

平成 21 年 5 月 20 日現在

研究種目：基盤研究(C)
 研究期間：2006 ～ 2008
 課題番号：18500101
 研究課題名（和文）メロディー木の類似性に基づく楽曲フレーズクラスタリング手法の開発
 研究課題名（英文）Music Phrase Clustering Based on Symbolic Similarity of Melodies

研究代表者
 大久保 好章（YOSHIAKI OKUBO）
 北海道大学・大学院情報科学研究科・助教
 研究者番号：40271639

研究成果の概要：

本研究課題では、形式概念に基づく Top- N クラスタ抽出手法により、楽曲 MIDI データからメロディークラスタを抽出する枠組について考察した。メロディーを構成する音符の時系列性を考慮し、適当な長さの音符列を属性と考える。メロディーや属性は、音符を記号とする文字列で表現可能なことから、メロディーがある属性を有するか否かを、近似文字列照合や抽象化を用いて近似的に判定する。その結果、いくつかの属性を近似的に共有するメロディー集合が、特徴的なクラスタを形成することが確認できた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	900,000	0	900,000
2007 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2008 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	660,000	3,760,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知能情報学

キーワード：楽曲データベース・クラスタ・近似文字列照合・類似性・抽象化・標準 MIDI ファイル

1. 研究開始当初の背景

クリーク探索に基づくクラスタ抽出の研究においては、対象とするデータ(個体群を、所与の類似関係のもとで無向グラフ表現し、その極大クリークを探索することで、クラスタ抽出を行なう。特に、評価値が上位 N (Top- N)のクラスタのみを、効率良くピンポイントに抽出できることが大きな特徴である。

クラスタ抽出においては、クラスタの解釈・意味付けが重要であることが広く認識され、こうした立場のもと、形式概念解析(Formal Concept Analysis)の枠組でクラスタ抽出が議論されてきた。形式概念解析では、外延(個体集合)と内包(共有属性集合)の組として概念を定義し、これを形式概念と呼ぶ。抽出すべきクラスタを形式概念に限定することで、クラスタ(外延)の解釈を、その内包

の言葉で明確に語る事が可能となる。

これまでの研究では、クラスタ抽出問題を、内包に関する制約を満たし、かつ、外延の評価値が Top- N の形式概念を求める問題として定式化し、その計算アルゴリズムを設計・実装し、文書データを対象に Top- N 形式概念クラスタの抽出を議論してきた。こうした枠組みのさらなる発展と同時に、その様々な分野への応用・展開も強く期待されている。

2. 研究の目的

上記背景のもと、本研究課題では、従来手法の楽曲データへの適用を試みる。具体的には、標準 MIDI ファイルから抽出されるメロディーデータを対象とした、メロディーのクラスタリングについて考察する。

クラスタを形成する個体、すなわち、メロディーは音符の時系列である。こうした時系列性を考慮し、ここでは、適当な長さの音符列を属性と捉え、メロディーがある音符列(属性)を有するか否かを、近似文字列照合や抽象化により近似的に判定する。その結果、いくつかの音符列を近似的に共有するメロディー集合が、ひとつのクラスタを形成する。

メロディークラスタの評価にあたっては、ユーザが実際にそれを妥当なものと感じるか否かという、極めて認知的・感性的な判断が不可欠であるが、形式概念に基づくクラスタを抽出することで、こうした感性的な判断が、記号レベルで解釈可能となることを期待している。

3. 研究の方法

(1) 準備

個体の集合 O 、および、属性の集合 F に対して、関係 $R \subseteq O \times F$ を考える。この時、タプル $\langle O, F, R \rangle$ を、形式文脈(Formal Context)と呼ぶ。 $(o, f) \in R$ の時、個体 o は属性 f を有すると言う。個体 o が有する属性の集合 $\{f \in F \mid (o, f) \in R\}$ を、 $F(o)$ で参照する。

形式文脈 $\langle O, F, R \rangle$ に関して、写像 $\Phi: 2^O \rightarrow 2^F$ および $\Psi: 2^F \rightarrow 2^O$ を考える。ここで、個体集合 $O \subseteq O$ と属性集合 $F \subseteq F$ について、

$$\begin{aligned}\Phi(O) &= \{f \in F \mid \forall o \in O, f \in F(o)\} \\ &= \bigcap_{o \in O} F(o), \\ \Psi(F) &= \{o \in O \mid F \subseteq F(o)\}\end{aligned}$$

