

Erkennung von Motiv- und Themenvariationen

Jannik Arndt
Universität Oldenburg
jannik.arndt@uni-oldenburg.de

Abstract: Die algorithmische Erkennung von Motiven stellt einen wichtigen Bereich des Music Information Retrieval dar. Da ein zentrales Merkmal von Musik jedoch ist, dass Motive und Themen variiert werden, ist es eine wichtige Aufgabe, diese Variationen erkennen und zuordnen zu können. Dies kann bei regelbasiertem Vorgehen durch eine Kombination eines *Sliding Window* mit einem Entscheidungsbaum gelöst werden, bei komplexeren Veränderungen wird jedoch eine Heuristik benötigt, die menschliche Erkennungsprozesse so modelliert, wie sie in der Musikpsychologie erklärt werden.

1 Einleitung

In den meisten Fällen ist Musik schön, weil sie *nicht* einfach, sondern komplex, nicht repetitiv, sondern abwechslungsreich, nicht einfach zu durchschauen, sondern tiefgründig ist. Das wiederum macht es schwierig, sie mit mathematischen Methoden zu erfassen, die zwar ebenso komplex, abwechslungsreich und tiefgründig sein können, am Ende aber immer logisch sind. Diesen Luxus bietet Musik nicht. Ihre Logik ist abhängig von Epochen, Stilen und Sozialisierungen.

Während viele Konzepte der Musik wie z. B. die Harmonik mit der Zeit einen starken Wandel erfahren haben, hat sich eins relativ konstant gehalten: Die Melodie. Von frühen Werken der Renaissance über klassische und romantische Sinfonien und (die meisten) modernen Werke bis hin zu aktuellen Stücken der Popmusik können wir instinktiv aus einem Haufen von Schall eine Melodie oder eine Variation davon wahrnehmen. Der Gedanke liegt nahe, dass dies etwas sein müsste, was relativ leicht auch algorithmisch umzusetzen ist. Dieses Paper zeigt, dass dies jedoch nur bei der Teilmenge der regelbasierten Variationen der Fall ist.

Algorithmische Motiv- bzw. Melodieerkennung ist ein Teilbereich des Music Information Retrieval (MIR) [LInR08]. Dieser unterteilt sich in Anwendungen auf Audiodaten, also in der Regel Aufnahmen von Aufführungen, und Anwendungen auf symbolischen Daten, sprich Noten im weitesten Sinne. Diese werden häufig auch als *Standard Music Notation* (SMN) bezeichnet und sind daher symbolisch, weil sie lediglich die Anweisungen, wie etwas zu spielen ist, speichern und wiedergeben.

2 Erkennung bekannter Variationen

Die Musiktheorie bietet eine Auswahl an Vorgehensweisen, um Motive und Themen zu variieren. Die geläufigsten sind in Abb. 1 dargestellt, wobei a) das Ausgangsmotiv aus Mozarts *Sonata facile* (KV 545) ist. Dies sind:

- Transposition, mit den Unterscheidungen
 1. im Kontext einer anderen Tonart, also intervallgetreu (Abb. 1 b)),
 2. in der Ausgangstonart, aber auf einem anderen Ton beginnend, also u. U. nicht intervallgetreu, sondern angepasst,
- Stauchung (Abb. 1 c)) oder Streckung (Abb. 1 d)), z. B. werden aus allen 8teln 16tel, oder aus allen 8tel 4tel,
- Krebs, also vertikale Spiegelungen oder “rückwärts wiedergegeben” (Abb. 1 e)),
- Umkehrung, also horizontale Spiegelungen, dabei nicht unbedingt intervallgetreu, sondern an die Tonart angepasst (Abb. 1 f)),
- Umspielung, also das Motiv mit zusätzlichen Tönen versehen. Dabei ist zu beachten, dass die Originaltöne natürlich kürzer werden (Abb. 1 g)),
- Verschiebung auf eine andere Zählzeit (Abb. 1 h)). Dies ist aus musikalischer Sicht trivial, aus algorithmischer hingegen nicht,
- Veränderte Fortführung, d. h. der Anfang ist zwar gleich, ab einem bestimmten Punkt ändert sich die Melodie aber (Abb. 1 i)).



Abbildung 1: a) Eingangsmotiv aus Mozarts *Sonata Facile* (KV 545), b) Transposition, c) Streckung, d) Stauchung, e) Krebs, f) Umkehrung, g) Umspielung, h) Verschiebung, i) veränderte Fortführung, j) Mozarts Original-Variation

Diese Techniken sind problemlos algorithmisch zu erkennen, indem ein *Sliding Window* über die Noten fährt und jeweils zwei Noten überprüft. Dabei wird ein Entscheidungsbaum (siehe Abb. 2) abgearbeitet: Sind die ersten beiden Noten gleich, wird auf eine originale Wiederholung oder eine Umkehrung geprüft. Bei der Umkehrung ist der Sprung genauso weit, die Richtung jedoch verschieden, daher *Abs(Sprung)*. Sind die ersten Noten nicht gleich, wird der Unterschied festgestellt und dieselbe Veränderung (nach Tonlängen und

-höhen getrennt) auf die zweite Note angewandt. Erreicht man damit eine Gleichheit, wird die Veränderung auf das gesamte Motiv angewandt und dieses dann mit der Fundstelle verglichen. Der Code hierzu ist unter <http://www.jannikarndt.de/media/docs/findVariation.py> verfügbar.

