

Verbeterde directionele strategie met nieuwe binaurale beamformer leidt tot een aanzienlijk verbeterde spraakherkenning in lawaai

Charlotte T. Jespersen, MA; Jennifer Groth, MA

SAMENVATTING

Hoortoestellen kunnen vele aspecten van de levenskwaliteit verbeteren, maar goed horen in lawaai blijft iets waar gebruikers moeite kunnen hebben. Directionele microfoons in hoortoestellen kunnen helpen, maar kunnen het voor gebruikers ook moeilijk maken om gesprekken te volgen of hun omgeving in de gaten te houden. Ongevenste invloed op de geluidskwaliteit kan ook een nadeel zijn. De organisch horen-filosofie die ReSound hanteert, leidt een binaurale strategie voor het toepassen van directionaliteit die rekening houdt met hoe de hersenen van nature op verschillende manieren luisteren, afhankelijk van de luisterdoelen van de gebruiker in verschillende situaties, en de geluidskwaliteitsvoorkeuren van de gebruiker. Met de ReSound OMNIA introduceren we verbeterde directionele technologie en betere controle over automatisch schakelen. In deze paper beschrijven we hoe 360 All-Around en Front Focus een verbazingwekkende verbetering van 150% in spraakherkenning kunnen bieden in vergelijking met oudere technologie, terwijl het auditieve bewustzijn van de omgeving behouden blijft.

Het dragen van hoortoestellen verbetert de hoorgerelateerde levenskwaliteit en het vermogen om te communiceren.^{1,2} Mensen die hoortoestellen dragen, geven vaak aan dat de verrijking die ze ervaren hen doet wensen dat ze niet zo lang hadden gewacht om ze aan te schaffen.³ Bovendien erkennen ze dat het niet gebruiken van hoortoestellen wanneer ze nodig zijn meer stigmatiserend is dan het gebruik ervan.⁴ Hoewel er veel positieve effecten zijn van het dragen van hoortoestellen, kunnen ze nog steeds worden verbeterd. Veel ideeën voor het verbeteren van hoortoestellen richten zich op het voortdurende probleem van beter horen in luidruchtige omgevingen.

Directionele microfoons in hoortoestellen zijn een technologie waarvan bewezen is dat ze de signaal-ruisverhouding en spraakherkenning voor de gebruiker van het hoortoestel verbeteren.⁵ Er is veel aandacht besteed aan het onderzoeken van factoren die van invloed zijn op het voordeel van directionaliteit, en ontwikkelingen hebben grotendeels betrekking op hoe ze nog beter kunnen werken. Gedreven door de organisch horen-filosofie heeft ReSound een unieke weg gevolgd in het toepassen van directionele microfoons in hoortoestellen die de manieren ondersteunen waarop mensen natuurlijk luisteren in verschillende soorten situaties. Hierbij moet niet alleen rekening worden gehouden met de akoestiek van de omgeving, maar ook met de luisterintentie van de persoon in die situatie.

een druk café bezoekt. Er zijn ten minste drie verschillende luisterdoelen die relevant zouden zijn in deze situatie. Eerst moet u uw bestelling plaatsen en betalen, wat betekent dat u zich moet richten op de persoon die u wil bedienen. Ten tweede wilt u misschien babbelen met één van uw vrienden en tegelijkertijd luisteren of uw naam wordt genoemd als uw bestelling klaar is. Dit vereist selectieve aandacht voor uw vriend, terwijl u de omgeving in de gaten houdt om uw naam te horen. Tot slot wilt u het levendige gesprek met uw vrienden volgen wanneer u gaat zitten en geniet van uw drankje. Dit vereist het verdelen en verplaatsen van uw aandacht. In al deze gevallen verandert de akoestische omgeving niet veel, maar hoe u uw gehoor gebruikt wel. Recent onderzoek toont aan hoe onze hersenen anders handelen, afhankelijk van hoe we willen luisteren. Studies waarbij fysiologische methoden worden gebruikt om de hersenactiviteit te meten wanneer verschillende soorten luisterstrategieën worden gebruikt, wijzen erop dat de specifieke strategie verschillende gebieden activeert van een verbonden netwerk van hersengebieden, die verantwoordelijk zijn voor auditieve associatie, aandacht en spraakverwerking.⁶ Dit suggereert verder het belang van het niet toepassen van een 'one-size-fits-all' benadering van directionaliteit, waarbij wordt aangenomen dat de luisterdoelen van een gebruiker alleen afhankelijk zijn van akoestische omgeving.

