

階層的な静的地図群による経路案内

諏訪 海晴¹ 藤田 秀之¹ 大森 匡¹ 新谷 隆彦¹

概要：地図アプリケーションやカーナビゲーションシステムにおける経路案内サービスのための地図表示方式として、利用者の現在地や進行方向に応じて、常時、回転、スクロールする方法が一般的である。これに対し、紙地図のような、地理的範囲やスケールを固定された静的地図がある。静的地図は、経路に関する知識獲得に有用といわれているが、スマートフォン等の画面上での経路案内サービスに用いる際に可視化上の課題が生じる。本研究では、表示画面サイズを考慮して生成したできるだけ少ない数の静的地図を切り替え、経路案内上重要な地点を十分に視認可能な大きさで表示する、経路案内のための新しい地図表示方式を提案する。静的地図の階層関係を表現する順序木である静的経路地図ツリーを生成し、それを用いて経路の提示を行う。提案した地図表示方式によって、表示画面サイズおよび縦横比に応じた、経路案内のための静的地図が生成できた。また、一般的なカーナビゲーションシステムでの表示方式との比較による評価を行い、経路を構成するすべての辺を十分に視認可能な大きさで表示しつつ、少ない枚数の静的地図で経路を提示できることを確認した。

Route Navigation by using Hierarchical Static Maps

KAISEI SUWA¹ HIDEYUKI FUJITA¹ TADASHI OHMORI¹ TAKAHIKO SHINTANI¹

1. 背景と目的

近年、スマートフォン等の携帯端末上で動作する Web 地図サービスが普及し、Web ベースの地図を自由に動かしてユーザが求める情報を得られるようになった。しかし、地図操作の自由度が高い反面、目的地までの経路を把握する用途では、ユーザ自身による多くの操作が必要な場合がある。ユーザによる操作を軽減する方法として、地図アプリケーション (Google Maps 等) やカーナビゲーションシステムでは、ユーザの現在地や進行方向に応じ、地図を自動で回転、スクロールする地図表示方式が一般的である。地図の回転、スクロールが多用されると、地図の表示領域が高頻度で切り替わり、ユーザの現在地や地図上の地点間の地理的な位置関係がわかりにくくなる課題がある。

地図を自動で回転、スクロールする地図表示方式に対し、紙地図のような、地理的範囲やスケールを固定した静的地図がある。静的地図は、地図上の地点間の地理的な位置関係がわかりやすく、利用者の経路に関する知識 (認知地図) 獲得に有用との報告がある [1]。

本研究では、静的地図を用いた、経路案内のための新しい地図の表示方式の提案を目的とする。1 枚の静的地図上で、経路全体を携帯端末の画面に描画すると、交差点や曲がり角等の経路案内上重要な地点 (案内地点と呼ぶ) が密集した領域では、拡大表示しないと利用者にとって視認困難になるという、可視化上の課題が生じる。概観 (全体像) を画面内に収めて描画すると、細部の読み取りが困難になる問題は、大規模データ可視化における一般的な課題であり、この課題に対応する枠組みのひとつとして、階層的な集約による可視化手法が、盛んに研究されている [2]。そこで本研究では、異なる地理的範囲やスケール値を持ち、描画時に画面サイズ内に収まる、できるだけ少ない数の静的地図を用意し、経路案内中の現在地に応じて切り替えながら、すべての案内地点を十分に視認可能な大きさで表示する手法を提案する。

2. 関連研究

複数の静的地図を用い、案内地点を十分に視認可能とする経路の可視化手法として、階層的ルートマップ [3] が提案されている。この手法では、異なるスケールで階層化し

¹ 電気通信大学大学院情報理工学研究所

た静的地図群を用いて経路を表現している（図 1, 2）。

この手法の目的は、経路の全体や部分のインタラクティブな閲覧であり、PC 画面上や印刷物上で探索的な経路の閲覧を支援することが検討されているが、移動するユーザに対する携帯端末上での経路案内への適用に特化した検討はなされていない。具体的には、表示画面内に収まらないサイズの静的地図も用いられるため、経路案内時に、現在地に応じたひとつの静的地図を提示することができない。これに対し、本研究では、表示画面と静的地図のサイズを考慮し、経路案内時の現在地に応じた静的地図の提示を行う。

