

Tóth Roland:

**Fejmozgás szimuláció hatása a virtuális
valóságban**

Tartalomjegyzék

1 Bevezetés	3
2 Hang	4
2.1. Hangtani alapfogalmak	4
2.1.1. Hanghullám	4
2.1.2 Hangnyomás és intenzitás	4
2.1.3. Hangforrás	6
2.1.4. Irányhallás	6
2.2. A hangtér a fülek közelében	7
2.3. Helymeghatározhatóság	7
2.3.1. Lokalizáció	7
2.3.2. Lokalizációs bizonytalanság	8
2.4. A hangtér a fülek közelében	12
2.5. A dobhártya	13
2.6. A fülkagyló	14
3 Psychoakusztikus hallás	16
3.1. Fejközépi hallás	16
3.2 Hallás a vízszintes síkban	17
3.2.1 Különbségi idő	17

3.2.2 Szint különbség.....	18
3.3 Monaurális és Interaurális jellemzők	19
3.3.1 Monaurális jellemzők	19
3.3.2 Interaurális jellemzők.....	19
3.4 Átviteli függvények és mérése	20
3.4.1 Általános leírása	20
3.4.2 Mérése	22
4 Beachtron - kártya	26
4.1 A mérőprogram	28
4.2 Mérés folyamata.....	30
4.2.1 A kérdőív	32
5 A tényleges eredmények.....	33
5.1 Az első mérés	33
5.2 A második mérés	38
5.3. A harmadik mérés	43
6 Összefoglalás	48
7 Felhasznált irodalom	
8 Függelék.....	

Bevezetés

A szakdolgozat egy olyan térbeli hallás szimulációs feladat, amit embereken kellett elvégezni. Emiatt rájuk voltam utalva és kénytelen voltam elfogadni a megfigyeléseiket.

A feladat része egy fejhallgatón keresztül történő hangtérszimulációs kísérletsorozatnak. A szimuláció egy egyszerű PC-s DSP kártyán fut, mely a bemeneti mono wave fájlt a merevlemezről veszi, a fül szűrőhatását jellemző átviteli függvényeket a memóriából, a kettő együttese pedig a szimulált hangteret eredményezi. A kártya programozása egyszerű C++ utasításokkal történik.

A rendszer része a GUIB (Graphical User Interface for Blind Persons) kutatásnak, ahol a cél vakok számára olyan rendszer kifejlesztése, mellyel tudnak PC-t (Windows-t) kezelni egérrel, hangok alapján tájékozódva.

A szakdolgozatomban egy rövid áttekintést, illetve ismertetést írok a hallás alapjairól, hogy mi a hangerősség és a többi alapvető fogalom. Szó lesz még az átviteli függvényekről (HRTF) és a lokalizációról, amelyeknek ismerete elengedhetetlen ahhoz, hogy igazán megértsük a mérés folyamatát.

Egy rövid ismertetés a hangkártyáról (Beachtron - kártya), ami lehetővé teszi a számítógépről történő mérést.

2. Hang

2.1. Hangtani alapfogalmak

2.1.1. Hanghullám

Hanghullámnak nevezünk minden olyan rezgő mozgást, amely 20 Hz - 20 KHz közötti tartományban helyezkedik el.

A rezgés általános alakja:

$$y(t) = A_0 + A \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

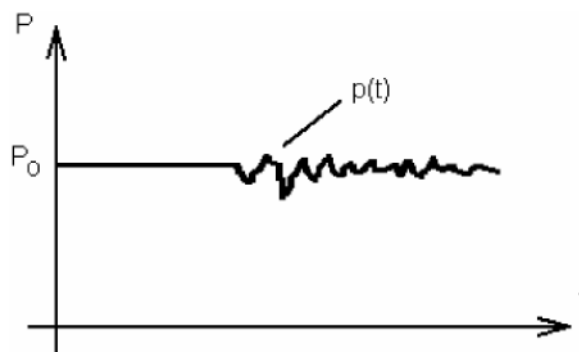
ahol $y(t)$ a pillanatérték az idő függvényében, az amplitúdó, ω a körfrekvencia [rad/sec] - ban, az A_0 amplitúdó egyen szintje. Mely függ a tengerszint feletti magasságtól. Átlagos értéke: 10^5 Pa.

2.1.2 Hangnyomás és intenzitás

A hang egyik nagyon fontos paramétere a hangnyomás.

Hangnyomásnak nevezzük másképpen a már előbb is említett amplitúdót.

$$P(t) = P_0 + p(t)$$



2.1. ábra. A hangnyomás időfüggvénye

A másik nagyon fontos paraméter az intenzitás. Az intenzitás: 1 m^2 – i felületen, 1 s alatt átáramlott (átlag) energia. A hangnyomással és a részecskesebességgel megadva:

$$i = p \cdot v \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

Az intenzitás vektoriális mennyiség, az iránya a részecskesebességből adódik.

A hangnyomásnak és az intenzitásnak is létezik dB - ben megadott szintje. Nagyon kell ügyelni arra, hogy ezeket ne keverjük össze se egymással, se a skalár mennyiségekkel. Az intenzitásszint:

$$I = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) [dB]$$

ahol, $I_0 = 10^{-12} \left[\frac{W}{m^2} \right]$. Látható, hogy az intenzitás teljesítmény jellegű mennyiség, azaz a logaritmus előtti szorzó tíz. Az összes többi decibel, amit használunk, feszültségdecibel, azaz húszas a szorzó.

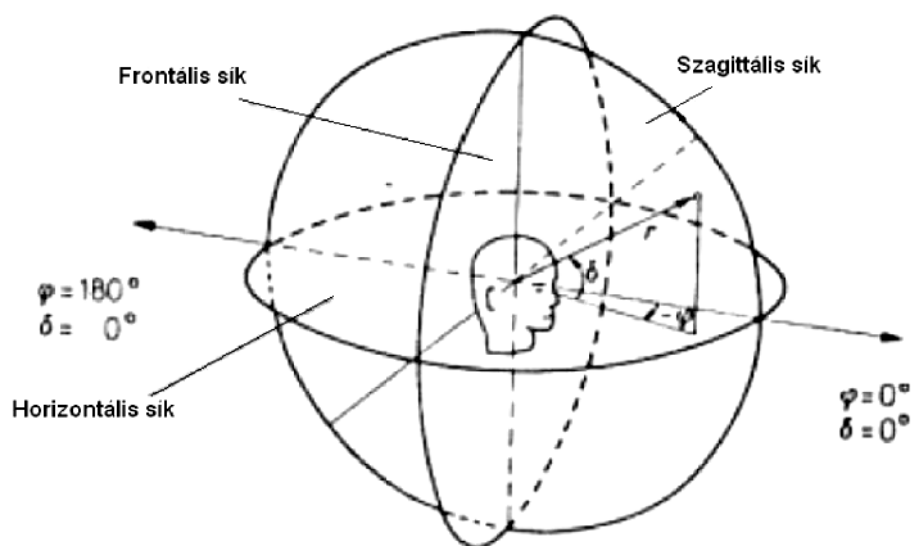
A hangnyomásszint:

$$P = 20 \log \left(\frac{P}{p_0} \right) [dB] , \text{ ahol } p_0 = 20 \mu Pa$$

2.1.3. Hangforrás

Hangforrásnak nevezzük azt a forrást, ami a hangot kiadja. A kiadott hangnak itt is a 20 Hz - 20 KHz közötti tartományba kell esnie. A hangforrást három alapvető tulajdonságával adhatjuk meg:

- helye
- iránya
- szöge



2.2. ábra. Fejhez rögzített koordináta-rendszer

Arra viszont figyelni kell, hogy a hallásérzet helye nem minden esetben egyezik meg a hangforrás helyével.

2.1.4. Irányhallás

Az irányhallás az emberi fejlődés során kialakult képesség. Jellemzője, hogy tapasztalati úton javul az ember irányhallási képessége. Az irányhallás miatt tudjuk megkülönböztetni az egymástól különböző hangforrásokat.

2.2. A hangtér a fülek közelében

Műfejes méréseknél a műfej hallójáratában, a dobhártya helyén elhelyezett mikrofonnal felvett jelet vizsgálják. Ez csak torzulásokkal lehetséges, hiszen a legjobb utánzat is eltér az emberi hallószervektől. Mivel a legfontosabb jel a térbeli hallás szempontjából a hallójáratban a dobhártyát érő füljel, érthető, hogy ennek mérése az emberi dobhártyára ragasztott mikrofonnal kellemetlen, és nehéz. Sajnos, már a legkisebb zavar a füljelben észrevehető zavart okoz a térhallásban, ezért a legfontosabb feladat a füljel tulajdonságainak, jellemzőinek meghatározása, és hogy ezek hogyan függenek a hullámforrás helyétől, és miképpen hatnak a térbeli érzetre.

A tapasztalat azt mutatja, hogy a legjobb műfejek is magas frekvenciákon eltérő szűrőhatást produkálnak, mint az emberi fej. Ez lehet az oka annak, hogy a lokalizációs feladatok (front/ back döntés) megoldása rosszabb a műfejes felvételeknél, mint az igazi fejen készütek esetén. Az eredmények szerint, a saját hallás 15%-os, a véletlenszerűen kiválasztott emberen készült felvétel 36%-os, tipikus igazi emberi fejen 22%, a műfejes felvétel esetén 40-50%-os a tévesztés hibaszázaléka. Ebből az a következtetés vonható le, hogy könnyebb találni véletlen emberi fejet, melyen jobb felvételt lehet készíteni, mint bármelyik műfejen, ami azok gyenge minőségére utal

2.3. Helymeghatározhatóság

2.3.1. Lokalizáció

A *lokalizáció* során a hallás a hallásérzet helye és a hullámjelenség meghatározott ismertetőjelei között létesít kapcsolatot. Ezen jellemző(k) kis

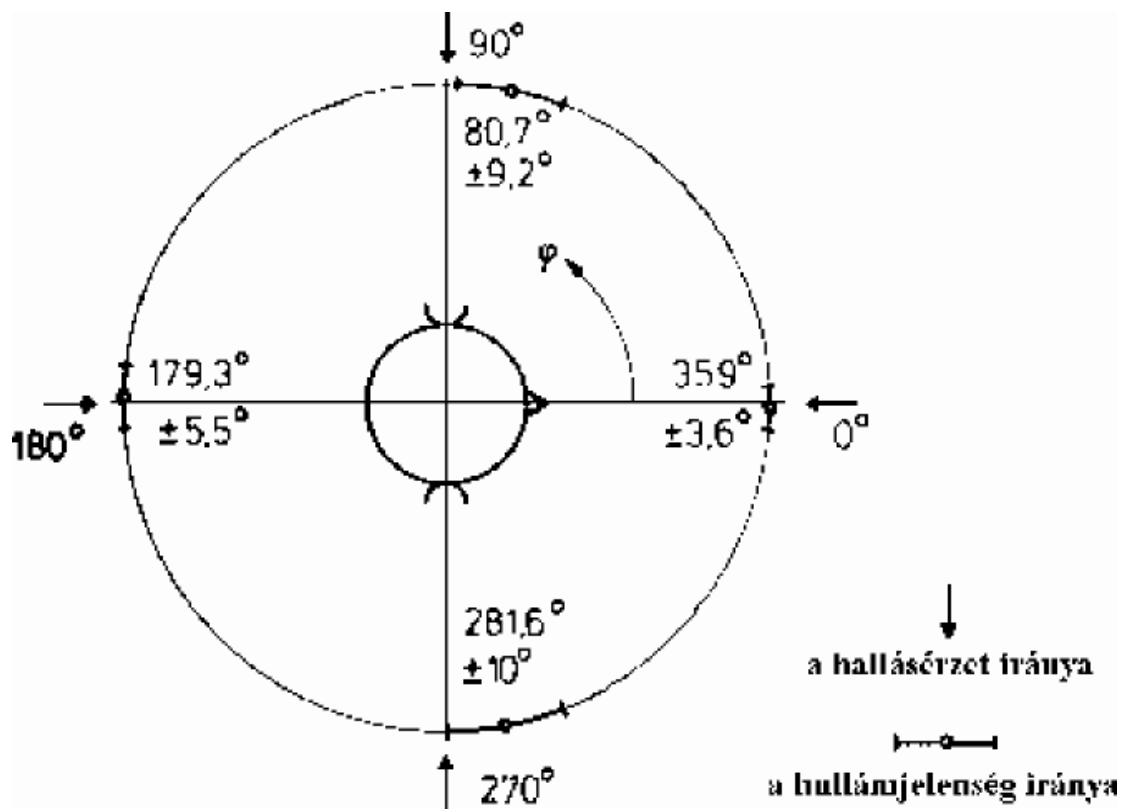
megváltozása helyváltoztatás-érzetet kelthet. A lokalizációs bizonytalanság az a minimális helyváltoztatás, amit a hallórendszer már érzékelni tud, azáltal, hogy a füljelben történt változást már ki tudja értékelni.

