

# 地図グラフデータ内のトポロジー誤り発見・修正のためのインタラクション手法

林 大悟<sup>†1</sup> 藤田 和之<sup>†1</sup> 原 航太郎<sup>†2</sup> 高嶋 和毅<sup>†1</sup> 北村 喜文<sup>†1</sup>

**概要**：地図情報のグラフデータ共同編集において、ユーザのトポロジーの誤りを素早く発見・修正することを可能にするため、グラフ要素同士の密集によるオクルージョンの解決と階層間の接続を可視化するインタフェースを提案する。提案インタフェースでは、視覚効果にパネのメタファを取り入れ、ユーザのインタラクションに応じた一時的なレイアウトの変更を行う2つの手法を設計する。まず1つ目の **Repel Signification** では、ユーザのドラッグ・ズーム操作時にオクルージョンが生じている箇所を振動するように表示させることで、誤りを含む可能性が高い領域を強調させる。また、2つ目の **Repel Expansion** では、オクルージョンの含まれるグラフ要素をユーザがクリック可能にするため、カーソルを要素に近づけると、その付近に遮蔽されていた要素と、他階層と接続されている要素を出現させる。これら2つを組み合わせることで、ユーザは通常のインタラクションや地図操作を継続するだけで、地図が持つトポロジー情報と各要素の位置情報を破壊することなく、それらのエラー箇所が発見しやすくなり、より効率的なグラフデータの編集が可能になる。

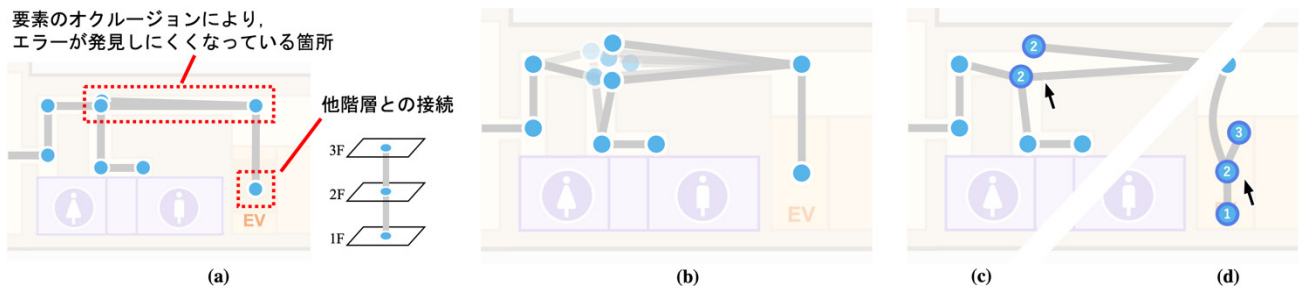


図 1 地図グラフデータ内に生じる課題と提案手法

- (a) 既存のインタフェースでは、要素の密集箇所や他階層との接続がある箇所はトポロジーのエラーが発見しづらい。  
(b) **Repel Signification**: エラーが発見しづらくなっているオクルージョン箇所を振動させて表示することで、エラーを見つけやすくする。(c)(d) **Repel Expansion**: カーソルを近づけることで、オクルージョン箇所や他階層の要素を再配置しクリック可能にする。

## 1. はじめに

近年、位置情報測位技術の発達に伴い、地図の閲覧や目的地までの経路探索などが広く利用されている。これらに用いられている地図情報は、一般的にノード・エッジ要素からなるグラフとして表現される。このデータベースをユーザ主体で形成することが可能な **OpenStreetMap** [1]などのサービスが普及してきている。これらのサービスは、複数のユーザによる共同編集を可能とするため、地図情報に関する膨大なデータセットを構築できる。このグラフの編集においては、他のユーザが入力したノードとエッジの情報について、誤った情報（エラー）が入力されていないかを読み取ることが重要となる。しかし、グラフ要素が密集している場合には表示の際にオクルージョン（要素による遮蔽）が生じやすく、これによりトポロジーに関するエラーの有無を見つけることが困難になる。