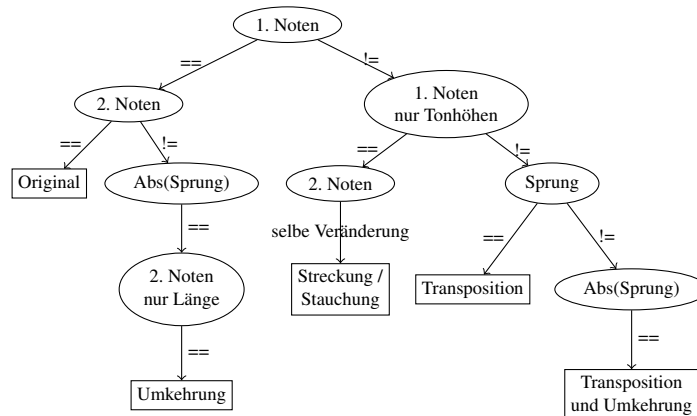


Abbildung 2: Entscheidungsbaum um anhand von zwei Noten Umkehrungen, Streckungen/Stauchungen und Transpositionen zu entdecken.

3 Erkennung unbekannter Variationen

Insbesondere aber um aus kleinen Motiven ganze Themen zu erstellen werden in der Regel andere Variationen genutzt, die nicht standardisiert und daher auch nicht einfach zu entdecken sind. Abb. 1 j) zeigt die Variation, die Mozart in seiner *Sonata Facile* (KV 545) gewählt hat. Sie benutzt keine der oben genannten Vorgehensweisen. Vergleicht man die Tonsprünge der beiden Motive, so findet man keine Ähnlichkeit. Trotzdem erkennt man beim Hören, dass die beiden Motive zusammengehören.

Die Musikpsychologie erklärt diese Fähigkeit anhand der Gestalt-Theorie [But92, PW04]. Ziel für einen Algorithmus ist es also

- nach dem *Gesetz der Prägnanz* Unterteilungen zu finden, die sich durch ein bestimmtes Merkmal abheben und dabei einfache Strukturen ergeben,
- nach dem *Gesetz der Nähe* nicht auf konkrete Intervallsprünge zu achten, sondern Bereiche zu entdecken, in denen ähnliche Arten von Sprüngen auftreten und
- nach dem *Gesetz der Kontinuität* die Richtung von Läufen (auf- oder absteigend) zu berücksichtigen.

Abb. 3 zeigt, wie diese Gesetze auf den Anfang und die Variation des Motivs aus der *Sonata Facile* angewandt werden können. Aus diesen Vorgaben kann folgender heuristischer Algorithmus aufgestellt werden:

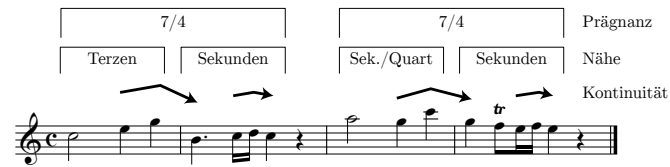


Abbildung 3: Die drei wichtigsten Gestalt-Gesetze im Anfang von Mozarts *Sonata Facile*.

Zunächst wird das Stück in *Kandidaten* unterteilt die eine ähnliche Länge wie das gesuchte Motiv haben. Nun werden für Teilbereiche dieser Kandidaten, z. B. ganze, halbe oder viertel Takte, die Intervalle berechnet und nur das am häufigsten vorkommende mit dem Motiv verglichen. Die Unterteilung kann aus dem Motiv gewonnen werden, indem das Doppelte des längsten Notenwertes gewählt wird. Im Beispiel von Abb. 3 ist der längste Notenwert eine Halbe, daher werden ganze Takte betrachtet. So ist sichergestellt, dass für jede Unterteilung mindestens ein Intervall existiert. Als dritter Schritt werden die Richtungen der Melodielinie berechnet. Da z. B. Umspielungen als Rauschen betrachtet werden, ist es sinnvoll, die Zählzeiten des Originalmotivs auf den Kandidaten zu übertragen und nur die Richtung zwischen diesen *Referenzpunkten* zu vergleichen.

4 Zusammenfassung

Variationen von Motiven und Themen sind ein zentraler Bestandteil der Musik. Es ist daher eines der grundlegenden Probleme des Music Information Retrieval, diese Variationen erkennen und in größeren Werken finden zu können. Für einfache Variationen, die nach bekannten Regeln erstellt werden, ist dies mit einer Kombination eines *Sliding Windows* mit einem Entscheidungsbaum einfach umsetzbar. Für komplexere Variationen muss jedoch auf Erkenntnisse der Musikpsychologie zurückgegriffen werden, welche als Erklärung für das menschliche Erkennungsvermögen die Gestalttheorie anführt. Anhand dieser kann ein heuristischer Algorithmus erstellt werden, der losgelöst von konkreten Notenwerten die größeren musikalischen Konzepte vergleicht. Es steht noch aus, diesen Algorithmus zu implementieren und seinen Erfolg in der Praxis zu zeigen.

Literatur

- [But92] David Butler. *Musician's Guide to Perception and Cognition/Book and Disk*. Schirmer Books, 1992.
- [LInR08] Pedro J Ponce De León, José M Iñesta und David Rizo. *Mining Digital Music Score Collections : Melody Extraction and Genre Recognition*. Number November. 2008.
- [PW04] MT Pearce und GA Wiggins. Rethinking gestalt influences on melodic expectancy. *Proceedings of ICMPC8*, Seiten 367–371, 2004.