

Random chord sequences

Citation for published version (APA):

Versfeld, N. J. (1986). *Random chord sequences*. (IPO rapport; Vol. 526). Instituut voor Perceptie Onderzoek (IPO).

Document status and date:

Published: 01/03/1986

Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of Record (includes final page, issue and volume numbers)

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

Rapport no. 526

RANDOM CHORD SEQUENCES

N.J. Versfeld

Eindhoven, maart 1986

Verslag van een stage verricht bij de groep "Horen en Spraak"
van het Instituut voor Perceptie Onderzoek

Begeleider: Dr. A.J.M. Houtsma

SAMENVATTING

Een Random Chord Sequence (RCS) bestaat uit een reeks geluiden waarbij ieder geluid (chord) is opgebouwd uit een aantal tonen met dezelfde golfvorm en vaste frequenties (elementen). Een element kent twee toestanden: aan en uit (hoorbaar en niet hoorbaar). De toestanden van de elementen uit een RCS volgen een bepaald schema.

Wanneer een RCS wordt beluisterd, wekt het de indruk op van een melodie-beweging. Deze kan omhoog of omlaag gaan. De taak van een proefpersoon is te zeggen of deze beweging omhoog of omlaag gaat.

Er zijn twee modellen gebruikt om de data te verklaren (één reeds bestaand model). Uit de resultaten blijkt dat het reeds bestaand model (waarin alleen met de kortste toonsprongen wordt gerekend) voldoet. Het andere model (dat beweert dat de bovenste tonen uit de RCS de belangrijkste rol spelen in de herkenning van de beweging) voldoet gedeeltelijk, maar blijkt te simplistisch van opzet.

INHOUDSOPGAVE

1 INHOUDSOPGAVE

Samenvatting

1	Inhoudsopgave	pag .	1
2	Inleiding	pag .	2
3	Theorie	pag .	3
	3.1 Random Chord Sequences	pag .	3
	3.2 Modellen	pag .	13
4	Experiment	pag .	15
	4.1 Stimuli	pag .	15
	4.2 Meetopstelling	pag .	18
	4.3 Procedure	pag .	20
5	Resultaten en discussie	pag .	21
	5.1 Dipole Counting Model	pag .	21
	5.2 Sopraan-Model	pag .	24
6	Conclusies	pag .	27
7	Literatuur	pag .	29
A	Appendix A: Meetresultaten	pag .	A1
B	Appendix B: Programma's	pag .	B1

De experimenten met Random Chord Sequences zijn opgezet om enig inzicht te verkrijgen, hoe de mens een opeenvolging van complexe signalen gaat interpreteren als een beweging. In het visuele vakgebied is aan het fenomeen beweging, waarbij de beweging wordt veroorzaakt door een opeenvolging van beeldjes (bv. film), al veel onderzoek gedaan. In deze onderzoeken zijn een aantal interessante verschijnselen waargenomen. Wanneer bijvoorbeeld een persoon een matrix met willekeurig gerangschikte witte en zwarte vlakjes (random dot pattern, (Anstis, 1970)) wordt aangeboden, gevolgd door hetzelfde patroon, maar dan een stukje, zeg, naar rechts verschoven, dan neemt hij dit waar als een beweging naar rechts. Bestaat dit tweede patroon nu uit het negatief van het eerste, dan neemt hij een beweging naar links waar. Ook de wat meer abstracte stimuli van Allik en Dzhafarov (1984) geven een dergelijk resultaat.

Allik, Dzhafarov en Ross hebben deze stimuli bruikbaar gemaakt voor experimenten op het auditieve vlak, en vonden dezelfde verschijnselen terug. Blijkbaar wordt er bij het waarnemen van beweging op het visuele én auditieve vlak gebruik gemaakt van eenzelfde soort verwerking van de signalen.

Op een symposium in Talin (1984) hebben Allik, Dzhafarov en Ross enkele RCS's laten beluisteren. De kwaliteit van de stimuli op deze tape was echter dusdanig, dat aan de resultaten getwijfeld mocht worden. Op grond hiervan heeft Dhr. Houtsma, verbonden aan het Instituut voor Perceptie Onderzoek (IPO) besloten deze experimenten te herhalen. Dit is gebeurd in de vorm van deze stage.

3 THEORIE

3.1 RANDOM CHORD SEQUENCES

3.1.1 Random Chord Sequences (RCS)

Beschouw een set van identieke (harmonisch complexe) tonen, elk met een eigen specifieke grondfrequentie. Eén zo'n toon (plus eventuele boventonen) wordt een element genoemd. Een element kent twee toestanden (states):

- i) De amplitude van het element is nul: Het element is uit en is dus niet te horen.
- ii) De amplitude van het element is ongelijk aan nul: Het element is aan en is hoorbaar.

Wanneer nu deze set van elementen wordt onderverdeeld in elementen die aan, en elementen die uit zijn, ontstaat er een geluid dat karakteristiek is voor deze permutatie. Een zo'n set wordt ook wel chord genoemd. Een aantal (verschillende) chords achter elkaar wordt een random chord sequence (RCS) genoemd. Een eveneens gebruikte term voor chord is frame; een RCS wordt ook wel trial genoemd.

3.1.2 Opbouw van een RCS

Elk chord in een RCS (behalve het eerste) wordt bepaald door een voorafgaand chord. Elk element uit dat chord kan zijn verbonden met een element uit dat voorafgaande chord. Dit verband tussen twee elementen uit deze twee chords bestaat hieruit, dat de toestand (state) van het tweede element met een bepaalde kans dezelfde is als die van het eerste element. Deze kans op repetitie van deze state wordt de state-repetition-probability (SRP) genoemd.

Bv. Er is een element E_1 in het chord C_1 . Dit element is gekoppeld aan het element E_2 in het chord C_2 . Wanneer nu het element E_1

THEORIE

aan is, heeft het element E_2 een kans SRP om eveneens aan te zijn.

Het verband tussen de verschillende elementen uit verschillende chords is eenvoudig te representeren in een plaatje (fig. 3.1). In dit plaatje worden de elementen voorgesteld door een cirkeltje: Een gesloten cirkeltje stelt een element voor dat aan is; een open cirkeltje een dat uit is.

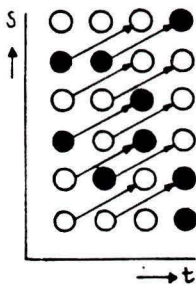


fig. 3.1: Representatie van een RCS. Horizontaal staat de tijd (t) uit, verticaal de frequentie (s). $\underline{d}=(1,2)$.

De pijltjes symboliseren de koppeling tussen twee elementen. Uit de figuur is te zien dat het ook mogelijk is dat een element niet verbonden is met een ander element.

In het algemeen is het mogelijk willekeurige elementen met elkaar te verbinden. Een eerste stap ter vereenvoudiging van alle connecties tussen de verschillende elementen wordt verkregen door alle pijltjes eenzelfde grootte en richting te geven. Dit is in fig. 3.1 reeds gebeurd. Daar alle pijltjes dezelfde zijn, wordt er nu gesproken van één vector, de displacement-vector $\underline{d}=(s,t)$. Hierbij is:

- s : het aantal elementen dat de vector omhoog of omlaag gaat;
- t : het aantal chords dat de vector verschuift.

In fig. 3.1 geldt $s=1$ en $t=2$.

De eenvoudigste displacement-vector is $\underline{d}=(1,1)$ (merk op dat $\underline{d}=(0,0)$, $\underline{d}=(1,0)$ en $\underline{d}=(0,1)$ dit niet zijn, omdat er dan van dis-

THEORIE

placement geen sprake is). Bij deze vector zijn de elementen verbonden met de elementen uit het volgende chord, één element hoger (fig. 3.2). In fig. 3.2 is te zien dat het bovenste element uit het eerste chord niet verbonden kan worden met een element dat $\underline{d}=(1,1)$ verder ligt. Evenzo is het onderste element uit het tweede chord om dezelfde reden nergens mee verbonden. Er zijn nu twee mogelijkheden:

- i) Het element uit chord 1 is "the end of a line". Op het vervolg van de chords heeft het geen invloed. Het element uit chord 2 heeft een kans 0.5 om aan te zijn.
- ii) De twee losse elementen worden met elkaar verbonden. Op deze manier koppelen de twee uiteinden aan elkaar en wordt een chord als het ware circulair gemaakt.