また最近では、建物や地下通路の中などの屋内マップのナビゲーションも可能になってきており、屋内マップの共同編集を支援するサービスの普及が期待される。しかし、屋内マップにおいてはエレベータや階段などの複数階層間に渡るグラフ要素間の接続が存在し（図 1a）、これらを既存の2次元の地図インタフェースでは表現することができない。このため、屋内マップの共同編集では、通常地図に比べてトポロジーの正確な把握やエラーの発見がより難しいと言える。

これまで、複雑なグラフを対象とした可視化手法やインタラクション手法は数多く検討されてきており、代表的なアプローチとしてはグラフ要素のレイアウトをレンズにより部分的に拡大したり[2,3]、エッジをインタラクティブに移動させたり[4]する手法等が挙げられる。しかしながら、これらはマップ中に潜むトポロジーのエラーを見つけて修

<sup>†1</sup> 東北大学電気通信研究所

<sup>†2</sup> シンガポールマネジメント大学

	Original state	Signified state (while dragging or zooming)
Node-Node Occlusion	①	②
Edge-Edge Occlusion	③	④
Node-Edge Occlusion	⑤	⑥

図 2 Repel Signification の動作概要

注：半透明のノード・エッジは、時間経過による表示の変化を表す。

正するというタスクを考慮して設計されておらず、他階層との接続を含むグラフを対象としたものではない。

そこで本研究では、既存の地図情報、および複数階層を持つ屋内マップも含めたユーザ間共同編集タスクを対象とし、ユーザがグラフデータのエラーを素早く発見すること、さらに該当領域のトポロジーを正しく理解し修正することが可能なインタフェースを検討する。このインタフェースにはバネのメタファを取り入れた視覚効果によって、(1) ドラッグ・ズーム操作中にオクルージョン箇所を強調する手法 (Repel Signification) と、(2) カーソルの接近によりオクルージョンまたは上下階層との接続関係を可視化する手法 (Repel Expansion) の2つを設計し、導入する。これらの提案手法ではグラフ要素のレイアウトの変更を行うが、一時的な変更に限ることによって、グラフ要素が持つ本来の位置情報やトポロジーを破壊することなくユーザに認識させることができる。提案手法によって、既存の地図編集インタフェースの操作を大きく変更することなく、グラフ要素の密集によるオクルージョンの解決と、屋内マップにおける他階層との接続の表示が実現され、ユーザがそこに存在するエラーを発見・修正しやすくなることが期待される。また、視覚効果による要素のレイアウトの変更を一時的なものにすることで、グラフ要素が持つ本来の位置やトポロジーを破壊することなくユーザに認識させることができる。

## 2. 提案手法

本手法では、主に OpenStreetMap のような人手による入力エラーが潜在的に含まれる屋内外の地図情報の閲覧・編集タスクを対象とする。このようなタスクでは、グラフ要素の密集による各要素のオクルージョンが問題になることが多く、見かけ上は正しく見えても、トポロジー上は誤った接続関係になっている場合もある。しかし、システム側はどの要素がエラーかを検知するすべを持っていない。以上のことから、本手法の基本的な方針を、(i) ユーザが各要素をエラーかどうか効率良く判別できるように「エラーが含まれているかどうか視認できない・視認しづらい箇

Actual topology (perspective representation)	Original state	Expanded state (while the cursor is close)
	2F	2F

(a)

	Original state	Expanded state (while the cursor is close)
Node-Node Occlusion	①	②
Edge-Edge Occlusion	③	④
Node-Edge Occlusion	⑤	⑥

(b)

図 3 Repel Expansion の動作概要

(a) カーソルが近づいた要素が他階層との接続を持っている場合、他階層の要素を表示する。(b) 要素にカーソルが近づいた際にはオクルージョンを解決するように要素同士を反発させて表示する。

所」をユーザに気づかせること、および、(ii) その箇所にエラーが実際に含まれていた場合にはそれを簡単に修正できるようにすることとする。

これらの方針 (i), (ii) の実現のために、2つのインタラクション手法 Repel Signification と Repel Expansion からなるユーザインタフェースを提案する。以下では、それぞれの手法の詳細について述べる。

### 2.1 Repel Signification

本手法では、オクルージョンが生じているグラフ要素(ノード・エッジ)を、ユーザがマップのドラッグ・ズーム操作中のみ振動させることで、オクルージョンの存在を強調表示する。図 2 に Repel Signification の動作の様子を示す。

