

広域道路網の要約地図生成のための ネットワーク構造要約アルゴリズムとその評価

浅原 彰規[†] 嶋田 茂[†] 丸山 貴志子[†]

交通渋滞などの交通情報をモバイル端末に提示するサービスのニーズは大変高まっており、そのため利用者の状況に合わせた分かりやすい地図表示が求められている。そこで、把握しやすく整形された要約地図を自動生成する技術がすでに開発されている。しかし、この技術により広域の道路地図を要約する機能を提供するには、前処理として道路のネットワーク構造を概略的構造へ要約する処理が必要である。そこで我々は、近接道路を併合することによりネットワーク構造を要約するアルゴリズムを開発した。また本方式の評価として、道路の経路図に対し本方式を適用し複雑度測定実験の評価とユーザに対するアンケート評価を行った。その結果、ネットワーク構造要約によって、地図の距離感を保ちつつより整形が進んだ要約経路図を生成できることが確認できた。これにより、広域の道路地図を動的に要約表示する見込みを得た。

Evaluations for Network Structural Algorithms to Generate Well-formed Map of Wide Area

AKINORI ASAHARA,[†] SHIGERU SHIMADA[†] and KISHIKO MARUYAMA[†]

Needs for a traffic information service system that warn about traffic congestion through mobile devices, are increasing now, and more intelligible map is necessary for the systems. For these services, methods to generate a well-formed map, which was modified to improve the intelligibility, were developed. However, preprocesses to simplify detailed network structures of roads on the map is necessary to generate a well-formed map covering wide area before the existing methods. Thus, we developed a new algorithm that summarizes the network structure of a detailed road network by merging close roads. Further, we evaluated these algorithms with measuring complexity and questionnaires for users. From the results of these evaluations, our method is effective to generate a well-formed map that is better-formed keeping information of distance on the original map. Finally, the dynamically generation of well-formed map which is covering wide area will be available.

1. はじめに

近年のモバイル通信環境の整備¹⁾ にもとない、モバイル端末向けの各種サービスがさかんになっている。その中でも VICS²⁾ に代表される交通情報サービスは、カーナビゲーションシステムにとどまらず、PDA や携帯電話など各種のモバイル機器で利用できる情報提供サービスへと発展している。これらの交通情報サービスでは、自車両の位置を中心にした地図上に交通渋滞が発生している区間や交通事故の位置などが表示されており、迂回路探索や到着時間の推定などの行動支援に役立てられている。

しかし、これらの交通情報を表示するモバイル端末

の表示画面は大きさや解像度などの性能が一般の PC の画面に比べ低い。そのため、表示情報の視認性をいかに良好に保つかが大きな課題となる。特に広域の地図表示では表示する道路などが多くなりがちであるため、この課題の解決が重要となる。そこで、ユーザの行動に不要であるという意味で重要度の低い道路などを省略し、把握しやすく図案化した地図である要約地図がよく用いられている。たとえば、交通情報を携帯電話の画面に表示するサービスとして、ATIS 株式会社の ATIS 交通情報サービス³⁾ や、日本道路公団からのドライバーズナビ⁴⁾ などがある。

これらの交通情報配信サービスで用いられている要約地図の大半は、あらかじめ地図のデザイナーによって作成されたものである。携帯電話の狭い画面でも視認性良く表示できるように、主要な道路だけを選択し、道路の形状を水平・垂直にするなどの形状整形が行わ

[†] 日立製作所中央研究所
Hitachi Central Laboratory

表 1 事前作成した要約地図における課題
Table 1 Problems of well-formed maps generated in advance.

| 問題例 | 事前作成による例 | 動的生成の例 |
|---------------------------|----------|--------|
| 例 1. 現在地の道路が表示されていない。 | | |
| 例 2. 表示領域に対して詳細すぎる。 | | |
| 例 3. 全表示領域の要約地図が準備されていない。 | | |

れている。これらの要約地図は、たとえば首都高速のみの表示や、大阪府の一般道全表示など、領域と縮尺が固定されており、その範囲の表示画面として最適に調整されている。一方、一般ユーザが交通情報サービスを利用する場合、端末に表示しなければならない地図の領域はユーザの状況によって様々である。あらかじめ作成された要約地図を用いたサービスでは、要約地図を提供可能な地域と縮尺が限られるため、必ずしもユーザが必要とする交通情報を表示できるとは限らない。

