

# Samenvatting

Voor het zoeken naar muziek op het Web, in een bibliotheek, of in een persoonlijke verzameling van muziek kan het nuttig zijn om een zoekmachine te hebben die de muziek zelf doorzoekt en niet alleen meta-gegevens. De huidige zoekmachines werken vooral op basis van titel en artiestnamen, en niet met melodieën of andere muzikale inhoud. In dit proefschrift wordt op een fundamentele manier ingegaan op de vraag hoe men kan uitrekenen hoe melodieën (of meer algemeen, verzamelingen van muzieknoten) op elkaar lijken.

## Een overzicht van systemen voor Music Retrieval

In hoofdstuk 2 (pagina 9) worden verschillende bestaande systemen en algoritmes voor het zoeken naar muziek beschreven. Het bevat ook een overzicht van taken en gebruikers voor MIR (Music Information Retrieval) systemen. Er blijkt een gat te bestaan tussen systemen die op een heel algemeen niveau zoals genre werken en systemen voor heel specifieke taken zoals identificatie van een werk of een opname. Taken zoals intertekstualiteit of de identificatie van een artiest worden niet door vele systemen ondersteund. Waarschijnlijk is het nodig om daarvoor muziek op een hoger, meer abstract niveau dan noten te representeren.

## Een afstandsmaat voor melodieën

Elke muzieknoot wordt omgezet in een twee-dimensionaal punt met een gewicht dat de belangrijkheid van de noot aangeeft. Hoe belangrijker de noot in een melodie is, hoe groter het gewicht. De dimensies zijn het tijdstip waarop een noot begint en de toonhoogte. Zie figuur 3.1 op pagina 24.

Met de zogenaamde Earth Mover's Distance wordt uitgerekend hoe goed twee verzamelingen van dat soort punten op elkaar lijken. Dit gaat als volgt. De ene verzameling wordt opgevat als een stel bergjes aarde, de andere als een stel gaten in de grond. Vervolgens wordt uitgerekend op welke manier de gaten het efficiëntst gevuld kunnen worden met de aarde. De (minimale) hoeveelheid moeite die het vullen van de gaten kost, is een maat voor de gelijkenis van de twee puntenverzamelingen: als er weinig verschil is, dan liggen de bergjes en gaten dicht bij elkaar, en dan kost het weinig moeite om de gaten te vullen. Figuur 3.3 op pagina 31 geeft een illustratie van het berekende transport van de bergjes (bovenste rij) naar de gaten (onderste rij). De melodieën in dit voorbeeld lijken muzikaal sterk op elkaar, en ook het berekende transport is klein.

Deze methode is uitgetest op een collectie van bijna 500.000 'incipits', korte muziekfragmenten die opgenomen zijn in een catalogus van muziekhandschriften (RISM A/II). Een aanzienlijk deel van de handschriften is anoniem overgeleverd. Met deze methode zijn kandidaat-componisten opgespoord voor 18.000 anonieme muziekstukken. Zie figuur 3.5 op pagina 33 voor een voorbeeld. Daarvoor was het wel nodig om een index te bouwen over de collectie. Stel dat een enkele vergelijking tussen twee puntenverzamelingen een milliseconde zou duren, dan had het vergelijken van alle anonieme stukken meer dan een jaar geduurd. Met de ontwikkelde indexeringsmethode was dat een kwestie van minuten.

## Indexeringsmethode: Vantage Objects

Vleugels en Veltkamp hebben vantage indexing ontwikkeld voor het zoeken in objectruimten waarin de driehoeksongelijkheid geldt. Als een afstandsmaat aan de driehoeksongelijkheid voldoet, is het mogelijk om een zoekopdracht met behulp van vantage objects te versnellen. Om naar een nieuw object te zoeken, worden de afstanden naar de vantage objecten berekend, en met deze informatie kan op een efficiënte manier een verzameling van objecten met ongeveer dezelfde afstanden uit de database geselecteerd worden. Slechts deze objecten worden dan met de zoekvraag vergeleken.

