

大規模分枝限定木可視化のための適応的木構造グラフ生成

宮村 (中村) 浩子 品野 勇治
宮代 隆平 七夕 高也 斎藤 隆文
東京農工大学

大規模な階層データを、限られた空間内へ効率的に表現する適応的表示法を提案する。階層データは属性値をもつノードと親子関係を表わすリンクから構成されており、それぞれをプリミティブで表すことで構造を視覚的に捉えられる。しかし、大規模階層データを表示する際に、隣り合うノードやリンクが重なり合ってしまう問題がある。そこで本論文では、大規模階層データを木構造で表す際に、ノードの密集具合に応じて木の表現方法を選択する適応的表示を提案する。さらに、本提案手法を大規模分枝限定木に適用し、その効果を検証する。

Adaptive Tree Visualization for a Large Branch-and-Bound Tree

Hiroko Nakamura Miyamura Yuji Shinano
Ryuhei Miyashiro Takanari Tanabata Takafumi Saito
Tokyo University of Agriculture and Technology

We propose an adaptive visualization technique for a large-scale hierarchical dataset within limited display space. A hierarchical dataset has nodes and links that represent the parents/child relationship. These nodes and links are described using graphics primitives. When the number of these primitives is large, it is difficult to recognize the structure of the hierarchical data, because many primitives are overlapped within a limited region. In this context, we propose an adaptive visualization technique for hierarchical datasets. The proposed technique selects an appropriate graph style based on the density of the nodes. In addition, we demonstrate the effectiveness of the proposed method by applying it to the growing process of a large branch-and-bound tree.

1 背景と目的

階層データは、木の形状を模したグラフで表すことで構造を視覚的に捉えられる。実際に、家系図やトーナメント表など、さまざまな階層データが木構造グラフで表現され、データの解析・認識に利用されている。大規模分枝限定木に対しても、その生成過程を把握するために木構造グラフで表現する試みがなされている [1, 2]。

しかし、可視化対象となるデータが大規模である場合、ノード、リンク同士の重なり合いによるオクルージョン、リンクの近接によるクラッタリングが生じ、特徴解析・認識が困難になる (図1)。例えばノードを点、リンクを線で表現する場合、隣り合うノード間に1画素以上のスペースが確保で

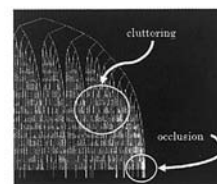


図1: オクルージョン, クラッタリング

きないと木の形で表現できない。そこでわれわれは、全要素を表示できないほど大規模な分枝限定木に対して、要素の混雑具合に応じて木構造の表現形式を変えて情報を提示することを試みる。これは、最大限に情報を提示する試みといえる。

2 大規模階層データの可視化

大規模な階層データを一括表示する代表的な手法として TreeMaps [3] が挙げられる。これはノードを入れ子状に配置することで、直接的なリンクの表示を略している。限られた空間に多数のノードを配置できる利点はあるが、ノード間の関係を直感的に捉えにくいだけでなく、上位階層のノードに与えられた情報は示せない。同様の入れ子による階層データの可視化手法として Data Jewelry Box [4] が提案されたが、TreeMaps と同様に直感的な認識が難しい。

階層データを木構造グラフで表現する手法としては、focus+context 技術に着目した Hyperbolic-Tree [5] が提案されている。この手法は、非ユークリッド空間に木構造グラフを配置するため、注目するノード周辺は詳細に情報が示され、注目箇所から離れるにつれて表示が小さくなる。ユーザは、注視点を動かすことで要望に合わせた観察ができる。また、極座標を用いることで空間効率を高めた可視化法として Information Slices [6] が挙げられる。この手法ではノード間の関係を領域の隣接情報で示している。

データを選択的に表示する手法も提案されている。例えば、3次元空間に木構造グラフを配置する ConeTree [7] では、ユーザは必要な階層以下のノードを表示しないで観察することができる。階層データのフラクタル性を利用した Fractal Views [8] では、大局的特徴と局所的特徴の繰り返し構造を利用して表示するノード数を調整している。

これら先行研究では、ノードやリンクを表現するプリミティブの形状や配置を工夫することで空間効率のよい階層データの提示を実現してきた。われわれは、木構造表現に用いるプリミティブが同一グラフ内で密集度が異なることに着目し、領域ごとに適した表示・配置を試みる。また、限られた空間に全情報を表示することができない場合は、選択的に表示する機能も併せもつ。なお、本稿では適用データとして分枝限定法を用いて整数計画問題を解く際の計算過程データを使用している。

