

令和元年6月14日現在

機関番号：34419

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K16128

研究課題名（和文）構造的ゆらぎを伴うグラフデータに対するクラスタリング手法の確立

研究課題名（英文）Clustering Methods for Graph Data with Structural Fluctuation

研究代表者

濱砂 幸裕 (HAMASUNA, Yukihiro)

近畿大学・理工学部・講師

研究者番号：70610559

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、構造的ゆらぎを伴うグラフデータマイニングを通じて、大規模・不確実なデータを柔軟に処理する新たなデータ解析の方法論の構築に取り組んだ。はじめに、グラフデータに伴う構造的ゆらぎを扱う数理モデルを検討した。次に、構築したモデルに基づくクラスタリング手法の新規開発を行った。その後、構造的ゆらぎに対する知識ベースを構築した。数値実験を通じて、分類性能・処理速度・扱えるデータの規模などについて、既存手法との比較評価を行い、開発手法の包括的發展に取り組んだ。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題では、大規模・不確実データのマイニングを目的に、グラフデータに伴う構造的ゆらぎに対する知識のモデル化に取り組んだ。また、構築したモデルとクラスタリング手法の融合に取り組み、新たなクラスタリング手法を開発した。さらに、理論的検討および数値実験等を通じて得られた知見を基に、開発手法と方法論の包括的發展に取り組んだ。これらの成果により、大規模グラフデータに隠された因果関係や相互作用を明らかにするデータマイニングの実現に向けた方法論の基盤を築いた。

研究成果の概要（英文）：This research project aimed to establish a novel data analysis framework to handle massive and complex datasets through graph data mining for data with structural fluctuation. First, mathematical models to handle graph data with structural fluctuation is investigated in data analysis procedures. Second, clustering methods based on proposed mathematical models are constructed. Next, the knowledge-based models are constructed to handle graph data with structural fluctuation. Finally, the proposed clustering methods are organized through comparative numerical experiments with conventional methods.

研究分野：クラスタリング

キーワード：クラスタリング グラフクラスタリング 機械学習 ソフトコンピューティング 構造的ゆらぎ クラスタ数推定 妥当性基準 Modularity

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

SNS 上のテキスト、写真、友人関係、あるいはセンサーネットワークによって取得された情報等、我々の周囲では日常的に膨大なデータが収集されている。そのようなデータはビッグデータとも呼ばれ、医療、マーケティング、リスク管理をはじめとする分野において、大規模データに対する知識発見・データマイニングの重要性は極めて強く認識されている。

データ解析手法の中でも、クラスタリングはデータの規則性や構造を発見する有用な手法として知られている。近年では、ノードとエッジで構成されるグラフデータのクラスタリング(グラフクラスタリング)が注目を集めており、SNS 上のコミュニティ抽出、企業間取引の可視化などに利用されている。個体間の繋がりから全体の構造を解析することで、大規模データに潜む因果関係や相互作用を明らかにするグラフクラスタリングは大きな期待を寄せられている。

グラフクラスタリングではグラフデータを扱うという特徴そのものが、しばしば解析の困難さを引き起こす。例えば、エッジの欠損や誤差、情報の遅れや動的変化などの構造的ゆらぎは、不確実・不確定なグラフの形成に繋がるが、本来の構造や情報を保ったままそれらを削除することは不可能である。そのため、既存手法はアルゴリズムで扱いやすい形にデータを加工しており、グラフデータが本来備えている構造的ゆらぎを無視したまま解析を行っている。

申請者が以前に開発した許容モデルを用いたクラスタリングは、欠損や誤差を持つデータの分類を可能とする点で優れているものの、独立した個体を対象としており、グラフデータに適しているとは言い難い。しかし、リスク管理やマーケティングなどの分野では、データに伴う不確実性の解析こそが現象の本質を明らかにする、という見方がされており、通常のデータマイニングを上回る価値が存在すると認識されている。そのため、構造的ゆらぎを伴うグラフデータの解析を行う新たなクラスタリング手法は不可欠であると認識されている。

