemerami skupín iba náhodné, alebo štatisticky významné. Ak sa priemery týchto skupín významne líšia, je takýto faktor štatisticky významný, teda závislá premenná skutočne závisí od faktora. Výhodou viacfaktorovej analýzy rozptylu oproti jednofaktorovej je vyššia sila (na zachytenie významného efektu stačí menej pozorovaní), možnosť testovania interakcií medzi faktormi a komplexných hypotéz.

V tejto štúdii sme dvojfaktorovému ANOVA testu podrobili priemerné výsledky (stredné absolútne chyby odpovedí v jednotlivých prostrediach) jednotlivých subjektov. Z testu vyplynulo, že podnet má efekt na strednú absolútnu chybu ($p=0.089$), SOA nemá žiaden efekt ($p=0,3388$) a neexistujú žiadne interakcie medzi faktormi (t.j. medzi SOA a typom podnetu).

Podrobnosti, ako aj postup pri ANOVA teste, sú zrejme zo Systémovej príručky DP (časť Zdrojový kód)

6.2.2 Porovnanie dvoch skupín subjektov

Ako bolo uvedené v kapitole 5.6, subjekty boli rozdelené do dvoch skupín. Prvá skupina vykonávala experiment s pomocným polkruhom (obr. 5.3.2.1a), subjekty teda neboli nútené vytvárať si vlastnú mapu prostredia. Druhá skupina nemala k dispozícii pomocný polkruh (obr. 5.3.2.1b), orientácia v priestore bola preto zložitejšia. Predpoklad bol taký, že prvá skupina bude v odpovediach presnejšia a pohotovejšia ako druhá. Kvôli obrovským rozdielom medzi subjektmi však tento predpoklad nebolo možné potvrdiť ani vyvrátiť.

V prvej skupine boli subjekty MM, MB a MCH, a v druhej LB, IB a ZH. Ako je vidieť z obrázkov 1.2.9a,b v Obrazovej prílohe DP, už v prostredí bez podnetu je variancia príliš vysoká nato, aby sa dalo vyhodnotiť či bola lepšia prvá, alebo druhá

skupina. Podrobnejšie analýzy priemerných odpovedí pre jednotlivé azimuty (z obrázkov 3.2.x.4 v OP DP, kde x je číslo subjektu od 1 po 6) taktiež neukázali zásadné rozdiely v odpovediach prvej a druhej skupiny. Priemerný reakčný čas odpovedí, tiež neukázal žiadne významné rozdiely.

7 Záver

7.1 Zhodnotenie hypotéz

Hypotéza 1:

Prítomnosť informatívneho platného podnetu (pozri kapitolu 5.5), ktorý napovie subjektom na ktorú oblasť sa sústrediť, priaznivo ovplyvní presnosť lokalizácie.

Hodnotenie:

Z grafov 6.1.2 a 6.2.4 je zrejmé, že v prostrediach so zvukovým podnetom mal informatívny podnet priaznivý vplyv na presnosť lokalizácie len pre SOA 1600ms. V audio neinformatívnom (50%) prostredí však pomáhal aj neplatný podnet. Znamená to teda, že hypotéza sa potvrdila iba z časti.

Hypotéza 2:

Efekt pozornosti bude väčší pre endogénnu ako pre exogénnu pozornosť, t.j. subjekty budú presnejšie, ak budú vďaka podnetu vedome zamerané na oblasť, z ktorej cieľový zvuk (target) skutočne príde, a menej presné, keď príde target z neočakávanej oblasti.

Hodnotenie:

Takisto z grafov 6.1.2 a 6.2.2 je zrejmé, že hypotéza bola vyvrátená. Subjekty boli totiž paradoxne lepšie, ak im bol prezentovaný neplatný podnet, a to v prostrediach so zvukovým podnetom a z časti aj v prostrediach s vizuálnym podnetom.

Hypotéza 3:

Efekt pozornosti bude väčší pre vyššie SOA, teda vtedy, ak bude medzi podnetom a cieľovým zvukom dlhšia pauza.

Hodnotenie:

Tento efekt je najviac badateľný v audio prostrediach a vtedy ak je podnet platný. Pri SOA 1600ms subjekty dosahovali omnoho vyššiu presnosť. Vo video prostrediach tomu tak nie je. Hypotéza je teda potvrdená iba z časti.