3 適応的階層データの木構造表現

木構造の表現では、いくつかの表現方法を実装し [2]、それらを組み合わせて利用する。

3.1 表示バリエーション

ノードの配置では、 x 軸表示領域幅を全葉ノード数で割った値を1つの葉ノードの領域とし、自身より下の階層に存在する葉ノード数分だけ領域を確保しながら配置する（始点揃え）。親子関係をより明確に示すために、最下層から順に子ノードの中心に親ノードを再配置する（中央揃え）。また、階層の深さは y 座標で表す。リンクの提示には、直線によってリンクを提示する方法（直線）、階層に沿った線で x 座標を移動するような折れ線でリンクを提示する方法（折れ線）、領域の塗りつぶしからリンクを提示する方法（塗りつぶし）を実装する。極座標を用いた場合は、中心角、中心からの距離を用いて木構造を生成する。

3.2 表示バリエーションによる効果

座標空間として、直交座標系、極座標系、ノードの配置として、始点揃え、中央揃え、リンクの提示方法として、直線、折れ線、塗りつぶしがある（図2）。それぞれの提示による効果を考察する。

ノード配置に関しては、中央揃えでは親子間の距離が短くなるため、親子関係の把握を助ける。またリンクが短くなるため表示空間内の混雑が緩和できる。

リンクの提示に関しては、直線、折れ線による提示では、木の形状、親子関係を把握しやすい。しかし、線を描画する必要があり、表示スペースを必要とする。塗りつぶしによる提示では、木の形状を把握しにくい問題はあるが、色に反映するスカラデータの変動を捉えやすい、表示領域を効率的に使用できるなどの特長がある。

本研究ではこれらの特長を考慮して、木構造グラフの要素の密集度に合わせて使用する表現形式を選択する。

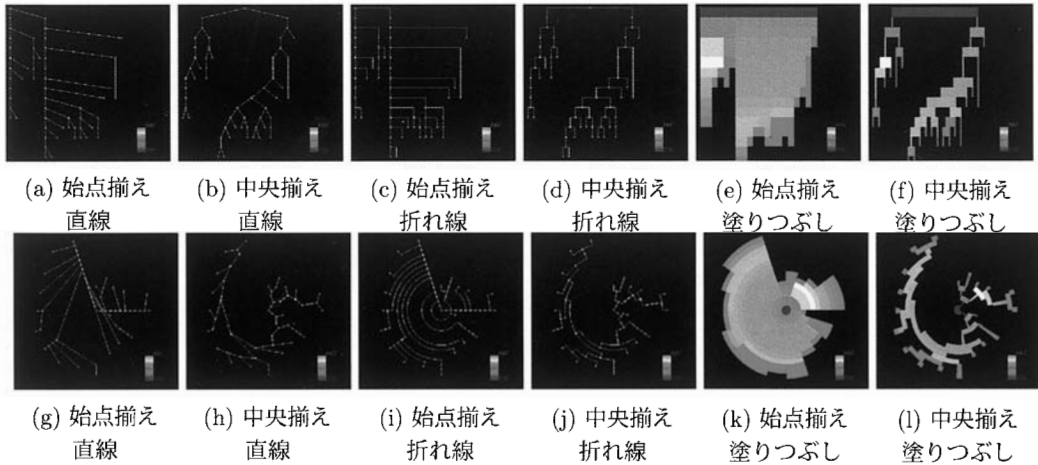


図 2: ノード配置, リンク提示のバリエーションによる表現形式; 上段: 直交座標系, 下段: 極座標系

3.3 適応的表示方式

本提案手法では, ノードの密集度に応じてレベルを3段階に分ける(図3). レベル1では, 隣接する個々のノードを識別できるだけのスペースが確保できることを条件とする. 隣接するノードを識別するだけのスペースを確保できない領域はレベル2とする. さらに, 個々のノードに対して横軸方向に1画素以上割り当てられないような領域をレベル3とする. これらのレベルに対して, 先に提案した木構造の表示バリエーションから適切なグラフの表現形式を選択する.

まずレベル1(図3(a))では, y 軸方向の密集度によって2種類のグラフを使い分ける. y 軸方向に隣接するノード間にスペースを取れる場合は, ノードを点, リンクを線で表現する木構造表現を利用する(図2(a)-(d), (g)-(j)). y 軸方向に十分なスペースを確保できない場合は, 中央揃え塗りつぶしを適用する(図2(f), (l)). 次にレベル2(図3(b))では, ノードが密集するため, 始点揃え塗りつぶしを適用する(図2(e), (k)). 最後に, レベル3(図3(c))では, 複数の兄弟ノードを統合して表現する. 親ノードと比べてスカラデータの変動が大きいノードの値を統合ノードの色に割り当てる. このように, それぞれの領域でスペー

