

階層的因果関係の視覚解析システムの開発

我妻 静香 藤代 一成[†] 堀井 秀之[‡]
 お茶の水女子大学 大学院人間文化研究科
[†]東北大学 流体科学研究所
[‡]東京大学 大学院工学系研究科

1 背景と目的

情報可視化研究の主要対象のひとつとして、ネットワークの可視化がある。接続関係をもつ事象はあらゆる分野に存在するため、これまでに数多くの研究がなされてきた。ネットワーク可視化技法の多くは、ノードとリンクを用いて接続関係を表現する。リンクは、順序や移動などノード間の非対称な関連を示す有向リンクである場合も多い。ノード配置に関しては、ノードどうしの相関性を考慮することで、傾向などの特徴の発見が容易になる。しかし、相関性のあるノードを近接して配置すると、局所的にノードが集中し、効率的な情報探索が難しくなる可能性がある。そこで、ノードを一様に配置し、分類・整理して段階的にまとめた階層構造を呈示して相関性を明示することが、解析に有効であると考えられる。ここでは、有向リンクで表される関係を広義に因果関係とし、このような構造を階層的因果関係(hierarchical causality)とよぶことにする。

これまで階層的因果関係の可視化技法は、Fekete らの技法[7]を除いてほとんど知られていない。Fekete らは、階層構造を可視化する TreeMaps[8]上に、因果関係を 2 次元のベジエ曲線で表示した。しかしこの技法では、階層構造が曲線に隠され、全体像の把握が困難である。階層的因果関係には、階層構造と因果関係を表現する 2 種類の異なるリンク構造が存在するため、全体像の効果的な可視化は困難になる。そこで本研究では、2 次元表示と 3 次元表示の 2 つの技法を用いて対象を可視化する手法を提案し、提案手法を用いた可視化システムを開発してきた[2-5]。表示技法は相補的であり、ユーザは探索要求に応じた表示技法に切り替えることができる。

ところで、近年の情報可視化システムは、*Visual Information Seeking Mantra*[10]を指針として設計されてきた。これにより、正確かつ詳細に対象を理解する情報探索を可能にした。しかし、この Mantra を満たすだけでは、学習や意思決定といった高次の解析を十分に支援しない[1]。Amar らは、このような現行のシステムが抱える課題を解析的ギャップ(analytic gap)とし、次の 2 つに大別している。1 つは、理論的解釈ギャップ(rationale gap)である。可視化結果から知覚される関連と、その関連の正確さや有用性に対する確信について説明することとの間にはギャップが存在する。もう 1 つは、世界観ギャップ(worldview gap)である。可視化結果と意思決定に直接的に有用な表示結果との間にはギャップが存在する。そこで本稿では、階層的因果関係を効果的に可視化し、情報探索だけでなく、この解析的ギャップをうめる機能を有する視覚解析システムの開発を目指す。

Development of a Visual Exploration System for Hierarchical Causality Datasets

Shizuka Azuma, Issei Fujishiro[†], Hideyuki Horii[‡]
 Graduate School of Humanities and Sciences, Ochanomizu University

[†]Institute of Fluid Science, Tohoku University

[‡]Graduate School of Engineering, The University of Tokyo

2 システムの概要

2.1 可視化対象

階層的因果関係を可視化する。階層構造は、ノードを分類・整理して段階的にまとめて得られた構造であり、ノードが因果関係をもつ階層を最下位階層とし、上位階層ほどノードが抽象的になる。

2.2 可視化手法

ノードとリンクを用いて可視化する。属性は、色相や彩度の変化、形状を用いて表す。因果関係と階層構造は、互いに識別可能なリンクで表現し、因果関係では、リンクの彩度差を用いて向きを示す。2 種類のリンク構造を効果的に可視化するために、2 次元(2D)表示と 3 次元(3D)表示の 2 つの表示技法を用いる。これらは相補的な可視化表現であるという特長をもつ。2D 表示は、DiskTrees[6]を応用して、階層構造を同心円状に 2 次元で表示する。上位階層ほど中心から外側に表示することで、因果関係と階層構造の表示領域を分離してクラッタリングを軽減する。一方 3D 表示では、ConeTrees[9]を応用して、3D の木構造を逆さまにし、因果関係が定義される最下位階層が一番上になるように表示する。因果関係を示す水平方向のリンクに対し、垂直方向に階層構造を 3D 的に示すことで、クラッタリングを軽減する。技法の切り替えの際には、ユーザの認知地図[11]を壊さないよう、表示結果が滑らかに変更される。