この問題は、地図においてユーザが交通情報などの表示を要求する範囲とあらかじめ準備された範囲が一致しないことに起因している。この問題をより具体的に示すため、表 1 の例を用い説明する。例 1 は、要約地図中に現在走行している道路が表示されていない問題であり、要約地図の作成時に省略した道路が、ユーザ利用時には必要になった例である。例 2 は地図が細かすぎるとい問題である。要約地図の作成時、要約地図の一部を切り取って表示することを想定し、縮尺や表示地物を調整したことを考える。想定した表示範囲が実際にユーザが必要とする表示範囲より狭いと、この縮尺や表示地物の調整がうまくいかず、必要とされない詳細な道路までもが表示され続ける。例 3 はユーザの要求範囲の一部の要約地図が準備されていないという問題である。ユーザが交通情報などの表示を要求する範囲はユーザの状況によって様々であるため、すべての要求にあらかじめ対応するのは困難である。

したがって、ユーザの状況に応じた最適な要約地図を自動生成する技術が求められている。

要約地図を自動生成する研究は、すでに多数報告されている。広域地図の表示としては、Ware らによって建物などを大きなサイズで表示するために再配置を行うシステムについての報告がなされている⁵⁾。また、携帯端末の小画面上に要約地図を表示するシステムとしては、Hosokawa らによって報告された現在地と目的地を同画面に表示するために座標変換を行うシステム⁶⁾や Agrawala らによる PDA などの携帯端末上に長距離の案内経路を表示し、経路の情報をユーザに分かりやすく伝える Rendering Effective Map⁷⁾などがある。市街地などの道路地図の要約に関しては、道路や建築物などの地点情報である POI (Point Of Interest) などから必要な要素を選択し、直線・直交化を基本とし道路形状を整形するデフォルメ地図生成システムに関する研究が多数なされている^{8)~12)}。

これらの研究では、道路間の接続関係を表すネットワーク構造について、最初に得られた構造を保存したまま整形する方式が検討されている。しかし、広域の地図表示においては縮尺からみて小さな接続関係を保存したままでは十分整形が進められない。そのため、道路のネットワーク構造を簡略化する必要があるが、道路ネットワークを簡略化するという方向での研究は見られない。そこで本論文では、道路ネットワークのネットワーク構造を簡略化する方式を提案する。また、ネットワーク構造要約は従来行われていないため、そ

の有効性について検証が必要である．そこで、ネットワーク構造要約の有効性を検証するため、提案手法によって生成された道路の複雑度測定による評価と、生成された要約地図のユーザ評価を行った．

2. ネットワーク構造要約アルゴリズム

2.1 ネットワーク構造要約の必要性

道路データは通常、交差点を表すノードと道路を表すリンクによって構成されるネットワーク構造を用いて表現される．従来の多くの要約地図の生成方式は、このノードとリンクの座標を変形することにより整形を行っている．この変形の際には、道路の交差関係を現実と矛盾させないために、道路間の交差関係を変えないように整形している¹¹⁾．

しかし、この方式には、たとえば東京エリア全体の道路表示など、広域の道路ネットワークを小さな画面に表示しようとした場合に十分整形されないという問題がある．この問題を、実際の地図を用いて具体的に説明すると次のようになる．図 1 (a) の元地図中の道路に対し、道路形状の簡略化、すなわち直線・直交化を行ったものが図 1 (b) である．この図では、元地図中に存在する微細な交差関係を維持している．そのため形状簡略化を行っても、本質的な情報である経路の分岐や経路の併走といった特徴が現れていない．一方、図 1 (c) では小さな道路を取り除き、併走している道路を 1 つの線分に併合した後、直線化・直交化を行ったものである．このような、道路形状を整形するために道路間の接続関係を意味する道路のネットワーク構造を変化させる処理をネットワーク構造要約と呼ぶ．図 1 (c) はこのネットワーク構造要約の結果、分岐・併走といった経路の特徴が見やすくなっている．以降の節では具体的な微細なネットワーク構造の要約手法を詳細に説明する．

