

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

Precedenčný efekt a vytváranie sluchových perceptuálnych
objektov

Mária HAJDUKOVÁ

DIPLOMOVÁ PRÁCA

2005

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY
Katedra kybernetiky a umelej inteligencie

Precedenčný efekt a vytváranie sluchových perceptuálnych
objektov

DIPLOMOVÁ PRÁCA

Mária Hajduková

Vedúci diplomovej práce:
Konzultant diplomovej práce:

Ing. Norbert Kopčo, PhD.
Ing. Norbert Kopčo, PhD.

Košice, Máj 2005

Analytický list

Autor	Mária Hajduková
Názov práce	Precedenčný efekt a vytváranie sluchových perceptuálnych objektov
Podnázov práce	
Jazyk práce	slovenský
Typ práce	Diplomová práca
Počet strán	63
Akademický titul	
Univerzita	Technická Univerzita v Košiciach
Fakulta	Fakulta elektrotechniky a informatiky (FEI)
Katedra	Katedra kybernetiky a umelej inteligencie
Študijný odbor	Umelá inteligencia
Študijný program	
Mesto	Košice
Vedúci DP	Ing. Norbert Kopčo, PhD.
Konzultanti DP	Ing. Norbert Kopčo, PhD.
Dátum odovzdania	2 Máj 2005
Dátum obhajoby	2 Jún 2005
Kľúčové slová	Precedenčný efekt, prah echa, sluchový objekt, sluchový prúd
Citovanie práce	HAJDUKOVÁ, Mária: Precedenčný efekt a vytváranie sluchových perceptuálnych objektov . Diplomová práca . Košice : Technická Univerzita v Košiciach FEI. 2005. 63 s.
Názov práce v AJ	Precedence effect and auditory perceptual grouping.
Podnázov práce v AJ	
Kľúčové slová v AJ	Precedence effect, echo threshold, auditory object, stream

Abstrakt v SJ

Pri počúvaní v uzavretých miestnostiach sa do našich uší dostávajú okrem zvukov vygenerovaných v okolitom prostredí aj odrazy týchto zvukov od stien. V sluchovej dráhe človeka existuje mechanizmus, ktorý slúži na potlačenie týchto odrazov, t.j., na ich vyradenie z vedomého vnímania. Fungovanie tohto mechanizmu sa dá ilustrovať tzv. precedenčným efektom. Táto diplomová práca študuje interakciu medzi mechanizmom potlačenia odrazov a mechanizmami perceptuálnej organizácie sluchovej scény. V práci sa v behaviorálnom experimente testuje hypotéza, že mozgový mechanizmus pre vytváranie sluchových objektov ovplyvňuje fungovanie mechanizmu potláčania odrazov. Výsledky experimentu naznačujú, že táto hypotéza je správna.

Abstrakt v AJ

Auditory perception in enclosed rooms is influenced by the fact that the sounds that reach our ears include not only the real sounds generated in the environment, but also their reflections off the walls. In the human auditory pathway there is a mechanism for suppressing these reflections, i.e., for their exclusion from conscious perception. The functioning of this mechanism can be illustrated by the so called precedence effect. This diploma work examines the interaction between the mechanism of echo suppression and the mechanisms of perceptual organization of the auditory scene. The diploma work describes a behavioral experiment performed to test the hypothesis that the brain mechanism for auditory perceptual grouping influences the activity of the echo suppression mechanism. The results of the experiment support the hypothesis.

Čestné vyhlásenie

Vyhlasujem, že som celú diplomovú prácu vypracovala samostatne s použitím uvádzanej odbornej literatúry.

Košice, **2 Máj 2005**

.....

vlastnoručný podpis

Pod'akovanie

Ďakujem vedúcemu mojej diplomovej práce a zároveň konzultantovi Ing. Norbertovi Kopčovi, PhD. za trpezlivosť, usmernenie, pripomienky a odbornú pomoc pri vypracovaní diplomovej práce.

Obsah

Úvod	1
1 Formulácia úlohy.....	2
2 Úvod do problematiky	3
2.1 Paralely medzi sluchovým a vizuálnym systémom.....	3
2.2 Priestorové sluchové vnímanie.....	8
2.3 Precedenčný efekt	13
2.4 Organizácia sluchovej scény	18
2.4.1 Analýza sluchovej scény, zoskupovanie.....	18
2.4.2 Vytváranie sluchových objektov.....	20
2.4.3 Všeobecné princípy perceptuálnej organizácie.....	23
2.4.4 Vnímanie časových vzorov (distribúcií).....	24
2.5 Vytváranie sluchových prúdov	25
3 Experiment: Motivácia a hypotézy	29
4 Experimentálne metódy	31
4.1 Generovanie stimulov	31
4.2 Výber subjektov	36
4.3 Proces merania	37
5. Analýza nameraných dát	38
Spoločná analýza	38
6. Záver a zhodnotenie	48
Zoznam použitej literatúry	49
Prílohy	52
Zoznamy	53
Curriculum vitae.....	Chyba! Záložka není definována.

Úvod

Táto práca sa venuje fenoménu pozorovanému v uzavretých miestnostiach. S každým vydaným zvukom sa do uší šíri aj množstvo kópii tohto zvuku, ktoré nepočujeme, respektíve si ich väčšinou neuvedomujeme. Cieľom experimentálnej štúdie popísanej v práci je objasniť mechanizmus potláčania odrazov v súvislosti s adaptáciou sluchového systému závislej na predchádzajúcich zvukových podnetoch.

Úlohou tejto práce je vypracovať prehľad problematiky priestorového vnímania s dôrazom na mechanizmy počúvania v uzavretých miestnostiach, popísať problematiku organizácie sluchovej scény a vytvárania sluchových objektov, popísať vykonané experimentálne meranie, zanalyzovať a zhodnotiť namerané dáta. Podrobnejší prehľad s odkazom na jednotlivé kapitoly je uvedený v kapitole formulácia úlohy.

1 Formulácia úlohy

Táto práca je rozdelená na šesť kapitol.

Druhá kapitola je tvorená teoretickým prehľadom problematiky organizácie sluchového vnímania. Je členená na päť podkapitol.

- Prvá podkapitola popisuje vzťahy medzi vizuálnym a sluchovým systémom. Venuje sa aj zaujímavým paralelám medzi systémami.
- Druhá podkapitola zahŕňa popis problematiky priestorového sluchového vnímania s dôrazom na mechanizmy počúvania v uzavretých priestoroch.
- Tretia podkapitola rozpracováva problematiku precedenčného efektu, t.j. efektu potlačania odrazov vyskytujúci sa v reverberantných priestoroch a súvisiaci efekt adaptácie sluchového systému, tzv. build-up potlačenia echa (odrazu).
- Štvrtá podkapitola ponúka prehľad problematiky organizácie sluchovej scény a vytvárania sluchových objektov, t.j. atribútov zvuku, ktoré pripisujeme k vlastnostiam jediného zdroja zvuku.
- Piata podkapitola sa zameriava na proces vytvárania sluchových prúdov, ktorý podľa našej hypotézy ovplyvňuje build-up potlačenia echa.

Tretia kapitola obsahuje motívy a hypotézy experimentálnej štúdie.

Štvrtá kapitola opisuje prípravu experimentálnej štúdie. Je tu postup generovania stimulov, výber subjektov experimentu a popis procedúry merania.

Piata kapitola obsahuje analýzu získaných experimentálnych dát. Ukazuje, že build-up precedenčného efektu je závislý aj na organizácii sluchovej scény.

Šiesta kapitola obsahuje zhodnotenie úloh popísaných v zadaní práce.

2 Úvod do problematiky

Cieľom tejto kapitoly je podať prehľad o problematike priestorového sluchového vnímania s dôrazom na precedenčný efekt a prehľad problematiky organizácie sluchovej scény. Kapitola je členená na päť častí. V prvej podkapitole je popísaný vzťah medzi sluchovým a vizuálnym systémom. Druhá podkapitola sa venuje všeobecným mechanizmom sluchového vnímania v uzavretých miestnostiach. Na túto podkapitulu nadväzuje tretia podkapitola, ktorá podrobnejšie popisuje precedenčný efekt. Štvrtá podkapitola podáva prehľad o problematike organizácie sluchovej scény. Piata kapitola sa potom detailnejšie zaoberá mechanizmami vytvárania sluchových prúdov.

2.1 Paralely medzi sluchovým a vizuálnym systémom

Mozgová kôra obsahuje asi 10^{10} nervových buniek. Vyše polovica je zamestnávaná vizuálnym systémom zatiaľ čo sluchový systém je zastúpený v omnoho menšej miere [25]. V porovnaní so zrakom je sluch napr. pri lokalizácii podstatne horší (dva rády), ale pokrýva celý priestor. Užitočný je napr. ako výstražný mechanizmus. Ak sa lepšie pozrieme na doterajší výskum v oboch oblastiach, môžeme nájsť zaujímavé paralely ale aj podstatné rozdiely.

Vizuálne a sluchové objekty

Pre potreby porovnania zavádza Blauert [2] pojmy vizuálny a sluchový objekt. Vizuálne objekty sa popisujú ako niečo materiálne, niečo čo je položené v smere pohľadu a tvorí tak prekážku. Z fyzikálneho pohľadu sú tieto objekty odrazmi povrchov osvetlených predmetov. Pri pozeraní sa systém nezameriava na zdroj osvetľovania, ale na osvetľované povrchy.

To čo počúvame nie je materiálne. Počúvame vibrácie vecí teda zdroj zvuku. Tento zdroj nie je odrazom niečoho ako je to pri vizuálnom objekte. Sluchový systém sa teda primárne zameriava na zdroj zvuku, hoci sekundárne sa v reverberantných priestoroch (t.j. v priestoroch s odrazmi), venuje aj následným odrazom. Taktiež neplatí, že ak

počujeme zvuk jedného zdroja strácame schopnosť počuť iné zvuky, tak ako je to pri pozeraní.

Zvuk v službách zraku

Zvuková lokalizácia sa objavuje v priestore v tzv. svete videnia-dotyku-pohybu [33]. Jedným z dôkazov je orientácia novorodenca, ktorý nastavuje svoju hlavu v smere optimálneho videnia a nie počutia. Lokalizácia zvuku je silne ovplyvnená simultánnym vizuálnym stimulom. Dokazovali to Rorden a Driver [34] meraním reakčného času pri takomto experimente: Subjektom bol prezentovaný šum zhora alebo zdola na pravej alebo ľavej strane. Zároveň vždy dostali pokyn pozrieť sa bez otočenia hlavy smerom vpravo alebo vľavo. Ich úlohou bolo určiť polohu (hore/dole) prezentovaného šumu. Reakčný čas bol v prípade ipsilaterálneho (t.j. na rovnakej strane hlavy) smeru očného pohybu a šumu kratší ako v kontralaterálnom smere (t.j. na opačnej strane hlavy). Okrem toho je známe, že zvuková lokalizácia je účinná najmä pri slabšej možnosti vizuálnej lokalizácie, čo však neznamená, že vizuálna lokalizácia je pri súčasnej zvukovej lokalizácii lepšia [1]. Spence and Driver [35] dokázali, že zvuk ovplyvňuje vizuálnu lokalizáciu no naopak to neplatí. Jay a Spark [36] pozorovali na opiciach makak pohyb zvukového receptívneho poľa v závislosti od zmeny pozície očí. Spolu s ďalšími experimentmi to viedlo k myšlienke možnosti existencie kombinovania priestorovej a somatosenzorickej informácie [1]. V ľudskom mozgu existuje mnoho subkortikálnych oblastí pre možné umiestnenie tzv. cross-modálnej integrácie.

Vzťah medzi vizuálnym a sluchovým vnímaním je teda možné zhrnúť nasledovne [1] :

- zvuk sa objavuje skôr kvôli informácii o zdrojoch a udalostiach ako o povrchoch a materiálnych objektoch
- náš jazyk v nás podporuje presvedčenie, že objekty sú vizuálne
- vizuálne objekty ktoré vidíme majú značnú kontrolu nad tým, čo počujeme

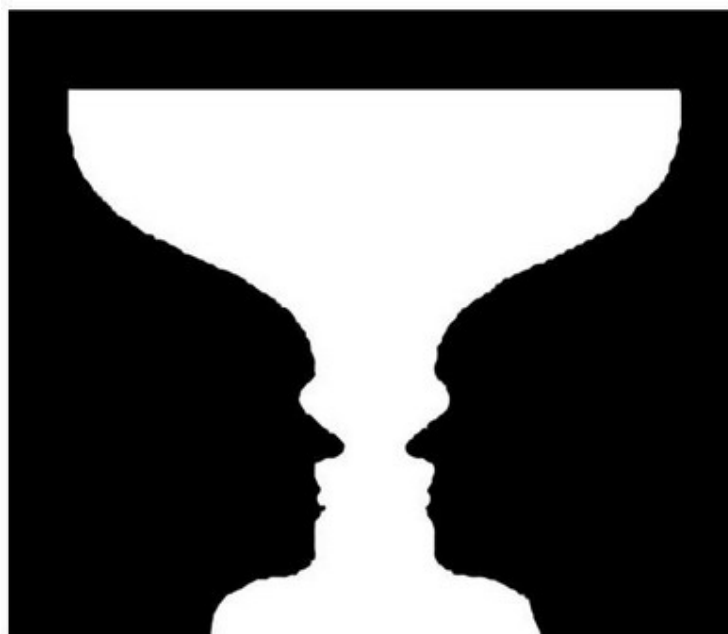
Zoskupovanie, obraz a jeho pozadie, okraje

Vnímateľný objekt vieme segregovať na obraz a pozadie obrazu. Čo je obraz a čo pozadie pri zvuku? Za analógiu vizuálneho zgrupovania sa považuje tvorba sluchových prúdov (anglicky „sluchový streaming“). Problém segregácie je prezentovaný na príklade neschopnosti venovať pozornosť obom častiam rozdeleného prúdu v rovnakom čase. Subjektom bola prezentovaná sekvencia vysokých tónov znakov A,B,C a nízkych tónov 1,2,3 v poradí:

A-1-B-2-C-3

Obr. č. 1 Vizualizácia tvorby sluchových prúdov

Subjekty následne zreprodukovali poradie znakov buď ako A-B-C-1-2-3 alebo 1-2-3-A-B-C. Neboli teda schopní sledovať dva prúdy simultánne. Je to podobné ako vizuálne segregované vnímanie. Buď sa sústreďíme na vybraný obraz alebo jeho pozadie, nie na oboje naraz, viď obr. č. 2.



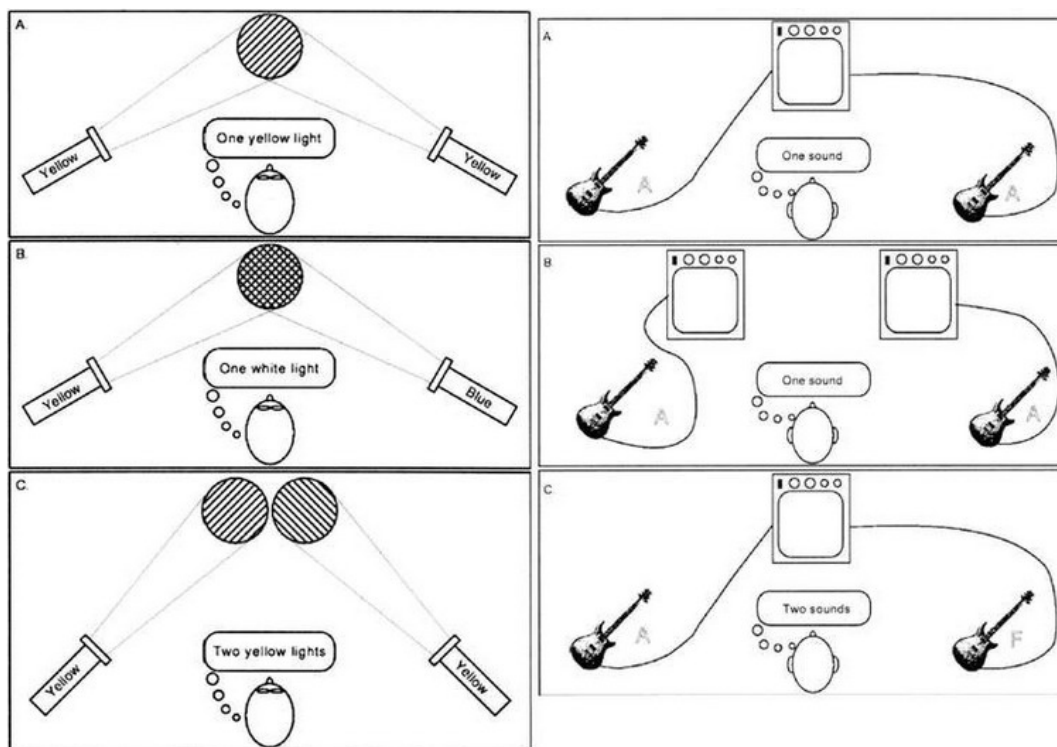
Obr. č. 2 Vieme sa sústreďiť buď na dve tváre na obraze alebo na vázu uprostred obrazu [1].

Planoptická a planakustická funkcia

Každý vnímaný objekt má svoje okraje, hranice. Pre detekciu hrán vizuálnych objektov existuje tzv. planoptická funkcia. Tá sa dá popísať ako vtáčia búdka v ktorej je umiestnená kamera. Cez malý otvor sledujeme celý dostupný priestor pričom sa búdka môže posúvať v priestore po osiach x, y, z , meniť uhol elevácie ψ a rotovať, teda meniť uhol ϕ . Ku kamere je pripevnený spektrogram ktorý zaznamenáva vlnovú dĺžku λ v čase t . Teraz je už jednoduché objaviť hrany vďaka výrazným zmenám vlnovej dĺžky. Ako by mohla vyzeráť analogická planakustická funkcia?

