

Bolla Krisztián

**Hanghatások vizsgálata fejmozgás szimuláció során
virtuális valóság szimulátor számára**

2007

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	4
2. A hang.....	6
2.1. A rezgőmozgás.....	6
2.1.1. A harmonikus rezgés.....	6
2.2. A hang fizikai leírása.....	7
2.3. A logaritmus.....	8
2.4. A hallás alapja.....	9
2.5. Hangforrás.....	11
2.6. Helymeghatározás.....	12
3. Pszichoakusztikus hallás.....	12
3.1. A lokalizáció és a lokalizációs bizonytalanság.....	12
3.2. A hangtér a fülek közelében.....	16
3.3. Fül szerkezete.....	17
3.3.1. A fülkagyló felépítése.....	18
3.4. Fejközép-lokalizáció.....	19
3.5. A binaurális technológia.....	19
3.6. Átviteli függvények és mérése.....	21
3.6.1. Az átviteli függvények.....	21
3.6.2. HRTF mérés.....	25
4. Beachtron – kártya.....	27
4.1. A program.....	28
4.2. A mérés menete.....	30
4.3. Kérdőív.....	32

5. A tényleges mérés és az eredmények.....	33
5.1. 1500 Hz.....	34
5.2. 7000 Hz.....	37
5.3. Welcome.....	40
5.4. Windows Felszólítás.....	43
5.5. Windows Kritikus.....	46
5.6. Papírkosár.....	49
6. Összefoglalás.....	52
7. Felhasznált irodalom.....	58
8. Függelék.....	59

1. Bevezetés

A hétköznapi életben az elsődleges érzékelés, a látás mellett a hallásunk is fontos szerepet játszik környezetünk megismerésében. Azonban az életben adódhatnak, és adódnak is olyan helyzetek, amikor kénytelenek vagyunk kizárólag a hallásunkra hagyatkozni.

Ha az ember látássérülten jön világra, vagy élete során veszíti el szeme világát, akkor a hallás az egyetlen kapcsolata a külvilággal. A kommunikáció minden ember számára létkérdés. A fogyatékos személy nehezebben jut információkhoz, s a mások számára hozzáférhető és egyértelmű információ számára gyakran egyáltalán nem értelmezhető. Ennek elsősorban a vak személyek számára van jelentősége, hiszen a vak személy az írott információt nem érzékeli. Ezért kell számukra a nekik megfelelő (adekvát) formában az információt hozzáférhetővé tenni.

A vakok és gyengén látók információszerzésének egyik legfontosabb eszköze a számítógép és az Internet.

A látó világ „képernyő-orientált” tagjai számára nehezen elképzelhető, hogy miképp is kommunikálnak a vakok a számítógépekkel. Két lehetőség áll rendelkezésükre: a hallás vagy a tapintás érzékszerveit tudják segítségül hívni.

Diplomamunkámban a hallás oldaláról próbálom bemutatni a vakok és gyengén látók számítógéphez fűződő kapcsolatát. Ennek egyik fontos eleme az úgynevezett GUIB (Graphical User Interface for Blind Persons) kutatási terület, ahol a cél, vakok számára olyan rendszer kifejlesztése, mellyel tudnak PC-t (Windows-t) kezelni egérrel, hangok alapján tájékozódva.

A feladat része egy fejhallgatón keresztül történő hangtér szimulációs 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. Ehhez nyújtottak segítséget a Széchenyi István Egyetem villamosmérnök szakos hallgatói. A program könnyebb értelmezhetősége érdekében szakdolgozatomban röviden áttekintem a hang, a hangátviteli függvényeinek (HRTF) kérdéskörét. Továbbá bemutatom a térbeli hallás főbb tulajdonságait és fogalmait. Ezek közé tartozik az irányhallás és a fejközép lokalizáció.

Mivel ez a GUIB kutatás elég nagy területet fed le, ezért csak egy szeletét tudtam bemutatni. De a jövőben kialakuló technikák segítségével ezt akár sokkal magasabb szintre is lehetne fejleszteni.

2. A hang

A *hang* valamilyen rugalmas közeg mechanikai rezgése és hullámozása az emberi hallás frekvenciáján (20 Hz-20 kHz). Azon forrást, amely a hangot kelti (rezeg, és a közeget rezgésbe hozza) *hangforrásnak* nevezzük. Jellemző rá a *helye*, amit az iránnyal, a távolsággal, és a szöggel adunk meg.

2.1. A rezgőmozgás

A rezgés valamely mennyiség időben periodikusan ismétlődő változása. Ez általában anyaghoz (a közeghez) kötött, amelyben a rezgésállapot terjed. Hullámterjedés azonban van a vákuumban is (pld. Az űrben, műholdak esetén), ahol az elektromágneses hullám „csak úgy” terjed, közvetítő közeg nélkül. Számunkra azonban csak az olyan hullámterjedés a fontos, amely közegben történik, hiszen ettől válik hallható hanggá. A rezgés leírása történhet az időtartományban (oszilloszkóp) és a frekvenciatartományban (spektrum analízátor). Hanghullámnak (akusztikus hullámnak) nevezzük a 20 Hz – 20 kHz közötti rezgéseket és azok összetételét. Azt az eszközt, ami képes az (elektro) mechanikai rezgéseket hanghullámokká és viszont alakítani elektromechanikai átalakítónak nevezzük. Ezekre közismert példa a hangszóró vagy a mikrofon, mely elektromos feszültség-hullámokat alakít hanggá, illetve viszont.[1]

2.1.1. A harmonikus rezgés

A harmonikus rezgés matematikai alakja: $y(t) = A \sin(\omega t)$, ahol $y(t)$ a pillanatérték az idő függvényében, A az amplitúdó, ω a körfrekvencia [rad/sec]-ban, továbbá: $\omega = 2\pi f$, ahol f a frekvencia [Hz]-ben.

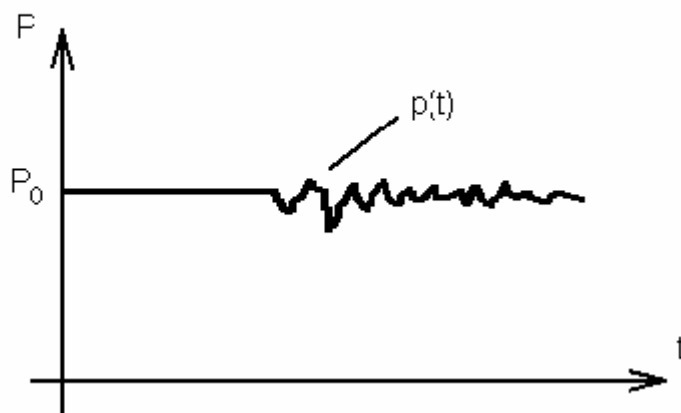
A harmonikus rezgőmozgást, mivel egyetlen f frekvencia alkotja, „tisztá” hangnak, vagy szinuszos rezgésnek is nevezzük.

2.2. A hang fizikai leírása

Fizikai jellegét tekintve a hang valamilyen rugalmas közeg mechanikai rezgéséből áll. Ilyenkor a rugalmas anyag azon részecskéi, amelyek külső hatásra kimozdultak nyugalmi helyzetükből, a rugalmassági erő és a tehetetlenség folytán periodikus rezgésbe jönnek. Szilárd anyagokban az úgynevezett testhang, cseppfolyós anyagokban a folyadékhang és levegőben a léghang keletkezik és terjed. Az emberi fül döntően a levegőben terjedő hangokat érzékeli, ezért a léghanggal kapcsolatos ismeretek (pl. hangkeltés, terjedés, érzékelés stb.) kiemelt jelentőségűek.

A léghang légnyomás-ingadozás formájában jelentkezik. Az állandó értékűnek tekinthető légköri nyomásra szuperponálódik a hangnyomás. A tér egy pontjában az eredő $P(t)$ légnyomás a P_0 - lal jelölt konstans légköri nyomás és a $p(t)$ összegeként adható meg.

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



A továbbiakban csak az időben változó második taggal, a hangnyomással fogunk foglalkozni. A hangnyomás szabványos mértékegysége a Pa, ami 1 Newton

erőhatást jelent 1 m^2 felületen. (A konstans légköri nyomás közelítőleg $100\,000 = 105 \text{ Pa}$). A hangnyomás értékét mérőmikrofonnal mérjük. Méréskor gyakori szokás az, hogy a mért hangnyomás és egy referencia érték arányát adják meg dB-ben. Ilyenkor a referencia Pa, ami az átlagember számára az éppen meghallható 1000 Hz-es szinuszhang nyomásértéke.

A hangnyomásszint tehát:

$$L_p = 20 \lg \frac{P}{P_0}$$

A hanghullámok azonos fázisú pontjai közötti távolságot hullámhossznak nevezzük. A hullámhossz és a frekvencia szorzata egy állandó érték, ami a hang terjedési sebessége.

$$c = f\lambda$$

2.3. A logaritmus

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 intenzitáásszint:

$I = 10 \log(I / I_0) \text{ [dB]}$, ahol $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$. 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:

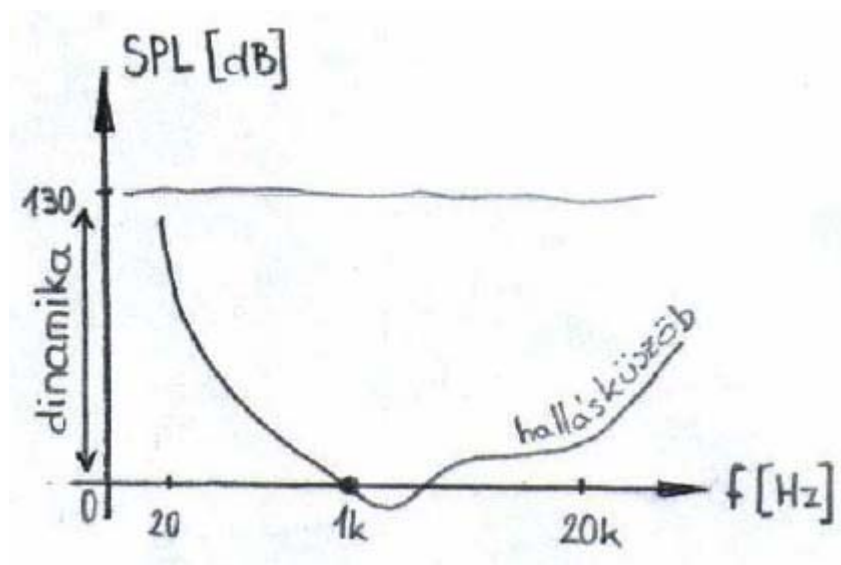
$P = 20 \log(P/p_0) \text{ [dB]}$, ahol $p_0 = 20 \text{ } \mu\text{Pa}$. Figyeljük meg jól, hogy a szinteket mindig nagybetűvel jelöljük (I, P), a többit, pedig hol naggyal, hol kicsivel. Általában az időfüggő mennyiségeket (az időfüggvényeket) kis betűvel, egy adott értéket, pedig naggyal. Nagyon fontos látni, hogy a hangnyomásszint vonatkoztatási értéke p_0

nem ugyanaz, mint az atmoszféranyomás P_0 értéke! Előbbi $20 \mu\text{Pa}$, amely az éppen meghallható 1 kHz -es szinuszhang szabványosított hangnyomás értéke. A hangnyomásszint angol elnevezése Sound Pressure Level, rövidítve SPL, ez az, amit egy mikrofon ténylegesen érzékel, mér, amikor P helyére az effektív értéket helyettesítjük. Viszonylag ritkán használjuk a hangteljesítményszintet (Sound Power Level, SWL):

$$\text{SWL} = 10\log(W/W_0) [\text{dB}], \text{ ahol } W_0 = 10^{-12} \text{ W}. [1]$$

