

NYA MÖJLIGHETER INOM HÖRAPPARATTEKNIKEN MED HJÄLP AV DIGITAL SIGNALBEHANDLING

En förstudie

av

Lars Liljeryd

1995-03-28

Dokument Nr: 950328-01-F

© STOCKTRONICS AB 1995

Office address:
Sveavägen 119
S-113 49 Stockholm
SWEDEN

Office communication:
Phone: +46 (0)8 33 11 12
Telefax: +46 (0)8 33 09 88
Mobile: +46 (0)70 733 11 02
E-mail: stocktronics@pi.se

Phone: +46 (0)8 661 11 88
Mobile: +46 (0)10 211 87 10

Ship communication:

FÖRORD

Denna förstudie beskriver konventionell hörapparatteknik samt ny avancerad teknik som kan användas inom området hörselhjälpmedel. Förstudien representerar undertecknads uppfattning, erfarenhet och idéer och beskriver tekniken kortfattat i praktisk, icke akademisk notation.

Förstudien är uppbyggd i tre nivåer; översikt, detaljredovisning och referenser. Endast översikten (denna del) är offentlig.

Målet är att bygga upp ett högteknologiskt företag inom signalbehandling för hörselhjälpmedel och att i samarbete med sjukhus och institutioner bedriva långsiktig forskning och utveckling för att leda fram Sverige i en internationellt ledande position inom området.

Undertecknad har påbörjat ett projekt som går ut på att implementera avancerade signalbehandlingsmetoder som väsentligt förbättrar situationen för den hörselskadade. Efter det att tekniken är utvärderad är målet att, så långt det är praktiskt möjligt, reducera och förenkla metoderna för att åstadkomma en ekonomiskt rimlig och praktiskt användbar lösning, lämplig för integrering i en heldigital hörapparat.

Denna förstudie har utförts med hjälp av bidrag från Landstingens Fond för Teknikupphandling och Produktutveckling (LFTP), referens Åke Matton.

Stockholm 1995-03-28

Lars Liljeryd

INNEHÅLL

1. INTRODUKTION.....	4
2. OLIKA TYPER AV HÖRSELSKADOR.....	5
3. HÖRAPPARATTYPER OCH TERMINOLOGI.....	6
4. DAGENS HÖRAPPARATTEKNIK.....	8
4.1 Analoga hörapparater.....	9
4.2 Digitala hörapparater.....	10
4.3 Aktuell forskning och utveckling.....	10
5. MORGONDAGENS HÖRAPPARATTEKNIK.....	11
5.1 Grundläggande synpunkter.....	11
5.1.1 Taluppfattbarhet och ljudkvalitet.....	11
5.1.2 Monaural kontra binaural lyssning.....	12
5.2 Avancerad signalbehandling.....	12
5.2.1 Linjär filtrering.....	13
5.2.2 Dynamikprocessing.....	14
5.2.3 Adaptiva metoder.....	15
5.2.4 Lobformning.....	15
5.2.5 Brussubtraktion.....	16
5.2.6 Taltransponering.....	16
5.2.7 Harmonisk syntes.....	16
5.2.8 Toppfaktorsbegränsning.....	16
5.2.9 Efterklangsreduktion.....	16
5.2.10 Automatisk långtidsanpassning.....	17
5.3 Diagnostik och mätteknik.....	17
5.3.1 AI-baserad audiometri.....	17
5.3.2 Funderingar kring utvärdering av hörselskada.....	18
5.3.3 Mätmetoder.....	18
5.4 Praktiskt utförande av framtida apparat.....	19
6. SAMMANFATTNING.....	20
7. NÅGOT OM STOCKTRONICS AB.....	21

1. INTRODUKTION

Hörselsinnet är ett unikt biologiskt instrument med ett dynamiskt omfång på c:a 130 dB, vilket motsvarar ett styrkeförhållande på 1: 3 000 000 (!) mellan svagast urskiljbara ljud och smärtgräns. I digitala termer motsvarar detta 22 bitars dynamik, vilket kan jämföras med CD-skivans maximala 96 dB och 16 bitar eller vinyl-grammofonskivans 60 dB. Den svagaste detekterbara ljudnivån svarar mot en rörelse hos basilmembranet på 0.3 nanometer, ungefär en vätemolekyls storlek (!).

Ett defekt öra har ofta lägre känslighet, lägre upplösning och lägre dynamik, vilket vållar problem för den drabbade individen. Skadan leder ofta till försämrade förmåga att uppfatta tal, speciellt i akustiskt störande miljö. Då vår vardagsmiljö ofta uppvisar en markant störnivå, är den viktigaste faktorn att en modern hörapparat innefattar någon form av teknik som kan förbättra signal/stör-förhållandet för den hörselskadade. Detta är ej fallet med dagens teknik.

Det bör noteras att "vanliga" hörselskador ofta representeras av en kraftigt sänkt känslighet vid låga ljudnivåer och nära normal känslighet vid höga ljudnivåer. Det är ett vanligt missförstånd att patientens hörselskada skulle innebära någon slags total dämpning av upplevd ljudnivå vilket ej är fallet. Hörselskadan uppvisar snarare en ljudmässig expanderfunktion vilket innebär en olinjär känslighetsminskning vilken ökar med minskad ljudnivå.

Inom kommunikationstekniken talar man ofta om ett systems kanalkapacitet, d.v.s. överförd informationsmängd per tidsenhet i en kanal. Nedsatt hörsel representerar en reduktion i kanalkapacitet från omvärlden till hörselsinnet. En viktig funktion hos en hörapparat är därför att maximalt utnyttja den *resterande* kanalkapaciteten hos det skadade hörselsinnet. Befintlig analog hörapparatteknik är primitiv och utnyttjar denna restkapacitet relativt dåligt.

Nedsatt hörsel är ett utbrett, dolt handikapp. Många personer har någon form av hörselnedsättning som resulterar i försämrade livskvalitet och psykosocialt handikapp. Enligt uppgift från LIC använder c:a 600 000 personer hörapparat i Sverige. Olika analyser visar att mellan 3 - 5% av befolkningen i I-världen har behov av hörapparat. Andelen personer med hörselnedsättning ökar ungefär exponentiellt med åldern. 60 - 70 % av hörapparat-användarna lider av åldringsdövhet (presbycusis).

Det finns c:a 180 olika hörapparatstyper (!) på den svenska marknaden. Hemmamarknaden omsätter enligt uppgift från LIC c:a 55 000 nya hörapparater per år. Världsmarknaden uppskattas till c:a 5 000 000 hörapparater per år. En stor amerikansk tillverkare producerar c:a 800 000 hörapparater per år och en dansk tillverkare c:a 350 000 hörapparater per år. Kostnaden i dag för en vanlig hörapparat ligger mellan 1 500 och 5 500 kr beroende på modell och funktion.