Kubovi [37] definuje tzv. Teóriu nevyhnutných atribútov (anglicky theory of indispensable attributes, TIF), ktorá stojí na poznaní, že zoskupovanie, jednotlivých častí vyskytujúcich sa na obraze vytvára nový usporiadaný objekt. Platí tu tzv. emergentný princíp, teda vyššie poriadky sa vynárajú z nižších [1]. Zároveň vlastnosť zoskupeného elementu v emergentnom objekte nie je vlastnosťou elementu pred zoskupením. Napríklad voda je pri izbovej teplote kvapalina, hoci je zložená z plynov kyslíka a vodíka. Kubovy [37] ďalej rozdeľuje emergentné vlastnosti na eliminačné a uchovávacie. Eliminačná vlastnosť vody je rušenie atribútu plynného skupenstva jej zložiek O a H, ktoré po zoskupení nadobúdajú kvapalné skupenstvo. Príkladom na uchovanie vlastností zoskupených elementov je napríklad melódia zložená z tónov. Tóny môžeme počuť, ale rozpoznať ich vieme až ako súčasť konkrétnej melódie.

TIA ponúka heuristické tvrdenie, ktoré navrhuje podmienku, kedy vnímaný novozoskupený objekt uchová individualitu svojich elementov. Čo umožňuje rozlíšiť, či je v prostredí viac objektov? Atribúty definujeme ako nutné vtedy a len vtedy, ak predpokladajú vnímanie mnohosti. Tieto atribúty sú pre zrak a sluch rôzne.



Obr. č. 3 Porovnanie vnímania jednotlivých entít vo vizuálnej a sluchovej podobe [1].

Na obrázku č. 3 vľavo hore je jedno miesto vysvietené dvoma rovnakými farbami. Pozorovateľ vníma jedno žlté svetlo. Vysvietenie na obrázku vľavo v strede vníma pozorovateľ ako jedno biele miesto, hoci ho tvoria prúdy modrého a žltého svetla. Na obrázku vľavo dole sú vysvietené dva susediace kruhy rovnakého svetla a takto to vidí aj náš pozorovateľ.

Obrázok vpravo je analógiou pre zvuk. Jeden reproduktor hrá dva 400 Hz zvuky, poslucháč vníma len jeden. Obrázok v strede predstavuje prehrávanie rovnakého zvuku na dvoch reproduktoroch, poslucháč vníma len jeden zvuk. Na poslednom obrázku je znázornená situácia keď jeden reproduktor prehráva dva rôzne zvuky (400 Hz, 700 Hz) a poslucháč ich oba počuje.

Zistenia sa dajú zhrnúť takto [1] :

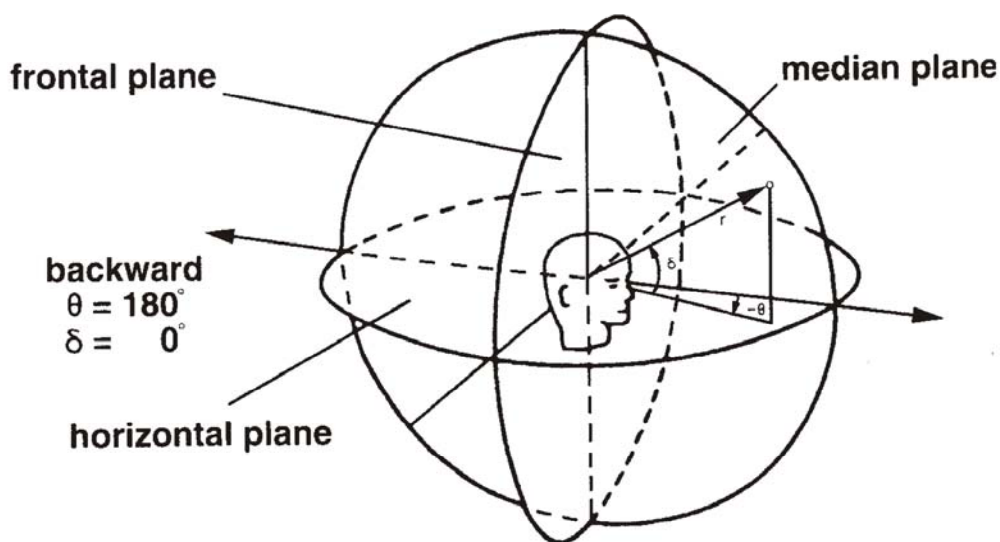
- vo vizuálnom priestore je nutným argumentom pre vnímanie početnosť, farba nie
- vo zvukovom prostredí je frekvencia nutným argumentom, ale priestor nie

- čas je v oboch prípadoch nutným argumentom

Teraz už pomocou TIA môžeme uvažovať nad planakustickou funkciou. Pri zvuku budeme teda hľadať okraje pri výške tónu alebo v čase, ale nie v priestore.

2.2 Priestorové sluchové vnímanie

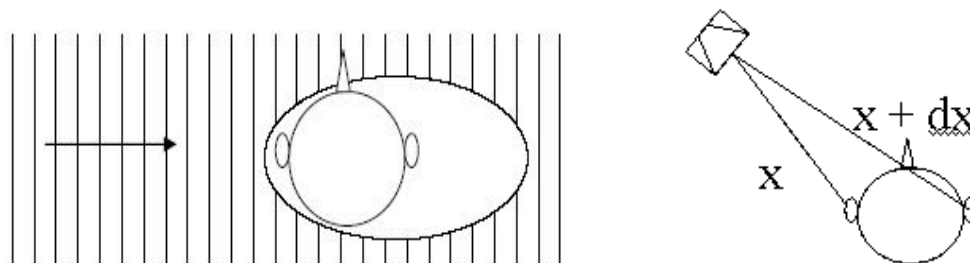
Ak hovoríme o priestorovom vnímaní zvuku, máme predovšetkým na mysli určovanie vnímanej polohy a vzdialenosť zdroja zvuku v priestore, vid' obr. č. 4 [2].



Obr. č. 4 Nákres priestorových rovín a jednotlivých uhlov používaných pri sluchových experimentoch, kde r je vzdialenosť, ψ je azimut a θ elevácia [25].

Toto je ovplyvnené mnohými vlastnosťami zvuku. Obzvlášť dôležité sú hlasitosť, frekvencia, výška tónu. Dôležité sú zároveň pravidlá spracovávania zvukových podnetov celým sluchovým systémom so zahrnutím existujúcich kognitívnych znalostí. Preto ak hovoríme o vnímaní zvuku, berieme do úvahy analýzu sluchových udalostí, ktoré sú zmesou fyzikálnych vlastností zvuku, prostredia v ktorom sa šíri a konkrétnymi atribútmi poslucháča na jeho fyzickej aj mentálnej úrovni (na úrovni spracovania nervovým systémom). Pri vonkajšom popise poslucháča je dôležité uviesť,

že pokiaľ zdroj zvuku neleží priamo pred jeho hlavou, v 0° uhle od mediálnej roviny, výsledný zvukový stimul sa do pravého a ľavého ucha nedostáva v rovnakom čase. Taktiež intenzita zvuku sa pôsobením akustického tieňa, tvoreného kvôli hlave, mení. Tieto tzv. interaurálne rozdiely sú známe pod skratkami ITD (Interaural Time Differences) a ILD (Interaural Level Differences). Ilustrácia je na Obr. č. 5.



Obr. č. 5 Akustický tieň (ILD) a časový rozdiel prichádzajúceho zvuku (ITD) [39].

V reverberantnej miestnosti, sa každý vydaný zvuk odráža od jednotlivých povrchov v miestnosti a tak sa generuje nekonečne veľa kópií pôvodného zvuku. Vo všeobecnosti chápeme generovanie nových zdrojov zvuku ako pribúdanie odrazených zvukov, najprv primárnych zdrojov, od jednotlivých rovín, respektíve plôch v miestnosti. Je potrebné si uvedomiť, že ako aj pri jedinom zdroji zvuku sú pre subjekt najdôležitejšou informáciou atribúty signálu, vstupujúce na ušný bubienok.

Pred samotným skúmaním koherentných signálov, ktorými prvý vydaný zvuk a jeho odraz sú, si musíme ujasniť pojem koherentnosti, ako ho vnímajú vedci v súvislosti s danou problematikou. Signály sú koherentné, ak sú identické alebo ak sa líšia v jednom alebo viacerých z nasledujúcich atribútov [2] :

- Rôzna amplitúda ale rovnaká vlnová krivka, čiže rozdiel úrovne intenzity je nezávislý od výšky tónu.
- Malé omeškanie jedného signálu oproti ďalšiemu, teda rozdiel pri fázovom omeškaní je nezávislý od frekvencie .
- Opak jedného signálu vzhľadom na ďalší, čiže fázový rozdiel 180° , keď vieme, že tvar obrysov (t. j. obálka) signálu je rovnaká s invertovaným signálom [2].

Signály, ktoré sa líšia aj v iných atribútoch pokladáme za čiastočne koherentné alebo nekoherentné. Vlastnosti zvuku produkované jediným zdrojom môžeme pri spracovávaní zvuku z viacerých zdrojov využívať len v čase, kým zvuk nedosiahne

ušné bubienky. Keď sú už sluchové podnety spracovávané mozgom, zákony a pravidlá sa pri lokalizácii v priestore pre jediný zdroj zvuku a viac zdrojov menia.

Ak sa v priestore šírenia dva koherentné signály, subjekt môže vnímať jednu z troch nasledujúcich sluchových udalostí [2] :

- Objavia sa dve sluchové udalosti na pozícii závislej od umiestnenia oboch zdrojov zvuku produkujúcich dané signály.
- Objaví sa jedna sluchová udalosť na pozícii závislej len od zdroja jedného signálu, druhý signál nebude mať na vnímanie pozície žiaden vplyv.
- Objavia sa dve sluchové udalosti a ich pozícia bude v jednom prípade viac alebo menej závislá na zdroji produkujúcom signál a pri druhom signály celkom závislá na danom zdroji zvuku.

Na popísanie prvého prípadu použil Warncke [3] pojem „sumárna lokalizácia“. Ide o imaginárne vytvorenie nového zdroja zvuku sluchovým systémom pre prípady, keď je omeškanie alebo úroveň intenzity dvoch signálov odlišná.

Druhý prípad sa objavuje pri omeškaní dvoch signálov prevyšujúcich zhruba 1s v závislosti od typu signálu. Pozícia sluchovej udalosti je potom závislá od prvého prichádzajúceho signálu, čo Cremer [4] označil ako „zákon prvej vlnovej krivky“. Spojenie sumárnej lokalizácie a zákona prvej vlnovej krivky potom vedci, počnúc Wallachom [5] nazvali „Precedenčným efektom“ a ten bude neskôr podrobnejšie popísaný.

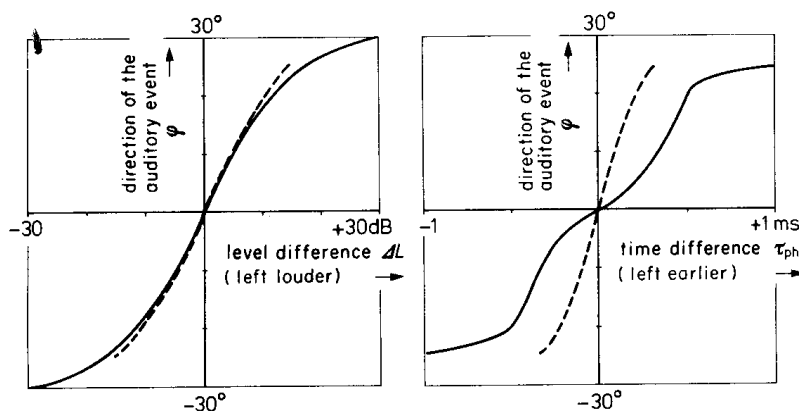
Tretí typ sluchovej udalosti sa objaví, ak rozdiel medzi vstupujúcimi signálmi presiahne istú časovú hranicu. Každá udalosť sa spája so svojim zdrojom zvuku a v poradí druhý signál je nazvaný echom prvého.[2]

Sumárna lokalizácia

Ako už sám názov napovedá, ide o lokalizáciu, teda určovanie smeru a vzdialenosti na základe sumarizovania, či spočítania dvoch alebo viacerých rôznych lokalizácií. Výsledkom je teda jeden konečný zjednotený tzv. fantómový smer, ktorý nie je

väčšinou zhodný so žiadnym reálne existujúcim umiestnením zdroja zvuku v danom priestore.

Viacero vedcov skúmalo vplyv časového omeškania a rozdielu úrovně intenzity a následne vzťahy medzi oboma vplyvmi pri sumárnej lokalizácii. Pre interval rozdielov intenzity priameho zvuku a odrazu 0-30 dB a časový úsek omeškania odrazu za priamym zvukom 0-1s bolo lokalizovanie sluchových udalostí v danom intervale rozdielov intenzity presnejšie ako pri časovom omeškaní. Znázorňuje to Obr. č. 6



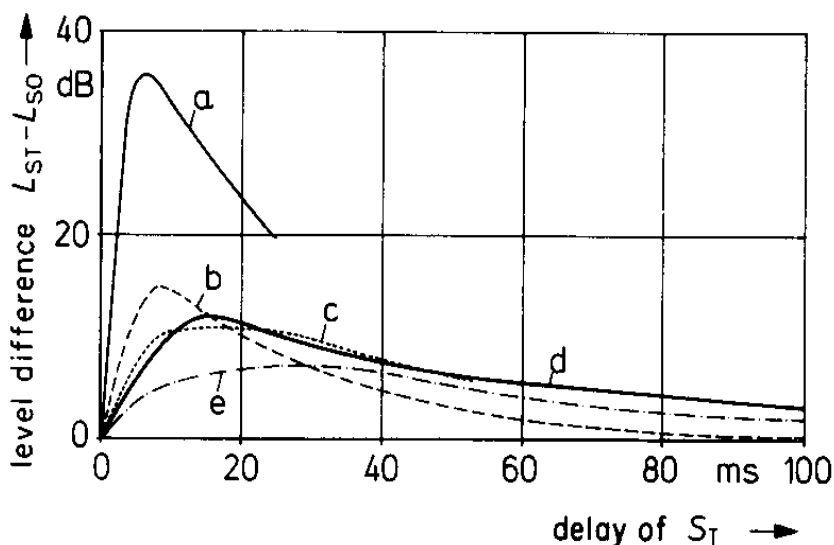
Obr. č. 6 Vplyv rozdielov intenzity a časového omeškania pri sumárnej lokalizácii. Čiarkovaná čiara predstavuje lokalizovanie sluchovej udalosti pre jeden zvukový podnet a plná čiara zmenu lokalizácie pre dva zvukové podnety s daným rozdielom intenzity a časovým omeškaním v tzv. fantómovom smere [2].

Wendt navyše imobilizoval subjektom hlavu a presnosť lokalizácie sa zhoršila [24]. So zmenou polohy hlavy sa sluchová udalosť posunula niekoľko stupňov v smere otočenia hlavy. Nejasnosť sumárnej lokalizácie môže byť spôsobená buď zmenou smeru sluchovej udalosti v jednotlivito po sebe nasledujúcich prezentáciách alebo faktom, že sluchová udalosť je lokalizovaná nepresne, rozmazane v priestore [2].

Ďalšia štúdia [6] pre impulzné signály ukázala závislosť rozhodnutia pri lokalizácii sluchovej udalosti od veľkosti omeškania druhého, čiže odrazeného impulzu. Pri omeškaní 0-600 ns bola zvýšená relatívna lokalizácia v smere zdroja druhého impulzu. Ukazuje sa, že komponenty prvého signálu ako aj komponenty neskorších signálov prichádzajúcich do uší sú dôležité pri sumárnej lokalizácii aj u impulzne-tvarovaných signálov [2].

Zákon prvej vlnovej krivky

Tento zákon je celkom relevantný pre problematiku počúvania v uzavretých priestoroch. Dôležité sú tu pojmy ako primárny zvuk a odraz zvuku nazývané anglicky „lead“ a „lag“. Obzvlášť prínosnou prácou v tomto smere bola Wagnerova [7] práca skúmajúca primárny zvuk prichádzajúci spredu a jeho odrazy z rôznych smerov vrchnej pologule, s rôznou intenzitou a omeškaním. Pre signály s rovnakou intenzitou je zákon prvej vlnovej krivky aplikovateľný od omeškania 630 ns-1ms. Určiť horný prah je komplikovanejšie, keďže je závislý na viacerých faktoroch vrátane typu signálu. Vid'. Obr. č. 7.



Obr. č. 7 Prah vnímania echa pre rôzne stimuly. Na osi x je vynesené omeškanie odrazu od primárneho zvuku. Na osi y sú vynesené prahové hodnoty rozdielov úrovne intenzity pre priamy zvuk L_{st} a jeho odraz L_{so} pre jednotlivé typy stimulov. A je stimul kliku, b, c, d je reč a e je pulzná sínusoida [2].

Seraphim [8] definoval absolútny prah vnímateľnosti echa ako prah vnímania odrazu zvuku, založený na kritériu zmeny sluchovej udalosti bez ohľadu na špecifický typ zmeny. Ak je intenzita odrazu rovnaká ako u primárneho zdroja, odraz presahuje tento absolútny vnímaný prah a to bez ohľadu na časové omeškanie. Ak má byť teda odraz celkom nepočuteľný, jeho intenzita musí byť znižovaná s ohľadom na primárny zvuk. Maskovací prah je úroveň rozdielov medzi primárnym zvukom a jeho odrazom, na

ktorej sa odraz stane absolútne počuteľným. Merania prahu sú často postavené na podmienke rovnakej hlasitosti pre primárny zvuk a odraz.

