

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 4 月 26 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26330243

研究課題名(和文) 楽曲データに多様な解釈を与えるための多角的分析エンジンの開発

研究課題名(英文) Fundamental algorithms for detecting music similarities from various viewpoints

研究代表者

大久保 好章 (OKUBO, Yoshiaki)

北海道大学・情報科学研究科・助教

研究者番号：40271639

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：柔軟かつ高度な音楽情報検索の実現に向けて、データマイニングにおけるクラスタ抽出の枠組みを基礎として、楽曲の多様な解釈を行なうための基盤技術開発を試みた。特に、多くは信号レベルで扱われる楽曲を離散データとして扱うことで、これまでの形式概念分析やグラフ理論に基づくクラスタ抽出技術をもとに、対象を様々な視点から多角的に解釈・意味付けするための基盤技術の設計・実装を行った。主な成果として、頻出長大パターン抽出に基づく類似楽曲検索、解集合の分割に基づくサイズ上位 N の極大 k -Plex の高速抽出、多段多数決によるクラス分類、クラスラベルを反映した次元圧縮に基づくクラス分類に関するアルゴリズムを得た。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to investigate methods for flexible and useful Music Information Retrieval. Especially, we have tried to formalize several fundamental methods for observing and analyzing similar music from various viewpoints. The algorithms we have developed based on Pattern Mining (Formal Concept Analysis) and Dense-Subgraph Discovery are 1) Algorithm for similar music retrieval based on colossal frequent patterns, and 2) Algorithm for extracting Top- N largest dense subgraphs based on proper k -plex search. Furthermore, we also have developed 3) Classification algorithm with label modification based on multiple majority votes, and 4) Classification algorithm with dimension reduction based on class-label information.

研究分野：知能情報学

キーワード：楽曲類似検索 クラスタ 形式概念分析 疑似クリーク 分類問題

1. 研究開始当初の背景

世界を取り巻くデータ量は今なお増え続け、我々はそれらにいつでも容易にアクセス可能な環境にある。これら膨大なデータを有効に利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、現在では活気のある研究分野となっている。

一方、膨大なデータから有用な情報や知識を効率良く抽出することを目的としたデータマイニングも広義の意味で高度な情報検索と考えられる。ただし、医療や生命情報科学(バイオ)等の分野における専門的・科学的知識の発見・抽出を目指す試みは大変盛んに行なわれているものの、音楽を対象とするデータマイニング研究は残念ながらそれほど多くはない。

我々が日常経験している通り、多くの情報検索・データマイニングシステムはユーザの手に余る膨大な出力結果を提示する。これらは、アクセス可能な検索対象を、何らかの尺度のもとで評価・ランキングして得られるものであり、その評価尺度がユーザの真の興味にうまくマッチした場合は、検索・マイニング結果上位の一部をチェックするだけでユーザはほぼ満足できる。しかし、ユーザの興味は多岐に渡ることから、多くの場合、ランキング下位の対象まで根気強く調べるか、あるいは、別のクエリーを与えて新たな検索結果をチェックするなどの手間を強いられる。

これを改善するために、出力結果を後処理として整理すべく、類似したもの同士にクラスタ化、あるいは、グループ化した後にユーザへ提示することがしばしば行われる。しかし、それが如何なる意味でグループ化されているのかまでは通常明確には示されない。すなわち、ユーザは整理された出力結果が入ったいくつかの箱を単にもらうに過ぎず、どの様なものがひとまとめに

なっているのかは、実際に箱を開けて中を見ない限りはわからない。また、実際に中を見たところで、同じ箱に入っている合理的な理由・根拠を見出せない場合も多い。これは、クラスタリング研究において古くから指摘されている『クラスタに対する解釈・意味付けメカニズムの欠如』に起因するものであり、検索をより実用的なものとするためにはその解決が避けて通れない。

2. 研究の目的

こうした問題背景のもと、より柔軟かつ高度な音楽情報検索の実現を見据え、本研究課題では、データマイニングにおけるクラスタ抽出の枠組みを基礎として、楽曲の多様な解釈を行なうための基盤技術開発を試みる。特にここでは、多くは信号レベルで扱われる楽曲を離散データとして扱うことで、これまでに考察した形式概念解析やグラフ理論に基づくクラスタ抽出技術を基礎として、音楽データを様々な視点から多角的に解釈・意味付けするための基盤技術開発を行う。

3. 研究の方法

楽曲を特徴付ける主要な属性は言うまでもなく音響信号であるが、ジャンル、発表年、ランキングにおける最高順位といった楽曲コンテンツに付随するカタログ的なラベル情報もまた、楽曲を捉える上で極めて重要な属性となる。また、近年は、音楽に特化した SNS を利用して、ユーザが様々な楽曲に対して思い思いのタグ情報を付与することが可能であり、これらもまた楽曲を特徴付ける重要な属性と考えることができるであろう。