2.4. A hallás alapja

Az akusztikában nem hagyhatjuk ki az emberi hallás alapvető tulajdonságait. Az emberi hallás részben írható le objektív mérőszámokkal. Kaphatunk képet egy hangról, ha megadjuk a hangnyomásszintjét, frekvenciáját (sávszélességét) stb. a szubjektív élményt azonban nem írják le. Éppen ezért sok kísérletet végeztek és hoztak létre olyan pszichoakusztikus mértékegységeket, definíciókat is, melyek jobban korrelálnak a hallás logaritmikus tulajdonságaival. A legfontosabb a hallástartomány megállapítása. Ez egy frekvencia-hangnyomásszint diagram, amelynek alsó görbéje látható az alábbi ábrán:



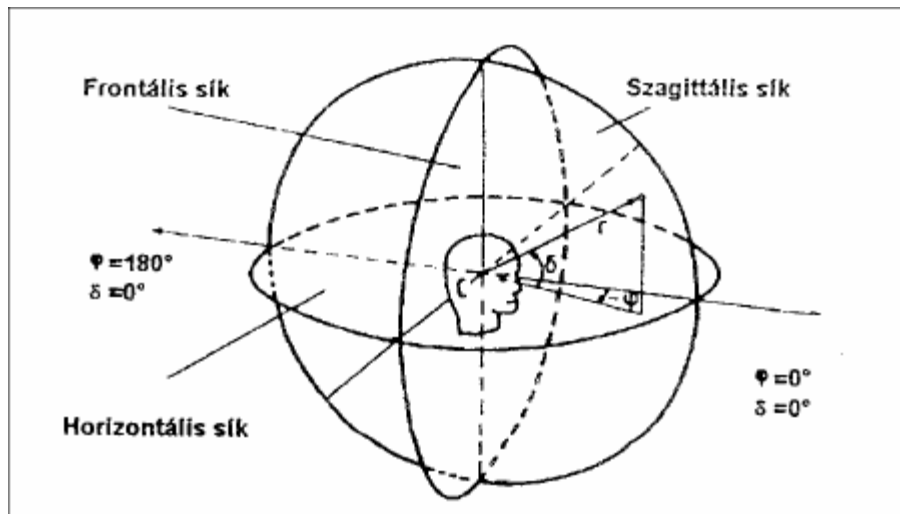
Ahogy már említettük, a hallható hangok tartománya a kb. 20 Hz-es mély hangoktól a kb. 20 kHz-es magas hangokig terjed. Ez egyénenként változó, és az életkor előrehaladtával egyre csökken. Idősebbek már nem hallanak ilyen jó, akár 12-14 kHz-re is leeshet a felső határfrekvencia.

Jegyezzük meg azt is, hogy a 20 Hz alatti hangokat érzékelhetjük, de nem a fülünkkel, hanem a csonthallással. A csontvázunk ugyanis kiválóan vezeti a rezgéseket, ezért ez is befolyásolja a szubjektív hangélményt.

Az ábrán látható, hogy kb. 130 dB-es dinamikával számolhatunk. A dinamika a leghangosabb és a leghalkabb észlelhető hangnyomásszint aránya. Magyarán, ha 0 dB-nek rögzítjük az éppen meghallható 1 kHz-es szinuszhangot (amelyhez tartozik az a bizonyos 20 μ Pa hangnyomás érték), akkor a leghangosabb még elviselhető hang hangnyomásszintje ennél mintegy 130 dB-el nagyobb. Az ábrán az is látszik, hogy ez a vonal egyenes 130 dB körül és *fájdalomküszöbnek* nevezzük. Nincs jellegzetes frekvenciamenete, hiszen nehéz kimérni és olyan mindegy, hogy a 100 Hz-es szinuszjel vagy az 1000 Hz-es szakítja-e át a dobhártyát... Sokkal fontosabb a *hallásküszöb*, amely az éppen meghallható különböző frekvenciájú hangokat összekötő görbe. A 0 dB-es tengelyt definíció szerint 1 kHz-nél metszi, azonban a görbe lemegy a negatív tartományba is. Ez azt jelenti, hogy a hallás a 3-4 kHz-es tartományban a legérzékenyebb, ott pár dB-el halkabban is ki lehet adni a hangot, hogy észleljük. A hallásküszöb görbéről meg kell még állapítanunk, hogy a középfrekvenciától távolodva romlik az érzékenysége: minél kisebb vagy nagyobb a frekvencia, annál hangosabban (nagyobb dB-lel) kell kiadni, hogy meghalljuk azt. Például egy 50 Hz-es hangot több mint 50 dB-el nagyobb szinten kell kiadni, hogy észleljük, mint az 1 kHz-et.[1]

2.5. Hangforrás

A háromdimenziós vonatkoztatási rendszer az ún. fejhez rögzített (head-related) koordináta-rendszer. Síkjai: a fej szimmetriasíkja (mediális vagy szagittális sík), a hallójárat középvonala és a szemgödör alsó csontján átfektetett (horizontális), valamint az ezekre merőleges és a hallójáratok elülső peremére fekvő (frontális) sík. Ezek metszéspontja az origó, valahol a fej belsejében található. A vízszintes síkban az oldalirányú kitéréseket, a mediális síkban az előre-hátra iránymeghatározást vizsgálhatjuk (ebben a koordináta-rendszerben). Jelöljük φ -vel az oldalszöget, azaz a „pontosan szemben” iránytól ($\varphi=0^\circ$) való eltérést a vízszintes síkban. A „pontosan hátul” irány felel meg $\varphi=180^\circ$ -nak. Delta szög az emelkedési (elevációs) szög. A mediális síkban $\delta=0^\circ$ a fülek síkja, 90° a fej feletti, 180° a fej mögötti. A távolságot r -rel jelöljük.



2.6. Helymeghatározás

A *lokalizáció* annyit jelent, hogy képesek vagyunk a hangforrások helyzetét hozzánk viszonyítva (a fejhez rögzített koordináta rendszerben) meghatározni. Ez csak véges pontossággal lehetséges, így az ún. *lokalizációs bizonytalanság* meghatározása az elsődleges cél. Ez nagyban függ a jel és a környezet paramétereitől, és általában a helyes iránytól való eltérés fokában adjuk meg. Az irányérzékelés két legfontosabb paramétere a füljelek közötti (interaurális) szint- és időeltérések. Amelyik fülben hangosabb és/vagy előbb érkezik be a jel, azt közelebbinek fogjuk érzékelni.

A hallás lehető legjobb felbontóképessége a szemben irányban található. Mivel a vízszintes (horizontális) síkban a füljelek idő- és szinteltérése nagy lehet, itt 3-5 fok körüli a bizonytalanság mértéke. Mivel a fej szimmetriasíkjában (mediális) a két fülbe azonos időben és erősséggel érkezik a jel, a lokalizáció nehezebb. Ráadásul, gyakran előfordul, hogy ebben a síkban található forrásokat összekeverünk, és nem tudjuk eldönteni előlről vagy hátulról érkeznek-e. Ez az ún. elől-hátul döntési hiba.[2]

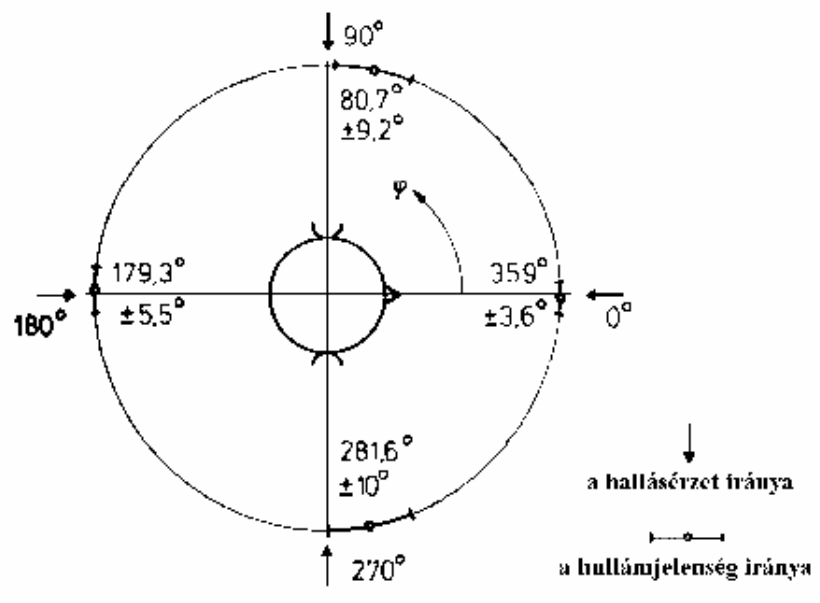
3. Pszichoakusztikus hallás

3.1. A lokalizáció és a lokalizációs bizonytalanság

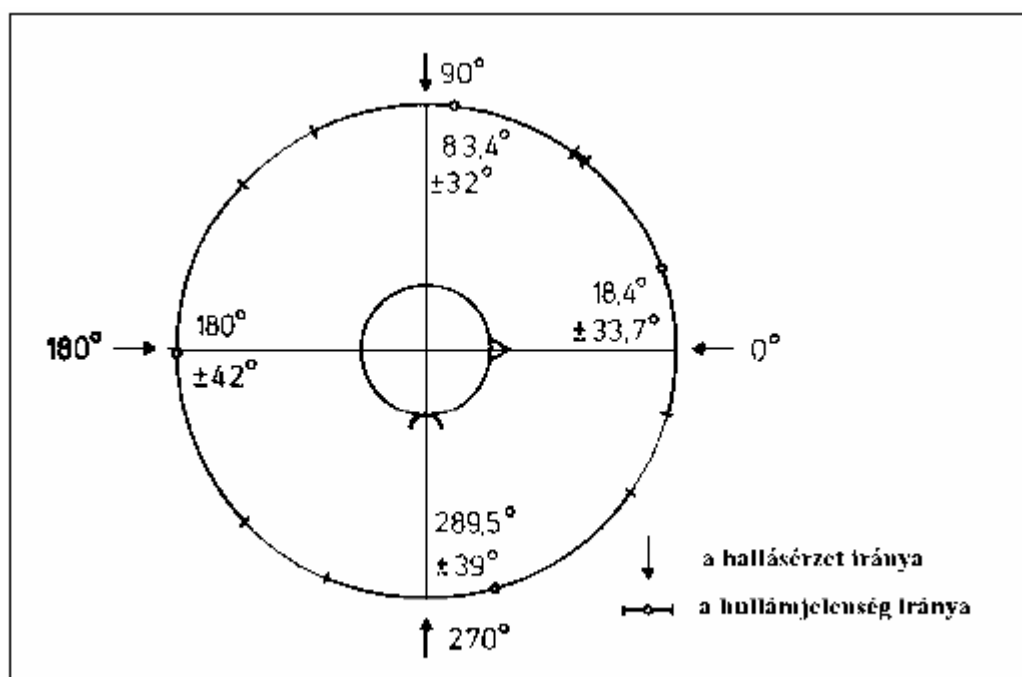
A *lokalizáció* során a hallás a hallásérzet helye és a hullámjelenség meghatározott ismertetőjelei között létesít kapcsolatot. Ezen jellemző(k) kis megváltozása helyváltoztatás-érzetet kelthet. A lokalizációs bizonytalanság az a minimális

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. A minimális lokalizációs bizonytalanság, azaz a hallás térbeli felbontóképessége a kísérletek szerint 1° körüli (az abszolút minimum), és ez kb. két nagyságrenddel rosszabb, mint a látórendszer érzékenysége, ami $1'$ -nél kisebb változásokat is érzékelni képes. A horizontális síkban a „szemben” irányban a helymeghatározás $\pm 3^\circ$ körüli minimális bizonytalanságot mutat, „oldalt” $\pm 10^\circ$, „hátról” $\pm 5^\circ$ (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]

