

SYNCHRONISATIE BIJ ENSEMBLESPEL¹⁾

RUDI RASCH

Inleiding

Westerse muziek heeft sinds de late Middeleeuwen voor het overgrote deel verschillende aparte maar simultane partijen, dikwijls stemmen genaamd. Voor een deugdelijke uitvoering van deze muziek is het noodzakelijk dat de tijdsstructuur van de afzonderlijke stemmen en de onderlinge relaties tussen de stemmen expliciet en ondubbelzinnig in de partituur zijn vastgelegd. In de beginfase werd polyfonie dikwijls „musica mensurata” (gemeten muziek) genoemd in tegenstelling tot musica plana, d.w.z. het gregoriaans, waar geen eis tot strikte bepaling van de tijdsstructuur bestond.

Het begin van een toon kan beschouwd worden als het karakteristieke tijdsmoment van die toon. Verschillende observaties van algemene aard bevestigen deze stelling. Traditionele muzieknotatie noteert de noten op de plaats van het beginmoment. Veel gespeelde instrumenten als piano en gitaar (meer algemeen: slag- en tokkelinstrumenten) produceren tonen die onmiddellijk beginnen weg te sterven. Timbre-experimenten, tenslotte, hebben laten zien dat het wegnemen van de eerste 50 of 100 msec van een toon de herkenning van het instrument ernstig bemoeilijkt.²⁾ We concluderen dus dat de tijdsstructuur van een muziekstuk het beste beschreven kan worden in termen van de beginmomenten van tonen. Bij samenspel is de belangrijkste taak dan ook de beginmomenten van gelijktijdig voorgeschreven tonen ook in de uitvoering te laten samenvallen, d.w.z. de synchronisatie van de verschillende partijen verloopt via de synchronisatie van beginmomenten. In de praktijk zal de synchronisatie nooit volkomen zijn, maar zal er altijd sprake zijn van een zekere mate van asynchronisatie. Deze asynchronisatie van beginmomenten van tonen in uitgevoerde muziek is het onderwerp van dit artikel.

Model

Om de mate van asynchronisatie te bepalen maken we gebruik van een statisch model dat uitgaat van de variantie van relatieve tijdsmomenten.³⁾ Stel een ensemble met drie spelers. Hoewel de musici als regel proberen, gelijktijdig voorgeschreven tonen ook gelijktijdig te spelen, zullen de inzetten in werkelijkheid iets uiteenlopen. De tijdsmomenten van de inzetten noemen we w_1 , w_2 , w_3 . Deze tijdsmomenten kunnen we ook uitdrukken ten opzichte van de gemiddelde

inzettijd ($\bar{w}$). In dat geval spreken we van *relatieve inzettijden*, die aangegeven worden met v_1 , v_2 en v_3 (zie Fig. 1). Over een bepaald muziekstuk genomen, kunnen we de inzetmomenten bepalen en het gemiddelde en de varianties van de verdelingen van relatieve inzettijden berekenen. Van de inzettijden afhankelijk zijn de *inzetverschiltijden*, in Fig. 1 aangegeven met $d_{1,2}$, $d_{1,3}$ en $d_{2,3}$. Het gemiddelde van de verdelingen van de inzetverschiltijden is rechtstreeks afhankelijk van dat van de relatieve inzettijden waar ze op gebaseerd zijn. De relatie tussen de varianties van beide typen verdelingen is gecompliceerder. Uitgaande van de onderstellingen dat de varianties van de relatieve inzetten onderling gelijk zijn, kan men de volgende relatie afleiden:

$$s_d^2 = \frac{2n}{n-1} s_v^2$$

waarin s_d^2 - variantie van inzetverschillen

s_v^2 - variantie van relatieve inzettijden

n - aantal stemmen.

