

De hoorbril

Prof.dr.ir. A.J.(Guus) Berkhout en Dr.ir. M.M.(Rinus) Boone, TU Delft

De hoorbril is een sterk richtinggevoelig hoortoestel, ingebouwd in een brilmontuur, dat het voor slechthorenden mogelijk maakt om in rumoerige omgevingen beter spraak te verstaan dan met normale hoortoestellen mogelijk is. Dit wordt bereikt met selectieve geluidversterking. De hoorbril versterkt geluid van voren en onderdrukt geluid van opzij en van achteren. Dit is ideaal voor spraakverstaan waarbij de spreker wordt aangekeken. Hiermee wordt een veelgehoorde klacht van slechthorenden ondervangen dat hun hoortoestel het af laat weten onder rumoerige omstandigheden zoals tijdens vergaderingen en feestjes.

De richtingwerking wordt verkregen met digitale signaalverwerking op de signalen van acht microfoons; vier in de linker brilveer en vier in de rechter brilveer. Hierbij wordt optimaal gebruik gemaakt van de looptijdverschillen van het geluid naar de verschillende microfoons en wordt het geluid dat van voren komt versterkt en uit andere richtingen verzwakt. De uitgangssignalen worden apart naar het linker en rechter oor gevoerd, waardoor ruimtelijk richtinghoren op een natuurlijke wijze behouden blijft. De hoorbril is het resultaat van jarenlang onderzoek dat aan de TU-Delft is uitgevoerd.

Theorie

Geluid wordt overgebracht van de ene naar de andere plaats als trillingen van de lucht. De voortplanting van de geluidgolven gaat met een zekere snelheid, namelijk circa 340 meter per seconde of 1200 km/uur. Dat is best snel, maar de effecten zijn welbekend. Een bekend voorbeeld is het verschil in tijd tussen het waarnemen van een onweersflits en de donderslag. Doordat het geluid als een golf door de lucht loopt heeft het geluid ook een richting. Evenals bij golven op het wateroppervlak (figuur 1) kan de richting van een geluidbron worden bepaald uit het waarnemen van de geluidgolf over een zekere uitgestrektheid.



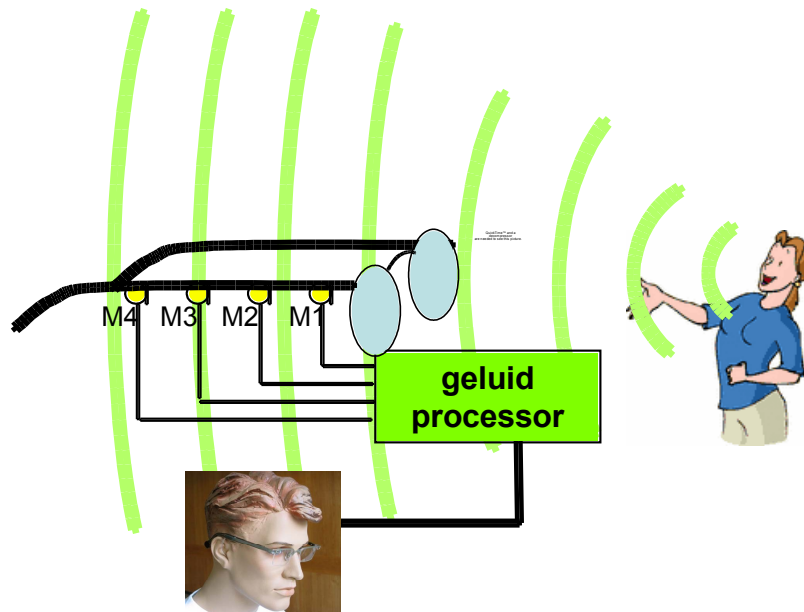
Figuur 1: Watergolven tonen door de richting waarin ze bewegen de bronrichting, hier van het steentje dat in het water werd gegoooid.

