

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：13102

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K17861

研究課題名（和文）マルチモーダルデータ統合技術の深化によるグラフクラスタリングの実現と検索への応用

研究課題名（英文）Graph clustering based on multimodal data fusion and its application to retrieval

研究代表者

原川 良介（Harakawa, Ryosuke）

長岡技術科学大学・工学研究科・准教授

研究者番号：20787022

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、ユーザが望む情報を検索可能とするために、欠損モダリティに対処できるマルチモーダルデータ統合技術を構築し、グラフクラスタリングを高精度化することを目的とした。「欠損モダリティ補間を備えた潜在特徴抽出とグラフクラスタリングの同時最適化技術の構築」、「信頼度推定を導入したグラフクラスタリング技術の構築」および「グラフクラスタリングの検索への応用」のそれぞれについて技術構築に成功し、当初目的を達成した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ソーシャルネットワーキングサービス上の映像やタグ付き画像等のマルチモーダルデータが増加し続けている。蓄積されたビッグデータは、ウェブ情報学や計算社会科学などの様々な領域において活用されている。しかしながら、情報検索を行うユーザに視点に立つと、自らが望む情報を検索することが困難な情報洪水と呼ばれる問題を引き起こしている。本研究では、情報洪水問題の解決に資する基盤技術の構築に成功した。

研究成果の概要（英文）：This research aimed to develop multimodal data integration methods that can deal with missing modalities and improve the accuracy of graph clustering to enable users to search for desired information. We conducted researches about “construction of a simultaneous optimization method for latent feature extraction and graph clustering with missing modality interpolation,” “construction of a graph clustering method that introduces confidence estimation,” and “application of graph clustering to information retrieval.” We succeeded in developing these methods and achieved the original purpose.

研究分野：マルチメディアデータ解析

キーワード：マルチモーダル解析 グラフクラスタリング グラフ理論 複雑ネットワーク 情報検索

1. 研究開始当初の背景

ソーシャルネットワークサービス(SNS)上の映像やタグ付き画像等のマルチモーダルデータの氾濫によって、ユーザが望む情報を検索することが困難な情報洪水と呼ばれる問題が生じている。問題解決のために、種々のクラスタリング技術が提案されている。特に、異なるモダリティの関連性を活用可能とするマルチモーダルデータ統合技術によってコンテンツ特徴を算出し、リンク関係やタグの共起関係等を基に構築されたグラフ構造を解析するグラフクラスタリングの有効性が広く知られ、注目を集めている。

マルチモーダルデータ統合技術は 2 種類に大別できる。グラフクラスタリングの前処理として、異なるモダリティの関連性を最大化する潜在特徴を求める **early fusion** 技術とモダリティ毎にグラフを構築した後、各グラフを統合してからクラスタリングを行う **late fusion** 技術である。既存技術は、全てのモダリティが完備されていることを前提としているため、SNS の特質である欠損モダリティ(例: 画像は存在するが、説明のテキストが欠損している)に対処できない。その結果、適切な潜在特徴抽出および結果統合が困難となり、グラフクラスタリングの精度劣化を引き起こしている。

2. 研究の目的

本研究では、ユーザが望む情報を検索可能とするために、欠損モダリティに対処できるマルチモーダルデータ統合技術を構築し、グラフクラスタリングを高精度化することを目的とする。**Early fusion** 技術として、潜在特徴抽出とグラフクラスタリングの目的関数を統合し、同時に最適化する技術を提案する。一般に、同時最適化には大量の学習データが必要である。本研究では、大量の学習データを用意できない場合においても、従来のグラフクラスタリングの精度限界を打破するため、**late fusion** 技術の深化にも取り組む。本研究では、複数のグラフクラスタリング結果の信頼度を推定して統合可能とすることで、欠損モダリティによる不正確な結果が混在している場合においても、高精度なグラフクラスタリングを実現する。最後に、グラフクラスタリングに基づく検索システムを構築する。これにより、ユーザによる具体的な検索キーワード入力を必要とせずとも望む情報を獲得可能とする。

3. 研究の方法

本研究では次の 3 項目を通して、従来技術のボトルネックとなっていた欠損モダリティにも対処できるマルチモーダルデータ統合技術を構築することで、高精度なグラフクラスタリングが実現され、ユーザが望む情報の検索まで可能となることを示す。

【欠損モダリティ補間を備えた潜在特徴抽出とグラフクラスタリングの同時最適化技術の構築】

グラフクラスタリングのための新しいマルチモーダルデータ統合技術、特に **early fusion** 技術を構築する。欠損モダリティを補間しながら異なるモダリティの関連性を最大化する既存技術で得られる潜在特徴は、グラフクラスタリングという目的を達成する上で最適であるという保証は無い。この限界を打破するため、本研究では新たに、欠損モダリティ補間を備えた潜在特徴抽出とグラフクラスタリングの目的関数を統合し、それらの同時最適化を実現する。