2.2 ネットワーク構造要約の定義と位置づけ

一般に広域地図が表示画面に収まるようにスケール変換すると、表示される道路地図を構成する道路間の距離が小さくなり、ほぼ重なって表示される部分が多くなる．このような、表示上では道路がほぼ重なって見えるような短い距離を ϵ とおく．すると、道路間の距離 $\delta < \epsilon$ のとき、両者はほとんど同一位置と見なしてもよい．しかし、道路の位置がほぼ同一になっても、道路間の接続関係までは同一ではない．道路の要約を行う場合、従来の要約手法は道路のネットワーク構造を変えずに形状を整形する手法であるため、近い位置にあるはずの道路を引き離してしまうなど、適切な整形がなされないという問題がある．そこで、縮

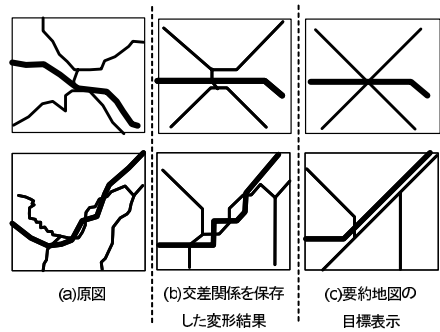


図 1 ネットワーク構造要約の例

Fig. 1 Example of the structural summarization results.

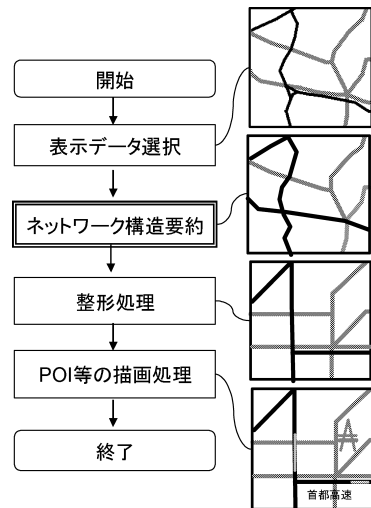


図 2 要約地図生成処理フロー

Fig. 2 Flow chart of the process to generate a well-formed map.

尺に比べて微小な距離しか離れていない道路どうしを併合するようなネットワーク構造要約を行ったのちに整形を行う．

ネットワーク構造要約による道路地図の要約処理の流れを図 2 に示す．まず、ユーザの指定した領域の地図データを取得して、表示画面に入るようにスケール変換する．次にそのデータの微細なネットワーク構造の簡略化を行う．それが図中の二重線部のネットワーク構造要約処理である．その後、道路の直線化と水平垂直化を基本とした道路形状の整形処理を行ったあと、店舗などの POI アイコンや渋滞情報などを重畳する．このように、ネットワーク構造要約処理は道路形状整形処理の前処理であり、道路形状の整形処理とは独立に位置づけられる．

道路ネットワーク構造要約は道路形状の変形をとまなう．そのため道路間に本来存在しない交差を発生す

表 2 ネットワーク構造要約の種類
Table 2 Types of network structural summarization.

| 構造要約の種類 | 図例 | 解説 |
|--------------|----|---|
| (1) N-N 構造要約 | | ノード間のユークリッド距離 $\delta < \epsilon$ のノードを併合し、たとえば 2 点間の midpoint の位置へ移動する。 |
| | | リンク長 $\delta < \epsilon$ のリンクを除去し、両端のリンクを併合し、2 点間の midpoint の位置に移動する。 |
| (2) N-L 構造要約 | | ノードとリンクの最近点との距離 $\delta < \epsilon$ ならば、ノードをリンク上に移動し接続する。 |
| (3) L-L 構造要約 | | リンク間距離 $\delta < \epsilon$ の区間を併合する。ただし、リンクの各点と併合対象リンクとの最近距離 δ_n の最大値を δ とする。 |

るという問題を起こしうる。 ϵ が極端に小さい場合、この移動の影響範囲が小さいため、問題は発生しにくい。しかし、有意な大きさの ϵ では頻繁に発生する。発生した交差は整形処理¹¹⁾においても保存され、整形によってかえって存在しないはずの交差を誇張してしまう。このように、道路のネットワーク構造要約では近い道路を併合することのみが許され、新たに道路間に交差を発生してはならない。