さらに、因果関係を上位階層に集約して可視化する技法を提供する。最上位階層での因果関係は、相補的可視化の 2D 表示とは反対に、最上位階層を中央に配置する 2D 表示を用いて可視化する。中間階層での因果関係は、3 次元表示からのモーフィング過程において確認できる。

図 1 は表示技法とその変更過程の例である。(a)2D 表示、(b)2D 表示から 3D 表示へのモーフィング過程、(c)3D 表示、(d)因果関係集約 2D 表示へのモーフィング過程、(e)因果関係集約 2D 表示、をそれぞれ示す。

2.3 情報探索機能

本システムの情報探索機能を *Visual Information Seeking Mantra* にそって分類し、その概要を示す。

Overview: 対象データの構造を大局的に把握するために、視点を遠ざけて全体を表示する。

Zoom: 特定のノードやリンクに注目するために、視点を近接させる。

Filtering: 対象データの特徴を探索するために、特定の情報を抽出する。属性値の低いノードやリンクを、単純化または非表示にする。また、特定の階層だけに注目する階層のフィルタを可能にする。

Details-on-Demand: 視覚的探索により得られた直感的理解を補助するために、ユーザの要求に応じ、各ノードやリンクを識別するラベルや、その詳細な内容を説明するテキストを表示する。

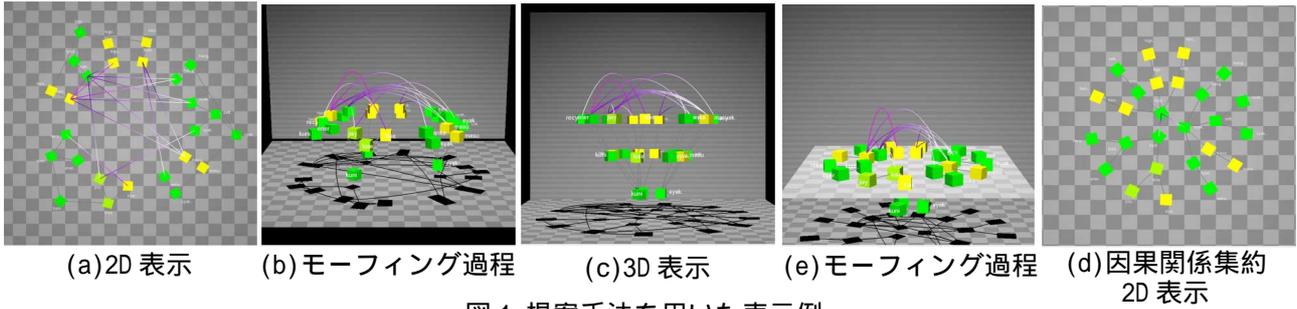


図 1:提案手法を用いた表示例

2.4 情報探索支援

解析的ギャップをうめ、解析支援を実現するためにシステムが実現する機能を、対象とするギャップごとに示す。

2.4.1 理論的解釈ギャップをうめる機能

ストーリー表示: 2つのノード間の関連についての洞察を得るためには、直接的な因果関係だけでなく、推移的な因果関係パスも呈示し、その中でも特に重要なパスを特定することは重要である。そこで、指定した2つのノード間の因果関係パスを、推移的な関係を含めて重要度の高い順にすべて流れ図として呈示する。

相互フィルタ: 属性値の低いノードやリンクを非表示にする情報探索のフィルタ機能は、ノードとリンクにそれぞれ独立に適用される。大規模で複雑な構造からも本質的な関連を自動的に抽出するために、ノードとリンクの接続関係や重要性などの相互影響を考慮したフィルタを実現する。

特定フィルタ: 特定のノードやリンクを非表示にする。ノードの非表示では、そのノードに接続するリンクも非表示になる。任意の対象を非表示にすることで、その対象を排除した場合の影響を検証することができる。