A hallásérzet kialakulásának helye döntő jelentőségű. Ez elsősorban a hangforrástól (helyétől, erősségétől, és múltbeli előéletétől is) függ. Figyelemre méltó tény, hogy egy forrás esetén is alakulhat ki több hallásérzet.

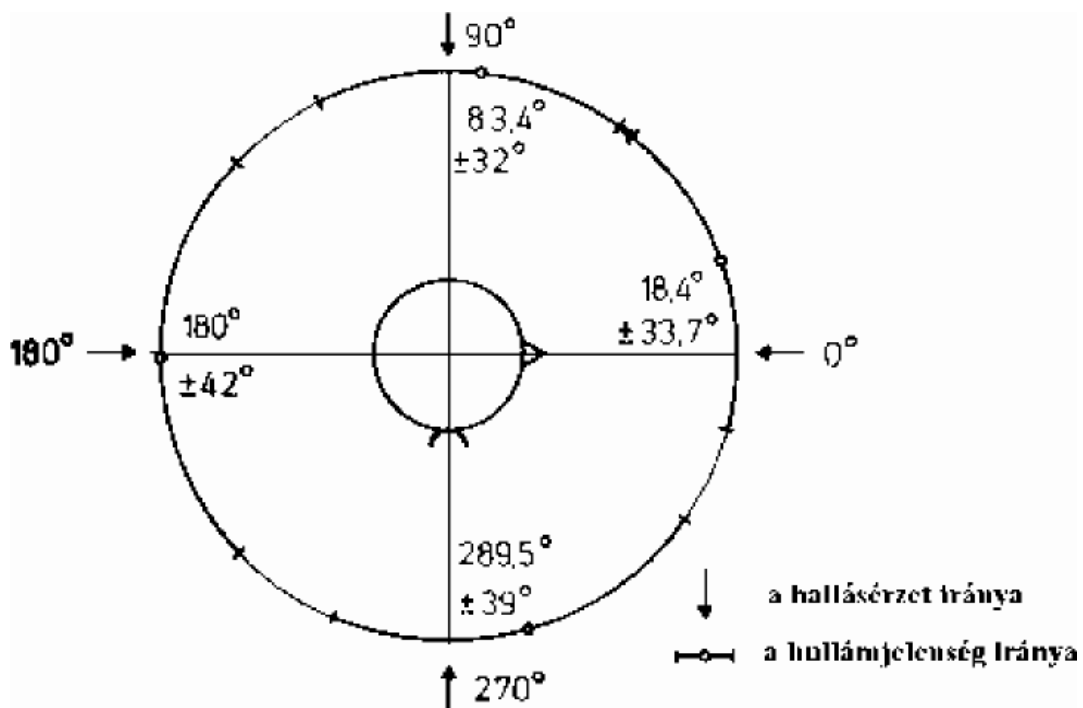
2.3.2. Lokalizációs bizonytalanság

A minimális lokalizációs bizonytalanság, azaz a hallás térbeli felbontóképessége a kísérletek szerint 1^0 körüli (az abszolút minimum), és ez kb. két nagyságrenddel rosszabb, mint a látórendszer érzékenysége, ami 1 szögpercnél kisebb változásokat is érzékelni képes.

A horizontális síkban a „szemben” irányban a helymeghatározás $\pm 3^0$ körüli minimális bizonytalanságot mutat, „oldalt” $\pm 10^0$, „hátról” $\pm 5^0$ (1.2.-1.3.ábra). Csökken a bizonytalanság (tehát javul a felbontóképesség) időben hosszan tartó jeleknél (szinuszos), mert ekkor több ideje van a fülnek a feldolgozásra és az információ kinyerésére, ellentétben az impulzusgerjesztés esetével. A bizonytalanság a frekvenciától is függ.

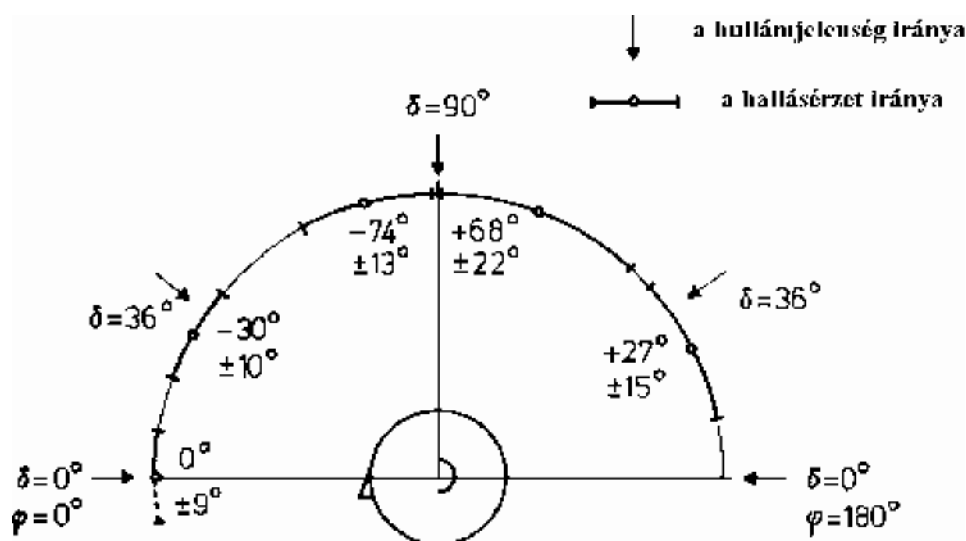


2.3.ábra. A lokalizációs bizonytalanság ($\Delta\varphi_{\min}$), és a lokalizáció a horizontális síkban. 900 alany, 100 ms - os fehérzaj impulzus, 70 phon, a fej fixált. A lokalizáció esetén a hangszórót a megfigyelő mozgatta úgy, hogy azt a nyíl által jelölt irányból hallja. A hangszóró ekkor a „hullámjelenség iránya” tartományban volt.



2.4.ábra. Ugyanaz a feladat 32 alannyal. A különbség, hogy a bal fül teljesen süket.

Függőleges síkban elhelyezkedő forrás esetén elméletileg *mindkét fül ugyanazt a gerjesztő jelet kapja az egész síkban* (feltéve, ha a fej szimmetrikus). Beszédjelre vonatkoztatott lokalizációs bizonytalanság ismert beszélő esetén szemben $\pm 9^\circ$ (1.4.ábra), de ismeretlennél $\pm 17^\circ$ - ra nőhet. Ismeretlen jeleknél felléphet az a hatás, hogy az impulzus jelet az ember a fej mögötti hátsó szektorokban érzékeli, holott a forrás szemben van. Ezt a jelenséget, amikor a megfigyelő a forrást a mediális síkban észleli, de az elől - hátul iránymeghatározásban téved (összekeveri) *front - back* hibának nevezzük. A lokalizációs vizsgálatok alapvető módja ennek hibaszázalékos összehasonlítása. Fontos, hogy a hallásérzet iránya nem csak a hullámforrás irányától, hanem a frekvenciától is függ.



2.5.ábra. A lokalizációs bizonytalanság ($\Delta\delta_{\min}$), és a lokalizáció a mediális síkban, ismert beszélő esetén. 7 alany, 65 phon, a fej fixált. A vizsgálójel más, mint az 1.2.ábra esetén.

A térhallást három jellemző alapján vizsgáljuk: irányhallás a horizontális (vízszintes) ill. a mediális síkban, valamint a távolsághallás alapján. Bizonyos nehézségek a vízszintes síkban történő méréseknél felléphetnek:

1. Több (keskenysávú) jel összege több helyről érkezőnek tűnhet. Ez az oka, hogy az egy helyben ülő madár éneke úgy tűnhet, mintha az közben változtatná a helyét.

2. Relatív keskenysávú jelek esetén előállhat az a jelenség, hogy az érzet nem a hang beesési iránya felől, *hanem a fül tengelyére tükrörszimmetrikusan* (pl. a beesés 30° , érzet kialakulás 150° -os irányból) lép fel.

Ezek a jelenségek nem lépnek fel, ha a fej mozoghat, ezért ez nagyon lényeges paraméter. Először *rögzített fejű* méréseket végeztek.

Távolsághallásnak nevezzük a hallásnak azt a folyamatát, mikor az agy a füljel bizonyos jellemzőiből a hangforrás távolságára következtet. A távolság meghatározásának pontossága jelfüggő, ezért lényeges, hogy a megfigyelő ismeri-e a jelet. *Beszédnél* a távolság meghatározhatóságának határa 3-7 m, attól

függően, hogy a jel suttogó, vagy normál beszéd. Természetesen a távolság és a helymeghatározhatóság erősen függ magától a távolságtól és a forrás hangosságától is: 3 m. - nél nagyobb távolság, és ismeretlen zaj esetén a lokalizálhatóság már nem is a forrástávolságtól, hanem elsősorban a hangerőtől függ.

Fontos a jelforrás *helyváltoztatásának gyorsasága* is. A hallás bizonyos „tehetetlenséggel” rendelkezik, azaz bizonyos időre van szüksége, hogy a forrás helyváltoztatását követni tudja. Egy kísérlet során körben elhelyezett hangszórókból adták a jelet, különböző sebességgel járatván azt körbe-körbe. Megfigyelték, hogy ha a forgás sebessége elég lassú, akkor a hallás az elfordulást érzékeli, és a megfelelő hangszóróhoz az érzetet helyesen hozzá tudja rendelni. Ha gyorsul a mozgás, akkor olyan érzés alakul ki a hallgatóban, mintha a forrás jobbra-balra pattogna. Túl gyors változás esetén pedig diffúz hangtér alakul ki a fejben, és úgy tűnik, minden hangszóró egyszerre szól.

2.4. A hangtér a fülek közelében

Műfejes méréseknél a műfej hallójáratában, a dobhártya helyén elhelyezett mikrofonnal felvett jelet vizsgálják. Ez csak torzulásokkal lehetséges, hiszen a legjobb utánzat is eltér az emberi hallószervektől. Mivel a legfontosabb jel a térbeli hallás szempontjából a hallójáratban a dobhártyát érő füljel, érthető, hogy ennek mérése az emberi dobhártyára ragasztott mikrofonnal kellemetlen, és nehéz. (A fej fixálása is, ami itt nem gond) Sajnos, már a legkisebb zavar a füljelben észrevehető zavart okoz a térhallásban, ezért a legfontosabb feladat *a füljel tulajdonságainak, jellemzőinek meghatározása*, és hogy ezek hogyan függenek a hullámforrás helyétől, és miképpen hatnak a térbeli érzetre.

A tapasztalat azt mutatja, hogy a legjobb műfejek is magas frekvenciákon eltérő szűrőhatást produkálnak, mint az emberi fej. Ez lehet az oka annak, hogy a lokalizációs feladatok (front/back döntés) megoldása rosszabb a műfejes felvételeknél, mint az igazi fejen készültek esetén. Az eredmények szerint, a saját hallás 15%-os, a véletlenszerűen kiválasztott emberen készült felvétel 36%-os, tipikus igazi emberi fejen 22%, a műfejes felvétel esetén 40-50%-os a tévesztés hibaszázaléka. Ebből az a következtetés vonható le, hogy könnyebb találni véletlen emberi fejet, melyen jobb felvételt lehet készíteni, mint bármelyik műfejen, ami azok gyenge minőségére utal.