2.3 ネットワーク構造要約の種類

以下では道路のネットワーク構造要約として、 ϵ の値によらず交差を発生させずに構造要約を行う方法について述べる。以下では、十分多数の補間点を持つポリラインは曲線と同等であるため、道路を意味するリンクの形状はすべてポリラインで表現するものとする。道路網はノードとノード間を接続するリンクで構成されるため、構造要約は表 2 に示すように、以下の 3 通りに分類される。

- (1) N-N (ノード-ノード間) 構造要約
- (2) N-L (ノード-リンク間) 構造要約
- (3) L-L (リンク-リンク間) 構造要約

N-N 構造要約はノードどうしを併合する処理であり、N-L 構造要約はノードとリンクを構成する線分とを併合する処理であり、L-L 構造要約はリンクどうしを併合する処理である。点を長さ 0 の線分と見なせば、

N-N 構造要約は N-L 構造要約と同等に扱える。また、リンクの補間点はここでいうノードとして扱うこともできるため、L-L 構造要約は補間点に対する N-L 構造要約によっても実現できる。したがって、まず N-L 構造要約を行うことにより、他のネットワーク構造要約も可能となると考えられる。そこで、以下ではまず N-L 構造要約について検討する。

2.3.1 N-L 構造要約の手法

単純な N-L 構造要約の方法としてはノードを最近接線分上へ移動する方法が考えられる。図 3 (a) 斜線部にこの方法による点移動の影響範囲を例示する。このように点移動によって影響を受ける範囲に他の線分があると、線分間に交差を発生してしまう。そこでダミー点を追加することにより影響範囲を制限し交差を回避する例を図 3 (b) に示す。ここでいうダミー点とは、線分上に追加された屈曲点であり、ダミー点の追加によって道路形状は変形しない。

ダミー点の追加による影響範囲の制限によって点移動の影響範囲を他の線分が存在しない範囲に限定する方法について、図 4 の点 p を最近接線分 L 上に移動する例を用いて示す。まず、点 p の最近接線分 L を検索する。p と L 間の垂線距離を半径とする円 C 内に他の線分が存在した場合、その線分が最近接線分であるため仮定に反する。したがって、円 C 内に他の線分

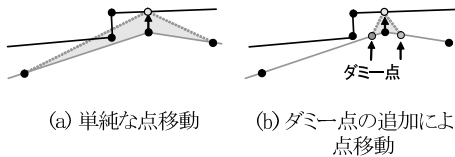


図 3 (a) 交差が発生している例 (b) ダミー点によって交差が回避できた例

Fig. 3 (a) Example for crossing lines. (b) Dummy points added to eliminate problems.

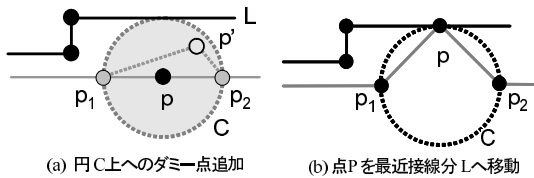


図 4 点 p を線分 L 上へ移動する方式. (a) 円 C との交差上にダミー点 p_1, p_2 を追加. (b) 点 p を線分 L 上に移動
Fig. 4 Method to move point p onto line L. (a) Add dummy points p_1 and p_2 on circle C. (b) Move point p onto line L.

は存在せず、影響範囲を円 C 内に制限すれば交差は発生しない。そこで点 p に接続する線分と円 C の交点にダミー点 p_1, p_2 を追加する。これにより、単に点 p を線分 L 上に移動すれば交差なく N-L 併合が行える。

2.3.2 L-L 構造要約

上述のとおり、リンク補間点に N-L 構造要約を適用することにより L-L 構造要約が行える。以下にそのステップを示す。

- Step1. リンク補間点の最近接線分との距離を測定する。
- Step2. Step1 で測定した距離が ϵ 以内であれば、N-L 構造要約を行う。
- Step3. Step2 によって移動した線分の構成する閉多角形を線分にする。
- Step4. 線分上にあり分岐点でない点を間引く。

これらのステップについて図 5 を用いて説明する。Step1 では各リンク補間点との垂線距離が ϵ 以下でかつ最も小さい線分を検索する。Step2 では各補間点と Step1 で検索した線分との間で N-L 構造要約を行う。Step3 では Step2 で生成された斜線部閉多角形を線分にする。閉多角形内に他の線分が存在しないならば、多角形を斜線部内に包含されるように変形しても交差は発生しない。N-L 構造要約によって生じた閉多角形内には他の線分が存在しないので、この閉図形を閉図形の一辺である線分に変形しても交差は生じない。最後に Step4 では特徴点ではなくなった点を消去する。この方法により、交差を発生させない L-L 構造要約