Stel je bijvoorbeeld voor dat je met een paar vrienden

De ReSound-strategie voor het toepassen van directio-

nele microfoontechnologie is het automatisch selecteren van één van de drie luistermodi die waarschijnlijk het meeste voordeel bieden zonder de luisterdoelen van de gebruiker in zijn/haar omgeving te verstoren.^{7,8} Deze modi en de beweegredenen voor elk ervan worden in de tabel weergegeven.

LUISTERMODUS	Toelichting	Technisch detail
Spatial Cue Preservation	Benadrukt natuurlijkheid en algehele geluidskwaliteit	M&RIE kanaalmicrofoon en binaurale compressie toegepast op beide hoortoestellen
Binauraal luisteren	Maakt gebruik van de binaurale verwerkingscapaciteit van de hersenen om de focus te verplaatsen zonder het contact met de omgeving te verliezen	Asymmetrische directionele respons met directionaliteit aan de ene kant en omni-directionaliteit aan de andere kant
Spraakverstaan	Voorziet de beste SNR in luidruchtige omgevingen waar er alleen detecteerbare spraak vóór de gebruiker is	Bilaterale directionele respons

TECHNOLOGISCHE UPDATES

Met de ReSound OMNIA introduceren we drie belangrijke updates van de technologie die de directionele strategie mogelijk maakt:

1. Een verbeterde afgewogen binaurale beamformer met een betere resolutie die een sterkere directionele respons biedt.
2. Streaming van geluid tussen de hoortoestellen zorgt voor hoorbaarheid en bewustzijn rondom.
3. Een nieuw sturingssysteem dat de beste luistermodus selecteert en handhaaft, zelfs in onstabiele geluidsachtergronden.

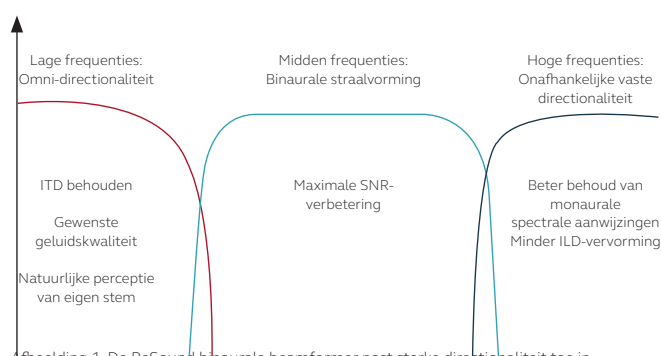
Al deze verbeteringen zijn verwerkt in een nieuw automatisch programma, **360 All-Around**. Een nieuw door de gebruiker te selecteren programma, **Front Focus**, biedt extra voordelen in vergelijking met het oudere Ultra Focus-programma, dankzij de binaurale beamformer met hogere resolutie.

Binaurale beamformer met hogere resolutie

Een binaurale beamformer in hoortoestellen vertrouwt op ear-to-ear streaming om een zeer directioneel, monoraal signaal te creëren dat meestal aan beide oren wordt afgegeven. Hoewel het via deze aanpak mogelijk is de technische SNR op oorniveau te verbeteren, zijn er nadelen als de hoortoestellen gedragen worden door de gebruiker. Van groot belang is het gegeven dat binaurale gehoorsignalen die luisteraars helpen om concurrerende geluidsstromen te lokaliseren en te scheiden in complexe en realistische luistersituaties, geëlimineerd worden met deze technologie. ReSound maakt in plaats daarvan gebruik van een multiband-benadering om ruimtelijke

hoorsignalen te behouden.⁸ Zoals te zien is in Figuur 1, is binaurale beamvorming beperkt tot een middenfrequentiebereik dat kritieke spraakinformatie bevat. Beginnend met de ReSound OMNIA, de fijnere resolutie in het signaal gestreamde ear-to-ear in deze regio versterkt de Directivity Index (DI) met ongeveer 5 dB in vergelijking met de technologie die geïntroduceerd is in ReSound ONE.