De looptijdverschillen van het geluid naar verschillende plaatsen maakt het ook mogelijk om richtingafhankelijke microfoons te maken. Om goed te kunnen werken worden zulke microfoons zo groot mogelijk gemaakt. In analogie met de optica is het ook mogelijk om geluidspiegels te maken, die het geluid focuseren in het brandpunt waar dan een microfoon geplaatst kan worden om het geluid te registreren. Echter, ook hierbij geldt dat zo'n spiegel groot moet zijn om veel effect te hebben. Onze oorschelpen zijn hier veel te klein voor. De hand achter het oor houden helpt alleen een beetje. Toch is het ook wel mogelijk om kleine richtinggevoelige microfoons te maken, maar de richtingswerking is dan beperkt en de geluidskwaliteit neemt vooral bij de lage frequenties (lage tonen, diepe geluiden) al snel af.

Dit is de reden dat wij gezocht hebben naar een richtinggevoelige microfoon die zo groot mogelijk is en toch comfortabel op het hoofd kan worden gedragen, zodat de kijkrichting ook de luisterrichting is. Zo kwamen wij eigenlijk vanzelf erop uit om hiervoor een brilmontuur te gebruiken. Wij hebben ons ook vanaf het begin erop gericht om niet een oplossing te verkrijgen met een enkele microfoon, maar met een samenstel van microfoons., zogenaamde 'microfoon-arrays'. Kleine microfoons die moeiteloos in een brilmontuur passen waren al bekend uit de hoorapparatenindustrie. Aan ons de taak om de uitgangssignalen van een aantal van zulke microfoons zodanig te bewerken dat een zo hoog mogelijke richtinggevoeligheid wordt bereikt.

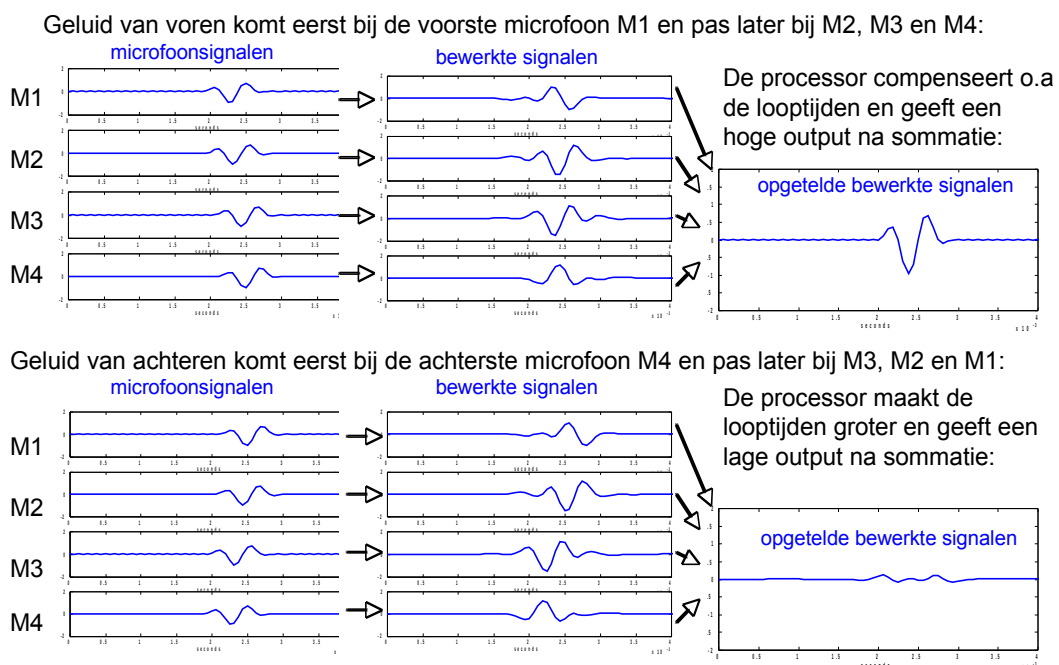
De richtinggevoeligheid is van groot belang om de gewenste geluiden, zoals spraak, te versterken en tegelijkertijd omgevingsgeluiden te verzwakken. Hierbij speelt de front/random verhouding, d.w.z. de verhouding tussen de gevoeligheid voor geluid van voren en geluid uit alle richtingen een essentiële rol. Deze verhouding wordt meestal in decibel (dB) uitgedrukt en bedraagt bij de normale richtinggevoelige hoortoestellen vaak niet meer dan 3 dB. Met de hoorbril zijn we erin geslaagd om dit getal circa 9 dB te maken en dit scheelt heel veel in de spraakverstaanbaarheid. Dit heeft iemand waarvan het gehoor flink is teruggelopen hard nodig onder omstandigheden met veel omgevingslawaaï. In een rustige omgeving is zo'n hoge richtinggevoeligheid niet nodig. Daarom hebben wij ook een speciale instelling ontworpen met lage richtinggevoeligheid (van circa 3 dB) die erg prettig is onder dergelijke omstandigheden.