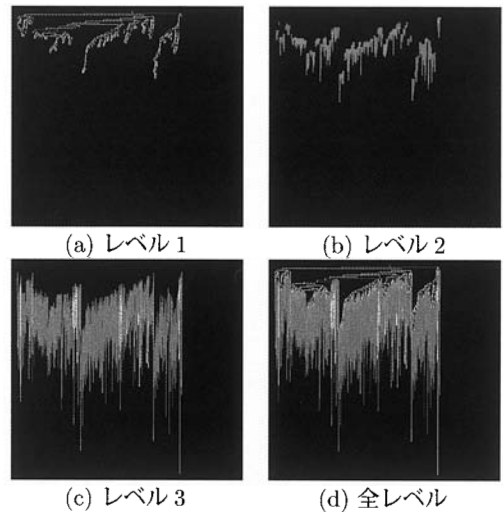
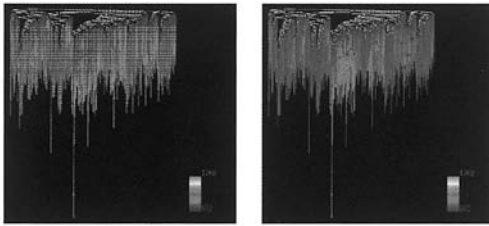


図 3: レベルごとの木構造表示

スを有効利用できるグラフの表現形式を利用する.

なお, 本手法は, 対話的に観察している間に各領域でグラフ表現形式を変えられる. 例えば, ズーミング機能によって拡大表示する際には, レベル1の形式で表示される領域が大きくなる.



(a) 点, 線による表現 (b) 適応的表現

図 4: 点, 線による表現との比較

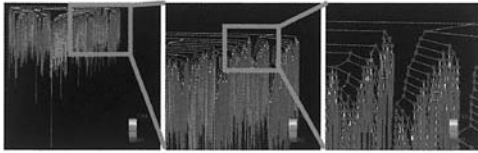


図 5: 拡大による表示形式の変更

4 分子限定木への適用と効果

本提案手法を大規模分枝限定木に適用し, その有効性を検証する. 図 4 に分枝限定木 (ノード数: 842,827, 階層数: 176) を可視化した結果を示す. 赤枠は暫定解が求まった印である. 図 4(a) はノードを点, リンクを線で表現した木構造グラフ (図 2(b)) を用いて可視化した結果である. 図 4(b) は提案する適応的な表現形式を用いて可視化した結果である. 図 4(a) では中位階層でリンクを示す線が表示されているために模様が生じている. また, 中位階層ではノードが密集して, 値の変動を細かく捉えられない. 提案手法では, ノードが密集する領域ではリンクを表示しないため, ノード値の分布を把握できる. さらに, 上位階層のように表示領域に余裕がある場合はリンクが表示されるので, 親子関係を的確に捉えることができる.

本提案手法は, 拡大・縮小操作に対して, 適宜木構造表現グラフの形式を変更できる. そのため, ユーザは興味ある領域に焦点を当てることで木の形で認識できる (図 5).

5 まとめ

階層データを木グラフで表現するためのグラフの表現形式をいくつか実装し, ノードの密集度に応じて適応的に使い分ける方式を提案した. また, 提案手法を大規模分枝限定木に適用し, 分枝限定木の情報の提示精度を検証した.

参考文献

- [1] Traveling Salesman Problem, Sweden Home : <http://www.tsp.gatech.edu/sweden/>
- [2] 宮村 (中村) 浩子, 宮代 隆平, 中山 知樹, 品野 勇治, 斎藤 隆文: 「分枝限定法における計算過程の可視化」, 情報処理学会第 58 回 MPS 研究報告, pp. 27-30, 2006.
- [3] B. Johnson and B. Shneiderman: “Treemaps: A Space-filling Approach to the Visualization of Hierarchical Information,” In *Proceedings of IEEE Visualization '91*, pp. 284-291, 1991.
- [4] T. Itoh, Y. Yamaguchi, Y. Ikehata, and Y. Kajinaga: “Hierarchical Data Visualization Using a Fast Rectangle-Packing Algorithm,” *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 10, No. 3, pp. 302-312, 2004.
- [5] J. Lamping, R. Rao, and P. Pirolli: “A Focus+context Technique Based on Hyperbolic Geometry for Visualizing Large Hierarchies,” In *Proceedings of SIGCHI '95: the Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 401-408, 1995.
- [6] K. Andrews and H. Heidegger: “Information Slices: Visualizing and Exploring Large Hierarchies Using Cascading, Semicircular Discs,” In *Proceedings of IEEE Information Visualization '98*, pp. 9-12, 1998.
- [7] G. G. Robertson, J. D. Mackinlay, and S. K. Card: “ConeTree: Animated 3D Visualizations of Hierarchical Information,” In *Proceedings of SIGCHI '91: the Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 189-194, 1991.
- [8] H. Koike: “Fractal Views: A Fractal-Based Method for Controlling Information Display,” *ACM Transactions on Information System*, Vol. 13, No. 3, pp. 305-323, 1995.