【信頼度推定を導入したグラフクラスタリング技術の構築】

Early fusion 技術に必要な量の学習データを用意できない場合には、本研究で実現される **late fusion** 技術を実行することで、従来のグラフクラスタリングの精度限界を打破できるようにする。本研究では、複数のグラフクラスタリング結果の信頼度を推定して統合可能とすることで、欠損モダリティによる不正確な結果が混在している場合においても、高精度なグラフクラスタリングを実現する。

【グラフクラスタリングの検索への応用】

COVID-19 や自然災害等の未曾有の事態に関する情報を得ようとした際には特に、具体的な検索キーワード入力を必要とする既存の検索システムを用いても、望む情報を得ることは困難である。本研究では、項目 1・2 の技術を備えたシステムを実装し、この問題を解決できる検索を実現する。

4. 研究成果

上述の各項目に関して、以下の成果を得た。

【欠損モダリティ補間を備えた潜在特徴抽出とグラフクラスタリングの同時最適化技術の構築】

異なる種類の特徴（画像特徴やテキスト特徴等）の関連性を最大化するとともに、情報検索の精度も同時に高める潜在特徴抽出理論を構築した。具体的には、multivariational autoencoder における Kullback-Leibler ダイバージェンス規準に対して、triplet loss 規準を新たに導入して同時に最適化する personalized multivariational autoencoder (PMVAE) を導出した。これにより、従来よりも高精度に、検索目標のコンテンツとそれ以外のコンテンツを弁別する潜在特徴が抽出可能となった（図1）。さらに、ソーシャルデータに信号処理の技法を適用可能として有益情報を抽出する GLIPCA (graphical lasso-guided iterative principal component analysis) を開発した。図2では、緊急事態宣言の前後にピークを持つ Twitter (現 X) 上のトレンドの顕在化を目標としたが、従来技術では間接相関のせいでクラスタは弁別されない。GLIPCA では、直接相関を持つ単峰性ガウス分布を用いてトレンドをモデル化し、問題を解決した。さらに、GLIPCA は固有値問題に帰着するため、煩雑なパラメータ設定や初期値依存性も無く、クラスタ数や解が一意に定まる。このため、ブラックボックス問題を抱えた深層学習と異なり、GLIPCA は意思決定支援に必要な再現性・説明性を備えている。

