
ASPECTEN VAN SPECTRO-TEMPORELE

VERWERKING BIJ AUDITIEVE SIGNAALDETECTIE

SAMENVATTING

In deze samenvatting wordt in algemene termen het kader van dit promotie-onderzoek beschreven met een korte beschrijving van een aantal experimenten en resultaten. Er is een aantal intermezzo's ingebouwd om voor de niet-gespecialiseerde lezer een aantal begrippen te verduidelijken.

Het hoofdthema van dit onderzoek betreft de invloed van zowel de signaalpatronen als de stoornispatronen op de geluiddetectie. Onder een signaalpatroon wordt binnen de context van dit onderzoek de verdeling van de signaalenergie in frequentie en tijd verstaan en onder een stoornispatroon de verdeling van stoornisenergie in frequentie en tijd.

In het alledaagse leven wordt de mens blootgesteld aan een breed scala van geluiden. Ondanks de soms zeer complexe frequentie-tijdpatronen van deze geluiden is de mens verbazingwekkend goed in staat de aangeboden informatie te verwerken. Eén interessant aspect van de auditieve informatieverwerking is het bijzonder goed ontwikkelde vermogen om geluiden te horen tegen een achtergrond van stoornis. De vraag die hier gesteld wordt is, of, en zo ja, op welke wijze dit vermogen afhangt van het enerzijds het signaalpatroon en anderzijds het achtergrondpatroon? Dit is een vraag die onder laboratorium-condities, gebruik makend van goed gedefinieerde geluiden, bestudeerd kan worden. In deze zogenoemde psycho-akoestische experimenten worden gegevens verkregen die gebaseerd zijn op de reacties van proefpersonen op de aangeboden geluiden. Samen met fysiologische gegevens vormt dat een basis voor een functionele beschrijving van het menselijk auditief systeem.

Intermezzo

De proefpersoon draagt een hoofdtelefoon waardoor continue stoornis (ruis, ook wel maskeerder genoemd) aangeboden wordt. De detectiedrempel van een signaal wordt bepaald volgens een zogenaamde gedwongen-keuze

methode. Binnen een meetsessie krijgt de proefpersoon herhaaldelijk in één van de twee door lampjes gemarkeerde intervallen naast het stoorlawaaï ook het signaal aangeboden. De proefpersoon moet vervolgens aangeven in welk interval het signaal werd gehoord. Geeft de proefpersoon drie keer achtereenvolgende keren het correcte interval aan dan wordt het signaal zachter gemaakt, zodra de proefpersoon het verkeerde interval aangeeft wordt het signaal harder gemaakt. Zo wordt het geluidniveau van het signaal bepaald waarbij de proefpersoon in ongeveer acht van de tien keer het juiste interval aangeeft. Dit geluidniveau noemt men dan per definitie de detectiedrempel.

In vrijwel ieder model van het auditief systeem gaat men er vanuit dat men allereerst een frequentieanalyse op het geluid uitvoert. Dit doet men met behulp van een verzameling bandfilters, één voor ieder frequentiekanaal. Deze bandfilters blijken een belangrijke rol te spelen bij de auditieve waarneming, niet alleen bij de luidheids-, klankkleur- en toonhoogtewaarneming maar ook bij maskering (voor een overzicht, zie Plomp, 1976 en Moore, 1989). In het licht van de frequentie-selectiviteit van het menselijk oor wordt het geluid vaak gekarakteriseerd door een spectrogram: een patroon waarin het frequentiespectrum van een geluid, bepaald over korte tijdsintervallen, wordt afgebeeld als functie van de tijd. De breedte van de bandfilters die vaak gehanteerd wordt als maat voor de frequentie-selectiviteit van het menselijk gehoor is 1/3-octaf, de kritische band, zoals in veel psycho-akoestische literatuur staat vermeld.

Intermezzo

Een spectrogram is een "plaatje" van geluid, waarbij langs de horizontale as de tijd wordt uitgezet en langs de verticale as de middenfrequenties van de frequentiekanalen. De lokale geluidintensiteit wordt door de hoeveelheid zwarting aangegeven. Een zwart gebied geeft een gebied van hoge geluidintensiteit, een lichtgrijs gebied een gebied van lage intensiteit. Komt het nu voor dat er in verticale richting een heel gebied zwart is dan kan men zeggen dat er in meerdere frequentiekanalen een hoge geluidintensiteit aanwezig is.

In het verleden ging de aandacht met betrekking tot signaaldetectie-experimenten voornamelijk uit naar temporele integratie. Detectiedrempels van zuivere tonen aangeboden tegen een achtergrond van witte ruis werden, als functie van de toonduur, bepaald. In het algemeen werd geconstateerd dat voor een toonduur tot ongeveer 150-200 ms de detectiedrempels bepaald worden door de toonenergie: de toonintensiteit wordt effectief geïntegreerd

over de tijd. Deze experimenten zijn in principe slechts gericht op processen die zich binnen één kritische band afspelen.