Voortaan zal mogelijkheid (ii) als voorwaarde gebruikt worden.

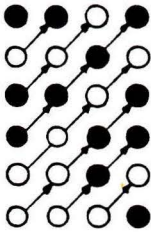


fig. 3.2: RCS met $\underline{d}=(1,1)$

Evenzo is het mogelijk de vector $\underline{d}=(-1,1)$ te bekijken (de vector $\underline{d}=(1,-1)$ is irrelevant, daar deze teruggaat in de tijd). Deze is identiek aan de $\underline{d}=(1,1)$ vector, doch nu beweegt alles één element naar beneden. In plaats van een onderscheid te maken tussen de vectoren $\underline{d}=(1,1)$ en $\underline{d}=(-1,1)$ wordt er een nieuwe variabele ingevoerd, die bepaalt of het geheel omhoog dan wel omlaag gaat. Bij de $\underline{d}=(1,1)$ -vector wordt voortaan gesproken van een up-shift; bij de $\underline{d}=(-1,1)$ -vector van een down-shift. Dit wordt genoteerd als $N=+1$ resp. $N=-1$. N wordt de transformatierichting genoemd. In het vervolg wordt dus alleen maar gesproken over de $\underline{d}=(1,1)$ -vector, samen met $N=\pm 1$. Wanneer nu het eerste chord bekend is, liggen verder alle nakomende chords vast door de variabelen \underline{d} , SRP, N en de randvoorwaarde voor de bovenste en onderste elementen.

THEORIE

De configuratie van het eerste chord wordt geheel random bepaald. Elk element krijgt een kans 0.5 om aan te gaan.

Ter verduidelijking van het bovenstaande zullen drie voorbeelden gegeven worden.

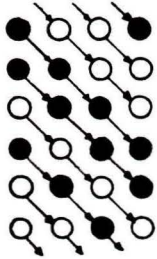


fig. 3.3: Een RCS met 4 chords van 6 elementen. $SRP=1$; $N=-1$ en $\underline{d}=(1,1)$.



fig. 3.4: Een RCS met 2 chords van 6 elementen. $SRP=0$; $N=+1$ en $\underline{d}=(1,1)$.

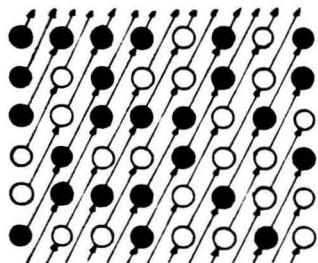


fig. 3.5: Een RCS met 8 chords van 6 elementen. $SRP=0.8$; $N=+1$ en $\underline{d}=(2,1)$.

THEORIE

3.1.2 Taak van de proefpersoon

De taak van de proefpersoon is nu een aantal chords achter elkaar te beluisteren en dan te beslissen of het geheel zich omhoog of omlaag beweegt. De mate waarin de antwoorden overeenkomen met de eigenlijke transformatierichting ($N=\pm 1$) als functie van de SRP wordt de psychometrische functie Ψ genoemd en wordt uitgedrukt in een percentage.

3.1.3 Oorsprong van RCS

De naam "Random Cinematogram" (RC) is afkomstig van Julesz (1971) Het idee van RCS is afkomstig van een artikel van Allik en Dzhafarov (1984). Hierin beschrijven zij een Circular Random Cinematogram (CRC), bestaande uit twaalf lampjes die kloksgewijs op een plaat gemonteerd zijn (fig. 3.7). Deze lampjes kunnen aan of uit staan. Op deze wijze ontstaan dan verschillende frames (van chords kan eigenlijk niet gesproken worden). Enkele frames achter elkaar geven aanleiding tot het waarnemen van een beweging links- of rechtsom.

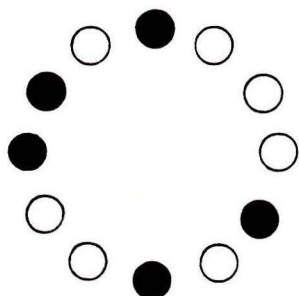


fig. 3.6: Circular Random Cinematogram

Allik, Dzhafarov en Ross (1984) hebben dit CRC als het ware opengeklapt tot een rechte staaf en experimenten gedaan op het auditieve vlak.

3.2 MODELLEN

Het doel van een model is, een voorspelling te geven over de keuze die een proefpersoon maakt na het horen van een RCS. Hiertoe wordt het RCS ontleed in kleinere, elementaire gebeurtenissen, die elk een bepaalde invloed hebben op de beslissing die de proefpersoon neemt.

Hieronder zullen enkele modellen besproken worden.

3.2.1 Dipole Counting Model

Het Dipole Counting (of Contribution) Model (DCM) is een model dat is opgezet door Allik en Dzhafarov (1984) na aanleiding van experimenten met Circular Random Cinematograms (CRC) en is gemodificeerd door Allik, Dzhafarov en Ross (1984) voor RCS. Het model wordt uitvoerig beschreven in Allik en Dzhafarov (1984).

Het model berust op de idee dat een proefpersoon alleen beweging hoort tussen twee tonen (dipole), en deze beweging met een bepaalde zwaarte laat meetellen in zijn eendoordeel.

Beschouw twee elementen uit twee verschillende chords. Hun onderlinge verhouding wordt gekarakteriseerd door hun displacement-vector $\underline{d}=(s,t)$ en door de state waarin beide elementen staan. Deze laatste eigenschap wordt hun form h genoemd. De form kent vier mogelijkheden: h_{11} (AAN-AAN); h_{00} (UIT-UIT); h_{10} (AAN-UIT) en h_{01} (UIT-AAN). h_{11} en h_{00} worden jumps genoemd, h_{10} en h_{01} non-jumps.

Een verkorte notatie voor de toestand waarin een dipole zich bevindt is als volgt: Een dipole $\underline{d}=(s,t)$ die zich in één van de vier h -forms bevindt wordt algemeen genoteerd als:

$$[\underline{d}|d=h]$$

Een bepaalde dipole zal een zekere bijdrage (contribution) leveren aan het eendoordeel van de proefpersoon. Dit wordt genoteerd

THEORIE

als:

$$[c(\underline{d})|d=h]$$

De bijdrage heeft de volgende vorm:

$$[c(\underline{d})|d=h] = \begin{cases} w_h(\underline{d}) & \text{met kans } p_h(\underline{d}) \\ 0 & \text{met kans } 1-p_h(\underline{d}) \end{cases}$$

waarbij $p_h(\underline{d})$ de kans is, dat deze dipole wordt geteld, en $w_h(\underline{d})$ de zwaarte is van deze bijdrage.

Het DCM gaat uit van de volgende drie postulaten:

- i) Homogeniteit. De bijdrage van een dipole is slechts afhankelijk van zijn displacement-vector en zijn form H , waarbij $H = \{\text{jump}, \text{non-jump}\}$. Dit wordt vervolgens genoteerd als:

$$\begin{aligned} H_1 &: \text{jump} \\ H_0 &: \text{non-jump} \end{aligned}$$

- ii) Symmetrie. Een dipole $[d|d=h]$ heeft dezelfde verdeling als een dipole $[-d|d=h]$. Er geldt

$$\begin{aligned} w_h(-\underline{d}) &= -w_h(\underline{d}) \\ p_h(-\underline{d}) &= p_h(\underline{d}) \end{aligned}$$

In een RCS kunnen er dipoles $[d|d=h]$ en $[-d|d=h]$ zijn (hierin beweegt $\underline{d}(1,1)$ in dezelfde richting als de transformierichting, $\underline{d}(-1,1)$ beweegt hier tegengesteld aan). Dit zijn identieke dipoles, doch ze bewegen tegengesteld aan elkaar. De netto bijdrage die deze specifieke dipole aan het eindoordeel levert wordt nu gegeven door:

$$[c(\underline{d})|d=h] := [c([d|d=h]) - c([-d|d=h])]$$

- iii) Onafhankelijkheid. De bijdragen van de verschillende dipoles

THEORIE

$\underline{d}_1=(s_1,t_1)$ met $h=h_1$ en $\underline{d}_2=(s_2,t_2)$ met $h=h_2$ zijn onafhankelijk.