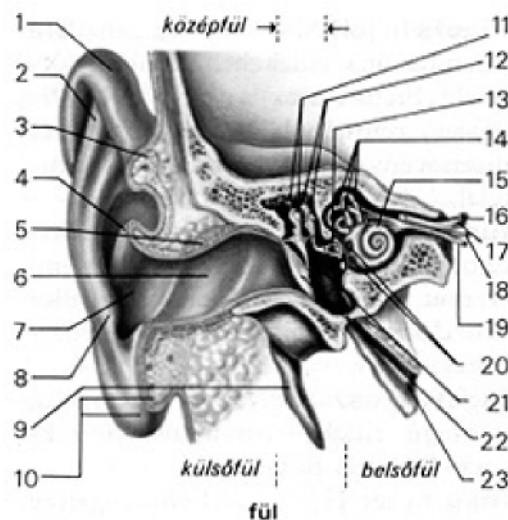
2.5. A dobhártya

A dobhártya nyomásérzékelőként működik: erő hatására lengésbe jön. Akusztikai impedanciája kb. megegyezik a vízfelszínével (a reflexiótényező kb. 1). A terjedés a hallójáratban csak a lezárástól függ, de a dobhártya impedanciája nehezen mérhető. Élő emberen lézerrel, optikai tükörrel, esetleg kapacitív szondával mérnek. Direkt mérési módszer a hangnyomás és a hangsebesség mérése a dobhártyán (kitérés és annak deriváltja) melyből számolással kapjuk az impedanciát. A frekvencia függvényében az impedancia változik. A valós rész 1, 3, 5 kHz-en mutat kiemelést, míg a képzetes csökkenő és kevésbé dinamikus lefutású. Az értéke $0-0.4 \cdot 10^8$ [Ns/m⁵] között mozog.

2.6. A fülkagyló

A fülkagyló, mint lineáris szűrő, lineáris torzítással vesz részt a hallásban. Frekvencia átvitele irány- és távolságfüggő. A beérkező hanghullámokat a hallójárat felé reflektálja, így hatásával hanggyűjtő szerepet tölt be, de ugyanakkor árnyékol is a forrás irányától függően. Mivel a reflexiók felülete kisebb a hullámhossznál szóródás is fellép (a szóródás és a diszperzió időinvariáns lineáris torzítás). Az átvitelt 5 rezonáns pont (saját frekvenciákon) befolyásolja: ezek 3, 5, 9, 11, 13 KHz-en vannak, ahol kiemeléseket okoznak a beérkező jelben. A fülkagyló a hallójáratral együtt akusztikus rezonátort alkot. Az egyes sajátrezgések gerjeszthetősége irány- és távolságfüggő, valamint befolyásolja a fej hangteret zavaró hatása is. A síkhullám elhajlását egy együtthatóval jellemezhetjük. A hangnyomás átviteli függvénye (a hangforrástól a dobhártyáig) függ a dobhártya impedanciától, a hallójáratától, a fülkagyló és a fej együttes hatásától. Azt az átviteli függvényt, ami leírja az átvitelt különböző beesési irányokból, a szabadteréből, a hallójárat tetszőleges pontjáig (a dobhártyáig) a külső fül komplex átviteli függvényének nevezzük. Ezen HRTF (Head Related Transfer Function) függvényeket a fejhez rögzített koordináta-rendszerben mérjük

A fülkagyló felépítése:



2.6. ábra. A fülkagyló felépítése

1-fülszegély (helix); **2**-belsőzegély (anthelix); **3**-a fülkagyló rostos porca **4**-fülcsap (tragus); **5**-mirigyréteg; **6**-külső hallójárat; **7**-fülkagylóárok; **8**-antitragus; **9**-csontnyúlvány (processus styloideus); **10**-fülcimpa és metszete; **11**-a kalapács és felső szalagja; **12**-üllő és felső szalagja; **13**-kengyel; **14**-félkörös ívjáratok; **15**-csiga (cochlea); **16**-belső hallójárat; **17**-arcideg (nervus facialis); **18**-vestibularis ideg ;**19**-cochlearis ideg; **20**-kerek (fenestra cochleae) és ovális ablak (fenestra vestibuli); **21**-dobüreg; **22**-dobhártya; **23**-fülkürt (Eustach-kürt);

3. Psychoakusztikus hallás

3.1. Fejközépi hallás

Külön kell foglalkozni a fejhallgatóval, mert ekkor a fülkagyló nem szűr, és fejhez közeli érzet, vagy káros mellékhatásként fejközép lokalizáció alakulhat ki. Ez a fontos jelenség létrejöhet úgy, hogy a forrás ténylegesen a fejben van (saját hangunk), vagy rossz mellékhatásként torzítatlan fejhallgató átvitelnél, ahol lényeges, hogy mindkét forrás a fülhöz nagyon közel legyen. Legerősebb a hatása, ha a fülek olyannyira azonos jelet kapnak, hogy csak egy egységes hallásérzet alakul ki. Torzított fejhallgatónál a fejen kívül, de közel és szemben is létrejöhet egy helytelen érzet, amely emelkedő hangosság esetén közeledik. Szabadtéri ill. modellezett szabadtéri jelek esetén nincs fejközép lokalizáció, és ismert jelek esetén is ritkábban lép fel. Érdekesség, hogy nem a fejhallgató visszajátszástól jön létre, hanem már műfejes felvétellel is elő lehet idézni. Egy kísérlet során a műfej felvett jelét visszaadták (nem fejhallgatón) egy megfigyelőnek, minek során természetesen nem lépett fel fejközép lokalizáció. Azonban ha a műfej fejhallgatón át kapta a jelét, és ezt a rögzített jelet játszották vissza, a megfigyelőben az érzés fellépett! A fejhallgató egyéb hátránya, hogy hosszú távon kényelmetlen viselni, és bizonyos esetekben az eleváció - effektus felléphet. A legnagyobb hibája azonban, hogy a forrás mindig túl közelinek hat (ténylegesen is közel van a fülhöz), és az a fejben is lokalizálódhat.

3.2 Hallás a vízszintes síkban

3.2.1 Különbségi idő

Az interaurális idődifferencia azt jelenti, hogy a jelek egymáshoz képest időben eltoltak. Az oldalirány-hallás szempontjából ez a leglényegesebb füljel-jellemző. Amelyik fülhöz hamarabb ér a jel, a hallásérzet a mediális síkból arrafelé mozdul el. A maximális útkülönbség, ami még érzékelhető 21 cm. A hallás képes a füljel impulzus jellegű részeinek fellépési időpontját pontosan meghatározni. Az érzet 180^0 -os fázisfordítású füljel esetén pontatlan, feltételezhetőleg azért, mert az érzet egy sor térben szomszédos részre esik szét. A hallás tehát a füljel egyes spektrális komponenseit az interaurális idődifferencia függvényében szétválasztva értékeli ki. Tiszta (szinuszos) jelek esetén létezik egy ingerküszöb, és csak akkor van inger a belső fülben, ha a jel periódusonként egyszer ezt átlépi. Ezek különböző időben vannak a két fülben, és a hallás ezt a kétértelműséget regisztrálja, két érzetet keltve.

Ha a két fül frekvenciában közeli jelet kap - olyan érzet alakul ki, ami a különbség ütemében a fejben ide-oda ingadozik. Létezik a frekvenciában egy olyan küszöb 1,5 - 1,6 KHz-en, ami alapjaiban választja szét a hangjeleket a kiértékelés szempontjából. A későbbiekben látni fogjuk, hogy a jel spektrális tartalma alapján eltérően értékelődnek ki a füljelek, ha azok tartalmazznak 1,6 KHz feletti komponenseket, mint azok melyek nem. Kérdés, miként befolyásolja az érzékelést a különböző frekvenciájú hangok burkolója? Megállapítható, hogy a burkoló kiértékelése segíthet. Különböző vivőfrekvenciájú jelek esetén (pl. keskenysávú zaj 1,6 KHz alatt) a burkolótól függően különböző oldalkitérést érzékelhetünk. Ha nincs 1,6 KHz

alatti spektrumkomponens, az eltolás a mikrostruktúrában nem számít, csak a burkoló. Ezért különböző frekvenciájú vivő, de ugyanaz a burkoló okozhat ugyanolyan érzetet. A laterizáció 1,6 KHz felett a burkoló alapján történik. A laterizáció függ attól, hogy a vivő 1,6 KHz alatt van-e, és a burkoló hullámosságától is, azaz mennyire meredek változások vannak benne.

Burkolókiértékelés már 500 Hz-en is van, és ha a frekvencia nő, ez egyre jobban dominál a kiértékelés során. Értelmezünk laterizációs bizonytalanságot is (interaaurális idődifferencia esetén), mely csökken emelkedő szint és növekvő jelidőtartam esetén.

3.2.2 Szint különbség

Tisztán interaurális szintkülönbségek esetén a helyzet olyan, mintha a füljelek csakis a szintjükben térnének el egymástól. Úgyis elképzelhetjük, hogy ugyanazt a jelet vezetjük a két fülhöz, és mindegyikhez állítható erősítést iktatunk be. Azonos szint esetén természetesen az érzet a mediális síkban lép fel, de ha az egyik nagyobb, akkor az érzet arrafelé vándorol (ekkor van oldalirányú hallásérzet kitérését okozó interaurális szintkülönbség). Ezen alapul az ún. irányhallás intenzitásdifferencia elmélet, ami pontosan ezt mondja ki. Ha 15-20 dB - es szintkülönbséget állítunk elő, az már a „teljesen oldalt” érzést váltja ki: gyakorlatilag csak az erősebbet halljuk. Ilyen nagy különbségek esetén a hallásérzet „szélessége”, és vele együtt a laterizációs bizonytalanság is megnő, főleg kisfrekvencián. Ahhoz, hogy ezt a szélső hatást elérjük kb. lineáris interaurális szintkülönbség változás kell, ugyanakkor figyelembe kell venni, hogy konstans szintkülönbség esetén a laterizáció frekvenciafüggő. Gyakorlott kísérleti

személyek azt mondják, hogy 1,6 KHz alatti jeleknél két érzet alakul ki: az egyik a fej közepén, a másik előtte, amely emelkedő szint esetén elvándorol, és csak felületes hallgatás okoz közös érzetet. Megfigyelhető a laterizáció idővariáns jellege is: hosszabb idő után a hallás elfárad, és „romlik”; az ismételt adaptáció perceket vesz igénybe.

3.3 Monaurális és Interaurális jellemzők

Ez a két jellemző soha nem fordul elő egymás nélkül. Ha változik az interaurális akkor a monaurális is változni fog.

3.3.1 Monaurális jellemzők

Ezek a jellemző tulajdonságok az egyfülű hallásra jellemzőek, és az érzet helyének kialakulásában nagy szerepük van. Ilyen jellemzők minden egyes hangjelben találhatók. Ezekből az érzet távolságára, az emelkedés szögére és az előre-hátra irányok meghatározására következtethetünk. Ezt fejhallgatón kétféle képen tudjuk sugározni, vagy úgy hogy az egy jel szól mindkét fejhallgatón (diotikus), vagy úgy hogy csak az egyik fejhallgató szól a kettőből (monotikus). Ez a mediális síkban lép fel általában.

3.3.2 Interaurális jellemzők

Ez csak a kétfüles hallásra hasznosíthatók. Ezek a jellemzők a két füljel közötti eltérést és azok viselkedését határozzák meg. A vizsgálata fejhallgatón keresztül történik úgy, hogy mindkét fejhallgatón szól és a jelek is különbözőek. Ez már nagyon hasonlít a sztereó hanghoz, mert a bal fül a bal oldali jelet kapja, a jobb pedig a jobb oldali jelet kapja.

