

令和 4 年 5 月 24 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K12282

研究課題名（和文）多様な類似性解釈機構を備えた楽曲検索手法の開発～音響的類似性と言語的類似性の融合

研究課題名（英文）Research on Music Information Retrieval with Multi-Faceted Similarity Analysis Based on Acoustic and Linguistic Features

研究代表者

大久保 好章（OKUBO, Yoshiaki）

北海道大学・情報科学研究院・助教

研究者番号：40271639

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、音楽情報検索の立場から、所与のクエリ楽曲に対して、ユーザが多様な視点から類似楽曲を検索できる基盤技術を開発した。特に、従来の研究では個別に扱われていた楽曲の音響的なコンテンツ情報と言語的なラベル情報を統合的に扱うことで、様々な複合的な視点から楽曲の類似性を捉えることを目指し、形式概念分析の枠組を拡張してそれを実現した。

具体的には、楽曲のラベル情報を用いた形式概念分析において音響情報の類似性制約を考慮することで、クエリ楽曲と類似する高品質な楽曲クラスタ（グループ）を様々な類似性のもとで高速に抽出することができる。こうした楽曲クラスタは、プレイリストの自動生成にも利用可能である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

スマートフォンを含む携帯端末の爆発的な普及とともに音楽配信サービスが充実し、音楽情報検索の重要性は今後益々高まることが容易に想像される。特に、個々のユーザ毎に検索の興味は様々であり、多様な視点から検索結果を提示することが極めて重要となる。しかし、現状、音楽情報検索の研究は主に産業界がリードしており、不特定多数のユーザをそれなりに満足させることが重視されるため、無難な検索結果となり易い傾向にある。本研究で開発した類似楽曲検索の基盤技術は、様々な複合的な視点から楽曲の類似性を捉える枠組みであり、ユーザは自分の好みにより合致する楽曲を容易に探し出すことができるであろう。

研究成果の概要（英文）：In this research project, we investigate a method of finding conceptual clusters of music objects based on Formal Concept Analysis. A formal concept (FC) is defined as a pair of extent and intent which are sets of objects and terminological attributes commonly associated with the objects, respectively. Thus, an FC can be regarded as a conceptual cluster of similar objects for which its similarity can clearly be stated in terms of the intent. We are especially concerned with FCs in case of music objects, called music FCs. Since a music FC is based solely on terminological information, we often find extracted FCs would not always be satisfiable from acoustic point of view. In order to improve their quality, we additionally require our FCs to be consistent with acoustic similarity. We design an efficient algorithm for extracting desirable music FCs. We also propose an automatic generation of music playlists as an application of music FCs.

研究分野：知能情報学

キーワード：楽曲形式概念 楽曲類似検索 楽曲クラスタ 形式概念分析 音響的類似性 言語的類似性

1. 研究開始当初の背景

我々を取り巻く膨大なデータを有効に活用するための最も身近な手段は検索であり、その対象は古くは文書や画像が中心であったが、デジタルオーディオ技術の発達と楽曲配信・ダウンロードサービスの普及に伴い、音楽(楽曲)も重要な対象のひとつとなった。特にその場合は音楽情報検索と呼ばれ、音楽情報処理におけるひとつの重要なテーマとなっている。

一般に、検索とは膨大なオブジェクト群から、クエリに関連するオブジェクトを同定し、それらを検索結果としてユーザに提示する処理を意味する。これらは、データベースに蓄積された検索対象を何らかの尺度のもとで評価・ランキングした結果であり、その評価尺度がユーザの興味にマッチする場合は、検索結果上位の一部をチェックするだけで満足のいく対象を見つけることができる。しかし、通常、ユーザの興味は多岐に渡り、また、そもそも明確な意図を持たないまま検索を始めることも多く、検索結果の大半がゴミと認識されることも少なくない。

そのひとつの解決策として、後処理による出力結果の整理、すなわち、出力結果を類似したものとクラスタリング(グループ化)した後、ユーザに提示することがしばしば行われる。しかし、それらがグループ化された合理的な理由・根拠は通常明確には示されない。こうしたクラスタ(グループ)に対する解釈・意味付けメカニズムの欠如は、クラスタリング研究において古くから指摘されているものの、その有効な解決策は今なお重要な課題として残されている。検索処理をより実用的なものとするためには、その解決の試みを避けて通ることはできない。

スマートフォンを含む携帯端末の爆発的な普及とともに音楽配信サービスが充実しており、音楽情報検索の重要性は今後益々高まることが容易に想像されるが、学術研究としての音楽情報検索は現状では活発なテーマとは程遠い。こうした研究は主として産業界において遂行されており、そこでは不特定多数のユーザをそれなりに満足させることが極めて重要であることから、膨大なデータと潤沢な計算資源による深層学習を含む機械学習アプローチが主流である。