2. OLIKA TYPER AV HÖRSELSKADOR

Hörsel och syn är viktiga sinnen för varseblivning, kommunikation och tillgodogörande av information. Enklare synåkommor kan vanligen korrigeras med en lins före receptor-mekanismen i näthinnan. Motsvarande hörselproblem, *ledningshörselskada*, innebär en försämrad överföring mellan ytteröra och receptormekanismen i innerörat och kan ofta korrigeras med en hörapparat. *Sensorineural hörselskada* innebär en skada i själva receptormekanismen och är betydligt mer komplicerad eller i vissa fall omöjlig att korrigera. Jämför med skador på näthinnan och synnerven.

Hörselnedsättning kan alltså grovt indelas i två kategorier:

1. LEDNINGSHÖRSELSKADA, även benämnd konduktiv nedsättning, orsakas av ledningsdefekter i mellanörats mekanism som ligger före det neurala systemet. Skadan karaktäriseras av en konstant, frekvensselektiv dämpning av tal och störljud. Detta handikapp kan i de flesta fall åtgärdas väl med hörapparat eller operation.
2. SENSORINEURAL HÖRSELNEDSÄTTNING, orsakas av defekter i den neurala receptormekanismen och karaktäriseras av höjd hörröskel (den undre gränsen för uppfattning av ljud) i kombination med svårighet att uppfatta tal, speciellt i störande miljö. Detta handikapp kan sällan åtgärdas tillfredsställande med hjälp av vanlig hörapparat utan kräver betydligt mer avancerade metoder.

Fördelningen av ovanstående hörselskador hos populationen är c:a 5-10 % ledningshörselskador och 90-95 % sensorineurala hörselskador.

Sensorineural nedsättning indelas av vissa forskare i två undergrupper:

- 2a. SENSORINEURAL HÖRSELNEDSÄTTNING MED RECRUITMENT
Nedsättningen yttrar sig i abnormt upplevd dynamik, i detta fall en dynamik*expansion* hos patienten. Recruitment kallas även abnorm ljudlighetsfunktion.
- 2b. SENSORINEURAL HÖRSELNEDSÄTTNING MED DECRUITMENT
Denna mindre valiga form består också av en abnormt upplevd dynamik, men här sker i stället en dynamik*kompression* hos patienten. Decruitment kallas även DE-RECRUITMENT.

Det finns andra typer av nedsättningar, t.ex. infra-audiometriskt eller ultra-audiometriskt hörande. Här har patienten enbart en liten låg- respektive högfrekvent rest. Primitiva hjälpmedel, s.k. transponerare, har i bland använts för att försöka korrigera dessa handikapp när en vanlig hörapparat visat sig vara otillräcklig. En annan variant är Hyperacusis, här kan patienten (som ofta uppvisar ett normalt audiogram) vara extremt känslig för starka ljud.

Sensorineural nedsättning resulterar i svårare fall i total dövhet. Om den grava nedsättningen endast beror på skadade hårceller och enklare skador i koklean (snäckan), kan vissa hörsselförmågor återställas med kokleära implantat. Detta innebär att en speciell hörapparat elektriskt direktstimulerar nervfibrerna i koklean med hjälp av planterade elektroder.

3. HÖRAPPARATTYPER OCH TERMINOLOGI

Hörapparater indelas ofta typmässigt efter hur de är burna av användaren:

1. Kroppsburna hörapparater.
2. Huvudburna hörapparater som kan sitta bakom örat eller hörglasögon.
3. Allt-i-örat hörapparater.

Det finns även variationer inom de ovanstående grupperna.

Monaural-, binaural- och pseudobinaural funktion

Den monaurala apparaten är kopplad till ett öra. Den binaurala typen består av två separata apparater, en för varje öra. Den pseudobinaurala typen innebär en monoapparat som matar båda öronens hörtelefoner i mono.

Lyssning sker vanligen monauralt eller i bland binauralt. Speciella korskopplingsvarianter finns mellan mikrofoner och hörtelefoner såsom CROS, BICROS, IROS och MULTICROS, kopplingar för att tillfredsställa speciella krav.

Analoga och digitala hörapparater

Analoga typen är den konventionella som används i dag. Den digitala hörapparaten karaktäriseras av att audiosignalen digitaliseras i en A/D-omvandlare (analog-digital) varefter den signalbehandlas i en mikroprocessor för att därefter åter omvandlas till analog form med D/A-omvandlare och ledas till hörtelefonen.

En- och flerbandsapparater

En enbands hörapparat processar audiosignalen i ett band, d.v.s. kompression och filtrering sker bredbandigt. Under senare år har tillverkarna släppt några få flerbändiga hörapparater på marknaden där man processar audiosignalen separat i flera frekvensband och helt oberoende av varandra. Denna typ är vanligen externt programmerbar med en speciell fristående styrenhet eller med hjälp av en PC. Här kan en hörapparats karaktäristik beräknas från patientens audiogram och vid behov enkelt uppdateras då informationen sparas i ett icke flyktigt minne i hörapparaten samt på disk i PC:n tillsammans med patientinformation.

Adaptiva och icke adaptiva apparater

Icke adaptiva apparater har fasta kontroller och funktioner och apparatens karaktäristik ändras ej efter det att kontrollerna är inställda. Adaptiva, d.v.s. i viss mån självoptimerande apparater ändrar karaktäristik beroende på programmateriallets karaktär och frekvensinnehåll, t.ex. genom variabel förstärkning, variabel frekvenskaraktäristik och i en avancerad digital apparat, adaptiv undertryckning av akustisk återkoppling.

I analoga hörapparater benämns olika former av automatisk eller adaptiv reglering även ASP (Automatic Signal Processing). Denna kategori kan indelas i två grupper:

1. **FFR** (Fixed Frequency Response), fast frekvensrespons.
2. **LDFR** (Level Dependent Frequency Response), nivåberoende frekvensrespons.

Dessa båda grupper kan underindelas enligt:

- 1a. **Limitering**, d.v.s. begränsning av förstärkningen vid höga nivåer för att t.ex. förhindra distorsion och klippning i slutförstärkaren som ger obehag för användaren.
- 1b. **Bredbandkompression**, d.v.s. ökning av förstärkningen vid låga nivåer.
- 1c. **AGC** (Automatic Gain Control), d.v.s. automatisk förstärkningsreglering som håller programnivån konstant och ofta är en kombination av 1a och 1b.

samt:

- 2a. **BILL** (Bass Increase at Low Levels), basförstärkning vid låga nivåer (och basdämpning vid höga nivåer). En aktiv variant av "loudnessfunktion" hos en stereoförstärkare. Kompenserar för örats olinjära frekvenskaraktäristik vid låga nivåer. Minskar basenergin i bullrig miljö.
- 2b. **TILL** (Treble Increase at Low Levels), diskantförstärkning vid låga nivåer (och diskantdämpning vid höga nivåer). Funktionen finns som varumärke, s.k. K-AMP. Används när patienten har nedsättning i hörfrekvensområdet.
- 2c. **PILL** (Programmable Increases at Low Levels), programmerbara förstärkningar vid låga nivåer, förutsätter två- eller trekanaliga apparater med olika frekvensband. T.ex. en baskanal, en mellanregisterkanal och en diskantkanal. Kanalen med högsta energin reduceras mest vid höga nivåer, (och kanalen med lägsta energin förstärks mest vid låga nivåer) d.v.s. man tar hänsyn till maskeringseffekten något så att svaga signaler i ett frekvensband ej ska maskeras av den starkare signalen i ett närliggande frekvensband.

