

FREQUENCY COMPOSITION™: EN NY TILGANG TIL FREKVENSS- FORSKYDNING

MARTIN KURIGER,
DSP INGENIØR

CHRISTOPHE LESIMPLE,
KLINISK AUDIOLOG

Frekvensforskydning er kommet langt. I årenes løb har teknikken udviklet sig fra en kontroversiel funktion til én, der bliver mere og mere accepteret. Udviklingen i frekvensforskydning er et af emnerne i denne hvidbog. Andre emner er dens anvendelighed i tilfælde af dead regions i cochlea og dens potentiale for en bredere anvendelse. Diskussionen handler ikke kun om den tekniske effekt, men fokuserer også på de audiologiske fordele. Denne hvidbog beskriver også i detaljer Bernafons nye frekvensforskydningssystem og dets succes i interne tests.

Frekvens-
forskydning giver
nyt håb om at
overvinde
højfrekvente
høretab.

Nyt potentiale for succes

Fremskridt inden for teknologien har genoplivet det gamle begreb "frekvensforskydning". I de seneste par år er der faktisk sket en kraftig stigning i antallet af høreapparater med frekvensforskydning. Denne tendens ser ud til at afspejle en ændring i opfattelsen af fordelene.

Førhen blev frekvensforskydningsteknikker primært anset for relevante for svære til meget kraftige høretab. Nu synes frekvensforskydning egnet til en bredere anvendelse, som også omfatter høreapparatbrugere, "der har mindre svære tab" (McDermott, 2010). Årsagen er, at frekvensforskydning øger brugerens opfattede båndbredde.

Ideen om frekvensforskydning er faktisk gammel, hvilket Bentler (2010) bekræftede: "Konceptet er ikke nyt - men potentialet for succes er". Hun baserer sit håb på nye digitale behandlingsteknikker. Med sin umiddelbare tilgængelighed giver frekvensforskydning nyt håb om at overvinde højfrekvente høretab.

Et alternativ i tilfælde af dead regions i cochlea

Bentler (2010) bemærkede endvidere, at "de højfrekvente lyde, der hovedsageligt sørger for evnen til at skelne mellem talelyde og klarheden i talelyde, ofte er de mindst hørbare for personer med høretab". Normalt er det muligt at genskabe hørbare lyde med brugen af et høreapparat. I nogle tilfælde giver forstærkning af de højfrekvente lyde imidlertid kun et begrænset udbytte. Dette fænomen var genstand for en undersøgelse, hvoraf Vickers, Moore og Baer (2001) konkluderede: "Vores data tyder på, at den vigtigste faktor er tilstedeværelsen eller fraværet af en dead region ved høje frekvenser" (s. 1172).

"Dead region" termen stammer fra en artikel af Moore, Glasberg og Vickers (1996). Det betegner et område i basilarmembranen, hvor de indre hårceller og/eller neuroner ikke længere fungerer. Med hensyn til dead regions beskriver Vickers et al. (2001) i detaljer deres resultater: "Patienter uden en dead region ved høje frekvenser vil generelt drage fordel af forstærkning af de høje frekvenser, mens det generelt ikke vil gavne patienter med en dead region" (s. 1172).

Således har dead regions en stor indflydelse. Ikke alene medfører de tab af vigtige informationer og gør det vanskeligt at forstå tale og at høre nogle lyde fra omgivelserne, de reducerer også fordelene ved høreapparatets forstærkning. I disse situationer kan frekvensforskydning være alternativet, der forbedrer behandlingen.