昨今、最先端技術の代名詞ともなっている深層学習は、特に画像や音声の理解といった『認識に関わる情報処理』において人間に優る能力をシステムに与え、その有用性は誰もが認めるところである。一方で、その処理結果が如何なる理由と根拠のもとで導かれたのかは謎に包まれており、『AI のブラックボックス問題(AI's Back Box Problem)』や『説明可能な AI (Explainable AI)』についての議論が盛んに行われている。これらの問題は、本研究で注目するクラスタリング結果の解釈・意味付けメカニズムの欠如と本質は同じものであり、古くからの重要な問題が文脈を変えて顕在化したに過ぎない。知的な情報処理システムが今後我々の生活の場にさらに広く、かつ、深く入り込むことは間違いないが、これらシステムと人間が上手に付き合いながら共存していく上では、必ず取り組まなければならない問題と言えよう。人間にとって真に信頼できるシステムを構築するためには、処理過程や結果に対する解釈や意味付けといった『知識に関わる情報処理』の能力を併せ持つことが不可欠であろう。

2. 研究の目的

上述した問題意識のもと、本研究では、形式概念に基づくクラスタ抽出の枠組みを拡張することで、クラスタの解釈・意味付け機構を備えた類似楽曲クラスタ抽出エンジンを設計し、それを基礎として、クエリ楽曲と類似した楽曲から構成される複数のクラスタをユーザに提示する楽曲類似検索システムを開発・実装する。特にここでは、従来の検索システムでは明確に区別されていた楽曲の音響情報とラベル情報を統合的に扱うことで、複合的かつ多角的な様々な視点から楽曲の類似性を観察することが可能となる。

似てる曲がこんなにたくさん見つかったよ！
きっとお気に入りがあるハズ...



クエリ楽曲

バブル期の曲と和音構成が似てるね。
この和音構成は、最近あまり売れない曲に多いみたいだね。
でも実はユーミンもよく使ったよね。



きっとあるハズと言われてもねえ...
ぐちゃぐちゃだと探す気にもならないなあ...



様々なクラスタ族とともに、それらの明確な解釈・意味付けもユーザに提示

ふーん、ユーミンは意外だったなあ。
一度聴いてみるかなあ...



従来の検索システム(左)はクエリーに関連(類似)する検索結果を提示するのみ。一方、本システム(右)はクエリーに関連する複数のクラスタを、その多角的な解釈とともに提示し、ユーザに新たな気づきを積極的に促す。

3. 研究の方法

本研究では、オブジェクト群とそれらが有する属性の関係データを対象とする形式概念分析の枠組みをもとに、クラスタの解釈・意味付け機構を備えた類似楽曲クラスタ抽出エンジンを設計・実装する。

形式概念は、ある属性集合(内包)と、それらを共有するオブジェクト集合(外延)のペアとして定義される。すなわち、形式概念の外延をクラスタと考えると、その内包はクラスタを形成した類似性の根拠を与えることから、それをもとにクラスタの明確な解釈・意味付けが可能となる。特に本研究では、楽曲に付随するジャンルラベルやタグに代表される言語的な情報の類似性に加え、各楽曲が有する音響情報の類似性も考慮することで、より高品質な楽曲クラスタの抽出を試みる。

所与のクエリ楽曲に関連する楽曲群から形式概念クラスタを複数抽出・提示することで、ユーザは、従来研究では考慮できなかったより多くの様々な視点から楽曲の類似性を捉えることが可能となる。これにより、クエリ楽曲に類似した楽曲を見つけられることはもちろんのこと、クラスタ内の楽曲を新たなクエリとすることで、内包が与える明確な方向性をもったインタラクティブな類似検索が可能となる。その過程を通して、ユーザは内包の明示的な解釈・意味付けのもとで様々な新たな気付きを得ることができ、未知のお気に入り楽曲に出会えるチャンスが大きく広がることが期待できる。

4. 研究成果

本研究の主要な成果は、基盤技術の開発とその応用に大別される。具体的には、楽曲形式概念の定式化とその高速抽出アルゴリズムの設計・実装、および、楽曲形式概念を用いた楽曲プレイリストの自動合成手法の提案である。以下、これら成果について、その周辺技術に関して得られた知見も含めてまとめる。

【楽曲形式概念抽出アルゴリズムの設計・実装】

外延(オブジェクト集合)と内包(共有離散属性集合)のペアとして定義される形式概念の枠組みを楽曲データに対して拡張し、高品質の楽曲クラスタの高速抽出アルゴリズムの設計・実装を行った。楽曲データは通常、ラベル情報と音響情報を有する。ラベル情報のみを用いて形式概念を抽出すると、得られるクラスタはラベルの共有を根拠とする類似楽曲から構成されるが、音響の観点では必ずしも類似していない。そこで、音響情報の類似性制約を内包に課すことで、ラベルと音響の両面において類似した楽曲から構成される外延を有する形式概念のみを抽出対象とし、これらを『楽曲形式概念』と定めた。音響類似性制約に基づく枝刈りを利用した高速な楽曲形式概念探索アルゴリズムを与え、The MagnaTagATune Dataset を用いた計算機実験により、得られる楽曲クラスタの品質が大きく改善されることを実験的に確認した。

