

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 8 日現在

機関番号：12608  
研究種目：基盤研究(B)  
研究期間：2010～2014  
課題番号：22300049  
研究課題名(和文)異種頂点ネットワークのリンクマイニング

研究課題名(英文)Link Mining for Heterogeneous Networks

## 研究代表者

村田 剛志 (Murata, Tsuyoshi)

東京工業大学・情報理工学(系)研究科・准教授

研究者番号：90242289

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,900,000円

研究成果の概要(和文)：(1)スケールフリー性をもつネットワークからのコミュニティ抽出についての研究を行った。(2)ネットワークにおける頂点の属性間の類似度を加味したモジュラリティの拡張についての研究を行った。(3)3種類の頂点から構成される3部ネットワークからのコミュニティ抽出のためのモジュラリティの拡張についての研究を行った。(4)異種頂点ネットワークの一つであるsigned networkからのコミュニティ抽出についての研究を行った。

研究成果の概要(英文)：(1) Method for detecting communities in scale-free networks was proposed, (2) Modularity is extended so that similarities among attributes of vertices are taken into consideration, (3) Modularity for tripartite networks is proposed for detecting communities, and (4) Method for detecting communities from signed networks was proposed.

研究分野：総合領域

キーワード：異種頂点ネットワーク コミュニティ抽出 signed network modularity 3部ネットワーク

## 1. 研究開始当初の背景

YouTube や delicious などのソーシャルサイトは、ネット社会における情報共有のインフラとして今や必要不可欠のものになっている。このようなサイトにおいては、ユーザからの記事、コメント、つぶやき、質問応答等によって親睦を深めたり、多様なコンテンツ(動画、写真、ブックマーク等)の投稿とそれに対するタグや評価によってコミュニケーションを行ったりする。

ユーザや記事およびコンテンツ間の関係はしばしばネットワークとして表現される。そのネットワーク構造をもとに、似た興味を持つユーザ集合を抽出したり(コミュニティ抽出)、重要度の高い記事やコンテンツを見出したり(ランキング)する研究が盛んに行われてきている。

従来のネットワーク研究(Web 構造マイニングや社会ネットワーク分析等)における手法は、同種頂点からなるネットワークを対象としたものがほとんどである。異種頂点ネットワークは便宜的に同種頂点ネットワークに変換されてしまう場合が多く、異種頂点ネットワークが本来持っている情報を抽出するための研究は十分とは言えない。

本研究代表は、これまでに2部ネットワークからのコミュニティ抽出の研究を進めてきている。ネットワークから抽出されたコミュニティの良さを測る指標としてNewman-Girvanによるモジュラリティがしばしば用いられるが、本研究代表者はその指標を2部ネットワークに拡張する研究を行った。その研究論文は国際会議 2009 IEEE International Conference on Social Computing (SocialCom-09)に採択されている。この成果を発展させる研究が他の研究者によって始まりつつある[Suzuki-Wakita(日本), Neubauer(ドイツ)]。また、大規模な2部ネットワークからコミュニティを抽出するための手法についても研究を進めており、本研究代表者の指導する博士学生との共著論文が2009 IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence (WI-09)に採択されている。これらの研究成果をさらに発展させることは、リンクマイニングという学問分野をさらに強固で実用的なものにしていく上で必要不可欠である。

## 2. 研究の目的

本研究では、以下の2つの課題を達成することを目的とする。

(1) リンクマイニング手法の異種頂点ネットワークへの拡張

同種頂点ネットワークに対するリンクマイニング手法(コミュニティ抽出、ランキング、リンク予測等)を異種頂点ネットワークに拡張することで、現実世界におけるネットワークデータに適用可能なリンクマイニング手

法を確立する。従来のネットワーク研究においては、前処理として異種頂点ネットワークから同種頂点ネットワークへ変換することが多く、それによる情報の欠落についての考察が不十分であった。そのような変換を行わず、異種頂点ネットワークが本来持っている情報を抽出するためのマイニング手法を確立することは、異種頂点間の関係を明らかにするとともに、現実の多様なネットワークデータをマイニングする上で極めて重要である。

