

Symbolic Music Similarity

Presentation

Ali Bektas Paul Kröger

February 8, 2020

Überblick

1. Grundlegendes
2. A Section Name To Say "Different Approaches"
3. MIREX : Algorithmen treten gegeneinander an
 - 3.1 Ground Truth
 - 3.2 Average Dynamic Recall
 - 3.3 MIREX 2005
 - 3.4 Urbano MelodyShape
4. Bibliographie

Darstellung von Noten

- Melodie : *"singbare, in sich geschlossene Folge von Tönen"* [1]
- Harmonie :
"wohltönender Zusammenklang mehrerer Töne oder Akkorde" [2]
- Schlüssel : *"dient in der Musiknotation dazu, im Notensystem festzulegen, welche Tonhöhe die fünf Notenlinien repräsentieren."* [3]



Figure: Source: [3]

Symbolic Music Similarity

└ Grundlegendes

└ Darstellung von Noten

Darstellung von Noten

- **Melodie** : "singbare, in sich geschlossene Folge von Tönen" [1]
- **Harmonie** :
"wehtönender
Zusammenklang
mehrerer Töne oder
Akkorde" [2]
- **Schlüssel** : "dient in der
Musiknotation dazu, im
Notensystem festzulegen,
welche Tonhöhe die fünf
Notenlinien
repräsentieren." [3]



Figure: Source: [3]

1. Das bedeutet für uns immer ein Ton zu einer bestimmten Zeit.
2. In sich geschlossene Folge von Tönen hängt mit Harmonie zusammen.

Darstellung von Noten

"Representing music as a weighted point set in a two-dimensional space has a tradition of many centuries. Since approximately the 10th century, one popular way of writing music has been to use a set of notes (points) in a two-dimensional space, with time and pitch as coordinates."[6]

Symbolic Music Similarity

└ Grundlegendes

└ Darstellung von Noten

"Representing music as a weighted point set in a two-dimensional space has a tradition of many centuries. Since approximately the 10th century, one popular way of writing music has been to use a set of notes (points) in a two-dimensional space, with time and pitch as coordinates."^[6]

1. In diesem Kontext kann "Gewicht" vieles sein: Die Position einer Note im Takt , die Länge einer Note im Takt , usw.

Darstellung von Noten

- Rhythmus
- Tonlage
- und vieles mehr

III.
ADAGIO:^{*}
G-dur.

Adagio.



* Nach dem Klavierauszug der Ausgabe B) der Wiener, Fassung 1828/29 (Hrsg. an. 6. u. 12.).

Figure: Source: IMLSP Archive

- Rhythmus
- Tonlage
- und vieles mehr



Figure: Source: IMLSP Archive

1. Notendarstellung heißt nicht nur , zu welcher Zeit ein Ton gespielt wird , sondern auch , Informationen über , Gefühl beim Spielen , vortragsbetreffliche Elemente zu übermitteln.

Ein graphbasierter Ansatz



1

- Der Inhalt wird schrittweise vereinfacht.
- Dazu sind die **Gewichte** der einzelnen Noten von Bedeutung.
 - die unterliegende harmonische Funktion
 - die metrische Position
 - die Differenz der Tonlagen zwischen dem Ton und dem Grundton

¹"A Measure of Melodic Similarity Based on a Graph Representation of the Music Structure" [7] von Nicola Orio und Antonio Rodá.

Symbolic Music Similarity

└ A Section Name To Say "Different Approaches"

└ Ein graphbasierter Ansatz



- Der Inhalt wird schrittweise vereinfacht.
- Dazu sind die **Gewichte** der einzelnen Noten von Bedeutung.
 - die unterliegende harmonische Funktion
 - die metrische Position
 - die Differenz der Tonlagen zwischen dem Ton und dem Grundton

1 "A Measure of Melodic Similarity Based on a Graph Representation of the Music Structure" [1] von Nicola Orto und Antonio Rodà.

1. Die Modelle die sich mit der Wahrnehmung von Musik beschäftigt , geht davon aus dass wir Melodien nicht so speichern, wie sie sind sondern vereinfachen wir sie , behalten nur Merkmale.