4. DAGENS HÖRAPPARATTEKNIK

Utvecklingen inom hörapparatområdet har hittills varit ganska måttlig. Tidiga apparater hade enkla och mycket begränsade inställnings- och korrektionsmöjligheter. Under slutet av 80-talet vidareutvecklades tekniken i högre takt, vissa hörapparater fick förbättrad programmerbar filtrering som i dag bättre kan anpassas individuellt till patientens behov. Vidare har tekniken inom dynamikreglering förbättrats med analog signalbehandling. Många moderna apparater innehåller även en limiter som begränsar maximal utnivå till under obehagsgränsen. Några få apparater är tvåbandiga eller trebandiga med separat dynamikreglering. Några har enbandig nivåberoende frekvenskaraktäristik

Rätt använda kan dessa mera avancerade apparater i viss mån förbättra taluppfattbarhet även för patienter med lättare sensorineural nedsättning. Enbandig dynamikreglering i form av kompression kan ge viss förbättring i miljö med gott signal/störavstånd men kan förvärra situationen i störande miljö. Trebandig dynamikreglering är att föredra men är komplicerad att anpassa optimalt till patienten.

Hjälpmiddelscentraler och audiologer är av naturliga skäl hänvisade till den existerande, och till övervägande delen, enkla analoga hörapparattekniken. Patienterna är emellertid ofta besvikna på sina hörapparater och deras prestanda. Man klagar på att hörapparaterna plockar upp mycket störljud, vindsus, transienter och skrammel. Det är svårt att få god taluppfattbarhet i störande miljö. Patienter med sensorineural nedsättning upplever ibland att man hör talet starkare med hörapparat men inte tydligare.

Vidare kan det vara problem med akustisk återkoppling då öronproppen i bland "läcker" mot hörselgången vilket resulterar i besvärande tjut. Akustisk återkoppling kan även generera andra problem. Då patienten inte vill "skylta" med sin hörselskada p.g.a. att det tjueter (t.ex. vid skratt eller gäspning), skruvar patienten kanske ner volymen vilket påverkar taluppfattbarheten negativt.

Självmaskering, sk. ocklusionseffekt, är ett vanligt problem då man sätter igen hörselgången med en öronpropp. Mjukdelarnas (tal)vibrationer skapar tryckvariationer i takt med det egna talets låga frekvenser vilka ej kan ventileras ut på normalt sätt genom den slutna hörselgången. De lågfrekventa komponenterna i det egna talet förstärks kraftigt vilket maskerar utifrån kommande hörselintryck. Försöker man ventilera hörselgången med en borrarad ventilationskanal i hörproppen skapar man istället akustisk återkoppling.

Det kan också vara svårt att ställa in hörapparaten optimalt, speciellt för äldre patienter.

Flertalet hörapparater uppvisar dåliga prestanda i form av otillräcklig bandbredd, otillräcklig dynamik och ojämn frekvensgång som aldrig skulle accepteras i professionell kommunikationsutrustning använd i kontinuerligt bruk.

Utbudet är relativt stort av olika hörapparater med mycket skiftande karaktäristik. Det finns även vissa typer av hörapparater där den dynamikberoende filtreringen uppvisar nära inversa funktioner mellan olika fabrikat (!), jämför BILL och TILL ovan. Hur vet audiologen vilken typ som är optimal för patienten? Vissa moderna avancerade apparater har komplicerade funktioner som kräver ingående specialistkunskaper för att kunna anpassas väl till patienten.

En iakttagelse är att utvecklingen i hög grad verkar vara inriktad på praktiska faktorer såsom strömförbrukning, utseende och miniatyrisering snarare än att försöka finna en komplett lösning som verkligen ger den hörselskadade en möjlighet att optimalt utnyttja sina hörselrester. I USA och Canada säljs övervägande små "allt-i-örat" apparater. Tyvärr måste man hos dessa apparater ge avkall på kretsteknik och prestanda då vikten har lagts på miniatyrisering.

4.1 ANALOGA APPARATER

Spetsteknologi inom den analoga hörapparatsektorn innefattar separat inställning och signalbehandling i två eller tre separata och parallella frekvensband. Man kan i vissa fall ställa in (i varje band): filtrets brytfrekvens, signalnivå och limitering för maxnivå. Två eller tre kanaler är ett framsteg men otillräckligt i antal och tar därför ej hänsyn till kritisk bandbredd och maskeringseffekt optimalt.

De flesta hörapparater använder högpassfiltrering för att skära bort lågfrekventa störljud och minska uppåtmaskering. Detta är en mycket simpel metod som markant förvanskar hörselintrycket. Tyvärr uppvisar de flesta hörapparater endast "telefonbandbredd" och endast en apparat på marknaden uppvisar en förhållandevis god bandbredd.

Recruitment (och i vissa fall decruitment) är tekniskt komplicerat att korrigera då dynamikförvrängningen varierar både med frekvens och ljudnivå. Försök har gjorts att i viss mån korrigera för recruitment med två- eller trebandiga hörapparater. Man försöker åstadkomma en komplementär dynamikfunktion genom att komprimera programmaterialen i flera frekvensband. Två eller tre frekvensband ger i vissa fall en påvisbar förbättring, men är enligt undertecknads uppfattning en alltför grov metod. I dessa apparater tar man inte heller hänsyn till dynamikfunktionens derivata. Det skall också noteras att man hittills inte kompenserar för decruitment, vilket kräver en expander-funktion.

Ett fabrikat erbjuder en enkanalig apparat som använder tvåmikrofonteknik där patienten kan byta från rundkännande till framåtriktad karaktäristik för att öka riktningssäkerheten framifrån och minska störljud från andra infallsvinklar. Passiv, riktad upptagningskaraktäristik är ett framsteg som ökar signal/störförhållandet hos patienten vilket är mycket viktigt, men med enbart enkanalig signalbehandling förblir emellertid tekniken alltför primitiv även i dessa mera avancerade apparater.

Ett svenskt företag producerar en unik benledande hörapparat för implantat. Dessa benledare är intressanta då de mekaniskt "direktinducerar" audiosignalen genom att de är fastskruvade i skallbenet. Detta minskar bland annat risken för akustisk återkoppling vilket är en stor fördel. Tekniken erbjuder även en lösning för patienter som ej kan använda konventionella hörapparater t.ex. p.g.a. kronisk öronsjukdom eller i sällsynta fall där hörselgång helt saknas. Apparaten använder f.n. emellertid konventionell förstärkarteknik varför den är mindre lämpad för patienter med sensorineural nedsättning.