7.2 Zhrnutie a diskusia

Experimenty ukázali, že štúdium sluchovej pozornosti vyvolanej sluchovými a zrakovými podnetmi nie je jednoduché. Subjekty vykazujú veľké rozdiely v odpovediach a to medzi jednotlivými sedeniami (trial to trial), ako aj navzájom medzi sebou (pozri individuálne grafy v Obrazovej prílohe DP). Táto skutočnosť bola zistená už v [3]. Aj napriek tomu však výsledky ukazujú určité trendy, ktoré stoja za pozornosť.

V audio prostrediach 100% aj 80% informatívny podnet so SOA 1600ms signifikantne zvýšil presnosť lokalizácie. Tento efekt je viditeľný takmer na všetkých obrázkoch ako pri analýze originálnych, tak aj preklopených dát (ako ja na obrázkoch v Obrazovej prílohe DP). Podobne to platí aj pre 80% a 50% informatívne podnety, aj keď už nie úplne konzistentne.

Ďalší pozorovaný efekt v audio prostrediach je ten, že pre SOA 1600ms subjekty dosahovali vyššiu presnosť o cca $0,5^\circ - 1^\circ$ oproti ostatným SOA.

Vo video prostrediach priemery RMS aj absolútnej chyby ukazujú opačný efekt informatívneho podnetu, ale nakoľko je v dátach jednotlivých subjektov veľká variácia, nedá sa mu príliš dôverovať.

V audio prostredí je ale zaujímavý efekt neplatných neinformatívnych (50%) podnetov (obr. 6.2.2, 6.2.4). Po hlbšej analýze individuálnych grafov (Obrazová príloha DP) sa zdá, že je to spôsobené tým, že subjekty mali štandardne tendenciu „prestrelovať“ a táto tendencia sa zmenšila, keď podnet prišiel z druhej strany ako cieľový zvuk.

Otázkou ale ostáva, či subjekty pri odpovediach (keď bol prezentovaný platný podnet) skutočne zapájali endogénnu pozornosť. Po veľkom počte prezentácií podnetu, sa mohlo stať, že subjekty ho spracovávali a vyhodnocovali iba rutinne (preatentívne?) alebo ho úplne ignorovali.

Niektorí ľudia sa vedia sústrediť viac, niektorí menej. Niektorí sú lepší v lokalizácii (vedia si rýchlo vytvoriť mapu okolitého prostredia), niektorí menej. Pozorovaná veľká variácia medzi subjektmi môže byť spôsobená práve tým.

V ďalších experimentoch je nutné sústrediť sa na to, aby sa subjekty na podnety sústredili, a aby neboli ničím rušené. Ideálne by bolo vykonať podobný experiment v anechoickej miestnosti s reálnymi reproduktormi ako zdrojmi zvuku (tak ako [2, 3]),

ale s omnoho vyšším počtom subjektov. Možno by bolo zaujímavé tieto subjekty potom rozdeliť do skupín podľa psychických vlastností (schopnosť učiť sa, sústrediť sa, orientovať sa v priestore, ...) a vyhodnotiť vplyv podnetu na lokalizáciu zvukov zvlášť pre každú skupinu.