In dit proefschrift wordt beschreven hoe vantage indexing voor muziek kan worden toegepast. Wij splitsen de muziek in segmenten en gebruiken vantage indexing om segmenten te vinden die op een segment uit de zoekvraag lijken. Voor het zoeken naar melodieën is het niet altijd goed om alleen naar “nearest neighbours” te zoeken, maar ook het zoeken in een vaste zoekradius heeft nadelen. Wij werken met een variabel zoekradius om de voordelen van een “nearest neighbour” search en het zoeken binnen een bepaalde radius te combineren.

Omdat in verschillende muziekstukken vaak dezelfde segmenten voorkomen (tenminste als de segmenten kort genoeg zijn), is het mogelijk om veel geheugen te besparen door de tabel met muzieksegmenten en afstanden naar vantage objects te splitsen in een tabel met unieke segmenten en hun afstanden naar vantage objects en een tweede tabel met de informatie waar en in welken muziekstukken de segmenten voorkomen.

Een belangrijke vraag is hoeveel vantage objects er voor een optimale zoeksnelheid nodig zijn. Een groter aantal vantage objects betekent minder false positives en dus minder werk voor het uitrekenen van de werkelijke afstanden voor de nearest neighbours, maar het betekent ook meer werk voor het indexeren van gegevens, en de index neemt meer ruimte in beslag. We hebben voor een constante aantal kandidaten experimenten met 1 tot 8 vantage objects gedaan.

Niet alleen het aantal, maar ook de kwaliteit van vantage objects heeft een grote invloed op hoe goed het zoeken werkt. In een goede verzameling van vantage objects zitten erg verschillende vantage objects; als twee vantage objects te sterk op elkaar lijken, levert het tweede vantage object geen extra informatie op en kan worden weggelaten. Voor ieder vantage object is ook belangrijk dat voor verschillende muzieksegmenten de afstand naar het vantage object ook niet te gelijk is.

## Evaluatie van zoekalgoritmes voor muziek

MIREX is een internationale muziekretrievalcompetitie. In 2005 werd voor MIREX in de categorie vergelijking van genoteerde melodieën een “ground truth” gebruikt die in dit onderzoek was vervaardigd. Voor enkele zoekvragen werden ongeveer 50 kandidaten uit de RISM A/II collectie geselecteerd. Menselijke experts bepaalden dan een ideale volgorde van deze incipits. In de praktijk produceren verschillende algoritmes verschillend geordende resultaten; met de nieuw ontwikkelde maat voor de kwaliteit van zoekresultaten, “Average Dynamic Recall” (ADR), kunnen deze worden vergeleken met de ideale volgorde. Met ADR is het mogelijk om “ground truths” te gebruiken die slechts partieel geordend zijn. Als de ideale volgordes van meerdere menselijke experts tot een algemene ideale volgorde verwerkt worden, gebeurt het vaak dat de rangen van groepen van melodieën met een hoge statistische significantie verschillen, maar niet de rangen van individuele melodieën. Met ADR

kan de betrouwbare informatie over verschillen tussen groepen worden gebruikt zonder dat de minder betrouwbare informatie over verschillen binnen deze groepen invloed op de uitslag heeft.

Bij MIREX 2006 behaalde de in dit proefschrift beschrevene vergelijkingsmethode de eerste plaats voor genoteerde melodieën.

### **Een algemenere manier om transportafstanden te beschrijven: Network Flows**

In hoofdstuk 6 (pagina 98) wordt beschreven hoe transportafstanden zoals de “Earth Mover’s Distance” op een algemenere manier kunnen gemodelleerd worden. Met “Network Flows” is het mogelijk om nieuwe afstandsmaten met bepaalde eigenschappen te ontwikkelen. Wij beschrijven als een voorbeeld een afstandsmaat voor akkoorden dat het mogelijk maakt om iedere combinatie van monofone en polyfone muziek te vergelijken. Met dit maat treedt ook een probleem niet op dat met de Earth Mover’s Distance wel kan optreden: voor sommige combinaties van noten wordt met de Earth Mover’s Distance gewicht van een noot naar een andere noot getransporteerd die veel later of eerder voorkomt. Deze noten zijn dan niet goed vergelijkbaar. Zie figuur 6.7 (pagina 107) voor een illustratie.