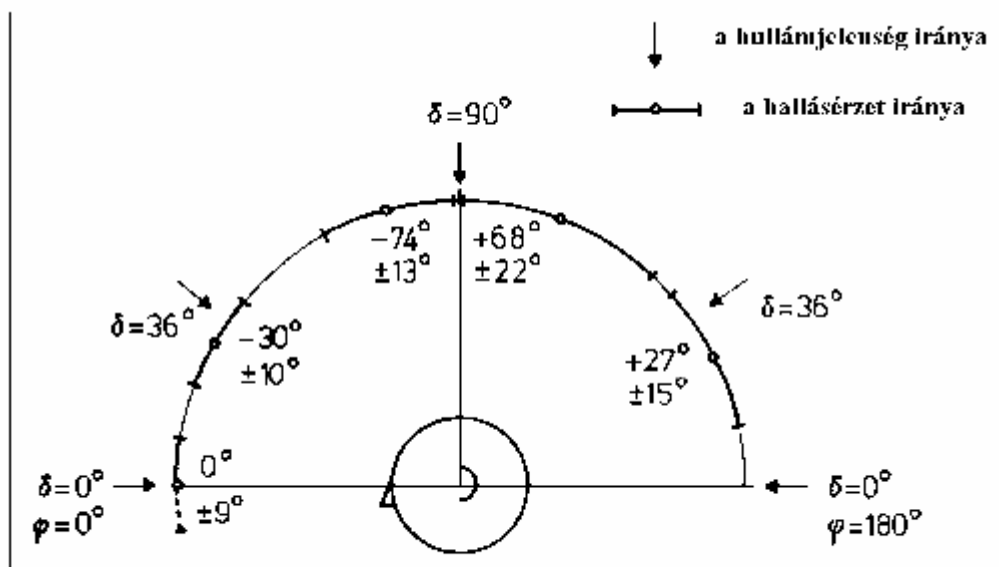


1.2.ábra. A lokalizációs bizonytalanság ($\Delta\varphi_{\min}$), és a lokalizáció a horizontális síkban. 900 alany, 100 ms.-os fehérzaj impulzus, 70 phon, a fej fixált. A lokalizáció esetén a hangszórót a megfigyelő mozgatta úgy, hogy azt a nyíl által jelölt irányból hallja. A hangszóró ekkor a „hullámjelenség iránya” tartományban volt [1].



1.3.ábra. Ugyanaz a feladat 32 alannyal. A különbség, hogy a bal fül teljesen süket [1].

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.



1.4.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 [1].

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 tükörszimmetrikusan* (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 ismerje-e a jelet. *Beszédnél* a távolság meghatározhatóságának határa 3-7 méter, 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 *helyváltztatásának gyorsasága* is. A hallás bizonyos „tehetetlenséggel” rendelkezik, azaz bizonyos időre van szüksége, hogy a forrás helyváltztatását 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.

3.2. 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 függnek 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

3.3. Fül szerkezete

A hang fizikai jelenség, számunkra azonban csak a fülön keresztül válik valósággá. Hogy valójában milyen lesz a hang, amit meghallunk, az részben a fizikai valóságon, részben azonban – és nem kis részben – a hallás tulajdonságain, képességein múlik.

A fül akusztikai, mechanikai, hidrodinamikai és elektromos jelátalakító, idegvezetési és agyi szerkezet. Bonyolult és nem minden részletében ismert érzékszerv, amelynek működési elveit és módjait ma is kutatják.

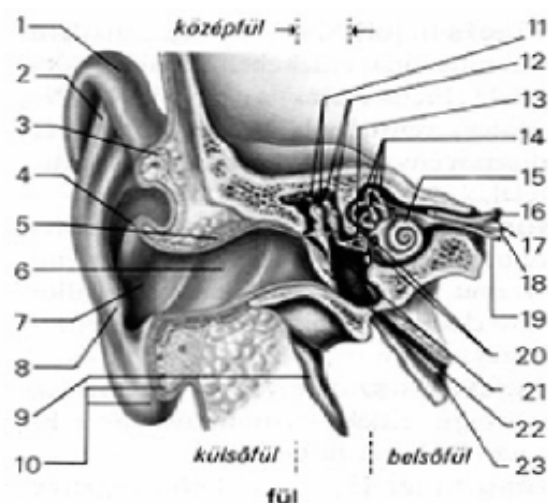
A fülkagyló középső mélyedéséből kiindulva keskeny csatorna nyílik az emberi test legvastagabb és legkeményebb csontjába, a sziklacsontba. Ennek mélyén minden oldalról védetten helyezkedik el a hallószerv felfogó része, a csiga.

A hallójárat nem hatol el idáig; közben rugalmas hártya zárja le. Ezzel kialakul a fülkagylóból és hallójáratból álló „külső fül”. A külső fül nemcsak az érzékeny műszer védelmét szolgálja, hanem akusztikai szerepe is van. A fülkagyló részt vesz a hang irányfelismerésében (hanggyűjtő szerepe jelentéktelen), a hallójárat 2,5-2,7 cm hossza pedig 3.500 Hz táján létesít rezonanciát, s valóban itt a legélesebb a hallásunk.

A dobhártya a „középfül” levegőüregét (dobüreg) határolja, a fertőzés elleni védelemként légmentesen. Vastagsága 0,1 mm.[3]

Hirtelen nagy nyomáslökések a dobhártyát beszakíthatják. Szakítószilárdsága átlagban 1 atm nyomáslökést bír elviselni. A dobhártya akusztikai ellenállása közel áll a levegőéhez (800 Hz-en azonos vele), így a levegő rezgéseit csaknem veszteség nélkül átveszi. A kívülről érkező hangnyomás-ingadozásokat mechanikai rezgéssé alakítja, és a rezgést a dobüregben elhelyezkedő hallócsontocskáknak adja át, kalapács-üllő-kengyel sorrendben.

3.3.1. 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);

3.4. Fejközép-lokalizáció

Külön kell foglalkozni a fejhallgatóval, mert ekkor a fülkagyló nem szűr, és fejhez közeli érzet, vagy káros mellékhatásként *fejközép lokalizáció* alakulhat ki (a továbbiakban: FKL). Ez a fontos jelenség létrejöhet úgy, hogy a forrás ténylegesen a fejben van (saját hangunk), vagy rossz mellékhatásként torzítatlan fejhallgatós 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 FKL, és ismert jelek esetén is ritkábban lép fel. Érdekesség, hogy nem a fejhallgatós 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 FKL. 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.

3.5. A binaurális technológia

A binaurális jelfeldolgozás első lépése a rögzítés, a felvétel. Amikor binaurális jeleket rögzítünk, az összes, a hangtérre jellemző paraméter bele van sűrítve a két fül jelébe. Elvileg, ezek helyes és tökéletes reprodukciója a teljes akusztikai

információt hordozza. A kutatások jó része irányul itt arra, hogy megtudjuk, az akusztikai információban mely részek miként hordozzák az irányinformációt. Az irányinformáció megléte, átvitele megfelel annak, hogy a hallgató nem vét nagyobb lokalizációs hibát a virtuális térben, mint tenné egyébként. A szakirodalomban megtalálható, hogy nem csupán a dobhártyán, hanem a hallójárat középvonala mentén – beleértve a bejárat pontját is – ez az információ állandó, mérhető. Továbbá igazolták, hogy a hallójárat bejáratán végzett mérés és információgyűjtés független attól, hogy a hallójárat bejárata szabad-e vagy blokkolt (kitömött, azaz hang nem is terjed tova a dobhártya felé). Más szóval, az irányinformáció előáll és teljes a fülkagyló „után”, közvetlenül a hallójárat bementén. Ez jó, hiszen méréseket sokkal kényelmesebb itt végezni. Ezzel a műfejeket is egyszerűsíthetjük, nincs szükség a hallójárat (Zwislocki coupler) vagy a dobhártya impedanciájának modellezésre. Ez az elv arra épít, hogy a hallójárat szűk bemente pontforrásként működik, azaz a hallójáratban egydimenziós hangterjedés lép fel, abban már az irányinformáció nem változik. Műfej keresztmetszeti képe a fülkagylóval, a hallójárat és a dobhártya szimulálásával. Ha ezt elfogadjuk, az alábbi modellt állíthatjuk fel. Létezik a hallásnak egy irányfüggő és egy irányfüggetlen része. Ebben a modellben a hallójárat bemenetétől kifelé lévő teret egy Thévenin-helyettesítéssel írjuk le, melynek része a hangnyomás (P_{blokkolt}) és egy generátor impedancia. Ez utóbbi megfelel a sugárzási impedanciának, mely a hallójáratból a külvilág felé látszik. P_{blokkolt} nem létezik normál hallásfolyamat során, de ha a bejárat blokkolt és a hallójárat üregében mérhető térfogatsebesség értéke zérus, akkor P_{blokkolt} éppen a fizikai akadály előtt mérhető hangnyomás. $P_{\text{dobhártya}}$ a hangnyomás a dobhártyán, P_{nyitott} pedig a nyitott hallójárat bementén mérhető. A hallójárat egy kétkapu, melyet $Z_{\text{dobhártya}}$ terhel. E kétkapu bemeneti impedanciáját a hallójárat bejárata felől látjuk ($Z_{\text{hallójárat}}$). A HRTF definíciója tehát helyesebb, ha nem a dobhártyáig, hanem a hallójárat bármely pontjáig kiterjesztjük.[4]

Monaurális jellemzők azok, melyek az egyfülű hallásra jellemzőek - tehát egyik fülükre süketek is fel tudják dolgozni -, és az érzet helyének kialakulásában döntően fontosak. Ilyen jellemzők minden hangjelben vannak, belőlük az érzet távolságára, emelkedési szögére, valamint az előre/hátra irányok meghatározhatóságára következtethetünk. Fejhallgatón keresztüli mérésre a diotikus eljárás alkalmazható, mikor ugyan mindkét fejhallgató szól, de ugyanazt a jelet sugározzák. Monotikusnak nevezzük azt az eljárást, ha csak az egyik fejhallgató sugároz jelet.

Interaurális jellemző csak a kétfülűek számára hasznosítható. Ezek az ismérvek a két füljel eltérését ill. viselkedésüket jellemzi. Ha változik az interaurális jellemző, mindig változik a monaurális is. A valóságban soha nem fordul elő, hogy ezek külön lépnek fel, hanem mindig együtt. A fejhallgatón keresztül történő interaurális vizsgálatokat ún. dichotikus módszerrel végzik, ami azt jelenti, hogy mindkét fejhallgató szól, és a jelek is különbözőek (hasonlóan a sztereóhoz, a bal fül a bal, a jobb fül a jobb csatorna jelét kapja).

3.6. Átviteli függvények és mérése

3.6.1. Az átviteli függvények

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 $\varphi = \delta = 0^\circ$. Ekkor a hallójárat mérési pont is megfelelő, mert a referencia is ott van. Ezen második esetben mérhető átviteli függvényt $A_2(f)$ -el jelöljük.