3.4 Átviteli függvények és mérése

3.4.1 Általános leírása

A külső fül funkciója az átvitel szempontjából érdekes. Kérdés, milyen lineáris torzítás lép fel, és azt milyen átviteli függvény írja le. Háromféle átviteli függvény létezik:

1. Szabadtéri: a hallójárat egy pontján mért hangnyomás (tetszőleges beesési irány és távolság esetén) és azon hangnyomás között, amit ugyanezen forrás (távolság, irány, stb.) esetén a fej középpontjában mérhetnénk. Ebben az esetben a dobhártyán kell mérni. Ez azonos a hallójárat bementén lévő méréssel, csak ekkor figyelembe kell venni, hogy az átviteli függvény egyenlő a mért átviteli függvény és a hallójárat átviteli függvényének együttesével.
2. Monaurális: a hallójáratban lévő hangnyomás tetszőleges irányú és távolságú forrás esetén, viszonyítva a hangnyomáshoz egy meghatározott helyű referencia forrás esetén. Ez általában $\varphi=\delta=0^0$. Ekkor a hallójárat mérési pont is megfelelő, mert a referencia is ott van. Ezen második esetben mérhető átviteli függvényt $A2(f)$ - el jelöljük.
3. Interaurális: A két hallójáratban fellépő hangnyomást veti össze. Mindkét hallójáratban azonos időben kell mérni. Ez a harmadik $A3(f)$ függvény az első két esetből számolható is:

$$A3(f)_{\Phi=30} = \frac{A2(f)_{\Phi=330}}{A2(f)_{\Phi=30}}$$

ami nem más, mint a 330 fokhoz tartozó monaurális átviteli függvény és a 30 fokhoz tartozó függvény értékének hányadosa. Az előzőekben felhasznált átviteli függvény általános alakja:

$$A(f) = |A(f)| \cdot e^{-jb} \quad \Delta L = 20 \cdot \log |A(f)| \quad \tau = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{db(f)}{df}$$

Ezek után lehet felvenni a „hallhatósági függvényt”, azaz a hallásküszöb frekvenciafüggését illetve az azonos hangosságú pontok frekvenciamenetét (Fletcher - Munson). A monaurális átviteli függvény adódik a küszöbgörbék különbségeként, illetve az azonos hangosságú görbéknek a referenciától való eltéréséből. A hallásküszöb felvételének egy jó módszere a Békésy - féle lengőkiegyenlítéses vizsgálat: a hangerőt egyenletesen növeljük, amíg a kísérleti személy gombnyomással jelzi, hogy a hangot meghallotta. A gomb nyomva tartásával a hangerő csökkenni kezd mindaddig, amíg a megfigyelő azt már nem hallja. Ekkor elengedi a gombot, és a hangerőt újra növeli. Az eljárást ismételve a küszöbszint meghatározható (a keresett szint körül fog ingadozni). A fül különböző, a beesési iránytól és távolságtól függő átviteli függvényt produkál. A második és harmadik - féle átviteli függvényt süketszobában kell végezni.

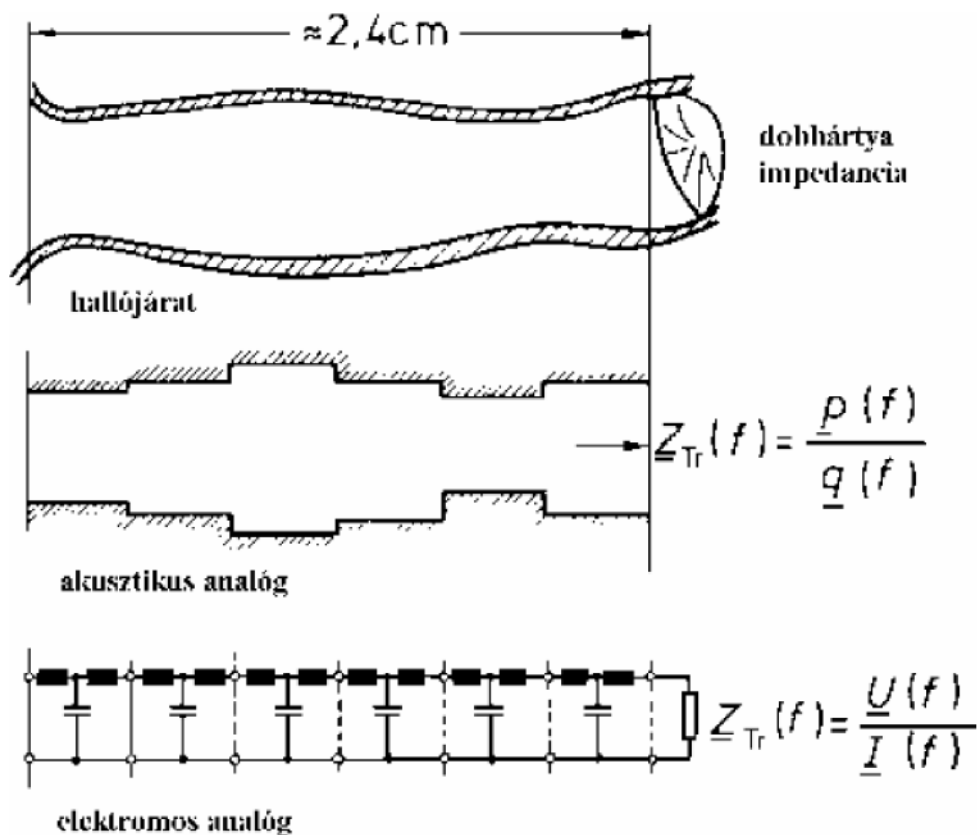
Lehet jelfüggő mérést is végezni: impulzusgerjesztés hatására impulzusválaszt vizsgálhatunk. Az átviteli függvény egyenlő a kimeneti jel időfüggvényének Fourier transzformáltjának és a bemeneti jel Fourier - transzformáltjának hányadosával. Az FFT minden esetben nagy segítséget adhat a sok számolás miatt.

3.4.2 Mérése

Megállapíthattuk tehát, hogy a legfontosabb jel a dobhártyán a térbeli hallás szempontjából a hangnyomás. A csonthallás ellenben, melynek a küszöbszintje kb. 50 dB - el van a légvezetési felett, nem olyan lényeges. Ezért a külső fül átviteli függvényének mérése fontos feladat. Létezik olyan mérés is, ami egyszerre méri a dobhártya impedanciát és az átviteli függvényt is. Újabb megfigyelés, hogy a külső fül iránykarakterisztikája a dobhártya impedanciájától független. A külső fül átviteli függvényének mérését szondamikrofonnal (speciális kondenzátormikrofonnal), és számítógép segítségével végzik. A szondamikrofon tulajdonságai: nagyfrekvencián rossz jel-zaj viszony, és mechanikai érzékenység. Ha a polarizációs feszültséget növeljük, ezek a hátrányok csökkennek. Ha nem a dobhártyán mérnek, egy kisebb méretű hallójáratba illeszthető kondenzátormikrofon is alkalmas. Ennek elégséges a jel-zaj viszonya, de jobban zavarja a teret a hallójáratban, noha ez irány karakterisztika mérésnél nem lényeges. A mérést kellően szélessávú, rövid, null átmenettel nem rendelkező impulzusokkal jó végezni. Hátránya, hogy a jel hamar lecseng nullára, ezért a jel-zajviszony romlik. Ezt küszöböli ki a Hudde - módszer, ami tesztjelként periodikus impulzussorozatot használ, melynek teljesítménye időben egyenletesen szét van osztva. A méréseket többször végezzük el, és az eredményeket megfelelően átlagoljuk. A szokásos átlagolási eljárások nem mindig használhatóak, hiszen éppen a csúcsok laposodnak el, és a lényeges információt veszítjük el. Ezért (pl. teljesítmény alapján) spektrális átlagolásokat is használunk. A dobhártya impedanciáját 20 KHz-ig is képesek vagyunk mérni. Mint ismert, egy akusztikailag szűk csőben - ahol a hullám csak a cső tengelyének irányában terjedhet - a hangnyomás relatív eloszlása

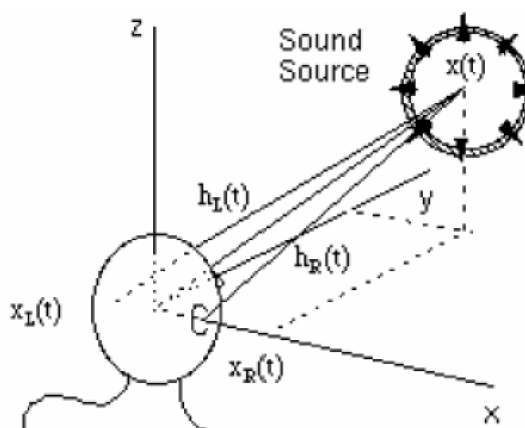
csak a cső geometriai méreteitől és a lezárástól függ. Azaz a cső adataiból és két tetszőleges pont között mért átviteli függvényből a lezárás számítható (impulzusjel gerjesztés esetén).

A hallójárat modellezésére több modell készült: Állandó A_0 keresztmetszet feltételezése. Ekkor az impedancia képlete viszonylag egyszerű, azonban hibás, hiszen A_0 helyfüggően változik, melyet sok kis állandó keresztmetszetű cső egymásután rakásával képzelhetünk el. Két ilyen cső átviteli függvényének a mérésével becsülhetjük az $A(l)$ függvényt, azaz a keresztmetszet változását a hallójárat mentén, amelyből a dobhártya impedancia közelítőleg kiszámolható. Szükség van a hangnyomásra a bejáratnál, és a dobhártya előtt, valamint meg kell mérni pl. a cső felénél. Ebből $A(l)$ becsülhető, és végül az impedancia is (3.1. ábra).



3.1. ábra. A hallójárat, és akusztikai valamint elektromos analógja

Az átviteli függvény analízise során állapítható meg, hogy a hang a forrástól a dobhártyáig lineáris torzítást szenved (amplitúdó- és fázisspektrum változás). Ezek azok a hatások, melyeket a külső fül átviteli függvényével (HRTF) írunk le. Okai az árnyékolás, a reflexiók és az elhajlási jelenségek a fejnél, valamint a fülkagylónál, és természetesen a fülben kialakuló rezonanciák. A méretekből adódóan a fej 500 Hz-től, a kagyló 1.5 KHz-től, a hallójárat, pedig 3 KHz felett okoz torzítást. A HRTF függvények mellett a belőlük számolt HRIR (Head Related Impulse Response) függvények is hordoznak információt (3.2.ábra), de az időtartományban (a rendszer fázisviszonyait vizsgálhatjuk). A fáziskarakterisztika deriváltját, mely bizonyos esetekben a fázisinformációnál szemléletesebben hordozza az információt, (csoport) futási időnek vagy más néven burkolókésleltetésnek nevezzük:

$$\tau(f) = \frac{1}{2\pi} \frac{\partial \Phi(f)}{\partial f}$$


The diagram illustrates a sound source emitting a signal $x(t)$ towards a human head. The head is represented by a circle with two ear canals. The sound waves are labeled $h_L(t)$ and $h_R(t)$ for the left and right ears respectively. The signals at the ears are labeled $x_L(t)$ and $x_R(t)$. A 3D coordinate system with axes x , y , and z is shown. Below the diagram, the convolution equations for the ear signals are given:

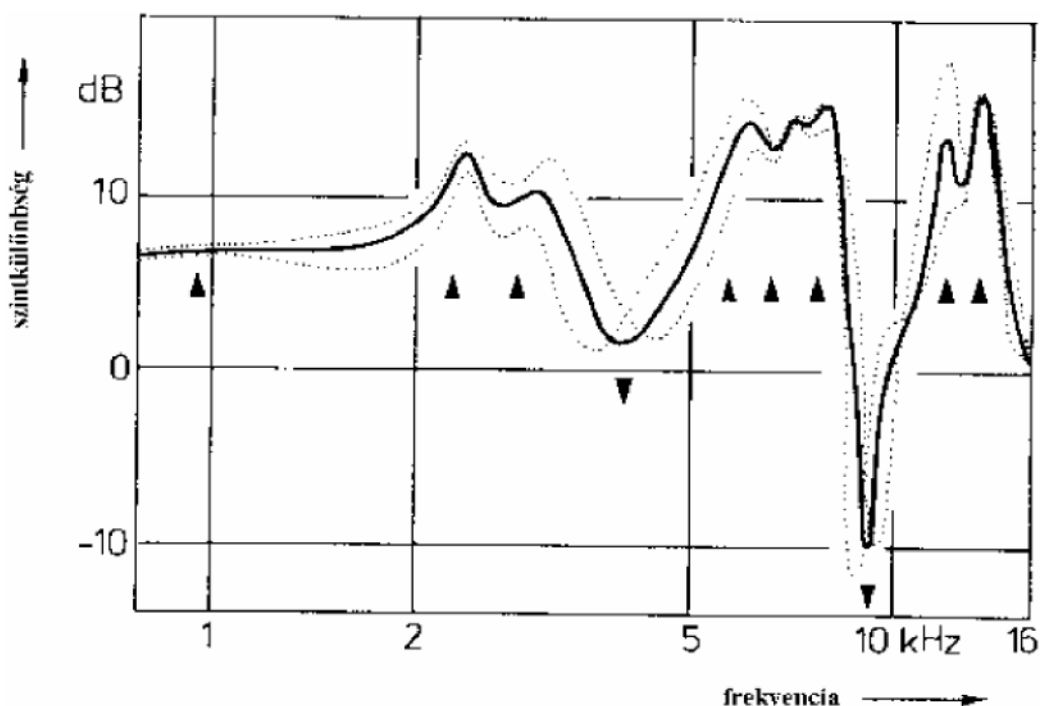
$$x_L(t) = \int h_L(\tau) x(t-\tau) d\tau \quad x_R(t) = \int h_R(\tau) x(t-\tau) d\tau$$

3.2.ábra. Az $x(t)$ hangforrás által keltetett hangnyomást a dobhártyán megkapjuk, ha ismerjük a $h(t)$ impulzusválaszt a forrástól a dobhártyáig. Ez a HRIR, és $H(f)$ Fourier - transzformáltja a HRTF. A HRTF tartalmaz mindent, ami a forrás lokalizálhatóságához szükséges, ezért ha ismerjük mindkét fülhöz a HRTF függvényt, pontos binaurális jelet lehet szintetizálni egy monaurális forrásból

A külső fül és a hallójárat az, mely a HRTF - et alapjaiban meghatározza. Emberi fejen készült mérésnél a hallójáratban elhelyezett mikrofon a teret mindenképpen zavarja, és a frekvencia átvitele sem egyezik meg a dobhártyával. Minden vibráció más lesz a hallójáratban, ha ott mikrofon van elhelyezve, ezért az ilyen HRTF mérések nem megfelelőek. A folyadékkal töltött belső fül hatását ezen, függvények egyáltalán nem jellemzik, csak a külső felépítésről, és a hallójáratban zajló folyamatokról hordoznak információt. A HRTF bonyolult függvénye a tér három koordinátájának és a frekvenciának. A méréseket 1 m. forrás távolság felett (távoltér) végzik, mert ekkor a függés az elfordulási és az emelkedési szögre, valamint a frekvenciára korlátozódik (3.3.-3.4.ábra)



3.3.ábra. Példa mért HRTF függvényre. 60 fokos elfordulási szög esetén, a hangszóróhoz közelebbi fül átvitele erősebb. A szokásos ábrázolási mód a log - log skála



3.4.ábra. Strukturálisan átlagolt szabadtéri (free - field) külső fül átviteli függvények „szemben” irányból. A mérés helye: 2 mm-re ill. 4 mm - re a hallójáratban

A hallójárat a bejáratától a dobhártyáig egydimenziós hullámterjedést reprezentál, a hangbeesési iránytól és a hangforrás távolságától függetlenül. A méréseket 5 KHz alatt végezzük, mert e fölött $A(l)$ változása számottevő és a veszteségektől sem tekinthetünk el. Iránykarakterisztika-vizsgálatoknál a fülkagyló, a fej és esetenként a felsőtest hatását is figyelembe kell venni. Az iránykarakteristikákat legerősebben a fülkagyló határozza meg, hatása 2 KHz felett jelentős igazán. Fizikai tény, hogy egy hullám, ha $\lambda/4$ -nél kisebb átmérőjű résen halad át, újra gömbhullámú forrásként fog viselkedni, azaz „elfelejti”, hogy honnan jött (Huygens - Fresnel törvény). A hallójárat bementén egy kb. fél cm átmérőjű rés található, azaz a fül kb. 17 KHz - ig teljesíti ezt a feltételt. Ebből a tényből következik, hogy a (blokkolt) hallójárat bementén felfogott akusztikai hullám teljes térbeli információtartalommal rendelkezik, és nem szükséges a dobhártyán mérni, mert ez a jel ebből a szempontból egyenértékű vele. Az eltérő irányból és

távolságból érkező akusztikai hullámokban található térbeli információkülönbségek a hallójáratban már nem változnak, odáig viszont erőteljesen. A kagyló torzítása a mediális síkban történő irányhallás esetén a legjelentősebb (ha kitömjük, zavar lép fel).

4. Beachtron - kártya

A BeachtronTM Crystal River Engineering-től valós idejű térbelesítést valósít meg két különálló audió forráson. Mindegyik audió bemenetre a rendszer bal és jobb oldali kimeneteket származtat, amelyeket keverik, és hagyományos fülhallgatón lejátsszák. A folyamat létrehozza az értékelést így, hogy a forrásokat a 3D tér bizonyos pontjaira állítja.

A Beachtron ISA kompatibilis jel-generáló kártyából és a vezérlő kártya számára PC-alapú szoftverből áll.

A jel előállító kártya a Turtle Beach Systems Multi SoundTM kártyájának egy személyre szabott verziója. Ez a kártya magában foglal egy 40 MHz - es Motorola DSP56001-et, és nagy érzékenyséű sztereó A/D(analóg - digitál) és D/A(digitál - analóg) konvertereket 44.100 Hz-es ki és bemeneti mintavételi frekvenciával. Ráadásul a kártyán Proteus/1 XR mintavételes hang-egyesítő gondoskodik a tiszta 16 bites hangok széles skálájáról, akár szoftverből akár külső MIDI (Musical Instrument Digital Interface) vezérlőről.

A Beachtron térbelisítési szoftvercsomag magába foglalja a szoftvert és számos próba verziós (demó) programot. A szabályos eljárások gondoskodnak a feltelepített Beachtron kártyák felismeréséről, programok

letöltéséről. Lefordítják még a magas szintű forrás pozíció leíró utasításokat alacsony szintű utasításokra, melyekre a kártyának szüksége van.

A program felkínál beépített kezelést egészen 8 Beachtron kártyáig, térbelísítve maximum 16 forrást egyszerre valós időben.

4.1 A mérőprogram

A mérőprogram különböző variációi álltak rendelkezésemre, melyek különböző beállításokat tettek lehetővé. Ezekhez a mérésekhez, a számomra az alp2 kódnevű program volt a legmegfelelőbb. A program beállítható paraméterei között szerepelt a

1. Playwave
2. Repeat
3. Vertikális koordináták megadása
4. Horizontális koordináták megadása
5. Forrás helyzete a horizontális síkban
6. Forrás helyzete a vertikális síkban

A mérési pontok részletesebben és a rájuk adható válaszokkal.

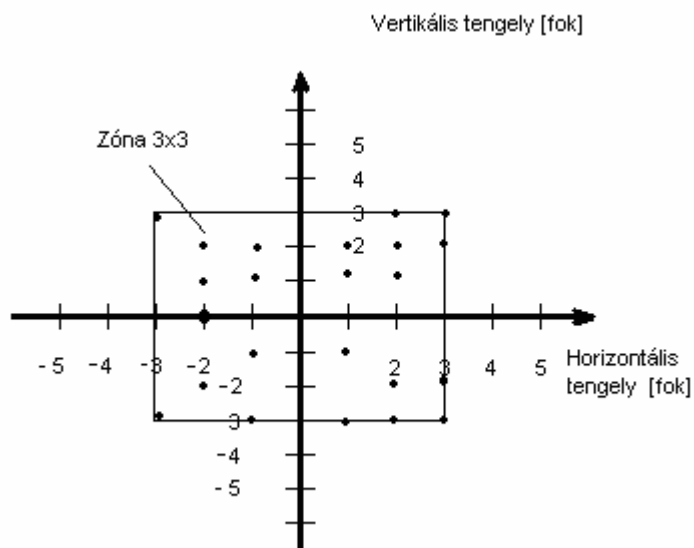
1. Ennél a pontnál tudtuk beállítani, hogy a program egy adott pontban hányszor ismétlje a beállított wave file - t. Ez az érték 1 – 1000 változtatható.
2. A beállítható érték 1 – 100 közötti tartományban mozog. Ez a paraméter adja meg a beállított zónán belül a felvett pontok számát.

Például:

Playwave: 50 Repeat: 1000; a horizontális beállítás: 3 fok; a kiindulási pont: 0 - 0 fok. Ez azt jelenti, hogy a kiindulási pont az origó (szemben), a felvehető pozíciók +1, +2, +3, 0, -1, -2, -3 mindkét irányban, ahol összesen 1000 szimulált pozíció történik véletlenszerűen, mindegyik pozícióban 50 ismétléssel (wave fájl lejátszással).

3. Ennél a pontnál állítjuk be azt az értéket, hogy a forrás mekkora zónában mozoghat a horizontális koordináta tengelyen

4. Ez a pont a vertikális zóna nagyságát adja meg



5. Az értéke a mérés folyamán 0^0 volt, mert a forrást a hallgató előtt szerettem volna elhelyezni a térben.

6. A vertikális pozíció is 0^0 volt.

A szimuláció teljes időtartama: wave file hossza*PW*R

A többi programnak természetesen más – más paramétere állítható be. Az alp3 programnál például csak a Playwave állítható, a Repeat nem. Addig ugrál a beállított tartományon belül, amíg le nem állítjuk.

4.2 Mérés folyamata

A mérést a Széchenyi István Egyetem hallgatóin teszteltem le. Főleg azok a hallgatók vettek részt a teszten, akik a Telekommunikáció című tantárgyat hallgatják ebben a félévben. De rajtuk kívül voltak olyanok is, akiket csak a kíváncsiság hajtott. A vizsgálatot a Műszaki Audio és Videó

Laboratóriumban (L120-as labor) hajtottam végre. A hallgatókat kettes csoportban fogadtam, majd ez után egy részletes ismertetés kaptak a mérés céljáról és folyamatáról. Egyszerre egy hallgatót vizsgáltam, mivel a mérést fejhallgatóval végeztem. Egy kényelmes székbe ültettem le a hallgatókat, hogy semmi se vonja el a figyelmüket a koncentrálásról, és hiteles eredményeket kapjak a mérés során. Először egy teszt programot indítottam el, hogy a hallgató tisztában legyen, hogy milyen az, amikor a hangforrás előtte illetve mögötte helyezkedik el.

A teszteket a már előbb említett alp2 programmal valósítottam meg. Ebben a programban lehetett beállítani, hogy milyen hosszan szóljon a forrás egy adott pontban, és hányszor vegyen fel új pozíciót. Minden egyes hallgatóval három különböző beállítást vizsgáltam.

- Playwave: 100, Repeat: 20
- Playwave: 1000, Repeat: 5
- Playwave: 50, Repeat: 100

A lejátszott hang után a hallgatót megkértem, hogy próbálja meg elhelyezni a hallott hangot abban a virtuális térben, amivel a mérés bemutatása során megismertettem.

A mérés elsődleges céljai:

- 1 Azon fok érték meghatározása, mikor már a hallgató érzékeli a forrás véletlenszerű mozgását
- 2 Megvizsgálni a forrás mozgása és a fejközéplokalizáció létrejötte közötti kapcsolatot.
- 3 Menyire állapítható meg a forrás helyzete illetve mekkora tévesztéssel

Az egész vizsgálat célja az, hogy a véletlenszerű mozgást még ne érzékeljék, és hogy eközben a stabil, álló forráshoz képest változik-e a fejközéplokalizáció. A fejben - i lokalizáció egyik oka, hogy a fejhallgatónál nincs ill. nem tudjuk kiértékelni a kis fejmozgásokat, mert nem változik a hangkép. Ha tehát a fejünk helyett a forrást mozgatjuk, (ezt a fejmozgást szimuláltuk) úgy gondoljuk, 1-2 fokos ilyen mozgást nem érzékel az ember mozgásként, csak a fejben - i lokalizáció fog megszűnni.