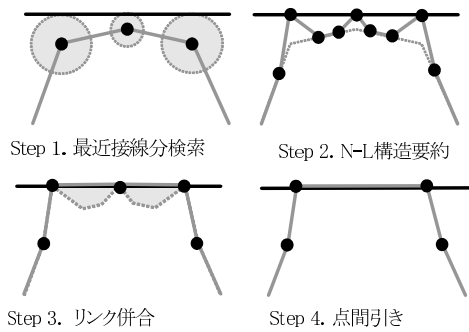


図 5 L-L 構造要約のステップ
Fig. 5 Individual steps for L-L structural summarization.

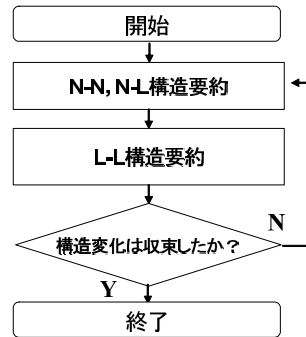


図 6 ネットワーク構造要約のステップ
Fig. 6 Individual steps for structural summarizations.

が可能となる。ただし、図 5 の例のように L-L 構造要約ではリンク数が増加する。特にリンク端点付近に小さなリンクが発生しやすい。しかし、L-L 構造要約の後で N-N 構造要約を行えば、このような小さなリンクは消去できるため、これを繰り返す。すなわち、ネットワーク構造要約は図 6 に示す処理となる。

3. 実験と評価

3.1 実験および評価の目的

一般に狭域の要約地図では現実との矛盾をさけるため道路間の交差を保存しなければならない。一方で本方式は、広域地図のスケールで重要ではないと考えられる小さなネットワーク構造を簡略化し、より整形を進める方式である。そのため、以下の 2 点について検証を行う必要がある。1 つは、ネットワーク構造要約によって実際に整形が進むのかという点である。もう 1 つは、狭域地図では保存すべきネットワーク構造が、広域地図の場合には要約されていても有用であるかという点である。そこで今回、提案したネットワーク構造要約アルゴリズムを実装し、その処理結果に対し評価を行った。実験サンプルとしては、ダイクストラ法によって探索した経路データを用いた。出発地と目的

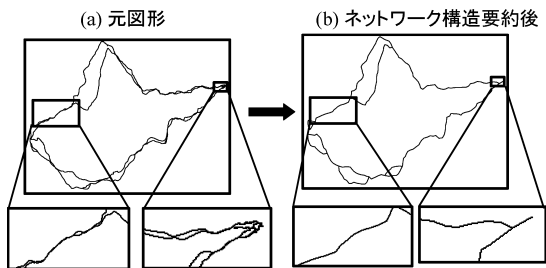


図 7 ネットワーク構造要約の結果

Fig. 7 Example for a result of network structural summarization.

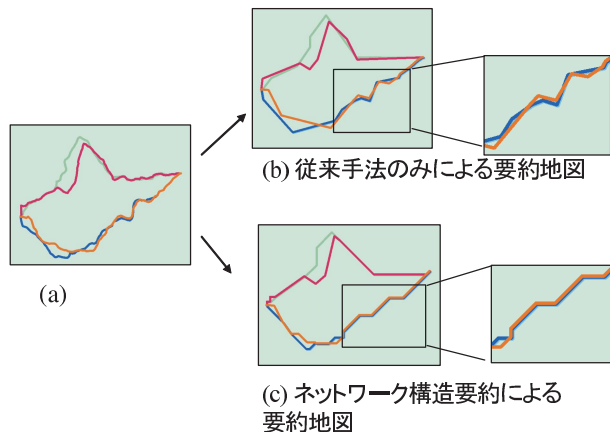


図 8 ネットワーク構造要約ありの結果となしの結果の比較

Fig. 8 Contrast with network structural summarization and without it.