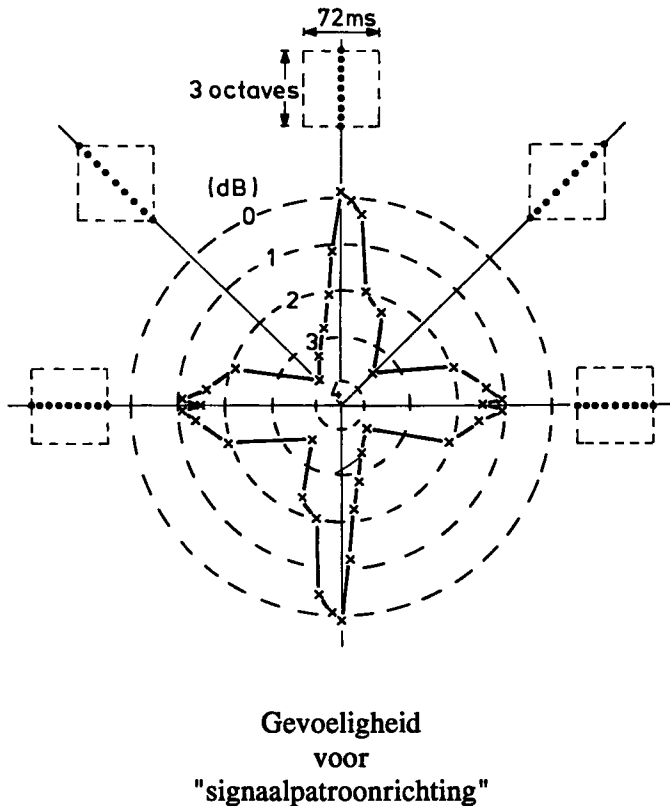
Maakt men echter een spectrogram van natuurlijke geluiden zoals spraak en muziek, dan ziet men dat dergelijke geluiden meerdere kritische banden tegelijk stimuleren. Behalve een integratie van geluidinformatie binnen een kritische band zou dus ook integratie over verschillende kritische banden (spectrale integratie) een rol kunnen spelen bij de geluidwaarneming.

In dit onderzoek wordt een aantal experimenten beschreven waarin systematisch is onderzocht welke rol deze integratie over meerdere frequentiebanden speelt bij de signaaldetectie.

In de literatuur is natuurlijk al het één en ander bekend over deze spectrale integratie. In klassieke experimenten met breedbandige signalen werd gesuggereerd dat het kanaal (frequentie-band) met de beste signaal-ruis verhouding de detectiedrempel bepaalde (e.g. Fletcher, 1940, Gässler, 1954). Dit model werd ook wel het "power-spectrum" model genoemd. Andere experimenten lieten echter zien dat het model niet algemeen geldig was. In experimenten verricht door Green (1958) en Scholl (1962) werd al aangetoond dat er spectrale integratie optreedt bij signaaldetectie. Scholl (1962) gebruikte ruis met een beperkte bandbreedte en vond dat de efficiëntie van de spectrale integratie afhangt van de duur van de signalen.

De experimenten die in hoofdstuk 1 en 2 van dit proefschrift beschreven worden zijn gericht op de efficiëntie van de spectrale integratie. Voor een eenduidige interpretatie van spectrale integratie is het vereist dat de detecteerbaarheid van het geluid in ieder afzonderlijk frequentiekanaal gelijk is. In een speciaal hiervoor uitgevoerd experiment werd bepaald hoe het signaal en het achtergrondlawaai (de ruis) op elkaar afgestemd moeten worden om dit te bereiken. Er werd gevonden dat de conditie van gelijke detecteerbaarheid van signaalcomponenten in afzonderlijke frequentiebanden overeen kwam met gelijke $(E/N_0)_{1/3}$ voor elk frequentiekanaal (E geeft de signaalenergie in een 1/3-octaf en N_0 geeft de spectrale dichtheid van de ruis in dezelfde 1/3-octaf) dat gestimuleerd werd door het signaal. Onder bovenstaande randvoorwaarde van gelijke detecteerbaarheid kan men het effect van geluidpatroon op detectie, zoals dat in enkele experimenten werd gevonden, als volgt samenvatten. De traditionele bevinding van efficiënte temporele integratie (integratie van de signaalenergie over ongeveer 200 ms) werd alleen gevonden voor signaalbandbreedten kleiner dan 1/3-octaf. Voor breedbandige signalen werd efficiënte spectrale integratie slechts gevonden voor signalen van korte duur (kleiner dan 40 ms). Dit wordt duidelijk wanneer we enkele experimenteel

verkregen gegevens (uit hoofdstuk 2) opnieuw tekenen. De resulterende figuur hieronder vertoont een "kruisdraad-patroon", en illustreert welke de beste signaalpatronen voor detectie zijn: smalbandige langdurende signalen voor efficiënte temporele integratie en breedbandige kortdurende signalen voor efficiënte spectrale integratie.