とする。つまり、 Φ は O 中のすべての個体が共有する属性の集合を、一方、 Ψ は F 中

のすべての属性を有する個体の集合を返す写像である。

これら写像のもと、個体集合 $O \subseteq O$ と属性集合 $F \subseteq F$ について、 $\Phi(O) = F$ かつ $\Psi(F) = O$ が成り立つ時、 O と F の組 $FC = (O, F)$ を形式概念(Formal Concept)と定める。ここで、 O と F をそれぞれ FC の外延、および、内包と呼ぶ。 Φ と Ψ の定義より、 $\Psi(\Phi(O)) = O$ かつ $\Phi(\Psi(F)) = F$ であることは明らかである。すなわち、形式概念とは、写像 Φ と Ψ に関して閉じた個体集合 O と属性集合 F の組で与えられる。 O は、 F 中のすべての属性を有する個体のみから成り、かつ、それら以外にこうした個体は存在しない。同様に、 F は、 O 中のすべての個体に含まれる(共有される)属性のみから成り、かつ、それら以外にこうした属性は存在しない。

(2) 標準 MIDI ファイルからのメロディーデータ抽出

MIDI (Musical Instruments Digital Interface) は、シンセサイザーに代表される電子楽器(機器)やパソコン等の中でデータをやり取りするための通信プロトコルである。MIDI 形式の音楽データを扱う際のファイル形式は、標準 MIDI ファイル(SMF: Standard MIDI File)として標準化されており、ユーザ間で音楽データをやり取りする際には、これが手軽に広く用いられている。本研究においてもこうした SMF 形式の音楽データを扱うものとする。

SMF には、各楽器(チャンネルと呼ぶ)毎に、それに対する演奏情報がデルタタイムとイベントの組の時系列として記述される。時系列を構成する組は『いつ(when)、何(what)をするか』を正確に定めたものであり、これら命令に従ってチャンネルが制御される。

イベントには、MIDI イベント・SysEx イベント・メタイベントの 3 種類が定められており、曲のメロディーに関する情報は、MIDI イベントに記述される。具体的にメロディーを抽出する際には、MIDI イベントの発音メッセージ(ノートオン) および消音メッセージ(ノートオフ)に注目すればよい。前者は鍵盤を押す操作、後者は鍵盤を離す操作に対応し、これらの情報から、『どの音をどのくらいの長さ鳴らし続ければよいか』がわかる。すなわち、楽譜に記載された音符列に相当する情報が抽出できる。

より形式的に述べると、各 SMF から、音名 p_i とその持続時間 l_i の組 (p_i, l_i) の時系列 $\langle (p_1, l_1), \dots, (p_i, l_i), \dots, (p_M, l_M) \rangle$ をメロデ

ィーとして抽出する．ここで， (p_i, l_i) を音符と呼ぶ．

(3) メロディーデータに関する形式文脈の生成

標準 MIDI ファイルの集合を SMF とする．各 $SMF_i \in SMF$ から抽出されるメロディーを $\text{melody}(SMF_i) = \langle (p_{i1}, l_{i1}), \dots, (p_{iM_i}, l_{iM_i}) \rangle$ とした時， $MD = \{ \text{melody}(SMF_i) \mid SMF_i \in SMF \}$ を SMF に関するメロディーデータベースと呼ぶ．本稿では， MD 中のメロディーを対象に，形式概念としてのメロディークラスタの抽出を試みる．

形式概念解析の枠組でクラスタ抽出を行なう際には，各メロディーを，それが有する属性の集合として表現する必要がある．メロディーを考える上で，音符の時系列性を考慮することは不可欠であるため，ここでは，音符列をひとつの属性と考えることにする．すなわち，属性 f_i は $\langle (p_{i1}, l_{i1}), \dots, (p_{ik}, l_{ik}) \rangle$ なる長さ k の音符列である．

先に定義した通り，形式概念の外延は，そこに含まれる個体が内包中の属性をすべて共有していることを意味する．しかし，個体としてメロディーを考える場合，異なるメロディーが，いくつかの音符列を厳密に共有することは非常に稀であると思われる．つまり，複数のメロディーが形式概念の外延を形成することは，ほとんど期待できないであろう．そこでここでは，メロディーがある属性を有するか否かの判断を，文字列のアラインメントを考えることで近似的に行なう．

いま，任意の音符 (p_i, l_i) を記号とするアルファベット Σ を考える．すると，メロディーおよび属性はすべて， Σ 上の文字列と考えることができる．ここで，メロディーをターゲットテキスト T ，属性をパターン P と考えて，近似文字列照合を行なう．その結果， T が， P と編集距離が d 以内の部分文字列を含むことが分かれば，メロディー T は属性(音符列) P を有すると考える．