Alle bijdragen van de verschillende dipoles mogen nu algebraïsch bij elkaar worden geteld, en geven de Total Sum of Contribution (TSC). Wanneer nu de TSC kleiner is dan nul, kiest de proefpersoon "omlaag"; is de TSC groter dan nul, dan kiest de proefpersoon "omhoog". Wanneer de TSC gelijk is aan nul, is er geen voorkeursrichting. Daar er in een RCS verschrikkelijk veel dipoles zitten, mag de verdeling van de TSC bij benadering normaal genomen worden.

De kans dat dan de goede richting wordt gekozen met betrekking tot het DCM wordt gegeven door de psychometrische functie Ψ :

$$\Psi = \Phi(E[\text{TSC}]/\text{Var}[\text{TSC}]^{.5})$$

waarbij Φ de cumulatief normale verdeling (ERF-functie) is en $E[\text{TSC}]$ en $\text{Var}[\text{TSC}]$ de verwachtingswaarde resp. de variantie van de TSC.

Doordat elke soort dipole een eigen bijdrage levert, heeft het model tot nu toe enorm veel vrije parameters.

Experimenten van Allik en Dzharfarov (1984) hebben aangetoond dat de verwachtingswaarden van de displacement-vectoren $\underline{d}(s,t)$ met $t>1$ en $|s|>1$ verwaarloosbaar klein zijn ten opzichte van de vectoren met $t=1$ en $|s|=1$. Eveneens nemen zij aan dat $E[c(\underline{d})|d=H_0]=0$.

Allik, Dzharfarov en Ross (1984) hebben aangetoond dat, anders dan bij het CRC, de form h_{00} een verwachtingswaarde nul heeft. Anders gezegd, een proefpersoon hoort geen beweging van toontjes die uit staan tussen andere toontjes die aan staan. Hierdoor zal het homogeniteits-postulaat enigszins moeten worden aangepast. H_1 wordt nu onderverdeeld in h_{11} en h_{00} . De bijdrage van een dipole is dan afhankelijk van zijn displacement-vector $\underline{d}(s,t)$ en zijn form: h_{11} , h_{00} en H_0 . Aangezien alle verwachtingswaarden, behalve $E[c(\underline{d})|d=h_{11}]$, nul zijn, wordt nu:

$$E[c(\underline{d})|d=h_{11}]=1.$$

THEORIE

$E[\text{TSC}]$ en $\text{Var}[\text{TSC}]$ worden nu (voor de exacte afleiding: zie Allik en Dzhafarov (1984), appendix A en B):

$$E[\text{TSC}] = N^* (P - .5)$$

en

$$\text{Var}[\text{TSC}] = N^* \{V_j (P + .5) + V_{nj} (Q + .5) + (PQ + .25)\} + \text{Cov}[\text{TSC}]$$

met:

N^* : Het aantal $\underline{d}=(1,1)$ dipoles per RCS.

P : De SRP

Q : $1-P$

De $\text{Cov}[\text{TSC}]$ is afkomstig van dipoles $\underline{d}=\underline{d}^k=(k,k)$. De kans dat in een RCS zo'n dipole in de form h_{11} is, wordt gegeven door:

$$P_{\underline{d}}^k = P(\underline{d}^k | d^k = h_{11}) = \sum_i \binom{k}{2i} P^{k-2i} Q^{2i}$$

waarbij de som loopt van $i=0$ tot $2i \leq k$. Er geldt eveneens:

$$Q_{\underline{d}}^k = 1 - P_{\underline{d}}^k$$

Zo wordt dan:

$$P_{\underline{d}}^1 = P \quad (= \text{SRP})$$

$$P_{\underline{d}}^2 = P^2 + Q^2$$

$$P_{\underline{d}}^3 = P^3 + 3PQ^2, \text{ enz.}$$

De $\text{Cov}[\text{TSC}]$ wordt gegeven door:

$$\text{Cov}[\text{TSC}] = \sum_{k=1}^m \{(P_{\underline{d}}^k)^2 + (Q_{\underline{d}}^k)^2 - .5\}$$

waarbij m afhankelijk is van het aantal chords en het aantal

THEORIE

elementen uit een RCS. De vector $\underline{d}=(k,k)$ moet namelijk wel binnen de RCS liggen. Is het aantal chords uit een RCS gelijk aan twee, dan $m=1$. De covariantie wordt dan:

$$\text{Cov}[TSC]=P^2+Q^2-.5$$

Is het aantal chords meer dan twee, dan wordt $m=2$ genomen. Covarianties van vectoren groter dan $\underline{d}=(2,2)$ mogen worden verwaarloosd (Allik, Dzhafarov (1984), appendix B). Nu wordt de covariantie:

$$\text{Cov}[TSC]=P^2+Q^2+(P^2+Q^2)^2+(1-(P^2+Q^2))^2-1$$

Er blijven nu twee parameters over, namelijk:

$$\begin{aligned} V_j &= \text{Var}[c(\underline{d})|d=H_1]/E^2[c(\underline{d})|d=h_{11}] \\ &= \text{Var}[c(\underline{d})|d=H_1] \end{aligned}$$

en

$$\begin{aligned} V_{nj} &= \text{Var}[c(\underline{d})|d=H_0]/E^2[c(\underline{d})|d=h_{11}] \\ &= \text{Var}[c(\underline{d})|d=H_0] \end{aligned}$$

omdat $E[c(\underline{d})|d=h_{11}]=1$

Uit de experimenten van Allik en Dzhafarov (1984) en Allik, Dzhafarov en Ross (1984) is gebleken dat V_j gelijk mag worden gesteld aan nul. De variabele V_{nj} bepaalt nu de ligging van de curve. De curve die dit model levert (Ψ als functie van de SRP) heeft twee karakteristieke eigenschappen (fig. 3.8):

- i) Bij een $SRP < 0.5$ wordt Ψ kleiner dan 0.5. De proefpersoon kiest dan vaker juist de tegenovergestelde richting dan de eigenlijke transformatie-richting. Dit wordt het reversed φ phenomenon of het melody reversal phenomenon genoemd.
- ii) De curve is niet symmetrisch rond $(\Psi, SRP) = (50\%, 0.5)$. Dit is het gevolg van $\text{Var}[TSC]$. Daar $V_j = 0$ en $V_{nj} > 0$ is $\text{Var}[TSC|SRP] \neq \text{Var}[TSC|(1-SRP)]$. Dit zorgt ervoor dat voor $SRP < 0.5$ de curve dichter bij $\Psi = 50\%$ ligt dan bij $SRP > 0.5$. De asymmetrie is alleen afhankelijk van V_{nj} : hoe groter V_{nj} des te groter de

THEORIE

asymmetrie. Dit is eenvoudig uit de formules af te leiden. V_{nj} kan geïnterpreteerd worden als de mate waarin de dipoles met H_0 (non-jumps) bijdragen in de richtingsbepaling. $V_j=0$ wil zeggen dat alle dipoles met form H_1 bijdragen tot het eindoordeel.