Boven 5000 Hz wordt vaste directionaliteit onafhankelijk toegepast door elk hoortoestel om monaurale spectrale signalen beter te behouden. Onder een configureerbare crossoverfrequentie wordt omni-directionele verwerking toegepast. Naast het voordeel om zo Interaural Timing Differences (ITD) te behouden, die belangrijke lokalisatie-aanwijzingen zijn, heeft de omni-directionele respons ook effecten die gebruikers direct kunnen waarderen. Dit zijn consistente geluidskwaliteit in verschillende luistermodi alsmede consistente en natuurlijke eigen stemperceptie.



Afbeelding 1: De ReSound binaurale beamformer past sterke directionaliteit toe in het middenfrequentiebereik, terwijl ruimtelijke hoorsignalen behouden blijven in de lage en hoge frequentiebanden. Omni-directionele verwerking in de lage frequenties zorgt voor een consistente geluidskwaliteit en eigen stemperceptie, ongeacht de luistermodus.

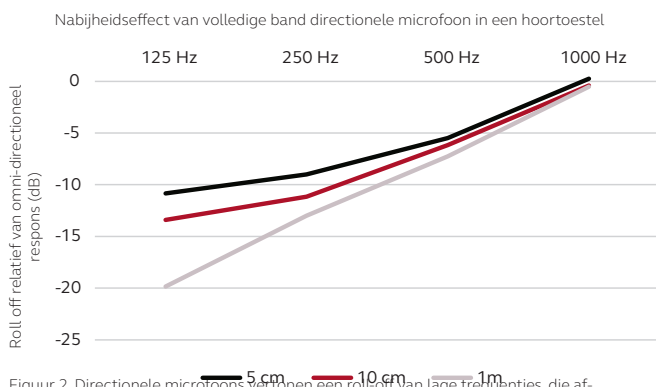
Consistente geluidskwaliteit

We hebben aangetoond dat luisteraars de voorkeur geven aan de geluidskwaliteit van het toepassen van een omni-directionele respons in de lage frequenties in vergelijking met volledige band directionaliteit, en dat luisteraars de geluidskwaliteit van bandsplit directionaliteit met een omni-directionele respons in de lage frequenties beoordelen als gelijk aan een volledige omni-directionele respons.^{9,10} Daarom is het mogelijk om te schakelen tussen de Spatial Cue Preservation-modus, Binaural Listening-modus (binaurale luistermodus) en Speech Intelligibility-modus (spraakverstaanmodus) zonder dat de gebruiker het merkt, maar de gebruiker profiteert wel van elke modus in de specifieke akoestische omgeving.

Consistente natuurlijke perceptie van eigen stem

Een al lang bestaand probleem met directionele microfoons in hoortoestellen is dat ze lage frequentiegeluiden, die dichtbij plaatsvinden, meer versterken dan geluiden die van een grotere afstand binnenkomen. Dit heet het nabijheidseffect en wordt geïllustreerd in afbeelding 2. De eigen stem van de gebruiker is heel dicht bij de microfoons van het hoortoestel en wordt daarom meer versterkt ten opzichte van geluiden die verder weg zijn

wanneer er een directionele respons is in de lage frequenties; het effect is dat de eigen stem van de gebruiker luid, dreunend en onnatuurlijk klinkt. Dit wordt nog verergerd door de laagfrequente roll-off te balanceren, die inherent is aan directionele microfoons.¹¹ Door een omni-directionele respons te behouden in de lagere frequenties, worden zowel de laagfrequente roll-off als het nabijheidseffect volledig vermeden, en blijft een goede kwaliteit van de eigen stem behouden, ongeacht welke luistermodus 360 All-Around heeft geselecteerd. Zo kunnen gebruikers in iedere omgeving beter horen zonder afleidende bijwerkingen zoals het geluid van hun eigen stem dat onnatuurlijk is of van kwaliteit verandert.



Figuur 2. Directionele microfoons vertonen een roll-off van lage frequenties, die afhankelijk is van de afstand tot de geluidsbron. Geluiden die zich dicht bij de microfoons bevinden – zoals de stem van de hoortoestelgebruiker zelf – kunnen storend hard klinken. Omni-directionele verwerking in de lage frequenties met ReSound directionaliteit voorkomt dit nabijheidseffect.