言うまでもなく，任意の音符列(Σ 中の文字列)が，近似文字列照合のパターン(属性)になり得るが，長過ぎるパターンや短過ぎるパターンは属性として適当ではない．また，ランダムに並べた音符列にも音楽的な意味は期待できない．よってここでは，既存のメロディーに実際に含まれる音符列を属性として用いることにする．具体的には，メロディー $\langle (p_1, l_1), \dots, (p_M, l_M) \rangle$ から，長さ k の連続した任意の音符列 $\langle (p_i, l_i), (p_{i+1}, l_{i+1}), \dots, (p_{i+k-1}, l_{i+k-1}) \rangle$ を属性として抽出する ($1 \leq i \leq M - k + 1$)．

いま，所与の既存メロディー(の集合)から

抽出された属性(音符列)の集合を F ，編集距離の閾値を d とする．この時，

$$R = \{ (md, f) \mid md \in MD, f \in F \text{ かつ} \\ md \text{ は } f \text{ と編集距離が } d \text{ 以内の} \\ \text{部分文字列を含む.} \}$$

を考えると， $\langle MD, F, R \rangle$ は，各メロディーに関する属性の有無を近似的に判断した場合の形式文脈を与える．

属性の有無を近似的に判定する方法は他にもある．音符列中の音符 (p_i, l_i) において，音名 p_i のみに注目し，持続時間 l_i を無視した抽象化のもとで，属性の有無をすることも可能である．また，音符列において，絶対的な音名 p_i を考えるのではなく，その直前の音符との音高差を考える抽象化も可能であり，これにより，曲の調の違いが吸収される．

(4) Top- N 楽曲メロディークラスタの抽出

ここでは，形式文脈 $\langle MD, F, R \rangle$ のもとで，少なくとも δ の音符列(属性)を含む内包を有する形式概念のうち，外延に含まれるメロディー数が上位 N であるものを Top- N クラスタとして抽出する．その計算には，既存アルゴリズムが利用可能である．

まず最初に，無向グラフ $G = (MD, E)$ を作成する．ここで，辺集合

$$E = \{ (md_i, md_j) \mid md_i, md_j \in MD (i \neq j) \\ \text{かつ} \mid F(md_i) \cap F(md_j) \mid \geq \delta \}$$

とする．すなわち，各メロディーペアについて，それらが δ 以上の音符列を共有する場合に限り，それらの間に辺を作成する．こうして作成されたグラフにおいて，内包制約を満たすメロディークラスタは，クリークを形成する．よって， G のクリークを探索することで Top- N クラスタの抽出が可能となる．

Top- N クラスタの抽出アルゴリズムは，分枝限定深さ優先クリーク探索 MCQ の拡張である．そこでは，内包制約を満たさない形式概念や，外延サイズが Top- N に成り得ない形式概念の探索が積極的に枝刈りされ，効率良く Top- N クラスタが抽出される．

4. 研究成果

上述したクラスタ抽出手法に基づき計算機実験を行った結果を示す．

楽曲データは，『童謡・唱歌の世界』(<http://www5b.biglobe.ne.jp/~pst/douyou-syouka>) より取得した．これらは，良く歌われている童

謡や民謡等，著作権が消滅した 550 曲の MIDI データであり，日本と外国の曲が混在する。

ここでは、『大きな古時計(アメリカ民謡)』と『夕焼け小焼け(日本童謡)』を基準曲として属性(音符列)を抽出した。その際，持続時間を無視し，直前の音符との音高差を考える抽象化を行った。

$\delta=2$ のもとでクラスタを抽出した結果，『大きな古時計』を含む 5 つのクラスタ，および，『夕焼け小焼け』を含む 17 のクラスタが抽出された。それぞれの例として以下が挙げられる(外延のみ示す)。

{ 村の教会(アメリカ民謡)，
白バラの匂う夕べは(クラシック・スイス)，
うるわし春よ(ドイツ民謡)，
大きな古時計(アメリカ民謡) }

{ 琵琶湖周航の歌(日本)，
花笠踊り(山形民謡)，
春の野(唱歌)，
冬景色(唱歌)，
かたたき(童謡)，
金毘羅船々(香川民謡)，
叱られて(童謡)，
ずいずいずっころばし(わらべ歌)，
ジャンボの子守歌(クラシック・ドビュッシー)，
ねこふんじゃった(外国曲)，
織り成す錦(外国曲)，
おたまじゃくしはかえるの子(アメリカ民謡)，
太郎さんの赤ちゃん(アメリカ民謡)，
焼け小焼け(童謡) }