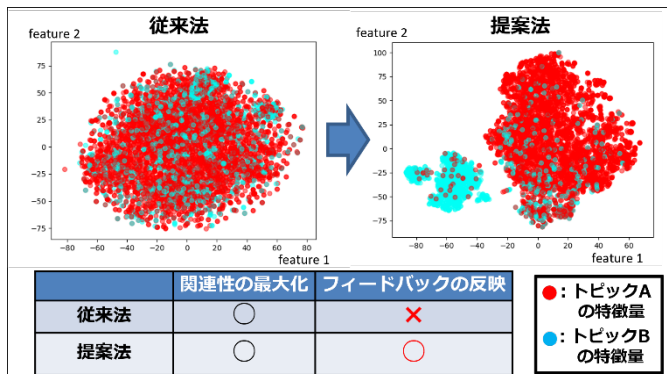


図1：ユーザのフィードバックを反映した特徴空間を設計できるPMVAE

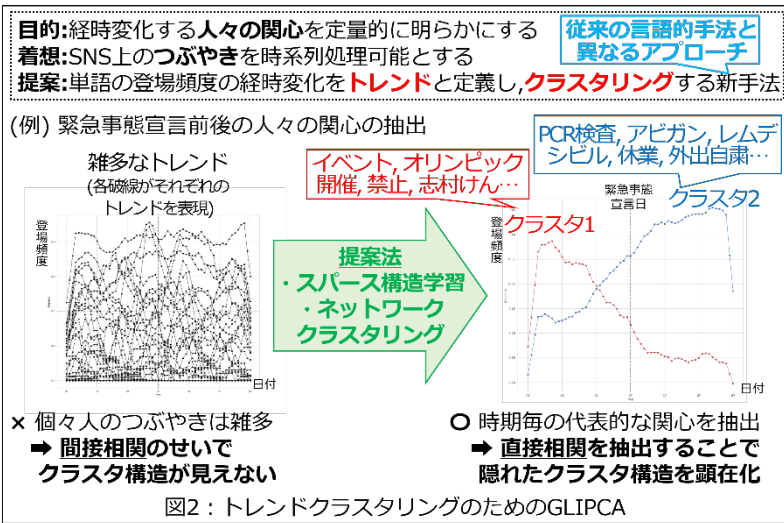


図2：トレンドクラスタリングのためのGLIPCA

【信頼度推定を導入したグラフクラスタリング技術の構築】

画像とテキストから成るコンテンツの sequential 推薦において、画像とテキストの寄与度を各々算出し、寄与度に応じて統合することで、説明性を担保しながら推薦精度を向上する技術を構築した。FLICKR25K や NUS-WIDE といったオープンデータ、Twitter データ、企業の実データを対象とした実験を行い、有効性を確認した。

【グラフクラスタリングの検索への応用】

ソーシャルメディアに投稿されたコンテンツのパーソナライズド検索（全員に同じ結果を提供するのではなく、各々のユーザに適した結果を提供する検索）を実現した。より具体的には、Tumblr というソーシャルメディアに投稿された、画像とテキストから成るコンテンツに対して、新たに構築した PMVAE を適用した。その結果、異なる種類の特徴の関連性だけを最大化する従来法よりも、PMVAE を用いた場合の方が、より高精度に各ユーザが求める検索結果を得られることが明らかになった。

以上のように、ユーザが望む情報を検索可能とするために、欠損モダリティに対処できるマルチモーダルデータ統合技術を構築し、グラフクラスタリングを高精度化するという目的を達成した。

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 Harakawa Ryosuke, Ito Tsutomu, Iwahashi Masahiro	4. 巻 12
2. 論文標題 Trend clustering from COVID-19 tweets using graphical lasso-guided iterative principal component analysis	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-022-09651-6	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 Ohtomo Kazuma, Harakawa Ryosuke, Ogawa Takahiro, Haseyama Miki, Iwahashi Masahiro	4. 巻 81
2. 論文標題 User-centric multimodal feature extraction for personalized retrieval of tumblr posts	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Multimedia Tools and Applications	6. 最初と最後の頁 2979 ~ 3003
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11042-021-11634-0	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10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Nakamura Fuga, Harakawa Ryosuke, Iwahashi Masahiro
2. 発表標題 SCQ: Self-Supervised Cross-Modal Quantization for Unsupervised Large-Scale Retrieval
3. 学会等名 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大友一馬、原川良介、岩橋政宏
2. 発表標題 微生物画像の特徴表現のための自己教師ありスパースオートエンコーダに関する検討
3. 学会等名 信号処理シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 水間黎、原川良介、岩橋政宏
2. 発表標題 災害に関するTwitterデータから得られるトレンドクラスタの判別に関する検討
3. 学会等名 信号処理シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 水間黎、原川良介、岩橋政宏
2. 発表標題 Twitterデータを用いたトレンドクラスタの階層化手法に関する検討 猛暑に対する人々の関心変化検出への応用
3. 学会等名 電子情報通信学会 信越支部大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大友一馬、原川良介、飯坂正樹、岩橋政宏
2. 発表標題 行動順序を考慮したマルチモーダル推薦手法に関する検討 LFMCDの導入による欠損モダリティに対する頑健性の向上
3. 学会等名 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ohtomo Kazuma, Harakawa Ryosuke, Iisaka Masaki, Iwahashi Masahiro
2. 発表標題 Sequential Recommender System of Educational Contents with End-to-End Title Feature Extraction for Reducing Utility Gap
3. 学会等名 IEEE Global Conference on Consumer Electronics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ito Tsutomu, Harakawa Ryosuke, Iwahashi Masahiro
2. 発表標題 Word Clustering Using Graphical Lasso-Guided PCA for Trend Analysis of COVID-19
3. 学会等名 IEEE Global Conference on Consumer Electronics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nakamura Fuga, Harakawa Ryosuke, Iwahashi Masahiro
2. 発表標題 Product Quantization to Reduce Entropy of Labels for Fast and Accurate Image Retrieval
3. 学会等名 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大友 一馬、原川 良介、飯坂 正樹、岩橋 政宏
2. 発表標題 教育コンテンツの画像およびテキスト特徴がユーザの閲覧行動に与える影響の一考察
3. 学会等名 電子情報通信学会 信越支部大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋 皓暉、原川 良介、飯坂 正樹、岩橋 政宏
2. 発表標題 教育コンテンツの制約付きクラスタリングに関する検討
3. 学会等名 電子情報通信学会 信越支部大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

長岡技術科学大学 画像・メディア工学研究室
<https://tech.nagaokaut.ac.jp/>

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
---------	---------