En annan enklare variant är hörglasögon med benledning. Här vibreras skallbenet akustiskt med en extern vibrator som trycker mot skallbenet bakom varje öra.

Ett fåtal tillverkare har satsat på fjärrkontrollerade huvudburna hörapparater där olika karaktäristik hos apparaten enkelt kan ställas in från en handhållen fjärrkontroll med hjälp av induktiv, FM- eller IR-överföring.

4.2 DIGITALA APPARATER

Spetsteknologi inom det digitala hörapparatområdet representeras i dag av några få (danska) tillverkare som nyligen gått över till helt digital teknik med signalbehandling. De koncentrerar sig emellertid endast på att med enklare signalbehandling t.ex. undertrycka förekomsten av akustisk återkoppling (tjut) eller att förbättra frekvenskorrektionen för patienten i kombination med enkanalig kompression. En (amerikansk) tillverkare marknadsförde för några år sedan en, förhållandevis enkel, helt digital hörapparat. Efter en kort tid på marknaden drogs produkten in av okänd anledning.

Ingen tillverkare framställer i dag någon digital hörapparat med avancerad signalbehandling.

4.3 AKTUELL FORSKNING OCH UTVECKLING

En mindre kartläggning av forskningsaktiviteterna i Sverige indikerar att pågående FoU troligen syftar till att förbättra och utveckla konventionell teknik med tyngdpunkt på filtrering och kompression och hjälpmedel för enklare nedsättningar. Man gör även forskning inom hörselskadediagnostik samt taktila hörapparater.

I denna studie har en större litteratursökning genomförts. Sökningen gjordes i 8 av de största internationella databaserna. Märkligt nog erhöles bara ett 40-tal träffar på artiklar och referenser som beskriver forskning och framsteg inom området digitala hörapparater. Detta kan tyda på att även den internationella forskningen inom avancerade hörselhjälpmedel är ganska lågprioriterad, vilket förefaller märkligt med tanke på problemets omfattning och marknadens storlek. Vi har även "surfat" runt på Internet och granskat forskning inom området hos olika universitet världen över. Den internationella forskningen är begränsad och verkar i huvudsak vara koncentrerad på redan känd teknik såsom lobformning och adaptiv undertryckning av akustisk återkoppling etc.. Endast *en* forskningsrapport företedde vissa tankegångar i samma riktning som undertecknads.

5. MORGONDAGENS HÖRAPPARATTEKNIK

Digital signalbehandling är en relativt ung disciplin som gjorts praktiskt användbar genom de senaste årens utveckling av snabb och kraftfull digital processorteknik. I dag erbjuds helt nya möjligheter inom avancerad ljud- och bildbehandling. Rätt tillämpad erbjuder digital signalbehandling unika möjligheter till förbättringar inom hörapparatsektorn som har varit helt omöjliga att realisera med analogteknik.

Utvecklingen inom området går oerhört snabbt och pris/prestanda-förhållandet förbättras exponentiellt med tiden. Det borde därför vara helt möjligt att producera en högpresterande digital hörapparat till en rimlig kostnad inom några år.

5.1 GRUNDLÄGGANDE SYNPUNKTER

Enbart införandet av en hörapparat innebär en stor belastning av patientens hörselsinne d.v.s. hörapparaten kompenserar för vissa hörseldefekter men inför i stället nya fel vilket påverkar hörseln och perceptionen negativt. Det är tex. en ganska förvirrande upplevelse för en normalhörande som utrustas med två väl anpassade hörapparater. Några få tester har utförts där man påvisat att normalhörande utrustade med hörapparat då hör betydligt sämre. Det viktiga i vår filosofi är att vi *först* bör minimera de fel hörapparaten inför *innan* vi tillför kompenserande åtgärder för att förbättra situationen för den hörselskadade. Hörapparaten måste optimeras elektroakustiskt och göras *transparent* med hjälp t.ex. av inversfiltrering. Bland annat bör dynamik, bandbredd och distortion förbättras. Härvid bör kvalitetsbedömningen utföras av kvalificerade yrkeslyssnare, t.ex. ljudtekniker som har vana av att kvantifiera dessa ljudkvalitetsfaktorer.

Det är nödvändigt att skapa en komplett och fungerande systemlösning, från utprovningen hos audiologen till hörselupplevelsen hos patienten, där alla ingående metoder och systemkomponenter optimeras fullt ut och där varje metod och komponents bidrag tas tillvara på bästa sätt. En del känd teknik kan vidareutvecklas till att åstadkomma bättre resultat, annat kräver ytterligare forskning och utveckling.

5.1.1 Taluppfattbarhet och ljudkvalitet

Det är viktigt att skilja på begreppen taluppfattbarhet och ljudkvalitet. Forskningen inom hörapparatsektorn verkar basera sina resultat i huvudsak på taluppfattbarhet. Självfallet är taluppfattbarhet den viktigaste faktorn då målet är att patienten skall kunna kommunicera med sin omgivning. Om hög taluppfattbarhet ej kombineras med hög ljudkvalitet så tröttnar ofta lyssnaren då programmaterialen låter onaturligt och irriterande.

Det är intressant att notera att det i vissa fall går att erhålla nära 100% taluppfattbarhet vid 100% taldistorsion vilket motsvarar full klippning hos en förstärkare. Detta tal låter illa (låg ljudkvalitet) och upplevs som obehagligt och tröttande.

Hög ljudkvalitet innebär att hörapparaten ej påverkar programmaterialen negativt. Grundläggande viktiga faktorer är hög dynamik, god bandbredd och låg distorsion. Det finns många andra faktorer som påverkar ljudkvalitet t.ex. impulsrespons, färggång, frekvensgång mm. (I en testgrupp med 49 hörselskadade valde 88 % av testgruppen hög ljudkvalitet hos hörapparaten som den viktigaste faktorn).

Inom talkommunikationstekniken indelar man ofta i smal- respektive bredbandiga kommunikationssystem. För talkommunikationssystem med lägre kvalitetskrav (t.ex. telefoni) är ofta ett frekvensomfång på 300 Hz - 4 kHz tillräckligt och måttliga krav ställs på distorsion, frekvensgång och dynamik. Vid högkvalitativa talkommunikationssystem kräver man ofta frekvensomfång på 100 Hz - 8 kHz eller bättre samt låg distorsion och hög dynamik så att talet skall låta naturtroget och ej verka tröttande på lyssnaren.

Tyvärr faller de flesta befintliga hörapparaterna inom första kategorin. Detta kan kanske i vissa fall förklara varför en del hörselskadade har svårt att acceptera sin hörapparat.