前者については，ひとつのクラスタを除き，他はすべて外国曲から構成されたクラスタであった。また，後者については，各クラスタは日本曲と外国曲が混在したものであったが，明らかに日本曲の比率が高いことが確認できた。これは，近代以降，日本固有のものとして四七抜き音階が知られており，多くの童謡や唱歌がこうした音階のもとで作られているという事実を反映したものと考えられるだろう。この様に，本手法を用いることで，各メロディーが有する特徴を反映したクラスタ抽出が可能であることが確認できたと考える。

ここでの基本アイデアは，メロディーデータのみならず，様々なドメインの時系列データに対して議論できるものであり，それらについての考察も大変興味深い。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 9 件)

1. Yoshiaki OKUBO and Makoto HARAGUCHI, Finding Top-N Pseudo Formal Concepts with Core Intents, Proceedings of the 6th International Conference on Machine Learning and Data Mining – MLDM'09, 2009, 査読有(採択済).
2. 佐藤 憲二・大久保 好章・原口 誠・國藤 進, 時系列データをもちいた形式概念分析法の提案, 日本創造学会論文誌, 12, 175 – 187, 2009, 査読有.
3. Aixiang LI, Makoto HARAGUCHI and Yoshiaki OKUBO, Implicit Groups of Web Pages as Constrained Top N Concepts, Proceeding of the 2008 IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology Workshops, 190 – 194, 2008, 査読有.
4. Aixiang LI, Makoto HARAGUCHI and Yoshiaki OKUBO, Finding Top-N Formal Concepts Guided by Dynamic Ordering of Objects, Proceeding of the 6th International Conference on Concept Lattice and Its Applications - CLA'08, 17 (poster), 2008, 査読有.
5. Aixiang LI, Makoto HARAGUCHI and Yoshiaki OKUBO, A Top N Closed Pattern Miner using Counterexamples, Proceedings of the International Workshop on Data Mining and Statistical Science - DMSS'08, 33 – 35, 2008, 査読有.
6. Makoto HARAGUCHI and Yoshiaki OKUBO, An Extended Branch-and-Bound Search Algorithm for Finding Top-N Formal Concepts of Documents, Lecture Notes in Computer Science, 4384, 276 – 288, 2007, 査読有.
7. Kenji SATO, Yoshiaki OKUBO, Makoto HARAGUCHI and Susumu KUNIFUJI, Data Mining of Time-Series Medical Data by Formal Concept Analysis, Lecture Notes in Computer Science, 4693, 1214 – 1221, 2007, 査読有.

8. Yoshiaki OKUBO and Makoto HARAGUCHI, Finding Conceptual Document Clusters with Improved Top-N Formal Concept Search, Proc. of the 2006 IEEE/WIC/ACM Int'l Conf. on Web Intelligence – WI'06, 347 – 351, 2006, 査読有.

9. Makoto HARAGUCHI and Yoshiaki OKUBO, An Extended Branch-and-Bound Search Algorithm for Finding Top-N Formal Concepts of Documents, Proc. of the 4th Workshop on Learning with Logics and Logics for Learning – LLLL'06, 41 – 47, 2006, 査読有.

[学会発表] (計 5 件)

1. 原口 誠・大久保 好章, 分枝限定法を用いた最適クロスオーバーコンセプト検出法について, 情報処理学会数理モデル化と問題解決研究会(第 72 回), 2008 年 12 月 17 日, 大阪大学豊中キャンパス.

2. 大久保 好章・原口 誠, 内包の核を考慮した疑似形式概念の Top-N 抽出, 情報処理学会数理モデル化と問題解決研究会(第 71 回), 2008 年 9 月 18 日, 電気通信大学.

3. 大久保 好章・原口 誠, コード進行パターンの共有に基づく楽曲クラスタリング, 人工知能学会全国大会(第 22 回), 2008 年 6 月 11 日, 勤労者福祉総合センター.

4. 大久保 好章・原口 誠, 形式概念に基づく

Top-N 楽曲クラスタリングに関する一考察, 第 21 回人工知能学会全国大会, 2007 年 6 月 18 – 22 日, ワールドコンベンションセンターサミット.

5. 谷口 智彦・原口 誠・大久保 好章, 概念の分解・再統合に基づいてデータ抽象を求める分岐限定アルゴリズムの提案, 第 21 回人工知能学会全国大会, 2007 年 6 月 18 – 22 日, ワールドコンベンションセンターサミット.

[図書] (計 1 件)

1. Thomas Zeugmann・湊 真一・大久保 好章, コロナ社, 英語で学ぶ計算理論 (CD-ROM 付), 2009, 238 頁.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大久保 好章 (OKUBO YOSHIAKI)

北海道大学・大学院情報科学研究科・助教
研究者番号 : 40271639

(2) 研究分担者

()

研究者番号 :

(3) 連携研究者

()

研究者番号 :