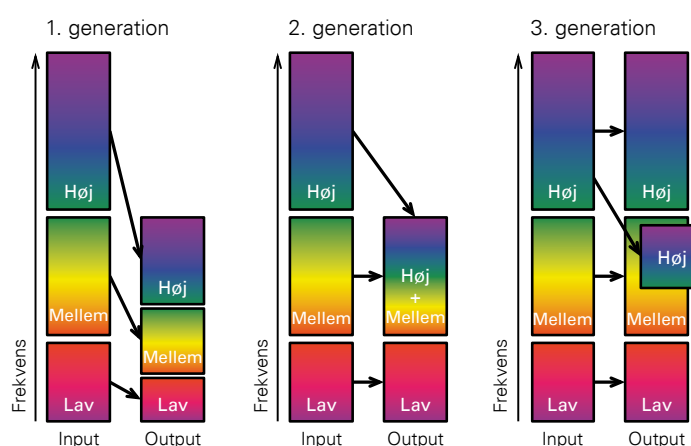
Udviklingen i frekvensforskydning

Forskere indså tidligt, at frekvensforskydning muligvis kan løse problemet forbundet med dead regions. Denne tilgang giver faktisk mening. Tag de højfrekvente lyde, som en bruger ikke kan høre, og flyt dem til et lavere frekvensområde, hvor brugerens hørelse stadig er intakt. På denne måde bliver disse lyde hørbare igen.

Det første forsøg på at indføre et anvendeligt system stammer fra 1960'erne. På det tidspunkt var teknologien ikke tilstrækkelig udviklet, og det blev ikke en succes. I en monografisk undersøgelse konkluderede Braida et al. (1979): "Med kun få undtagelser har resultaterne af tidligere forskning i frekvensforskydning været negative" (s. 108).

Et par årtier senere skabte overgangen fra analoge til digitale høreapparater en ny bølge af interesse. For første gang blev det muligt at anvende frekvensforskydning i et kommercielt tilgængeligt BTE-høreapparat. Som følge heraf øgedes forskningsindsatsen, hvilket medførte implementering af frekvensforskydning i flere modeller.

Modeller fra den tredje generation bevarer de højfrekvente signalkomponenter ved den oprindelige placering.



Figur 1: Modeller for frekvensforskydning – ét eksempel per generation

Som vist skematisk i figur 1, udgør disse modeller tre trin i udviklingen:

1. Modeller fra den første generation (1990'erne) reducerer frekvensen på alle signalkomponenter i hele frekvensområdet: lav, mellem og høj. Typisk betegnelse: lineær frekvenskompression.
2. Modeller fra den anden generation (2000'erne) har to egenskaber:
 - I. De reducerer kun frekvensen af signalkomponenter i de mellem og høje frekvenser.
 - II. De efterlader et tomrum i højfrekvensområdet.
 Typisk betegnelse: ikke-lineær frekvenskompression.
3. Modeller fra den tredje generation (2010'erne) har tre egenskaber:
 - I. De reducerer kun frekvensen af signalkomponenter i de høje frekvenser.
 - II. De bevarer de højfrekvente signalkomponenter ved den oprindelige placering.
 - III. De lægger de forskudte signalkomponenter oven på det eksisterende signal på destinationen.
 Typisk betegnelse: gengivelse af spektral funktion.

Erfaringerne med frekvensforskydningssystemer har udvidet indsigten i deres finesser, men der er stadig ubesvarede spørgsmål. For eksempel var effekten hovedfokus førhen, mens opretholdelsen af lyd kvaliteten har fået større betydning i årenes løb. Faktisk mislykkedes første generationssystemerne, fordi de påvirkede de lave frekvenser og dermed forringede lyd kvaliteten i en u hensigtsmæssig høj grad.

En anden udfordring er spørgsmålet om, hvordan man skal håndtere de højfrekvente signalkomponenter. For eksempel skrev Vickers et al. (2001): "For en patient med en dead region ved høje frekvenser kan der være flere fordele ved at reducere forstærkningen ved høje frekvenser" (s. 1174). I modsætning hertil råder Cox, Johnson og Alexander (2012) "mod at begrænse højfrekvent forstærkning alene fordi en patient har dead regions i et eller to højfrekvensområder" (s. 14).