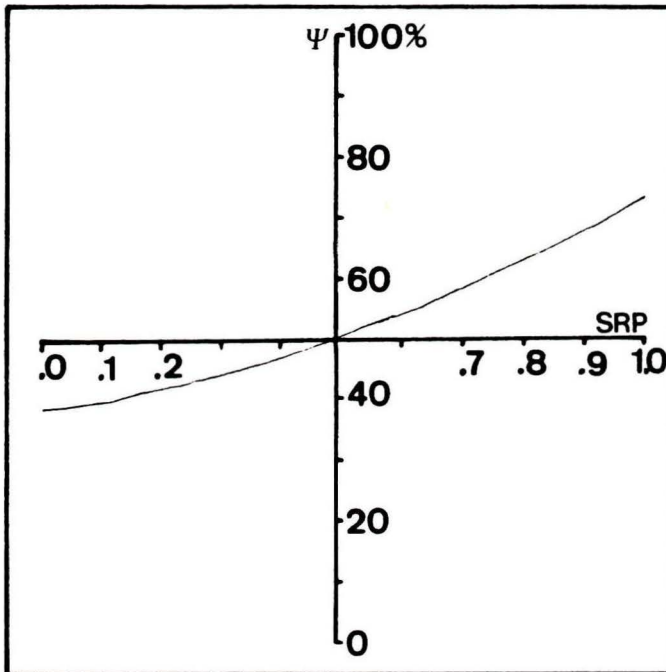


fig. 3.7: Voorbeeld van Ψ als functie van de SRP. $V_j=0$: $V_{nj}=50$:
 $N^* = 35$

3.2.2 Sopraan-model

Een bekend verschijnsel in de muziekpraktijk is, dat bij een meerstemmig dictee, de bovenste melodielijn (de sopraan) het gemakkelijkst te herkennen is.

In dit experiment zou het evenzo mogelijk zijn dat een proefpersoon alleen naar de bovenste stem luistert. Om hierover een voorspelling te kunnen maken, zal gekeken worden naar de melodiebeweging van de bovenste stem (sopraan) in vergelijking tot de melodiebeweging van de onderste stem (bas). Er wordt verwacht, dat wanneer de sopraan omhoog gaat, de proefpersoon meestal "omhoog" antwoordt, ongeacht de melodiebeweging van de bas. Evenzo wanneer de sopraan omlaag gaat, zal de proefpersoon vaak "omlaag" als bewegingsrichting aangeven. Wanneer de sopraan niet omhoog of omlaag

THEORIE

gaat, zal het antwoord van de proefpersoon afhangen van de melodiebeweging van de tonen onder de sopraan, dus ook van de bas. De verwachting is dan dat de bewegingsrichting van de bas redelijk vaak overeenstemt met het antwoord van de proefpersoon, zij het minder frequente dan wanneer de sopraan verschuift. Wanneer zowel sopraan als bas niet verschuiven, antwoordt de proefpersoon even vaak "omhoog" als "omlaag".

De verwachting van Ψ is als volgt: Ψ is het grootst wanneer sopraan en bas beiden omhoog of omlaag gaan. Wanneer de bas niet beweegt is Ψ iets kleiner, en wanneer de bas in tegengestelde richting beweegt is Ψ weer iets kleiner. Wanneer de sopraan stilstaat, zal de beweging van de bas worden gevolgd. Ψ zal echter (doordat de bas minder makkelijk is te herkennen), niet veel boven de 50% uitkomen. Wanneer sopraan en bas beiden niet bewegen zal Ψ rond de 50% liggen.

EXPERIMENT

4 EXPERIMENT

In dit hoofdstuk zal besproken worden met welke stimuli is geëxperimenteerd; met welke meetopstelling dit is gedaan, en hoe de experimenteer-procedure is verlopen.

4.1 STIMULI

Tijdens het gehele experiment zijn de parameters N; SRP; golfvorm (met daaraan impliciet de frequentie van de elementen) en het aantal chords gevarieerd.

4.1.1 N, SRP en aantal chords

Tijdens een gehele RCS ligt N vast. Vóór elke RCS heeft N een kans 0.5 omhoog te gaan. N is geheel onafhankelijk van alle andere variabelen. In het gehele experiment wordt dus uitsluitend gewerkt met $\underline{d}=(1,1)$, corresponderend met $N=+1$; en $\underline{d}=(-1,1)$, corresponderend met $N=-1$.

Evenzo als bij N ligt de SRP tijdens een RCS vast. In dit experiment is de SRP gevarieerd van 0.0 tot 1.0 met stapjes van 0.1. In alle experimenten is iedere SRP even veel keer aan bod gekomen.

Het aantal chords per RCS is 2, 4 of 8.

4.1.2 Golfvormen

Er is geëxperimenteerd met drie golfvormen: sinus-, zaagtand- en shepard-golfvorm (fig. 4.1, 4.2 en 4.3). In feite heeft een zaagtand oneindig veel harmonischen, maar hier bestaat hij uit de grondtoon plus de eerste drie harmonischen. De amplituden van deze harmonischen zijn omgekeerd evenredig met het harmonisch nummer.

EXPERIMENT

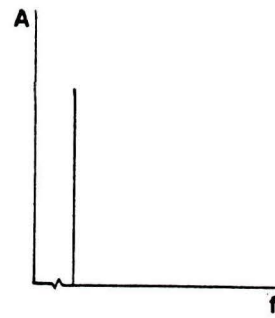
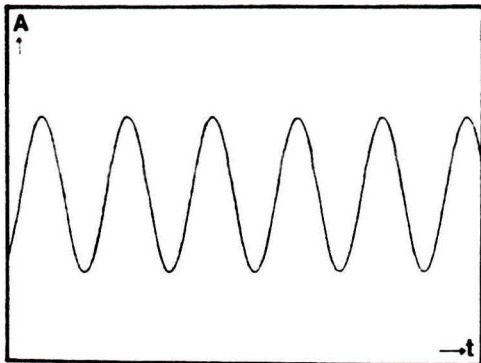


fig. 4.1: sinusgolfvorm

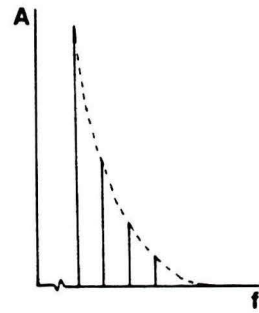
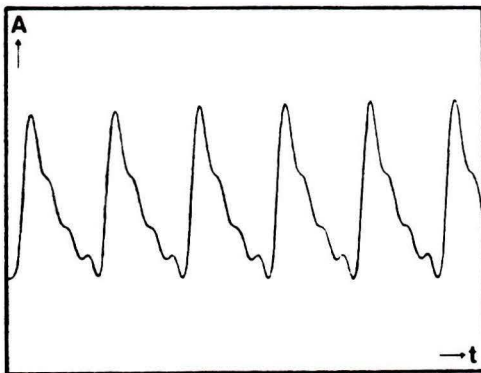


fig. 4.2: zaagtandgolfvorm

EXPERIMENT

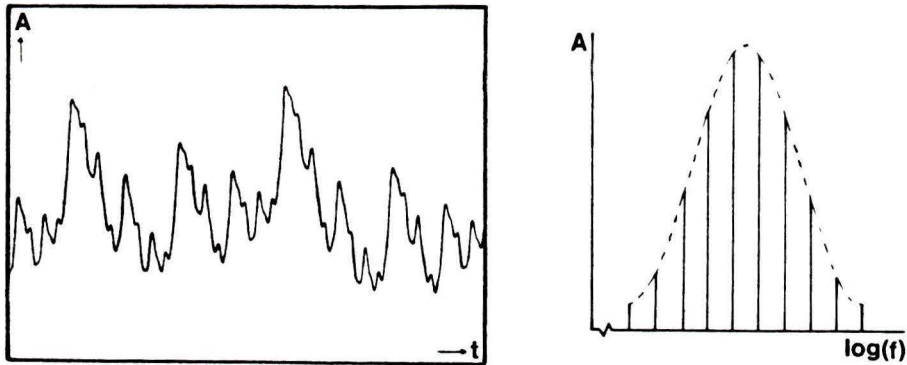


fig. 4.3: shepardgolfvorm

De karakteristieken van een shepard-golfvorm worden beschreven in Shepard (1964). De belangrijkste eigenschap van deze golfvorm is dat een noot, die één, of meerdere oktaven boven of beneden een andere noot ligt, identiek is aan deze noot. Op deze wijze is het mogelijk een "eeuwig stijgende" toonladder te maken. In dit experiment wordt deze golfvorm gebruikt om de twee "uiteinden" van het RCS aan elkaar te koppelen. Op deze wijze is er dan werkelijk sprake van een analogon tussen RCS en CRC.