本課題では、こうした音響信号に代表される数値(連続)属性とタグ情報等を含む離散属性を区別することなく統一的に扱う組合せ論的な楽曲分析手法を提案し、クエリーとして与えられた楽曲群に対して、楽曲コンテンツやラベル情報が混在する複合的な視点からの解釈を与える様々なクラスタを抽出することで、ユーザが新たなお気

に入り楽曲に出会うきっかけを提供する枠組みの実現を試みた。

具体的には、形式概念に基づくクラスタ抽出手法を基礎として、そのさらなる拡張を試みた。形式概念は、ある属性集合(内包)を有するオブジェクト集合(外延)として定義されることから、概念の外延をクラスタと考えることで、その内包により明確な解釈・説明を与えることが可能となる。これにより、抽出される各クラスタは、音に限定されない、あるいは、タグ情報に限定されない複合的な属性群を内包とするものとなり、多様な解釈を与える様々なクラスタ抽出が可能となる。

これに加え、グラフ理論的な立場からも、頂点クラスタの抽出アルゴリズムの開発を行なう。楽曲コンテンツ(音響信号)を表す属性とタグ情報を表す属性を統一的に扱うことで、楽曲群を様々な属性の共有関係のもとでグラフ表現することが可能となる。そこから抽出可能な密な部分グラフ(疑似クリーク)は、様々な属性群の共有を根拠とする楽曲クラスタを与えることから、所与のクエリ楽曲を含む疑似クリークを列挙することで、クエリ楽曲との類似性を様々な視点から観察可能となる。

4. 研究成果

研究期間において得られた主な成果は次の通りである。

頻出長大パターン抽出に基づく類似楽曲検索手法の開発：

従来の頻出パターンマイニングシステムでは抽出が困難な、長大パターン(形式概念の内包)の高速抽出アルゴリズムを基礎とする、類似楽曲検索手法の定式化、および、実装を行なった。具体的には、MIREX 2014の Symbolic Melodic Similarity Task において単音 MIDI データとして与えられた楽曲から、隣接する音符間のピッチ差分を取り出し、その n -gram をアイテムとすることで、楽曲をトランザクション化する。クエリ楽曲(フレーズ) Q を外延に含む長大パ

ターンを抽出することで、 Q と類似した楽曲群を様々な観点から同定することが可能となった。

解集合の分割に基づくサイズ上位 N の極大 k -Plex の高速抽出：

これまでに考察した極大疑似クリーク (k -plex) 抽出手法の高速化を試み、従来手法では解の抽出が困難な規模のグラフに対しても動作するアルゴリズムを提案・実装し、その効果をベンチマークグラフおよびランダムグラフについて確認した。具体的には、解集合を真 l -plex 性に基づいて分割することで、 k -plex の頂点間距離に関する理論的性質を最大限利用することが可能となり、不要な探索枝の分枝処理が抑制され高速化が実現される。

さらに、このアルゴリズムをより実用的、かつ、有用なものとするべく、サイズが上位 N の極大 k -plex を高速抽出する枠組みへと拡張し、システムの実装、および、計算機実験を行った。ここでも真 l -plex 性に基づく解集合の分割アプローチが有効であり、探索範囲が限定された真 l -plex 領域において高速に抽出される上位 N の暫定解が、多くの場合に最適解と一致する。よって、これら暫定解を利用した分枝限定操作は、不要な探索枝の展開を強力に抑制するものとなり、結果として最適解の高速抽出が実現される。実験では、数十万頂点規模の、ソーシャル・ネットワーク、論文共著者ネットワーク、および、人工ネットワークに対して、現実的な時間で解の抽出が可能であることが確認でき、類似検索や類似性分析における有用な基盤ツールとして利用可能であるとの見通しを得た。

多段多数決によるクラス分類手法の開発：

クラスラベルが未知のクエリオブジェクトのクラスを予測するクラス分類問題のための伝統的な手法である k -近傍法の改良手法を開発した。近傍パラメータ k が分類の予測結果に及ぼす直接的な影響を緩和するために、クエリの近傍オブジェクトに付与さ

れた元のクラスラベルを、その周辺の隣接構造から定まる仮説ラベルと比較し、両者が一致しない場合は、元のラベルを仮説ラベルに修正した後、多数決によってクエリが属するクラスを予測する。その結果、パラメータ設定の違いや近傍の例外的なラベルに影響されない安定した予測結果を得ることが期待できる。