3. *Interaurális*: A két hallójáratban fellépő hangnyomást veti össze. Mindkét hallójáratban, azonos időben kell mérni. Ez a harmadik $A_3(f)$ függvény az első két esetből számolható is:

$$A_3(f)_{\phi=30} = \frac{A_2(f)_{\phi=330}}{A_2(f)_{\phi=30}}$$

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:

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

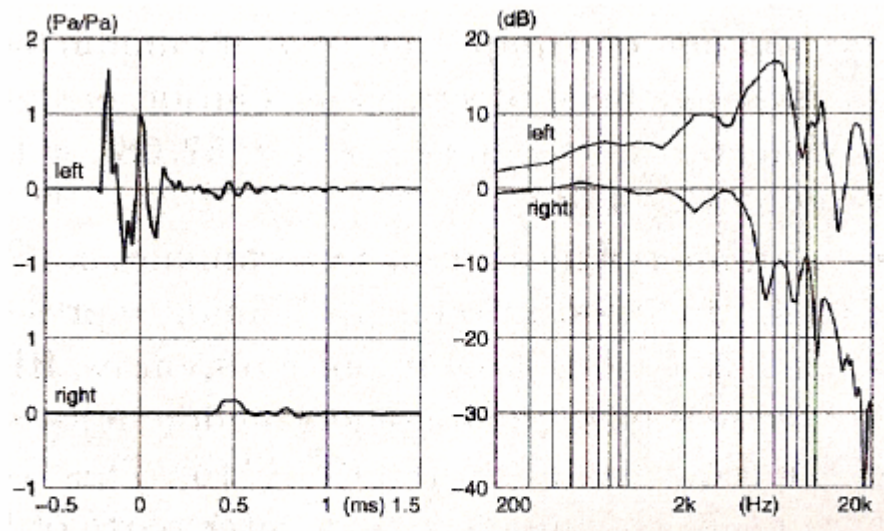
Ezek után lehet felvenni a „hallhatósági függvényt”, azaz a hallásküszöb frekvenciafüggését ill. az azonos hangosságú pontok frekvenciamenetét (Fletcher-Munson). A monaurális átviteli függvény adódik a küszöbgörbék különbségeként ill. az azonos hangosságú görbéknek a referenciától való eltéréséből.

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.

Az irányérzékelés két legfontosabb paramétere a füljelek közötti (interaaurális) szint- és időeltérések. Amelyik fülben hangosabb és/vagy előbb érkezik be a jel, azt közelebbinek fogjuk érzékelni. Ez a folyamat nyilvánvalóan megjelenik a két fül impulzusválaszában és a frekvenciatartománybeli képen is (3.ábra).



3. ábra. A külső fül rendszerleíró függvényei. Balra az impulzusválasz (HRIR), jobbra az abból számított átviteli függvény (HRTF) a bal és a jobb fülhöz, élő ember blokkolt hallójáratának bejáratán mérve „bal” ($\varphi = -90^\circ$) irányból [19].

A hallás lehető legjobb felbontóképessége a szemben irányban található. Mivel a vízszintes (horizontális) síkban a füljelek idő- és szinteltérése nagy lehet, itt 3-5 fok körüli a bizonytalanság mértéke. Mivel a fej szimmetriasíkjában (mediális) a két fülbe azonos időben és erősséggel érkezik a jel, a lokalizáció nehezebb. Itt csak a HRTF függvények szűrőhatása érvényesül és nagyságrendekkel rosszabb az eredmény: 10-25 fok is lehet a hiba. Ráadásul, gyakran előfordul, hogy ebben a síkban található forrásokat összekeverünk, és nem tudjuk eldönteni előlről vagy hátulról érkeznek-e. Ez az ún. elől-hátul döntési hiba. Az interaurális és binaurális kifejezéseknek létezik ellentéte is: a monaurális hallás és feldolgozás. Ezt magyarul egyfülűnek is nevezhetjük. Olyan paraméterek tartoznak ide, melyeket egy füllel, egy csatornán is fel tudunk dolgozni. Ilyen pld. a hangerősség vagy az egyik fül HRTF függvénye, amely önmagában is képes némi irányinformációt szolgáltatni. Jegyezzük még meg, hogy a hangforrások helyének meghatározása abszolút ill. relatíve is történhet. Abszolút vizsgálatnál a kísérleti alanyra rá kell mutatnia a hangforrásra, illetve az érzékelt irányra, míg relatív vizsgálatnál két hangforrás irányát kell összehasonlítani egymással, hogy az azonos-e vagy eltérő. Utóbbi könnyebb feladat, ezért az eredmények is jobbak. Különösen lényeges a fejárnnyék hatása. Egy a bal fül tengelyébe eső (-90 fok) forrás esetén a bal fülbe akadálytalanul terjed a hang, míg a jobb fül teljesen a fejárnnyékban van. A jobb fül jele amplitúdóban is lényegesen kisebb, hiszen csak másodlagos utakon érkezik be a hang, visszaverődések és elhajlások során (3.ábra). Ennek a fülnek a jele sokkal zajszerűbb, és kb. 3 kHz felett szinte alig szállít értékelhető akusztikai információt. A fej és egyéb tárgyak árnyékoló hatása az egyik legrosszabb, ami a fület érő akusztikai jellel történhet! Éppen ezért oly jelentős a kétfülű hallás: míg az egyik fül alig képes információhoz jutni, a másik a lehető legtöbbet próbálja kinyerni. A fejárnnyék tehát aluláteresztő hatású. A HRTF ill. a HRIR függvények tartalmazzák ezeket az időbeni és szintbeli hatásokat.[2]

3.6.2. HRTF mérés

Mivel a HRTF definíciója feltételezi a síkhullámú terjedést és beérkezést a fülbe minden frekvencián, a valóságban a mérések hibát fognak tartalmazni. A süketszobában véges távolságra, néhány méterre van a mérendő személy a forrástól, így a gömbhullámok csak részben tudnak kisimulni. A süketszoba önmagában is csak közelíti a szabad hangteret, különösen alacsony frekvencián. Szék, állvány stb. szintén okoz visszaverődéseket, melyek részben kiküszöbölhetők, pld. a mért HRIR függvény ablakolásával és időbeli csonkolásával.

Lehetőleg minél kevesebb ilyen szerkezetet alkalmazzunk és azokat is érdemes hangelnyelő anyaggal borítani.

A mérés során referenciamérést végzünk, így a felhasznált hangszóró, erősítők, sőt a süketszoba fent említett eszközeinek hatása eliminálható. Műfejes mérés tipikus elrendezése, amikor a műfejet egy vezérelhető forgóasztalra helyezzük, mely adott fokkal forgatható. Ehhez képest egy rögzített, de állítható emelkedésű hangszórót helyezünk el.

Kezdetben a referenciajelet kell megmérni. Ekkor egy irányfüggetlen mikrofont helyezünk a forgóasztalra, melynek membránja a műfej fejének közepével megegyező magasságban (a képzeletbeli origóban) található. A megmért jel spektrumát, mint referencia spektrum tároljuk. Ezután lecserélvén a mikrofont a műfejre, ugyanolyan környezeti paraméterek, beállítások mellett megismételjük a mérést. Az így mért átviteli függvény és a referencia spektrum komplex hányadosa pontosan a HRTF függvényt adja. Az ugyanis nem más, mint a műfej - ami egy speciális iránykarakterisztikával rendelkező kétcsatornás mikrofonrendszer – átviteli függvénye az irányfüggetlen mikrofonhoz képest. A műfej – és vele együtt az emberi test is melyet modellez – egy egyszerű antenna, mikrofon, adott átvittel

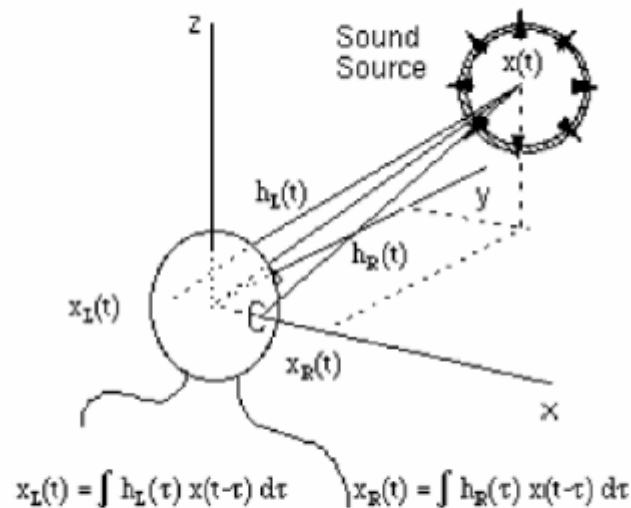
(HRTF) ill. ábrázolható iránykarakterisztikával. Ez utóbbi a HRTF függvényekből számítható polár diagram.

Ennek tükrében érthető, hogy elvben a hangszóró átviteli függvénye nem lényeges, hiszen az osztás során kiesik a számításokból. Annyiban azonban téves ez a megállapítás, hogy mélyfrekvencián, ahol már rossz az átvitel, ott a kiesés ellenére is rossz lesz a jel-zaj viszony, így az alkalmazott hangsugárzó átviteli függvényét érdemes megvizsgálnunk. Ráadásul, a jó mélyfrekvenciás átvitelű hangszórónak általában hosszú az impulzusválasza, ami megnehezíti a mért eredményekben történő ablakolást, hiszen a hasznos rezgés időben át fog lapolódni a káros reflexiókkal.

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, 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:

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



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

4. Beachtron – kártya

A Beachtron™ 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 Sound™ kártyájának egy személyre szabott verziója. Ez a kártya magában foglal egy 40 MHz – es Motorola DSP56001-et, és nagy érzékenységű 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 térbelísítési szoftvercsomag magába foglalja a szoftvert és számos próba verziós (demó) programot. A szabályos eljárások gondoskodnak a feltelepített Beachtron kártyák felismeréséről, programok 29 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.[5]

4.1. A program

A mérőprogram DOS alatt fut. A különböző lehetőségek álltak rendelkezésemre, melyek közül az a1p2 beállítás felelt meg legjobban az általam választott kísérlethez. A mérőprogramon belül számos paramétert lehetett beállítani.

1. Playwave: itt tudjuk beállítani, hogy egy adott pontban hányszor ismétlje meg az általunk kiválasztott wave file-t. Ebben a pontban 1 és 1000 között választhatunk.

2. Repeat: ez a paraméter adja meg, hogy az adott zónán belül mennyi pontot vehet fel. Itt csak 1 és 100 között állíthatjuk az értéket.

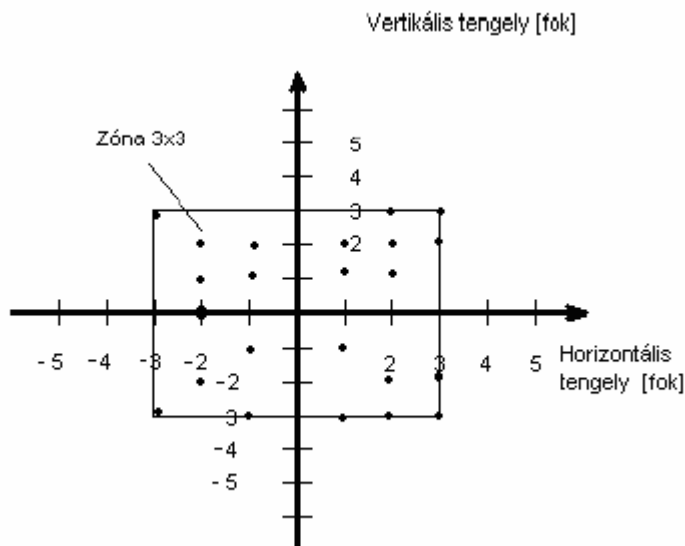
3. Horizontális helymeghatározás: itt állíthatjuk be azt az értéket, hogy a forrás mekkora területen mozoghat a vízszintes síkban.

4. Vertikális helymeghatározás: ua. mint a 3. pontban csak itt most a függőleges síkban.

5. Forrás helyzete a horizontális síkban: ezen a ponton belül lehet azt meghatározni, hogy a vízszintes síkban hol helyezkedjen el a hang.

6. Forrás helyzete a vertikális síkban: itt a hang helyzetét a függőleges síkban lehet állítani.

Példa egy szimulációra:



Playwave: 50; Repeat: 100, vízszintes beállítás 3 fok; függőleges beállítás; 3 fok kiindulási pont 0 – 0. Ezzel a beállítással azt értem el, hogy a kiindulási pont az origó (ezt nevezzük szemben iránynak), a felvehető pozíciók +3, +2, +1, 0, -1, -2, -3, minden irányban, ahol összesen 100 szimulált helyváltoztatás történik véletlenszerűen és minden pontban az adott wave file-t 50-szer játssza le.