Stocktronics har stor erfarenhet av högkvalitativa kommunikationssystem då vårt system tillhör den senare kategorin. Detta kommunikationssystem uppvisar hög dynamik, frekvensomfång på 100 Hz - 10 kHz, distorsion lägre än 0.1 % samt skyddskretsar som skyddar lyssnarna från alla former av skadliga impulsljud och hörbar distorsion. Vidare ingår diskantthöjande filter vid 8 kHz vilket markant ökar taluppfattbarheten, speciellt vid oönskad signal/brus förhållande.

Vi måste med avancerad signalbehandling "krama ur" högsta möjliga taluppfattbarhet ur programmaterialen vilket dock ej får ske på bekostnad av ljudkvaliteten. Kvalitetskravet bör vara likvärdigt med det för ett högkvalitativt kommunikationssystem för normalhörande för att ej vara en belastning vid kontinuerlig användning.

5.1.2 Monaural kontra binaural lyssning

Vid dubbelsidig nedsättning bör alltid binaural (stereo) lyssning eftersträvas då denna är naturlig och ger bättre upplevd ljudkvalitet, högre dynamik, bättre rumslig varseblivning och perception samt bättre "integrering" i hörselsinnet av hörselintryck. Binaural lyssning har många fördelar, t.ex. elimineras huvudets skuggningseffekt av högfrekvent talinformation, binaurala hörtröskelnivån sjunker c:a 3 dB, vilket motsvarar att patienten endast behöver halva ljudeffekten jämfört med monaural lyssning. Vid svåra lyssningssituationer förbättras även signal/störförhållandet med upp till c:a 3 dB. Jämfört med 50 % taluppfattbarhet och monaural lyssning kan taluppfattbarheten vid binaural lyssning öka till c:a 80 - 90 %.

5.2 AVANCERAD SIGNALBEHANDLING

Snabb Fourier-transform (FFT) är i dag standardverktöget vid signalbehandling i frekvensdomänen. Appendix beskriver för- och nackdelar med signalbehandling i frekvensdomänen och kostnadsfaktorer samt kritisk bandbredd och maskeringseffektens inverkan. Algoritmer och signalbehandlingsmetoder som normalt utföres i tidsdomänen kan i många fall vinna på att utföras i frekvensdomänen. Olika signalbehandlingsfunktioner kan kombineras parallellt efter det att programmaterialen är transformerat till frekvensdomänen. Detta innebär ofta en besparing i beräkningskapacitet. Signalbehandlingen blir ofta både mindre resurskrävande och flexibla.

Det finns nya FFT-metoder som ej kräver överlappning samt FFT-metoder som ej behöver block-behandlas, vilket sparar processortid. Andra metoder som Discrete Cosine Transform (DCT) och framför allt Fast Wavelet-Transform (FWT) uppvisar intressanta egenskaper som bör utvärderas i sammanhanget.

Undertecknad föreslår nedan ett antal metoder som kan förbättra den hörselhandikappades situation. Metoderna beskrivs utförligare i ett separat konfidentiellt appendix. I appendix visas även ett blockschema som beskriver ett unikt totalkoncept på en högpresterande digital hörapparat innehållande olika taluppfattbarhetsförbättrande, ljudkvalitetsförbättrande och störningsreducerande funktioner.

5.2.1 Linjär filtrering

Filtrering i frekvensdomänen med hjälp av FFT erbjuder stora korrektionsmöjligheter och hög upplösning i frekvens till låg kostnad. Hög upplösning i frekvens är viktigt då vi vill korrigera optimalt relaterat till patientens audiogram. Metoden är mycket intressant och billig speciellt i kombination med andra signalbehandlingsmetoder. Betydelsen av kort processfördröjning för patienter beroende av läppavläsning och Haas-effekten förklaras i appendix.

Simulering av hörselgången

Hörselgången fungerar normalt som en kvartsvågsresonator med en kraftig resonans vid c:a 3 kHz. Denna resonans ger en ökad känslighet i detta frekvensområde (t.ex. uppvisar audiogrammet vid bullerskada ofta en svacka i detta område). I de flesta hörapparatstyperna används en hörtelefon i form av en hörpropp. Genom att föra in denna propp i hörselgången påverkar man ytterörats egenskaper dramatiskt. Man förlorar upp till 15 dB förstärkning p.g.a. att resonatorns egenskaper förändras. Detta måste kompenseras individuellt.

Simulering av ytterörat

Ytterörat är konstruerat på ett mycket sinnrikt sätt vilket hjälper till att bidra med tredimensionell riktningbestämning och perception hos lyssnaren. Genom att införa en örönpropp i hörselgången inhiberas i stort sett denna möjlighet.

Vidare, när hörapparatens *mikrofon* placeras i hörselgångens mynning eller bakom örat, förvanskas ljudintrycket ytterligare p.g.a. att det är skillnad i ljudtrycksfältet som träffar mikrofonmembranet jämfört med det som normalt träffar trumhinnan genom ytterörat. Genom simulering av ytterörats överföringsfunktion, s.k. Head Related Transfer Function (HRTF), är det möjligt att återskapa *en del* av denna naturliga hörupplevelse. Metoden verkar inte vara provad inom hörapparatforskningen.

Som exempel uppstår en liknande situation när man lyssnar på musik i hörlurar eller med "freestyle"-proppar. Stereopanoramats blir märkligt, orkestern hörs inuti och uppe i huvudet och inte naturligt rumsligt och brett som när man lyssnar med högtalare i ett rum eller när man lyssnar i konsertsalen. Denna förvanskning av "panoramats" är en direkt följd av att man har påverkat ytterörats överföringsfunktion med hörlurarna.

Inversfiltrering

En hörapparat uppvisar alltid ett icke idealiskt impulssvar. Detta beror på ofullkomligheter som ojämnheter i frekvenskurvan, fasvridning etc. hos mikrofon, förstärkare och hörtelefon samt antydning till "ringningar" vid hög förstärkning mm. Genom inversfiltrering kan man idealisera impulsvaret och göra hörapparatens "transparent" vilket ger en förbättrad ljudkvalitet.

5.2.2 Dynamikprocessing

Ett väl fungerande hörselsinne har en stor förmåga att detektera, klassificera och lokalisera olika slags hörselintryck, snabbt och noggrant, även under ogynnsamt signal-brus förhållande. Denna förmåga bygger på en rad komplicerade samband där det viktigaste är kombinationen av kokleas och hjärnans unika egenskaper som detektor och analysator i tids- och frekvensdomänen.

För att kompensera en hörseldefekt som t.ex. recruitment bör vi ta hänsyn bl.a. till kritisk bandbredd och noggrant anpassa frekvensdomänkorrektionen till överföringsfunktionen hos patientens hörselrest, helst inom varje "Bark-band". Därför är det viktigt att med realistiska psykoakustiska metoder individuellt kartlägga patientens överföringsfunktion hos varje öra i detalj.

Undertecknad hävdar att man underskattar individens känslighet för ofullkomligheter hos dagens enkla hörapparatteknik. Detta belyses mera detaljerat i appendix.