Az beállítási értékek szubjektív megítélés alapján, illetve próbamérések sorozata után lettek kiválasztva. A méréshez három féle korábban említett paramétereket használtam.

Az első mérés beállításai következtében a két szélsőséges beállítási értékek között helyezkedik el. A hang forrása 20 különböző pontban szólal meg a megadott zónán belül, és az eredeti hangot százszor ismétli meg egy pontban.

A második mérésnél egy olyan fajta beállítást teszteltem, amikor is a forrás öt különböző pontot vesz fel a zónán belül, és 1000 ismétli egy pontban az eredeti hangot.

A harmadik mérési beállításnál az előzőhöz képest megfordítottam a paramétereket. A forrás összesen száz pontot vesz fel a kijelölt zónán belül és mindössze ötvénszer ismétli meg az eredeti hangot egy pontban.

4.2.1 Kérdőív

Az általam összeállított kérdőív a feladathoz szükséges kérdéseket tartalmazta.(4.1 ábra)

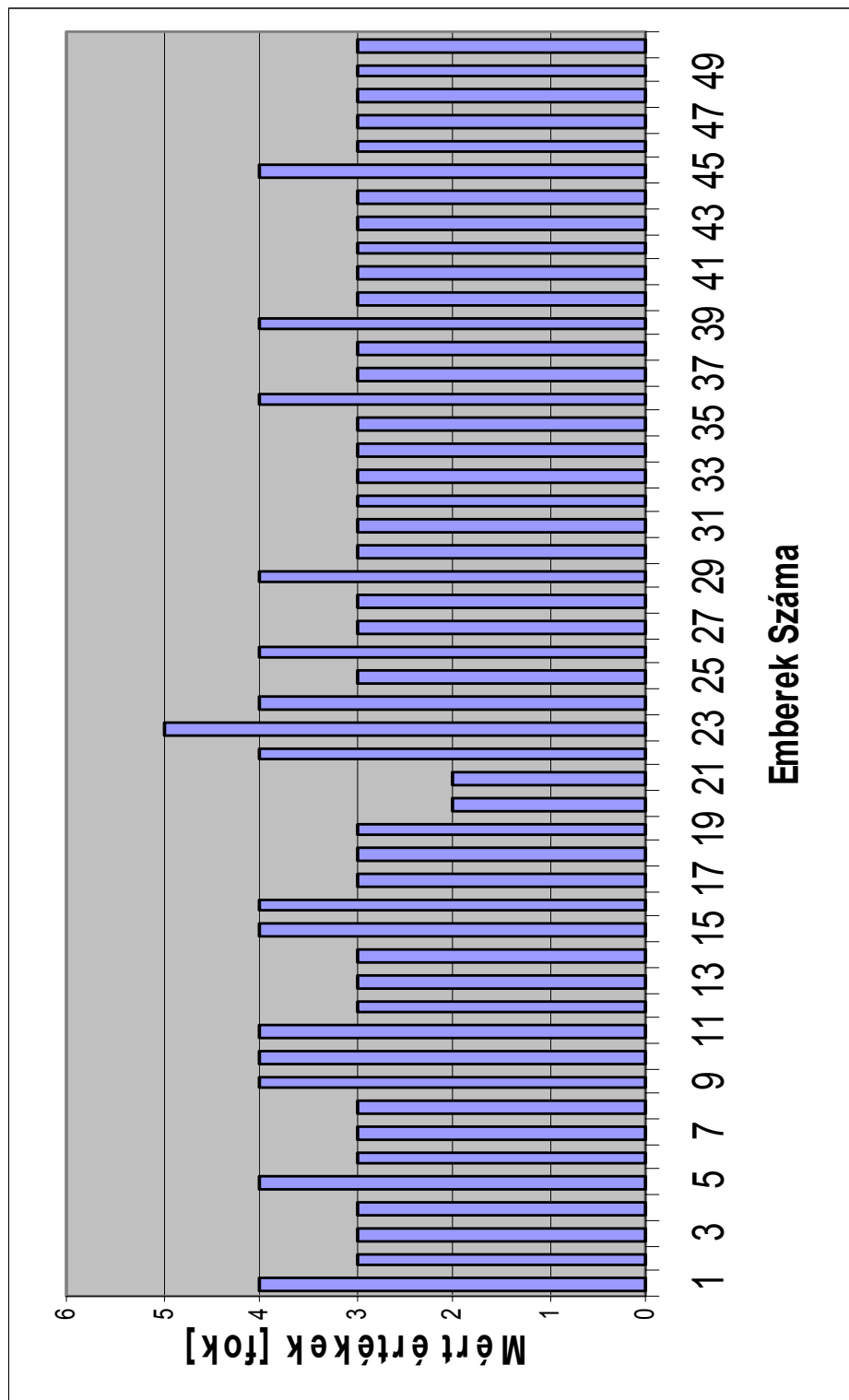
Beállítási értékek				Hol helyezkedik el a hangforrás?			Elhiszi, hogy előtte van?	Van fejközéplokalisasiója?	
PlayWaw	Repeat	Mozgás						Igen	Nem
		X	Y	Előttem	Mögöttem	Egyéb			
100	20	0	0						
100	20	1	1						
100	20	2	2						
100	20	3	3						
100	20	4	4						
100	20	5	5						
100	20	6	6						
100	20	7	7						
100	20	8	8						

4.1 ábra

A program lehetővé teszi, hogy vízszintesen és függőlegesen is különböző mértékben mozogjon a forrás. Pl. vízszintesen 3 fokot, függőlegesen meg tizet. Erre van lehetőség, de mi csak olyan adatokat használtunk, ahol függőlegesen és vízszintesen is egyforma volt a szög érték.

5 A tényleges eredmények

5.1 Az első mérés eredményei



5.1.1 ábra

Fejközép lokalizáció							
	0 fok	1 fok	2 fok	3 fok	4 fok	5 fok	6 fok
1	N	N	N	N	N		
2	I	I	N	N			
3	I	N	N	N			
4	N	N	N	N	I		
5	N	N	N	N			
6	N	N	N	N			
7	I	N	N	N			
8	N	N	N	N			
9	N	N	N	N	N		
10	N	N	N	N	N		
11	N	N	N	N	N		
12	N	N	N	N			
13	N	N	N	N			
14	I	I	I	I			
15	N	N	N	N	N		
16	N	N	N	N	N		
17	I	I	I	I			
18	I	N	N	N			
19	I	N	N	N			
20	N	N	N				
21	N	N	N				
22	N	N	N	N	N	N	
23	I	I	N	I	N		
24	I	I	I	I	I		
25	N	N	N	N			
26	N	N	N	N	N		
27	I	I	N	N			
28	I	I	I	N			
29	N	N	N	N	N		
30	I	I	N	N			
31	I	I	I	I			
32	N	N	N	N			
33	I	I	N	N			
34	N	N	N	I			
35	N	N	N	N			
36	I	N	N	N	N		
37	I	I	I	I			
38	I	N	N	I			
39	I	I	N	N	N		
40	N	N	I	I			
41	I	N	N	N			
42	I	I	I	I			
43	N	N	N	N			
44	I	N	N	N			
45	I	I	N	N	N		
46	N	N	N	N			
47	N	N	N	I			
48	N	N	N	N			
49	I	N	N	N			
50	N	N	N	N			

5.1.2 ábra

5.1.2 ábra kiértékelése

- Az alanyok 60% - nál nem történt változás. A fejben - i lokalizációt a szimuláció nem befolyásolta.
- Ezzel szemben az emberek 40% - a 1-2 foknál még nem érzékelt mozgást, mégis megszűnt a fejközép lokalizáció, Tehát az emberek 40% ténylegesen igazolja a kezdeti hipotézisünket.
- Az emberek 46% - a tapasztalt fejközéplokalizációt 0^0 – nál. Viszont ugyan ez az érték 2^0 – nál már csak 16% volt.
- Összességében az ilyen kis mozgás nem zavaró, mert az emberek nem érzékelték mozgásnak, de a fejközép lokalizációt a 2^0 – os forrásmozgatás 30% - al csökkentette.

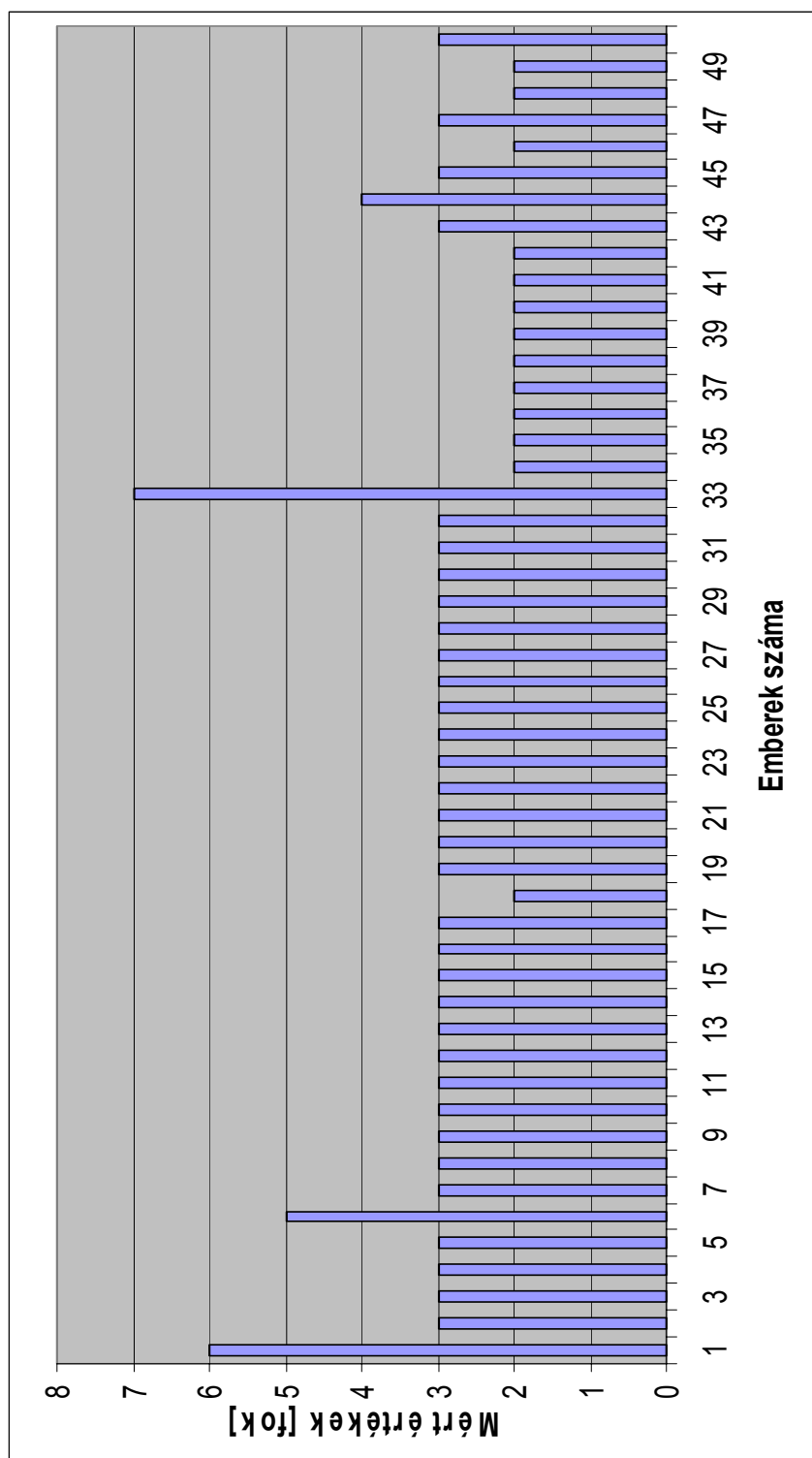
A Forrás helyzetének szubjektív megítélése							
	0 fok	1 fok	2 fok	3 fok	4 fok	5 fok	6 fok
1	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte		
2	Egyéb	Egyéb	Előtte	Előtte			
3	Mögötte	Előtte	Előtte	Előtte			
4	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte		
5	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte			
6	Mögötte	Mögötte	Előtte	Előtte			
7	Mögötte	Előtte	Előtte	Előtte			
8	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte			
9	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte		
10	Egyéb	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte		
11	Egyéb	Egyéb	Egyéb	Egyéb	Egyéb		
12	Mögötte	Mögötte	Mögötte	Mögötte			
13	Mögötte	Egyéb	Egyéb	Egyéb			
14	Egyéb	Egyéb	Egyéb	Egyéb			
15	Egyéb	Egyéb	Mögötte	Mögötte	Mögötte		
16	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte		
17	Egyéb	Mögötte	Mögötte	Mögötte			
18	Egyéb	Egyéb	Egyéb	Egyéb			
19	Egyéb	Egyéb	Előtte	Előtte			
20	Egyéb	Egyéb	Egyéb				
21	Egyéb	Mögötte	Mögötte				
22	Mögötte	Mögötte	Előtte	Előtte	Előtte		
23	Mögötte	Mögötte	Mögötte	Mögötte	Mögötte	Mögötte	
24	Egyéb	Egyéb	Mögötte	Mögötte	Mögötte		
25	Egyéb	Mögötte	Mögötte	Mögötte			
26	Egyéb	Mögötte	Mögötte	Mögötte	Mögötte		
27	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte			
28	Egyéb	Mögötte	Mögötte	Mögötte			
29	Egyéb	Egyéb	Egyéb	Mögötte	Mögötte		
30	Mögötte	Mögötte	Mögötte	Mögötte			
31	Mögötte	Mögötte	Mögötte	Mögötte			
32	Mögötte	Mögötte	Mögötte	Mögötte			
33	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte			
34	Egyéb	Előtte	Előtte	Előtte			
35	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte			
36	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte		
37	Egyéb	Egyéb	Egyéb	Mögötte			
38	Egyéb	Egyéb	Mögötte	Mögötte			
39	Egyéb	Egyéb	Egyéb	Mögötte	Mögötte		
40	Egyéb	Előtte	Előtte	Előtte			
41	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte			
42	Egyéb	Mögötte	Mögötte	Mögötte			
43	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte			
44	Egyéb	Előtte	Előtte	Előtte			
45	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte		
46	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte			
47	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte			
48	Egyéb	Mögötte	Mögötte	Mögötte			
49	Mögötte	Mögötte	Mögötte	Mögötte			
50	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte			

