

ボロノイ図を用いたラベル重複を軽減するグラフィアウト手法

石田 理恵[†] 吳 湘筠[‡] 高橋 成雄[‡]
 東京大学大学院新領域創成科学研究科[†]
 東京大学大学院情報理工学系研究科[‡]

1 はじめに

論文の共著関係や商品の購買行動、友人関係などの抽象データを可視化する場合、個々の対象をテキスト等の注釈ラベル付きノード、それらの複雑な相互関係をリンクとし、全体をグラフとして図式的に表現することがしばしばである。だが、ノードに比してリンクが多い密なグラフになるほど、ノードに関連づけられるテキスト等の注釈ラベルはスクリーン上で重複しやすく、その適切な視認性の確保が難しい。

そこで本研究では、グラフィアウト手法として広く用いられているバネモデル[1]に、空間分割を行うためのボロノイ図を組み合わせ、ラベルを貼るための空間をより明確に確保する手法を提案する。本手法では、バネモデルによるリンクの交差が少ないレイアウトを保持しながら、ノードに割り当てられる注釈ラベルの重複を効果的に回避することができる。また、一般的に長方形の形をしている注釈ラベルを効率よくスクリーン上に配置するため、縦横の比率の異なる距離を導入したボロノイ図による空間分割を用い、ラベルを貼るためのノード周辺の空間をより効率的に確保する手法を模索する。

2 関連研究

Eades が提案したバネモデル[1]は、ノードとリンクをそれぞれ電荷を持つ粒子とバネと考える。そして、バネの引力とクーロン力による反発力との合力を計算し、それらのエネルギーの和を最小化することで、ノードの重複やリンクの交差を軽減するグラフィアウトを求める。

対して、空間分割手法として用いられているボロノイ図は、空間内に存在する任意個数の母点について、各母点が所有する領域を提示する。グラフィアウトにボロノイ図を導入した研究は、描画時のスクリーン上の混雑を解決するために、ボロノイ図を用いた帰納的な空間分解に基づくノードのクラスタリングを行ったもの[2]や、グラフの視認性を高めるために、ボロノイ

図を用いてノードの重なりを回避しながらその分布を改良したもの[3,4]がある。本提案手法は、バネモデルによるグラフィアウトに対し、ラベル形状を考慮にいれた距離に基づくボロノイ図を導入することで、ノードの重複を軽減する。

3 提案手法

本提案手法は、バネモデルと重心ボロノイ分割がそれぞれノードに作用する力を統合し、ノード配置を調整する。さらに、ラベル形状を考慮した距離に基づくボロノイ図を用いて、ラベルを貼るための空間を効率的に確保する。

3.1 バネモデル

バネモデルでは、ノードとリンクをそれぞれ電荷を持つ粒子とバネとして、各ノードに作用する力を計算する。

まず、ノード間がリンクによって接続されている場合、フックの法則にしたがう引力

$$F = k(l - l_0) \quad (1)$$

を考える。 k はバネ定数、 l_0 はバネの自然長、 l はノード間のユークリッド距離を表す。

また、全てのノード間には、クーロン定数 C を用いて、クーロンの法則にしたがう反発力

$$F = -\frac{C}{l^2} \quad (2)$$

が互いにはたらくと考える。

以上の 2 つの力から各ノードにはたらく合力を計算し、それが十分に小さくなるまで、力のはたらく方向に各ノードを移動させる。これにより、リンクにより接続するノード間に一定の距離を保ちつつ、エッジの交差やノードの重複を軽減したレイアウトを作成することができる。

3.2 重心ボロノイ分割

重心ボロノイ分割は、描画領域に母点を均等に分布させるために

- 1) 各ボロノイ領域の重心の計算
- 2) 各ボロノイ領域の重心への母点の移動を反復的に行う。具体的な手順は以下である。

まず、2次元の描画空間に存在する n 個のノード v_0, v_1, \dots, v_{n-1} に対して、それらを母点としたボロノイ図を作成し、各ノードの位置を

Node overlap removal based on Voronoi Tessellation

[†]Rie Ishida, [‡]Hsiang-Yun Wu, [‡]Shigeo Takahashi

[†]Grad. School of Frontier Science, The Univ. of Tokyo

[‡]Grad. School of Information Science and Technology, The Univ. of Tokyo

(x_i, y_i) ($i = 1, \dots, n$)と表す.

次に, 作成したボロノイ図において, ノード v_i のボロノイ領域を $Vor(v_i)$ と表し, $Vor(v_i)$ の重心 $G(v_i)$ を計算する. そして, 各ノードを現在の位置 (x_i, y_i) から $G(v_i)$ へ移動させる. その後, 更新した (x_i, y_i) を元に, ボロノイ図の作成とボロノイ領域の重心 $G(v_i)$ の計算を再度行う. これを, 各ノードが重心位置に十分収束するまで繰り返す.