360 All-Around bewustzijn

Een belangrijk concept van de directionele strategie van ReSound is ervoor te zorgen dat directionele verwerking de intentie van de gebruiker niet verstoort. Zoals besproken, worden de luisterdoelen van mensen die in echte omgevingen functioneren niet alleen voorspeld op basis van de akoestiek van die omgevingen. Het is aangetoond dat de binaurale luistermodus van de ReSound directionele strategie betere hoorbaarheid biedt voor spraak buiten de as (niet vóór de luisteraar) dan andere premium hoortoestellen met binaurale beamvorming. Dit werd bereikt door een zorgvuldig ontwerp van de directionele eigenschappen van het niet-directionele toestel in de Binaurale luistermodus ter compensatie van het hoofdschaduw effect,¹² en het is aangetoond dat het aanzienlijk betere hoorbaarheid biedt voor sprekers buiten de as dan beamvorming over de volledige bandbreedte in andere premium hoortoestellen.⁷ Vanwege de hoge resolutie ear-to-ear streamingcapaciteit is het mogelijk om de binaurale luistermodus te ontwikkelen in 360 All-Around voor optimale hoorbaarheid van geluiden rondom de luisteraar door het geluid te streamen van de zijde waar directionaliteit wordt toegepast naar de zijde waar omni-directionaliteit wordt toegepast.

Besluitvaardigheid zorgt voor voordeel

De omgevingsclassificatie in ReSound-hoortoestellen is afhankelijk van probabilistische modellen om de akoestische omgeving te karakteriseren. Dit is nauwkeurig gebleken in vergelijking met subjectieve beoordelingen van de omgeving.¹³ Besluitvorming over hoe sommige functies, zoals NoiseTracker II lawaai onderdrukking, worden toegepast, gebruikt gegevens uit het classificatiesysteem op continue basis om transparantie te garanderen

en om te profiteren van onze ervaring dat gebruikers afgeleid kunnen worden door hoorbare veranderingen in de verwerking van hoortoestellen. Tot nu toe was het sturen tussen de luistermodi van onze directionele strategie ook gebaseerd op waarschijnlijkheden. Dit kan echter leiden tot zeer langzame overgangen tussen de verschillende luistermodi, waarbij de hoortoestellen niet volledig in de ene modus of de andere staan, waardoor gebruikers mogelijk het beoogde voordeel mislopen, vooral in instabiele geluidsachtergronden.

Vanaf ReSound OMNIA wordt een nieuw sturingssysteem geïntroduceerd dat de bewezen omgevingsclassificatie behoudt, maar een nieuwe methode implementeert om te wisselen tussen luistermodi op basis van een deterministisch model. Dit zorgt voor een duidelijker onderscheid tussen de luistermodi als de hoortoestellen in echte omstandigheden gedragen worden. De tijd die nodig is om te schakelen tussen modi is ongeveer gehalveerd in vergelijking met oudere technologie, met overgangstijden die variëren van 1 tot 7 seconden sneller, afhankelijk van de luistermodus. Het resultaat is een robuust systeem dat de juiste luistermodus analyseert, resoluut kiest en handhaaft op basis van een conservatieve beoordeling van welke luistermodus de meest waarschijnlijke luisterstrategieën van de gebruiker ondersteunt.

AANGETOONDE PERCEPTUELE VOORDELEN

Om de verbeteringen te documenteren die geïmplementeerd zijn in 360 All-Around en Front Focus in vergelijking met de oudere functies in ReSound ONE, zijn twee laboratoriumexperimenten uitgevoerd. Bij beide tests namen vijftien personen met bilateraal matig aflopend perceptief gehoorverlies (12 mannen en 3 vrouwen) deel. Alle deelnemers waren ervaren hoortoestelgebruikers met een mediaan van 12 jaar ervaring met versterking (1e kwartiel: 8 jaar en 3e kwartiel: 14 jaar). De gemiddelde leeftijd van de deelnemers was 73 jaar met een eerste kwartiel van 67 jaar en een derde kwartiel van 74 jaar.