2. 研究の目的

申請者はこれまでに、知識ベースに基づくクラスタリング(知識融合型クラスタリング)の高度化に取り組み、不確実データの解析、ユーザの意図を反映した半教師学習、コアクラスタ抽出によるクラスタ数推定などの研究を進めてきた。知識融合型クラスタリングとは、「欠損データは特徴空間の全ての値を取り得る」、「データが密な領域をコアクラスタとする」といった知識をデータ解析のプロセスに取り込むことで、人間が持つ知識とクラスタリング手法の融合による柔軟な処理を実現するアプローチである。現在に至るまでに、欠損を伴う実データや SNS 上のソーシャルデータなどの解析を通じて、解析対象や目的に適合した知識ベースが人間の直感に合った処理を実現することを明らかにした。そこで、この発想をさらに発展させ、構造的ゆらぎを伴うグラフデータに対する知識ベースを構築すれば、既存のクラスタリングでは成し得なかった、大規模・不確実・不確定なグラフデータの柔軟な解析が可能となる。簡潔に言うと、本研究課題の概要は、ゆらぎの無視から重視という発想の転換を着想とする新たな知識融合型クラスタリングの確立である。

そこで本研究課題では、構造的ゆらぎを伴うグラフデータのマイニングをターゲットとして、知識ベースに基づく新たなクラスタリング手法の確立を目的とする。特に、グラフデータのゆらぎに対する知識ベース構築とモデル開発を通じて、ゆらぎを活用する新たなデータ解析の方法論を構築するという観点から、グラフデータに伴う構造的ゆらぎをクラスタリング手法で扱う数理モデルの構築、構築したモデルに基づくグラフクラスタリング手法の新規開発、構造的ゆらぎに対する知識ベースの構築と高度化、の3つの課題を設定した。

本研究では、ゆらぎに対する人間の知識を抽出し、ソフトコンピューティングや数理計画法の技法を用いて、新たなグラフクラスタリング手法の開発を進める。次に、ベンチマークテストおよび実データ解析を通じて、既存手法と比較した際の知識融合型クラスタリングの優位性を明らかにする。さらに、開発したモデルを類型に分類し、汎用性を高めることで、知識ベースに基づくアプローチが実世界の大量データを柔軟に処理する糸口となることを示す。

以上を踏まえ、本研究の自己評価は、

- (1) 新たなグラフクラスタリング手法を確立し、既存手法と比較した優位性を示せたか
- (2) 知識融合型クラスタリングが大規模データマイニングの糸口となることを示せたか
- (3) 実用的な知識ベースとモデルを構築し、新たなデータ解析の方法論を構築できたかの3点から行うこととなる。これらを達成することで、大規模・不確実・不確定なデータを柔軟に処理する新たなデータ解析の方法論の礎を築くことを見据えている。

3. 研究の方法

本研究計画では、ゆらぎを伴うグラフデータに対する知識ベースと知識融合型クラスタリングの発展を通じて、大規模データマイニングの実用化を進める。本計画の骨子は次の6段階からなる。

- (1) 構造的ゆらぎを伴うグラフデータに対する知識ベースのプロトタイプ開発
- (2) クラスタリングの枠組みで構造的ゆらぎを扱う数理モデルの開発
- (3) 知識ベースに基づくグラフクラスタリング手法の新規開発
- (4) ベンチマークテスト、実データ解析による開発手法の評価および特徴把握
- (5) ゆらぎモデルの効果検証および類型分類を通じた汎用性の向上
- (6) 実用化に向けた知識ベースの高度化および開発手法の包括的発展