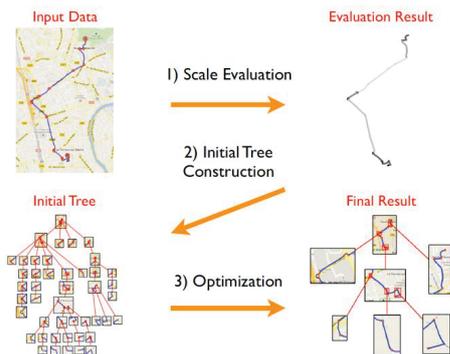


図 1 階層的ルートマップにおける階層構造の生成手順 [3]

れた矩形の地図であり、静的地図に対応する画面上での表示サイズは一意に定まる。静的地図は、部分経路を可視化する。部分経路とは、経路案内の対象とする経路を分割した断片である。静的地図の地理的範囲を、その静的地図上の部分経路の MBR (Minimum Bounding Rectangle, 最小外接矩形) とする。

本研究では、すべての案内地点を十分に視認できるように、案内地点である頂点を持つすべての辺に、視認スケールと呼ぶスケール値を定義する。視認スケールとは、経路上の辺を視認ピクセル長で表示するスケール値である。ここで、視認ピクセル長とは、ユーザが定める表示画面上の長さ（ピクセル数）であり、画面上に視認ピクセル長以上で表示されれば、十分に視認できるとみなす。スケール値とは、地図のズームの度合いを表す 0 以上の実数値であり、0 がもっともズームアウトした状態で、1 増加ごとに、縦横各 2 倍に拡大表示するようズームインする。



図 3 経路の定義（背景地図：Yahoo!地図）

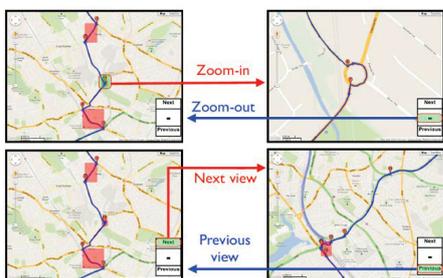


図 2 階層的ルートマップを用いた経路閲覧システム [3]

3. 経路と静的経路地図ツリー

3.1 用語定義

本研究における経路案内の定義は、与えられた経路上を出発地点から目的地点まで移動するユーザに対し、経路、経路上の案内地点、およびユーザの現在地を、地図により提示することとする。図 3 に示すように、経路とは、複数の頂点を辺で結んだ折れ線である。頂点とは、経度、緯度の座標値を持つ地図上の点である。方向転換を行う交差点や曲がり角のような、経路案内において強調する頂点を案内地点と呼ぶ。本研究では、既存の経路探索 API から案内地点のリストを取得する。辺とは、経路上の連続する 2 頂点を結んだ線分である。出発地点および目的地点とは、経路の最初および最後の頂点である。静的地図とは、地理的範囲（南西端と北東端の経度緯度）とスケール値が固定さ

3.2 静的経路地図ツリー

本研究では、入れ子状の地理的範囲と、異なるスケール値を持つ静的地図群を用いて経路を提示する。手順として、まず、経路情報から静的経路地図ツリーを生成し、これを利用して、経路案内時の現在地に応じた静的地図表示を行う。静的経路地図ツリーとは、経路の可視化に用いる静的地図群をノードとし、階層的關係を表現するツリー構造である。経路、画面サイズ、視認ピクセル長を入力として生成する。静的経路地図ツリーが満たす要件を以下に定める。本研究では、できるだけ少ないノード数の静的経路地図ツリーを生成する。図 4, 5 に例を示す。

- (1) 各ノードは、部分経路に対する MBR を地理的範囲とする静的地図
- (2) 根ノードは経路全体の静的地図
- (3) 各ノードの地理的範囲は、その親ノードの地理的範囲に含まれる
- (4) 各ノードの表示サイズは、画面サイズ内
- (5) 経路上のすべての辺に対し、視認ピクセル長以上で表示する（視認スケールを満たす）ノードが存在
- (6) 各ノード上に描画した、その子ノードの地理的範囲の対角線は、視認ピクセル長以上
- (7) 各ノードの子ノード数に上限はなく、兄弟ノードは順序を持つ