(2) 異種頂点ネットワークのリンクマイニングツールの構築

(1)で拡張したリンクマイニング手法を実装し、現実のネットワークデータに適用可能なツールとして広く配布する。ネットワークを対象とした従来のマイニングツール(Pajek, NetworkWorkbench 等)においては、異種頂点ネットワークをそのまま扱うことができるものは限られていた。ネットワークを扱うライブラリであるigraphと、統計処理を行うRを組み合わせ、その機能を拡張するようなツールの構築を行う。さらに、マイニング結果を解釈する上で不可欠である可視化ツールについても実装を行う。構築したツールを、現実世界における様々な異種頂点ネットワークに適用することで新たな知見を得る。

## 3. 研究の方法

(1) 異種頂点ネットワークのリンクマイニング手法の実装

異種頂点ネットワークへ拡張したリンクマイニング手法を実装する。対象をソーシャルネットワークに限定せず、幅広い分野のネットワークに適用可能な汎用性のある実装となるよう留意する。また、大規模なネットワークに対しても高速に処理することを念頭にデータ構造を決定する。ユーザ記事の関係を表す2部ネットワークや、ユーザコンテンツタグの関係を表す3部ネットワークについて実装を進めた後に、可能であれば一般のn部ネットワークについての実装も行う。

(2) 現実の異種頂点ネットワークデータを用いた実験

上記のリンクマイニング手法を実際のdeliciousなどのサイトの異種頂点ネットワークに適用し、結果の妥当性や手法の精度・効率について考察する。一般にデータマイニング手法は、ノイズやデータ欠損に対して頑強であることが望ましいため、そのような観点からも考察し改良を行う。

(3) 異種頂点ネットワークのリンクマイニング結果の可視化

ネットワークの可視化ツールは、例えばSocialAction(社会ネットワーク分析)や

Cytoscape(バイオインフォマティクス)など、対象とする研究分野ごとに数多く構築されている。その多くは同種頂点ネットワークを対象としており、異種頂点ネットワークのマイニング結果の可視化ツールは十分とは言えない。本研究代表者は2部ネットワークからのコミュニティ抽出および可視化の研究を行っており、その成果は人工知能学会論文誌に採択されている。これをさらに発展させ、3部ネットワークやn部ネットワークにおけるリンクマイニング結果の可視化ツールを構築する。

#### 4. 研究成果

主な研究成果は以下の通りである。

(1)異種頂点ネットワークの一つとして、スケールフリー性をもつ network からのコミュニティ抽出についての論文が Hypertext 国際会議に採択された。従来方法では精度の高いコミュニティ抽出が得られなかったのに対し、本手法では中心性の高い頂点から順にコミュニティに割り当てていくことによって、スケールフリーネットワークにおいて精度の高い結果を得ることに成功している。

(2)ネットワークにおける頂点の属性間の類似度を加味したモジュラリティの拡張についての研究を行い、WWW 国際会議においてポスター発表を行った。一般のネットワークにおいては、距離的に近くにあるノード同士が近い性質をもつことが多く、通常のコミュニティ抽出手法を用いると距離的に近いノード集合がコミュニティとして抽出されることが多い。この研究では、そのような類似度による影響を除去することが可能であり、それによって距離的に遠くにあるようなコミュニティを抽出することができる。この研究はその後米国の研究者によって引用され、テロリストのコミュニティを見出す試みが国際会議 KDD2013 において発表された。

(3)3種類の頂点から構成される3部ネットワークからのコミュニティ抽出のためのモジュラリティの拡張についての研究を行い、人工知能学会論文誌に採択された。はてなブックマークなどのソーシャルタギングシステムは、「ユーザ」「リソース」「タグ」の3種類の頂点を結ぶ3部ネットワークとみなすことができる。本研究ではそのような3部ネットワークからコミュニティを抽出する手法を考案した。