Kompression

Konventionella enbandiga hörapparatkompressorer fungerar på sådant sätt att om svaga och starka signalkomponenter förekommer samtidigt, bestämmer den starkare signalen förstärkningen i kanalen och de svagare signalerna kanske försvinner under hörtröskeln. En enbands kompressor genererar också bieffekter som pumpning (breathing) p.g.a. att vissa starka dynamiska signalkomponenter påverkar förstärkningen i hela frekvensbandet och bakgrunden hissas upp och ned i nivå.

En mångbandskompressor eliminerar dessa bieffekter och minskar förlusten av svaga signalkomponenter jämfört med en en- eller fåbandig kompressor.

Den största vinsten med att arbeta i frekvensdomänen med en digital hörapparat är att vi vid kompression kan utnyttja maskeringseffekten positivt. Med hjälp av tex. FFT uppdelas audioområdet i ett antal frekvensband, motsvarande FFT-ns antal band, i vilka vi kan utföra oberoende kompression.

Inom psykoakustiken beskrivs maskeringseffekten som en process där hörbarheten för ett ljud minskar vid närvaron av ett annat maskerande ljud. Kritisk bandbredd är ett mått på inom vilket frekvensområde det starkare ljudets maskeringseffekt bibehålles. Bandbredden på individuella kompressorkanaler bör därför vara lika med eller mindre än kritisk bandbredd inom respektive frekvensband.

Mångbandskompressorn fungerar på ett sådant sätt att signaler med hög nivå i vissa frekvensband minskar förstärkningen i dessa frekvensband. I band som innehåller signalkomponenter med låg nivå ökas förstärkningen. Regleringen sker oberoende mellan kanalerna och är alltså enbart beroende av nivån på signalkomponenterna inom respektive frekvensband. Därmed kan patienten tillgodogöra sig de förstärkta svaga signalkomponenterna utan att utsättas för obehagligt starka nivåer från de starkare signalkomponenterna. Vidare minimeras dynamiska effekter som pumpning (breathing) och variation i bakgrundsbrus eller bakgrunds nivå.

Expansion

Metoden är motsatsen till kompression och används för att undertrycka icke önskade stör ljud vid låga ljudnivåer vilket kan vara vilsamt för patienten. Expansion krävs även för

kompensation av deconvolution och utförs lämpligen flerbandigt i frekvensdomänen. Med flerbandsteknik elimineras pumpningseffekter effektivt.

Noise-gating

Noise-gating innebär en amplitudtröskelstyrd upp- och nedtoning av programmaterial. Metoden kan användas likt expansion för att undertrycka störljud vid låga ljudnivåer och är ett annorlunda tröskelbestämt alternativ till expansion. Med flerbandsteknik elimineras pumpningseffekter effektivt.

Transientbegränsning

En av undertecknad utvecklad metod som kan användas både i tids och frekvens-domän för att minska inverkan av störande kraftiga transienter som glasklirr, smällar och skrammel vilket är viktigt för patientens lyssningskomfort speciellt vid Hyperacusis. Metoden går ut på att väga limiterns ingrepps-funktion med inversen av nyttosignalens spektralinhåll. Metoden är även lämpad som skyddslimit mot klippning i hörapparatsens ingångsförstärkare.

5.2.3 Adaptiva metoder

Undertryckning av rundgång

Adaptiv (självoptimerande) rundgångsundertryckning erbjuder kraftig minskning av det vanligaste problemet hos konventionella hörapparater, akustisk återkoppling. Detta är intressant för patienter med kraftig hörselnedsättning som kräver hög förstärkning. Metoden är ofta LMS-baserad och kräver oftast någon form av "träningssignal" för systemidentifiering.

Undertryckning av kontinuerliga störljud

Metoden är intressant för personer som är beroende av hörapparat i miljö med starka kontinuerliga störljud av deterministisk typ inom t.ex. verkstadsindustri. Metoden kan även samtidigt användas för att reducera akustisk återkoppling utan något behov av "träningssignal" för systemidentifiering.

Automatiskt algoritmval

Det är önskvärt att automatisera omkoppling mellan olika signalbehandlingsalgoritmer lämpade för olika lyssningssituationer. Detta är speciellt viktigt för äldre personer som kan ha stora svårigheter att manövrera och förstå funktionen av inställningsdon. Med statistisk analys av inkommande programmaterial kan olika hörapparatens egenskaper optimeras för olika lyssningssituationer.

5.2.4 Lobformning

Lobformning innebär att man med ett flertal mikrofoner i kombination med signalbehandling kan styra en söklöb i en viss riktning, t.ex. rakt fram. Lobformning ökar signal/störförhållandet markant genom minskad upptagning av rumsliga störljud och efterklang samt minskar den sk. cocktailparty-effekten (babbel-maskering). Forskningen i dag fokuserar oftast på konventionella adaptiva metoder för störningsundertryckning av sidoinformation. Stocktronics har goda erfarenheter av de nya, mer avancerade, egenvärdesbaserade metoderna såsom WSF, MUSIC och ACM där vi gjort en del realistiska utvärderingar för passiv sonar. Dessa högupplösande metoder bör utvärderas för hörselskadade. Det är ej känt hos oss om högupplösande egenvärdesbaserade metoder har testats i hörapparatsammanhang.

5.2.5 Brussubtraktion

Inom detta område finns flera olika metoder som är intressanta (även seismiska metoder). Tidiga metoder baserades på spektralsubtraktion i frekvensdomänen. Svårigheten är att statistiskt tillfredställande skilja ut talinformation från programmaterialet vid lågt signal/brusförhållande. Mycket forskning sker i dag inom detta område då tekniken är mycket användbar i många olika kommunikationstillämpningar.

5.2.6 Taltransponering

I appendix beskrivs konventionella taltransponeringsmetoder samt en av undertecknad utvecklad metod för avancerad taltransponering. Den senare utförs i frekvensdomänen och är lämpad för infra-audiometrisk hörselnedsättning. Det är den enda existerande taltransponeringsmetod som kan klassas som "hi-fi" då distorsionen är extremt låg. Metoden uppvisar unika korrektions- och variationsmöjligheter. Den är enbart ämnad för gravt hörselskadade med lågfrekventa hörselrester. (Algoritmen används i dag i vår unika helium-talomvandlare för djupdykare).

5.2.7 Harmonisk syntes

I appendix beskrivs en av undertecknad patenterad teknik som genererar ett syntetiskt övertonsspektrum vilket ökar taluppfattbarheten samt förtydligar godtyckligt programmaterial, t.ex. musik. Liljeryds metod är numera etablerad inom amerikansk rundradio och är licensierad till AKG/Orban i USA. Genom att syntetiskt generera harmoniska spektralkomponenter vars avstånd från ursprungssignalens spektralkomponenter överstiger kritisk bandbredd, bidrar det nya övertonsspektrat till en upplevd konstruktiv energiökning. Denna energiökning ökar stimuli av hörselsinnet. Tekniken borde medföra en förbättring även för vissa hörselskadade.