Inhibícia primárneho zvuku

Ak sú zvuk a jeho odraz prezentované s rovnakou úrovňou intenzity a ak je omeškanie relatívne malé, objaví sa sumárna lokalizácia. So vzrastajúcim omeškaním začína hrať svoju úlohu zákon prvej vlnovej krivky. Keď sa prekročí prah echa, objaví sa okrem primárneho zdroja aj echo. Ak je napokon časový rozdiel medzi primárnym zvukom a echom dosť veľký, napríklad niekoľko sekúnd, echo je vnímané ako celkom nezávislá sluchová udalosť [2]. Von Békésy [9] overoval, či za nejakých experimentálnych podmienok nemôže byť dominantnou sluchovou udalosťou vnímanie echa, pričom sluchová udalosť vnímania primárneho zvuku bude celkom slabá prípadne sa vôbec neobjaví. Či je teda možné maskovať primárny zvuk echom.

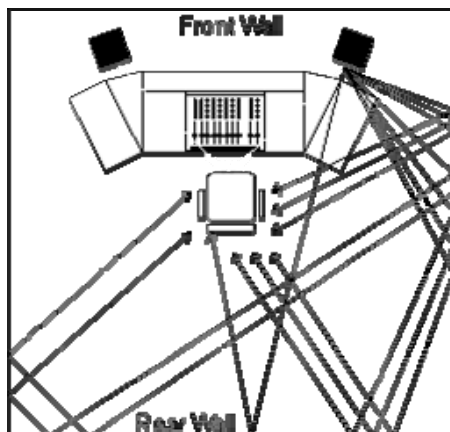
Spätné maskovanie je možné pri omeškaní 20 ms, ak je intenzita odrazu minimálne o 40 dB vyššia ako u primárneho zvuku. Pre rovnako silné signály sa spätné maskovanie nikdy neobjavilo [10].

2.3 Precedenčný efekt

2.3.1 Úvod do problematiky

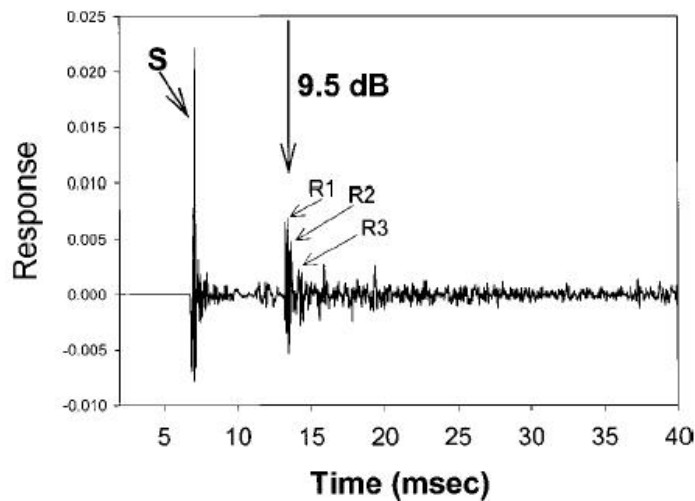
Pojem „precedence effect“ bol prvý krát použitý v roku 1949 vo Wallachovej klasickej štúdií [5] popisujúcej charakteristickú dominanciu primárneho stimulu pri určovaní priestorovej lokalizácie zjednoteného obrazu zvuku. V tejto práci sa bude pre anglický výraz „precedence effect“ používať slovenský výraz precedenčný efekt.

Keď je zvuk produkovaný v reverberantnom prostredí, rozširuje sa do všetkých smerov a je následne odrážaný z povrchov. Sluchový systém je tak pri vnímaní a lokalizácii postavený pred rozlišovaciú súťaž medzi prvým zvukom a jeho odrazmi. Aj napriek tejto zmesi informácií dokáže lokalizovať zdroj zvuku a spoznať jeho význam celkom presne. Vo všeobecnosti je odraz oslabená, priestorovo rozvetvená omeškaná kópia originálneho zvuku.



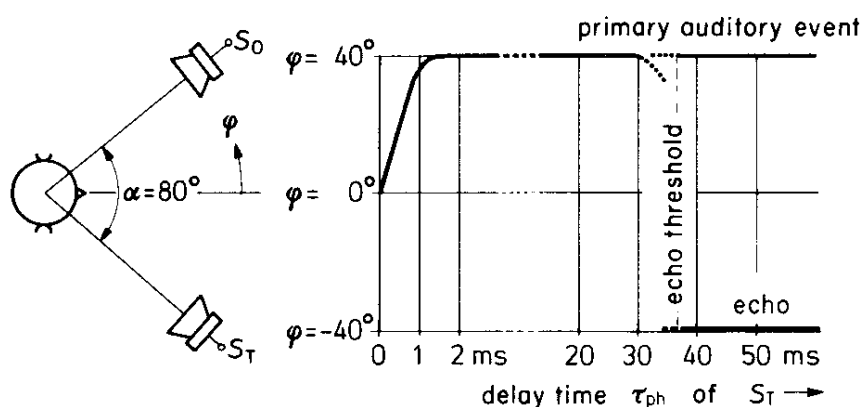
Obr. č. 8 Príklad množiny odrazených zvukov v miestnosti pri prezentácii jedného stimulu.

To, že je sluchový systém schopný poradiť si s odrazmi vznikajúcimi v reverberantných miestnostiach pri lokalizácii zdroja zvuku je umožnené schopnosťou sluchového systému váhovať prichádzajúce zvuky. Prvý prichádzajúci zvuk, ktorý budeme nazývať primárny, získava najvyššie ohodnotenie a oneskorené zvuky, odrazy primárneho zvuku, získajú menšie ohodnotenie. Priamy zvuk a jeho odrazy sú znázornené na Obr. č. 9. Táto schopnosť uprednostniť primárny zvuk sa nazýva precedenčný efekt [19].



Obr. č. 9 Intenzita stimulu S a jeho odrazov R1, R2, R3 zaznamenaná v čase [23].

Pri experimentálnych štúdiách precedenčného efektu sa najčastejšie používajú dva reproduktory umiestnené v anechoickej (t.j. bezodrazovej) miestnosti. Reproduktory sú od subjektu experimentu umiestnené naľavo a napravo v 45° alebo 50° uhle od mediálnej roviny. Jeden reproduktor simuluje primárny zvuk a druhý jeho odraz s určitým oneskorením. Na obrázku č. 10 v pravo je zachytený priebeh vnímania smeru zdroja zvuku v závislosti od veľkosti omeškania odrazu.



Obr. č. 10 Náčrt podmienok merania precedenčného efektu a graf jednotlivých sluchových udalostí v závislosti od veľkosti omeškania odrazu stimulu [2].

V prípade, že je odraz prezentovaný bez omeškania, subjekt vníma zjednotenú polohu zdroja v neexistujúcom fantómovom smere s nulovou výchylkou od mediálnej roviny. Ak je omeškanie menšie ako 1 ms, vnímaný smer zdroja sa blíži k 50 stupňom v smere primárneho reproduktora. Konečný vnem smeru je výsledkom tzv. sumárnej lokalizácie [11]. Smer sa tu určuje na základe interaurálnych rozdielov vlnení prichádzajúcich z dvoch zdrojov. Pre omeškanie v rozpätí 1 – 30 ms je smer lokalizácie celkom orientovaný na reproduktor primárneho zvuku a odraz tu na prvý pohľad nezohráva žiadnu úlohu. Primárny zvuk je uprednostnený, precedenčný. V nasledujúcom úseku pri omeškani asi od 30 – 35 ms nazývanom prah echa [11], sa obraz zvuku rozpadá na dve časti. Už po 35 ms sú primárny zvuk a odraz vnímané separátne, s lokalizáciou zdroja vždy v smere svojho reproduktora.

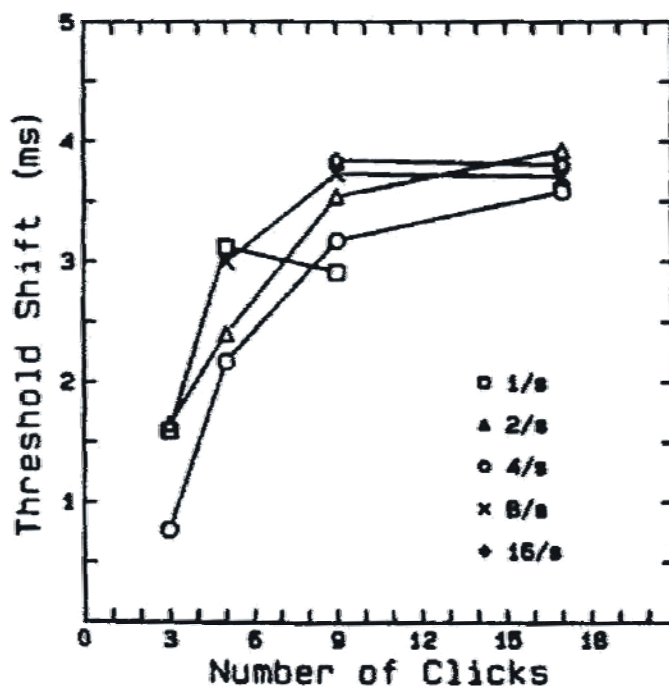
V súvislosti s precedenčným efektom Blauert [11] a Zurek [12] vyvodzujú ďalšie závery:

- Hoci prítomnosť odrazu stimulu významne neovplyvňuje pozíciu pri lokalizácii zdroja, jeho prítomnosť je detekovateľná zmenou vnímaného obrazu cez hlasitosť, priestorovosť alebo zmenou farby.
- Zmeny v relatívnych intenzitách primárneho zdroja a echa spôsobujú zmenu časových priebehov udalostí na veľkom úseku zmenenej intenzity.
- Precedenčný efekt nie je dokonalý. Malé vplyvy odrazu stimulu pri lokalizácii predsa len existujú.

2.3.2 Build-up potlačenia echa

Roku 1987 sa Rachel Clifton [14] a neskôr roku 1991 Freyman a kol. [13] zamerali na efekt, ktorý nazvali build-up potlačenia echa. Zistili, že stupeň potlačenia echa závisí aj od informácií z predchádzajúcich stimulov. Ak je napríklad klik so simulovaným odrazom po 8 ms prezentovaný izolovane, subjekt jasne počuje obe udalosti. Avšak ak je tento pár klikov, primárny zvuk a jeho omeškaný odraz, prezentovaný opakovane pri sekvencii trebárs 4 dvojkliky za 1 sekundu, po prvých štyroch až ôsmich dvojklikoch prestane byť druhý klik páru, odraz, vnímaný ako separátne udalosť, stáva sa nepočuteľný. Toto zistenie indikuje existenciu dynamického komponentu pri precedenčnom efekte.

Pri kvantifikácii build-up efektu kolektív Freymana [13] meral prah echa pre kliky prezentované izolovane a v postupnostiach identických klikov. Množstvo klikov v jednom rade a sekvencia klikov za sekundu boli nezávislé premenné. Pre izolované kliky bol prah echa pri štyroch subjektoch 5.2 ms. Na obrázku č. 11 sú znázornené prahy pre jednotlivé podmienky v závislosti od počtu jednotlivých dvojklikov v rade. Build-up potlačenia echa má vo všetkých prípadoch svoje maximum pri deviatich klikoch nezávisle od sekvencie klikou či dĺžky trvania stimulu.



Obr. č. 11 Build-up potlačenia echa v závislosti od počtu prezentovaných klikov a rýchlosti jednotlivých prezentácií [19].

Build-up je závislý aj na polohe zdrojov primárneho a odrazeného stimulu. Po výmene pozícií zdrojov primárneho a odrazeného stimulu sa build-up akoby reštartoval [14]. Okamžite po výmene zdrojov, aj v prípade, že rytmus prezentácie klikov nie je narušený, sa prah echa vráti na základnú úroveň alebo ešte nižšie. Predpokladá sa, že ak sa tieto efekty prejavujú v časovej mierke až niekoľkých sekúnd, sú dôsledkom komplexného spracovania sluchových podnetov na vyšších kortikálnych úrovniach. Clifton, Freyman, Litovská a McCall [15] navrhujú, že efekt build-up v prostredí umožňujúcom odrazy môže byť adaptívny fenomén, ktorý utlmi redundandnú informáciu, ak sa stane v prostredí známy.

2.3.1 Kortikálny základ pre precedenčný efekt

Napriek tomu, že mnoho výskumov predpokladá, že precedenčný efekt nie je dôsledkom spracovania sluchovej informácie na stredných alebo vyšších kortikálnych úrovniach, existujú výskumy, ktoré tieto dohady vyvracajú. Roku 1984 študovali Clifton, Morrongoelo a Dowd [16] pacientov s poškodením mozgu a Cornellise a Kelly

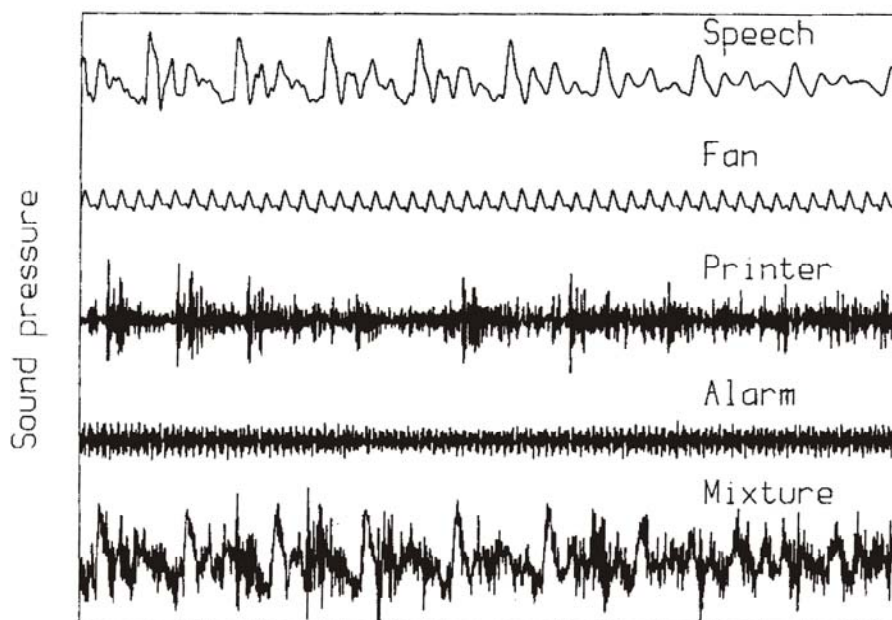
[17] deti s nevyvinutým sluchovým kortexom. Tieto subjekty odpovedali normálne na jednoduché sluchové podnety, no ich odpovede na stimuly zamerané na precedenčný efekt neboli v norme. Taktiež Saberiho a Perrottov [18] výskum ukázal, že stupeň zvýšenia prahu pre druhý zvuk bola čiastočne eliminovaná, ak subjekt získal potrebný cvik. Z toho vyplýva, že mechanizmus zodpovedný za precedenčný efekt pravdepodobne nie je umiestnený v okrajovej časti sluchového systému [19].

Blauert [20] je presvedčený, že napriek prevažne horizontálne zameraným štúdiám precedenčného efektu nie je tento efekt výhradne binaurálnym fenoménom. Potvrdzujú to aj jeho a Rakardov a Hartmanov [21] výskum precedenčného efektu v mediálnej rovine, kde sa taktiež, aj keď len v malej miere objavil.

2.4 Organizácia sluchovej scény

2.4.1 Analýza sluchovej scény, zoskupovanie

Naša vedomá skúsenosť so zvukom pozostáva obyčajne z množstva rozličných, separovane produkovaných udalostí s vlastnými zdrojmi a vlastným umiestnením v priestore, výškou tónu, hlasitosti a kvality. Lenže zdroje zvuku neprodukujú takéto senzorické informácie takto explicitne [22]. Akustické vlnenie rôznych zdrojov sa v priestore mieša a k ušiam prichádza ako zložená interferovaná vlnová krivka ako znázorňuje obr. č.12.



Obr. č. 12 Mix bežných zvukov bezchybne rozpoznávaných sluchovým systémom. V poradí zhora akustické vlnenie reči, ventilátora, tlačiarne, zvonenia a ich mix [2].

Problém interpretácie je podobný ako pri vizuálnych trojdimenzionálnych objektoch. Podstatným rozdielom avšak zostáva, že kde susediace zrkové oblasti sú stimulované osvetlením jedného objektu, frekvenčné komponenty z dvoch rôznych zvukov môžu byť vložené naprieč celým frekvenčným spektrom. Každý zdroj zvuku obsahuje veľa rôznych frekvenčných komponentov a komponenty ktoré nahrádzajú čiastočný zvuk nie sú nútené zaberat' pokračujúcu oblasť sluchového spektra v kochlee. Ako teda mozog zadeľuje komponenty k ich zdrojom?

Pod pojmom zoskupovanie si sa tu rozumie sekvenčné zoskupovanie zvukov [23]. Jednotlivé tóny sú zoskupené na základe podobnosti prezentácie v čase, čiže ak sú počuté v čase tesne za sebou. Podobnosť v čase je pritom silnejšia ako napríklad podobnosť vo výške tónu. Ak sú však dva tóny v čase dost' vzdialené, výška tónu sa ukáže ako silnejší podnet na ich zoskupenie.