(4)異種頂点ネットワークの一つである signed network からのコミュニティ抽出についての論文が人工知能学会誌に掲載された。ネットワークの辺に正負の符号がついているような signed network におけるモジュラリティを拡張し、パラメータによって正の辺

(負の辺)を重視する度合いを変えるようにした。また、そのような拡張したモジュラリティの値を最適化するための高速な手法も実装した。それによって、比較的大規模の signed network からのコミュニティ抽出に成功しただけでなく、パラメータを変化させることによって派閥内派閥のような構造を見出すことにも成功した。

#### 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 12 件)

1. Sorn Jarukasemratana, Tsuyoshi Murata, Xin Liu, "Community Detection Algorithm based on Centrality and Node Closeness in Scale-Free Networks", 人工知能学会論文誌, Vol.29, No.2, pp.234-244, 2014. (査読有)  
<http://doi.org/10.1527/tjsai.29.234>

2. 池松 恭平, 村田 剛志, "3部モジュラリティの改善とその最適化手法", 人工知能学会論文誌, Vol.29, No.2, pp.244-258, 2014. (査読有)  
<http://doi.org/10.1527/tjsai.29.245>

3. Sorn Jarukasemratana, Tsuyoshi Murata, "Web Caching Replacement Algorithm based on Web Usage Data", New Generation Computing, Vol.31, No.4, pp.311-329, 2013. (査読有)  
<http://doi.org/10.1007/s00354-013-0404-z>

4. Sorn Jarukasemratana, Tsuyoshi Murata, "Recent Large Graph Visualization Tools: A Review", コンピュータソフトウェア, Vol.30, No.2 pp.159-175, 2013. (査読有)  
[http://doi.org/10.11309/jssst.30.2\\_159](http://doi.org/10.11309/jssst.30.2_159)

5. 杉原 貴彦, 劉 欣, 村田 剛志, "Signed ネットワークからのコミュニティ抽出", 人工知能学会論文誌, Vol.28, No.1, pp.67-76, 2013. (査読有)  
<http://doi.org/10.1527/tjsai.28.67>

6. Xin Liu, Tsuyoshi Murata, "Detecting Communities in K-Partite K-Uniform (Hyper)Networks" Journal of Computer Science and Technology, Vol.26, No.5, pp.778-791, Springer, 2011. (査読有)  
<http://doi.org/10.1007/s11390-011-0177-0>

7. 元田 剛史, 村田 剛志, "頂点間の類似度の足し合わせに依るリンク予測精度の改善", 人工知能学会論文誌, Vol.26, No.3, pp.427-439, 2011. (査読有)  
<http://doi.org/10.1527/tjsai.26.427>

8. Swit Phuvipadawat, Tsuyoshi Murata, "Detecting a Multi-Level Content Similarity from Microblogs based on Community Structures and Named Entities", Journal of Emerging Technologies in Web Intelligence (JETWI), Vol.3, No.1, pp.11-19, 2011. (査読有)  
<http://doi.org/10.4304/jetwi.3.1.11-19>

9. Tsuyoshi Murata, "A New Tripartite Modularity for Detecting Communities", コンピュータソフトウェア, Vol.28, No.1, pp.154-161, 2011. (査読有)  
[http://doi.org/10.11309/jssst.28.1\\_154](http://doi.org/10.11309/jssst.28.1_154)

10. 池谷 智行, 村田 剛志, "2部ネットワークにおけるコミュニティ検出とその評価手法", コンピュータソフトウェア, Vol.28, No.1, pp.91-102, 2011. (査読有)  
[http://doi.org/10.11309/jssst.28.1\\_91](http://doi.org/10.11309/jssst.28.1_91)

11. Xin Liu, Tsuyoshi Murata, "An Efficient Algorithm for Optimizing Bipartite Modularity in Bipartite Networks", Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics (JACIII), Vol.14, No.4, pp.408-415, 2010. (査読有)  
<https://www.fujipress.jp/finder/xslt.php?mode=present&inputfile=JACII00140004010.xml>