詳細は以下の通りである。

- (1) データ解析分野におけるゆらぎの調査：関連分野の文献調査から、ゆらぎが指す概念・範囲・扱われ方を整理する。また、それらの数学モデルについて確認し、これまでに構築した知識ベースとの関連性を検討する。
- (2) グラフデータに伴う構造的ゆらぎの調査：先行研究および SNS などの実データを調査し、グラフデータに伴う構造的ゆらぎの特徴について事例を収集する。さらに、収集した事例の類似点・相違点を精査し、一般化できるものとそうでないものに選別する。
- (3) 既存手法の調査および実装：代表的な手法である Louvain 法、スペクトラルクラスタリングなどのアルゴリズムを実装し、分類性能、計算時間、問題点について比較検討する。ベンチマークデータとして、Stanford Large Network Dataset Collection を用いる。
- (4) 知識ベースのプロトタイプ開発：項目(1)、(2)の調査内容を基に、構造的ゆらぎに対する知識抽出を行い、知識ベースのプロトタイプを開発する。その際、グラフデータ特有の知識がどうか注目して整理し、不足している知識の領域について考察する。
- (5) 数理モデルの開発：項目(4)で構築した知識ベースに基づく知識のモデル化を行う。モデル化には、ファジィグラフなどのソフトコンピューティング技法やこれまでの成果を用いる。必要に応じて、先行研究で開発した許容モデルや半教師モデル、項目(1)で調査した数学モデルを参照し、ゆらぎを扱う数理モデルを開発する。
- (6) プロトタイプの修正：項目(4)の知識ベースと項目(5)の数理モデルを照合し、モデルとクラスタリング手法の数理的関連性を考察し、プロトタイプを修正する。必要な場合には、項目(1)、(2)を再検討し、知識融合型クラスタリング開発の準備を整える。
- (7) 知識融合型クラスタリング技法の開発：前年に引き続き知識ベースの検討を進め、知識融合型クラスタリングの開発を進める。ここで開発する技法とは、独立した手法だけではなく、グラフデータに対する知識融合型クラスタリングのフレームワークも含めたものとなる。
- (8) 開発手法の評価・既存手法との比較：ベンチマークデータによる開発手法の評価を行う。特に、分類規則の特徴、適切に処理できるデータの規模、計算時間について評価し、これまでに実装したアルゴリズムとの比較検討を行う。既存手法を上回るほどの結果が得られなかった場合には、項目(5)、項目(7)について再検討する。
- (9) モデルの修正と汎用性向上および知識ベースの再構築：項目(8)の評価結果から、有効なモデルを複数の手法に適用できるよう拡張する。モデルの汎用性を高めることで、クラスタリング以外の手法への応用可能性が高まり、新たなデータ解析の方法論構築に向けた足がかりとなる。また、数理モデルおよび開発手法を再検討する。
- (10) 知識融合型クラスタリングの再開発：修正した知識ベースに基づいて、検討が不十分な領域を明らかにし、該当する手法の再開発および評価を行う。また、ソフトコンピューティングをはじめとして、本研究課題の知識ベースに適切な諸技法について検討する。
- (11) 大規模データマイニングの実用化：実データの検討を通じて、データの規模・複雑さ・分類性能などの観点から、本研究課題で開発した知識融合型クラスタリングの特徴を明らかにする。比較的規模の大きいデータを対象として解析事例を蓄積し、実用化に必要な項目の改善を進める。

4. 研究成果

初年度は、データ解析分野における構造的ゆらぎの調査とこれまでに構築した知識ベースとの関連性の検討を行い、ゆらぎが指す概念・範囲・扱われ方を整理し、それらの数学モデルと、これまでに構築した知識ベースの関連性を精査した。次に、多くの先行研究で有効性が検証されている Louvain 法などを実装し、小規模の人工データと中規模のベンチマークデータを用いて、分類規則の特徴、適切に処理できるデータの規模、計算時間、について問題点を抽出した。また、クラスタ分割の定量的評価を行う指標である Modularity と、従来から用いられている妥当性基準との比較を進め、それぞれの問題点を明らかにした。さらに、知識ベースを見直し、構造的ゆらぎをアルゴリズムに組み込む方法についても検討した。その後、構造的ゆらぎに対する知識抽出、既存手法の問題点把握を進め、知識融合型クラスタリング開発に必要な、ゆらぎモデルを開発し、次年度以降の計画遂行の準備を整えた。