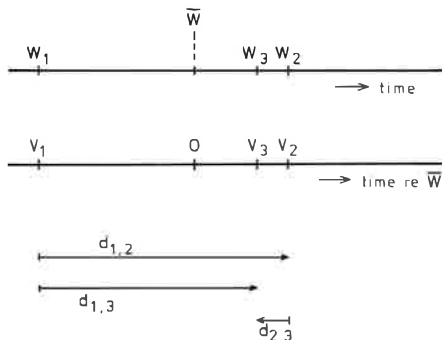


Fig. 1. Schematische voorstelling van de in de analyses gebruikte grootheden. w_1 , w_2 en w_3 zijn de absolute inzettijden van drie „gelijktijdige” tonen. v_1 , v_2 en v_3 zijn de inzettijden ten opzichte van de gemiddelde inzettijd $\bar{w}$ van de drie tonen. De inzetverschiltijden zijn aangegeven met $d_{1,2}$, $d_{1,3}$ en $d_{2,3}$.



Fig. 2. De bij de opnamen gebruikte opstelling van musici (Ensemble Saratoga) en microfoons in de echovrije ruimte van het Instituut voor Zintuigfysiologie TNO te Soesterberg.

Uit de onderstellingen vloeit voort dat ook alle varianties van inzetverschiltijden onderling gelijk zijn.

De gemiddelden van de verdelingen van relatieve inzettijden en inzetverschiltijden bleken weinig van nul te verschillen en klein te zijn ten opzichte van de standaardvariates.³⁾ Daarom zijn de standaarddeviaties geschikter als maten voor de asynchronisatie dan de gemiddelden. Met name zullen we dan gebruik maken van de standaarddeviatie van inzetverschiltijden, omdat de inzetverschiltijd tevens een fenomeen met perceptieve relevantie is. In het vervolg zal de term asynchronisatie in kwantitatieve zin gelijkgesteld worden met de standaarddeviatie van inzetverschiltijden.

Opnamen

Om synchronisatie te kunnen bestuderen, moesten we de precieze tijdsstructuur van elke gespeelde partij van de muziek kennen. Pogingen die gedaan zijn om het somgeluid van een meerstemmige compositie te ontleden in de afzonderlijke partijen kunnen maar ten dele geslaagd genoemd worden.⁴⁾ Voor problemen als een niet op te brengen grote benodigde computergeheugenruimte en de scheiding van tweeklanken met eenvoudige frequentieverhoudingen zijn nog geen bevredigende oplossingen gevonden. Beter is het, het geluid van de instrumenten op te nemen vóór ze gemengd zijn in een ensemblegeluid. Dit is te bereiken bijvoorbeeld door richtinggevoelige microfoons te gebruiken in een

echovrije ruimte. Fig. 2 is een schematische illustratie van deze werkwijze. De opstelling was het meest geschikt voor trio's, in verband met de hoek van geringste gevoeligheid van de microfoons ($\pm 120^\circ$). Het geluid van de instrumenten werd opgenomen op drie sporen van een vierkanaalsrecorder. De (akoestische) overspraak bedroeg ca. -20 dB voor de midden- en hoge frequenties, maar was groter voor de lagere frequenties.

Drie professionele ensembles – een blokfluitensemble, een blaas trio en een strik trio – verleenden hun medewerking bij het vervaardigen van deze speciale opnamen. Na een inspeelperiode vormde de extreme akoestische omgeving geen hindernis van betekenis voor een normale uitvoering.

Analyse

De tijdsstructuur van de gespeelde partijen werd bepaald aan de hand van de omhullende van de opgenomen signalen⁵⁾. De omhullenden werden na analoog-digitaal-conversie⁶⁾ in een computergeheugen opgeslagen, zodat verdere verwerking kon geschieden met behulp van de digitale programmering. Deze verdere verwerking omvat de volgende stappen:

1. Het vervaardigen van afbeeldingen van de omhullenden door middel van een grafische terminal van de computer (computerprogramma). Fig. 3 is een voorbeeld van een dergelijke afbeelding.
2. Het invullen van de gespeelde noten onder

de omhullenden (handwerk).

3. Het vaststellen van de pieken in de omhullenden (computerprogramma). Tevens werd het beginmoment van een piek gedefinieerd aan de hand van het passeren van een drempelniveau (onderbroken lijn in Fig. 3 en 4).