5.1.3 ábra

5.1.3 ábra kiértékelése

- Az emberek 32% - nál nem történt változás, helyesen ítélte meg a hangforrás helyzetét
- Az emberek 12% - a folyamatosan maga mögött érzékelte a hangforrást
- Az alanyok 56% - nál történt változás a kezdeti 0^0 – os helymeghatározáshoz képest máshol érzékelték a forrást
- A vizsgált emberek 0^0 – nál 32% - ban helyesen ítelték meg a forrás helyzetét. Viszont 46% - ban nem tudták eldönteni, hogy előttük vagy mögöttük helyezkedik el a forrás
- 2^0 – os beállításnál a helyes döntések száma 52% - ra nőtt. Azok száma, akik nem tudták eldönteni a forrás helyzetét 16% - ra csökkent.

5.2 A második mérés eredményei



5.2.1 ábra

Fejközép lokalizáció									
	0 fok	1 fok	2 fok	3 fok	4 fok	5 fok	6 fok	7 fok	8 fok
1	N	N	N	N	N	N	N		
2	I	I	N	N					
3	N	N	N	N					
4	N	N	N	N					
5	N	N	N	N					
6	N	N	N	N	N	N			
7	N	N	N	N					
8	N	N	N	N					
9	N	N	N	N					
10	N	N	N	N					
11	N	N	N	N					
12	N	N	N	N					
13	I	I	I	I					
14	I	I	I	I					
15	I	I	I	N					
16	N	N	N	N					
17	I	N	N	N					
18	I	N	I						
19	I	N	N	N					
20	N	N	N	N					
21	N	I	I	I					
22	N	N	N	N					
23	I	I	N	N					
24	I	I	I	N					
25	N	N	I	I					
26	N	N	N	N					
27	I	N	I	N					
28	I	I	N	N					
29	N	N	N	N					
30	I	I	N	N					
31	I	N	N	N					
32	N	N	N	N					
33	I	I	N	N	N	N	N	I	
34	N	N	N						
35	N	N	N						
36	I	I	I						
37	I	N	N						
38	I	N	N						
39	I	N	N						
40	N	N	N						
41	I	N	N						
42	I	N	N						
43	N	N	N	N					
44	I	N	N	N	N				
45	I	I	N	N					
46	N	N	N						
47	N	N	N	N					
48	N	N	N						
49	N	N	N						
50	N	N	N	N					

5.2.2 ábra

5.2.2 ábra kiértékelése

- Az emberek 58% - nál nem történt változás. A fejben - i lokalizációt a szimuláció nem befolyásolta.
- Ezzel szemben a vizsgált személyek 42% - a 1-2 foknál még nem érzékelt mozgást, mégis megszűnt a fejközép lokalizáció, Tehát az emberek 42% ténylegesen igazolja a kezdeti hipotézisünket.
- Az emberek 44% - a tapasztalt fejközéplokalizációt 0^0 – nál. Viszont ugyan ez az érték 2^0 – nál már csak 18% volt.
- Összességében az ilyen kis mozgás nem zavaró, mert az emberek nem érzékelték mozgásnak, de a fejközép lokalizációt a 2^0 – os forrásmozgatás 26% - al csökkentette.

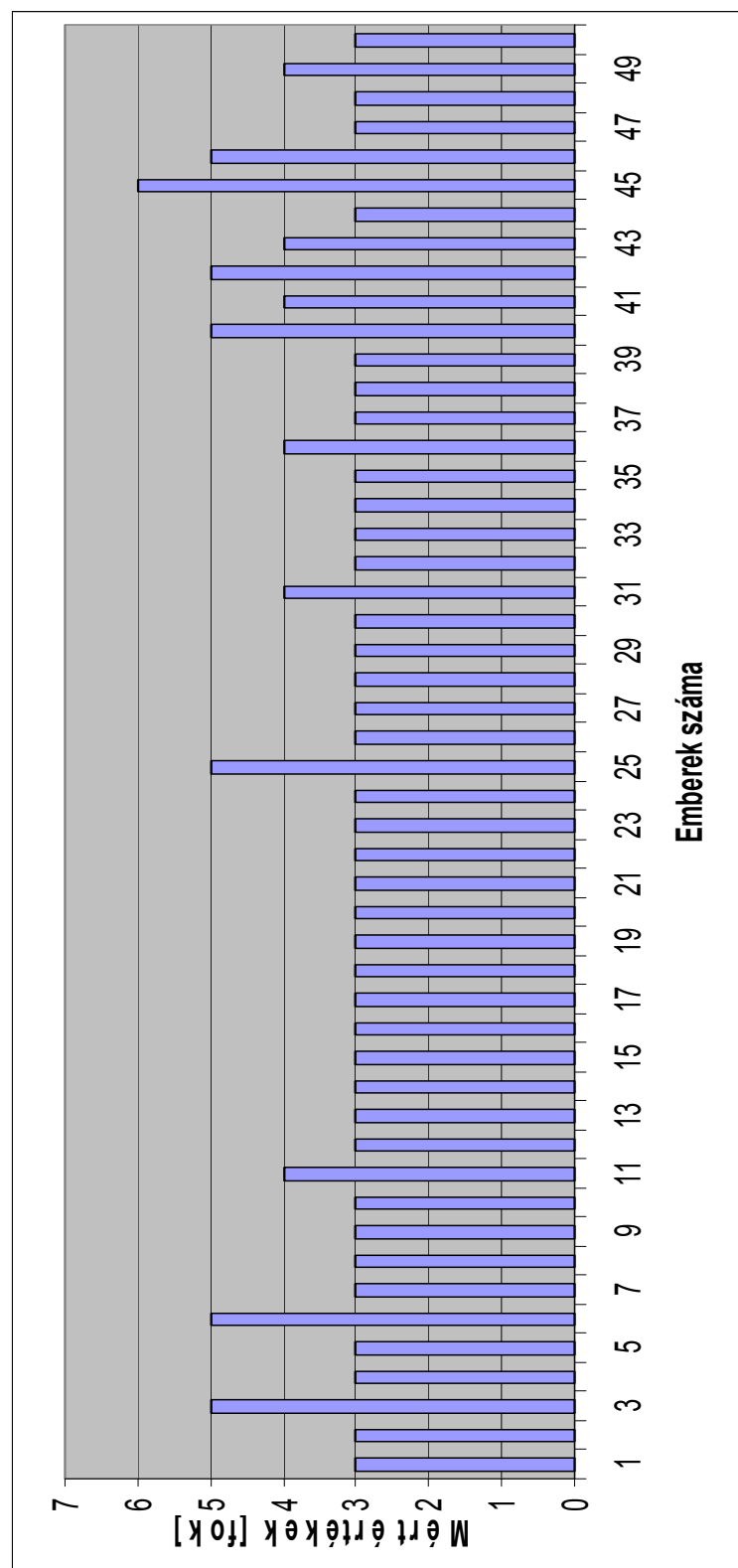
A Forrás helyzetének szubjektív megítélése																				
	0 fok	1 fok	2 fok	3 fok	4 fok	5 fok	6 fok	7 fok	8 fok											
1	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte													
2	Egyéb	Egyéb	Előtte	Előtte																
3	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte																
4	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte																
5	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte																
6	Egyéb	Egyéb	Egyéb	Egyéb	Egyéb	Egyéb														
7	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte																
8	Mögötte	Előtte	Előtte	Előtte																
9	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte																
10	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte																
11	Mögötte	Előtte	Előtte	Előtte																
12	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte																
13	Mögötte	Mögötte	Mögötte	Mögötte																
14	Egyéb	Egyéb	Egyéb	Egyéb																
15	Mögötte	Mögötte	Mögötte	Mögötte																
16	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte																
17	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte																
18	Egyéb	Előtte	Előtte																	
19	Mögötte	Mögötte	Mögötte							Mögötte										
20	Mögötte	Mögötte	Mögötte							Mögötte										
21	Mögötte	Mögötte	Mögötte							Mögötte										
22	Előtte	Előtte	Előtte							Előtte										
23	Egyéb	Mögötte	Mögötte							Mögötte										
24	Egyéb	Mögötte	Mögötte							Mögötte										
25	Előtte	Előtte	Előtte							Előtte										
26	Egyéb	Mögötte	Mögötte							Mögötte										
27	Előtte	Előtte	Előtte							Előtte										
28	Egyéb	Mögötte	Mögötte							Mögötte										
29	Előtte	Előtte	Előtte							Előtte										
30	Előtte	Előtte	Előtte							Előtte										
31	Mögötte	Mögötte	Mögötte							Mögötte										
32	Egyéb	Egyéb	Egyéb	Egyéb																
33	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte												
34	Előtte	Előtte	Előtte																	
35	Mögötte	Mögötte	Mögötte																	
36	Előtte	Előtte	Előtte																	
37	Egyéb	Mögötte	Mögötte																	
38	Egyéb	Mögötte	Mögötte																	
39	Egyéb	Mögötte	Mögötte																	
40	Mögötte	Mögötte	Mögötte																	
41	Mögötte	Mögötte	Mögötte																	
42	Előtte	Előtte	Előtte																	
43	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte																
44	Egyéb	Mögötte	Előtte	Előtte						Előtte										
45	Mögötte	Mögötte	Egyéb	Egyéb																
46	Előtte	Előtte	Előtte																	
47	Előtte	Előtte	Előtte							Előtte										
48	Egyéb	Előtte	Előtte																	
49	Előtte	Előtte	Előtte																	
50	Egyéb	Egyéb	Egyéb	Egyéb																

5.2.3 ábra

5.2.3 ábra kiértékelése

- Az emberek 46% - nál nem történt változás, helyesen ítélte meg a hangforrás helyzetét
- Az emberek 18% - a folyamatosan maga mögött érzékelték a hangforrást
- Az alanyok 26% - nál történt változás. A kezdeti 0^0 – os helymeghatározáshoz képest máshol érzékelték a forrást
- A vizsgált emberek 0^0 – nál 46% - ban helyesen ítélték meg a forrás helyzetét. Viszont 30% - ban nem tudták eldönteni, hogy előttük vagy mögöttük helyezkedik el a forrás
- 2^0 – os beállításnál a helyes döntések száma 58% - ra nőtt. Azok száma, akik nem tudták eldönteni a forrás helyzetét 10% - ra csökkent.