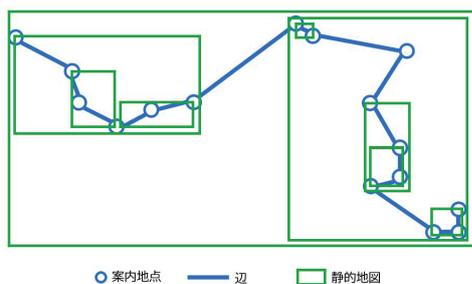


図 4 経路を含む地図（概念図）．静的経路地図ツリーのノードとなる静的地図の地理的範囲を緑色の枠で示している．

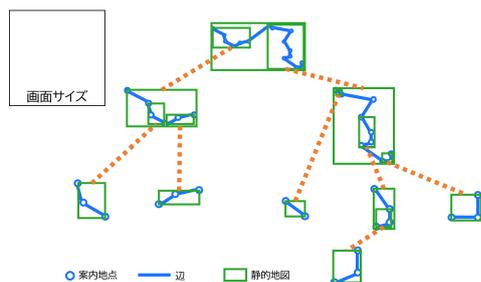


図 5 図 4 に対応する静的経路地図ツリー．すべての静的地図が、画面サイズ（左上の枠）以内に収まる．

4. 静的経路地図ツリーの生成手法

案内地点の座標（経度，緯度）が出発地点から目的地点まで順番に並んだリストを入力として，静的経路地図ツリーを生成する．

静的経路地図ツリーは，経路の各辺に対する静的地図のノード集合を初期状態とし，静的地図の結合と階層グループ化（図 6）という，2 種類の集約処理を繰り返して生成する．

静的地図の**結合**とは，2 つの静的地図を，新たな 1 つの静的地図にまとめる処理である．入力を結合対象の 2 つの静的地図とし，出力を 1 つの静的地図として，結合対象の 2 つの静的地図はツリーから削除される．生成する静的地図の地理的範囲は，集約対象の静的地図上の各部分経路を結合した部分経路の MBR とする．生成する静的地図のスケール値は，結合対象の静的地図の各スケール値のうち大きい方の値とする．結合対象の 2 ノードが子ノードを持つ場合，すべての子ノードを，新たに生成したノードの子ノードとする．子ノードの順序は，各ノード上の部分経路の経路順とする．

静的地図の**階層グループ化**とは，2 つの静的地図を地理空間的に包含し子ノードとする，新たな 1 つの静的地図を生成する処理である．入力をグループ化対象の 2 つの静的地図とし，新たな 1 つの静的地図を親ノード，グループ化対象の 2 つの静的地図を子ノードとする 1 段の親子関係を生成する．グループ化対象の 2 つの静的地図は削除しない．生成する静的地図の地理的範囲は，集約対象の静的地図上

の各部分経路を結合した部分経路の MBR とする．グループ化対象の 2 つの子ノードについて，地理的範囲の対角線が視認ピクセル長となるスケール値をそれぞれ求め，そのうち大きい方を生成する親ノードのスケール値とする．

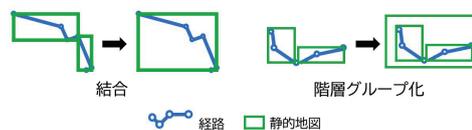


図 6 静的地図の結合と階層グループ化

ツリー生成の手続きは，フェーズ 1：結合，フェーズ 2：階層グループ化と結合（複数回），フェーズ 3：階層グループ化と結合（条件緩和による根ノード生成）という，各集約処理を繰り返すフェーズからなる．各フェーズでは，以下の集約条件を満たす中で，類似度最大の静的地図のペアを集約する処理を，集約対象がなくなるまで繰り返す．フェーズ 2 は，処理結果を入力として可能な限り繰り返す．

集約条件： 集約対象の静的地図上の部分経路が経路上で連続しており，かつ，集約後に生成される静的地図の表示サイズが画面サイズに収まる

類似度： 集約後に生成される静的地図を，画面サイズに内接して表示する際のスケール値

4.1 フェーズ 1：結合

経路の各辺に対する静的地図のノード集合を初期状態とし，静的地図の結合処理を繰り返して地理的に密集した辺をまとめることで，静的経路地図ツリーの葉ノード候補を生成するフェーズである．処理手順を以下に述べる．

経路の各辺に対し，地理的範囲が辺の MBR，スケール値が辺を視認ピクセル長で表示する値である静的地図のノードを生成し，初期状態のノード集合とする．初期状態のノード集合を対象に，集約条件を満たすノードの組が存在する間，集約条件を満たす，類似度最大のノードの組の結合処理を繰り返す．処理結果のノード集合を，高さ 1 のツリー集合とみなし，フェーズ 1 の処理結果とする．

4.2 フェーズ 2：階層グループ化と結合

静的地図の集約処理（階層グループ化または結合）を繰り返して，ツリーの階層構造を生成する．本フェーズは複数回繰り返され，1 回ごとに 1 段の親子関係が生成される．手順を以降に述べる．フェーズ 1 の処理結果を最初の入力とし，以降の手続きを行う．