3.3 バネモデルと重心ボロノイ分割の統合

バネモデルでは, ノードの重複の軽減が可能である一方, ノードに関連づけるラベルを貼るための空間は考慮されていない. そのため, ノードが密に存在する空間では, ラベルを貼るために利用できるノード周辺の領域は狭小となり, ラベルの重複が引き起こされてしまう.

本手法では, バネモデルによりノードにはたらく力と重心ボロノイ分割により生じる力を, 重みを付けて足し込むことで, ノードに作用する力を調整する. この2つの力を適切に混合することで, 描画領域におけるノードの分布を改良し, ラベルを貼るためのノード周辺の空間を確保する. 本手法では, 上記2手法の混合比率は, ユーザによって直接調整されることとする.

3.4 マンハッタン距離の導入

本手法では, ノード周辺に長方形ラベルのスペースを確保するため, ボロノイ図の作成時に縦横の比率が異なるマンハッタン距離を導入した. マンハッタン距離は, 直交する座標軸に沿って測定した距離と定義され, 2次元空間における地点A (x_1, y_1) と地点B (x_2, y_2) との距離は,

$$d(A, B) = |x_1 - x_2| + a|y_1 - y_2|$$

と表される. ここで, a は x 軸方向と y 軸方向の距離の寄与を制御するアスペクト比であり, 横長のラベルに対応して1より大きな値をユーザが指定できるようにする(図1).

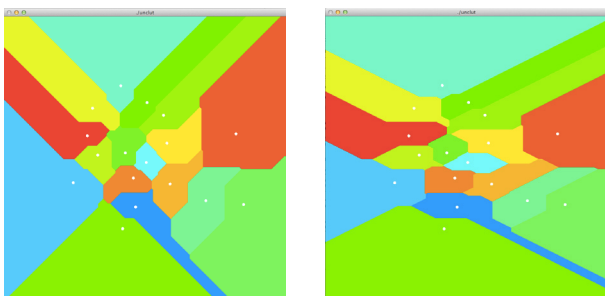


図1: マンハッタン距離に基づくボロノイ図. アスペクト比1(左), アスペクト比2(右).

4 結果

ノード数 17, エッジ数 43 のグラフに対して,

バネモデルと提案手法それぞれによるレイアウトとの比較を行った(図2). 両手法とも, ボロノイ図作成時のマンハッタン距離のアスペクト比は5とした. バネモデルでは, 一辺の長さが4.0の正方形のスクリーンに対して, バネの自然長 l_0 を1.0, その他定数は $k = 1.0, C = 0.01$ とした. また, 提案手法におけるバネモデルと重心ボロノイ分割の混合比は0.2:0.8とした.

バネモデルによるレイアウトでは, ラベルの重複が見られるが, 提案手法では, ラベルの配置が描画領域全体に広がっていることが分かる.

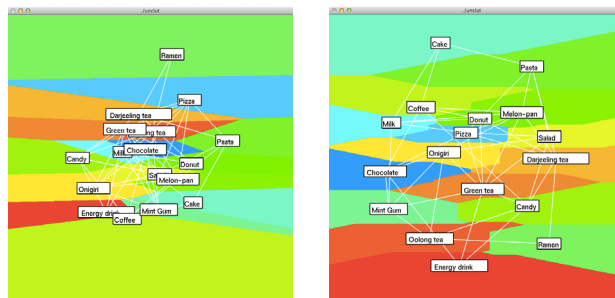


図2: 商品購買データのラベル付きグラフのレイアウト. バネモデル(左), 提案手法(右).

5 まとめと今後の展望

本発表では, バネモデルとボロノイ図を統合し, 各ノードに作用する力を調節することで, ラベルの重複を軽減する手法を示した. さらに, ボロノイ図作成時にラベル形状を考慮した距離を導入し, 効率的にノード周辺の空間を確保した. 今後は, バネモデルによる元々のノード配置をより尊重しつつ, 各ノードのラベル形状に着目し, ノードごとまたは関連するクラスごとに距離の定義を適応的に制御することで, ノード周辺の空間確保の更なる効率化を検討する.

謝辞 本研究の一部は, 日本学術振興会科研費24300033, 26730061の助成により実施された.

参考文献

- [1] P. Eades. A Heuristic for Graph Drawing. *Congressus Numerantium*, 42, pp. 149–160, 1984.
- [2] K. J. Pulo. Recursive Space Decompositions in Force-Directed Graph Drawing Algorithms. In *Proc. of the Australian Symposium on Information Visualisation*, pp. 95–102, 2001.
- [3] K. A. Lyons, H. Meijer, and D. Rappaport. Algorithms for Cluster Busting in Anchored Graph Drawing. *Journal of Graph Algorithms and Applications* 2(1), pp. 1–24, 1998.
- [4] E. R. Gansner and S. C. North. Improved Force-directed Layouts. *Graph Drawing, Springer LNCS*, Vol. 1547, pp. 364–373, 1998.