4. Het nummeren van die pieken in de afbeeldingen in overeenstemming met de nummering door het computerprogramma (handwerk). De afbeeldingen krijgen dan het uiterlijk als in Fig. 4.

5. Het correleren van de pieken in de omhullende met de gespeelde noten (handwerk).

6. Het selecteren van pieken behorende bij gelijktijdige noten uit verschillende stemmen (handwerk). Het resultaat van deze stap met betrekking tot het fragment uit Fig. 3 en 4 is weer gegeven in de meest linkse sectie van Tabel 1.

7. Het vaststellen van de absolute en relatieve inzetmomenten en de inzetverschildtijden van de drietallen van gelijke inzetten (computerprogramma). De rest van Tabel 1 geeft de resultaten van deze bewerking van het fragment uit Fig. 3 en 4.

8. Berekening van gemiddelde en standaarddeviatie van relatieve inzettijden en inzetverschildtijden (computerprogramma).

Van elk ensemble werden twee van de opgenomen composities op de geschetste wijze geana-



Fig. 3. Afbeelding van de omhullenden van drie simultane stemmen gedurende een muziekfragment van 9 sec, zoals geproduceerd door de grafische terminal van de computer. De horizontale schaal is een tijdschaal in sec.

lyseerd. Enkele gegevens hierover zijn in Tabel 2 samengevat.



Fig. 4. Dezelfde omhullenden als in Fig. 3, maar met de noten van de partituur ingevoegd en de pieken genummerd.

Pieken behorende bij gelijktijdige noten uit het in Fig. 3 en 4 afgebeelde fragment, met de bijbehorende absolute en relatieve inzetmomenten en inzetverschiltijden in msec.

Piek nr. kanaal			Absolute inzettijden			Relatieve inzettijden			Inzetver- schiltijd		
1	2	3									
18	5	18	11970	11995	11955	-3	21	-18	25	-15	-40
19	8	20	12670	12675	12695	-10	-5	15	5	25	20
22	12	22	13405	13390	13410	3	-12	8	-15	5	20
24	15	24	14075	14105	14125	-27	3	23	30	50	20
25	17	26	14795	14800	14795	-2	2	-2	5	0	-5
27	20	28	15500	15510	15470	7	17	-23	10	-30	-40

Tabel 2

Enkele gegevens over de geanalyseerde composities.

Ensemble en compositie	Instrumenten	Duur (sec)	Aantal inzet- ten
<i>Ensemble Saratoga:</i> H. U. Staeps, Trio	1 altblokfluit 1 2 altblokfluit 2 3 tenorblokfluit	415	372
T. Moore, Suite g minor	1 sopraanblokfluit 2 altblokfluit 3 tenorblokfluit	323	215
<i>Trio di Fiati:</i> A. Nudera, Divertimento F major	1 hobo 2 klarinet 3 fagot	506	419
Fr. Devienne, Sonatine D minor	als Nudera	155	162
<i>Trio van Helden:</i> L. van Beethoven, Andante con Variazioni and Marcia uit Trio, Op. 8	1 viool 2 altviool 3 violoncello	568	361
E. von Dohnányi, Marcia uit Serenade Op. 10	als Beethoven	121	111

Resultaten

De directe resultaten van onze onderzoeken worden gevormd door de uitkomsten van de statistische berekeningen met betrekking tot de relatieve inzettijden en de inzetverschiltijden. Deze berekeningen werden in eerste instantie uitgevoerd voor elke geanalyseerde compositie afzonderlijk. De belangrijkste statistische maten zijn de gemiddelde relatieve inzettijd en de stan-

daarddeviatie van de inzetverschiltijden.