12. Liu Xin, Tsuyoshi Murata, "Advanced modularity-specialized label propagation algorithm for detecting communities in networks", Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, Volume 389, Issue 7, Elsevier, pp.1493-1500, 2010. (査読有)  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2009.12.019>

〔学会発表〕(計 26 件)

1. Sorn Jarukasemratana Tsuyoshi Murata, "Edge Weight Method for Community Detection in Scale-Free Networks", Proceedings of the 4th International Conference on Web Intelligence, Mining and Semantics, pp.1-9, Thessaloniki (Greece), 2014.6.4

2. Yu Sakamoto, Tsuyoshi Murata, "Visualizing the Structure of Great Speeches", Poster Proceedings of IEEE Pacific Visualization Symposium, pp.21-22, 慶應大学日吉キャンパス(神奈川県・横浜市), 2014.3.7

3. Kyohei Ikematsu, Tsuyoshi Murata, "A

Fast Method for Detecting Communities from Tripartite Networks", Proceedings of the 5th International Conference on Social Informatics (SocInfo 2013), LNCS 8238, pp.192-205, Springer, 京都大学百周年時計台記念館(京都府・京都市), 2013.11.26

4. Amjad Twalo, Tsuyoshi Murata, "Internet Traffic Classification using multi-classifier systems", 2013 年度人工知能学会全国大会(第27回)論文集, 3C4-10S-4a-4, 3 pages, 富山国際会議場(富山県・富山市), 2013.6.6

5. Weichu Liu, Tsuyoshi Murata, Xin Liu, "Community Detection on Heterogeneous Networks", 2013 年度人工知能学会全国大会(第27回)論文集, 3C4-10S-4a-5, 3 pages, 富山国際会議場(富山県・富山市), 2013.6.6

6. Xin Liu, Tsuyoshi Murata, Ken Wakita, "Extending modularity by capturing the similarity attraction feature in the null model", International School and Conference on Network Science (NetSci 2013), poster, Copenhagen (Denmark), 2013.6.6

7. Xin Liu, Tsuyoshi Murata, Ken Wakita, "Extracting the multilevel communities based on network structural and nonstructural information", Proceedings of the 22nd international conference on World Wide Web (WWW 2013 (poster)), pp.191-192, Rio De Janeiro (Brazil), 2013.5.15

8. Sorn Jarukasemratana, Tsuyoshi Murata, Xin Liu, "Community detection algorithm based on centrality and node distance in scale-free networks", Proceedings of the 24th ACM Conference on Hypertext and Social Media (Hypertext 2013), pp.258-262, Paris (France), 2013.5.3

9. Xin Liu, Tsuyoshi Murata, Ken Wakita, "Exploring the multilevel community structure in D4D dataset", Special session on the Data for Development (D4D) challenge, poster, Boston (米国), 2013.5.1

10. 杉原 貴彦, 劉 欣, 村田 剛志, "Signed ネットワークからのコミュニティ抽出", 人工知能学会研究会資料, SIG-KBS-B202-02, pp.7-12, 慶應大学日吉キャンパス(神奈川県・横浜市), 2012.11.15

11. 池松 恭平, 村田 剛志, "3部モジュラリティの改善とその最適化手法", ネットワー

クが創発する知能研究会 (JWEIN2012), 8 pages, 立正大学品川キャンパス(東京都・品川区), 2012.8.31

12. Sorn Jarukasemratana, Tsuyoshi Murata, "Visualizing Web Structure based on Browsing Sessions", Proceedings of the 10th Asia Pacific Conference on Computer Human Interaction (APCHI2012), 2 pages, 島根県立産業交流会館(島根県・松江市), 2012.8.29

13. Tsuyoshi Murata, "Generic Modularity for Heterogeneous Networks", 9th Workshop on Algorithms and Models for the Web Graph (WAW2012), poster, 2 pages, Halifax (Canada), 2012.6.22