2.4.2 Vytváranie sluchových objektov

Identifikácia sluchových objektov

Teraz sa zameriame na fakty vedúce k identifikácii sluchového objektu. Jedinou možnosťou pri rozoznávaní rôznych objektov je zamerať sa na atribúty, ktoré sú rôzne. V prípade malého počtu rôznych zvukových stimulov si vystačíme s jednou dimenziou, ktorou môže byť trebárs hlasitosť. Avšak pri viacerých stimuloch je nutné riadiť sa ďalšími dimenziami [25]. Tieto dodatočné dimenzie môžeme na základe istých spoločných vlastností zatriediť do dvoch skupín. Pre komplexný stimul je dôležité rozloženie energie ako funkcie času a pre stimul typicky sa meniaci v čase zohráva úlohu časové vzorkovanie [25].

Separovanie sluchových objektov

Na tomto mieste si potrebujeme uvedomiť rozdiel medzi zdrojom zvuku a zvukovým prúdom (ďalej len prúd). Prúd budeme považovať za skupinku postupných alebo simultánných zvukových elementov vnímaných koherentne, počutých v smere od jedného zdroja. Zdroj zvuku je fyzikálna entita produkujúca akustické tlakové vlny.

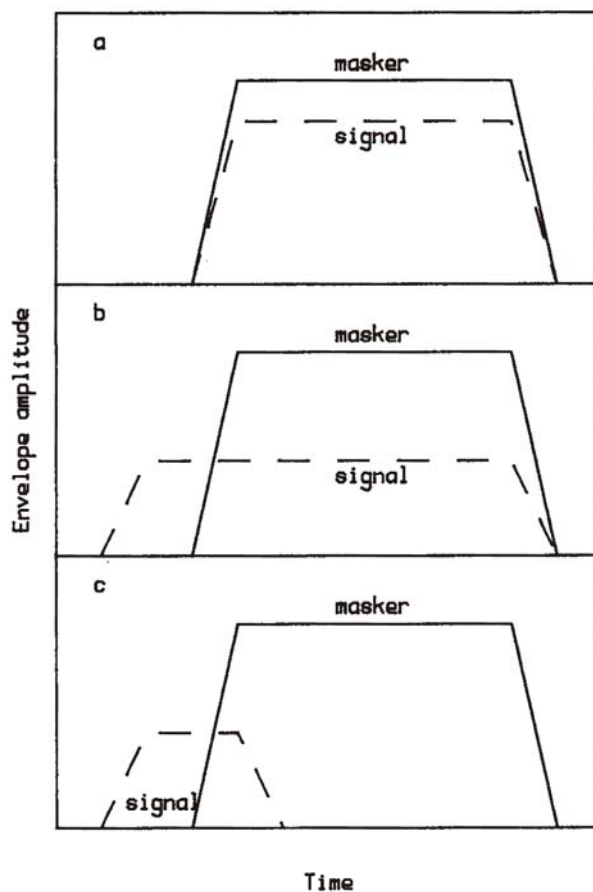
Existuje niekoľko atribútov, ktoré pomáhajú sluchovému systému separovať sluchové objekty. Sú to:

Fundamentálna frekvencia

Každá periodická funkcia sa dá popísať ako suma sínusoid (Fourier). Sluchový systém tiež funguje na tejto báze: rozkladá zvuk na jednotlivé frekvenčné zložky. Frekvenčná selektivita je základný organizačný princíp v sluchovom systéme. Mapovanie frekvencia sa deje už na úrovni kochley. Ak počúvame dva ustálené komplexné tóny, nie je pre nás problém priradiť harmonické kmity k jednotlivým tónom. Ako samostatný zdroj sme náchylní vnímať každý tón aj keď s ním koinciduje miestami vložený harmonický kmit. Toto je však možné vnímať len pod podmienkou, že tóny majú rôznu fundamentálnu frekvenciu.

Časové rozdiely začiatkov prezentácií

Rasch [26] zisťoval, aké sú schopnosti sluchového systému vnímať signál v prítomnosti iného, tzv. maskovacieho signálu. Zaoberal sa najmä tromi prípadmi uvedenými na obrázku č. 13.



Obr. č. 13 Schémy možných kombinácií začiatku prezentácie maskovaného a maskovacieho signálu [25].

Ak maskovaný a maskovací signál mali svoj začiatok aj koniec v rovnakom čase, prah signálu, teda rozdiel amplitúdy medzi maskovaným a maskovacím signálom, bol značne vysoký. Ak však maskovaný signál začal s krátkym predstihom pred maskovacím, prah signálu sa výrazne zredukoval. V treťom prípade aktivovali maskovaný signál v predstihu a jeho deaktivovanie prebehlo súčasne s aktivovaním maskovacieho signálu. Výsledkom bol vnem pokračujúceho maskovaného signálu, napriek jeho neaktívnosti, pričom prah signálu bol rovnaký ako v predošlom prípade. Raschovi sa podarilo

dokázať, že vnímanie maskovaného signálu sa nezakladá na senzorickej informácii. Naš sluchový systém teda využíva pri separácii sluchového objektu aj informáciu, ktorá je mimo nášho vedomia.

Kontrast s predchádzajúcim zvukom

Sluchový systém je dobre stavaný na analýzu zmien senzorickej informácie. Vnímanie zmeny môžeme popísať odrátaním súčasného stimulu od predchádzajúceho, kedy to, čo zostáva, je zmena. Zmenený aspekt je vnímaný oddelene od zvyšku. Akoby ustálená stimulácia prechádzala k istému druhu adaptácie. Ak je nejaký aspekt stimulu zmenený, bude vyňatý z adaptácie a jeho perceptuálne vnímanie bude zvýšené. Zmenená detekcia je dôležitá pre priradovanie zvukových komponentov k zdrojom zvuku. Ak bežne počujeme konkrétny zvuk, v pozadí vnímame aj iné zvuky, ktoré sa relatívne nemenia. Náhla zmena obyčajne indikuje, že bol pridaný aktivovaný nový zdroj a mechanizmus detekcie zmien nám umožní izolovať efekt zmeny a následne ho vhodne interpretovať.

Korelované zmeny v amplitúde alebo frekvencii

Rasch [26] zistil, že frekvenčnou moduláciou jedného z dvoch tónov so synchronným začiatkom je možné zvýšiť ich perceptuálnu separáciu. Ak sú dva komplexné tóny prezentované simultánne, je možné ich perceptuálne separovať moduláciou komponentov ich frekvencie alebo amplitúdy. Akú úlohu tu však zohráva koherentnosť zmien? Mnoho výskumov ukázalo, že ak meníme amplitúdy dvoch stimulov koherentne, vzniká tendencia vnímať tieto stimuly zjednotene, akoby splynuli v jeden. Ak sa však ich vzorkovanie v čase mení, zmeny sú nekoherentné a je skôr tendencia stimuly vnímať separovane.

Umiestnenie zdroja zvuku

Experimenty dokazujú [25], že ak fáza alebo rozdiely v úrovni intenzity signálu nie sú pre maskovaný a maskovací signál v oboch ušiach rovnaké, naša schopnosť detekovať signál sa v porovnaní s rovnakými vstupmi zlepšuje. Je teda jednoduchšie perceptuálne zaznamenať maskovaný signál, ak je v inej priestorovej pozícii ako maskovací. Ak majú dva zvuky rozdielne ITD a ILD, môže to viesť k ich perceptuálnej segregácii a zvýšiť

možnosti ich detekcie a rozlíšenia. Binaurálne spracovanie však nie je efektívne vždy a niekedy hrá len malú úlohu.

2.4.3 Všeobecné princípy perceptuálnej organizácie

Sluchový systém separuje jednotlivé interferované zvuky vstupujúce do uší využívajúc niekoľko faktorov. Okrem časovej závislosti patrí medzi dôležité atribúty aj priestorová lokalizácia, čiže určenie smeru a vzdialenosti zdroja konkrétnej časti zvuku z mixu všetkých vnímaných zvukov, rozdiely vo fundamentálnej a spektrálnej frekvencii a amplitúde. Podľa tzv. Gestalt psychológov [27] sa na dosiahnutí zoskupenia vstupných akustických podnetov podieľa viacero faktorov. Tieto potom riadia celú perceptuálnu organizáciu. Gestalt psychológovia zavádzajú základné princípy perceptuálnej organizácie.

Podobnosť

Tento princíp hovorí, že podnety budú zaradené do jednej skupiny, ak sú si podobné. Podobnosť je najčastejšie vytváraná blízkosťou zafarbenia zvuku, výškou tónu, hlasitosťou alebo subjektívnou lokalizáciou zdroja zvuku. Ak napríklad budeme počúvať rýchlu sekvenciu tónov, jediný prúd budú tvoriť frekvenčne blízke tóny pričom pri širšom rozpätí tónov sa pravdepodobne utvorí viacero oddelených prúdov.

Kontinuita.

Pri zmene niektorých fyzikálnych vlastností zvuku ako frekvencia, intenzita, či premiestnenie zdroja alebo posun spektra je sluchový systém náchylný vnímať toto skôr kontinuálne a nie s prerušením. Zatiaľ čo hladký prechod od pôvodných atribútov indikuje skôr zmenu v rámci rovnakého prúdu, náhla zmena vedie k presvedčeniu, že bol aktivovaný nový zdroj zvuku.

Spoločný osud

Ak aj dva rôzne komponenty zvuku majú tendenciu začať a skončiť spoločne, či menia svoje intenzity alebo frekvenciu v rovnakom čase, sú zväčša považované za časti

rovnakého zdroja. Je celkom bežné, že komponenty jedného zdroja rôznej frekvencie sa menia vysoko koherentne.

Disjunkčná alokácia (vlastníctvo)

Podľa tohto princípu nemôže byť jeden komponent zvuku súčasne priradený viacerým zdrojom v danom čase. Ak bol teda komponent použitý pri vytvorení jedného prúdu, nemôže byť použitý aj pri formovaní iných prúdov.

Uzavretosť

V bežnom prostredí môže byť každý zvuk na istý čas nepočuteľný prekrytím iného zvuku. Kým je prezentovaný maskovací zvuk, neexistuje žiaden náznak, že pôvodný zvuk naďalej pokračuje. Napriek tomu je tento prvý zvuk naďalej vnímaný ako kontinuálny.

Pozornosť a rozoznávanie objektu a jeho pozadia

Ľudia nie sú schopní vedome usmerniť pozornosť na všetky aspekty prichádzajúceho zvuku. Pravdou je, že sa sústredíme len na jeden parameter a ten potom analyzujeme. Principiálne máme predstavu, že sa sústredíme a porovnávame ľubovoľné skupinky elementov signálu, pravdepodobnejšie však je, že sa v čase postupne sústredíme na jednotlivé odseparované prúdy a takto analyzujeme zvuk. Kým sa sústredíme na jeden prúd, ostatné nemajú význam.

Familiárnosť

Ak je človeku nejaký zvukový objekt alebo konfigurácia známa, je preňho jednoduchšie odseparovať ho zo skupiny pomiešaných zvukov.

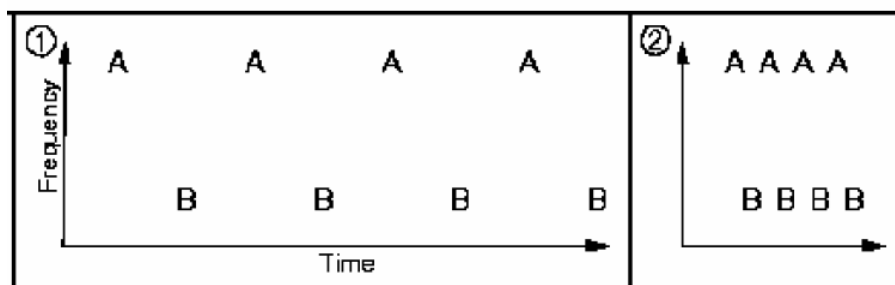
2.4.4 Vnímanie časových vzorov (distribúcií)

Zvuk môže byť vzorkovaný buď na základe množstva energie pre rôzne časti frekvencie alebo podľa toho, ako sa mení v čase [25]. Veľa zvukových frekvencií sa v bežnom živote objavuje v rytmoch. Ak je vzorkovanie rytmické, určité elementy sú dočasne redundantné, takže aj keď sú počuté skoršie elementy vzorky, neskoršie alebo aj posledné časti môžu byť odhadnuté.

Royer a Garner [28] zistili, že subjekt organizuje vzorku so začiatkom pri špecifickom elemente za predpokladu, že stimul nie je prerušený pauzou umiestnenou mimo tohto špecifického elementu. To dokazuje, že subjekt má tendenciu vnímať vzorky ako organizované celky. Fyzikálne vlastnosti ovplyvňujúce vnímanie sú hierarchicky usporiadané, pričom na vrchole hierarchie je časovanie [25]. Hendel [29] ukázal, že segmentovanie je viac závislé od štruktúry časového zgrupovania ako od štruktúry vzoriek komponentov zvuku.

2.5 Vytváranie sluchových prúdov

Vytváranie sluchových prúdov predstavuje organizáciu zvukov v čase. Ak počujeme rýchlu sekvenciu tónov, jej fyzikálne usporiadanie nie je vždy adekvátne tomu, čo vnímame. Van Norden [30] skúmal vnímanie sekvencie striedania nízkych tónov A a vysokých tónov B. Výsledkom tohto experimentu bolo zistenie, že pri zväčšovaní intervalu medzi A a B sa zo zjednoteného cvalového rytmu (fúzia) vytvorili dva separátne prúdy tvorené jeden nízkymi tónmi a druhý vysokými tónmi, viď obr. č. 14. Bregman [23] nazýva každý takýto prúd sluchovým objektom a dodáva, že komponenty sú priradzované k rôznym zdrojom so zväčšujúcim sa rozdielom vo frekvencii jednotlivých komponentov alebo so zväčšujúcimi sa frekvenčnými skokmi medzi nimi.



Obr. č. 14 Pri rýchlom striedaní A a B tónov s rôznou výškou tónu (Frequency, 1) sluchový systém utvorí pre obe skupiny tónovo samostatný prúd, 2 [39].

Neurálny a kognitívny základ

Neuróny vo vyššom sluchovom systéme sú frekvenčne selektívne. Niektoré aspekty vytvárania sluchových prúdov teda vznikajú pravdepodobne už na neurónovej úrovni [31]. Predstavme si, že existujú neuróny odpovedajúce na frekvenciu tónov A. Keďže frekvencia tónov B je podobná, skupinka neurónov môže odpovedať na podnety pri tónoch A aj B. Keď sa však frekvenčný rozdiel zväčší, isté neuróny budú odpovedať na podnet A a iné na podnet B pričom malá skupinka môže odpovedať na oba podnety. Toto by podľa Carliona [31] mohlo tvoriť neurálny základ pre vznik efektu separácie pri vytváraní sluchových prúdov.

Ak je rozdiel frekvencie stredne veľký, niektoré neuróny odpovedajú silnejšie na A tóny a slabšie na B tóny. Pri rastúcej frekvencii prezentovania A a B sú tieto tóny v čase bližšie a dá sa očakávať krátkodobá adaptácia spôsobená silnejšou odpoveďou na A a redukciou odpovedí na B. Toto poskytuje základ pre efekt opakovaného ohodnotenia na vytváranie sluchových prúdov. Oba tieto zistenia boli lokalizované v primárnom sluchovom kortexe u makakov.

Efekt pozornosti na vytváranie sluchových prúdov

Pri zisťovaní, či bol aktivovaný mechanizmus vytvárania sluchových prúdov s dodržaním podmienky vylúčenia pozornosti poslucháča, použili rôzni vedci rôzne metódy.

Elektroencefalografia – EEG

Jednou z nich je meranie aktivity mozgu pomocou EEG. Využitelnou je konkrétne tzv. zmena negativity (MMN) objavujúca sa pri výskyte odlišnej krátkej sekvencie zvuku prezentovanej v nejakej časti prezentácie štandardných identických zvukov. Výsledky meraní sú obyčajne opatrne používané, keďže sa nedajú dostatočne potvrdiť, kvôli neschopnosti dokázať stopercentné vylúčenie poslucháčovej pozornosti.

Efekt vytvárania sluchových prúdov na súťažiacie úlohy

Jones a kol. [38] skúmali efekt vytvárania sluchových prúdov na prídavnú úlohu, konkrétne na sekvenčné vymenovávanie zapamätaných vizuálne prezentovaných písmen. Sekvenčné vymenovávanie mohlo byť zrušené zvukovou sekvenciou, ktorú mal subjekt ignorovať, poskytujúc tak informáciu o zmenách zvuku v čase. Tento irelevantný zvukový efekt mal byť citlivý na vytváranie sluchových prúdov, takže ak sa sekvencia rozdelí na dva prúdy, každý je počutý ako opakovanie jedného zvuku a škodlivý účinok na vizuálne sekvenčné vymenovávanie je redukovaný.

Manipulácia pozornosti počas build-up pri vytváraní sluchových prúdov

Pri tomto výskume sa užitočným faktom bolo, že vnímanie sekvencie jedného prúdu sa môže po niekoľkých sekundách meniť na vnímanie dvoch prúdov. V prvej polovici stimulu sa manipuluje s pozornosťou poslucháča a v druhej polovici sa potom merajú efekty manipulácie na vytváranie sluchových prúdov. Uskutočnili sa tri typy merania. V prvom bola do ľavého ucha prezentovaná sekvencia opakujúcich sa tripletov ABA a subjekt odpovedal na otázku, koľko prúdov počuje. Druhý typ merania bol takou modifikáciou, že subjekt sa mal prvých 10 sekúnd sústrediť na šum prezentovaný do pravého ucha a potom zmeniť pozornosť na ľavé ucho a taktiež rozhodnúť o počte počutých prúdov zvuku. V treťom type merania mal subjekt šum v pravom uchu ignorovať. Zistilo sa, že build-up bol pri druhej podmienke omnoho menší ako pri prvej podmienke. Pri tretej nemal šum žiaden efekt. Ďalší výskum Cuscaka [32] ukázal, že aj keď sa build-up vytvárania sluchových prúdov vytvorí, zmena pozornosti zruší mechanizmus vytvárania sluchových prúdov.