Debatten afspejler, at der findes to modstridende risici: Uønskede virkninger i tilfælde af dead regions versus tab af information i tilfælde af resterende hørelse. Debatten forklarer også skridtet fra anden til tredje generation af systemer, dvs. at fjerne versus at bevare højfrekvente signalkomponenter. I øjeblikket synes den bedste løsning at være at tilbyde en fleksibel løsning i tilpasningssoftwaren. Med den mulighed kan høreapparatspecialisten tilpasse systemet efter brugerens behov.

Teknisk effekt og audiologisk fordel

Den tekniske effekt af frekvensforskydning er let at kontrollere, men det er ikke så let at kontrollere den audiologiske fordel. Aktuelt måleudstyr, f.eks. Audioscan Verifit, giver ganske vist mulighed for at måle den forbedrede gengivelse af højfrekvente lyde på en objektiv måde ved brugerens øre. Forbedret gengivelse betyder dog ikke nødvendigvis bedre taleforståelighed. Det akustiske signal kan faktisk lyde mærkeligt pga. de omplacerede signalkomponenter. Disse signalkomponenter kan lige såvel forvrænge eller maskere taleinformation i lavere frekvenser. Så i modsætning til den tilsigtede fordel er det også muligt, at frekvensforskydning gør skade.

Den audiologiske fordel ved frekvensforskydningsteknikker har været genstand for talrige undersøgelser. Til en vis grad gav undersøgelserne svingende resultater. Samlet bekræftede de dog teknikkenes potentiale til at forbedre taleforståeligheden i ro. Denne forbedring skyldes primært en bedre genkendelse af frikativer og affrikativer (Simpson, Hersbach og McDermott, 2005; Robinson, Baer og Moore, 2007; Glista et al., 2009). I en efterfølgende undersøgelse fandt Bohnert, Nyffeler og Keilmann (2010) frekvensforskydning gavnlige selv for tale i støj.

Undersøgelserne rejser nogle tilbagevendende spørgsmål:

- Fordelen ved frekvensforskydning varierer: Nogle brugere får et stort udbytte, andre overhovedet intet.
- Frekvensforskydning kræver en afvejning mellem en forbedring af taleforståeligheden og en acceptabel forringelse af lyd kvaliteten.
- Med hensyn til taleforståeligheden viser frekvensforskydning modsætningsfyldte egenskaber: Nyttige for ustemte lyde, men potentielt skadelige for stemte lyde.
- Den ændrede lyd fra et frekvensforskudt signal kræver tilvænning.

De sidste to aspekter interrelaterer med et systems driftsindstilling: Låst eller adaptivt. Formålet med den adaptive indstilling er at fremhæve udelukkende ustemte lyde, samtidig med at stemte lyde ikke berøres.

Talrige
undersøgelser
bekræftede
teknikkens
potentiale til at
forbedre
taleforståeligheden.

På denne måde forsøger den adaptive indstilling at undgå lydforringelser. Grundet dens løbende ændringer kan den adaptive indstilling dog være sværere at vænne sig til end en låst indstilling.

Kort sagt, når man søger efter et frekvensforskydningssystem, bør man overveje følgende punkter:

- For at bevare lyd kvaliteten skal signalkomponenter under 1,5 kHz forblive uændrede.
- Gain i de høje frekvenser skal forblive uændret - medmindre en bruger vil have fordel af en dæmpning.
- En adaptiv indstilling kræver længere tilvænnning end en låst indstilling.
- Taletests afslører, hvorvidt en bruger kan drage fordel af og vænne sig til en frekvensforskydning.

Frequency Composition™ – en tredje generationstilgang

Frequency Composition™ er Bernafons tilgang til frekvensforskydning. Frequency Composition™ er en tredje generationstilgang, og bevarer således de højfrekvente signalkomponenter ved den oprindelige placering, og de forskudte signalkomponenter lægges oven på det eksisterende signal på destinationen. Med bevarelsen af de højfrekvente lyde bibeholder Frequency Composition™ høreapparatets 10 kHz båndbredde, hvilket bidrager til lyd kvaliteten.