次年度は、グラフデータに対する知識ベースとの融合として、グラフデータ、構造的ゆらぎ、クラスタリング手法、ゆらぎモデルの4つを構成要素とする知識融合型クラスタリングのフレームワークを検討した。また、フレームワークに基づくグラフクラスタリング手法の類型を行い、知識ベースに基づくグラフクラスタリング手法を開発した。その後、開発手法の特徴を明らかにするための評価指標として、妥当性基準および情報量基準を検討し、人工データおよびベンチマークデータによる評価を行った。評価項目として、分類規則の特徴、適切に処理できるデータの規模、計算時間について評価したところ、開発した手法および妥当性基準の一部において代表的な手法である Louvain 法を上回る結果が得られた。さらに、前項の評価結果から、有効性が明らかとなったゆらぎモデルを拡張し、知識ベースの修正を行った。また、開発したフレームワークに基づき、知識ベース、数理モデル、クラスタリング手法を適宜修正した。さらに、構造的ゆらぎに関する知識の不足領域について調査し、グラフデータの定量的評価に基づくクラスタ数推定を新たな課題として設定した。以上の観点を踏まえ、これまでに開発したモデル・手法・フレームワークを再検討し、知識融合型クラスタリングの再開発を進めた。

最終年度は、知識ベースに基づくグラフクラスタリングの再開発による大規模データマイニングの実用化について実施した。はじめに、知識ベースの再構築と数理モデルの検討を進めるために、これまでの検討に加えて、サイズ均等、位相的データ解析などを用いた数理モデルの開発に取り組んだ。次に、クラスタリングで大規模データを扱う際の課題である最適クラスタ数の検討について、定量的評価指標である妥当性基準および自動推定アルゴリズムである x-medoids を構築し、拡散カーネルなどを用いて重み付けを行うことで、重みなし・重みありのグラフデータを扱うことが可能であることを実験的に示した。併せて、開発手法について、分類性能、クラスタ数の推定、計算時間について評価したところ、一部の開発手法においてグラフクラスタリングの代表的手法である Louvain 法を上回る結果となった。その後、大規模データを高速に解析し、有用な情報を抽出する新たなクラスタリング手法を開発するために、位相的データ解析の諸技法をクラスタリングに導入することを検討した。これまでのところ、ベクトルデータに対するアルゴリズムを構築し、分類規則の観点からその特徴を明らかにした。

これまでの検討により、本研究における成果は以下の通りである。

- (1) 既存手法を上回る新たなグラフクラスタリング手法の開発
妥当性基準に基づく階層型グラフクラスタリング
クラスタ数自動推定アルゴリズムのグラフデータへの拡張
- (2) 知識融合型クラスタリングによる大規模データマイニングの実現
グラフデータにおけるクラスタ構造のモデル化
妥当性基準の拡張とグラフデータにおけるクラスタ構造の抽出
- (3) 実用的な知識ベースとモデルを構築し、新たなデータ解析の方法論を構築できたか
クラスタサイズ調整を行うアルゴリズムの開発と評価
位相的データ解析の技法を用いたクラスタリングアルゴリズムの開発

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計6件)

- (1) Y. Hamasuna, D. Kobayashi, R. Ozaki, and Y. Endo, Cluster Validity Measures for Network Data, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics (JACIII), 査読有, Vol. 22, No. 4, pp. 544-550, 2018.
DOI:10.20965/jaciii.2018.p0544
- (2) K. Kitajima, Y. Endo, and Y. Hamasuna, Fuzzified Even-Sized Clustering Based on Optimization, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics (JACIII), 査読有, Vol. 22, No. 4, pp. 537-543, 2018.
DOI: 10.20965/jaciii.2018.p0537
- (3) Y. Endo, Y. Hamasuna, T. Hirano, and N. Kinoshita, Even-Sized Clustering Based on Optimization and its Variants, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics (JACIII), 査読有, Vol. 22, No. 1, pp. 62-69, 2018.
DOI: 10.20965/jaciii.2018.p0062
- (4) Y. Hamasuna, R. Ozaki, and Y. Endo, Two-stage Clustering Based on Cluster Validity Measures, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics (JACIII), 査読有, Vol. 22, No. 1, pp. 54-61, 2018.
DOI: 10.20965/jaciii.2018.p0054
- (5) Y. Hamasuna, N. Kinoshita, Y. Endo, Comparison of Cluster Validity Measures Based x-means, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics (JACIII), 査読有, Vol. 20, No. 5, pp. 845-853, 2016.
DOI: 10.20965/jaciii.2016.p0845
- (6) Y. Endo, T. Suzuki, N. Kinoshita, Y. Hamasuna, On Fuzzy Non-metric Model for Data with Tolerance and Its Application to Incomplete Data Clustering Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics (JACIII), 査読有, Vol. 20, No. 4, pp. 571-579, 2016.
DOI:10.20965/jaciii.2016.p0571