Pozornosť teda nepochybne zohráva dôležitú úlohu v procese vytvárania sluchových prúdov.

Mimosluchové oblasti a vytváranie sluchových prúdov

Niektorí vedci sa domnievajú, že aj oblasti mozgu mimo sluchového spracovania majú významnú úlohu pri vytváraní sluchových prúdov. Toto tvrdenie podkladajú dvoma pozorovaniami. Ide o štúdium pacientov po úraze mozgu so zhoršenou schopnosťou sústrediť sa na vizuálne podnety v ľavej časti obzoru, kde sa ukázala aj znížená schopnosť vnímať vytváranie sluchových prúdov, pričom ich zranenia boli v prevažnej miere mimo oblasti sluchového kortexu.

Ďalším potvrdením tejto teórie je Cusakov [32] výskum použitím fMRI (funkčnej magnetickej rezonancie). Ten skúmal aktivitu mozgu u zdravých subjektov pri rozhodovaní sa o vytváraní sluchových prúdov. Zaznamenaná aktivita sa objavila v troch častiach mozgovej oblasti Interparietálneho závitú (Interparietal Sulcus, IPS). Zistil, že rovnaká oblasť sa aktivuje aj pri procese vizuálnej segregácie. Jedným z možných vysvetlení teda je, že IPS kóduje výstup procesov perceptuálnej organizácie každej modality.

3 Experiment: Motivácia a hypotézy

V reverberentných miestnostiach sa objavuje efekt potlačenia odrazov primárneho zdroja zvuku, precedenčný efekt. Tento efekt je adaptívny fenomén a teda sluchový systém môže začať potláčať odrazy až po istom čase prezentácie daného zvuku s odrazmi. Ak sa tak stane, hovorí sa o efekte nastavenia sa sluchového systému na potláčanie odrazov, build-up potlačenia odrazov. Otázkou je, čo ovplyvňuje tento build-up efekt.

Naša hypotéza vychádza z predpokladu, že build-up potláčania odrazov primárneho zdroja zvuku je ovplyvnený dvoma systémami spracovávania zvuku. Priestorovým počutím a organizáciou sluchovej scény. Úlohou experimentu je dokázať účinok organizácie sluchovej scény na efekt build-up potlačenia odrazov zvuku.

V prvom kroku je testovaný build-up pri nezmenenej organizácii sluchovej scény. Účelom tohto merania je overiť, že použité meracie techniky fungujú správne, t.j., že pozorované správanie je v súlade s výsledkami štúdie Freymana a kol. [13].

V druhom kroku je samotné overovanie vplyvu organizácie sluchovej scény na vznik build-up. Sluchová scéna je vytváraná všetkými zvukmi, ktoré dorazia k ušnému bubienku. Na vyššej úrovni spracovávania zvukov sa potom jednotlivé zvuky organizujú, zoskupujú do tzv. sluchových prúdov, vid'. Kap. 2.5. V experimente sú používané dva druhy zvukov. Primárny zvuk a jeho odraz. Zdroj primárneho zvuku je simulovaný z pozície vľavo od subjektu a zdroj odrazu je simulovaný z polohy vpravo, prípadne sú polohy vymenené. Zdroj zvuku má podobu kliku a je označovaný aj pojmom impulz. Pri opakovanom striedavom prezentovaní primárneho zvuku a jeho odrazu, sa pri istej frekvencii výskytu klikov vytvoria dva sluchové prúdy. Jeden pre kliky primárneho zvuku a jeden pre odrazy. Ak je časové omeškanie klikov odrazu dostatočne malé, po niekoľkých prezentáciách primárneho kliku s následným odrazom začne sluchový systém kliky odrazu potláčať. Tento efekt nazývame build-up potlačenia odrazu, teda build-up precedenčného efektu. Ak boli na začiatku prezentácie vnímané oba druhy klikov, sluchový systém ich organizoval do dvoch sluchových prúdov. Keď systém kliky odrazov celkom potlačil, vytratil sa aj ich prúd z organizácie sluchovej scény. Experiment skúma, či existencia rôznych sluchových prúdov ovplyvní popísaný

mechanizmus potláčania odrazov zvuku a teda či zabráni zániku prúdu tvoreného klikmi odrazov.

Pre tento účel bolo vygenerovaných niekoľko typov meraní, ktoré mali spôsobiť zmenu organizácie sluchovej scény v priebehu prezentácie konkrétnych typov meraní. a následne testovať vplyvy jednotlivých typov zmien na efekt build-up. Zmena organizácie sluchovej scény je dosahovaná dvoma spôsobmi. Ak typ merania pozostáva z dvoch častí, objavuje sa dvojaká nekonzistencia týchto častí. Prvou je chýbajúca časť klikov simulujúcich odraz v prvej časti stimulu, nazývanom „predchodca“. Druhou je nekonzistentnosť frekvencii výskytov klikov v jednotlivých častiach stimulu. V prvej polovici stimulu, predchodcovi, je napríklad použitá frekvencia výskytov klikov dvojnásobkom frekvencie druhej časti konkrétneho typu merania, nazvanej „build-up“. V prvom prípade sa očakáva, že sluchový systém bude kvôli neskoršiemu nástupu sekvencie klikov odrazov zvuku, teda nástupu z druhej polovice v danom type merania, predpokladať, že bol aktivovaný nový zdroj zvuku. Nebude sa ho teda snažiť potlačiť, build-up potlačenia odrazu sa neaktivuje a oslabí sa vznik precedenčného efektu. Ak bude navyše frekvencia časti predchodcu a časti build-up rôzna, sluchový systém pravdepodobne označí druhú, nekonzistentnú časť typu merania za nový sluchový objekt a vznik build-up efektu sa obnoví.

Testovanie prebieha v poslednej, tretej časti daného typu merania nazvanej cieľ, vid' obr. č. 16. Cieľ je vytvorený párom klikov, z nich prvý simuluje primárny zvuk a druhý jeho odraz. Veľkosť omeškania odrazu sa pohybuje v intervale 2-14 ms. Subjekt má rozhodnúť, či sa objavuje vnem odrazu a to postupne pre každý typ merania. Podáva tak informáciu, že jeho sluchový systém pri konkrétnom type merania odrazy potlačil alebo nepotlačil. Po štatistickom zhodnotení odpovedí všetkých subjektov pre jednotlivé typy meraní sa rozhoduje, či a aký efekt mala konkrétna zmena organizácie sluchovej scény na vznik build-up potlačenia odrazu.

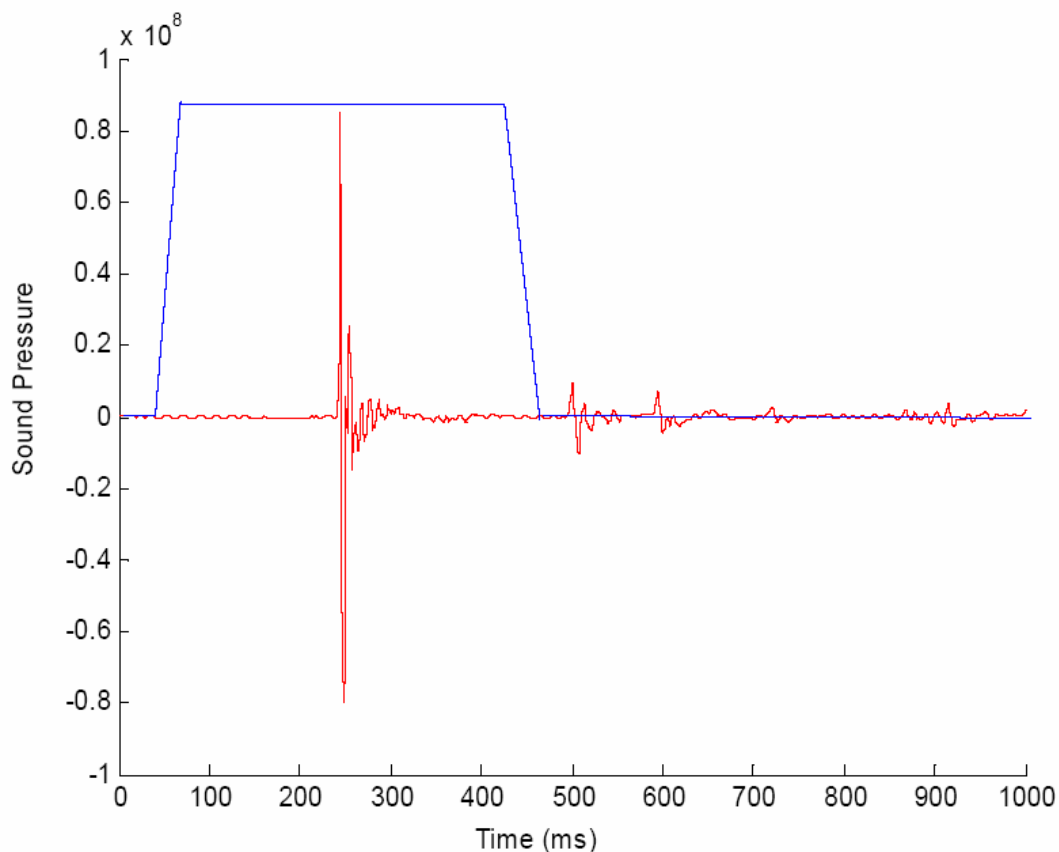
4 Experimentálne metódy

Táto kapitola opisuje prípravu experimentálnej metódy. Je členená na tri časti. V prvej sú popísané vlastnosti stimulov použitých v štúdiu. Druhá opisuje typy stimulov použitých v experimente a spôsob výberu subjektov experimentu. Tretia časť popisuje samotný proces zberu dát.

4.1 Generovanie stimulov

Vo Freymanovej [13] štúdiu boli na meranie použité reproduktory umiestnené v anechoickej miestnosti. V tejto štúdiu sa používali špeciálne slúchadlá, ktoré privádzali zvuk priamo do zvukovodov, čo si vyžadovalo simulovať podmienky prešírenia zvuku prostredím. Simulácia pozostávala z konvolúcie HRTF a signálov, vygenerovaných podľa stanovených podmienok.

Echoické smerové prenosové funkcie (Head-related transfer functions, HRTF) boli namerané v tichej miestnosti s rozmermi 4x3 m v neurovednom sluchovom laboratóriu na Katedre kognitívnych a neurálnych systémov Bostonskej univerzity. Subjekt bol v strede miestnosti – výška ucha nad podlahou bola približne 1,7 m, vzdialenosť prichádzajúceho zvuku od hlavy bola 1,2 m. Smerové prenosové funkcie namerali Norbert Kopčo a Claudia Persico v roku 2002. Bezechoické smerové prenosové funkcie boli vytvorené z echoických prenosových funkcií odstránením všetkých odrazov impulznej odozvy. Tá bola prenasobená kosínusovým oknom v intervale 0-480 ms. Na obr. č. 15 je znázornená výsledná bezechoická funkcia s lineárnym nábehom a dobehom.



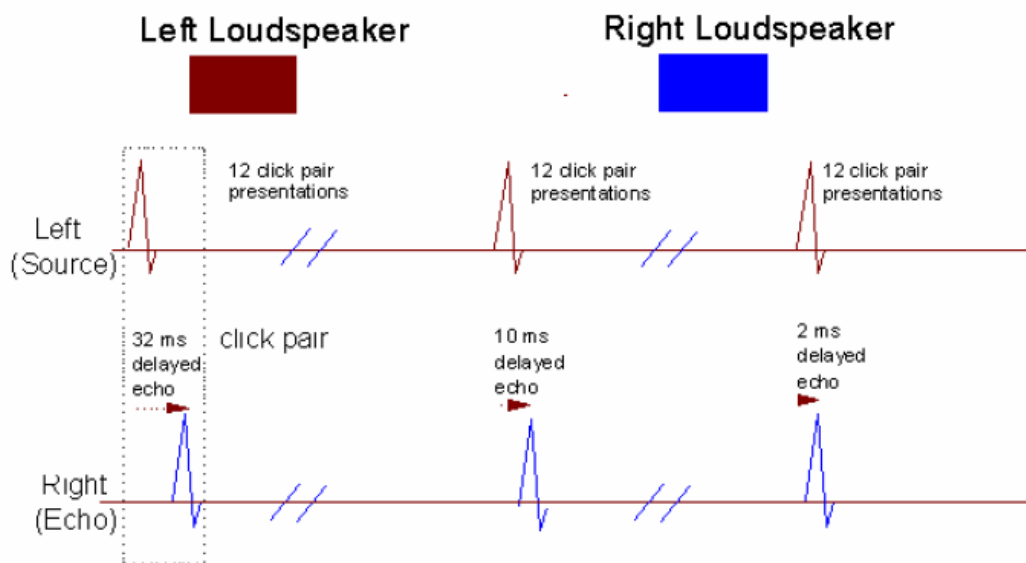
Obr. č. 15 Orezávanie impulznej odozvy.

Keďže meranie simulovalo dva zdroje zvuku použili sme HRTF namerané s reproduktorom umiesteným vo výške uší v pozícii 45° napravo od mediálnej roviny a vo vzdialenosti 120 cm od stredu hlavy poslucháča. Pre simulovanie stimulu prichádzajúceho sprava sme použili priamo túto dvojzložkovú HRTF. Pre simulovanie stimulu prichádzajúceho zľava sme zložky HRTF pre ľavé a pravé ucho vymenili, čím sme vytvorili simulovaný zdroj zvuku 45° vľavo od mediálnej osi. Použitím identickej HRTF sme dosiahli absolútnu symetrickosť ITD a ILD pre obe polohy.

Efekt potlačenia odrazu sluchovým systémom vzniká v uzavretých miestnostiach. Do uší prichádza ako prvý primárny zvuk a za ním, s omeškaním niekoľkých milisekúnd z inej polohy jeho odrazená kópia. Sluchový systém je schopný takýto odraz potlačiť, čo spôsobuje, že si ho človek neuvedomuje alebo jednoducho

povedané, odraz nepočuje. Okrem toho existuje mechanizmus, ktorý spôsobuje potlačenie odrazu, aj napriek tomu, že efekt potlačenia sa pri prvých zvukoch s ich odrazmi neobjavil. Sluchový systém sa jednoducho pri opakovaných zvukových stimuloch naučil ktorý zvuk je len odraz a postupne ho potlačil. Tento efekt sa volá build-up precedenčného efektu.

Pri vytváraní merania simulujúceho build-up precedenčného efektu sa použili dva typy stimulov. Jeden pre primárne zvuky a druhý pre ich odrazy. Poloha zdrojov týchto stimulov bola pomocou HRTF nasimulovaná v pozícii 45° vpravo pre jeden zdroj a 45° vľavo pre druhý. Podmienky ktoré sa simulovali sú vyznačená na obr. č. 16.



Obr. č. 16 Zdroj primárneho zvuku je prezentovaný z reproduktora na ľavej strane a zdroj odrazov z reproduktora na pravej strane. Prezentuje sa 12 klikov. Odrazy sú tu prezentované s omeškaním 2, 10 a 32 ms.

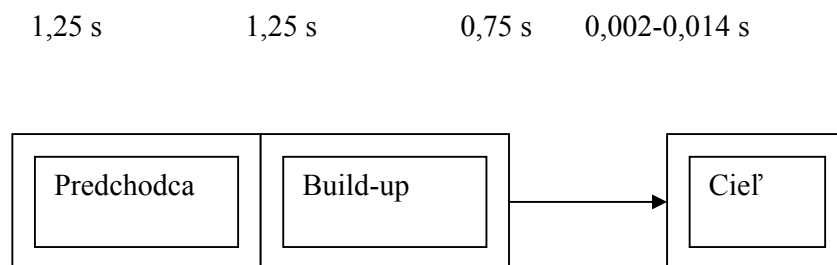
Keďže bolo meranie symetrické, tieto dva polohy sa pre primárny zdroj a odraz vymieňali. Odraz bol zakaždým prezentovaný s istým omeškaním. Omeškanie sa pre tento experiment pohybovalo v intervale 2-14 ms, s krokom 2 ms.

Impulzy pre oba zvuky boli v tvare klikov. Frekvencia výskytu klikov, ďalej označovaná pojmom hustota klikov sa pre rôzne typy stimulov menila. Každý stimul navyše pozostával podľa typu merania z niekoľkých častí. Tieto časti boli nazvané ako „predchodca“, prvá možná časť stimulu, „build-up“, prostredná časť a „cieľ“, posledná testovacia časť. V experimente sa použili dve hustoty prezentácii klikov pre dve možné časti stimulov. Štandardná a zhustená. Pre stimul so štandardnou prezentáciou v časti stimulu predchodca platí, že v stále konštantnom časovom úseku, 1,25 sekundy (s), bolo prezentovaných 5 primárnych klikov, čo sú 4 kliky za 1 s. Pre časť stimulu build-up bol pre každý primárny klik následne generovaný odraz. Zhustený stimul pre časť predchodca odprezentoval v rovnakom časovom úseku 9 primárnych klikov a v časti build-up sa k ním tiež pridali odrazy. Okrem toho bol pre časť build-up vytvorený tzv. zhustený lead, pod pojmom lead sa myslí primárny zvuk, ktorý obsahoval 9 primárnych klikov a len 5 odrazov, prezentovaných po každom druhom primárnom kliku. Pre časť predchodca bol vytvorený jeden neštandardný stimul, ktorý obsahoval aj kliky odrazov a to pri štandardnej hustote primárnych klikov aj odrazov. Je označený skratkou LL (lead-primárny zdroj, lag-odraz). Názorná ukážka usporiadania jednotlivých klikov je v tab. č. 1 a všeobecná schéma usporiadania častí stimulov na obr. č. 18.