これに関連する周辺技術として、以下の成果も得た。

核を考慮した疑似クリークの抽出：オブジェクトをノード、オブジェクト間の類似関係を辺で表現した無向グラフにおいて、密な部分グラフは類似オブジェクトのクラスタを与え、それらを列挙することで様々なクラスタを抽出することができる。密な部分グラフの理想はクリークであるが、クラスタが満たすべき条件としては過度な要請であり、疑似的なクリークを抽出対象とするアプローチが現実的である。ここでは、クリークの緩和モデルである『 ϵ -疑似クリーク』を考え、 ϵ -疑似クリークと形式概念の理論的な対応をもとに、形式概念分析に基づく高速抽出アルゴリズムを与えた。計算機実験により、提案アルゴリズムは数百万ノードのグラフに対しても十分高速に動作することを確認した。

類似度グラフの洗練化手法：

楽曲の類似関係を表す類似度グラフの極大クリークを抽出することで、楽曲の多様な類似性を捉えた楽曲クラスタが得られる。一方で、その抽出は計算コストの高い処理であり、高度な楽曲類似検索を実現する上でその効率化が強く求められる。そこで、実用上合理的なクラスタサイズの下限制約を利用した類似度グラフの洗練化手法を提案し、洗練化の前後において、極大クリーク抽出処理が数倍から数百倍高速化されることを確認した。

Skyline-近傍に基づくクラス分類手法の検討：

従来の距離に基づく考え方とは異なる視点からオブジェクトの近接性を捉えるための新たな枠組みの可能性について考察を行った。具体的には、k-近傍法の改良と位置付けられる、Skyline-近傍に基づくクラス分類手法について検討した。オブジェクトの Skyline は、その周辺オブジェクトとの境界線となるオブジェクト群から成り、距離に基づく従来の近接関係では捉えることのできない近傍概念であることから、これまでとは異なる視点からオブジェクト間の類似性を考える足掛かりとなることが期待できる。こうした skyline-近傍に基づいてクラスが未知のオブジェクトの分類を試み、従来の k-近傍法によるそれとの比較・考察を行った。

【楽曲プレイリストの自動合成手法】

提案した楽曲形式概念クラスタ、および、楽曲クリーククラスタをもとに、プレイリストを自動合成する手法を提案した。ここでは、プレイリストにユーザの好みを反映させるために、始点となるクエリ楽曲 M_s と、終点となるクエリ楽曲 M_g をユーザ入力と仮定し、 M_s から M_g へ至る楽曲系列をプレイリストとする。特に、構成楽曲群が類似性の点で自然に遷移するプレイリストを自動合成する手法を提案した。具体的には、楽曲クラスタをノードとする類似度グラフを構築し、 M_s と M_g をそれぞれ含むクラスタノード間の最短パスを見つけることで、類似性が自然に遷移する楽曲クラスタ系列を得る。系列中の各クラスタはプレイリストを構成する楽曲の候補プールとなり、各候補プールからクラスタ系列に沿って楽曲をピックアップして並べることで類似性が自然に遷移するプレイリストを合成する。

本研究は楽曲データを対象とするものであるが、提案手法自体は一般的な枠組みであり、特定の応用領域には限定されない。同様の類似検索は、画像データにおいてももちろん実現可能である。また、提案手法により得られるクラスタの内包を介して、楽曲と画像といった異なるメディアを容易に関連付けることが可能となろう。例えば、画像に付与されたタグ情報と楽曲クラスタの内包との類似性に基づき、楽曲をクエリとする画像検索が実現できるであろう。さらに、楽曲クラスタの内包をもとに、所与の物語(ストーリー)に沿った楽曲プレイリストを自動合成することなども可能である。

現在の多くのメディアデータには、言語的なラベル情報が付随することが通常である。一方、こうしたメディアデータが本来有する特徴量は、多くの場合、極めて感覚的であり、そのことが、計算機システムの出力結果の解釈を一層困難なものにしている。我々が最も自然に理解・伝達できる情報は言語であることを踏まえ、本研究は、データが有する感覚的な特徴量と、それに付随する言語的なラベル情報を統一的に扱うことで、出力結果の解釈・意味付けの明確化を試みたものである。本研究成果が、人間と機械のより深いレベルでの相互作用を可能にさせる基盤技術となることを期待する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yoshiaki Okubo	4. 巻 10
2. 論文標題 Finding Music Formal Concepts Consistent with Acoustic Similarity	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Computer Science & Information Technology	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5121/csit.2020.101601	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Yoshiaki Okubo	4. 巻 -
2. 論文標題 Practical Graph Refinement for Fast Enumeration of Size-Bounded Maximal Cliques	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Transactions on Computational Science & Computational Intelligence	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Yoshiaki OKUBO
2. 発表標題 Finding Pseudo-Cliques with Core Nodes Based on Formal Concept Analysis
3. 学会等名 The 2020 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence - CSCI'20（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大久保 好章
2. 発表標題 Skyline-近傍に基づくクラス分類手法の検討
3. 学会等名 (社)電気学会 第79回情報システム研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大久保 好章
2. 発表標題 楽曲形式概念 - 定式化とその応用
3. 学会等名 (社)電気学会 第85回情報システム研究会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------