[学会発表](計27件)

- (1) 大津拓登, 瀧砂幸裕, DP-means と階層的クラスタリングを用いた2段階クラスタリング, 第23回曖昧な気持ちに挑むワークショップ(H&M2018), (富山, 2018.12.9).
- (2) S. Nakano, Y. Hamasuna, Y. Endo, A Study on Controlled Node Sized Network Clustering for Unweighted Network Data, Joint 10th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 19th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS & ISIS 2018), 査読有, pp. 826-831, (Toyama, Japan, Dec. 7, 2018).
- (3) D. Kobayashi, Y. Hamasuna, A Study on Clustering Unweighted Network Data and Its Evaluation Using Cluster Validity Measures, Joint 10th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 19th International Symposium on Advanced

- Intelligent Systems (SCIS & ISIS 2018), 査読有, pp. 648-653, (Toyama, Japan, Dec. 6, 2018).
- (4) Y. Hamasuna, R. Ozaki, D. Kobayashi, and Y. Endo, On Cluster Number Estimation for Network Clustering By Using x-medoids, The 15th International Conference on Modeling Decisions for Artificial Intelligence (MDAI 2018), USB, pp. 106-117, (Mallorca, Spain, Oct. 18, 2018).
 - (5) Y. Endo, K. Hoshino, Y. Hamasuna, An Objective-Based Clustering Algorithm whose Cluster Partition is Homotopy Equivalent to Weighted-Complex, The 15th International Conference on Modeling Decisions for Artificial Intelligence (MDAI 2018), 査読有, USB, pp. 94-105, (Mallorca, Spain, Oct. 15, 2018).
 - (6) 小林大記, 瀧砂幸裕, 重みなしネットワークデータに対するクラスタリングとその評価, 第 34 回ファジィシステムシンポジウム(FSS2018), TC2-4 (名古屋, 2018.9.4).
 - (7) 中野秀亮, 瀧砂幸裕, 遠藤靖典, ノード数の制約に基づくネットワーククラスタリングの検討, 第 34 回ファジィシステムシンポジウム(FSS2018), TC2-3 (名古屋, 2018.9.4).
 - (8) 星野翔太, 遠藤靖典, 瀧砂幸裕, クラスタ分割が重み付きアルファ複体とホモトピー同値になるような目的関数最適化に基づくクラスタリングについて, 第 34 回ファジィシステムシンポジウム(FSS2018), TC2-2 (名古屋, 2018.9.4).
 - (9) 瀧砂幸裕, 尾崎稜, ファジィクラスタリングを用いたネットワークデータに対する外れ値検出の検討, 第 60 回自動制御連合講演会, SuH3-2 (東京, 2017.11.12).
 - (10) 尾崎稜, 瀧砂幸裕, ネットワークデータに対するクラスタ数推定アルゴリズムの検討, 第 27 回インテリジェント・システム・シンポジウム, 2B2-2 (岡山, 2017.11.8).
 - (11) Y. Hamasuna, Y. Endo, On Edge Penalty Based Hard and Fuzzy c-Medoids for Uncertain Networks, The 14th International Conference on Modeling Decisions for Artificial Intelligence (MDAI 2017), 査読有, (Kitayushu, Japan, Oct. 20, 2017).
 - (12) K. Kitajima, Y. Endo, Y. Hamasuna, On Fuzzified Even-sized Clustering Based on Optimization, The 14th International Conference on Modeling Decisions for Artificial Intelligence (MDAI 2017), 査読有, (Kitayushu, Japan, Oct. 19, 2017).
 - (13) R. Ozaki, Y. Hamasuna, Y. Endo, Agglomerative Hierarchical Clustering Based On Local Optimization for Cluster Validity Measures, Proc. of 2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (IEEE SMC 2017), 査読有, (Banff, Canada, Oct. 7, 2017).
 - (14) 尾崎稜, 瀧砂幸裕, ネットワークデータに対する妥当性基準を用いた階層的クラスタリング, 第 33 回ファジィシステムシンポジウム(FSS2017), TD2-2 (山形, 2017.9.14).
 - (15) 瀧砂幸裕, 尾崎稜, ネットワークデータに対する外れ値検出の検討, 第 33 回ファジィシステムシンポジウム(FSS2017), TD2-1 (山形, 2017.9.14).
 - (16) Y. Hamasuna, R. Ozaki, and Y. Endo, Two Roles of Cluster Validity Measures for Clustering Network Data, The 2017 conference of the International Federation of Classification Societies (IFCS2017), (Tokyo, Japan, Aug. 8, 2017).
 - (17) Y. Endo, S. Ishida, N. Kinoshita, and Y. Hamasuna, On Various Types of Controlled-sized Clustering Based on Optimization, 2017 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE2017), 査読有, #259 (Naples, Italy, July 12, 2017).
 - (18) Y. Hamasuna, R. Ozaki, Y. Endo, A Study on Cluster Validity Measures for Clustering Network Data, Joint 17th World Congress of International Fuzzy Systems Association and 9th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems (IFSA-SCIS2017), 査読有, #89, (Otsu, Japan, Jun. 29, 2017).
 - (19) R. Abe, S. Miyamoto, Y. Endo, and Y. Hamasuna, Hierarchical clustering algorithms with automatic estimation of the number of clusters, Joint 17th World Congress of International Fuzzy Systems Association and 9th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems (IFSA-SCIS2017), 査読有, #13, (Otsu, Japan, Jun. 29, 2017).
 - (20) 瀧砂幸裕, クラスタリングあれこれ- k-means のもっと向こう側へ, 第 61 回システム制御情報学会研究発表講演会(SCI '17), チュートリアル講演, (京都, 2017.5.24).
 - (21) 尾崎稜, 瀧砂幸裕, 遠藤靖典: カーネル法に基づく妥当性基準を用いた 2 段階クラスタリング, 第 26 回インテリジェント・システム・シンポジウム(FAN2016), F3A4 (大阪, 2016.10.28).
 - (22) 藤澤拓也, 尾崎稜, 瀧砂幸裕: グラフクラスタリングに対する妥当性基準に関する一考察, 第 26 回インテリジェント・システム・シンポジウム(FAN2016), F1A3 (大阪, 2016.10.28).
 - (23) Y. Endo, T. Hirano, N. Kinoshita, Y. Hamasuna, On Various Types of Even-sized Clustering Based on Optimization, The 13th International Conference on Modeling