対話的ノード移動: ユーザが主体的にデータの傾向を発見するために、対話的なノード移動を実現する。

2.4.2 世界観ギャップをうめる機能

自動的ノード移動: 一定の規則をもつようにノードを自動的に配置し、対象構造に関する特徴を呈示する。

サブウィンドウ: 現在利用していない技法による可視化結果を呈示する。これにより、より効果的にユーザの探索要求を満たす可視化技法への変更を促すと考えられる。

構造の更新: どんなデータも不確実性やあいまいさを必ず含む。そこで、正しい情報が得られた場合には、対話的に構造への変更を許す機能を実装する。またこの機能を用いることで、あいまいな構造に対するユーザの仮説を検証することができる。と考える。

2.5 ユーザインタフェース

機能はボタン操作、マウス操作、メニューバーを用いて実現する。画面左は属性の凡例や機能の状態を示すインディケータ、画面右は、ラベルウィンドウ、テキストウィンドウ、ストーリーウィンドウ、サブウィンドウから構成される(図2)。

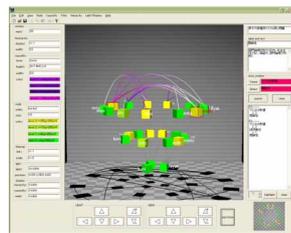


図 2:ユーザインタフェース

3 まとめと今後の課題

本稿では、階層的因果関係の可視化手法を提案し、提案手法を用いて開発した視覚解析システムの成果を報告した。今後は、階層数が均一でない場合や、子ノードが複数の親をもつ有向無環グラフである場合の可視化技法を検討することにより、可視化対象構造を拡張し、より実世界を反映した空間化を可能にする。

謝辞

本稿の一部は、社会技術研究イニシアティブ・ミッションプログラム(文部科学省出資金事業、研究統括 小宮山宏)の成果である。

参考文献

- [1] Amar, R. and Stasko, J.: "A Knowledge Task-Based Framework for Design and Evaluation of Information Visualizations," In *Proc. IEEE InfoVis '04*, pp.143-149, 2004.
- [2] 我妻 静香, 藤代 一成, 堀井 秀之: 「階層的因果関係の可視化」, 第 66 回情報処理学会全国大会, 2N-6, 2004 年 3 月
- [3] 我妻 静香, 藤代 一成, 堀井 秀之: 「対話的 2D/3D 表示技法を用いた階層的因果関係の可視化」, *Visual Computing/グラフィクスと CAD 合同シンポジウム 2004*, pp.159-162, 2004 年 6 月
- [4] 我妻 静香, 藤代 一成, 堀井 秀之: 「階層的因果関係の可視化」, 第 10 回ビジュアライゼーションカンファレンス, VC10-7, 2004 年 10 月
- [5] 我妻 静香, 藤代 一成, 堀井 秀之: 「原子力発電所トラブル隠し問題の解析に向けた階層的因果関係の対話的可視化」, *社会技術研究論文集, Vol.2*, pp.406-413, 2004 年 10 月 [http://www.shakai-gijutsu.com]
- [6] Chi, E. H. and Card, S. K.: "Visualizing the Evolution of Web Ecologies," In *Proc. CHI'98, ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.400-407, 1998.
- [7] Fekete, J. D., Wang, D., Dang, N., Aris, A. and Plaisant, C.: "Interactive Poster: Overlying Graph Links on Treemaps," In *Poster Compendium of IEEE InfoVis '03*, pp.82-83, 2003.
- [8] Johnson, B. and Shneiderman, B.: "Tree-Maps: A Space-Filling Approach to the Visualization of Hierarchical Information Structure," In *Proc. IEEE Visualization '91*, pp.284-291, 1991.
- [9] Robertson, G. G., Mackinlay, J. D., and Card, S. K.: "Cone Trees: Animated 3D Visualizations Hierarchical Information," In *Proc. CHI'91, ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.189-194, 1991.
- [10] B. Shneiderman: *Designing the User Interface Strategies for Effective Human-Computer Interaction*, Addison-Wesley, 3rd edition, 1998, Chapter 15.
- [11] Spence, R.: *Information Visualization*, Addison-Wesley, 2001.