(2-1) 入力されたツリー集合 S の各根ノードのスケール値を，該当ノードの地理的範囲の対角線が視認ピクセル長となる値に更新する

(2-2) S の各根ノードを集約対象とする

(2-3) 集約対象中，集約条件を満たす組が存在しない場

合、 S を処理結果として、フェーズ2を終了する

(2-4) 集約対象中、集約条件を満たす組が存在する間、集約条件を満たす類似度最大の組の階層グループ化を繰り返す

(2-5) S を入力とし、(2-1)から繰り返す

なお、(2-4)の繰り返し処理中、集約処理により新たに生成したノード(階層グループ化後の親ノード)は、集約対象ではない。

4.3 フェーズ3: 階層グループ化と結合(条件緩和による根ノード生成)

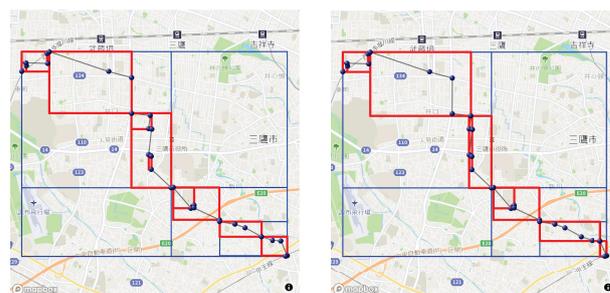
経路の形状によっては、3.2節で示した静的経路地図ツリーの条件をすべて満たして、ツリー集合をひとつに集約すること、すなわち、根ノードを生成し静的経路地図ツリーを完成させることはできない場合がある。そこで本フェーズでは、条件(6)を満たさないノードを許容すること、すなわち、一部のノード上では、描画された子ノードの地理的範囲の対角線が、視認ピクセル長以下となることを許容することで、静的経路地図ツリーを完成させる。具体的な手続きとしては、フェーズ2の処理結果を入力として、フェーズ2と同様の手続きを、静的地図の集約処理の代わりに、静的地図の条件緩和による集約処理を用いて行う。フェーズ2と同様に、本フェーズ自体を繰り返し、処理結果のツリー集合の要素数が1になったら、同要素を静的経路地図ツリーとして出力し、処理を終了する。

ここで、静的地図の条件緩和による集約処理とは、静的地図の集約処理(結合、階層グループ化)において、新たに生成されるノードについて、表示サイズが画面サイズを上回った場合、スケール値を、集約対象の2つのノードのスケール値のうち、大きい方ではなく小さい方とする処理である。

5. 適用結果

提案手法で静的経路地図ツリーを生成し、各ノード、すなわち、各静的地図の地理的範囲を、地図上に重ねて描画した結果を図7に示す。同一の経路(Mapbox Directions APIで取得)と視認ピクセル長(70ピクセルに指定)で、異なる表示画面サイズを指定して得られた結果を示している。静的地図の地理的範囲が入れ子になっていること、短い辺が密集する領域ごとに静的地図が生成されていること、表示画面の縦横比やサイズに応じ、画面内に収まるサイズの静的地図が生成されていることが分かる。

次に、経路案内時に静的地図が順に提示される様子を図8に示す。現在地に応じて静的経路地図ツリーのノードをたどり実現している。静的地図により、部分経路が経路上の順で切れ目なく提示されることや、辺が十分視認可能な長さ(視認ピクセル長)で描画されることが確認できる。



横 500 × 縦 500 ピクセル 横 500 × 縦 1000 ピクセル

図7 異なる画面サイズで生成した静的経路地図ツリーのノード群。青色円形のアイコンが案内地点、灰色の線が経路、赤色の枠がユーザー現在地に応じて表示する静的地図、青色の枠が遷移に用いる静的地図。



図8 ユーザの現在地と表示される静的地図。左から順に表示される。オレンジのアイコンはユーザの現在地。水色で示された辺の上に現在地が存在する。赤色の枠は、表示中の地図断片の子ノードである地図断片。

6. 評価

提案手法について、一般的なカーナビゲーションシステムの表示方式との比較による評価と、提示する静的地図のスケール値に関する評価を行った。

6.1 カーナビ方式との比較

比較対象として、一般的なカーナビゲーションシステムの地図表示方式(カーナビ方式と呼ぶ)を次のように定義する。基本的に1枚の静的地図で経路全体を表示し、経路全体の地図の視認スケールよりも大きな視認スケールをもつ辺に対して、視認スケールを満たす静的地図を生成し拡大表示する。拡大表示する辺以外では、経路全体の地図を用いる。図9に示す2層の階層構造で表現する。