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

A programban természetesen van más beállítási lehetőség, mint például az a1p3 is, de ott csak a Repeat és a Playwave állítható.

4.2. A mérés menete

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 Audió és Videó Laboratóriumban (L120-as labor) hajtottam végre.



Műszaki Audió- és Videó Laboratórium

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 koncentrációról, 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 sebesség-beállítást vizsgáltam, hat különböző hang esetén.

- | | |
|------------------------------|-------------------------|
| 1. Playwave: 100, Repeat: 20 | a. 1500 Hz |
| 2. Playwave: 1000, Repeat: 5 | b. 7000 Hz |
| 3. Playwave: 50, Repeat: 100 | c. Welcome (női hang) |
| | d. Windows hibaüzenet |
| | e. Windows felszólítás |
| | f. Windows papírkosár |

Tóth Roland az ő szakdolgozatában csak fehérzajt vizsgált. A tesztek során próbáltam olyan hangokat is számításba venni, amelyek már egy kicsit ismertebbek, és a kísérleteket próbálja az abba az irányba terelni, hogy a vakok, és gyengén látók számára felhasználóbaráttá tegye a számítógépet. Mivel a számítógépek többségén Windows operációs rendszer van ezért, választottam a fent felsorolt hangokat. Az egyes hangok lejátszása ismételtet kerültek kiadásra, ezért a nem zaj jellegű hangoknál kicsit szaggatottnak hangzott. Egy-egy hang lejátszása 5mp.-ig tartott. Az egész mérés, pedig személyenként kb. 15-20 perc.

A lejátszott hang után megkértem a hallgatókat helyezték el a hangot a hallásuk alapján a térben. Érdekes volt megfigyelni az egyes hallgatók reakcióit a különböző hangok meghallgatása után.

4.3. Kérdőív

A kérdőívet megpróbáltam úgy kialakítani, hogy minden fontos adat rajta legyen. A legfelső sorban vannak az általam kiválasztott hangok. Az alatta lévő sorban azt az információt találjuk, mikor honnan érkezik a hang. Ha 0 / 0 értéket állítunk be akkor a hang, nem változtatja helyét. Ha azonban 2 / 2 állítunk be, akkor egy koordináta rendszerben (29. old.) 25 pozíciót vehet véletlenszerűen. Az FKL rövidítés a fejközép-lokalizációt jelöli, az E-H pedig az elől-hátul döntést. A sebesség értékek meghatározásánál ugyanazokat a beállításokat alkalmaztam, mint Tóth Roland az ő szakdolgozatában, mivel az én méréseim annak folytatását képezi. Ami a sebesség meghatározását illeti, a / előtti szám azt adja meg, hogy egy adott pontban mennyiszer játssza le az adott hangot. A / utáni, pedig azt, hogy hányszor változtasson pozíciót a hang, az adott tartományon belül. Próbáltam úgy feltenni a kérdéseket, hogy a lehető legpontosabb eredményeket kapjam. Így a lejátszott hangoknál megkértem a hallgatókat, hogy egyszerre csak egy értékre figyeljenek. A fejközép-lokalizációra igen vagy nem választ vártam, az elől-hátul döntésre, pedig az elől vagy a hátul választ. Ha végképp nem tudták eldönteni, akkor, azt válaszolták, hogy más.

	1500 Hz				7000 Hz				Welcome				Windows Felszólít				Windows Kritikus				Papírkosár			
	0 / 0		2 / 2		0 / 0		2 / 2		0 / 0		2 / 2		0 / 0		2 / 2		0 / 0		2 / 2		0 / 0		2 / 2	
	FKL	E-H	FKL	E-H	FKL	E-H	FKL	E-H	FKL	E-H	FKL	E-H	FKL	E-H	FKL	E-H	FKL	E-H	FKL	E-H	FKL	E-H	FKL	E-H
50/100																								
100/20																								
1000/5																								

1. táblázat

A mérések célja:

1. Mennyire állapítható meg a forrás helyzete (elől – hátul döntés hiba)
2. Milyen kapcsolat van a mély, a magas, az ismert hangok és a fejközép-lokalizáció között.
3. Az ismert hangok eredményeinek összehasonlítása a zajokkal ill. ezek sebesség függvényében történjenek. Okoz-e változást az, hogy ismert Windows hangokról is szó van.

5. A tényleges mérés és az eredmények

A könnyebb átláthatóság és érthetőség érdekében az általam választott hangok kiértékelése külön történik. A kiértékelést úgy végeztem, hogy minden egyes hallgató eredményeit külön beleírtam a táblázatokba. Külön vettem a fejközép-lokalizációt (piros-kék ábra) és az elől-hátul (sárga zöld ábra) döntést. Fejközép-lokalizáció esetén igen (piros) vagy nem (kék) választ vártam, ezt színekkel is illusztráltam a könnyebb áttekinthetőség érdekében.

Elöl-hátul döntésnél viszont az elől (sárga) vagy a hátul (zöld) válaszra voltam kíváncsi, de voltak olyanok is, akik nem tudtak dönten, az ő válaszuk a más (arany) volt. A számozás a hallgatók érkezési sorrendjét jelöli. A különböző táblázatok azért láttam el színekkel, hogy az arányok akár ránézésre is le tudjon vonni magának egy előzetes következtetést. Az első ábra mindig a fejközép-lokalizációs eredményeket tartalmazza a sebességek függvényében. Míg a második táblázatban az elől-hátul döntést lehet figyelemmel kísérni szintén a sebesség függvényében.

5.1. 1500 Hz

Az 1500 Hz egy viszonylag mély, suhogó hang. A kétféle irány és háromféle sebesség-beállítások változtatásával a következő eredmények születtek fejközép-lokalizáció esetén.

A 0/0 beállításnál csak az 50/100-as sebesség esetén tapasztaltam csekély eltérést a másik két értékhez képest (26/14 az igen-nem arány). A másik két esetben azonos eredmény született (27/13). Lényegesebb eltérés született akkor, ha az irányt megváltoztattuk 2/2-re. Ebben az esetben az 50/100-as beállításkor az igen-nem arány 29/11-re változott. Tehát érdekes, hogy a hallgatók többsége akkor érzékelt fejközép-lokalizációt, amikor a hang nagyobb tartományban változtatja a helyét. A sebesség változtatásával 50/100 esetén tovább nőtt az igen-nem arány (29/11). A másik két beállítással viszont ezek az értékek közeledtek egymáshoz. (1. ábra)

Elöl-hátul döntés esetén az alapbeállításnál (0/0) két esetben (50/100 és 1000/5) közel azonos eredmény született, nagyobb eltérést a 100/20-as sebességnél tapasztaltam (14/21). Amikor a hangforrás változtatta a helyzetét, az eltérés csak nagyon kis mértékű volt, kivéve a 100/20-as beállítást, ahol az elől-hátul arány ellentettjére változott (19/16). (2. ábra)

Összességében elmondható az 1500 Hz-es hangnál, hogy minden beállításnál többen érzékelték fejközép-lokalizációt, mint ahányan nem. Elöl-hátul döntés esetén, pedig az értékek kiegyenlítettebbek. Kivétel az 1000/20-as sebesség, mivel itt a hangforrás helyzetének változtatásával többen érzékelték elől a hangot, mint hátul. Ha a sebesség nem is befolyásolta az eredményt, elől-hátul döntés esetén az irányváltoztatás egy bizonyos sebességnél igen. Érdekes, hogy több hallgató is megjegyezte, hogy 1500 Hz-es hangot hátulról, és mintha letről hallaná. Ez várható is volt, mert ismert az a jelenség, hogy a mélyebb hangokat gyakrabban

érzékeljük lentről jövőnek, a magasabbakat meg fentről jövőnek. Ez egy ismert jelenség.

1500 Hz						
	50 / 100		100 / 20		1000 / 5	
	FKL		FKL		FKL	
	0\0	2\2	0\0	2\2	0\0	2\2
1	N	/	/	/	/	N
2	/	/	/	/	/	/
3	N	/	/	N	/	/
4	/	/	/	/	/	/
5	/	N	N	N	N	N
6	/	/	/	/	/	/
7	/	/	N	N	N	N
8	/	/	/	/	N	/
9	N	N	/	N	/	N
10	N	/	/	/	/	N
11	N	/	N	N	N	N
12	N	/	/	/	/	N
13	N	/	N	N	N	/
14	/	/	N	/	/	/
15	/	N	/	N	/	/
16	/	/	/	N	/	N
17	N	/	N	/	/	N
18	N	N	/	/	N	N
19	/	/	/	N	/	/
20	N	/	/	/	/	/
21	N	/	N	N	/	/
22	/	/	/	/	N	N
23	/	/	/	N	N	/
24	/	N	N	/	/	/
25	N	/	N	N	/	/
26	/	/	N	/	N	N
27	/	/	N	N	/	N
28	/	/	/	N	N	/
29	N	N	N	/	/	/
30	/	/	/	/	N	/
31	/	N	/	/	/	/
32	/	/	/	/	N	N
33	/	/	/	/	N	/
34	/	N	/	N	/	/
35	/	/	/	/	/	/
36	/	/	/	/	/	N
37	/	N	/	N	/	/
38	N	/	/	N	/	/
39	/	N	N	/	/	/
40	/	N	/	N	/	/

1. ábra

1500 Hz						
Elöl-Hátul döntés						
	50 / 100		100 / 20		1000 / 5	
	0\0	2\2	0\0	2\2	0\0	2\2
1	E	M	H	E	E	E
2	H	H	H	H	E	H
3	H	E	E	E	H	E
4	E	H	E	E	H	E
5	E	E	E	E	H	H
6	H	H	H	H	E	E
7	E	E	E	E	E	M
8	H	H	H	H	E	E
9	E	E	E	E	H	H
10	H	H	H	E	E	E
11	H	H	H	H	H	E
12	E	E	E	E	H	E
13	E	E	E	H	E	E
14	E	H	E	E	E	E
15	E	E	E	H	E	E
16	M	M	H	H	E	E
17	M	M	M	M	E	H
18	H	H	H	E	H	E
19	H	E	M	M	E	H
20	H	H	H	H	M	H
21	E	E	H	E	M	M
22	M	H	H	M	E	E
23	H	M	E	H	H	H
24	E	E	H	E	H	H
25	E	H	E	M	H	E
26	H	E	H	E	H	H
27	E	E	M	H	H	H
28	H	E	M	M	E	E
29	E	E	E	E	E	H
30	H	H	H	H	E	E
31	E	E	H	H	H	H
32	H	E	E	E	E	E
33	E	H	H	E	H	H
34	H	H	H	H	H	H
35	E	H	E	E	H	E
36	H	E	H	H	H	E
37	E	M	M	H	H	E
38	E	E	H	E	E	H
39	H	H	H	H	H	H
40	H	H	H	E	E	E

2. ábra

5.2. 7000 Hz

7000 Hz egy magas, sípoló hang. Fejközép-lokalizáció esetén a 0/0-s és a 2/2-es beállítás megegyezik, kivéve a 100/20-as sebességet, itt van eltérés. Érdekesség, hogy ebben az esetben is többen érzékelték fejközép-lokalizációt akkor, amikor mozgott a hang. Itt az igen-nem arány 29/11. (3. ábra) Ebben az esetben is érdemes a szöveg mellett a színekre is odafigyelni a könnyebb megértés érdekében.