14. Sorn Jarukasemratana, Tsuyoshi Murata, "Improved Web Cache Replacement Policy using Web Usage Data", 2012 年度人工知能学会全国大会(第 26 回)論文集, 3M2-10S-3B-8, 6 pages, 山口県教育会館(山口県・山口市), 2012.6.14

15. Ken Wakita, Hiroshi Hosobe, Masanori Takami, Tsuyoshi Murata, "Taming Interactive Visualization of A Large-Scale Real-Life Social Graph of a Million Nodes", Workshop on Social Media Visualization (SocMedVis), poster, Dublin (Ireland), 2012.6.4

16. Supaporn Spanurattana, Tsuyoshi Murata "Visual Analysis of Bipartite Networks", in Proceedings of Large Scale Visual Analytics Workshop (in conjunction with 11th IEEE International Conference on Data Mining), pp.833-838, Vancouver (Canada), 2011.12.11

17. 杉原 貴彦, 村田 剛志, "Signed ネットワークにおけるモジュラリティ", 日本ソフトウェア科学会 第7回ネットワークが創発する知能研究会研究報告要旨集, pp.33-38, 信州大学松本キャンパス(長野県・松本市), 2011.9.5

18. Tsuyoshi Murata, "Detecting Communities from Social Tagging Networks Based on Tripartite Modularity", Workshop on Link Analysis in Heterogeneous Information Networks, 4 pages, Barcelona (Spain), 2011.7.16

19. 杉原 貴彦, 村田 剛志 "Affinity Propagation によるコミュニティ抽出", 2011 年度人工知能学会全国大会(第 25 回)論文集, 3F1-3 (4 pages), いわて県民情報交流センター(岩手県・盛岡市), 2011.6.3

20. 藤井 通太, 村田 剛志 "多種ノードネットワークのランキング", 2011 年度人工知能学会全国大会(第 25 回)論文集, 1E2-1, 4 pages, いわて県民情報交流センター(岩手県・盛岡市), 2011.6.1

21. Xin Liu, Tsuyoshi Murata, "Extracting the mesoscopic structure from heterogeneous systems", in Proceedings of the 22nd ACM Conference on Hypertext and Hypermedia (HT'11), pp.211-220, Eindhoven (Netherlands), 2011.6.7

22. 元田 剛史, 村田 剛志, "頂点間の類似度の足し合わせによるリンク予測精度の改善", 情報処理学会第 73 回全国大会, 6M-5, pp.657-658, 東京工業大学大岡山キャンパス(東京都・目黒区), 2011.3.4

23. Swit Phuvipadawat, Tsuyoshi Murata, "Breaking News Detection and Tracking in Twitter", Proceedings of the 2010 International Workshop on Intelligent Web Interaction (IWI-10), pp.120-123, Toronto (Canada), 2010.8.31

24. Xin Liu, Tsuyoshi Murata, "Evaluating community structure in bipartite networks", in Proceedings of the Symposium on Social Computing Application (SCA-10), pp.576-581, Minneapolis (米国), 2010.8.20

25. Tsuyoshi Murata, "Modularity for Heterogeneous Networks", in proceedings of the 21st ACM Conference on Hypertext and Hypermedia (HT ' 10), pp.129-134, Toronto (Canada), 2010.6.15

26. Tsuyoshi Murata, "Detecting Communities from Tripartite Networks", in poster proceedings of the 19th International World Wide Web Conference (WWW2010), pp.1159-1160, Raleigh (米国), 2010.4.28

{ 図書 }(計 2 件)

1. Tsuyoshi Murata, "Detecting Communities in Social Networks", Borko Furht eds., Handbook of Social Networks --- Technologies and Applications, Chapter12, 716(269-280), Springer, 2010.

2. Tsuyoshi Murata, "Modularity for Bipartite Networks", in Nasrullah Memon eds., Data Mining for Social Network Data, Annals of Information Systems, Vol.12, 216(109-123), Springer, 2010.

〔産業財産権〕

出願状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

村田剛志 (Murata, Tsuyoshi)  
東京工業大学・大学院情報理工学研究科・  
准教授  
研究者番号：90242289

##### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

##### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：