Ein graphbasierter Ansatz

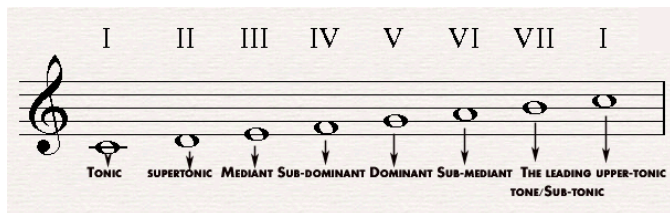


Figure: Funktionen der Noten im Tonleiter[9]

Symbolic Music Similarity

└ A Section Name To Say "Different Approaches"

└ Ein graphbasierter Ansatz



Figure: Funktionen der Noten im Tonleiter[9]

1. Tonic harmonisch relevanter als Dominant und Dominant als Sub-Dominant usw.

Ein graphbasierter Ansatz

- Der Inhalt wird schrittweise vereinfacht.
- Dazu sind die **Gewichte** der einzelnen Noten von Bedeutung.
 - die unterliegende harmonische Funktion (harmonic weight)
 - die metrische Position (metric weight)
 - die Differenz der Tonlagen zwischen dem Ton und dem Grundton (melodic weight)

Symbolic Music Similarity

└ A Section Name To Say "Different Approaches"

└ Ein graphbasierter Ansatz

- Der Inhalt wird schrittweise vereinfacht
- Dazu sind die **Gewichte** der einzelnen Noten von Bedeutung
 - die unterliegende harmonische Funktion (harmonic weight)
 - die metrische Position (metric weight)
 - die Differenz der Tonlagen zwischen dem Ton und dem Grundton (melodic weight)

1. Jeder Takt wird in jedem Schritt dadurch vereinfacht , dass einige Noten eliminiert sind , und die Bleibenden um die Länge der Eliminierten erweitert werden.
2. Diese Methode heißt Pseudo-Structural Representation (PSR)

Ein graphbasierter Ansatz

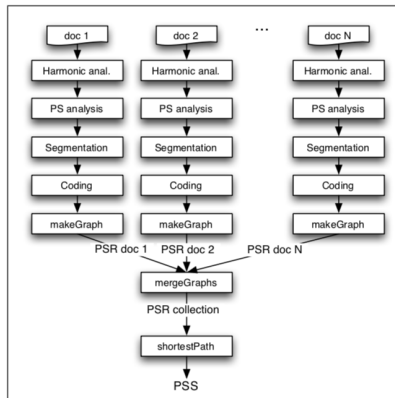


Figure: Ablauf des gesamten Verfahren [7]

Symbolic Music Similarity

└ A Section Name To Say "Different Approaches"

└ Ein graphbasierter Ansatz

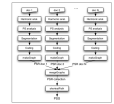


Figure: Ablauf des gesamten Verfahrens [7]

1. Zuerst wird eine harmonische Analyse durchgeführt. Diese hat die Aufgabe, die Beziehung zwischen Noten zu erkennen.
2. Die Funktionen der Noten in einem Tonleiter sind nicht immer genau zu bestimmen. Manchmal ist es nicht klar in welchem Kontext zwei Noten zueinander im Verhältnis stehen.
3. In diesem Paper haben die Autoren deshalb die harmonische Eigenschaften manuell erstellt, was keine positive Eigenschaft ist.
4. Im zweiten Schritt kommt Vereinfachung hinzu. Der Anfangsmelodie werden die erwähnten Gewichte zugeschrieben.
5. Nach der Analyse erfolgt die Vereinfachung und dann geht der Algorithmus iterativ weiter, bis nur jeweils eine oder zwei Note in jedem Takt steht.

Ein graphbasierter Ansatz

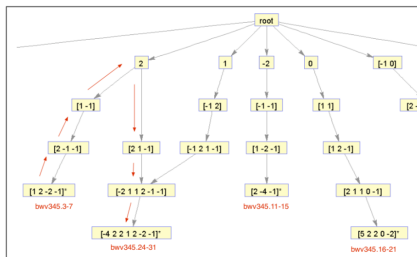
level 4

level 3

level 2

level 1

surface



"Algorithms for Computing Geometric Measures of Melodic Similarity" [8]
von Greg Aloupis, Thomas Fevens, Stefan Langerman, Tomomi Matsui, Antonio Mesa, Yurai Nunez, David Rappaport, and Godfried Toussaint

Ein mathematischer Ansatz

- Melodien werden als Polygonalketten dargestellt
- Tonlänge wird durch Länge der waagerechten Kanten modelliert
- Intervalle werden durch Länge der senkrechten Kanten modelliert