časový priebeh		0s	1s
	smer(L,P)		
štandardný predchodca	L		
	P		
zhustený predchodca	L		
	P		
štandardný buil-up	L		
	P		
zhustený lead	L		
	P		
zhustený build-up	L		
	P		
bez build-up	L		
	P		

Tab. č. 1 Časové usporiadanie primárnych a odrazových klikov pre jednotlivé časti stimulov. Smer zdroja klikov je zľava L a zprava R podľa toho, či klik simuluje primárny alebo odrazený zvuk.

Všeobecná schéma stimulu , obr. č. 17 sa skladá sa z nepovinnej prvej časti nazvanej „predchodca“, z povinnej časti nazvanej „build-up“ a z povinnej časti „cieľ“. Medzi časťami build-up a cieľ bola tichá prestávka s dĺžkou 750 ms. Cieľ vždy pozostával z dvoch impulzov. Jeden bol prezentovaný z jedného smeru (napr. 45° vľavo) a druhý s omeškaním 2-14 ms, s krokom 2 ms, do druhého smeru (napr. 45° vpravo). Typ merania obsahujúci len cieľ overoval samotný precedenčný efekt bez efektu build-up.



Obr. č. 17 Všeobecná schéma zloženia stimulov pre jednotlivé typy meraní. Čísla predstavujú dĺžku trvania jednotlivých častí stimulu a tichú prestávku medzi časťami stimulu v sekundách.

Ak bol stimul zložený zo všetkých troch častí, jedna prezentácia takéhoto stimulu trvala asi 3,25 s plus krátky časový úsek pred začiatkom každej prezentácie. Zo schémy na obr. č. 17 a z tab. č. 1 je zrejmé, že frekvencia impulzov aj dĺžka trvania predchodcov aj build-up je vo všeobecnosti rovnaká. V jednotlivých stimuloch bolo teda pre jeden simulovaný zdroj zvuku prezentovaných v závislosti na zložení a type stimulu 5-18 impulzov. Trvanie jedného impulzu bolo 50 ns.

Tabuľka č. 2 uvádza zoznam typov stimulov (t.j., typov meraní) použitých v tejto štúdií. V tabuľke sú čiarou vyznačené kombinácie časti predchodcu a časti build-up zodpovedajúce použitým typom merania. Čiary sú farebne zakódované, a tento farebný kód bol použitý pri vykresľovaní a analýze dát v kapitole č. 5. Hrubšia čierna čiara

kóduje typ merania bez časti predchodca so štandardnou časťou build-up. Bodkovaná čierna čiara je použitá na stimul bez časti build-up. Stimuly, u ktorých očakávame vytvorenie build-up, sú označené ružovou bodkočiarkovanou a ružovou čiarkovanou čiarou. Stimuly, u ktorých neočakávame vytvorenie build-up sú vyznačené plnou čiarou.

Typ build-up	Typ predchodcu		
	žiaden	štandardný	zhustený
Žiaden	---		
Štandardný	—	— · — LL	
Zhustený	— · —	—	—
zhustený lead	—	—	—

Tab. č. 2 Typy meraní a ich čiarové a farebné kódovanie použité v štúdiu. LL hovorí, že tento typ predchodcu bol v tomto prípade tvorený aj impulzmi odrazu, teda klikom primárnym, lead, aj odrazom, lag.

Prvé meranie na overenie správnosti použitých meracích technik nepoužívala predchodcov, ako je vidieť v tab. č. 3.

Typ build-up	Typ predchodcu		
	žiaden	štandardný	zhustený
Žiaden	---		
Štandardný	—		
Zhustený	— · —		
zhustený lead	—		

Tab. č. 3 Typy meraní replikujúce štúdiu Freymana a kol. [13].

4.2 Výber subjektov

Jedinou podmienkou pre výber vhodných subjektov bolo úspešné absolvovanie testu zameraného na získanie maximálnych prahov počuteľnosti, tzv. audiogram. Za

úspešných boli považovaný tí/tie, ktorých prahy pre ľavé a pravé ucho podstatne neprevýšilo rozdiel 15dB od štandardnej krivky prahov počuteľnosti.

Audiogram zisťoval prahy pre frekvencie 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz a 8 kHz. U všetkých subjektov boli prahy v norme, vid' príloha B.

Experimentu sa napokon zúčastnilo 5 osôb, z toho 3 muži a 2 ženy vo veku 20-25 rokov.

4.3 Proces merania

Pri meraní bolo použité toto zariadenie:

- profesionálna zvuková karta **Echo Darla 20**
- profesionálne slúchadlá **Etymotic Research ER-4B**
- štandardný PC s 15“ monitorom

Meranie bolo uskutočnené v prostredí Matlabu 6.5.

Celé meranie pre jeden subjekt bolo rozdelené na dva štatisticky rovnaké časti. Celkovo bolo použitých spomínaných 16 typov stimulov, 8 zameraných na vnímanie odrazov v ľavom a 8 v pravom uchu. Každý typ bol pre všetky subjekty prezentovaný 4 razy. Celé meranie teda pozostávalo zo 64 sérii. V jednej sérii bolo prezentovaných 35 stimulov, z toho každý stimul s konkrétnym omeškaním 5 krát.

Pred prvým meraním bol každý subjekt oboznámený so základnými aspektmi merania. Okrem toho všetci prešli tréningovým programom, vid' príloha A, kde im bol na prípadoch maximálneho a minimálneho omeškania odrazu demonštrovaný jednoznačný rozdiel počuteľnosti a nepočuteľnosti sledovaného impulzu.

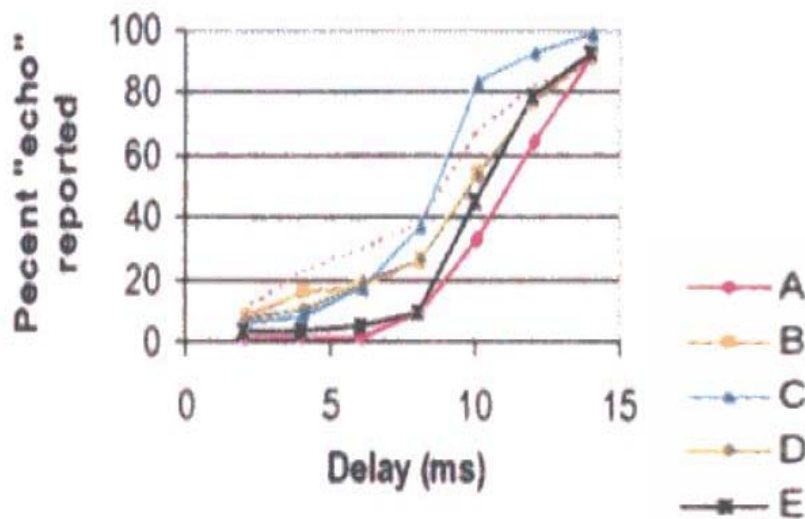
Subjekt bol na začiatku každej série upozornený, na ktorú stranu má smerovať svoju pozornosť. Po prehraní každého stimulu bol vyzvaný odpovedať, či mal vnem zvuku v danom uchu, pričom sa mal zamerať len na vnem impulzu z posledného dvojkliku prichádzajúcom vždy s omeškaním 750 ms. Pozornosť bola smerovaná na ucho, do ktorého bol prezentovaný omeškaný simulovaný odraz. Odpoveď subjektu bola spolu s číslom typu stimulu a veľkosťou omeškania zaznamenávaná.

5. Analýza nameraných dát

Spoločná analýza

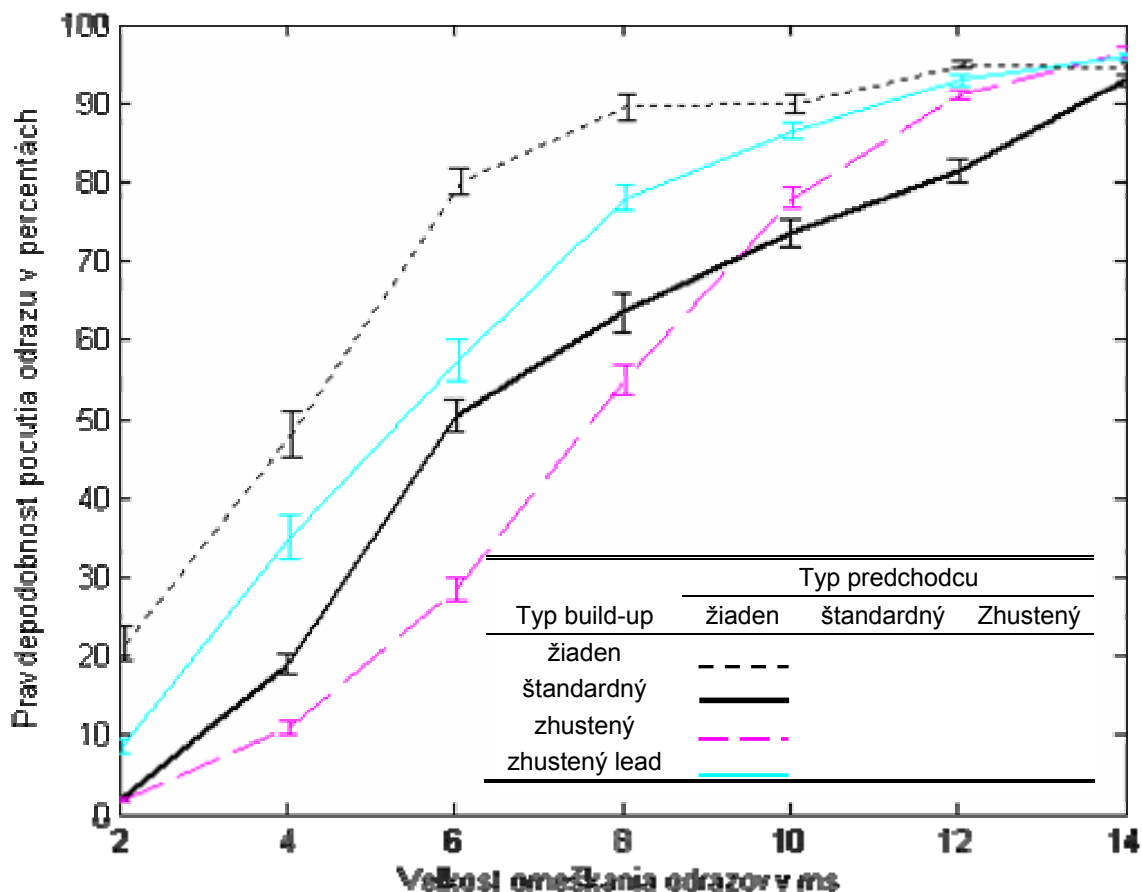
Prvou úlohou bolo overiť správnosť meracieho postupu v kontexte s existujúcou štúdiou [13], vid' obr. č. 17. Zamerali sme sa na tri z piatich pôvodných podmienok vid' Tab. č. 1. Freymanove [13] výsledky sa dajú zhrnúť takto:

- Pre typ merania zhustený build-up, vid' tab. č. 2, (v pôvodnej legende červená krivka, A) sa build-up oproti štandardnému typu merania build-up zosilnil, čo naznačuje poloha krivky posunutá oproti štandardnej smerom doprava.
- Pre typ merania zhustený lead, (v pôvodnej legende modrá krivka, C), sa build-up oproti normálnej podmienke zredukoval, táto krivka je vyššie položená.



Obr. č. 18. Výsledky experimentu Freymana a Keenovej [13]. Čierna krivka je pre štandardný typ merania, typ merania so zhusteným lead, modrá krivka, predstavuje zhoršenie build-up, typ merania so zhusteným build-up, červená krivka, predstavuje posilnenie build-up [13].

Na obr. č. 18 sú vykreslené výsledky nášho experimentu pre rovnaké typy meraní ako v Obr. 17 plus precedenčný efekt bez efektu build-up.



Obr. č. 19 Pravdepodobnosť pocutia odrazu ako funkcia omeškania odrazu pre typy merania použité Freymanom a Keenovou [13] (vid' Legendu). Grafy ukazujú priemernú hodnotu a štandardná chybu vypočítanú z dát všetkých subjektov.

Porovnanie sledovaných kriviek v oboch štúdiách ukazuje rovnaké závery, ktoré je možné zhrnúť takto:

- Build-up sa pri konzistentnom zvýšení frekvencie prezentácie impulzov primárneho zdroja a odrazu posilňuje.
- Pri nekonzistentnom zvýšení frekvencie primárneho zdroja oproti odrazu s dôsledkom zhustenia prezentovania primárneho zdroja, lead, sa efekt build-up

potlačenia odrazu oslabuje. Navyše, porovnanie modrej a čiarkovanej čiary ukazuje, že aj v tomto prípade sa build-up do určitej miery vytvoril.

Zo zistených záverov taktiež vyplýva, že postup zvoleného merania je správny vo vzťahu k štúdiu [13] a môže sa predpokladať že ďalšie nazberané dáta sú dostatočne spoľahlivé pre vyhodnotenie vyšetrovanej hypotézy.

Pri ďalších analýzach sa dokazuje hypotéza, že build-up precedenčného efektu závisí aj od perceptuálnej organizácie sluchovej scény. Predpokladá sa, že pridaním impulzov predchodcu pred štandardný alebo zhustený build-up sa efekt build-up zredukuje, pretože z hľadiska organizácie sluchovej scény je interpretácia, že odraz, lag, je len odraz, nesprávna.

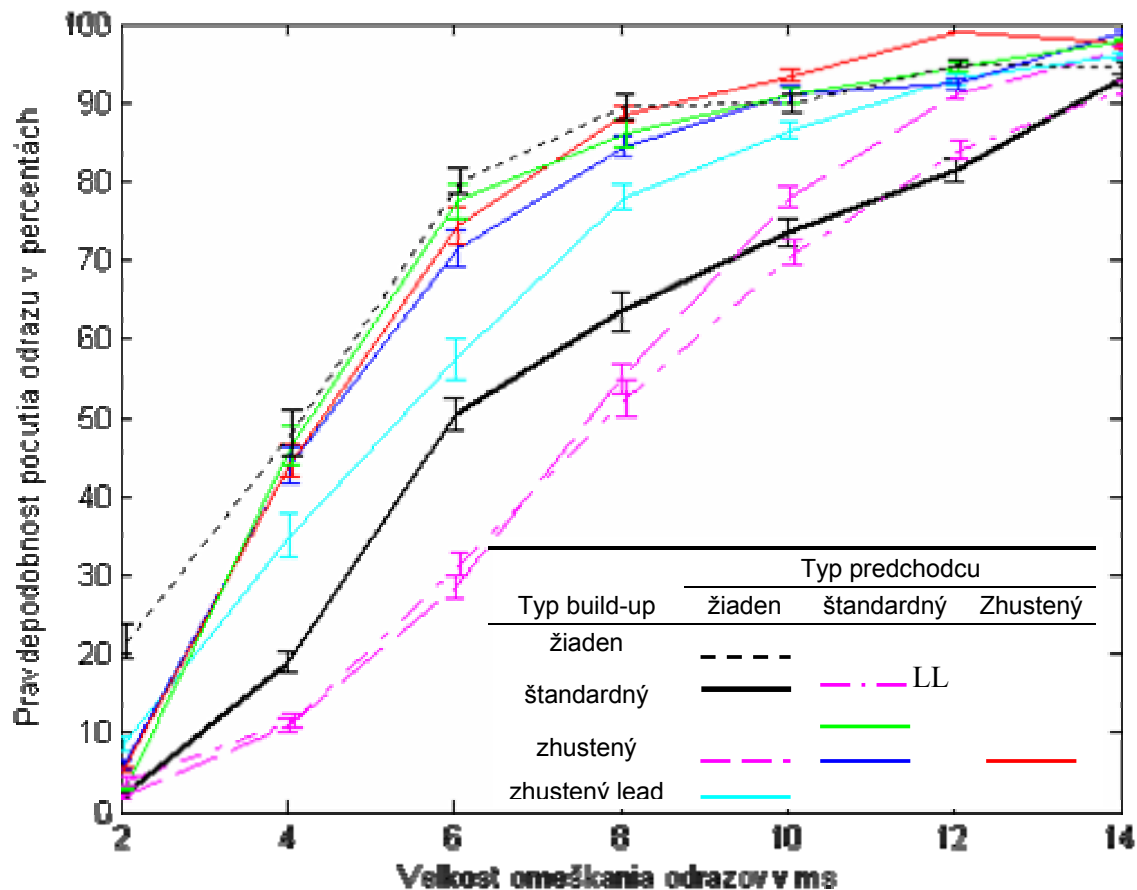
Testovanie prebehlo za podmienok bližšie popísaných v kap. 3. 4.

V nasledujúcom grafe na obr. č 20 je zobrazených 8 kriviek. Každá krivka pozostáva z priemeru nameraných hodnôt vypočítaných pre zdroj na ľavej a pravej strane, zvlášť pre každý typ merania. Čiernou bodkovanou krivkou je vykreslený typ merania, ktorý odráža precedenčný efekt bez efektu build-up, keďže v tomto prípade bol zakaždým prezentovaný iba jeden impulz primárneho zvuku a jeden odraz, čiže iba cieľ. Vid' obr. č. 2.

Výsledky meraní zobrazené v grafe na obr. č. 20 hovoria, že:

Zosilnenie efektu build-up oproti typu merania bez predchodcu so štandardnou build-up časťou, vyznačenej čiernou plnou krivkou, nastane vo dvoch prípadoch.