4.1.3 Frequenties

In een chord zitten altijd 6 elementen. Bij de sinus- en zaagtandgolfvorm hebben deze de frequenties: 370, 392, 415, 440, 466 en 494 Hz (dit zijn de noten: Fis, G, As, A, Bes en B). Bij de shepardgolfvorm zijn dit de frequenties: 262, 294, 330, 370, 415 en 466 Hz (dit zijn de noten: C, D, E, Fis, As en Bes). De frequenties bij de sinus- en zaagtandgolfvorm zijn gelijk aan die in het artikel van Allik, Dzhafarov en Ross (1984). De frequenties bij de shepardgolfvorm zijn zó gekozen dat ze precies één oktaaf omspannen én logaritmisch equidistant zijn.

EXPERIMENT

4.2 MEETOPSTELLING

4.2.1 P800

Bij de uitvoering van het experiment is gebruik gemaakt van een opstelling rond een Philips P800 mini-computer systeem (fig.4.5). Deze opstelling is praktisch ongewijzigd overgenomen van de experimenten van Eggen (1986).

De stimuli zijn berekend door de P800 en opgeslagen op 40 Mb hard disks. De stimuli zijn met 10 kHz gesampeld en met een 12-bit DAC omgezet in akoustische signalen. De output van de DAC is low-pass gefilterd op 4.3 kHz met behulp van twee Krohn-Hite 3343 filters (96 dB per oktaaf). Deze signalen worden versterkt en komen dan in de experimenteer-ruimte.

De proefpersoon, die in een geluidsdicht kamertje in de experimenteer-ruimte zit, krijgt de stimuli te horen door een Sennheiser HD424 hoofdtelefoon. Uit metingen verricht door Eggen (1986) blijkt de frequentiekaracteristiek van de hoofdtelefoon recht te zijn ± 3.5 dB tussen 60 en 5000 Hz, een gebied waar in deze experimenten ruim binnen is gebleven.

De computer is bediend via twee Beehive (B550/500) CRT-terminals, één in de computerruimte, één in de experimenteer-ruimte. Met een Data Precision Spectrum Analyser (DATA 6000) zijn vooraf alle stimuli gecontroleerd.

4.2.2 Antwoordkastje

Door middel van een antwoordkastje kan de proefpersoon antwoorden. Dit kastje bevat schakelaars voor "omhoog" en "omlaag", plus een drukknop voor het starten of stoppen van een sessie. De gegeven antwoorden worden volledig automatisch opgeslagen in de computer.

EXPERIMENT

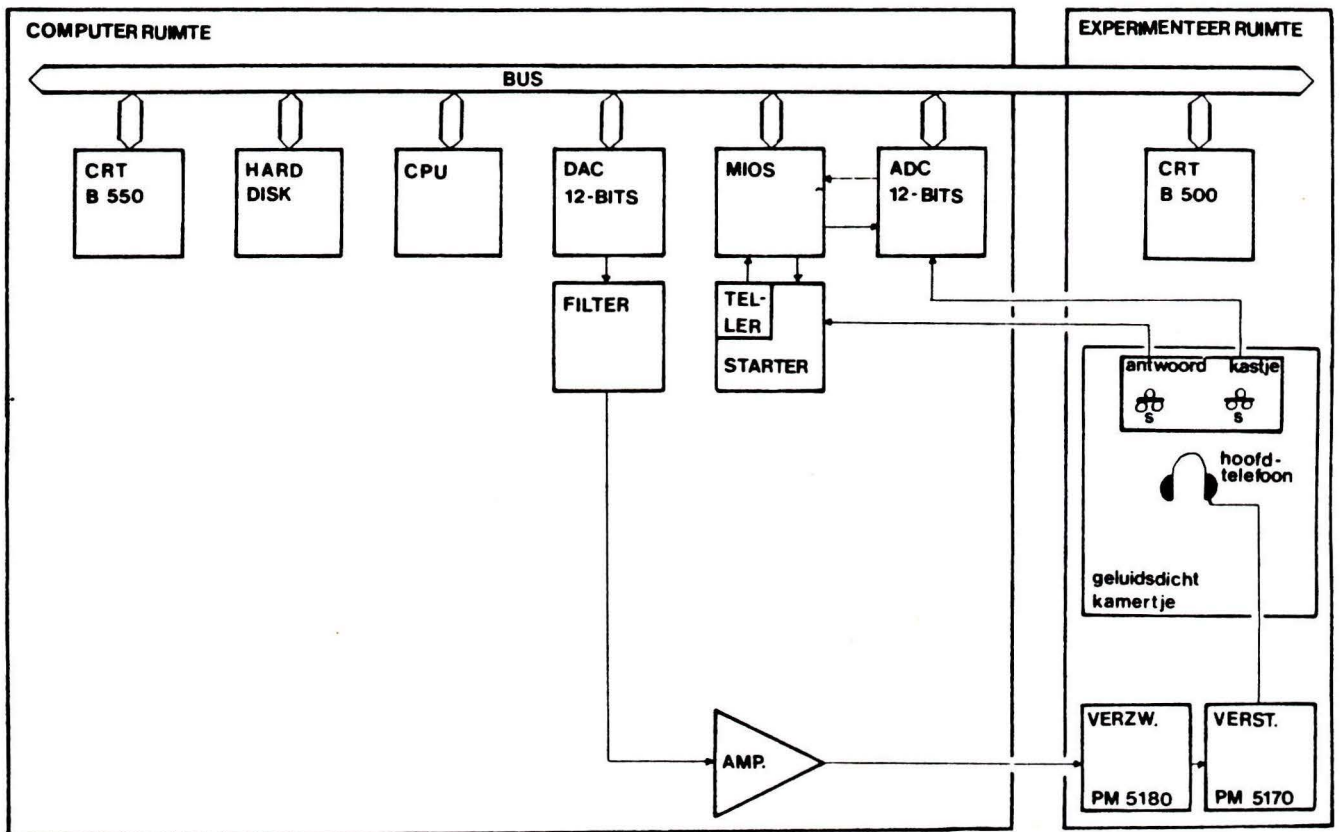


fig. 4.4: Opstelling rond de P800

EXPERIMENT

4.3 PROCEDURE

4.3.1 Gehoordrempel

Aan het begin van elke sessie kreeg de proefpersoon een 440 Hz sinus-, zaagtand- of shepardtoon aangeboden, al nagelang de golfvorm van de te volgen stimuli. Met een DAVEN verzwakker stelde de proefpersoon het geluidsniveau van dit signaal zó in, dat het net niet te horen was. De stimuli zelf werden dan 20 dB boven dit niveau (de gehoordrempel) aangeboden. Dit lage niveau is gekozen om combinatietonen te voorkomen (Goldstein, 1967)

4.3.2 Sessie

Hierna kreeg de proefpersoon achtereenvolgens 110 stimuli van 2 chords, 110 van 4 chords en 110 van 8 chords te horen. Uiteraard allen met dezelfde golfvorm. Dit herhaalde zich vier keer, met een pauze halverwege. Eén zo'n sessie duurde ongeveer één uur.

In totaal zijn er drie verschillende golfvormen, drie verschillende RCS-lengten (2, 4 en 8 chords) en elf verschillende SRP's (0.0 tot 1.0, in stappen van 0.1). Bij de sinus- en zaagtandgolfvorm is elke golfvorm, lengte en SRP 100 keer voorgekomen. Bij de shepardgolfvorm 60 keer.

4.3.3 Proefpersonen

Bij de experimenten met de sinus- en zaagtandgolfvorm is beschikt over vier proefpersonen: BE, AH, JJ en NV, allen minimaal enigszins muzikaal getraind.

Bij de experimenten met de shepardgolfvorm is beschikt over drie proefpersonen: AH, JJ en NV, dezelfde als hierboven.

5 RESULTATEN EN DISCUSSIE

In dit hoofdstuk zullen de verschillende modellen aan de hand van de resultaten, die verkregen zijn door de metingen, beschreven in hoofdstuk 4, worden besproken.