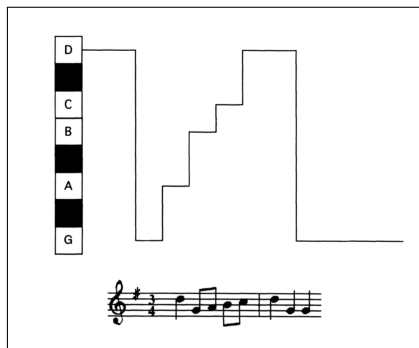


Figure: Source: [8]

Ein mathematischer Ansatz

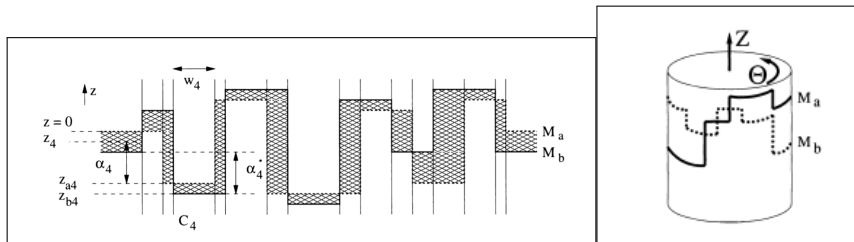


Figure: Source: [8]

MIREX

- Ein Wettbewerb und Plattform für Interessierte
- Es gibt verschiedene Kategorien
 - Real-time Audio to Score Alignment (a.k.a Score Following)
 - Discovery of Repeated Themes and Sections
 - Audio Melody Extraction
 - **Symbolic Melodic Similarity**
 - ...
- Gegeben ein Ziel , treten verschiedene Algorithmen gegeneinander zum Wettkampf an. Derjenige, der die besten Ergebnisse hat , gewinnt.
- **Nun eine Frage:**Wie kann man Algorithmen miteinander vergleichen?
- Es kommt nicht auf die Laufzeit oder Speicherbedarf an , sondern auf die Qualität der Ergebnisse.
- Welche Messmethoden gibt es , um die Qualität von solchen Ergebnissen zu beurteilen?

MIREX

Overall	AP1	AP2	AU1	AU2	AU3	GAR1	GAR2	FHAR
ADR	0.031	0.024	0.666	0.698	0.706	0.712	0.739	0.730
NRGB	0.028	0.027	0.601	0.590	0.616	0.617	0.683	0.666
AP	0.017	0.023	0.525	0.477	0.500	0.508	0.545	0.545
PND	0.044	0.056	0.527	0.495	0.515	0.494	0.588	0.557
Fine	0.292	0.281	0.532	0.528	0.532	0.586	0.581	0.540
Psum	0.234	0.190	0.522	0.524	0.527	0.589	0.580	0.517
WCsum	0.179	0.146	0.470	0.480	0.486	0.537	0.526	0.470
SDsum	0.152	0.123	0.444	0.458	0.465	0.511	0.498	0.447
Greater0	0.397	0.323	0.677	0.653	0.650	0.743	0.743	0.657
Greater1	0.070	0.057	0.367	0.393	0.403	0.433	0.417	0.377

Figure: Source: [5]

MIREX

Overall	AP1	AP2	AU1	AU2	AU3	GAR1	GAR2	FHAR
ADR	0.031	0.024	0.666	0.698	0.706	0.712	0.739	0.730
NRGB	0.028	0.027	0.601	0.590	0.616	0.617	0.683	0.666
AP	0.017	0.023	0.525	0.477	0.500	0.508	0.545	0.545
PND	0.044	0.056	0.527	0.495	0.515	0.494	0.588	0.557
Fine	0.292	0.281	0.532	0.528	0.532	0.586	0.581	0.540
Psum	0.234	0.190	0.522	0.524	0.527	0.589	0.580	0.517
WCsum	0.179	0.146	0.470	0.480	0.486	0.537	0.526	0.470
SDsum	0.152	0.123	0.444	0.458	0.465	0.511	0.498	0.447
Greater0	0.397	0.323	0.677	0.653	0.650	0.743	0.743	0.657
Greater1	0.070	0.057	0.367	0.393	0.403	0.433	0.417	0.377

Inhaltsübersicht

1. Grundlegendes
2. A Section Name To Say "Different Approaches"
3. MIREX : Algorithmen treten gegeneinander an
 - 3.1 Ground Truth
 - 3.2 Average Dynamic Recall
 - 3.3 MIREX 2005
 - 3.4 Urbano MelodyShape
4. Bibliographie

Ground Truth

- Experten werden befragt , Stücke aus der RISM A/II Sammlung nach deren Ähnlichkeiten zu einer Anfrage zu beurteilen.
- Die Sammlungen sind groß deswegen sind einige Techniken zur Eliminierung unrelevanter Elementen vorzunehmen , wie z.B.
 - Nach der Differenz zwischen dem tiefsten und höchsten Ton.
 - Nach dem Verhältnis der kürzesten Note zu der längsten.
 - usw.
- Nicht für alle Stücke werden dieselben Eliminierungsverfahren vorgenommen. Die Aspekte , durch die sich ein Stück auszeichnet sind beizubehalten. Das ist wiederum für die Experten zu entscheiden.