EXPERIMENT 1: VOORDEEL SPRAAKHERKENNING IN LAWAAI

Methoden

Hoortoestellen en aanpassing

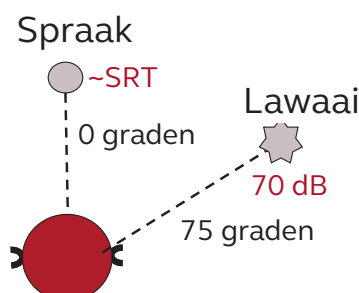
De geteste hoortoestellen waren ReSound OMNIA Receiver-in-het-oor (RIE) in omni-directionele modus, het 360 All-Around programma en Front Focus directionaliteit. OMNIA werd vergeleken met oudere ReSound ONE RIE in omni-directionele modus, het All Access Directionaliteitsprogramma en Ultra Focus directionaliteit. Omdat een open aanpassing het voordeel van directionaliteit kan verminderen,¹⁴ werden de hoortoestellen aangepast met power-eartips om het potentiële voordeel van 360 All-Around directionaliteit te isoleren. De hoortoestellen zijn aangepast aan de eigen versterkingsregel Audiogram+.

Testmateriaal, condities en opstelling

De deelnemers voltooiden een spraakherkenning in lawaaitest die een licht gewijzigde versie was van de Dantale II-test.¹⁵ De test bestaat uit zinnen van vijf

woorden en werd gepresenteerd in een achtergrond van een statisch spraakgeluid bij 70 dB SPL. Voor elke test worden dertig zinnen uitgesproken. Het spraakniveau wordt gemanipuleerd om een SRT (Speech Reception Threshold) van 50% correcte prestaties te bepalen, wat resulteert in een dB SNR-score, met betere prestaties die worden onthuld door lagere dB SNR-scores. De geteste hoortoestellen hebben adaptieve functies die afhankelijk zijn van de identificatie van spraak en lawaai in de omgeving. Om ervoor te zorgen dat alle adaptieve functies werden geactiveerd tijdens het testen van de Dantale II-test, werd het geluid 30 seconden voor het begin van de test gestart. De test werd uitgevoerd in een geïdealiseerde situatie om maximaal voordeel te halen uit de directionele functies. Daarom werden de handmatig selecteerbare programma's Front Focus (ReSound OMNIA) en Ultra Focus (ReSound ONE) gebruikt. Merk op dat Front Focus en Ultra Focus dezelfde directionele respons bieden als de spraakverstaanbaarheidsmodus in 360 All-Around en All Access Directionaliteit, behalve dat de crossover-frequentie in de lage band vast is in plaats van configureerbaar. Bovendien werd spraakmateriaal en lawaai banddoorvoer beperkt tot 500-4000 Hz om de taakmoeilijkheid te vergroten door plafondeffecten te vermijden.

De testen werden voltooid met de deelnemers in een geluidskamer met spraak gepresenteerd op een azimut van 0 graden en statisch geluid gepresenteerd op een azimut van 75 graden rechts. De positionering van het concurrerende geluid in het voorste vlak was bedoeld om de sterkere directionele respons – die ook kan worden beschouwd als een smallere directionele bundel – van Front Focus te benadrukken in vergelijking met Ultra Focus. De opstelling wordt geïllustreerd in Figuur 3. De testvolgorde van de voorwaarden en de zinnenlijst werden over de deelnemers heen gecompenseerd.

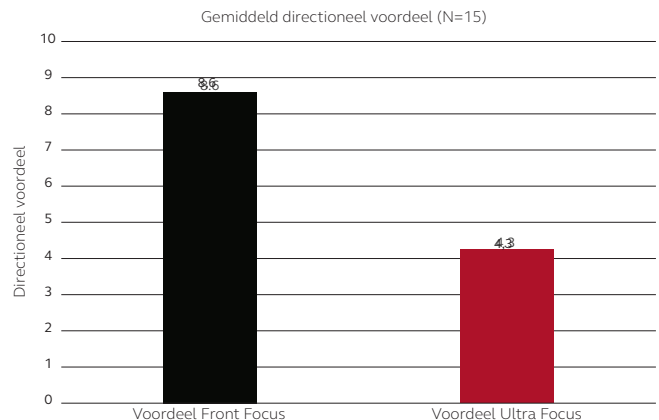


Figuur 3: Testopstelling gebruikt voor het meten van SRT's met adaptieve SNR's voor een spreker vooraan in de omni-directionele, Front Focus- en Ultra Focus-modus.