Bibliografia

- [1] SACH A.J., HILL N.I. AND BAILEY P.J.: *Auditory Spatial Attention Using Interaural Time Differences*, American Psychological Association Inc., 2000
- [2] KOPČO N., LER. A, SHINN-CUNNINGHAM B.G.: Effect of auditory cuing on azimuthal localization accuracy, *J. Acoust. Soc. Am.* 109(5), 2377 (Presented at 141th meeting of the Acoustical Society of America, Atlanta, GA), 2001, dostupné na Internet: <http://cns.bu.edu/~kopco/Pubs.html>
- [3] KOPČO N., SHINN-CUNNINGHAM B.G.: *Effect of cuing on sound localization accuracy in a room*, Presented at the MidWinter meeting of the Association for Research in Otolaryngology, Jan 27-31, 2002, St. Petersburg, Florida., 2002, dostupné na Internet: <http://cns.bu.edu/~kopco/Pubs.html>
- [4] KOPČO N. et al., *Click vs. Click-Click: Influence of a preceding stimulus on sound localization*, Presented at the 28th MidWinter meeting of the Association for Research in Otolaryngology, New Orleans, LA, February 19-24, 2005, dostupné na Internet: <http://cns.bu.edu/~kopco/Pubs.html>
- [5] KOPČO N.: *Výpočtová neuroveda: prednášky k predmetu*, 2003, Dostupné na Internet: <http://neuron.tuke.sk/~kopco/kui440>
- [6] PETERKOVÁ M.: *Senzorické procesy, vnímání a pozornost*, dostupné na Internet: <http://www.sweb.cz/psychologie/x.psy.zakl/pg.zp8.htm>, 2004
- [7] HUNT A.R., KINGSTONE A., *Covert and overt voluntary attention: linked or independent?*, 2003, dostupné na Internet: <http://bar.psych.ubc.ca/PDF/CBRHunt.pdf>
- [8] YOST W. A.: *Fundamentals of hearing, Fourth edition*, Academic Press 2000, ISBN 0-12-775695-7
- [9] CARTERETTE E.C., FRIEDMAN M.P.: *Handbook of perceptioin, volume IV*, Academic Press 1978
- [10] SPENCE CH. J. AND DIVER J.: *Covert Spatial Orienting in Audition: Exogenous end Endogenous Mechanisms*, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, Vol. 26, No 2, 717-729, .2000
- [11] HUNT A. R., KINGSTONE A., *Inhibition of Return: Dissociating Attentional and Oculomotor Components*, 2003, dostupné na Internet: <http://bar.psych.ubc.ca/PDF/JEPHunt.pdf>
- [12] OBRIN M., *Sluchová pozornosť a lokalizovanie zvukov vo virtuálnom prostredí*, Diplomová práca, FEI TU KKUI, 2004

Zoznam príloh

Príloha A – Obrazová príloha

Príloha B – Systémová príručka (+ CD)

Príloha C – Používateľská príručka

Zoznam obrázkov

Obr 2.4.1 Pozornosť ako filter.	14
Obr 2.4.1.1 Schémy modelov „skorých“ filtrov.	15
Obr. 3.1 Zvuk prichádzajúci zo strany	16
Obr. 3.2.1 Vytvorenie „akustického tieňa“	17
Obr. 3.2.2 ITD a ILD ako funkcie frekvencie.....	17
Obr. 3.3.1 Časový priebeh HRTF	18
Obr. 3.5.1 Kužel nejednoznačnosti	19
Obr. 3.5.2 Kontúrové zobrazenie konštantného ITD	20
Obr. 3.5.3a,b Najmenší počuteľný uhol.....	20
Obr. 4.1 Priemerná štandardná odchýlka vnímaného azimutu	22
Obr. 5.3.1.1 ITD použitých HRTF funkcií	25
Obr. 5.3.2.1a,b Schéma experimentu	26
Obr. 5.3.2.2 Výrez časti pomocného polkruhu	26
Obr. 6.1a,b Schéma dát.....	30
Obr. 6.1.1 Priemerná strednej absolútna chyba subjektov.....	32
Obr. 6.1.2 Priemerný vplyv typu podnetu na priem. strednú absol. chybu subjektov ...	33
Obr. 6.1.3a Priemerné hodnoty korelačných koeficientov pre ľavú stranu	34
Obr. 6.1.3b Priemerné hodnoty korelačných koeficientov pre pravú stranu	35
Obr. 6.2.1 Priemerná hodnota RMS chyby subjektov.....	37
Obr. 6.2.2 Priemerný vplyv typu podnetu na priemernú RMS chybu subjektov	38
Obr. 6.2.3 Priemerná hodnota strednej absolútnej chyby subjektov	39
Obr. 6.2.4 Priemerný vplyv typu podnetu na priemernú absolútnu chybu subjektov	40
Obr. 6.2.5 Priemerná hodnota štandardnej odchýlky všetkých subjektov.....	41
Obr. 6.2.6 Priemerný vplyv typu podnetu na priem. štandardnú odchýlku subjektov ...	41
Obr. 6.2.7 Priemerné hodnoty korelačných koeficientov (pre 1 hemisféru)	42
Obr. 6.2.8 Vplyv podnetu na korelačné koeficienty (pre 1 hemisféru).....	43