Ground Truth I



Query: Anonymus: Roslin Castle, RISM A/II signature: 800.000.193

1



Anonymus: Roslin Castle. 000.109.446

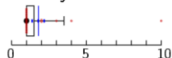


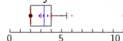
Figure: Abbildung: Ergebnisse der Befragung [6]

Ground Truth II

2



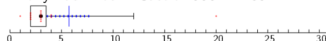
Anonymus: Roslin Castle. 000.111.779



3



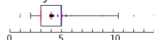
Anonymus: Roslin Castle. 000.112.692



4



Anonymus: Roslin Castle. 000.132.330



Ground Truth III

5



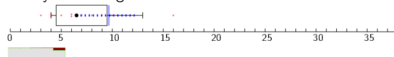
Anonymus: Roslin Castle. 000.112.625



6.5



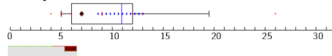
Anonymus: Allegro. 704.000.704



7



Anonymus: Care Jesu. 400.196.546



MIREX

Overall	AP1	AP2	AU1	AU2	AU3	GAR1	GAR2	FHAR
ADR	0.031	0.024	0.666	0.698	0.706	0.712	0.739	0.730
NRGB	0.028	0.027	0.601	0.590	0.616	0.617	0.683	0.666
AP	0.017	0.023	0.525	0.477	0.500	0.508	0.545	0.545
PND	0.044	0.056	0.527	0.495	0.515	0.494	0.588	0.557
Fine	0.292	0.281	0.532	0.528	0.532	0.586	0.581	0.540
Psum	0.234	0.190	0.522	0.524	0.527	0.589	0.580	0.517
WCsum	0.179	0.146	0.470	0.480	0.486	0.537	0.526	0.470
SDsum	0.152	0.123	0.444	0.458	0.465	0.511	0.498	0.447
Greater0	0.397	0.323	0.677	0.653	0.650	0.743	0.743	0.657
Greater1	0.070	0.057	0.367	0.393	0.403	0.433	0.417	0.377

Inhaltsübersicht

1. Grundlegendes
2. A Section Name To Say "Different Approaches"
3. MIREX : Algorithmen treten gegeneinander an
 - 3.1 Ground Truth
 - 3.2 Average Dynamic Recall
 - 3.3 MIREX 2005
 - 3.4 Urbano MelodyShape
4. Bibliographie

Beispiel : Average Dynamic Recall - ADR

Pos.	encountered	relevant	#found	recall
1	2	1, 2	1	1
2	2, 3	1, 2	1	0.5
3	2, 3, 1	1, 2, 3, 4, 5	3	1
4	2, 3, 1, 5	1, 2, 3, 4, 5	4	1
5	2, 3, 1, 5, 7	1, 2, 3, 4, 5	4	0.8

Figure: Abbildung: ADR Berechnung [6]

Inhaltsübersicht

1. Grundlegendes
2. A Section Name To Say "Different Approaches"
3. MIREX : Algorithmen treten gegeneinander an
 - 3.1 Ground Truth
 - 3.2 Average Dynamic Recall
 - 3.3 MIREX 2005
 - 3.4 Urbano MelodyShape
4. Bibliographie

MIREX 2005

"Melody Retrieval using the Implication/Realization Model" [11]

Maarten Grachten, Josep
Lluís Arcos and Ramon Lopez
de Mantaras



MIREX 2005

- Ein auf Kognitivwissenschaften basierendes Modell : Implication/Realization Model.
- Dies besagt , dass man nach seinen Erfahrungen (sowohl kulturellen , als auch angeborenen) Erwartungen hat , wie ein Musikstück weitergeht.
- Wir beschäftigen uns hier mit den angeborenen Aspekten.
- I/R Modell besagt : Wir sind dazu geneigt , Elemente nach Konzepten zu gruppieren. Diese Konzepten sind denen der Gestalttheorie ähnlich
 - Proximity : Werden zwei Elemente gleich wahrgenommen?
 - Similarity : Haben zwei Elemente Ähnlichkeiten?