- V type merania bez predchodcu, ale so zhustenou časťou build-up, čiže ak frekvencia prezentovania primárneho impulzu vzrastie konzistentne s frekvenciou prezentovania odrazu, čo je znázornené fialovou čiarkovanou čiarou.
- V type merania s predchodcom, ak je časť predchodca identická s časťou build-up, čím sa vlastne jedná o predĺžený štandardný build-up vyznačeného fialovou čiarkovanou čiarou.



Obr. č. 20 Pravdepodobnosť pocutia odrazu ako funkcia omeškania odrazu pre všetky použité typy merania (viď. Legendu). Grafy ukazujú priemernú hodnotu a štandardná chyba vypočítanú z dát všetkých subjektov. LL znamená, že v časti predchodca boli použité kliky primárneho zvuku aj odrazu (lead,lag).

Oslabenie efektu build-up nastane pre všetky ostatné typy merania.

- Najmenšie oslabenie vzniká pre typ stimulu bez predchodcu, popísaný v súvislosti so štúdiou [13]. Je to pravdepodobne dôsledkom menšej jednoznačnosti existencie dvoch sluchových objektov. Sluchový systém má z hľadiska perceptuálnej organizácie menej podnetov na vytvorenie dvoch sluchových prúdov. Môže tak rozhodnúť len na základe rôznej frekvencie výskytu prezentovaných impulzov pre primárny zvuk a jeho odraz, keďže počiatok aktivácie oboch prúdov je veľmi blízky.

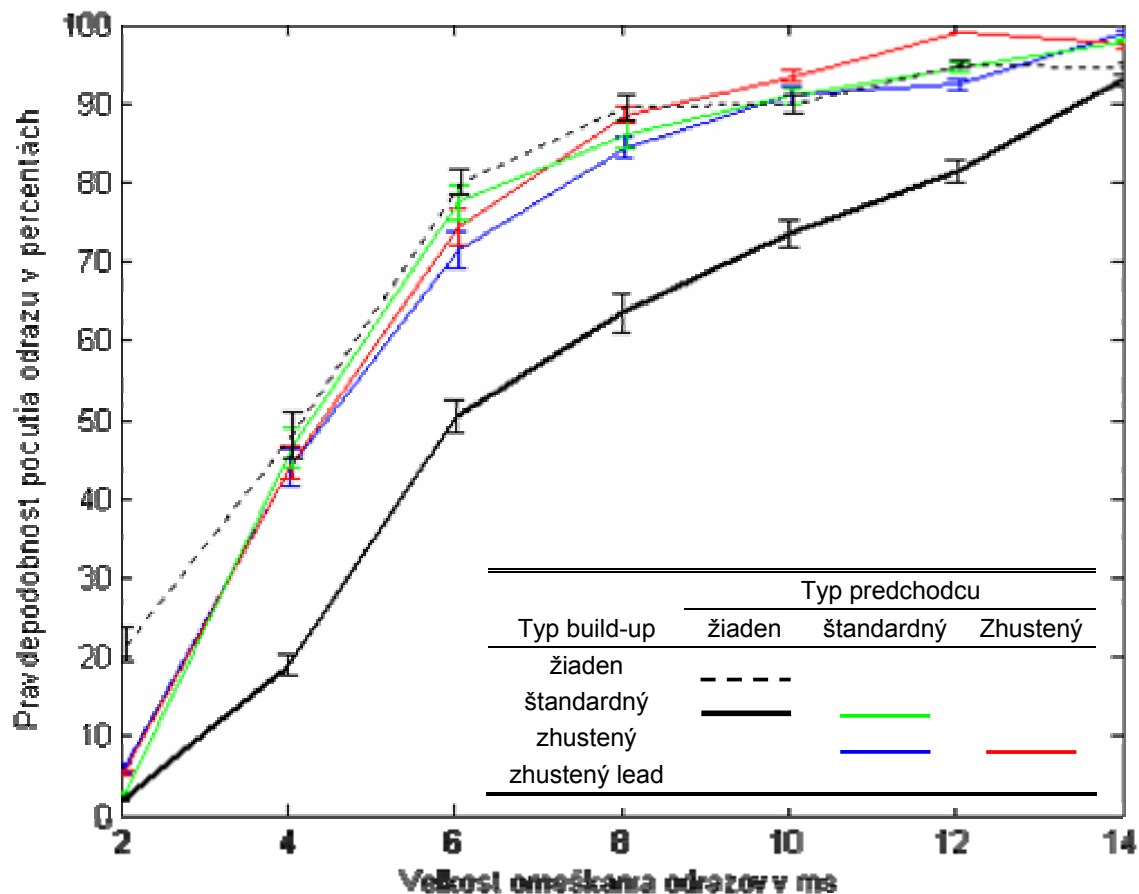
Pre lepšiu čitateľnosť je časť grafov z Obr. 20 ukázaná samostatne v Obrázku 21.

Na obrázku č. 21 sú vynesené hodnoty, ktoré jednoznačne potvrdzujú overovanú hypotézu. Vo všetkých troch prípadoch sa pred štandardný alebo zhustený build-up pridal predchodca. Dvakrát sa použil typ štandardného predchodcu a raz typ zhusteného predchodcu. Očakávania sú také, že čím viac sa v stimule líšia časť predchodca a časť build-up, tým viac sa bude rušiť efekt build-up pre daný typ merania.

- Najmenej podobné časti predchodcu a build-up sú v type merania so stimulom obsahujúcim štandardného predchodcu a zhustený build-up. Tento typ merania je na obr. č. 21 vyznačený modrou krivkou. Frekvencia prezentácie impulzov sa tu mení. Podnetom pre sluchový systém na vytvorenie separátneho prúdu pre impulzy odrazov by mohol byť aj ich omeškaný nástup. Impulzy odrazov sú prezentované až v druhej časti stimulu, v časti build-up. Časť predchodca je tvorená len impulzmi primárneho zvuku, pozri. Tab. č. 1. Odpovedajúca krivka je ešte pre omeškanie odrazu o 6 ms v oblasti s najslabším efektom build-up, čo je v súlade s hypotézou.

Rozdiely medzi červenou, zelenou a modrou krivkou sú veľmi malé a štatisticky pravdepodobne nevýznamné. Fakt podporujúci hypotézu je, že potláčanie build-up je najsilnejšie pre modrý graf, kde je interpretácia primárneho zdroja zvuku pre predchodcu a pre build-up nekonzistentná. V ostatných dvoch konzistentná je, pretože buď je použitý hustý predchodca s hustým build-up alebo štandardný predchodca a štandardný build-up. Napriek tomu je ale potlačenie build-up silné.

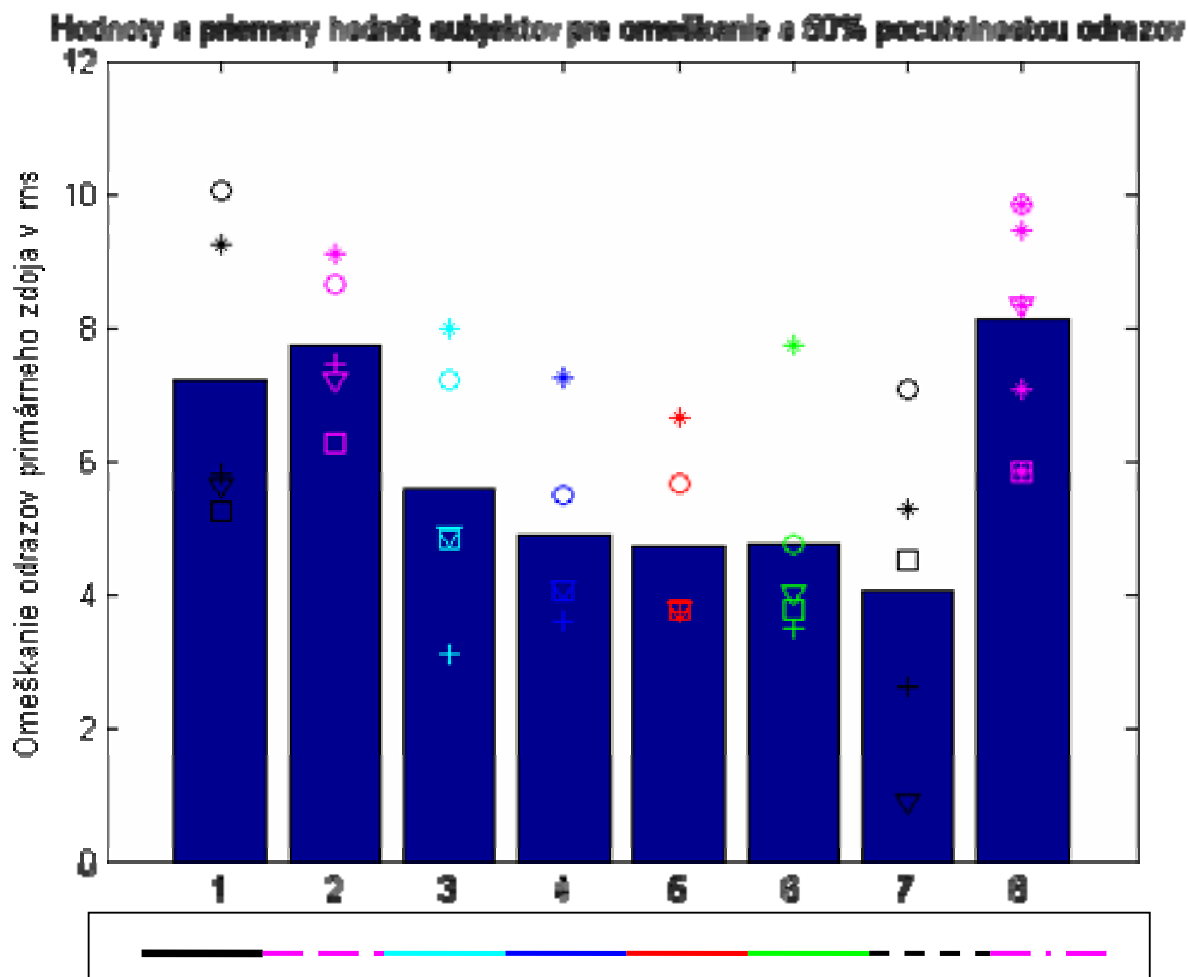
- Zvyšné dva typy meraní sú analogické. Buď je stimul tvorený zhusteným typom predchodcu a zhusteným typom build-up, červená krivka na obr. č. 21, alebo štandardným typom predchodcu a štandardným typom build-up, zelená krivka na obr. č. 21. Efekt build-up je tu výraznejšie potlačený pre typ merania so zhusteným predchodcom a zhusteným build-up. Sluchový systém pravdepodobne lepšie detekuje nový sluchový objekt, ak je frekvencia výskytov vyššia.



Obr. č. 21 Pravdepodobnosť počutia odrazu ako funkcia omeškania odrazu pre všetky typy merania s predchodcom, kde sa oslabil efekt build-up oproti štandardnému typu build-up (viď. Legendu). Grafy ukazujú priemernú hodnotu a štandardná chybu vypočítanú z dát všetkých subjektov.

Hodnoty vnesené v stĺpcoch grafu na obr. č. 22 sme získali ako koeficienty sigmoidálnej rovnice:

$$\frac{1}{1 + e^{(k1*(x-k2))}}$$

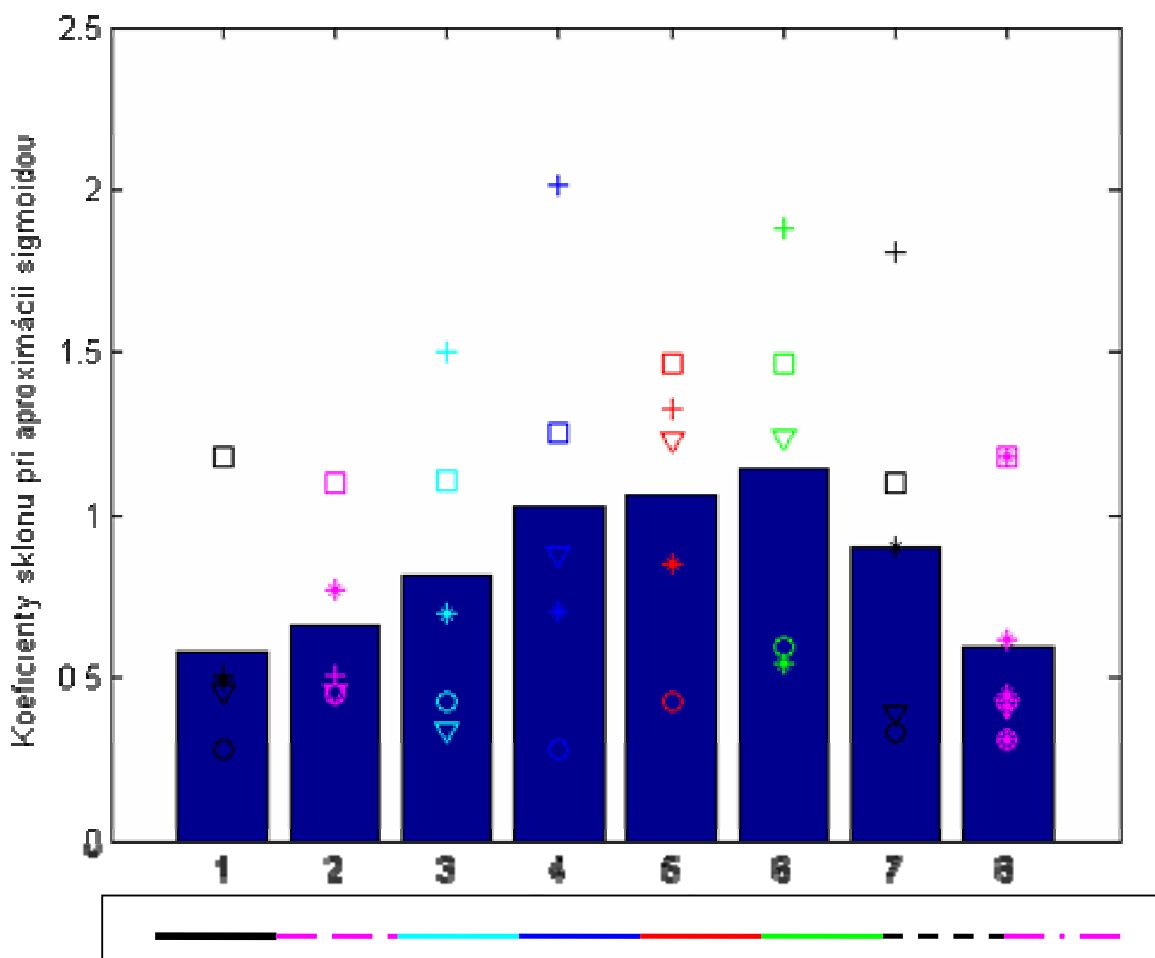


Obr. č. 22 Hodnoty a priemery týchto hodnôt nameraných pri omeškaní odrazu s 50 % počuteľnosťou prezentácii. Farba značiek označuje ich príslušnosť k danému kódovaniu typu merania a tvar značiek príslušnosť k jednotlivým subjektom.

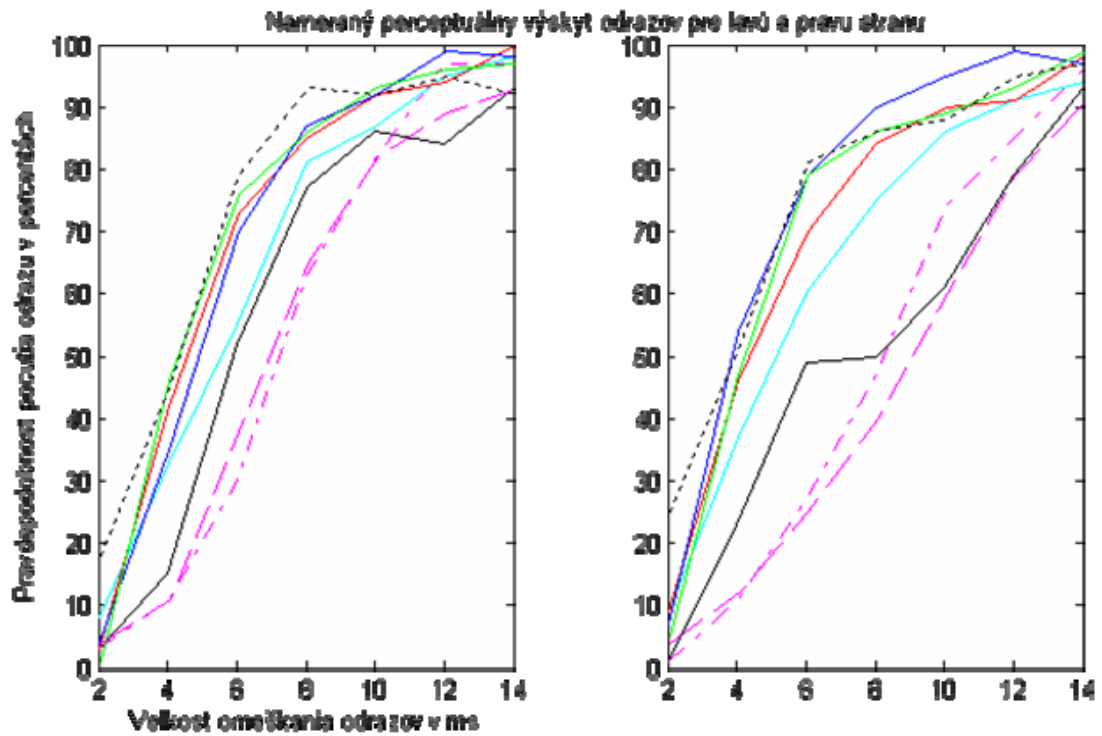
Ňou sú nelineárne aproximované jednotlivé psychometrické krivky z obr. 20 tak, aby sa minimalizoval kvadrát chyby sigmoidálnej aproximácie. Koeficient k_1 je vyjadrením strednej hodnoty krivky, čo je v našom prípade veľkosť omeškania, pri ktorom subjekt na otázku, či počul odraz odpovedá kladne v 50 % prezentácii. Individuálne rozdiely sú pomerne veľké. Jednotlivé aproximácie sú vykreslené v prílohe.