地の 2 点を設定後，出発地から目的地への経路を探索し，経路探索に用いるリンクコストの算出法を変えることにより得られた複数の経路探索結果を重ねたものをサンプルとした．各経路間にネットワーク構造要約処理を適用した後，交差関係を保存したまま整形し，最後に重なった経路を平行にずらすことにより，要約地図を生成した．

本実験の目的は，ネットワーク構造の要約により整形を進めることによる広域要約地図を生成することの有効性の検証である．この評価実験では 2 つの観点で評価した．第 1 の評価観点は，実際に整形が進むようになったかという観点である．そこで，従来の整形による要約結果とネットワーク構造要約後の整形結果のそれぞれについて，複雑度を測定しその結果を比較することによって評価を行う．第 2 の評価観点はネットワーク構造要約によって経路間の小さな差異が失われたことが問題にはならないかという観点である．この評価のために，ユーザ評価として生成された要約地図に関してアンケートを行った．以下ではこれらの実験と評価の詳細について述べる．

3.2 実験結果

まず，ネットワーク構造要約の結果例として東京～名古屋間の経路を図 7 に示す．(a) が元データであり，これをネットワーク構造要約し，(b) を得た．この際，経験的に適切な結果が得られるよう調整し，閾値 ϵ を経路の外接矩形の長辺の長さの 0.12% とした．この図から分かるように，ネットワーク構造要約が行われたことで詳細な構造が単純化され併走している道路を併合できている．

この後，変形を施し併合された道路をずらして表示することで，目標とした要約地図に近い表示ができる．その例を図 8 に示す．この図では (a) のデータについて要約地図の表示を行っている．(b) ネットワーク構造要約を行っていないものについては，詳細構造が残ったままであり，整形が十分行われていない．一方，(c) は (a) のネットワーク構造を要約し，整形し重なった線分を平行移動して表示したものである．併走する線分が併合され複雑な交差関係が省略されたためより整形されている．以上により，本方式によって整形がより進められることが確認できた．

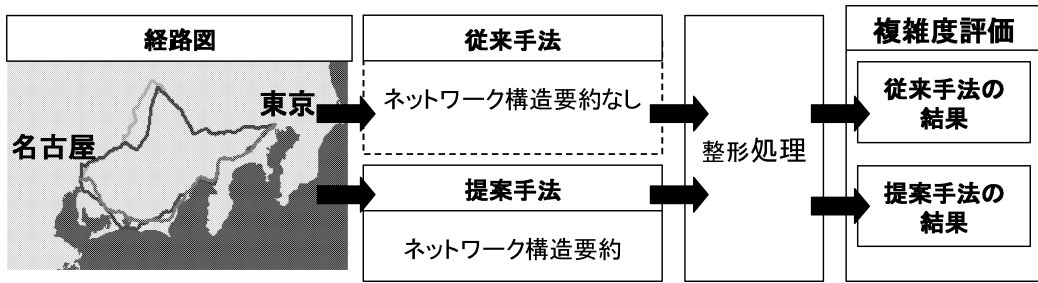


図 9 複雑度評価の実験手順

Fig. 9 Individual steps for evaluation with complexity.

3.3 複雑度評価

3.3.1 複雑度評価の方法

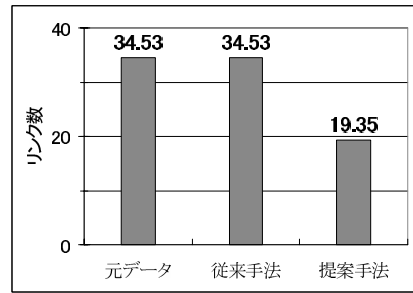
まず、複雑度による評価について述べる。今回、複雑度としては2つの指標を用いた。第1の指標はリンク数である。一般にリンク数が少ないほどネットワーク構造は単純である。N-N・L-L 構造要約でリンク数が減少し N-L 構造要約で増加すると考えられるため、全体的なリンク構造単純化の度合いを評価する必要がある。そこでリンク数をネットワーク構造の複雑さを表す評価値とする。

次にネットワーク構造要約による形状簡略化の評価のため、フラクタル次元による形状複雑度評価を行った。フラクタル次元は図の大きさなどによらず、形状が直線的ならば1になり、線分が密集すると2になる指標であり、図形の複雑さの指標としてよく用いられている^{14),15)}。今回の評価ではフラクタル次元としてよく用いられるボックス次元¹⁶⁾を評価値として用いる。空間を1辺の長さ r の正方形で分割し、線分が通過する正方形の数 n を数える。この数は線分を描画する際に色を塗る画素数と同等である。 r を変えながら n を多数測定して、