De gemiddelde relatieve inzettijden zijn schematisch weergegeven in Fig. 5. Ze geven aan in hoeverre instrumenten gemiddeld eerder of later dan de andere inzetten bij een zgn. gelijke inzet. Bij het blaas- en strijktrio lijken melodie-instrumenten voorop te gaan (gevolgd door bas en middenstem), hetgeen in overeenstemming is met onze intuïtieve noties over de belangrij-

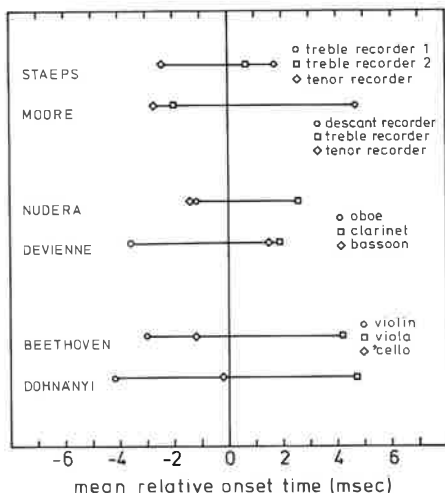


Fig. 5. Relatieve inzettijden van instrumenten, per compositie bepaald.

heid van de stemmen. Bij het blokkfluitensemble, waar de muziek een meer polyfoon karakter heeft, zijn de verschillen tussen de gemiddelde inzettijden gering. Als er verschillen zijn, gaat de basstem voorop. Hoewel de grootste verschillen significant zijn, moet interpretatie hiervan toch met grote terughoudendheid geschieden, omdat ze klein zijn ten opzichte van de standaarddeviaties en in dezelfde orde van grootte als de meet-eenheid (5 msec).

Voor de perceptie zijn de inzetverschillen belangrijker dan de relatieve inzettijden zelf. De verdelingen van de inzetverschiltijden laten gemiddelden zien die weinig van nul verschillen bij standaarddeviaties van 30 à 50 msec. Hierdoor is de standaarddeviatie de beste maat om de grootte van de verschillen te karakteriseren. Bij een ensemble van drie instrumenten zijn er drie verdelingen van inzetverschiltijden. Per compositie bleken deze verdelingen slechts weinig uiteen te lopen zodat het gemiddelde van de drie standaarddeviaties een goede maat is voor de onderlinge asynchronisatie van de verschillende stemmen in een muziekstuk. Fig. 6 is een schetsmatige weergave van de aldus bepaalde asynchronisatie van de geanalyseerde composities. Ook hier kunnen enkele verschillen tussen de ensembles opgemerkt worden. Het blokkfluitensemble is relatief goed gesynchroniseerd. De strijkers laten een veel grotere asynchronisatie zien. Waarschijnlijk moet men een relatie zien tussen inklinktijd en asynchronisatie. De relatief korte inklinktijd van blokkfluittonen maakt een goede synchronisatie nodig en mogelijk. Het inklinken van strijkerstonen is een veel geleidelijker proces hetgeen een exacte synchronisatie bemoeilijkt, maar ook niet strikt noodzakelijk

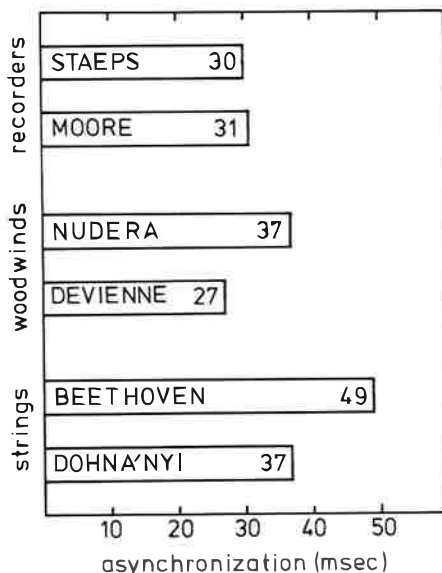


Fig. 6. Asynchronisatie per compositie, d.w.z. het (meetkundig) gemiddelde van de standaarddeviaties van de drie verdelingen van inzetverschillen.

maakt. De rietblazers nemen in dit opzicht een tussenpositie in.

Onderzocht is tevens de relatie tussen tempo en asynchronisatie. Hiertoe werd de asynchronisatie voor elk afzonderlijk deel van een compositie (totaal 18) berekend. Als maten voor het tempo werden gebruikt het metronoom-getal (aantal tellen per minuut) en de gemiddelde inter-inzet-tijd (duur van de muziek gedeeld door het aantal geanalyseerde inzetten). De correlatie tussen deze twee tempo-maten bedroeg -0.707. De correlatie tussen deze tempo-maten en asynchronisatie was ongeveer even groot: resp. 0.64 en 0.70. Kennelijk gaat hoger tempo samen met een betere synchronisatie.