Čím je krivka strmšia a teda jej stred sa nachádza v nižších hodnotách omeškania odrazu, pozri obr. č. 22 , tým je podľa hypotézy kognitívny proces menej centrálny. Namerané dáta sú relatívne strmé, čo môže byť spôsobené tým, že je tu sledovaná interakcia dvoch procesov.

Koeficient k_2 vyjadruje sklon krivky, vid'. obr. č. 23. Vo všeobecnosti platí, že jednoduchšie systémy majú strmšie krivky. Ak je sklon malý, krivka zrejme popisuje nejaký zložitejší systém. To by mohlo viesť k záverom, že build-up precedenčného efektu je výsledkom zložitého spracovávania systémom priestorového počutia a že sa na ňom nemusí zúčastňovať aj systém perceptuálnej organizácie.



Obr. č. 23 Priemerné a jednotlivé hodnoty popisujúce parameter sklonu kriviek pre všetky typy meraní s farebným kódovaním ako v tab. č. 2 a značkami pre jednotlivé subjekty.



Typ build-up	Typ predchodcu		
	žiaden	štandardný	zhustený
Žiaden	---		
Štandardný	—	— LL	
Zhustený	---	—	—
zhustený lead	---	—	—

Obr. č. 24 Porovnanie dát z pohľadu orientácie prezentovania odrazov z pravej alebo ľavej strany.

Na obr. č. 24 sú vynesené krivky ktorých aritmetický priemer je vynášaný na všetkých ostatných obrázkoch znázorňujúcich výsledné dáta. V ľavej časti obrázku sú zaznamenané odpovede subjektov, keď sa meranie sústredilo na výskyt vnemu odrazu prichádzajúceho zľava. Subjekty boli vždy pred začatím počúvania nového typu merania oboznámení s jeho orientáciou na pravé alebo ľavé stranu. Ak bolo meranie zamerané na ľavé ucho, impulzy odrazu prichádzali z polohy 45° vľavo a impulzy primárneho zdroja z polohy 45° vpravo a naopak, vid'. Kap. 4.1. Z obr. č. 24 vyplýva, že priestor kriviek

so silnejším build-up je pre pravé ucho položený nižšie, teda build-up sa pri pravom uchu prejavil vo väčšej miere ako pre ľavé ucho.

Analýza pre subjekty jednotlivo je uvedená v obrazovej prílohe.

6. Záver a zhodnotenie

Táto štúdia bola zameraná na overenie vplyvu perceptuálnej organizácie na build-up precedenčného efektu. Hypotéza navrhuje, že ak sluchový systém bude nútený vytvoriť nový sluchový objekt, následný proces potlačovania odrazov sa oslabí. Vykonaná experimentálna štúdia túto hypotézu podporuje pre dáta všetkých subjektov, ktorí sa zúčastnili merania. Ak bol pred stimul podporujúci vznik build-up precedenčného efektu pridaný stimul, ktorého frekvencia prezentácie impulzov bola odlišná, a ktorému chýbali impulzy odrazov, build-up sa naozaj oslabil. Predpokladá sa, že došlo k vytváraniu nových sluchových prúdov čo následne viedlo k spomínanému potlačeniu vzniku build-up.

Štúdia bola úspešná aj pri replikovaní štúdie Freymana a kol. [13], čo potvrdzuje, že dáta namerané v tejto štúdii sú kompatibilné.

Zhodnotenie

Hlavným cieľom tejto štúdie bolo skúmať vplyv perceptuálnej organizácie na efekt potlačania odrazov primárneho zvuku a na súvisiaci efekt adaptácie sluchového systému, build-up. Splnenie tohto cieľa bolo rozdelené na niekoľko podúloh, ktorých splnenie môžeme zhrnúť takto:

1. úloha: Kapitola č. 2 poskytuje prehľad v oblasti priestorového počutia zameraný na uzavreté miestnosti s dôrazom na precedenčný efekt, build-up precedenčného efektu a organizovanie sluchovej scény.
2. úloha: Kapitola č. 4.1 a 4.2 popisuje prípravu experimentálnej štúdie, generovanie stimulov, výber subjektov.
3. úloha: Kapitola č. 4.3 popisuje proces experimentálneho merania
4. úloha: Analýza nameraných dát a zhodnotenie je obsahom Kapitoly č. 5.

Zoznam použitej literatúry

- [1] KUBOVI, Michael, VAN VALKENBURG, David: Auditory and visual objects, 2001, Cognition 80, 97-126
- [2] BLAUERT, Jens : Spatial hearing and related phenomena, MIT Press, London, 1997. 488 s. ISBN 0-262-02413-6
- [3] WARNCKE, H. : The fundamentals of room-related stereophonic reproduction in sound films, 1941, Akust. Z. 6, 174-188.
- [4] CREMER, L. : The scientific foundations of architectural acoustics, 1948, The scientific foundations of architectural acoustics, vol. 1. S. Hirzel Verlag, Stuttgart.
- [5] WALLACH, H. : On sound localization, 1949, J. Acoust. Soc. Amer. 10, 270-274.
- [6] WALLACH, H. , NEWMAN, E.B. , ROSENZWEIG, M. R. : The precedence effect in sound localization, 1949, Amer. J. Psychol. 57, 315-336.
- [7] WAGENER, B. : Spatial distribution of auditory directions in synthetic sound field, 1971, Acustica 25, 203-219.
- [8] SERAPHIM, H. P. : On the perceptibility of multiply reflection of speech sounds, 1961, Acustica 11, 80-91.
- [9] VON BÉKÉSY, G. : Auditory backward inhibition in content halls, 1971, Science 171, 529-536.
- [10] PICKETT, J. M. : Backward masking, 1959, Journal of the Acoustic Society of America, 31, 1613-1615.
- [11] BLAUERT, J. : Psychoacoustic binaural phenomena, 1983, In: R. Klinke and R. Hartmann (Eds.), Hearing – psychological bases and psychophysics, Springer-Verlag, New York, pp. 182-199.
- [12] ZUREK, P. M. : The precedence effect, 1987. W.A. Yost and G. Gourevitch (Eds.), Directional Hearing, Springer, New York, pp. 85-105
- [13] FREYMAN, R. L., CLIFTON, R. K., LITOVSKY, R.Y. : Dynamic processes in the precedence effect, 1991, Journal of the Acoustic Society of America, 90, 874-884

- [14] CLIFTON, R. K. : Breakdown of echo suppression in the precedence effect, 1987, Journal of the Acoustic Society of America, 82, 1834-1835.
- [15] CLIFTON, R.K. , FRYMAN, R.L. , LITOVSKY, R.Y. , McCALL, D. Listener expectations about echoes raise or lower echo threshold, 1994, Journal of the Acoustic Society of America, 95, 1525-1533
- [16] CLIFTON, R. K. - MORRONGIELO, B. A. - DOWD, J. M. : A developmental look at an auditory illusion: The Precedence effect, 1984, Developmental Psychobiology, 17, 519-536
- [17] CORNELLISE, L. E. – KELLY, J.B. : The effect of cerebrovascular accident on stability to localize sounds under conditions of the precedence effect, 1987, Neuropsychologia, 25, 449-452
- [18] SABERI, K. - PERROT, D. R. : Lateralization thresholds obtained under conditions in which the precedence effect is assumed to operate, 1990, Journal of the Acoustical Society of America, 87, 1732-1737
- [19] GRANTHAM, D.W. : Spatial hearing and related phenomena, 1995, Hearing, edited by B.C.J. Moore, academic, New York
- [20] BLAUERT, J.: Localization and law of the first wavefront in median plane, 1971, J. Acoust. Soc. Amer. 50, 466-470
- [21] RAKERT, B. - HARTMAN, W. M. : Precedence effect with and without binaural differences: Sound localization in three planes, 1992, J. Acoust. Soc. Amer. 92, 2296
- [22] DARWIN, C.J. : Auditory grouping, 1997, Trends Cogn. Sci. 1, 327–333 [23] BREGMAN, Auditory Scene Analysis: The Perceptual Organization of Sound, MIT Press, Cambridge, 1990
- [24] WENDT, K. : Word intelligibility in two-ear hearing, 1959, Nachrichtentech. Fachber. 15, 21-24
- [25] MOORE, Brian, C. J. : An introduction to the psychology of hearing, 1997, Academic press, London, 372 s. ISBN 0-12-505627-3
- [26] RASCH, R.A. : The perception of simultaneous notes such as in polyphonic music, 1987, Acustica 40, 21-33

- [27] KOFFKA, K.: Principle of Gestalt psychology, 1935, Harcour and Brace, New York
- [28] ROYER, F.L. - GARNER, W.R. : Response uncertainly and perceptual difficulty of auditory temporal patterns, 1966, Percept. Psychophys. 1, 41-47
ROYER, F.L. - GARNER, W.R. : Perceptual organization of nine-element auditory temporal patterns, 1970, Percept. Psychophys. 7, 115-120
- [29] HENDEL, S. : Timbre perception and auditory object identification, 1973, In Hearing, edited by C.J. Moore, Academic Press
- [30] VAN NORDEN, L.P.A.S. : Rhythmic fission as a function of tone sequences, IPO Annual Prog. Rep.6, 9-12
- [31] CARLION, Robert. P. : How the brain separates sounds, 2004, TRENDS in Cognitive Sciences Vol.8 No.10
- [32] CUSCAK, R. et al. (2004) Effects of location, frequency region, and time course of selective attention on auditory scene analysis. J. Exp.Psychol. Hum. Percept. Perform. 30, 643–656
- [33] ANGELL, J. R: Psychology: an introductory study of the structure and function of human conscious (3rd ed., pp. 141±160), 1906, New York: Henry Holt.
- [34] RORDEN, C. - DRIVER, J. : Does auditory attention shift in the direction of an upcoming saccade?, 1999, Neuropsychologia, 37, 357±377.
- [35] SPENCE, C.-DRIVER, J. :Audiovisual links in exogenous overt spatial Orienting, 1997, Perception & Psychophysics, 59 (1), 1±22.
- [36] JAY, M. F. - SPARKS, D. L. :Auditory receptive fields in primate superior colliculus shift with changes in eye position, 1984, Nature, 309, 345±347.
- [37] KUBOVY, Michael : Should we resist the seductiveness of the space:time:vision:audition analogy?, 1981, Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 14, 318±320.
- [38] JONES, D.M. et al. : Organizational factors in selective attention: the interplay of acoustic distinctiveness and auditory streaming in the irrelevant sound effect,1999, J. Exp. Psychol. Learn.Mem. Cogn. 25, 464–473
- [39] KOPČO, N.: *Výpočtová neuroveda: prednášky k predmetu*, 2005, Dostupné na Internet: URL= <<http://neuron.tuke.sk/~kopco/kui440> >

Prílohy

Príloha A: CD médium – diplomová práca v elektronickej podobe, prílohy v elektronickej podobe, zdrojové kódy a spustiteľná verzia programu, kódy pre analýzu programu

Príloha B: Obrazová príloha

Príloha C: Systémová príručka

Príloha D: Používateľská príručka

Zoznamy

Zoznam obrázkov

Obr. č. 1 Vizualizácia tvorby sluchových prúdov	5
Obr. č. 2 Vieme sa sústrediť buď na dve tváre na obraze alebo na vázu uprostred obrazu [1].....	5
Obr. č. 3 Porovnanie vnímania jednotlivých entít vo vizuálnej a sluchovej podobe [1].....	7
Obr. č. 4 Nákres priestorových rovín a jednotlivých uhlov používaných pri sluchových experimentoch, kde r je vzdialenosť, ϕ je azimut a ψ elevácia [25].	8
Obr. č. 5 Akustický tieň (ILD) a časový rozdiel prichádzajúceho zvuku (ITD) [39].....	9
Obr. č. 6 Vplyv rozdielov intenzity a časového omeškania pri sumárnej lokalizácii. Čiarkovaná čiara predstavuje lokalizovanie sluchovej udalosti pre jeden zvukový podnet a plná čiara zmenu lokalizácie pre dva zvukové podnety s daným rozdielom intenzity a časovým omeškaním v tzv. fantómovom smere [2].	11
Obr. č. 7 Prah vnímania echa pre rôzne stimuly. Na osi x je vynesené omeškanie odrazu od primárneho zvuku. Na osi y sú vynesené prahové hodnoty rozdielov úrovne intenzity pre priamy zvuk L_{st} a jeho odraz L_{so} pre jednotlivé typy stimulov. A je stimul kliku, b, c, d je reč a e je pulzná sínusoida [2].	12
Obr. č. 8 Príklad množiny odrazených zvukov v miestnosti pri prezentácii jedného stimulu.....	14
Obr. č. 9 Intenzita stimulu S a jeho odrazov R_1, R_2, R_3 zaznamenaná v čase [23].....	14
Obr. č. 10 Náčrt podmienok merania precedenčného efektu a graf jednotlivých sluchových udalostí v závislosti od veľkosti omeškania odrazu stimulu [2].....	15
Obr. č. 11 Build-up potlačenia echa v závislosti od počtu prezentovaných klikov a rýchlosti jednotlivých prezentácií [19].	17

Obr. č. 12 Mix bežných zvukov bezchybne rozpoznávaných sluchovým systémom. V poradí zhora akustické vlnenie reči, ventilátora, tlačiarne, zvonenia a ich mix [2].....	19
Obr. č. 13 Schémy možných kombinácií začiatku prezentácie maskovaného a maskovacieho signálu [25].....	21
Obr. č. 14 Pri rýchlom striedaní A a B tónov s rôznou výškou tónu (Frequency, 1) sluchový systém utvorí pre obe skupiny tónovo samostatný prúd, 2 [39].	26
Obr. č. 15 Orezávanie impulznej odozvy.	32
Obr. č. 16 Zdroj primárneho zvuku je prezentovaný z reproduktora na ľavej strane a zdroj odrazov z reproduktora na pravej strane. Prezentuje sa 12 klikov. Odrazy sú tu prezentované s omeškaním 2, 10 a 32 ms.	33
Obr. č. 17 Všeobecná schéma zloženia stimulov pre jednotlivé typy meraní. Čísla predstavujú dĺžku trvania jednotlivých častí stimulu a tichú prestávku medzi časťami stimulu v sekundách.....	35
Obr. č. 18. Výsledky experimentu Freymana a Keenovej [13]. Čierna krivka je pre štandardný typ merania, typ merania so zhusteným lead, modrá krivka, predstavuje zhoršenie build-up, typ merania so zhusteným build-up, červená krivka, predstavuje posilnenie build-up [13].....	38
Obr. č. 19 Pravdepodobnosť počutia odrazu ako funkcia omeškania odrazu pre typy merania použité Freymanom a Keenovou [13] (viď. Legendu). Grafy ukazujú priemernú hodnotu a štandardná chyba vypočítanú z dát všetkých subjektov.....	39
Obr. č. 20 Pravdepodobnosť počutia odrazu ako funkcia omeškania odrazu pre všetky použité typy merania (viď. Legendu). Grafy ukazujú priemernú hodnotu a štandardná chyba vypočítanú z dát všetkých subjektov.	41
Obr. č. 21 Pravdepodobnosť počutia odrazu ako funkcia omeškania odrazu pre všetky typy merania s predchodcom, kde sa oslabil efekt build-up oproti štandardnému typu build-up (viď. Legendu). Grafy ukazujú priemernú hodnotu a štandardná chyba vypočítanú z dát všetkých subjektov.	43
Obr. č. 22 Hodnoty a priemery týchto hodnôt nameraných pri omeškaní odrazu s 50 % počuteľnosťou odrazov.	44
Obr. č. 23 Priemerné a jednotlivé hodnoty popisujúce parameter sklonu kriviek.....	45

Obr. č. 24 Porovnanie dát z pohľadu orientácie prezentovania odrazov z pravej alebo ľavej strany.....	46
---	----

Zoznam tabuliek

Tab. č. 1 Časové usporiadanie primárnych a odrazových klikov pre jednotlivé časti stimulov. Smer zdroja klikov je zľava L a zprava R podľa toho, či je klik simuluje primárny alebo odrazený zvuk.....	41
--	----

Tab. č. 2 Typy meraní a ich čiarové a farebné kódovanie použité v štúdiu. LL hovorí, že tento typ predchodcu bol v tomto prípade tvorený aj impulzmi odrazu, teda klikom primárnym, lead, aj odrazom, lag.....	43
--	----

Tab. č. 4 Typy meraní replikujúce štúdiu Freymana a kol. [13].....	43
--	----

Slovník pojmov

INTERAURÁLNY,- V priestore medzi ušami

IPSILATERÁLNY - Na tej istej strane hlavy

KONTRALATERÁLNY - Na opačnej strane hlavy

BINAURÁLNY - Pre obe uši

REVERBERANTNÝ - Odrážajúci zvuk

ITD, Interaural time differences - Časové rozdiely spôsobené vzdialenosťou uší

ILD, Interaural level differences - Rozdiel intenzity jedného zvuku pre pravé a ľavé ucho

HRTF, Head-related transfer function - Prenosová funkcia

MMN, Mismatch negativity - Zmena negativity

IPS Interparietal sulcus - Interparietálny závit