

有向グラフ可視化のためのバンドリングとノード配置

十枝 菜穂子[†] 中澤 里奈^{††} 伊藤 貴之^{†††} 齋藤 隆文^{†††}

お茶の水女子大学理学部情報科学科 〒112-0012 東京都文京区大塚 2-1-1[†]

お茶の水女子大学大学院人間文化創成科学研究科 〒112-0012 東京都文京区大塚 2-1-1^{††}

東京農工大学大学院生物システム応用科学研究所 〒183-0057 東京都府中市晴見町 3-8-1^{†††}

1. 概要

SNS 上の人間関係や遺伝子のネットワーク、論文の参照関係など、さまざまなデータが有向グラフの形で表現される。これらのデータは情報量が膨大になることも多いため、全体の構造を短時間で理解するための可視化手法が有用である。本報告では非階層型の有向グラフを可視化する一手法を提案する。具体的には、エッジのバンドリング（束化）に加えて、なす角が小さい束の合流、ノードクラスタ間で双方向に接続されたエッジ群のバンドリングを提案するものである。また、それらを効果的にするノード配置手法も提案する。

2. 関連研究

グラフ可視化におけるエッジのバンドリング（束化）とは、近隣するノードを接続する複数のエッジが束として可視化されるように変形または統合する処理を指す。Holten は、同一クラスタペアに属する 2 ノードを連結するエッジ群をバンドリングすることでクラスタ間の関係性を強調する手法[1]を提案している。また、従来のバンドリング手法の多くがエッジをその中央付近で合流させているのに対して、エッジの両端（特定のノードの近く）でバンドリングすることで曖昧性を排除しながらもエッジの交差を減らす手法[2]も提案されている。しかし、[1]は無向グラフを対象としており、[2]はノードがクラスタリングされていない。本報告では、ノードがクラスタリングされた有向グラフのクラスタ間の関係を表現するためのバンドリング手法を提案する。なお、本研究では無向グラフ可視化手法 Koala[3]を拡張する形で提案手法を実装する。

3. 提案手法

本章では本手法の提案手法について、データ構造および処理手順について説明する。

3.1 データ構造

提案手法では入力データとして有向グラフを想定する。また本研究ではノードの接続性だけでなく任意の数値属性を加味してグラフ配置を実現できるようにするために、各ノードに対して多次元ベクタとなる特徴量を付与できるものとする。

3.2 ノードのクラスタリング

提案手法では任意の 2 ノード間の距離を算出し、その

Bundling and node layout for densely bi-directed clustered graphs

[†]Toeda Naoko, Ochanomizu University

^{††}Nakazawa Rina and Itoh Takayuki, Ochanomizu University

^{†††}Saito Takahumi, Tokyo University of Agriculture and Technology

距離に基づいてノードをクラスタリングする。以下の手順で階層型のクラスタ群と非階層型のクラスタ群を同時に求める。

1. 任意の 2 ノード間の距離を、特徴量ベクタに基づくノード間距離と隣接ノードの共通性に基づくノード間距離の一次結合[3]により算出。
2. 最長距離法に基づく階層型クラスタリングにより、閾値 α までノードをクラスタリングする。これを今後クラスタ群 A とする。
3. クラスタ群 A の情報を保持したまま閾値 β ($\alpha < \beta$) までノードのクラスタリングを続ける。これによりクラスタ群 A のクラスタを内部に持つ二階層のクラスタ群ができる。これをクラスタ群 B とする。

3.3 ノード配置

提案手法では、クラスタごとにノードを配置するため、以下のアルゴリズムにより各ノードの配置場所を決定する。現在の我々の実装では、階層をもたないクラスタ群 A に対して以下のアルゴリズム[3]によってノードの位置を算出する。

1. クラスタをノードに置き換えたグラフを生成し、これに対しグラフ配置アルゴリズムを適用する。
グラフ生成の際にエッジ束を構成する本数でエッジ束に重みをつけることで、双方向にエッジを有するクラスタペアが近くに配置されることが期待される。
2. 各クラスタのノード数からクラスタ半径を計算し、エッジ長が両端のクラスタの半径の合計値にできるだけ近づくようにスムージング処理を適用する。
3. クラスタ内にそのクラスタを構成するノードを配置する。

階層型のクラスタ群 B の場合は、まずクラスタを内部に持つ大きいクラスタをノードに置き換えたグラフ配置アルゴリズムを適用する。その後各クラスタの内部のクラスタをノードとしたグラフを生成し上記のアルゴリズムを適用することでノードの位置を算出する。

3.4 エッジ描画

提案手法では図 1 の 3 つの条件を満たすエッジ描画を目標とする。このうち条件 A は従来のバンドリング手法と同じ目標であり、条件 B は有向グラフ描画のために条件 A を拡張したと考えられる。条件 C を満たすために提案手法ではまず合流するエッジ束を選択する。続いて、各エッジの条件に合わせて曲線を描画する。以下、合流するエッジ束の選択手法、曲線を描画手法のそれぞれについて述べる。

3.4.1 合流するエッジ束の選択手法

提案手法では以下のアルゴリズムによって合流するエッジ束を選択する。

1. 1 つのクラスタを取り出す。

2. 時計回りに1つずつエッジ束を参照する.
3. 左隣のエッジ束が同じ向きの場合, 合流するかどうかの評価値を算出し, ユーザの入力した閾値以上ならば合流すると判定する.
4. 全ての束およびクラスタに対して同じ処理を適用する.