Resultaten

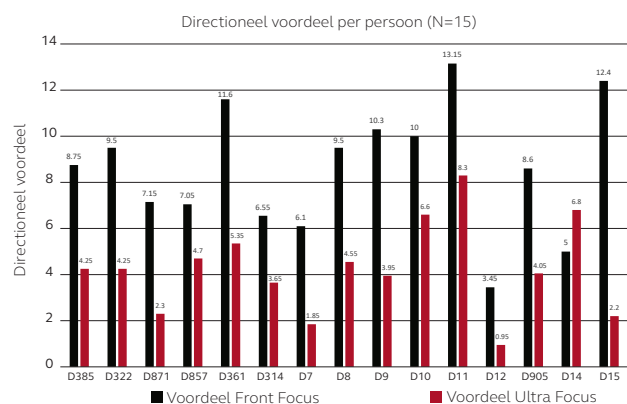
Zowel de Ultra Focus als Front Focus toonden aanzienlijke verbeteringen ten opzichte van hun respectievelijke omni-directionele modi. Nog interessanter was dat Front Focus een aanzienlijke verbetering opleverde ten opzichte van Ultra Focus (paired samples t-test: $t = 6,17$, $p < 0,001$). Het gemiddelde directionele voordeel voor Ultra Focus was 4,3 dB, terwijl Front Focus een gemiddeld directioneel voordeel van 8,6 dB bood. Front Focus zorgde voor een aanzienlijke verbetering van 4,3 dB ten opzichte

van Ultra Focus (Afbeelding 4). Door dit voordeel af te ronden op 4,5 dB, zou dit een intensiteitsverhouding van 2,5 vertegenwoordigen, waardoor we een ongelooflijke verbetering van 150% in spraakherkenning in lawaai voor Front Focus kunnen schatten in vergelijking met Ultra Focus.



Figuur 4: Gemiddeld directioneel voordeel voor Front Focus en Ultra Focus door de gebruiker te selecteren directionele programma's met binaurale straalvorming. Front Focus en Ultra Focus bieden vergelijkbare directionele voordelen als de spraakverstaanbaarheidsmodus van de automatische 360 All-Around (ReSound OMNIA) en All Access Directionaliteit (ReSound ONE) programma's.

Directionele prestaties voor Front Focus en Ultra Focus per deelnemer zijn te zien in Afbeelding 5. Alle deelnemers op één na kregen extra directionele voordelen met Front Focus in vergelijking met de directionele voordelen die worden waargenomen met Ultra Focus.



Figuur 5: Front Focus en Ultra Focus prestaties per deelnemer. Alle deelnemers lieten een minimaal directioneel voordeel van 5 dB zien met Front Focus, en 14 van de 15 deelnemers deden het beter met Front Focus dan Ultra Focus.

Conclusie

Zowel de ReSound ONE Ultra Focus als ReSound OMNIA Front Focus directionele programma's boden een aanzienlijk directioneel voordeel. Front Focus leverde een aanzienlijke verbetering op ten opzichte van Ultra Focus.

EXPERIMENT 2: RUIMTELIJKE WAARNE-MING

Methoden

Hoortoestel aanpassing

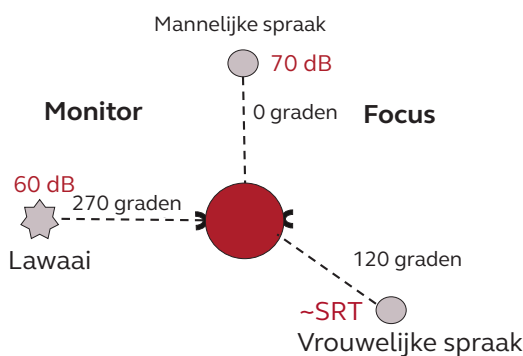
In dit experiment werden de hoortoestellen aangepast met een speciale instelling waarmee ze in de binaurale luistermodus van 360 All-Around (ReSound OMNIA) en All Access Directionaliteit (ReSound ONE) gezet werden. Net als in Experiment 1 werden de hoortoestellen aan-

gepast met de Audiogram+ versterkingsregel en droegen de luisteraars power-eartips.