Figuur 2 toont de schematische opbouw van de hoorbril. De microfoonsignalen worden naar een speciale processor gevoerd.



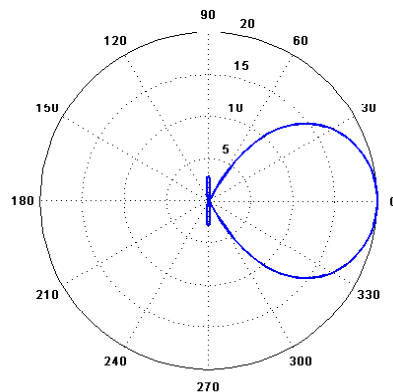
Figuur 2: Schematische opbouw van de hoorbril. De microfoonsignalen worden door een speciale geluidprocessor bewerkt voordat ze naar het oor worden gevoerd.

Figuur 3 laat zien hoe de geluidsignalen die van voren komen door hun looptijdverschillen naar de verschillende microfoons door optimale signaalverwerking een versterkt uitgangssignaal geven, terwijl geluiden die van achteren komen juist worden verzwakt.



Figuur 3: Schematische weergave van de richtingafhankelijke geluidprocessor.

Een anschouwelijke wijze om de richtinggevoeligheid van de hoorbril weer te geven is met het polair diagram van figuur 4 dat de relatieve gevoeligheid van het microfoon-array toont voor verschillende richtingen waaruit het geluid komt.



Figuur 4: Polair diagram van de richtinggevoeligheid van de hoorbril (bij 2000 Hz).

Onderzoek

Om de hierboven getoonde resultaten te bereiken is jarenlang onderzoek verricht waarbij promovendi in onze sectie onderzoek verrichtten. Dit onderzoek werd gesubsidieerd door STW, de Stichting voor de Technische Wetenschappen, die gelden van de ministeries van Onderwijs en Economische zaken beschikbaar stelt voor toepassingsgericht universitair onderzoek.