Frequency Composition™ er understøttet i tilpasningssoftwaren Oasis. Oasis giver fleksibilitet i konfigurationen af Frequency Composition™. I modsætning til standardindstillingen giver Oasis mulighed for at reducere højfrekvent gain, hvis det er nødvendigt. Oasis giver også mulighed for at reducere intensiteten i de forskudte signalkomponenter og dermed at mindske eller øge effekten af frekvensforskydningen gradvist.

I første trin analyserer Oasis brugerens audiogram og udvælger kandidater til Frequency Composition™. Dernæst bestemmes det individuelle valg af kilde- og destinationsområder. Proceduren for udvælgelse af kandidater er baseret på etablerede principper (Baer, Moore og Kluk, 2002; Vinay og Moore, 2007; Salorio-Corbetto, Baer og Moore, 2012). Oasis giver stadig mulighed for at aktivere Frequency Composition™ manuelt, hvor det ikke er valgt.

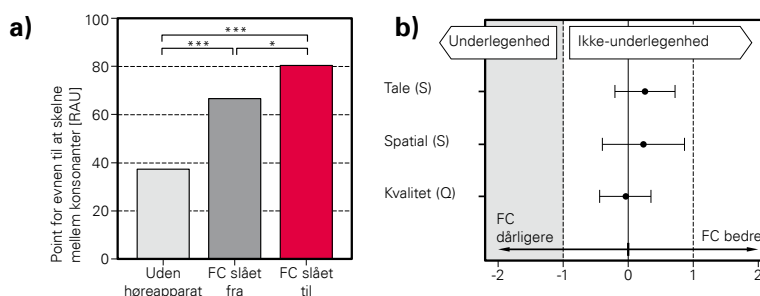
Udvælgelsen af kilden tager også signalegenskaber i betragtning. Især udnytter Frequency Composition™ forskellene i frikativernes spektrale form (stigende spektrum) versus vokaler (faldende spektrum). Frequency Composition™ opnår dermed, at en betydelig energi af frikative lyde vises i destinationen, samtidig med at uønskede virkninger på vokaler minimeres. På denne måde bevarer Frequency Composition™ lyd kvaliteten, og sammen med en låst indstilling gavner det også tilvænnningen.

Frequency
Composition™
opnår, at en
betydelig energi af
frikative lyde vises i
destinationen,
samtidig med at
uønskede
virkninger på
vokaler minimeres.

I sidste ende er det, der betyder noget, hvordan egenskaberne bliver til fordele. I denne henseende rejser frekvensforskydning tre spørgsmål:

1. Forbedrer et systems evne til at skelne mellem højfrekvente fonemer?
2. Bevarer det lyd kvaliteten?
3. Fungerer udvælgelsen af kandidater pålideligt?

For Frequency Composition™ er svaret på alle tre spørgsmål ja. Resultaterne af interne tests er vist i figur 2.



Figur 2: Testresultater med Frequency Composition™ (FC) - a) test af evnen til at skelne mellem konsonanter, b) SSQ ratings

Forbedring af evnen til at skelne mellem højfrekvente fonemer

Figur 2a viser resultaterne af en test af evnen til at skelne mellem konsonanter baseret på logatomer. Logatomer har en vokal-konsonant-vokal (VKV) struktur. De konsonanter, der blev benyttet i denne test, var de ustemte frikativer /s/, /f/ og /ʃ/ samt affrikatet /ts/. Kombinationen af de fire konsonanter med de tre vokaler /a/, /u/ og /i/ frembragte tolv forskellige logatomer. De genererede igen en liste over 24 testenheder, når de blev udtalt af en mandlig og en kvindelig taler.

Pointene i figur 2 blev opnået af 13 hørehæmmede personer med perceptiv høretab. Deres gennemsnitlige højfrekvente høretab udgjorde $81,1 \pm 9,1$ dB HL. Med denne grad af høretab var alle testpersonerne kandidater til at bruge Frequency Composition™, ifølge tilpasningssoftwaren Oasis.