Slotopmerkingen

Tot slot kunnen nog de volgende opmerkingen gemaakt worden:

1. Een zekere mate van asynchronisatie is al het gevolg van de beperkte snelheid van het geluid (zeg 1 m per 3 msec). Zelfs als musici dicht opeen zitten is er enige tijd nodig om elkaars instrumenten te horen. Hetzelfde geldt voor luis-teraars als de afstand van hen tot de verschillende instrumenten niet gelijk is. Als de afstand tussen musici groot is, bijvoorbeeld bij een groot orkest met koor en solisten, kan het effect van de afstand op de asynchronisatie en dus op de kwaliteit van de uitvoering aanzienlijk zijn.
2. Synchronisatie geschiedt kennelijk op grond van het geluid van de voorgaande tonen. Waar

de ritmische en/of metrische structuur van het voorafgaande gecompliceerd of onduidelijk is, wordt goede synchronisatie bemoeilijkt. Dit is het geval bij passages met ritenuto en accelerando, passages met korte noten in één stem en langer in andere, en dergelijke, maar ook bij eerste inzetten en inzetten van stemmen na rusten.

3. In de klassieke experimenten met betrekking tot de waarneming van volgorde door Hirsh⁹⁾ werd gevonden dat ruwweg 20 msec voldoende was om de opeenvolging van geluiden (tonen, kliks, ruis) correct waar te nemen en te benoemen. Het grootste deel van de door ons gemeten inzetverschillen is groter, maar toch geven de uitvoeringen bij afluisteren de indruk van volmaakte synchronisatie. Vermoedelijk spelen de volgende factoren een rol bij het onopgemerkt voorbijgaan van de op zichzelf genomen hoorbare inzetverschillen: 1°. De aandacht van de luisteraar op het horizontale verloop van de stemmen; 2°. De verschillen tussen gelijktijdige tonen in toonhoogte en timbre; 3°. De relatief lange inklinktijden en 4°. De toevallige verdeling van de verschillen. Een aantal van de geregistreerde inzetverschillen was zeer groot (110 à 200 msec) en zelfs deze vallen niet op bij onvoorbereid luisteren. Deze extreme voorbeelden kunnen het gevolg zijn van problemen van muzikale aard, maar ook van vergissingen van de speler(s).

4. Uit eerder door ons verrichte experimenten werd het duidelijk dat asynchronisatie een rol speelt bij de afzonderlijke waarneming van gelijktijdige tonen, welke constatering de eigenlijke aanleiding tot het hier beschreven onderzoek was. Indien men twee exact gelijk beginnende tonen aanbiedt aan een proefpersoon, is de neiging tot perceptieve versmelting sterk, vooral bij eenvoudige frekwentieverhoudingen (conso-

nante intervallen). Een asynchronisatie tweeklank daarentegen laat de afzonderlijke tonen veel beter uitkomen. Men zou kunnen speculeren dat dit perceptiemechanisme tezamen met de niet te vermijden asynchronisatie van uitgevoerde muziek meerstemmigheid tot een perceptief realiseerbaar muzikaal structuurelement maakt.