5.3 A harmadik mérés eredményei



5.3.1 ábra

Fejközép lokalizáció								
	0 fok	1 fok	2 fok	3 fok	4 fok	5 fok	6 fok	7 fok
1	N	N	N	N				
2	N	N	N	N				
3	N	N	N	N	N	N		
4	N	N	N	N				
5	N	N	N	N				
6	N	N	N	N	N	N		
7	N	N	N	N				
8	N	N	N	N				
9	N	N	N	N				
10	N	N	N	N				
11	N	N	N	N	N			
12	N	N	N	N				
13	N	N	N	N				
14	I	I	I	I				
15	I	I	I	I				
16	N	N	N	N				
17	I	I	N	N				
18	N	N	N	N				
19	I	N	N	N				
20	N	N	N	N				
21	N	N	N	N				
22	N	N	N	N				
23	I	I	N	N				
24	I	I	I	I				
25	N	N	N	N	N	N		
26	N	N	N	N				
27	I	I	N	N				
28	I	I	I	N				
29	N	N	N	N				
30	I	I	N	N				
31	I	I	I	I	I			
32	N	N	N	N				
33	I	I	N	N				
34	N	N	N	I				
35	N	N	N	N				
36	I	N	N	N	N			
37	I	I	I	I				
38	I	N	N	N				
39	I	I	N	N				
40	N	N	N	I	I	I		
41	I	N	N	N	N			
42	I	I	I	I	I	I		
43	N	N	N	N	N			
44	I	N	N	N				
45	I	I	N	N	N	N	N	
46	N	N	N	N	N	N		
47	N	N	N	N				
48	N	N	N	N				
49	I	N	N	N	N			
50	N	N	N	N				

5.3.2 ábra

5.3.2 ábra kiértékelése

- Az emberek 68% - nál nem történt változás. A fejben - i lokalizációt a szimuláció nem befolyásolta.
- Ezzel szemben a vizsgált személyek 32% - a 1-2 foknál még nem érzékelt mozgást, mégis megszűnt a fejközép lokalizáció, Tehát az emberek 32% ténylegesen igazolja a kezdeti hipotézisünket.
- Az emberek 40% - a tapasztalt fejközéplokalizációt 0^0 – nál. Viszont ugyan ez az érték 2^0 – nál már csak 14% volt.
- Összességében az ilyen kis mozgás nem zavaró, mert az emberek nem érzékelték mozgásnak, de a fejközép lokalizációt a 2^0 – os forrásmozgatás 26% - al csökkentette.

A Forrás helyzetének szubjektív megítélése												
	0 fok	1 fok	2 fok	3 fok	4 fok	5 fok	6 fok	7 fok				
1	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte								
2	Előtte	Előtte	Egyéb	Előtte								
3	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte						
4	Egyéb	Egyéb	Egyéb	Egyéb								
5	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte								
6	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte						
7	Egyéb	Előtte	Előtte	Előtte								
8	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte								
9	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte								
10	Előtte	Előtte	Egyéb	Előtte								
11	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte					Előtte			
12	Előtte	Előtte	Mögötte	Mögötte								
13	Egyéb	Egyéb	Egyéb	Egyéb								
14	Egyéb	Egyéb	Mögötte	Mögötte								
15	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte								
16	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte								
17	Mögötte	Előtte	Előtte	Előtte								
18	Mögötte	Mögötte	Mögötte	Mögötte								
19	Mögötte	Mögötte	Mögötte	Mögötte								
20	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte								
21	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte								
22	Egyéb	Egyéb	Egyéb	Egyéb								
23	Mögötte	Mögötte	Mögötte	Mögötte								
24	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte								
25	Mögötte	Mögötte	Mögötte	Mögötte					Mögötte	Mögötte		
26	Mögötte	Mögötte	Mögötte	Mögötte								
27	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte								
28	Mögötte	Mögötte	Mögötte	Mögötte								
29	Egyéb	Mögötte	Mögötte	Mögötte								
30	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte								
31	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte					Előtte			
32	Mögötte	Mögötte	Mögötte	Mögötte								
33	Mögötte	Mögötte	Mögötte	Mögötte								
34	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte								
35	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte								
36	Egyéb	Egyéb	Mögötte	Mögötte					Mögötte			
37	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte								
38	Mögötte	Mögötte	Mögötte	Mögötte								
39	Egyéb	Mögötte	Mögötte	Mögötte								
40	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte					Előtte	Előtte		
41	Mögötte	Mögötte	Egyéb	Mögötte	Mögötte							
42	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte				Előtte			
43	Mögötte	Mögötte	Mögötte	Mögötte	Mögötte							
44	Mögötte	Mögötte	Mögötte	Mögötte								
45	Egyéb	Egyéb	Egyéb	Egyéb	Egyéb	Egyéb	Egyéb	Egyéb				
46	Egyéb	Egyéb	Egyéb	Egyéb	Egyéb	Egyéb						
47	Mögötte	Mögötte	Mögötte	Mögötte								
48	Egyéb	Mögötte	Egyéb	Egyéb								
49	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte	Előtte							
50	Egyéb	Egyéb	Egyéb	Egyéb								

5.3.3 ábra

5.3.3 ábra kiértékelése

- Az emberek 46% - nál nem történt változás, helyesen ítélte meg a hangforrás helyzetét
- Az emberek 26% - a folyamatosan maga mögött érzékelte a hangforrást
- Az alanyok 14% - nál történt változás. A kezdeti 0^0 – os helymeghatározáshoz képest máshol érzékelték a forrást
- A vizsgált emberek 0^0 – nál 48% - ban helyesen ítélték meg a forrás helyzetét. Viszont 24% - ban nem tudták eldönteni, hogy előttük vagy mögöttük helyezkedik el a forrás
- 3^0 – os beállításnál a helyes döntések száma 50% - ra nőtt. Azok száma, akik nem tudták eldönteni a forrás helyzetét 12% - ra csökkent.

6. Összefoglalás

A feladatom egy meglévő számítógépes rendszer (PC, Win95) és már megírt program segítségével a fejmozgás szimulációk kidolgozása és mérése. A feladatom része volt:

- Azon fok érték meghatározása, mikor már a hallgató érzékeli a forrás véletlenszerű mozgását
- Megvizsgálni a forrás mozgása és a fejközéplokalizáció létrejötte közötti kapcsolatot.
- Menyire állapítható meg a forrás helyzete illetve mekkora tévesztéssel

Az egész vizsgálat célja az, hogy a véletlenszerű mozgást még ne érzékeljék, és hogy eközben a stabil, álló forráshoz képest változik-e a fejközéplokalizáció. Az ehhez szükséges program már rendelkezésemre állt. A szimuláció során az irányt is szimuláltam.

A feladatom eredeti célja a GUIB kutatási program segítése és továbbfejlesztésének támogatása. Ez a kutatás a vak embereket segítené a számítógép használásában, megmutatná nekik a különböző hangok, hogy hol járnak a képernyőn.

A felhasznált irodalomból megismertem a hallás alapelveit és azt, hogy min alapul a fülek működése. A fül átviteli függvényivel és annak mérési pontjaival.

A vizsgálatok során sikerült bebizonyítanom, és ezt grafikonokkal alátámasztanom, hogy ha olyan szűk tartományban mozgatjuk a forrást, amikor még nem érzékelhető mozgottak, akkor csökken a fejközéplokalizáció.

A mérést továbbfejleszteni úgy lehetne, hogy a beállítható értékek közül csak egyet változtatunk, és ennek a változásnak a hatását vizsgálánk meg. A méréseket úgy kellene felépíteni, hogy az ismétlést (playwave) egy fix értékre állítjuk és a repeat - et változtatjuk, és ennek a hatását vizsgálánk. Mivel a mostani mérésnél, mindkét érték (playwave, repeat) egyszerre változott.

7. Felhasznált irodalom

Dr. Wersényi György: Műszaki Akusztika; Győr 2004

Dr. Wersényi György: Térbeli hallás; Győr 1998

Kurutz Imre - Szentmártony Tibor: A műszaki akusztika alapjai.
Műegyetemi kiadó, 2001.

I Veit: Műszaki akusztika. Műszaki Könyvkiadó, 1977.

Dr. Wersényi György: Proceedings of the AES 12th Regional Convention,
Tokyo, June 12-14, 2005

Dr. Wersényi György: Presented at the 115th Convention New York,
October 10–13
2005,

Beachtron - kártya dokumentációja, The Beachtron, Crystal River
Engineering, Inc.

8. Függelék

5.1.2 ábra fokenkénti kiértékelése

- 0 foknál az emberek 54% - a nem tapasztalt fejközéplokalizációt
- 1 foknál az emberek 72% - a nem tapasztalt fejközéplokalizációt
- 2 foknál az emberek 84% - a nem tapasztalt fejközéplokalizációt
- foknál az emberek 78% - a nem tapasztalt fejközéplokalizációt
- és 5 foknál az emberek 80% - a nem tapasztalt fejközéplokalizációt

5.1.3 ábra fokenkénti kiértékelése

- 0 foknál az emberek 32% - a maga előtt, 22% - a maga mögött, 46% - a nem tudta eldönteni a forrás pontos helyét
- 1 foknál az emberek 44% - a előről, 30% - a hátulról, 26% - a pedig nem tudta eldönteni a forrás helyzetét
- 2 foknál az emberek 52% - a előről, 32% - a hátulról, 16% - a pedig nem tudta eldönteni a forrás helyzetét
- 3, 4, 5 foknál az emberek 52% - a előről, 38%- a hátulról, 10% - a pedig nem tudta megállapítani a forrás helyzetét

5.2.2 ábra fokenkénti kiértékelése

- 0 foknál az emberek 56% - a nem tapasztalt fejközéplokalizációt
- 1 foknál az emberek 76% - a nem tapasztalt fejközéplokalizációt
- 2 foknál az emberek 82% - a nem tapasztalt fejközéplokalizációt
- 3, 4, 5, 6 foknál az emberek 88% - a nem tapasztalt fejközéplokalizációt
- 7 foknál az emberek 86% - a nem tapasztalt fejközéplokalizációt

5.2.3 ábra fokenkénti kiértékelése

- 0 foknál az emberek 46% - a maga előtt, 24% - a maga mögött, 30% - a nem tudta eldönteni a forrás pontos helyét
- 1 foknál az emberek 54% - a előről, 36% - a hátulról, 10% - a pedig nem tudta eldönteni a forrás helyzetét
- 2, 3, 4, 5, 6, 7 foknál az emberek 58% - a előről, 32% - a hátulról, 10% - a pedig nem tudta eldönteni a forrás helyzetét

5.3.2 ábra fokenkénti kiértékelése

- 0 foknál az emberek 60% - a nem tapasztalt fejközéplokalizációt
- 1 foknál az emberek 72% - a nem tapasztalt fejközéplokalizációt
- 2 foknál az emberek 86% - a nem tapasztalt fejközéplokalizációt
- 3, 4, 5, 6 foknál az emberek 84% - a nem tapasztalt fejközéplokalizációt

5.3.3 ábra fokenkénti kiértékelése

- 0 foknál az emberek 48% - a maga előtt, 28% - a maga mögött, 24% - a nem tudta eldönteni a forrás pontos helyét
- 1 foknál az emberek 52% - a előről, 32% - a hátulról, 16% - a pedig nem tudta eldönteni a forrás helyzetét
- 2 foknál az emberek 46% - a előről, 34% - a hátulról, 20% - a pedig nem tudta eldönteni a forrás helyzetét
- 3, 4, 5, 6 foknál az emberek 50% - a előről, 36% - a hátulról, 14% - a pedig nem tudta megállapítani a forrás helyzetét