ここで評価値の算出は以下の2つの評価方法から算出する.

i. エッジ束の角度

2本のエッジ束がなす角度が閾値よりも大きい場合は, これらが合流されないように評価値を0とする.

ii. 合流できる部分の長さ

2本のエッジ束の角度の二等分線に両クラスタから垂線を伸ばし, その交点と基準となるクラスタとの距離のうち短い方の長さを評価値とする.

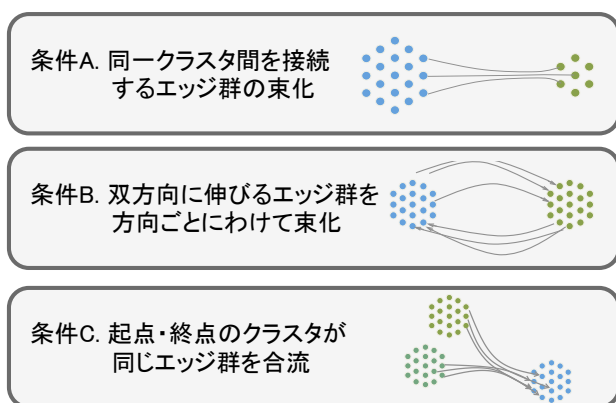


図1. エッジ描画の条件

3.4.2 エッジの曲線描画手法

本手法では全てのエッジを以下の3パターンに分類し, それぞれの曲線をBezier曲線によって描画する.

i. 他の束と合流するエッジ

2本のエッジの垂直二等分線上にBezier曲線の制御点を設定する.

ii. 他の束と合流はしないが双方向に伸びているエッジ

2つのクラスタ間の垂直二等分線上にBezier曲線の制御点を設定する.

iii. i, iiのどちらでもないエッジ

2ノードを接続する線分と2つのクラスタの中心点を接続する線分から制御点を求める.

4. 適用事例

本章では適用事例として, 1990年から94年, 2000年から2010年までにACM SIGGRAPHで発表された論文に対して, 論文をノード, 参照関係をエッジとしたグラフを可視化した事例[4]を示す. このグラフにおいてノード(論文)は1072個, エッジ(参照関係)は5498本である. また各ノードに付与される特徴量として, 10の研究分野についてそれぞれの程度当てはまるかを各論文の内容によって分類した10次元の特徴量を用いる.

図2がクラスタ群A(非階層型)を用いた可視化結果の一例である. (A)のクラスタに接続されているエッジがバンドリングされたい束になっており, このクラスタの論文が多数の論文から参照されていることを読み取ることができる.

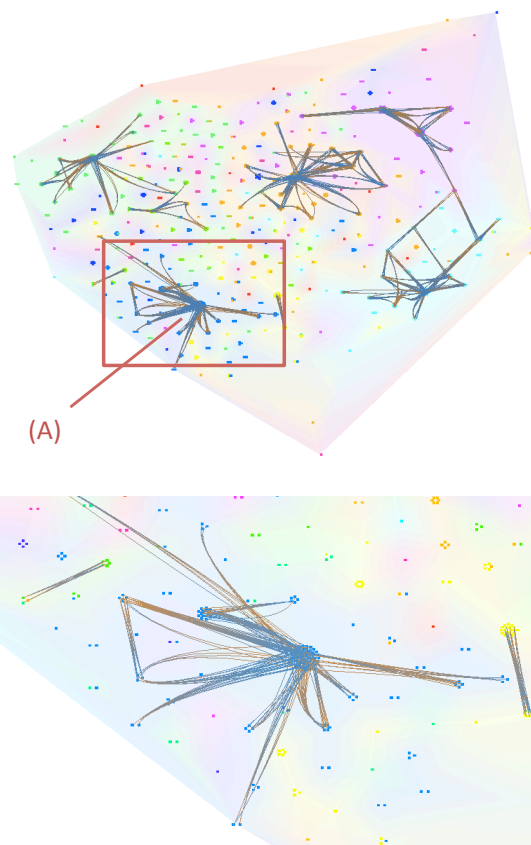


図2. (上)提案手法による可視化例
(下) (A)付近の拡大図

5. まとめと今後の課題

本報告では有向グラフ可視化の一手法として, エッジ束の合流処理などを含むバンドリング手法を提案した. エッジ束の合流という概念の適用により, クラスタ間の関係性の概観がさらに容易になったと考えられる.

今後の課題として, 起点と終点の両方で合流するエッジ束の曲線のなめらかな描画方法, 合流させるエッジ束の選択手法, 重要なエッジ束を合流させることに適したクラスタの配置方法などを再検討したい.

参考文献

[1] Danny Holten, “Hierarchical Edge Bundles: Visualization of Adjacency Relations in Hierarchical Data”, IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics, Vol. 12, No. 5, pp. 741-748, 2006
 [2] Sheng-Jie Luo, Chun-Liang Liu, Bing-Yu Chen, Member, IEEE, and Kwan-Liu Ma, Senior Member, IEEE, “Ambiguity-Free Edge-Bundling for Interactive Graph Visualization”, IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics, Vol. 18, No. 5, pp. 810-821, 2011
 [3] T. Itoh, K. Klein, Key-node-Separated Graph Clustering and Layout for Human Relationship Graph Visualization, IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 35, No. 6, pp. 30-40, 2015.
 [4] R. Nakazawa, T. Itoh, T. Saito, A Visualization of Research Papers Based on the Topics and Citation Network, 18th International Conference on Information Visualisation (IV2015), pp. 283-289, 2015.