- Decisions for Artificial Intelligence (MDAI 2016), 査読有, Springer, LNAI 9880, pp. 165-177, (Sant Julia de Lòria, Andorra, Sep. 19, 2016).
- (24) Y. Hamasuna, Y. Endo, Comparison of Trace of Fuzzy Covariance Matrix with Its Kernelization in Cluster Validity Measures based x-means, The 13th International Conference on Modeling Decisions for Artificial Intelligence (MDAI 2016), 査読有, USB, pp. 49-60, (Sant Julia de Lòria, Andorra, Sep. 19, 2016).
- (25) 瀧砂幸裕, 遠藤靖典: カーネル関数を用いた逐次抽出型クラスタリングの検討, 第32回ファジィシステムシンポジウム(FSS2016), TC3-1 (佐賀, 2016.9.1).
- (26) R. Ozaki, Y. Hamasuna, Y. Endo, A Method of Two-Stage Clustering Based on Cluster Validity Measures, Joint 8th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 17th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS & ISIS2016), 査読有, pp. 410-415, (Sapporo, Hokkaido, Japan, Aug. 27, 2016).
- (27) Y. Hamasuna, Y. Endo, On Kernelized Sequential Hard Clustering, Joint 8th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 17th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS & ISIS 2016), 査読有, pp. 416-419, (Sapporo, Hokkaido, Japan, Aug. 27, 2016).

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。