Testmateriaal, condities en opstelling

De deelnemers voltooiden de Dantale II¹⁵ spraakherkenning in lawaai-luistertest met de test aangepast om de doelspraak buiten de as te presenteren en met een extra concurrerend spraaksignaal. De testen werden uitgevoerd met de testdeelnemers in een geluidskamer met drie luidsprekers: één op 0 graden met mannelijke spraak bij 70 dB SPL, één op 270 graden met 60 dB SPL-ruis en één op 120 graden met beoogde vrouwelijke spraak (Figuur 6). Verder werd de test uitgevoerd zoals beschreven in Experiment 1.

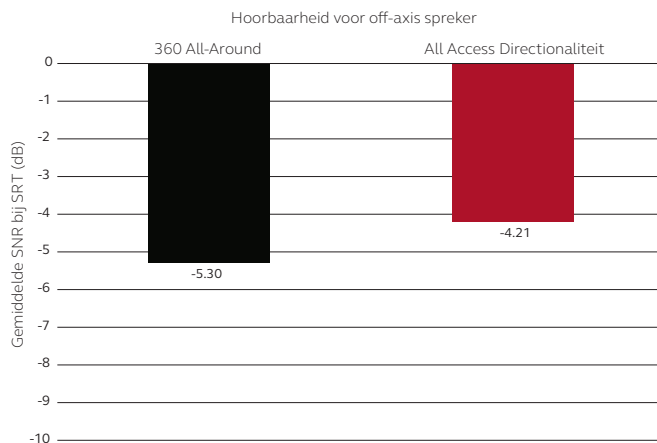
Deelnemers voltooiden een spraakverstaanbaarheids-test voor de ReSound OMNIA 360 All-Around binaurale luistermodus en de ReSound ONE All Directionality binaurale luistermodus condities. Zowel de voorwaarden als de volgorde van de zinnenlijst werden over de deelnemers heen gecompenseerd.



Figuur 6: Testopstelling gebruikt voor het meten van SRT's met adaptieve SNR's voor een vrouwelijke spreker op het achterste vlak in 360 All-Around binaurale luistermodus en All Access Directionaliteit binaurale luistermodus. 'Monitor' verwijst naar het oor dat een directionele respons heeft die ontwikkeld is om de hoorbaarheid te optimaliseren en, specifiek voor 360 All-Around, ook een gestreamd geluidssignaal ontvangt van het andere toestel om hoofdschaduw te elimineren. 'Focus' verwijst naar het oor dat de binaurale beamformer gebruikt. De beoogde vrouwelijke spraak werd daar geplaatst waar de binaurale beamforming het geluid naar verwachting zou annuleren.

Resultaten

De resultaten toonden een iets betere hoorbaarheid voor de vrouwelijke spreker buiten de as met 360 All-Around binaurale luistermodus in vergelijking met All Access Directionaliteit binaurale luistermodus, hoewel dit voordeel van 1,1 dB niet echt significant was (paired samples t-test; $t = 1,69$, $p = 0,056$). Als we de individuele resultaten bekijken, toonden 5 van de deelnemers een voordeel van ten minste 2 dB meer met 360 All-Around dan met All Access Directionaliteit. Slechts één deelnemer presteerde beter met All Access Directionaliteit.



Figuur 7: Gemiddelde SNR-scores voor een beoogde vrouwelijke spreker in het achterste vlak in de binaurale luistermodus van het automatische directionele programma. Hoorbaarheid was iets beter, maar niet significant beter met 360 All-Around dan met All Access Directionaliteit.

Conclusie

De binaurale luistermodus van 360 All-Around in ReSound OMNIA bood een iets, maar niet significant betere hoorbaarheid voor spraak buiten de as dan die van All Access Directionaliteit in ReSound ONE. Dit ondersteunt dat gebruikers met beide hun omgeving beter kunnen monitoren dan een directionele respons op beide oren, omdat de intentie van de luisteraar onbekend is in veel akoestische omgevingen met lawaai. De individuele resultaten suggereerden dat het off-axis voordeel met 360 All-Around groter is dan met All Access Directionaliteit in die gevallen waarin een verschil wordt aangetoond.