5. De enige oudere onderzoeken met betrekking tot asynchronisatie in uitgevoerde muziek zijn die van Vernon.⁹⁾ Ze betreffen pianospel waarbij Vernon gebruik maakte van pianolarollen. In Seashore's beschrijving is de maat die Vernon voor de asynchronisatie gebruikt, de „deviatie“, niet precies gedefinieerd zodat rechtstreekse vergelijking van zijn resultaten met de onze niet mogelijk is. Op het eerste gezicht lijken ze echter elkaar niet essentieel te ontlopen. Een belangrijk verschil tussen piano- en ensemblespel is dat bij pianospel opzettelijke asynchronisatie mogelijk is, terwijl dat bij ensemblespel onmogelijk of op z'n minst riskant is. Seashore legt eveneens het verband tussen asynchronisatie en waarneembaarheid, maar plaatst asynchronisatie tevens in een geheel ander licht. Zijn uitgangspunt is dat „schoonheid in de muziek vooral gelegen is in de artistieke afwijking van het exacte en precieze“. Wat die artistieke afwijking inhoudt, wordt in het midden gelaten. De omgekeerde formulering geldt overduidelijk. In elke artistieke muzikale uitvoering is er een constant afwijken van het in de partituur voorgeschrevene, en wel in alle opzichten (frekwentie, tijd, duur enz.) en deze afwijkingen zijn in hoge mate verantwoordelijk voor het „levende“ karakter van uitgevoerde muziek. De asynchronisatie van „gelijktijdige“ tonen moet beschouwd worden als een van de belangrijkste categorieën van „onregelmatigheden“ in uitgevoerde muziek.

Noten

J. Acoust. Soc. Amer. = Journal of the Acoustical Society of America.

1) Dit artikel bevat resultaten van onderzoek dat verricht werd in het kader van het door de Ned. Stichting voor Zuiver Wetenschappelijk Onderzoek (ZWO) gesubsidieerde onderzoeksproject „Waarneming van tonen in meerstemmige muziek“. Het werd uitgevoerd op het Instituut voor Zintuigfysiologie TNO te Soesterberg.

2) Zie bijv. M. Clark et al., Preliminary experiments on the aural significance of parts of tones of orchestral instruments and on choral tones. Journal of the Audio Engineering Society 11, 1963, 45-54. K. Berger, Some factors in the recognition of timbre. J. Acoust. Soc. Amer. 36, 1964, 1888-1891. E. Saldanha and J. Corso, Timbre cues and the identification of musical instruments. J. Acoust. Soc. Amer. 36, 1964, 2021-2026.

3) De *variantie* is een statistische maat, gedefinieerd als het gemiddelde van het kwadraat van het verschil met het gemiddelde van een aantal getallen. Stel bijv. acht getallen: 8, 11, 14, 16, 12, 10, 2, 31. Het gemiddelde is 13. De verschillen met het gemiddelde, de afwijkings- of deviatiescores zijn dan -5, -2, 1, 3, -1, -3, -11, 18. De kwadraten daarvan zijn 25, 4, 1, 9, 1, 9, 121, 324. Het gemiddelde daarvan is (afgerond) 62, dus de variantie. Als beschrijvende maat wordt vaak gebruikt de wortel uit de variantie, de zogenaamde *standaarddeviatie*; in ons voorbeeld $\sqrt{62} \approx 8$. Dit is een maat voor de spreiding van getalswaarden. Bij een zogenaamde normale verdeling geldt bijvoorbeeld bij benadering dat 2/3 van de getalswaarden ligt tussen het gemiddelde min één standaarddeviatie en het gemiddelde plus één standaarddeviatie in ons voorbeeld dus tussen 5 en 21.

- 4) Zie bijv. P. A. Tove, L. Ejdesjö & A. Svärðström, Frequency and time analysis of polyphonic music. J. Acoust. Soc. Amer. 41, 1967, 1265. J. A. Moorer, On the segmentation and analysis of continuous musical sound by digital computer. Report STAN-M-3, Center for computer research in music and acoustics. Stanford University, Stanford 1975.
- 5) De omhullende van een toon is een grafiek die het momentaan niveau van de toon aangeeft.
- 6) Analooq-digitaal-conversie wil zeggen dat een doorlopende continue lijn wordt gerepresenteerd door een reeks getallen.
- 7) De correlatie is een maat voor de samenhang tussen twee kenmerken. Correlatie nul wil zeggen: geen samenhang; correlatie $+1$: maximale positieve samenhang; correlatie -1 : maximale negatieve samenhang.
- 8) I. J. Hirsh, Auditory perception of order. J. Acoust. Soc. Amer. 31, 1959, 759.
- 9) Zie C. E. Seashore, Psychology of music, McGraw-Hill, New York, 1938, blz. 248-253.