5.1 DIPOLE COUNTING MODEL

5.1.1 Resultaten

De resultaten van de psychometrische functie Ψ als functie van de SRP bij verschillende golfvormen is te zien in de grafieken 5.1, 5.2 en 5.3. Het Dipole Counting (of Contribution)Model beschrijft een verband tussen de SRP en Ψ . De resultaten van de individuele proefpersonen komen met elkaar overeen, zodat het toegestaan is alle resultaten bij elkaar te voegen. De resultaten van de afzonderlijke proefpersonen worden gegeven in Appendix A.

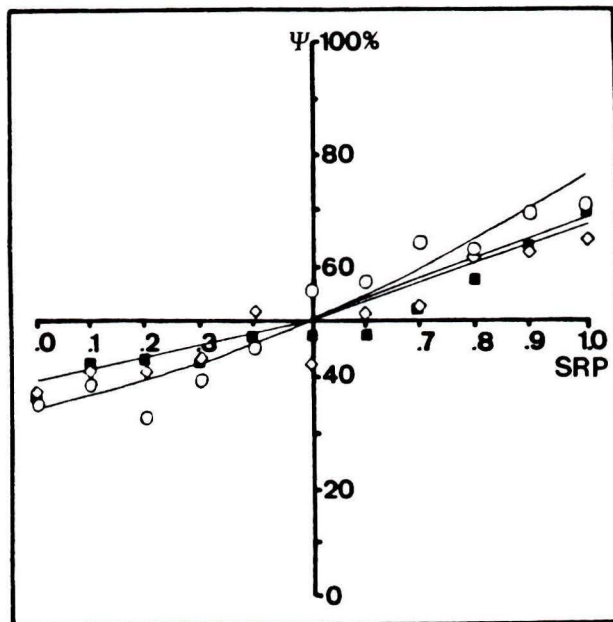


fig. 5.1: Ψ als functie van de SRP. Sinusgolfvorm. ■ :2 frames; \diamond :4 frames; \circ :8 frames. De getrokken curven zijn bepaald m.b.v. het DCM.

RESULTATEN EN DISCUSSIE

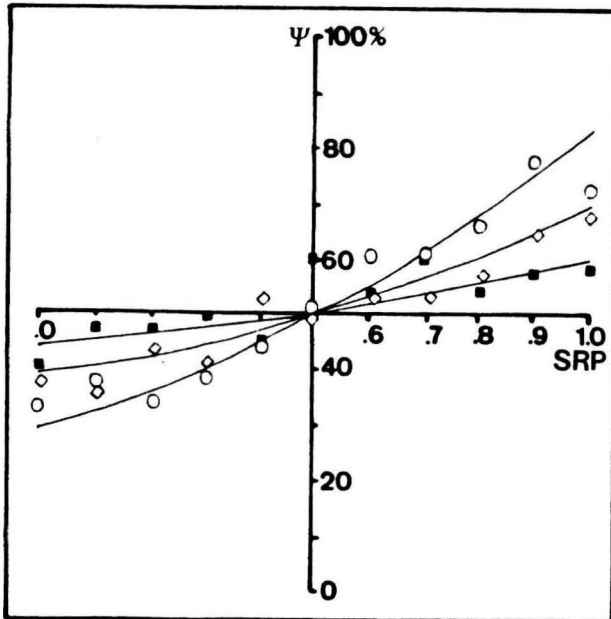


fig. 5.2: Ψ als functie van de SRP. Zaagtandgolfvorm. ■ :2 frames;
 ◇ :4 frames; ○ :8 frames. De getrokken curven zijn
 bepaald m.b.v. het DCM.

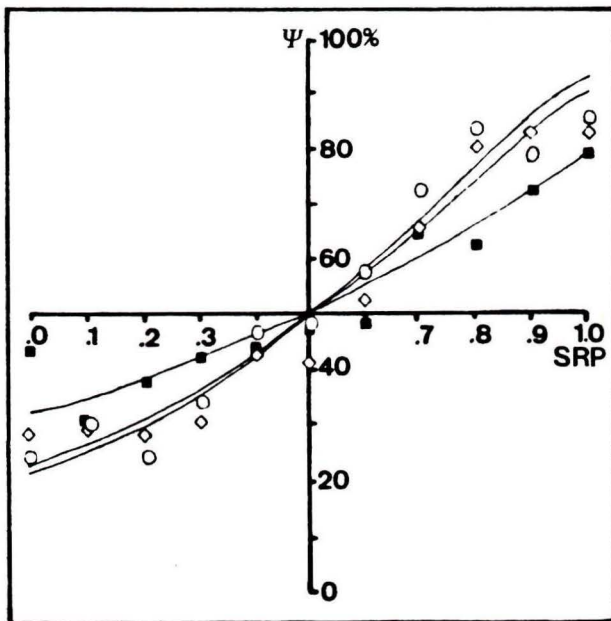


fig. 5.3: Ψ als functie van de SRP. Shepardgolfvorm. ■ :2 frames;
 ◇ : 4 frames; ○ :8 frames. De getrokken curven zijn
 bepaald m.b.v. het DCM.

RESULTATEN EN DISCUSSIE

De hieronder gegeven waarden (tab. 5.1) hebben betrekking op de negen hierboven getrokken curven.

golfvorm	aantal chords	V_{nj}	Q	χ^2
sinus	2	10.613	.009	4.044
	4	39.106	.011	9.893
	8	36.008	.014	4.468
zaagtand	2	40.978	.021	14.720
	4	28.281	.009	4.165
	8	19.888	.020	7.541
Shepard	2	4.211	.021	9.224
	4	4.832	.029	6.315
	8	10.160	.034	16.585

tab. 5.1 Waarden behorende bij de grafieken 5.1, 5.2 en 5.3. V_{nj} : vrije parameter in het DCM. Q: kleinste kwadraten-waarde behorende bij de fit. χ^2 : χ^2 -waarde, behorende bij de data.

De curven zijn gefit met een eenvoudig fitprogramma. Dit is geschreven in FORTRAN IV en staat in appendix B. De ERF-functie is tot de 9^e macht ontwikkeld naar drie reeksen rond $z=0$; $z=-1$ en $z=1$. Dit geeft een onnauwkeurigheid in de integraal kleiner dan 10^{-3} ($-3 < z < 3$: $0.0013 < \Phi < 0.9987$). De variabele V_{nj} is met de kleinste kwadraten-methode bepaald (Q). Eveneens is de χ^2 -methode toegepast door de ene helft van alle data te fitten en vervolgens daar de andere helft op te testen. Het aantal vrijheidsgraden is altijd 11. Per SRP zijn er 400 data-waarden bij sinus- en zaagtandgolfvorm, en 180 data-waarden bij de Shepardgolfvorm.

RESULTATEN EN DISCUSSIE

5.1.2 Discussie

Allereerst kan worden gezegd dat het model voldoet bij alle golfvormen en alle aantallen chords. Er is inderdaad een melody-reversal en een asymmetrie rond $(\Psi, SRP) = (50\%, 0.5)$. Deze twee karakteristieken komen meer naar voren naar mate er meer chords in een RCS zitten en naarmate de golfvorm complexer wordt (meer boven-tonen heeft). Dit kan worden verklaard door te zeggen dat des te meer informatie de proefpersoon krijgt (meer chords, meer boven-tonen) des te beter hij een oordeel kan geven.

In tegenstelling tot Allik, Dzhabarov en Ross (1984) zijn er wel degelijk resultaten voor RCS's met sinusgolfvormen, zij het minder geprononceerd dan bij de zaagtand- en Shepardgolfvormen.

De fit is statistisch gezien goed te noemen: De minimale χ^2 -waarden van alle fit's ligt beneden de kritieke zone ($P > 0.05$).

5.2 SOPRAAN-MODEL

5.2.1 Resultaten

Het sopraan-model zegt dat de bovenste melodieline een zeer belangrijke rol speelt in de beoordeling van de totale melodiebeweging in een RCS. Slechts bij de sinus- en de zaagtandgolfvorm is het het sopraan-model getest. Bij de Shepardgolfvorm is het namelijk niet mogelijk een sopraan of bas te definiëren, met het gevolg dat met deze golfvorm niet kan worden gewerkt in dit model. De resultaten van de sinus- en zaagtandgolfvorm zijn gegeven in de tabel 5.3.