Figuur 1. Aan de randen van de figuur zijn schematisch de verschillende frequentie-tijd patronen van de signalen aangegeven. Van deze patronen is in het midden van de figuur de detectiegevoeligheid aangegeven. Zo ziet men dat voor frequentie-tijd patronen waarvoor de signaalcomponenten met gelijke frequentie achter elkaar in de tijd aangeboden worden, en waar de signaalcomponenten met verschillende frequentie tegelijk aangeboden worden, de gevoeligheid voor detectie het grootst is.

Intermezzo

Ten aanzien van het combineren van signaalinformatie kan men dus in het algemeen stellen dat dit bij de detectie van korte signalen even effectief over meerdere frequentiekanalen geschiedt als bij lange signalen binnen één frequentiekanaal over de tijd.

De experimenten die in hoofdstuk 3 zijn beschreven, hebben betrekking op signaaldetectie bij gemoduleerd achtergrondlawaai (het geluidniveau van het achtergrondlawaai fluctueert in de tijd), met als thema de combinatie van twee typen auditieve fenomenen die berusten op mogelijke samenwerking en interactie tussen verschillende frequentiebanden. Naast de hierboven beschreven spectrale integratie bij signaaldetectie wordt in de literatuur een fenomeen beschreven dat ook gebaseerd is op een samenwerking tussen verschillende frequentiebanden: "comodulation masking release (CMR)". In een reeks experimenten verricht door Hall en collega's (1988) werd de detectiedrempel van een zuivere toon in een smal gemoduleerd ruisbandje (gecentreerd rond de signaalfrequentie) bepaald. Vervolgens werd een tweede ruisbandje, met dezelfde modulatie-structuur als het eerste bandje, elders in frequentie aangeboden. Het bleek dat de detectiedrempel van de zuivere toon door toevoeging van het tweede ruisbandje aanzienlijk verlaagd kon worden, mits in beide ruisbandjes het geluidniveau van de ruis op dezelfde wijze fluctueerde. In de modellen die dit verschijnsel proberen te verklaren gaat men er vanuit dat toevoeging van het signaal in een bepaalde frequentieband een verschil in de structuur van de omhullende in deze band t.o.v. die van de andere banden veroorzaakt, en dat op basis hiervan detectie plaats vindt. Een kernpunt is nu de vraag wat er gebeurt wanneer we ook de bandbreedte van het signaal vergroten, zodat meerdere frequentiekanalen tegelijk door het signaal gestimuleerd worden. Volgens de hierboven vermelde modellen zal daardoor een verkleining van het verschil in omhullende-structuur tussen de verschillende frequentiebanden optreden, wat tot een verhoging van de detectiedrempel zou moeten leiden; aan de andere kant zou er misschien een effectieve integratie van signaal-energie optreden (zoals die beschreven in hoofdstuk 1 en 2), zodat de detectiedrempel laag blijft.

Intermezzo

In ons alledaagse leven komen vaak situaties voor waarin we te maken hebben met achtergrondlawaai. Over het algemeen geldt dat het achtergrondlawaai niet mooi constant van niveau is maar dat het aanzienlijk kan fluctueren. Om

een eerste stap te maken in een meer reële maskeersituatie en te onderzoeken hoe detectie zich gedraagt bij zo'n maskeerconditie is gekozen voor een gemoduleerd achtergrondlawaai. In de literatuur over signaaldetectie is al bekend dat bij fluctuerend achtergrondlawaai een fenomeen kan optreden dat ook gebaseerd is op een combinatie van geluidinformatie in de verschillende frequentiekanalen. We willen nu onderzoeken hoe het combineren van informatie in de verschillende frequentiekanalen, zoals onderzocht in hoofdstuk 1 en 2, zich gedraagt samen met een soortgelijk fenomeen, dat in de literatuur bekend staat, als "comodulatie".

Allereerst moet vermeld worden dat een aanzienlijk "comodulatie" effect gevonden werd. Wanneer een kort smalbandig ($1/3$ -octaaf bandbreedte) signaal in een dal van een 100% sinusvormig amplitude-gemoduleerde ruis-maskeerder (SAM-ruis) geplaatst wordt en de ruisbandbreedte wordt vergroot van $1/3$ -octaaf naar $13/3$ -octaaf, dan vindt men een drempelverlaging van ongeveer 14 dB. (hoofdstuk 3, figuur 2). Wanneer nu, bij deze 100% SAM-ruis met een bandbreedte van $13/3$ -octaaf, de signaalbandbreedte wordt vergroot van $1/3$ -octaaf naar $13/3$ -octaaf dan gaat de drempel relatief weinig omhoog (hoofdstuk 3, figuur 4). Dit suggereert dat een vermindering van het verschil tussen de temporele omhullende van de frequentiebanden met signaal en die van de banden zonder signaal niet van doorslaggevende invloed is op het detectieproces.

Tot slot

De hierboven beschreven studie is van fenomenologische aard is. Het zou tot een beter begrip van het functioneren van het menselijk auditief systeem leiden indien de experimentele resultaten onderbouwd zouden kunnen worden met een model. Diverse pogingen in die richting zijn reeds ondernomen maar hebben nog niet tot een bevredigend resultaat geleid.