Testen blev gennemført i tre tilstande: uden høreapparat, med høreapparat med Frequency Composition™ slået fra og med høreapparat med Frequency Composition™ slået til. Formålet med testen var at samle rådata i form af procent-korrekte scorer. Disse scorer blev derefter underkastet den rationaliserede arcussinus transformation (RAU), en metode der gør forholdsmæssige data velegnede til matematiske statistikker (Studebaker, 1985).

Frequency
Composition™
forbedrer evnen
til at skelne mellem
højfrekvente
fonemer.

Som figur 2a viser, stiger scorerne for evnen til at skelne mellem konsonanter fra tilstanden uden høreapparat til tilstanden med høreapparat - og igen fra Frequency Composition™ slået fra til slået til. Derudover viser statistiske analyser, at stigningen fra tilstanden uden høreapparat til tilstanden med høreapparat er statistisk signifikant, og det samme gælder for stigningen fra Frequency Composition™ slået fra til slået til. Ud fra disse resultater er konklusionen, at Frequency Composition™ forbedrer evnen til at skelne mellem højfrekvente fonemer.

Frequency
Composition™
bevarer
lydkvaliteten.

Opretholdelse af lydkvaliteten

Figur 2b viser resultaterne af en undersøgelse ved hjælp af spørgeskemaet "Tale, Spatial og Kvaliteter ved Hørelse" (SSQ) (Gatehouse og Noble, 2004). Undersøgelsen omfattede 14 respondenter, hvoraf halvdelen af dem også deltog i skelnetesten. Derfor var disse respondenter kandidater til Frequency Composition™, ifølge Oasis. I modsætning hertil var resten af respondenterne ikke kandidater på grund af mindre svære hørfrekvente høretab.

Undersøgelsen forløb som et enkeltblindet crossover-studie. Fordelt tilfældigt i to grupper brugte halvdelen af respondenterne først et RITE-høreapparat med Frequency Composition™ slået fra, den anden halvdel med Frequency Composition™ slået til. Efter tre uger udfyldte de alle et SSQ-spørgeskema. Derefter modtog grupperne den modsatte behandling i yderligere tre uger. Efter den anden prøveperiode udfyldte respondenterne igen et SSQ-spørgeskema. Forskellen i bedømmelsen er vist i figur 2b.

Figur 2b viser de gennemsnitlige forskelle med hensyn til aspekterne tale, spatial og kvalitet. Forskellene er alle tæt på nul og de 95 % confidence intervaller inden for ± 1 skalaenheder. Sammenlignet med de ti skalaenheder, der anvendes til SSQ-testen, giver ikke-underlegenhedsanalysen et signifikant resultat: Frequency Composition™ bevarer lydkvaliteten.

Pålidelighed i udvælgelsen af kandidater

Teknologien er på plads, tilbage står der på dette tidspunkt at etablere pålideligheden i udvælgelsen af kandidater. For at en udvælgelsesprocedure kan være pålidelig, er det nødvendigt at skelne mellem brugere, der er mere tilbøjelige til at få et udbytte og dem, der er mindre tilbøjelige hertil, dvs. mellem kandidater og ikke-kandidater. Som set ovenfor opnåede kandidaterne en signifikant forbedring i testen af evnen til at skelne mellem hørfrekvente fonemer. Når ikke-kandidater deltog i samme test, opnåede de også en højere score, men ikke i samme omfang som kandidaterne gjorde. Dette resultat bakker op om konklusionen: Udvalget af kandidater fungerer pålideligt.

Frequency Composition™ – klar til brug

Tid og teknologi har gjort frekvensforskydning til et nyttigt system til at overvinde svære hørfrekvente høretab. Især har Frequency Composition™-systemet vist sin evne til at udvælge de rigtige brugere og give dem en signifikant fordel. Samtidig har Frequency Composition™ også vist sig at bevare lydkvaliteten. Så når man har en potentiel kandidat, bør man overveje at bruge Frequency Composition™, der findes i Bernafons Acrida 9 | 7 høreapparater.