SAMENVATTING

Het 360 All Around automatische directionele programma en de door de gebruiker te selecteren Front Focus in de ReSound OMNIA bieden technologische verbeteringen in vergelijking met oudere directionele functies. Deze omvatten binaurale beamforming met hogere resolutie, ear-to-ear streaming van geluid om het bewustzijn van de situatie te optimaliseren, en een nieuw sturingssysteem dat het schakelen tussen luistermodi regelt. Twee luisterexperimenten testten het mogelijke voordeel van de verbeteringen voor zowel on-axis (vooraan) als off-axis luisteren in lawaai. Ze toonden aan dat de verbeterde binaurale beamformer een verbetering van 150% oplevert in vergelijking met oudere technologie in de geteste conditie, en dat de hoorbaarheid voor geluiden die niet aan de voorkant zijn, behouden blijft. Deze resultaten suggereren dat 360 All Around en Front Focus hoortoestelgebruikers nog betere ondersteuning bieden bij het toepassen van natuurlijke luisterstrategieën in hun dagelijks leven dan met voorgaande technologie.

Referenties

1. Kitterick PT, Ferguson MA. Hearing aids and health-related quality of life in adults with hearing loss. *JAMA*. 2018 Jun 5;319(21):2225-6.
2. Carniel CZ, Sousa JC, Silva CD, Fortunato-Queiroz CA, Hyppolito MÂ, Santos PL. Implications of using the hearing aids on quality of life of elderly. *InCoDAS* 2017 Oct 19 (Vol. 29). Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia.
3. European Hearing Instrument Manufacturers' Association (EHIMA) (2022). EuroTrak Duitsland 2022 (PowerPoint Slides). Opgehaald 13 juni 2022 van https://www.ehima.com/wp-content/uploads/2022/06/EuroTrak_Germany_2022.pdf.
4. Bisgaard N., Ruf S. Bevindingen uit EuroTrak-enquêtes van 2009 tot 2015: Hearing loss prevalence, hearing aid adoption, and benefits of hearing aid use. *American Journal of Audiology*. 12 oktober 2017;26(3S):451-61.
5. Bentler RA. Effectiveness of directional microphones and noise reduction schemes in hearing aids: A systematic review of the evidence. *Journal of the American Academy of Audiology*. 2005 Jul;16(07):473-84.
6. Agmon G, Yahav PH, Ben-Shachar M, Golumbic EZ. Attention to speech: Mapping distributed and selective attention systems. *bioRxiv*. 2021 Jan 1.
7. Jespersen CT, Kirkwood BC, Groth J. Increasing the effectiveness of hearing aid directional microphones. *In Seminars in Hearing* 2021 Aug (Vol. 42, No. 03, pp. 224-236). Thieme Medical Publishers, Inc.
8. Groth J. The evolution of the binaural hearing strategy: All Access directionality en Ultra Focus. *ReSound whitepaper*. 2020.
9. Groth J, Laureyns M, Piskosz M. Double-blind study indicates sound quality preference for Surround Sound Processor. *Hearing Review*. 2010;17(3):273-284.
10. Moeller M, Jespersen C. The effect of bandsplit directionality on speech recognition and noise perception. *Hearing Review*. 2013; 20 (5):17-24.
11. Ricketts T, Henry P. Low-frequency gain compensation in directional hearing aids. *J Am Acad Audiol*. 2002;11:29-41.
12. Groth J. Binaural Directionality III: Directionality that supports natural auditory processing. *ReSound whitepaper*. 2017.
13. Groth J, Cui T. How accurate are environment classifiers in hearing aids? *Audiology Online*. 2017 Apr.
14. Winkler A, Latzel M, Holube I. Open versus closed hearing-aid fittings: A literature review of both fitting approaches. *Trends in Hearing*. 12 feb 2016.
15. Wagener K, Josvassen JL, Ardenkjær R. Design, optimization, and evaluation of a Danish sentence test in noise. *Int J Audiol*. 2003;42:10-17.

Internationaal hoofdkantoor

GN Hearing A/S
Lautrupbjerg 7
DK-2750 Ballerup
Denemarken
Tel.: +45 4575 1111
resound.com

CVR-nr. 55082715