RESULTATEN EN DISCUSSIE

sopraan		0	0	0	1	1	1	-1	-1	-1
bas		0	1	-1	0	1	-1	0	1	-1
Ψ										
sinus (%)		44.8	62.2	88.9	72.0	77.2	61.0	97.4	93.8	98.6
zaagtand (%)		40.7	60.2	84.5	73.5	77.5	62.5	96.5	93.4	98.1

tab. 5.3: Ψ als functie van de beweging van de sopraan en bas. Ψ correspondeert met de richting van de sopraan. Beweegt deze niet, dan correspondeert Ψ met de richting van de bas. Wanneer beide niet bewegen, correspondeert Ψ de beweging "omhoog".

- 1 : beweging omhoog
- 1 : beweging omlaag
- 0 : geen beweging

5.2.2 Discussie

Allereerst valt meteen de asymmetrie op in de percentages bij de beweging "omhoog" en "omlaag". De beweging "omlaag" wordt veel beter waargenomen (het verschil is ongeveer 25%). De verwachting was, dat "omhoog" en "omlaag" even goed waargenomen zouden worden. Er is dus sprake van een verschijnsel dat niet in dit model is meegenomen. Zelfs wanneer sopraan én bas niet bewegen, is ongeveer 55% van de antwoorden nog "omlaag". Waar deze asymmetrie van afhangt is onduidelijk.

Wordt de asymmetrie buiten beschouwing gelaten, dan zijn de volgende twee dingen te zien:

- i) De beweging van de sopraan speelt een zeer belangrijke rol in het herkennen van beweging. Wanneer de sopraan omlaag gaat is de herkenning zelfs bijna 100%.
- ii) De beweging van de bas speelt een zeer klein rolletje. Het verschil in herkenning tussen mee- en tegenwerkende bas bedraagt maar 5-15%. Slechts wanneer de sopraan niet beweegt is dit verschil wat groter (25%), doch dit verschil kan ook volledig

RESULTATEN EN DISCUSSIE

afhangen van de asymmetrie zoals die hierboven beschreven is.

De herkenning blijkt ook onafhankelijk te zijn van de golfvorm.

Het blijkt dat de "binnenste tonen" (opgesloten tussen sopraan en bas, voor zover ze er zijn) geheel geen rol spelen in de richtingsherkenning. De richtingsherkenning blijkt ook onafhankelijk te zijn van de transformatierichting N en de SRP. De Shepard-golfvorm kent geen sopraan en bas. Deze theorie is hier dan ook niet op van toepassing. Een vergelijking van een RCS met shepardgolfvorm met een CRC is dan ook hier weer mogelijk. Het CRC kent ook geen "bovenste" of "onderste" lichtje. Alle lichtjes (toontjes) zijn gelijkwaardig.

CONCLUSIES

6 CONCLUSIES

Hieronder zullen de belangrijkste conclusies uit het gehele experiment puntsgewijs genoemd worden:

6.1 Dipole Contribution Model

- Het Dipole Contribution Model (DCM) met maar één vrije parameter (V_{nj}) voldoet. Het blijkt altijd mogelijk een curve te fitten aan de data, die statistisch gezien voldoet. De overgebleven parameter kan worden geïnterpreteerd als de mate waarin de proefpersoon dipoles met de form h_{10} of h_{01} verwisseld met dipoles met form h_{11} .
- De psychometrische functie Ψ wordt geprononceerder naar mate i) er meer chords in het RCS zitten, en ii) de golfvorm van de elementen uit een RCS uit meer deeltonen bestaat. Ofwel: de resultaten worden geprononceerder naar mate er meer informatie in de RCS zit.
- In tegenstelling tot Allik, Dzhafarov en Ross (1984) worden er voor RCS's met sinusgolfvormen eveneens waarden voor de psychometrische functie Ψ gevonden die verklaard kunnen worden met het DCM.
- Een RCS met shepardgolfvormen geeft betere resultaten en is werkelijk een analogon van het Circular Random Cinematogram gebleken.
- De resultaten zijn duidelijker dan de resultaten van Allik, Dzhafarov en Ross (1984), maar nog niet zo geprononceerd als de resultaten die verkregen zijn met CRC's.

6.2 Sopraan-model

- Het sopraan-model laat zien dat er inderdaad een waarderingsverschil zit tussen de bovenste (sopraan) en de onderste (bas) tonen in een RCS. De sopraan blijkt een veel belangrijker rol te spelen dan de bas.
- Er is een merkwaardige asymmetrie in de data: Een beweging

CONCLUSIES

"omlaag" wordt veel beter waargenomen dan een beweging "omhoog".
Waar dit in zit is nog niet duidelijk.

- Het model is niet toepasbaar op RCS's met een Shepardgolfvorm. Dit is omdat zo'n golfvorm geen bovenste of onderste tonen kent.
- Het model kan niet zonder meer toegepast worden op RCS's met meer dan twee chords.

LITERATUUR

7 LITERATUUR

- 1964 Shepard, R.N. :Circularity in judgements of relative pitch.
Journ. of the Acoust. Soc. of America
36, (1964) 2346
- 1967 Goldstein, J.L. :Auditory non-linearity.
Journ. of the Acoust. Soc. of America
41, (1967) 676
- 1970 Anstis, S.M. :Phi movement as substaction process.
Vision Research 10, (1970) 1411
- 1971 Julesz, B. :Foundation of cyclopean perception.
Chicago: Chicago University Press.
- 1983 Clarke G.M.; :A basic course in statistics.
Cooke D. London: Arnold (2nd edition)
- 1984 Allik, J.; :Motion direction identification in ran-
Dzhafarov, E.N. dom cinematograms. A general model.
Journ. of Exp. Psychology: Human
Perception and Performance
10, 3 (1984) 378

LITERATUUR

- 1984 Allik, J.; :The identification of melody direction
Dzhafarov, E.N.; in random chord sequences.
Ross, J. Symposion: Computational models of
hearing and vision. Talin, 1984
- 1986 Eggen J.H. :The strike note of bells.
Afstudeerverslag van het Instituut voor
Perceptie Onderzoek.
Eindhoven, februari 1986.

DANKWOORD

Aan het eind van deze stage wil ik een dankwoord richten aan allen die hebben bijgedragen tot een goede afronding van deze stage.

Allereerst bedank ik Dr. A.J.M. Houtsma voor zijn begeleiding en waardevolle adviezen. Eveneens een woord van dank aan Berry Eggen en in het bijzonder Theo de Jong, omdat ik bij hen altijd terecht kon voor problemen op hard- en software gebied. Tenslotte bedank ik Dr. Houtsma, Berry Eggen en especially Jim Juola voor het zich beschikbaar stellen als proefpersoon.

Niek Versfeld

APPENDIX A

Data van de afzonderlijke proefpersonen. Alle data zijn uitgedrukt in percentages. De laatste kolom geeft het gemiddelde van alle proefpersonen.