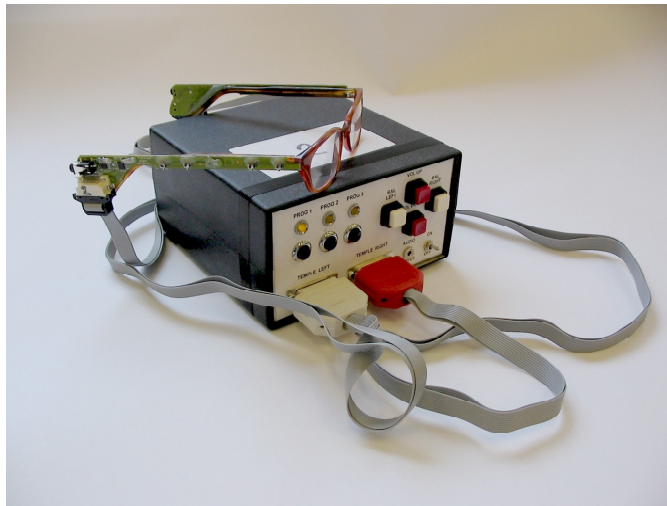
Het onderzoek ving aan in 1986 met het promotieonderzoek van Wim Soede, die begeleid werd door prof. Bilsen en prof. Berkhout en in 1990 op zijn onderzoekingen promoveerde. Hij was erin geslaagd om een aantal goed functionerende microfoon-arrays te ontwerpen die een goede richtinggevoeligheid gaven met een vijf-tal microfoons, die of aan de voorzijde van de bril werden geplaatst, of in één of twee brilveren. De laatste variant gaf de weg aan naar binauraal richtinggevoelig luisteren wat nauw aansluit bij het natuurlijk horen. Hoewel de resultaten zeer goed waren heeft dit ontwerp toch niet direct tot een product geleid omdat er gebruik moest worden gemaakt van microfoontjes die van zichzelf al richtinggevoelig zijn en daardoor ook grotere afmetingen hebben dan de normale rondomgevoelige microfoontjes.

Om die reden werd besloten om een tweede onderzoekssubsidie bij STW aan te vragen voor een vervolgonderzoek. Dit project werd gelukkig ook gehonoreerd en werd in de periode van 1995 -1999 onder leiding van prof. Berkhout en dr. Boone uitgevoerd door Ivo Merks. Ivo slaagde erin om zelfs een nog hogere richtinggevoelheid te bereiken met slechts 4 rondom gevoelige microfoontjes per microfoon-array. Het onderzoek leerde ons ook dat de beste plaats voor de microfoons in beide brilveren is, zodat twee aparte luisterbundels kunnen worden gemaakt die naar beide oren worden gevoerd en een zeer natuurlijk ruimtelijk horen mogelijk maakt.

Zowel bij het onderzoek van Soede als van Merks werden eerst simulaties van de bundelvormers uitgevoerd, waarna prototypes werden gebouwd. Deze prototypes dienden voor het uitvoeren van laboratoriummetingen om de toegepaste theorie in de praktijk te testen. De prototypes werden echter ook door proefpersonen gedragen, onder meer in het Audiologisch Centrum van de Erasmus Universiteit, in samenwerking met dr. Verschuure. Met deze

testen werd de grote verbetering van de spraakverstaanbaarheid in de praktijk aangetoond.

Het onderzoek van Soede en ook de eerste onderzoeken van Merks waren gericht op analoge ontwerptechnieken. Echter, eind negentiger jaren van de vorige eeuw was de digitale techniek zover gevorderd dat het mogelijk werd om digitale ontwerptechnieken toe te passen die veel meer vrijheid gaven bij de toe te passen signaalverwerking. Merks rondde zijn onderzoek af met geoptimaliseerde digitale filters die in het prototype werden verwerkt als een kast vol computerapparatuur.



Figuur 5: Draagbaar prototype van de hoorbril

In 2003 kregen wij de beschikking over een draagbaar digitaal prototype (zie figuur 5) waarmee wij uitgebreide testen hebben uitgevoerd in ons laboratorium, maar hier zijn ook veldtesten mee uitgevoerd waarbij ook gehoorverliescompensatie voor de slechthorende proefpersoon werd ingeprogrammeerd. Deze testen waren zondermeer een groot succes en bevestigden wat wij in 1985 al vermoedden: vrijwel alle proefpersonen vonden de hoorbril een aanzienlijke verbetering t.o.v. hun normale hoortoestel wat betreft spraakverstaanbaarheid en natuurlijk luisteren. Het mooiste compliment dat wij vaak kregen is "dat hij niet aan stond", terwijl de proefpersoon ons wel goed kon verstaan, wat zonder hoortoestel toch echt een probleem was geweest.

Bron: <http://www.soundcontrol.tudelft.nl/hoorbril/>