Elöl-hátul döntés esetén mindig többen hallották előlről a hangot, mint hátulról, vagy máshonnan, csak az arányok változtak. Legtöbben akkor hallották előlről, amikor 50/100 volt a sebesség, az irány, pedig 0/0. De itt volt a legnagyobb változás is, amikor helyváltztatásban a 2/2-es beállításhoz tértünk át. Ebben az esetben a helyváltztatás volt a döntő, nem pedig a sebesség. (4. ábra)

Mindent egybevetve megállapíthatjuk, hogy a fejközép-lokalizáción nem változtatott sem a hely, sem a sebesség. Elöl-hátul döntés esetén, pedig a helyváltztatás játszotta a fő szerepet 7000 Hz esetén. A 7000 Hz-es hangot többen hallották előlről, mint az 1500 Hz-es hangot. Itt visszatérnék az előző mérésre; míg a mély hangot sokan úgy ítélték meg, hogy nem csak hátulról, hanem alulról is szólnak, addig 7000 Hz-nél megfigyelhető volt, hogy az emberek előlről és felülről jövőnek érezték.

Itt visszatérnék az előbbi hanghoz, a mély hangokat alulról érzékeljük, a magasakat pedig felülről.

7000 Hz						
	50 / 100		100 / 20		1000 / 5	
	FKL		FKL		FKL	
	0\0	2\2	0\0	2\2	0\0	2\2
1	/	N	N	/	N	/
2	/	/	/	/	N	N
3	N	N	/	/	/	/
4	/	/	/	/	/	/
5	/	/	/	N	N	/
6	/	/	N	/	/	N
7	N	N	/	N	/	N
8	/	/	/	/	N	/
9	N	N	N	/	/	/
10	N	/	/	/	N	N
11	N	N	/	/	/	/
12	/	/	/	/	/	/
13	/	N	N	N	N	/
14	N	/	/	N	/	N
15	N	/	/	/	/	N
16	/	N	N	/	/	N
17	/	N	N	/	/	/
18	/	N	N	N	/	/
19	/	/	/	/	N	/
20	/	/	/	/	/	/
21	N	N	N	/	N	N
22	N	/	/	N	/	N
23	/	/	/	/	/	/
24	/	/	/	/	/	/
25	N	N	N	/	N	/
26	/	/	/	N	N	N
27	/	/	/	/	/	/
28	/	/	/	N	/	N
29	N	N	N	N	/	/
30	/	/	/	/	/	N
31	N	N	/	/	/	/
32	/	/	/	/	N	N
33	/	/	/	N	/	/
34	N	/	N	/	/	/
35	N	N	/	/	/	/
36	/	/	N	/	N	/
37	/	N	/	/	/	/
38	N	/	N	N	N	/
39	/	/	/	/	/	N
40	/	/	N	/	N	/

3. ábra

7000 Hz						
Elöl-Hátul döntés						
	50 / 100		100 / 20		1000 / 5	
	0\0	2\2	0\0	2\2	0\0	2\2
1	H	M	E	E	E	E
2	H	H	H	H	E	E
3	H	E	E	E	H	H
4	E	H	E	H	E	E
5	E	E	E	E	H	E
6	E	E	E	H	E	E
7	E	E	E	E	E	H
8	E	E	E	E	E	E
9	E	E	E	E	H	H
10	H	E	H	H	E	E
11	E	M	E	E	H	H
12	E	E	E	E	H	H
13	E	E	H	E	E	E
14	H	H	E	E	H	H
15	E	E	E	H	E	E
16	M	H	M	H	E	E
17	E	M	H	M	E	E
18	M	M	E	E	E	E
19	E	H	M	M	H	H
20	M	H	H	E	M	H
21	E	E	E	E	H	H
22	H	H	E	E	E	E
23	M	M	M	H	M	H
24	E	E	E	E	H	E
25	E	H	E	M	E	E
26	H	E	H	E	H	H
27	E	E	E	M	E	E
28	E	H	H	H	E	E
29	E	E	E	E	E	H
30	E	E	H	H	E	M
31	E	E	E	E	H	E
32	H	E	E	H	H	E
33	E	M	M	H	H	E
34	E	E	H	H	E	E
35	E	E	H	H	H	H
36	H	H	M	H	E	E
37	E	H	H	E	H	E
38	E	E	E	E	H	H
39	H	H	H	H	M	H
40	H	E	H	H	M	E

4. ábra

5.3. Welcome

Ez a hang a Beachtron kártyához kapcsolódó, „Welcome to the Beachtron” mondatból kivágott hang. Eddig ismeretlen hangok voltak a főszereplők, innét viszont rátérünk a felhasználók számára ismerősebb hangokra.

Fejközép-lokalizációt ebben az esetben 50/100-as sebesség-beállításnál érzékeltek a legtöbben origó központú helymeghatározásnál. Mikor változott a hangforrás helyzete, akkor is ugyanezt az eredményt kaptuk (28/12).

100/20-as sebesség esetén 0/0-nál legkiegyenlítettebb az eredmény, és ez a 2/2-es értéknél is csak csekély mértékben változik. (5. ábra)

1000/5-ös sebesség esetén annyival csökkent az igenek száma a két helymeghatározás között, mint amennyivel a 100/20-as sebesség esetén nőtt.

Elöl-hátul döntésnél ennél a hangnál találjuk a legnagyobb eltérést az összes hangra vonatkozóan az elől-hátul arányban (29/8). Ez 100/20-as sebesség esetén és origó központú helyzetben keletkezett. Ha azonban mozgott a hangforrás, akkor ez nagyban megváltozik, ugyanis a 29 elől döntés csupán 20-ra olvad.

50/100 és 1000/5-ös sebességnél az arányok egyformán változtak, attól függetlenül milyen helyváltoztatást állítottunk be. (6. ábra)

Ebben az esetben is, akár csak a 7000 Hz-nél, a helyváltoztatás, és nem a sebesség volt a meghatározó a döntéshozatalnál.

Ha a „Welcome” szót ismert hangnak tekintjük, akkor most jöjjenek a még ismertebbek! Kivettünk a Windows-ból három hangot, amelyeket gyakran hallhatunk. Az ismertség persze relatív, mert volt olyan hallgató, aki egyből felismerte őket, és voltak olyanok is, akik telepítéskor kikapcsoltak minden Windows-os hangot, így nem találkozhattak azok „áldásos” hangjával.

Welcome						
	50 / 100		100 / 20		1000 / 5	
	FKL		FKL		FKL	
	0\0	2\2	0\0	2\2	0\0	2\2
1	/	N	/	N	N	N
2	/	N	/	/	/	N
3	N	/	N	N	/	/
4	/	/	/	/	/	/
5	N	/	N	/	N	/
6	/	/	/	N	/	N
7	/	N	/	/	N	N
8	/	/	/	/	/	/
9	N	N	N	N	N	N
10	/	N	N	/	/	/
11	/	/	/	N	/	N
12	/	/	/	N	/	/
13	/	N	N	/	N	N
14	/	/	N	N	/	/
15	N	/	/	/	N	N
16	/	/	/	/	N	N
17	/	/	/	/	/	/
18	N	/	/	/	N	/
19	/	N	N	N	/	N
20	/	/	N	/	/	N
21	N	/	/	/	/	/
22	/	/	N	N	/	/
23	/	/	N	/	N	/
24	N	/	/	N	/	N
25	/	/	N	N	/	/
26	/	N	N	/	N	/
27	/	N	N	N	/	/
28	/	/	N	N	N	N
29	N	N	N	N	/	/
30	/	/	/	/	N	N
31	/	/	/	/	/	/
32	/	/	/	/	/	/
33	/	/	N	/	/	/
34	N	/	/	/	/	/
35	N	/	/	/	/	/
36	/	/	/	/	N	/
37	/	/	N	N	/	N
38	/	N	N	/	N	N
39	N	N	N	N	/	/
40	N	/	/	N	N	N

5. ábra

Welcome						
Elöl-Hátul döntés						
	50 / 100		100 / 20		1000 / 5	
	0\0	2\2	0\0	2\2	0\0	2\2
1	E	M	H	E	E	E
2	H	H	E	H	E	H
3	E	E	E	E	E	E
4	E	H	E	E	E	E
5	E	E	E	E	H	E
6	E	H	E	H	E	M
7	E	E	E	E	H	E
8	E	E	E	H	E	E
9	E	E	E	E	H	H
10	H	E	H	H	E	E
11	H	H	E	E	H	E
12	E	E	E	E	E	H
13	E	E	E	H	E	M
14	E	H	E	E	H	E
15	E	E	E	H	H	E
16	E	M	H	H	E	E
17	M	E	H	M	H	E
18	H	M	E	E	E	E
19	E	E	M	M	E	H
20	H	H	E	E	H	H
21	E	E	E	E	M	H
22	H	H	M	M	E	E
23	M	M	E	E	M	M
24	E	E	E	E	E	E
25	H	H	E	M	E	E
26	E	E	H	H	M	H
27	E	E	E	E	E	E
28	E	H	E	H	E	E
29	E	E	E	E	E	H
30	E	E	E	H	E	E
31	M	H	E	E	H	M
32	H	H	E	H	H	E
33	E	E	E	H	H	H
34	E	E	M	M	H	H
35	E	E	E	E	H	E
36	H	H	H	M	E	E
37	H	E	E	E	H	E
38	E	E	E	E	H	H
39	H	H	H	H	M	M
40	E	E	H	H	E	E

6. ábra

5.4. Windows felszólítás

Ezt a hangot akkor halljuk, ha például felül szeretnénk írni egy fájlt, vagy végzünk a másolással.

Itt is többen voltak azok, akik érzékelték fejközép-lokalizációt. A sebességek tekintetében az origó központú értékeknél az 1000/5-ös teljes egyenlőséget hozott. A másik kettő beállításnál 1000/20-as estén 27/13, 50/100-nál 24/16 volt az igen-nem arány.

Ha változtattuk a hangforrás helyzetét, akkor minden arány megváltozott. 50/100-as és 1000/5-ös sebességnél nőtt az igenek száma, míg 100/20 esetén csökkent. (7. ábra)

Elöl-hátul döntés tekintetében többen voltak azok, akik elöl hallották, mint hátul. A hangforrás helyzetének változtatásával nem változott az igenek száma, viszont azoké nőtt, akik nem tudták eldönteni, hogy előlről vagy hátulról érkezett-e a hang. (8. ábra)

Ebből az a következtetés vonható le, hogy itt nagyobb szerepe volt a hangforrás mozgatásának, mint annak, hogy milyen sebességgel szólaltak meg a hangok.

Windows Felszólítás						
	50 / 100		100 / 20		1000 / 5	
	FKL		FKL		FKL	
	0\0	2\2	0\0	2\2	0\0	2\2
1	/	/	N	N	N	/
2	/	/	/	/	N	N
3	/	N	N	N	/	N
4	/	/	/	/	/	/
5	N	/	/	/	N	/
6	/	/	N	/	/	N
7	/	N	/	N	N	N
8	/	/	N	/	N	/
9	N	/	/	/	/	/
10	N	/	/	/	/	N
11	N	N	/	N	N	N
12	/	/	N	/	/	/
13	/	N	/	N	/	N
14	/	/	N	N	/	/
15	N	N	/	/	/	N
16	N	/	N	/	N	/
17	N	/	N	/	N	/
18	/	/	/	/	N	N
19	/	N	/	N	N	/
20	/	/	/	/	/	N
21	/	/	N	/	N	/
22	N	/	/	N	N	N
23	N	/	/	N	N	/
24	N	N	/	N	/	/
25	N	/	/	/	/	/
26	/	/	N	/	N	N
27	N	N	N	/	N	N
28	/	N	/	N	N	N
29	/	/	/	N	N	/
30	/	/	/	/	/	/
31	N	N	/	/	N	N
32	/	N	/	/	N	/
33	/	/	/	N	/	/
34	/	/	/	/	/	/
35	/	N	/	/	/	/
36	N	/	/	N	N	N
37	N	/	/	/	/	N
38	/	/	N	N	/	/
39	/	/	/	/	/	/
40	N	N	N	/	/	/

7. ábra

Windows Felszólítás						
Elöl-Hátul döntés						
	50 / 100		100 / 20		1000 / 5	
	0\0	2\2	0\0	2\2	0\0	2\2
1	M	E	H	H	E	H
2	E	H	E	E	E	H
3	H	E	E	E	H	E
4	E	H	E	E	E	E
5	E	E	E	E	E	E
6	H	H	H	E	E	M
7	E	E	E	E	E	H
8	H	H	H	E	E	E
9	E	E	E	E	M	H
10	H	E	H	H	E	E
11	H	H	H	E	H	H
12	E	E	E	E	H	E
13	E	E	H	E	E	E
14	H	H	E	E	E	H
15	E	E	E	E	H	E
16	E	M	H	M	E	E
17	H	M	M	E	H	E
18	H	H	E	E	E	E
19	E	H	M	M	E	E
20	H	M	E	E	H	H
21	E	E	E	E	M	M
22	H	H	H	M	E	E
23	H	M	H	H	H	M
24	E	E	E	E	E	E
25	H	E	E	E	E	E
26	E	E	H	H	H	H
27	E	E	M	H	H	H
28	E	E	H	H	E	E
29	E	E	E	E	H	H
30	H	H	E	H	E	E
31	E	E	H	E	H	H
32	E	H	E	H	E	H
33	E	E	E	H	E	H
34	H	E	M	E	H	E
35	H	E	H	E	E	H
36	E	E	E	M	E	E
37	E	E	H	H	H	E
38	E	E	E	E	H	E
39	H	H	H	H	M	H
40	E	H	M	H	M	E

8. ábra

5.5. Windows Kritikus

Ez az a hang, amelyet egyetlen Windows felhasználó sem szeret hallani. De ha mégis, akkor egyből Bill Gates és „munkássága” jut róla eszébe. Ugyanis ha ezt hallja, akkor valami nem stimmel a számítógéppel. De a mérésben nem válogatunk a hangok között, ez is ugyanolyan, mint a többi.