MIREX 2005

- PRD : kleines Intervall in eine Richtung impliziert noch ein Intervall in dieselbe Richtung
- PID : kleines Intervall impliziert ein kleines Intervall.
- Nach diesen Prinzipien ist ein Alphabet von Strukturen definiert.
- Mithilfe von Edit Distance wird die Ähnlichkeit festgestellt.

MIREX 2005 I

$$w(s_i, \emptyset) = \alpha_d \cdot \text{Size}(s_i)$$

$$w(\emptyset, s_j) = \alpha_i \cdot \text{Size}(s_j)$$

$$w(s_i, s_j) = \alpha_r \cdot \left(\begin{array}{l} \beta \cdot |\text{LabelDiff}(s_i, s_j)| + \\ \gamma \cdot |\text{Size}(s_i) - \text{Size}(s_j)| + \\ \delta \cdot |\text{Dir}(s_i) - \text{Dir}(s_j)| + \\ \epsilon \cdot |\text{Overlap}(s_i) - \text{Overlap}(s_j)| \end{array} \right)$$

$$\text{LabelDiff}(s_i, s_j) = \begin{cases} 0 & \text{Label}(s_i) = \text{Label}(s_j) \\ \zeta & \text{Label}(s_i) = -\text{Label}(s_j) \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

MIREX 2005 II

parameter	operation/attribute	value
α_i	insertion	0.064
α_d	deletion	0.131
α_r	replacement	1.000
β	labels	0.587
γ	size	0.095
δ	direction	0.343
ϵ	overlap	0.112
ζ	retrospective counterparts	0.801

MIREX 2005

*"Combining Multilevel and
Multifeature Representation
to Compute Melodic
Similarity" [12]
Nicola Orio*



- N-gram
- Jede Wahl von N hat Vor- und Nachteile. Um diese zu beseitigen wird Multilevel Segmentation eingesetzt.

Rank	Participant	Average Dynamic Recall	Normalized Recall at Group Boundaries	Average precision (non-interpolated)	Precision at 5 documents (it is number of relevant documents)
1	Graphon, Arora & Hofmann [1]	88.08%	55.84%	81.72%	44.32%
2	Zhou, Ye [2]	84.98%	83.39%	82.98%	39.88%
3	Doyle & Unterwiesing [3]	84.18%	57.76%	45.92%	41.32%
4	Trane, Wherry & Volkung [4]	87.08%	48.17%	39.84%	33.48%
5	Lamotte, Mikos, Mikos & Mikos [5]	58.62%	49.58%	41.48%	39.18%
6	Lamotte, Mikos, Mikos & Mikos [5]	54.02%	47.08%	36.91%	36.08%
7	Phan & Veldhuizen [6]	51.61%	45.95%	33.38%	33.71%

MIREX 2005

*"Simple Efficient n-Gram
Indexing for Effective Melody
Retrieval" [12]*

von Iman S. H. Suyoto und
Alexandra L. Uitdenbogerd



- Noten werden zur Vereinfachung auf $x \rightarrow x \bmod 12$ abgebildet.
- Aus dem Angabestring werden distinkte 5-gram Teilstrings entnommen. Dasselbe Verfahren wird für die zu suchenden Dokumenten vorgenommen.
- Je mehr distinkte Elemente sich die Querystring und ein Dokument teilen , desto ähnlicher sind sie.

Inhaltsübersicht

1. Grundlegendes
2. A Section Name To Say "Different Approaches"
3. MIREX : Algorithmen treten gegeneinander an
 - 3.1 Ground Truth
 - 3.2 Average Dynamic Recall
 - 3.3 MIREX 2005
 - 3.4 Urbano MelodyShape
4. Bibliographie

Urbano MelodyShap

"MelodyShape at MIREX 2014 Symbolic Melodic Similarity" [10] von Julian Urbano



Urbano MelodyShape

- Töne werden als Punkt auf Pitch-Time plane dargestellt.
- Darstellung als Funktion durch Interpolation mithilfe von Splines.