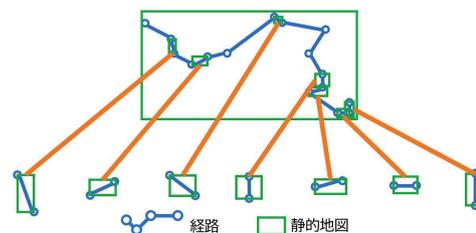


図9 カーナビ方式での階層構造。経路全体を表示する根ノードと、拡大表示する辺に対応する子ノードの2層からなる。

視認ピクセル長と利用される静的地図の数の関係を、提案手法とカーナビ方式で比較した結果を図10に示す。同

一の経路と画面サイズで、視認ピクセル長を変化させながら経路の提示に用いる静的地図の数をカウントした結果を、提案手法とカーナビ方式でそれぞれ表している。提案手法が用いる静的地図の数は、カーナビ方式の半数程度に抑えられている。また、カーナビ方式の静的地図数は単調増加に近いが、提案手法は段階的に増加していることが分かる。

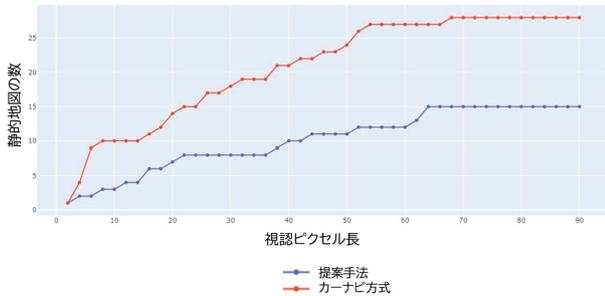


図 10 視認ピクセル長と静的地図の枚数

6.2 静的地図のスケール値

提案手法によって提示される静的地図のスケール値と、経路上の各辺の視認スケールとの関係性を評価する。

辺の視認スケールと、各辺に対応する静的地図のスケール値の経路に沿った遷移を、図 11 のグラフに示す。画面サイズを横 500 ピクセル、縦 500 ピクセルとし、視認ピクセル長を 70 ピクセルとした場合のスケール値であり、横軸の数値は、経路上の出発地点から昇順で割り振った辺の番号である。経路に沿った各辺の視認スケールの分布には偏りがあること、各辺を表示する静的地図のスケール値が、各辺の視認スケール以上であることが分かる。また、異なる視認スケールを持つ複数の辺が同一の静的地図にまとめられることで、各辺の視認スケールを経路に沿って遷移させる場合と比べて、スケール変化の回数と変化量が小さくなっている。このことは、経路案内時に辺を順に表示する際に、ズームイン・ズームアウトの回数やスケールの変化量を少なく抑えることに寄与する。

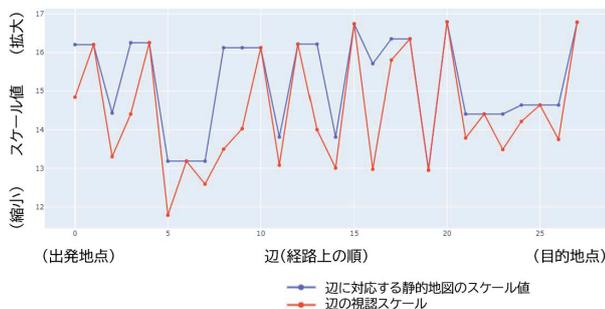


図 11 辺の視認スケールと、各辺に対応する静的地図のスケール値の、経路に沿った遷移

7. まとめ

本研究では、静的地図を用いた経路案内における課題の解決に向け、異なるスケールで階層化した静的地図群で経路を表現する、静的経路地図ツリーを提案した。提案手法を用いて、画面のサイズや縦横比に応じた静的地図群が生成されることや、すべての辺を十分に視認可能な大きさで表示しつつ、少ない枚数の静的地図で経路の提示が行えることを示した。また、既存のカーナビゲーションシステムとの比較、提示される静的地図のスケール値の評価によって、提案手法が提示する地図断片の枚数が少なく抑えられていることを示した。

参考文献

- [1] 若林芳樹：地図の進化論—地理空間情報と人間の未来，創元社（2018）。
- [2] Niklas Elmqvist, Jean-Daniel Fekete: Hierarchical Aggregation for Information Visualization: Overview, Techniques, and Design Guidelines, in IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol.16, no.3, pp.439-454 (2010).
- [3] Fangzhou Wang, Yang Li, Daisuke Sakamoto, Takeo Igarashi: Hierarchical Route Maps for Efficient Navigation, In Proceedings of the 19th international conference on Intelligent User Interfaces (IUI '14), pp.169-178 (2014).