5.2.8 Toppfaktorsbegränsning

I appendix beskrivs en förhållandevis enkel teknik baserad på amplitudbegränsning hos en modulerad signal. Metoden minskar skillnaden mellan konsonant och vokalenergi vilket innebär att svaga taljud förstärks kraftigt vilket resulterar i ökad taluppfattbarhet, särskilt vid lågt signal/stör-förhållande. Detta gäller både normalhörande och hörselskadade. En annan teknik utgår från formantfiltrering och snabb limitering vilket ger viss lågfrekvensdistorsion. Metoden är ett enklare alternativ till föregående teknik. Stocktronics håller på att utveckla en optimal teknik baserad på separat amplitudoptimering hos vokaler, tonande- och tonlösa konsonanter och sibilanter.

En förutsättning för dessa metoder är att talet på primärsidan (före processing) uppvisar gott signal/brusförhållande. Dessa metoder ger en markant förbättring av taluppfattbarhet vid lyssning i extremt bullrig miljö.

5.2.9 Efterklangsreduktion

Patienter med nedsättning i högfrekvensområdet upplever ofta olika lokalers efterklang i lågfrekvensområdet mycket besvärande vilket resulterar i reducerad taluppfattbarhet. Det är därför önskvärt att med efterklangsreduktion (de-reverberation) minska den rumsliga efterklangen för patienten. Förhållandevis lite forskning är gjort inom detta smala signalbehandlingsområde och det är värdefullt att utvärdera i vilken omfattning dessa metoder kan förbättra taluppfattbarheten.

5.2.10 Automatisk långtidsanpassning

Anskaffning av hörapparat innebär ofta en stor förändring för patienten som inte alltid är enbart positiv. Hörselnedsättningen har blivit ett invariant "normalfall" och hörapparatens korrektion medför en ny upplevelse för patienten som känns ovan. Det är vanligt att man inte kompenserar förstärkningen i hörapparaten helt proportionellt mot hörtröskelnedsättningen, utan bara till c:a hälften, sk. Half Gain Rule. Andra liknande varianter av kompensering är 1/3 Gain Rule, NAL och POGO. I en digital hörapparat avser vi att inkorporera en realtidsklocka. Denna kan användas för att gradvis öka förstärkningen med tiden så att det inte blir en abrupt upplevelse för patienten. Korrektionen kan ökas automatiskt, från en måttlig nivå med t.ex. 1 dB per vecka, till dess att maximalt önskad korrektion erhålles.

5.3 DIAGNOSTIK OCH MÄTTEKNIK

5.3.1 AI-baserad audiometri

Inom den audiologiska diagnostiken ingår tonaudiometri, en process som bl.a. går ut på att fastställa patientens hörtröskel, obehagsnivå och lagomnivå. Talaudiometri används för att fastställa patientens förmåga att uppfatta tal. Problemet med konventionella metoder är att de ej tar hänsyn till patientens förmåga att uppfatta ljudstimuli och tal i bullrig och störande vardagsmiljö då testen oftast sker i tyst miljö.

Hos patienter med recruitment kan örats dynamikfunktion vid utprovningen mätas psykoakustiskt bl.a. med Fowlers balansmetod. Denna metod är mycket subjektiv. För att kompensera komplicerade hörseldefekter bör vi i framtiden noggrannare skraddarsy signalbehandlingen hos patientens hörapparat. Därför är det viktigt att individuellt kartlägga flera viktiga egenskaper hos patientens hörselrest med nya audiologiska mätmetoder. Dagens vanliga testmetoder är för enkla för att en god kvantifiering skall kunna ske. Problemet är även praktiskt/ekonomiskt då mätmetoderna ej får vara orimligt tids- och personalkrävande.

Under senare tid har framkommit en intressant (svensk) audiologisk mätmetod benämnd "Ljudfältsmetoden". Denna metod går ut på att i kontrollerad störande akustisk miljö (filtrerat brus), i närfältet m.h.a. högtalare, testa patientens hörsel. Härigenom underlättas ställningstagandet till i vilken mån patienten kan tillgodogöra sig någon förbättring med hörapparat.

Det är i dag möjligt att med hjälp av "intelligent" multi-media teknik bygga upp ett audiovisuellt system för att med olika audiometriska mätmetoder automatiskt kartlägga en patients behov. Metoden kan bestå av audio-visuell information som spelas upp på en datorskärm i realtid framför patienten med hjälp av svars- och händelsestyrda datorprogram. Tillhörande talade instruktioner samt testsignaler kan lagras på CD-rom. Programvaran kan bestå av ett AI-baserat expertsystem som känner av patientens respons i förhållande till olika stimuli och automatiskt anpassar testen efter patientens behov och kapacitet samt till resultatets statistiska varians. Tekniken kan även användas för automatisk hörapparatpassning och optimering då patienten är utrustad med en programmerbar digital hörapparat.

Detta skulle avlasta audiologen och effektivisera rutinerna så att mer tid kunde ägnas åt mera krävande uppgifter. Motsvarande händelsestyrda teknik används i dag i flygsimulatorer för utbildningsändamål och i de mest avancerade dator(video)spelen.

5.3.2 Funderingar kring utvärdering av hörselskada

Forskning och utveckling inom psykoakustiken baserar sig mycket på information från hörselskadade patienter och deras förmåga att förmedla sina upplevelser till audiologen eller forskaren. Ett stort problem är subjektiviteten. Det är mycket önskvärt att patienten kan uttrycka sina upplevelser i tekniska eller psykoakustiska termer så forskaren förstår problematiken i detalj. Här finns en stor barriär som förmodligen hämmar utvecklingen.

Det finns en världsomspännande förening bestående av hörselskadade musiker och ljudtekniker benämnd HEAR. I denna ingår många kända artister inom den moderna musiken såsom Elton John, Pete Townshend, m.fl.. Dessa har lång professionell erfarenhet av ljudupplevelser, lyssning, modern ljudteknik, avancerad ljudbearbetning och musik. Ofta har dessa artister också en god förmåga att uttrycka sig verbalt. Dessa individer vore mycket värdefulla att använda i psykoakustiska tester och olika utvärderingar. Dock är orsaken till deras hörselskador oftast densamma, d.v.s. hög ljudnivå, vilket kan vara en nackdel.

5.3.3 Mätmetoder

Under senare tid har i ett par forskningsrapporter påpekats möjligheten att använda MLS-sekvenser (Maximum Length Sequences) för analys och kvantifiering av hörapparater i stället för dagens internationellt standardiserade mätmetoder.

MLS har använts under senare år inom professionell ljudteknik, för att mäta elektroakustiska parametrar hos kommunikationssystem samt akustiska parametrar hos lokaler. Då mät-signalen är bredbandig (brus) är den lämplig för statistiska mätningar även på hörapparater med dynamisk ASP (Automatic Signal Processing).

Vi innehar ett mätinstrument (MLSSA) som erbjuder kvantifiering av MTF (Modulation Transfer Function) vilken kan användas till bestämning av taluppfattbarhet enligt STI (Speech Transmission Index) eller ALCONS (Articulation Loss of Consonants) i varierande miljöer.