Itt is többségben voltak azok, akik érzékelték fejközép-lokalizációt. A legnagyobb eltérés 0/0 esetén az 50/100-as sebesség-beállításnál van (26/14), majd a 100/20 és végül 1000/5. Azonban ha mozgatjuk a hangforrás helyzetét, akkor fordul a kocka, ugyanis 50/100-as értéknél a nem válasz kerül többségbe (19/21). A másik kettő sebességnél változatlanul az igenek maradnak többségben, de a számuk csökken. (9. ábra)

Ahhoz képest, hogy ez is egy viszonylag mély hang, többen érezték úgy, hogy előlről jön a hang, mint hátulról. Ez betudható annak, hogy ismerték, nem úgy, mint 1500 Hz esetén. A többi hanghoz viszonyítva itt több olyan eset volt, amikor nem tudták eldönteni, pontosan előlről vagy hátulról jön-e a hang.

0/0 beállításnál a különböző sebességek között kis mértékű az arányok változása. Ha változtatjuk a hangforrás helyét, akkor 50/100 esetén ez az arány 25/9/6-ra változik, tehát 25-en elől, 9-en hátul és 6-an ettől eltérő helyről hallották. A másik két sebességnél a különbség elenyésző. (10. ábra)

Ennél a hangnál a helyváltoztatás csak egy sebességértéknél ért el jelentősebb változást. Ugyanennél a sebességnél változott nagymértékben a fejközép-lokalizáció is, a hangforrás megváltoztatásának függvényében.

Windows Kritikus						
	50 / 100		100 / 20		1000 / 5	
	FKL		FKL		FKL	
	0\0	2\2	0\0	2\2	0\0	2\2
1	/	/	/	/	/	N
2	/	N	/	N	/	/
3	N	N	N	/	N	/
4	/	/	/	/	/	/
5	/	N	N	/	/	/
6	/	/	/	/	N	N
7	/	N	/	N	N	/
8	/	/	/	/	/	N
9	N	N	N	N	/	/
10	N	N	/	/	N	N
11	N	N	/	N	N	N
12	N	/	N	/	/	/
13	N	N	/	N	/	/
14	/	/	/	/	N	/
15	/	N	N	/	N	N
16	/	/	/	/	N	/
17	N	/	N	/	/	/
18	/	/	/	N	/	N
19	N	/	N	/	/	N
20	/	N	/	/	/	/
21	/	N	N	N	N	/
22	N	/	N	N	N	/
23	/	N	N	/	N	/
24	N	N	/	/	N	N
25	/	N	/	N	/	/
26	/	N	/	/	N	N
27	N	/	N	/	N	/
28	/	N	/	/	/	N
29	/	N	N	N	/	/
30	/	/	/	/	N	N
31	N	N	/	/	/	N
32	/	/	/	/	/	N
33	/	/	/	N	/	/
34	/	N	N	N	/	N
35	/	/	/	/	/	/
36	/	/	N	/	N	N
37	N	/	N	/	/	N
38	/	N	N	N	/	/
39	/	/	/	/	N	N
40	N	N	N	N	N	N

9. ábra

Windows Kritikus						
Elöl-Hátul döntés						
	50 / 100		100 / 20		1000 / 5	
	0\0	2\2	0\0	2\2	0\0	2\2
1	M	M	E	H	E	E
2	E	H	E	M	H	H
3	H	E	E	E	E	H
4	E	H	H	E	E	H
5	E	E	E	E	E	E
6	E	E	E	H	E	E
7	E	E	E	E	M	M
8	H	E	H	H	E	E
9	E	E	E	E	H	H
10	H	E	H	E	E	E
11	E	H	E	E	E	H
12	E	E	E	E	H	H
13	E	E	H	M	E	E
14	M	H	E	E	H	H
15	E	E	E	H	E	H
16	E	H	M	M	E	E
17	M	M	M	E	E	H
18	H	M	E	E	E	E
19	E	E	H	M	E	E
20	M	M	H	E	M	M
21	E	E	E	E	E	M
22	H	H	H	M	E	E
23	M	H	H	H	M	E
24	E	E	E	E	E	E
25	H	E	E	M	E	E
26	E	E	H	E	H	M
27	E	E	H	H	M	H
28	E	E	E	H	E	E
29	E	E	E	E	H	H
30	H	H	E	H	E	E
31	E	E	E	E	M	H
32	H	E	H	E	E	E
33	E	E	E	E	H	H
34	H	E	H	H	E	E
35	E	H	E	H	H	E
36	E	E	M	E	E	E
37	M	M	E	E	H	E
38	E	E	E	E	H	E
39	H	H	E	H	H	M
40	H	M	H	E	E	E

10.ábra

5.6. Windows Papírkosár

A végére jöjjön egy kellemesebb hang. Ezt akkor halljuk, amikor kiürítjük a lomtárat.

Fejközép-lokalizációnál mindkét esetben, amikor változtattuk a hangforrás helyét, és amikor nem, azok voltak többségben, akik érzékeltek fejközép-lokalizációt. A sebességértékek a két helymeghatározás között a negyven emberhez képest nem mutattak számottevő eltérést. Mindegyik esetben csak plusz mínusz egy volt a differencia. (11. ábra)

Elöl-hátul döntésnél azonban teljesen más a helyzet. Amikor nem változtattuk a hangforrás helyét, akkor kettő sebesség esetén csekély, egy esetben (50/100) nagy eltérés van az elől és a hátul választ adók között. Mihelyt változtatta helyét a hangforrás, ekkor az arányok mindhárom esetben megugrottak, és az elől válasz felé billentették a mérleg nyelvét. (12. ábra)

Összességében azt lehet mondani, fejközép-lokalizáció esetén sem a sebesség, sem az irány nem befolyásolta az eredményeket. Elöl-hátul döntésnél viszont számolni kell az iránnyal.

Papírkosár						
	50 / 100		100 / 20		1000 / 5	
	FKL		FKL		FKL	
	0\0	2\2	0\0	2\2	0\0	2\2
1	/	/	/	/	/	N
2	/	/	/	/	/	/
3	/	N	N	N	/	N
4	/	/	/	/	/	/
5	/	/	/	/	/	/
6	/	/	/	/	/	N
7	N	/	N	/	N	N
8	/	/	/	/	N	/
9	/	/	/	N	N	N
10	N	/	/	/	/	/
11	N	N	/	N	N	/
12	/	N	N	/	/	/
13	N	/	N	/	N	N
14	/	N	/	N	/	/
15	N	N	/	/	N	N
16	/	/	N	/	/	/
17	/	N	/	N	N	N
18	/	/	N	N	N	/
19	/	/	/	/	/	N
20	/	N	/	/	/	N
21	N	/	N	N	/	/
22	N	N	N	/	N	/
23	/	/	N	/	/	N
24	/	/	/	/	/	/
25	N	N	N	N	/	/
26	/	N	/	/	N	N
27	/	N	/	N	/	N
28	N	/	N	/	N	/
29	N	N	N	N	/	/
30	/	/	/	/	N	N
31	N	N	/	/	N	/
32	/	/	/	/	/	/
33	/	/	N	/	/	/
34	/	/	/	N	/	/
35	/	/	/	/	/	/
36	/	/	/	N	N	N
37	N	/	N	N	N	/
38	/	N	/	/	/	N
39	N	N	N	N	N	/
40	/	/	N	N	/	N

11.ábra

Papírkosár						
Elöl-Hátul döntés						
	50 / 100		100 / 20		1000 / 5	
	0\0	2\2	0\0	2\2	0\0	2\2
1	M	E	H	H	E	E
2	H	H	H	E	H	H
3	E	E	E	H	E	H
4	E	H	E	E	H	E
5	E	E	E	E	H	E
6	H	E	H	E	E	E
7	E	E	E	E	E	E
8	H	H	H	E	E	E
9	E	E	E	E	H	H
10	E	H	H	H	E	E
11	H	H	E	E	H	H
12	E	E	E	E	E	H
13	E	E	H	H	E	E
14	H	E	E	H	H	H
15	E	E	H	M	H	E
16	E	E	H	H	E	E
17	M	H	M	E	H	E
18	H	M	E	E	E	E
19	E	E	M	M	E	H
20	M	H	E	E	H	H
21	E	E	E	H	H	M
22	M	M	M	M	E	E
23	M	H	H	H	H	M
24	E	E	E	E	E	M
25	H	E	H	E	E	E
26	E	E	H	H	H	H
27	E	E	M	E	M	H
28	H	E	E	E	M	E
29	E	E	E	E	H	H
30	E	H	H	M	E	E
31	H	E	H	H	H	H
32	E	H	E	E	E	E
33	E	M	H	H	H	H
34	H	H	H	E	H	H
35	H	H	H	M	H	E
36	H	H	M	E	E	E
37	E	M	H	H	E	E
38	E	E	E	E	H	H
39	H	H	H	H	M	M
40	E	H	E	H	E	E

12.ábra

	1500 Hz				7000 Hz				Welcome				Windows Felszólít				Windows Kritikus				Papírkosár			
	0/0		2 2		0/0		2 2		0/0		2 2		0/0		2 2		0/0		2 2		0/0		2 2	
	FKL	E-H	FKL	E-H	FKL	E-H	FKL	E-H	FKL	E-H	FKL	E-H	FKL	E-H	FKL	E-H	FKL	E-H	FKL	E-H	FKL	E-H	FKL	E-H
50/100	I	H	N	H	N	JH	I	JH	I	JH	I	J	I	H	I	J	N	B	N	B	N	JH	N	JH
100/20	I	H	N	H	N	JH	I	JH	I	J	I	J	I	J	I	J	N	H	N	JH	I	JH	N	JH
1000/5	I	H	I	H	I	J	N	JH	I	J	I	J	I	J	I	H	N	H	N	B	N	JH	I	JH

Végezetül szeretném bemutatni egy érdekes hallgatóeredményeit. Mielőtt elkezdtük volna a mérést, elmondta, hogy orvosi papírja van arról, hogy a bal fülére nem hall rendesen. Mégis eljött és segített a kísérletben ez dicséretes. A mérések végül igazolták a tényt; sokkal többet hallott jobb oldalról, mint az átlag.