Litteratur

- Baer, T., Moore, B. C. J., & Kluk, K. (2002). Effects of lowpass filtering on the intelligibility of speech in noise for people with and without dead regions at high frequencies. *Journal of the Acoustical Society of America*, 112, 1133-1144.
- Bentler, R. (2010). Frequency-lowering hearing aids: verification tools and research needs. *The ASHA Leader*. Retrieved December 18, 2012, from <http://www.asha.org/Publications/leader/2010/100406/Frequency-Lowering-Hearing-Aids.htm>
- Bohnert, A., Nyffeler, M., & Keilmann, A. (2010). Advantages of a non-linear frequency compression algorithm in noise. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 267(7), 1045-1053.
- Braida, L. D., Durlach, N. L., Lippmann, R. P., Hicks, B. L., Rabinowitz, W. M., & Reed, C. M. (1979). Hearing aids—a review of past research on linear amplification, amplitude compression, and frequency lowering. *ASHA Monographs*, 19 (Chapter IV, 87-113).
- Cox, R. M., Johnson, J. A., & Alexander, G. C. (2012). Implications of high-frequency cochlear dead regions for fitting hearing aids to adults with mild to moderately severe hearing loss. *Ear and Hearing*, 33(5), 573-587.
- Gatehouse, S., & Noble, W. (2004). The speech, spatial and qualities of hearing scale (SSQ). *International Journal of Audiology*, 43(2), 85-99.
- Glista, D., Scollie, S., Bagatto, M., Seewald, R., Parsa, V., & Johnson, A. (2009). Evaluation of nonlinear frequency compression: clinical outcomes. *International Journal of Audiology*, 48(9), 632-644.
- McDermott, H. (2010). The benefits of nonlinear frequency compression for a wide range of hearing losses. *Audiology Online*. Retrieved December 18, 2012, from <http://www.audiologyonline.com/articles/benefits-nonlinearfrequency-compression-for-867>
- Moore, B. C. J., Glasberg, B. R., & Vickers, D. A. (1996). Factors influencing loudness perception in people with cochlear hearing loss. In B. Kollmeier (Ed.), *Psychoacoustics, speech and hearing aids*. Singapore: World Scientific.
- Robinson, J. D., Baer T., & Moore, B. C. J. (2007). Using transposition to improve consonant discrimination and detection for listeners with severe high-frequency hearing loss. *International Journal of Audiology*, 46(6), 293-308.
- Salorio-Corbetto, M., Baer, T., & Moore, B. C. J. (2012). *Aiding consonant identification with frequency-compression hearing aids for listeners with high-frequency cochlear dead regions*. Poster presented at the International Hearing Aid Research Conference, Lake Tahoe.
- Simpson, A., Hersbach, A. A., & McDermott, H. (2005). Improvements in speech perception with an experimental nonlinear frequency compression hearing device. *International Journal of Audiology*, 44(5), 281-292.
- Studebaker, G. A. (1985). A 'rationalized' arcsine transform. *Journal of Speech and Hearing Research*, 28, 455-462.
- Vickers, D. A., Moore, B. C. J., & Baer, T. (2001). Effects of lowpass filtering on the intelligibility of speech in quiet for people with and without dead regions at high frequencies. *Journal of the Acoustical Society of America*, 110, 1164-1175.
- Vinay, S. N., & Moore, B. C. J. (2007). Prevalence of dead regions in subjects with sensorineural hearing loss. *Ear and Hearing*, 28(2), 231-241.

Hovedkontor

Schweiz

Bernafon AG
Morgenstrasse 131
3018 Bern
Phone +41 31 998 15 15
E-mail: info@bernafon.ch

bernafon 
Your hearing • Our passion