En annan viktig mätmetod av MLS-typ, som verkar vara okänd inom hörapparattekniken är s.k. CSD-mätning (Cumulative Spectral Decay) vilken ger en tredimensionell tid-frekvens-amplitud representation av systemets impulsrespons. Denna metod avslöjar vissa egenskaper som ganska väl relaterar till upplevd ljudkvalitet. Man kan oftast enkelt "se" om en mikrofon, hörlur eller högtalare "låter illa".

Det finns även en annan sällan använd funktion benämnd inkohärens. Inkohärensen indikerar allt "skräp" och all slags distorsion som skapas i hörapparaten, såväl elektroniskt som elektro-mekaniskt, då den exciteras av bredbandigt brus.

Ovanstående mätmetoder kan ofta utföras med kombinationen 2-kanals FFT-analysator och en PC eller dedicerade instrument (MLSSA eller Crown TDS).

Dessa mätmetoder ger ett värdefullt tillskott vid kvalitetsbedömning av hörapparater eller utvärdering av nya konstruktioner och mätmetoder. Stocktronics har god erfarenhet av dessa mätinstrument och metoder.

5.4 PRAKTISKT UTFÖRANDE AV FRAMTIDA DIGITAL APPARAT

Den kosmetiska trenden inom hörapparatsektorn visar att patienterna ofta föredrar små "osynliga", i-öronkanalen apparater. Det är inom överskådlig framtid omöjligt att i så små enheter bygga in avancerad signalbehandling. Därför behövs någon form av kroppsburen enhet som kan göras tillräckligt stor för att innehålla avancerad signalbehandling, laddningsbara batterier och eventuellt en display och manöverdon för inställning av olika karaktäristika. Denna kan kombineras med små, i öronkanalen monterade, (helst peritympaniska) enheter innehållande mikrofon, hörtelefon, batteri och eventuellt sändare och mottagare. Talinformationen kan överföras med mikro-kabel eller trådlöst mellan de små öronenheterna och den kroppsburna processorenheten. Den kroppsburna processorenheten kan även innehålla ett par extra mikrofoner som kan väljas in vid extremt bullrig miljö varvid den används som en handhållen mikrofon.

6. SAMMANFATTNING

Dagens hörapparatteknik med analog signalbehandling får anses som primitiv och räcker i många fall inte till för att åstadkomma en avgörande förbättring för den hörselskadade, speciellt inte i bullrig och störande vardagsmiljö. Den kan förbättra taluppfattbarheten vid ledningshörselskador, men måste fortfarande anses som förhållandevis otillräcklig vid sensorineural nedsättning vilken innefattar ca 90% av alla hörselskador.

Det finns f.n. några få helt digitala hörapparater på marknaden. Dessa uppvisar enligt vår uppfattning inget markant nytänkande (ur audiologisk synvinkel) utan får anses som en naturlig utveckling av tidigare produkter. Ingen av dessa apparater uppvisar någon större processorkraft vilket är av största vikt då man vill tillämpa avancerade signalbehandlingsalgoritmer.

Vi har kartlagt hörapparatsproblematiken och kommit fram till att utvecklingen bör inrikta sig på en systemlösning där alla ingående länkar i kedjan optimeras, från testen hos audiologen till slutgiltigt hörselstimuli hos patienten.

Det viktiga i vår filosofi är att vi först bör minimera de fel hörapparaten i sig inför innan vi tillför kompensering åtgärder för att förbättra situationen för den hörselskadade. Hörapparaten måste optimeras elektroakustiskt och göras *transparent* med hjälp t.ex. av inversfiltrering.

Avancerad digital signalbehandling öppnar helt nya perspektiv och erbjuder metoder, teknik och lösningar som är omöjliga att realisera med analog teknik. Det är en inspirerande uppgift att utveckla en högpresterande digital hörapparat. Utvecklingen kommer att vara resurskrävande, men ett väl fungerande systemkoncept kommer att erövra en stor del av världsmarknaden. Cirka 3 - 5% av befolkningen i I-världen har behov av hörapparat. Inget företag tycks för närvarande satsa på tillverkning av ett *avancerat* digitalt system vilket gör uppgiften än mer stimulerande.

Baserat på vår erfarenhet inom elektroakustik och signalbehandling hävdar vi att det ligger inom våra möjligheter att ge hörapparatsproblemet en tillfredsställande lösning. Stocktronics AB har för avsikt att ta fram en komplett projektlösning och erbjuda denna till lämpliga aktörer inom området.

7. STOCKTRONICS AB

Stocktronics AB är världsledande i talprocessing inom dykarkommunikation. Problemet med talförvrängning, vid en kombination av heliumatmosfär och högt omgivningstryck vid så kallad mättnadsdykning, är välkänt och har sysselsatt många forskare (bl.a. prof G. Fant, KTH) sedan 60-talet. Offshore-industrin har drabbats av ett flertal dödsolyckor som delvis kan härledas till att kommersiell utrustning varit verkningslös under rådande förhållanden. 1986 presenterade Stocktronics AB, utan tidigare erfarenhet av dykarkommunikation, sin första avancerade talomvandlare som byggde på digital signalbehandling. Bolaget poängterade även betydelsen av att betrakta kommunikationsproblemet som ett systemproblem snarare än ett enskilt komponent-problem. Resultatet blev en större systemlösning där den ingående talomvandlingen för första gången kunde göras optimal och robust vilket bevisades vid dykning ända ned till rekorddjupet 650 m (satt under ett försök vid GUSI i Tyskland). Stocktronics har erövrat en monopolställning på världsmarknaden och övriga aktörer inom talomvandling och djupdykarkommunikation har tvingats upphöra med sin verksamhet eller ägna sig åt andra teknikområden.

Stocktronics grundare och ägare, Lars Liljeryd, har mångårig erfarenhet av högteknologi inom professionell ljudteknik, elektroakustik och signalbehandling. Liljeryd har även flera patent inom tekniken "förbättring av taluppfattbarhet med hjälp av harmonisk syntes" vilken användes i dag av många amerikanska radiostationer. Liljeryd har även stort intresse av undervattens-teknik och hydroakustik och utvecklar och provar ny teknik och nya metoder inom hydro-akustisk kommunikation, arrayprocessing och sonar. Liljeryd har även utvecklat metoder för mätning av dykares bullerexponering i heliummiljö vid stora havsdjup samt utfört subjektiva och objektiva taluppfattbarhetstester i svåra miljöer hos olika internationella uppdragsgivare.

Stocktronics utvecklar även avancerade adaptiva signalbehandlingsmetoder som förbättrar uppfattbarheten av svaga ljudsignaturer dolda i brus (passiv sonar). Liljeryd har vid flertal tillfällen sponsrat och handledt examensarbeten inom signalbehandling på KTH och CTH.

<< ----- >>