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:

1. Mennyire állapítható meg a forrás helyzete (elöl–hátról döntés hiba)
2. Milyen kapcsolat van a mély, a magas, az ismert hangok és a fejközép-lokalizáció között.

Az egész vizsgálat célja az, hogy a véletlenszerű mozgásnál, valamint a stabil, álló forrásnál változik-e a fejközép-lokalizáció. 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-használatban, hogy könnyebben tudjanak tájékozódni a képernyőn.

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

A vizsgálatok során sikerült bebizonyítanom, hogy az egyes emberek másként reagálnak ismerős és számukra teljesen ismeretlen hangokra, és ezt táblázatok segítségével be is mutattam.

A mérést abban az irányban lehetne továbbfejleszteni, hogy a már meglévő programokba valamilyen szinten beleépítsék ezt a hangfelismerést. Az igazi az lenne, ha a vakok és gyengén látók ugyanúgy tudnák használni a számítógépet, mint egészséges embertársaik, de mivel tudjuk, hogy ez nem lehetséges, ezzel is hozzájárultunk ahhoz, hogy megkönnyítsük az életüket.

Fejközép-lokalizáció (0/0)

Fejközép-lokalizáció (0 \ 0)												
	1500 Hz		7000 Hz		Welcome		Windows Felszólítás		Windows Kritikus		Papírkosár	
	Igen	Nem	Igen	Nem	Igen	Nem	Igen	Nem	Igen	Nem	Igen	Nem
50 \ 100	26	14	25	15	28	12	24	16	26	14	27	13
100 \ 20	27	13	26	14	21	19	27	13	23	17	24	16
1000 \ 5	27	13	26	14	25	15	20	20	22	18	24	16

2.táblázat

Fejközép-lokalizációnál (0/0) a következő százalékos eredmények születtek:

1500 Hz-nél 50/100-as sebességnél az emberek 65%-a, érzékelt fejközép-lokalizációt. A másik két esetben megegyeznek az értékek: 67,5 %-ra, nőtt ez az érték.

7000 Hz-nél ismét csak az 50/100-as sebesség tér el a többitől. Itt azonban 62,5 % válaszolt igennel a másik két esetben, pedig 65%.

Welcome hangnál a legnagyobbak az eltérések: 50/100 esetén 70%, 100/20 esetén 52,5 %, 1000/5-él viszont 62,5 % az igenek aránya.

Windows felszólításnál is nagyok az eltérések: 50/100-nál 65%, 100/20-nál 67,5 %, 1000/5-nél, pedig 55%.

Windows kritikusnál már egy kicsit kiegyenlítettebb a helyzet: 50/100-nál 65%, 100/20-nál 57,5 %, 1000/5-nél 55%.

Papírkosár esetén visszatér az első két eset mikor csak 50/100-nál van eltérés itt 67,5 %, a másik két esetben 60% az igenek aránya.

Fejközép-lokalizáció (2 / 2)

Fejközép-lokalizáció (2 / 2)												
	1500 Hz		7000 Hz		Welcome		Windows Felszólítás		Windows Kritikus		Papírkosár	
	Igen	Nem	Igen	Nem	Igen	Nem	Igen	Nem	Igen	Nem	Igen	Nem
50 \ 100	29	11	25	15	28	12	27	13	19	21	26	14
100 \ 20	22	18	29	11	23	17	25	15	26	14	25	15
1000 \ 5	25	15	26	14	23	17	23	17	21	19	23	17

3. táblázat

Fejközép-lokalizációnál (2/2) a következő százalékos eredmények születtek:

1500 Hz-nél 50/100-as sebességnél az emberek 72,5 %-a, érzékelt fejközép-lokalizációt. 100/20-nál 55%, 1000/5-nél, pedig 62,5 %.

7000 Hz-nél az 50/100-as sebességnél 62,5 %. 100/20 esetén 72,5 %, 1000/5-nél viszont 65%.

Welcome hangnál az arányok: 50/100 esetén 70%. A másik két eset megegyezik: itt 57,5 % válaszolt igennel.

Windows felszólításnál az 50/100-nál 67,5 % az igenek aránya. 100/20-nál 62,5 %, 1000/5-nél viszont 57,5 %.

Windows kritikusnál a helyzet: 50/100-nál 47,5 %, 100/20-nál 65%, 1000/5-nél 52,5 %, az igenek aránya.

Papírkosár esetén visszatér kiegyenlítettebb a dolog: az első eset 50/100-nál 62,5 %, 100/20-nál 62,5 %, 1000/5-nél, pedig 57,5 %.

Elöl - Hátsó Döntés (0 \ 0)

Elöl - Hátsó Döntés (0 \ 0)																		
	1500 Hz			7000 Hz			Welcome			Windows Felszólítás			Windows Kritikus			Papírkosár		
	Elöl	Hátul	Más	Elöl	Hátul	Más	Elöl	Hátul	Más	Elöl	Hátul	Más	Elöl	Hátul	Más	Elöl	Hátul	Más
50 \ 100	19	18	3	27	11	4	26	11	3	23	16	1	23	11	6	22	13	5
100 \ 20	14	21	5	22	13	5	29	8	3	25	10	5	24	13	3	18	17	5
1000 \ 5	19	19	2	20	16	4	21	15	4	22	14	4	24	11	5	19	18	3

4. táblázat

Elöl-hátul döntésnél (0/0) a következő százalékos eredmények születtek:

1500 Hz: 50/100-nál 47,5 % elöl, 45% hátul, 7,5 % pedig máshol érzékelte a hangot.

100/20 esetén 35% elöl, 52,5% hátul, 12,5% máshol.

1000/5 –nél ez az arány 47,5% elöl, 47,5% hátul és 5% máshol.

7000 Hz: 50/100-nál 67,5% elöl, 27,5% hátul, 10% pedig máshol érzékelte a hangot.

100/20 esetén 55% elöl, 32,5% hátul, 12,5% máshol.

1000/5 –nél ez az arány 50% elöl, 40% hátul és 10% máshol.

Welcome: 50/100-nál 65% elöl, 27,5% hátul, 7,5% pedig máshol érzékelte a hangot.

100/20 esetén 72,5% elöl, 20% hátul, 7,5% máshol.

1000/5 –nél ez az arány 52,5% elöl, 37,5% hátul és 10% máshol.

Windows Felszólítás: 50/100-nál 57,5% elöl, 40% hátul, 2,5% pedig máshol érzékelte a hangot.

100/20 esetén 62,5% elöl, 25% hátul, 12,5% máshol.

1000/5 –nél ez az arány 55% elöl, 35% hátul és 10% máshol.

Windows Kritikus:: 50/100-nál 57,5% elöl, 27,5% hátul, 15% pedig máshol érzékelte a hangot.

100/20 esetén 60% elöl, 32,5% hátul, 7,5% máshol.

1000/5 –nél ez az arány 60% elöl, 27,5% hátul és 12,5% máshol.

Papírkosár: 50/100-nál 55% elöl, 32,5% hátul, 12,5% pedig máshol érzékelte a hangot.

100/20 esetén 45% elöl, 42,5% hátul, 12,5% máshol.

1000/5 –nél ez az arány 47,5% elöl, 45% hátul és 7,5% máshol.

Elöl – Hátul Döntés (2 \ 2)																		
	1500 Hz			7000 Hz			Welcome			Windows Felszólítás			Windows Kritikus			Papírkosár		
	Elöl	Hátul	Más	Elöl	Hátul	Más	Elöl	Hátul	Más	Elöl	Hátul	Más	Elöl	Hátul	Más	Elöl	Hátul	Más
50 \ 100	18	17	5	22	12	6	23	13	4	23	13	4	25	9	6	21	15	4
100 \ 20	19	16	5	20	16	4	20	14	6	24	12	4	23	11	6	21	14	5
1000 \ 5	22	16	2	24	15	1	24	11	5	22	15	3	22	13	5	21	15	4

5.táblázat

Elöl-hátul döntésnél (2/2) a következő százalékos eredmények születtek:

1500 Hz: 50/100-nál 45% elöl, 42,5% hátul, 12,5% pedig máshol érzékelte a hangot.

100/20 esetén 47,5% elöl, 40% hátul, 12,5% máshol.

1000/5 –nél ez az arány 55% elöl, 40% hátul és 5% máshol.

7000 Hz: 50/100-nál 55% elöl, 30% hátul, 15% pedig máshol érzékelte a hangot.

100/20 esetén 50% elöl, 40% hátul, 10% máshol.

1000/5 –nél ez az arány 60% elöl, 37,5% hátul és 2,5% máshol.

Welcome: 50/100-nál 57,5% elöl, 32,5% hátul, 10% pedig máshol érzékelte a hangot.

100/20 esetén 50% elöl, 35% hátul, 15% máshol.

1000/5 –nél ez az arány 60% elöl, 27,5% hátul és 12,5% máshol.

Windows Felszólítás: 50/100-nál 57,5% elöl, 32,5% hátul, 2,5% pedig máshol érzékelte a hangot.

100/20 esetén 60% elöl, 30% hátul, 10% máshol.

1000/5 –nél ez az arány 55% elöl, 37,5% hátul és 12,5% máshol.

Windows Kritikus:: 50/100-nál 62,5% elöl, 22,5% hátul, 15% pedig máshol érzékelte a hangot.

100/20 esetén 57,5% elöl, 27,5% hátul, 15% máshol.

1000/5 –nél ez az arány 55% elöl, 32,5% hátul és 12,5% máshol.

Papírkosár: 50/100-nál 52,5% elöl, 37,5% hátul, 10% pedig máshol érzékelte a hangot.

100/20 esetén 52,5% elöl, 35% hátul, 12,5% máshol.

1000/5 –nél ez az arány 52,5% elöl, 37,5% hátul és 10% máshol.

Összességében fejközép-lokalizációnál kisebbek a különbségek Windows-os hangoknál igen és nem között, mint a zajoknál. Elöl-hátul döntésnél többen érezték helyesen előlről, akkor mikor ismerős hangokat hallottak. Ezért ezen a téren lehetne még tovább fejleszteni a méréseket.

Kezdetben, amikor témaválasztásra került sor, még nem gondoltam, hogy ez a téma ennyire érdekes és a mérések során ilyen élvezetes lesz. Mielőtt még hallottam volna a GUIB rendszerről nem sejtettem, hogy ilyen előretörések vannak abban az irányban, hogy a vakok és gyengén látók is tudják kezelni a számítógépet a maguk módján. Így, hogy a szakdolgozat révén én is részese lettem ennek a programsorozatnak, már teljesen másképp látom az egész témakört. Úgy, ahogy én folytattam Tóth Roland méréseit, úgy talán valaki az én eredményeimet felhasználva még tovább folytathatja ezt a kísérletet. Az igazi az lenne, ha vak vagy gyengén látó emberekkel lehetne ezeket a méréseket elvégezni, hiszen az ő hallásuk sokkal kifinomultabb, mint látó társaik. Akkor talán elérhető az is, hogy ne legyen különbség egészséges és sérült emberek között, ami a számítógép használatát illeti.

7. Felhasznált irodalom

[1] Dr. Wersényi György: Műszaki Akusztika; Győr 2004

[2] Dr. Wersényi György: Térbeli hallás; Győr 1998

[3] Kurutz Imre - Szentmártony Tibor: A műszaki akusztika alapjai.

Műegyetemi kiadó, 2001.

[4] Dr. Wersényi György: Virtuális hangtér szimuláció és a binaurális technológia
2007

[5] Beachtron - kártya dokumentációja, The Beachtron, Crystal River
Engineering, Inc.

8. Függelék

A függelékben mellékelem a mérés teljes eredmény sorát táblázatokba foglalva. Azért nem került előrébb, mert sok adat lett volna egy helyen és a megértés érdekében a szakdolgozatban különválasztottam a hangokat.