このために本手法ではまず、グラフ要素に含まれるオクルージョン箇所を特定する。これは、同時に表示する各要素(基本的には同一階層内の要素)が見かけ上重複しているものを、要素間の距離を元にラベリングすることにより実現している。図 2 中①③⑤は、それぞれノード・ノード、エッジ・エッジ、ノード・エッジ間でオクルージョンが発生している例であるが、これらの要素に対して振動するような視覚効果を与える。この視覚効果には、復元力の考えを導入することでバネのように振動したり、反発したりす

るように動作させる。すなわち、対象となっている要素に、大きさと方向をランダムに定めた力を一定間隔（60 Hz）で与えることで要素を振動させる（図 2 ②④⑥）。この力の大きさには上限を設け、力を与える点は、ノードの場合は中心点とし、エッジの場合はエッジの midpoint とする。エッジを振動させる場合（図 2④⑥）には、エッジの両端はノードに固定され、弧を描くように動作する。なお、この振動を発生させるのはユーザのドラッグ・ズーム操作中のみであり、それらの操作が行われなくなると各要素の動きは減衰し、元の座標に戻るため、ユーザが操作をしない間は、各グラフ要素の地理的な正確性は保たれる。

## 2.2 Repel Expansion

本手法では、主に Repel Signification によりエラーを発見したときなど、ユーザがオクルージョンのある箇所注目した場合に、オクルージョンや他階層との接続の含まれるグラフ要素群から目的の要素を一時的に再配置することで、ユーザのトポロジーの理解と要素の獲得を目指す。図 3 に Repel Expansion の動作の様子を示す。

まず、ユーザの操作するカーソルから一定距離内にある最寄りのノードまたはエッジを Repel Expansion の対象とする。図 3a では、ある 3 階層からなるエレベータの 2F ノードが注目の対象となっている場合の例を示す。この対象ノードが他階層にあるノードと接続している場合、これらのノードを上下方向に可視化する（図 3a 右列）。この際、現在表示中の階層から見て上層階のノードは上方向、下層階のノードは下方向に表示させ、各ノード内には階層数を表示する。続いて、Repel Signification と同様に、対象要素に対してオクルージョンがあるかを算出し、これに応じて要素が反発し合うような視覚効果を適用する（図 3b）。この手法でも同様に、復元力の考えを導入している。力の大きさを要素間の距離が短いほど大きく、向きは退けあう方向にし、要素に与える力の大きさと方向を一定に保つことで、表示された要素は要素間で反発するように特定の位置

に固定される（図 3b ②④⑥）。カーソルが対象ノードから離れると、他階層ノードを非表示とするため、これに応じて再配置されていた要素の位置も徐々に本来の位置に戻る。

## 3. デモ展示

本デモでは、HTML、JavaScript（グラフの描画には D3.js を使用）、CSS を用いて、マウス操作を前提とした Web アプリケーションとして提案インタフェースを実装し、実環境の屋内マップから作成したエラーを含むグラフデータを使用して、本提案インタフェースがどのようにユーザの編集作業の効率化に寄与するかを展示する。特に、ドラッグやズーム、およびポインティングなどの通常の作業をしている中で自然にエラー箇所を発見し、速やかに修正できる仕組みや視覚効果の設計について聴衆の方と議論したい。

## 4. おわりに

本稿では、多階層構造の屋内マップを含む地図情報を対象とし、バネのメタファを取り入れてグラフ要素を振動・反発させることで、トポロジーを正しく理解するとともに、エラーの発見・修正を支援するインタフェースを提案した。今後は、本提案インタフェースのパフォーマンスの定量評価を行う予定である。

## 参考文献

- [1] M. Haklay and P. Weber, "OpenStreetMap: User-generated street maps," *IEEE Pervasive Computing*, vol. 7, no. 4, pp. 12-18, 2008.
- [2] M. Sarkar, M. B. Brown, "Graphical Fisheye Views of Graphs," *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 83-91, 1992.
- [3] N. Wong, S. Carpendale, S. Greenberg, "Edgelens: an interactive method for managing edge congestion in graphs," *Proceedings of IEEE Symposium on Information Visualization 2003*, pp. 51-58, 2003.
- [4] N. Wong, C. Sheelagh, "Supporting interactive graph exploration using edge plucking," *Visualization and Data Analysis*, pp. 76-87, 2007.