A.1 Sinusgolfvorm

A.1.1 2 Chords

SRP	AH	BE	JJ	NV	TOT
.0	32	41	35	36	36
.1	38	44	47	42	43
.2	42	50	43	43	44
.3	40	45	44	44	43
.4	46	45	55	45	48
.5	50	46	46	48	48
.6	46	44	52	46	47
.7	47	50	56	55	52
.8	54	56	57	61	57
.9	61	65	61	63	63
1.0	65	67	74	73	70

A.1.2 4 Chords

SRP	AH	BE	JJ	NV	TOT
.0	40	39	36	33	37
.1	46	41	38	36	40
.2	38	47	44	32	40
.3	44	47	45	37	43
.4	56	44	54	52	52
.5	39	45	39	46	42
.6	51	54	50	49	51
.7	52	45	50	61	52
.8	64	61	56	64	61
.9	61	53	68	67	62
1.0	61	53	69	72	64

A.1.3 8 Chords

SRP	AH	BE	JJ	NV	TOT
.0	29	43	32	33	34
.1	42	46	35	27	38
.2	38	37	42	24	32
.3	40	38	46	35	40
.4	44	46	41	48	45
.5	50	53	56	60	55
.6	58	49	59	60	57
.7	63	55	64	72	64
.8	63	56	68	63	63
.9	71	55	74	72	68
1.0	67	57	72	82	70

A.2 Zaagt andgolfvorm

A.2.1 2 Chords

SRP	AH	BE	JJ	NV	TOT
.0	46	43	38	33	40
.1	48	45	51	44	47
.2	53	54	44	36	47
.3	55	50	51	40	49
.4	40	50	43	48	45
.5	63	58	66	59	62
.6	51	52	48	54	52
.7	50	47	50	48	49
.8	49	56	56	55	54
.9	56	61	52	62	58
1.0	54	56	56	66	58

A.2.2 4 Chords

SRP	AH	BE	JJ	NV	TOT
.0	45	36	33	34	37
.1	30	44	34	33	35
.2	51	42	45	35	43
.3	47	44	41	35	42
.4	56	47	57	50	53
.5	44	54	50	47	49
.6	53	48	54	56	53
.7	53	45	56	59	53
.8	56	50	59	63	57
.9	57	59	65	78	65
1.0	59	64	63	84	68

A.2.3 8 Chords

SRP	AH	BE	JJ	NV	TOT
.0	33	43	26	32	34
.1	44	37	35	32	37
.2	36	38	38	25	34
.3	40	42	38	32	38
.4	48	43	43	40	44
.5	59	46	46	52	51
.6	54	56	64	66	60
.7	48	50	70	75	61
.8	55	54	73	83	66
.9	62	74	84	89	77
1.0	66	63	73	88	73

A.3 Shepardgolfvorm

A.3.1 2 Chords

SRP	AH	JJ	NV	TOT
.0	41	61	26	43
.1	31	33	25	30
.2	43	46	21	37
.3	51	50	26	42
.4	40	51	41	44
.5	45	35	63	48
.6	53	40	50	48
.7	58	68	70	65
.8	61	63	63	62
.9	73	63	80	72
1.0	78	75	83	79

A.3.2 4 Chords

SRP	AH	JJ	NV	TOT
.0	25	28	31	28
.1	26	30	31	29
.2	23	30	28	27
.3	33	30	28	30
.4	40	55	30	42
.5	45	43	36	41
.6	45	48	63	52
.7	58	61	76	65
.8	83	73	83	80
.9	81	81	86	83
1.0	86	71	88	82

A.3.3 8 Chords

SRP	AH	JJ	NV	TOT
.0	25	30	18	24
.1	30	35	26	30
.2	28	25	20	24
.3	31	40	30	34
.4	46	50	41	46
.5	45	51	48	48
.6	63	56	51	57
.7	73	63	81	72
.8	81	83	86	83
.9	80	70	85	78
1.0	80	80	96	85

APPENDIX B

Programma waarmee de curven gefit zijn aan de data van appendix A. Het programma is geschreven in FORTRAN IV. De in het programma gebruikte file FILE 12(1,11,U,ISTAT) bevat 11 percentages, behorende bij de 11 SRP-waarden (0, .1, .2, ..., .9, 1.0).

```
SUBROUTINE ERF (BOV,RINT)
```

```
C      BEREKENT DE ERF-FUNKTIE
```

```
CON1=0.39894228
CON2=0.0539909665
E=2.718281828
IF (BOV.LT.-1.) THEN
  B=BOV+2
  TUS1=249.*B**9/362880.+97.*B**8/40320.
  TUS2=-11.*B**7/5040.-B**6/40.
  TUS3=-B**5/24.+B**4/12.
  TUS4=B**3/2.+B**2+B
  RINT=TUS1+TUS2+TUS3+TUS4
  RINT=RINT*CON2+0.0228
END IF
IF ((BOV.GE.-1.).AND.(BOV.LE.1.)) THEN
  TUS1=(BOV**9)/3456.-(BOV**7)/336.
  TUS2=(BOV**5)/40.-(BOV**3)/6.
  RINT=(TUS1+TUS2+BOV)*CON1+0.5
END IF
IF (BOV.GT.1.) THEN
  B=BOV-2
  TUS1=249.*B**9/362880.-97.*B**8/40320.
  TUS2=-11.*B**7/5040.+B**6/40.
  TUS3=-B**5/24.-B**4/12.
  TUS4=B**3/2.-B**2+B
  RINT=TUS1+TUS2+TUS3+TUS4
  RINT=RINT*CON2+0.9772
END IF
RETURN
END
```

IDENT FIT

 CURVE-FITTING AAN DE DATA

```

DIMENSION PUNTG(11),PUNTF(11),IPUNTG(11),IPUNTF(11)
DIMENSION VAR(11),QWA(11)
DEFINE FILE 12(1,11,U,ISTAT)
WRITE (1,(''$NAAM VAN DE FILE : '''))
READ (1,('1A6'))ZNAAM
CALL ASG (12,ZNAAM,ISTAT)
IF (ISTAT.NE.0) THEN
  WRITE (1,('' ASG 12-ERROR. ISTAT= ',I5)')ISTAT
END IF
WRITE (1,(''$ONNAUWKEURIGHEID IN U : '''))
NUM=INREAL(1,1,PREC)
WRITE (1,(''$CIRCULAIR (JA=RETURN) : '''))
NUM=ININT(1,1,ICIR)
IF (NUM.EQ.0) THEN
  ICIR=6
ELSE
  ICIR=5
END IF
WRITE (1,(''$AANTAL FRAMES : '''))
NUM=ININT(1,1,IFRAM)
DIP1=(IFRAM-1)*ICIR
READ (12'1)IPUNTG
10 CONTINUE
WRITE (1,(''$BOVENGRENS "U" : '''))
NUM=INREAL(1,1,VARB)
WRITE (1,(''$ONDERGRENS "U" : '''))
NUM=INREAL(1,1,VARO)
20 CONTINUE
DO 40 IK=0,10
  VAR(IK+1)=IK*(VARB-VARO)/10.+VARO
  QWA(IK+1)=0.
  DO 30 J=1,11
    PUNTG(J)=IPUNTG(J)/100.
    P=(J-1.)/10.
    Q=1.-P
    IF (IFRAM.EQ.2) THEN
      UTSC=DIP1*(VAR(IK+1)*(Q+.5)+P*Q+.25)+
      * P**2+Q**2-.5
    ELSE
      PQ=P**2+Q**2
      UTSC=DIP1*(VAR(IK+1)*(Q+.5)+P*Q+.25)+
      * PQ+PQ**2+(1-PQ)**2-1.
    END IF
    ETSC=DIP1*(P-.5)
    BOV=ETSC/(UTSC**-.5)
    CALL ERF(BOV,RINT)
    PUNTF(J)=RINT
    IPUNTF(J)=INT(100.*PUNTF(J)+.5)
    QWA(IK+1)=QWA(IK+1)+(PUNTF(J)-PUNTG(J))*2
30 CONTINUE
IF (IK.GE.2) THEN
  IF (QWA(IK).LT.QWA(IK+1)) THEN
    VARB=VAR(IK+1)
    VARO=VAR(IK-1)
    WRITE (1,('3F13.8')VAR(IK-1),VAR(IK),VAR(IK+1))
    WRITE (1,('3F13.8')QWA(IK-1),QWA(IK),QWA(IK+1))
    IF ((VARB-VARO).LT.PREC) GO TO 50
    GO TO 20
  END IF
END IF
40 CONTINUE
50 CONTINUE
VA=(VARB+VARO)/2.
WRITE (2,('' FILENAAM : ',1A6)')ZNAAM
WRITE (2,('' "U" : ',F13.8,' ' +/- ',F13.8)')VA,PREC
WRITE (2,('' KL. QWA. : ',F13.8,/)')QWA(IK)
WRITE (2,('' SRP %GOED %FIT'))
DO 60 I=1,11
  IJ=I-1
  WRITE (2,('15,2I8)')IJ,IPUNTG(I),IPUNTF(I)
60 CONTINUE
STOP
END
  
```