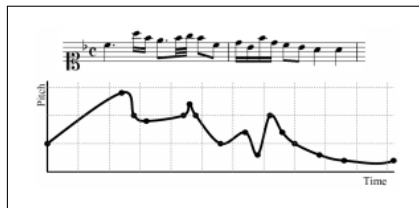


Figure: Source: [10]

Needleman - Wunsch Algorithmus

$$D = \begin{pmatrix} - & A & G & T & C \\ - & 0 & -1 & -2 & -3 & -4 \\ A & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ C & -2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ G & -3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ T & -4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ C & -5 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$
$$D = \begin{pmatrix} 0 & -1 & -2 & -3 & -4 \\ -1 & 1 & 0 & -1 & -2 \\ -2 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ -3 & -1 & 1 & 0 & -1 \\ -4 & -2 & 0 & 2 & 1 \\ -5 & -3 & -1 & 1 & 3 \end{pmatrix}$$

Figure: Source: [13]

ShapeH

- Insertion :

$$s(-, n) = -(1 - f(n))$$

- Deletion:

$$s(n, -) = -(1 - f(n))$$

- Match:

$$s(n, n) = 1 - f(n)$$

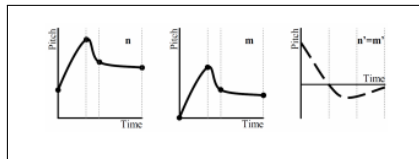


Figure: Source: [10]

Time

- Insertion : $s(-, n) = -diff_p(n, \Theta(n)) - \lambda k_t * diff_t(n, \Theta(n))$
- Deletion: $s(n, -) = -diff_p(n, \Theta(n)) - \lambda k_t * diff_t(n, \Theta(n))$
- Match: $2\mu_p + 2\lambda k_t \mu_t = 2\mu_p(1 + k_t)$
- Substitution $s(n, m) = -diff_p(n, m) - \lambda k_t * diff_t(n, m)$

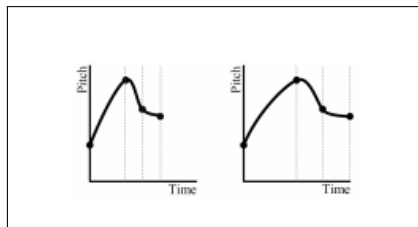


Figure: Source: [10]

Bibliographie I

- [1] Duden: Melodie: Rechtschreibung, Bedeutung, Definition, Herkunft <https://www.duden.de/rechtschreibung/Melodie>.
- [2] Duden: Harmonie : Rechtschreibung, Bedeutung, Definition, Herkunft <https://www.duden.de/rechtschreibung/Harmonie>.
- [3] “Notenschlüssel.” Wikipedia, Wikimedia Foundation, 11 Dec. 2019, de.wikipedia.org/wiki/Notenschlüssel.
- [4] MIREX, Symbolic Melodic Similarity 2005, https://www.music-ir.org/mirex/wiki/2005:Symbolic_Melodic.
- [5] MIREX, Symbolic Melodic Similarity Results 2007, https://www.music-ir.org/mirex/wiki/2007:Symbolic_Melodic_Similarity_Results.

Bibliographie II

- [6] Typke, Rainer. (2007). Music Retrieval based on Melodic Similarity.
- [7] Orio, N., and A. Rodá. 2009. "A Measure of Melodic Similarity Based on a Graph Representation of the Music Structure." In Proceedings of the International Conference for Music Information Retrieval, pp. 543– 548.
- [8] Greg Aloupis, Thomas Fevens, Stefan Langerman, Tomomi Matsui, Antonio Mesa, Yurai Nunez, David Rappaport, and Godfried Toussaint, "Algorithms for Computing Geometric Measures of Melodic Similarity" Computer Music Journal, Vol.30, No. 3 (Autumn, 2006), pp. 67-76

Bibliographie III

- [9] Tonal Degrees [Online]. [Accessed 30 Jan 2020]. Available from : <http://www.piano-play-it.com/musical-scales.html>
- [10] J. Urbano. MelodyShape at MIREX 2014 Symbolic Melodic Similarity. Technical report, Music Information Retrieval Evaluation eXchange, 2014
- [11] Grachten, Maarten & Arcos, Josep Lluís & Mántaras, Ramon. (2020). Melody Retrieval using the Implication/Realization Model.
- [12] Orio, Nicola. "Combining Multilevel and Multifeature Representation to Compute Melodic Similarity." (2005).

Bibliographie IV

- [13] Wikipedia, Needleman-Wunsch-Algorithmus,
<https://de.wikipedia.org/wiki/Needleman-Wunsch-Algorithmus>, abgerufen am
02.02.20