クラスラベルを反映した次元圧縮に基づくクラス分類手法の開発：

高次元ベクトルで表現された対象群のクラスラベル情報を反映した次元圧縮により得られる低次元基底ベクトル空間において、クラスが未知の対象を近似表現することで、対象のクラスラベルを予測する手法を開発した。こうしたクラス分類に有用な次元圧縮を、マスク制約付き非負値行列因子分解の枠組みを基礎に実現することを試みた。マスク制約は、次元圧縮により得られる各基底ベクトル(部品)の構造を明示的に定めるものであり、元の高次元空間で観測される各クラスにおける属性間の共起関係をマスクに反映させることで、それぞれのクラスに関連した部品群を得ることが可能となる。対象は、それら部品群の非負重みによる線形和で近似されることから、近似表現におけるクラス毎の部品重みを観察することで、対象が属するクラスを予測することが可能となる。特に、多重分類も実現できることから、対象の多観点分析において有用なツールとなることが期待できる。

5. 主な発表論文等

【雑誌論文(計 5 件)】

1. Yoshiaki Okubo, Makoto Haraguchi and Etsuji Tomita: Enumerating Maximal Isolated Cliques Based on Vertex-Dependent Connection Lower Bound, Proceedings of the 12th International Conference on Machine Learning and Data Mining - MLDM 2016, Lecture Notes in Artificial In-

telligence, Springer-LNAI 9729, pp. 569 - 583, 査読有, 2016.

2. Hongjie Zhai, Makoto Haraguchi, Yoshiaki Okubo and Etsuji Tomita: A Fast and Complete Algorithm for Enumerating Pseudo-Cliques in Large Graphs, Journal of Data Science and Analytics, 2(3-4), pp. 145 - 158, Springer, 査読有, 2016.
3. Hongjie Zhai, Makoto Haraguchi, Yoshiaki Okubo and Etsuji Tomita: A Fast and Complete Enumeration of Pseudo-Cliques for Large Graphs, Proceedings of the 20th Pacific Asia Conference on Knowledge Discovery and Data Mining - PAKDD 2016 (Part I), Lecture Notes in Artificial Intelligence, Springer-LNAI 9651, pp. 423 - 435, 査読有, 2016.
4. Hongjie Zhai, Makoto Haraguchi, Yoshiaki Okubo and Etsuji Tomita: Enumerating Maximal Clique Sets with Pseudo-Clique Constraint, Proceedings of the 18th International Conference on Discovery Science - DS'15, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Springer-LNAI 9356, pp. 324 - 339, 査読有, 2015.
5. Yoshiaki Okubo, Masanobu Matsu-daira and Makoto Haraguchi: Detecting Maximum k-Plex with Iterative Proper l-Plex Search, Proceedings of the 17th International Conference on Discovery Science - DS'14, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Springer-LNAI 8777, pp. 240 - 251, 査読有, 2014.

【学会発表(計 6 件)】

1. 大久保 好章・原口 誠：近傍エゴネットワークにおける多段多数決に基づく

- くクラス分類手法の提案, 情報処理学会研究報告, Vol. 2016-MPS-111, No. 20, 電気通信大学 (東京都調布市), 2016年12月12日.
2. 趙奇・原口誠・大久保好章・富田悦次: 可変接続数下限を用いた孤立性 j -核, 人工知能学会研究会資料, SIG-FPAI-99, pp. 49 - 54, 湯の原ホテル (宮城県仙台市), 2016年1月21日-22日.
 3. 大久保好章・原口誠・ジェイ ホンジェ・富田悦次: 大規模グラフにおける疑似クリーク厳密解全列挙に関する考察, 情報処理学会研究報告, Vol. 2015-MPS-106, No. 6, 電気通信大学 (東京都調布市), 2015年12月15日.
 4. 大久保好章・原口誠: 解集合の分割に基づく極大 k -Plex 抽出の高速化, 人工知能学会研究会資料, SIG-FPAI-B403, pp. 48 - 55, 名古屋工業大学 (愛知県名古屋市), 2015年1月13日-14日.
 5. ジェイ 泓杰・大久保好章・原口誠: 各種の疑似クリーク列挙アルゴリズムの実験的性能比較, 人工知能学会研究会資料, SIG-FPAI-B404, pp. 25 - 32, 別府国際コンベンションセンター (大分県別府市), 2015年3月22日-23日.
 6. 大久保好章・原口誠: 頻出長大パターン抽出に基づく類似楽曲検索に関する一考察, 人工知能学会研究会資料, SIG-FPAI-B401, pp. 45 - 50, 根室市総合文化会館 (北海道根室市), 2014年7月24日.
- 6. 研究組織**
- (1) 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