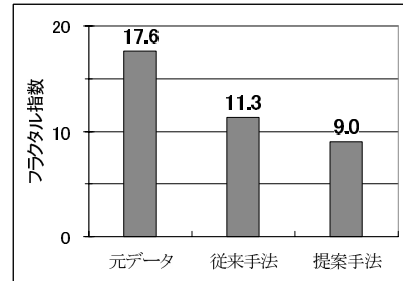
$$D = -\frac{\log n}{\log r} + C \tag{1}$$

となる D がボックス次元である。ただし、 C は定数とする。ボックス次元は解像度に対する描画ピクセル数の変化率と同等である。この変化率は画像がつぶれてしまう頻度と同等であるため、低解像度の画面における視認性の評価として用いることができる。線図形のフラクタル次元は一般に1から2の範囲に収まるので、今回は評価のためのフラクタル指数 F を $F = (D - 1) \times 100$ と定義して用いる。

図9に示すように、従来の整形による要約結果とネットワーク構造要約後の整形結果のそれぞれに対し、これら2つの複雑度指標を測定した。従来手法の結果に比べ提案手法の結果の複雑度が減少していればネッ



(a) リンク数の比較



(b) フラクタル指数の比較

図 10 複雑度評価の結果比較

Fig. 10 Contrast of complexity.

トワーク構造要約によって要約が行えていることが確認できる。

3.3.2 複雑度評価の結果

複雑度を測定した結果として図10に40例の平均値を示す。従来のネットワーク構造要約処理を行わない要約処理では、リンク数の平均は元データと変わらない34.5という値になった。それに対し、ネットワーク構造要約を行うことで、リンク数が19.5まで減少し、接続関係が簡略化されていることが確認できた。また、フラクタル指数は元データの平均17.6が、ネットワーク構造要約なしでも11.2まで減少している。しかし、ネットワーク構造要約を加えることにより9.0まで減少していることが確認できた。このことから、

密集していることにより形状の複雑さの要因となっていたリンクが減少したものと考えられる。

3.4 ユーザ評価

3.4.1 ユーザ評価の方法

次にユーザ評価を行った。このユーザ評価は地図を実際に使用される用途を想定して行った。通常、地図の用途の多くは実地において道路などの位置関係を知ることにあるが、それには地名やPOIなどの表示が必要である。したがって、要約された道路の名称表示方式などの提案手法に適した地名の選択方式や配置方式が別途必要となってしまう、提案手法だけを適切に評価することができない。また、提案手法は広域の地図を対象にしているため、ユーザが広域の実地状況を把握していることを想定しなければならないが、実地において遠方の状況を把握するという想定は現実的ではない。

そこで、今回は地名などの表示や実地での評価が必要ではない用途として、実際に経路を通る前に経路の大まかな特徴を把握するという状況を想定し、机上でのアンケート方式による評価を行うこととした。この用途では、たとえば北回りか南回りかという程度の経路概略が机上で確認できれば有効といえる。

そこで今回のアンケートは以下の手順で行った。まず、従来のネットワーク構造要約を行わない整形結果とネットワーク構造要約を行った整形結果の2つを画像にし印刷した。その例のうち従来手法と提案手法の差が出ているもの10サンプルに対し、実地との比較のため、要約前の地図とともに図11に示すように並べて被験者に提示した。この際、それぞれの結果を入れ替えることにより、どちらが提案手法であるかを分からないようにした。次に、図12に示すように、各サンプルに対し2つの設問を用意し、5段階評価をつけてもらった。

前述のとおり、今回の評価はネットワーク構造を要約することによって経路の差異が失われすぎでないかという点と、地図の整形がより進んでいるかという点の2つの観点について、提案手法の有効性を検証することにあるため、この2つの観点に関する設問を用意すればよい。ただし、要約地図の主観評価には色や細かな形状など細かな差異が評価に影響するため、抽象的な設問を用意し、多数のサンプルについて尋ねることで有意な差を見出せるようにした。設問1は、ネットワーク構造要約によって経路間の小さな差異が失われたことが問題にはならないかという観点から、距離感を保っているかを尋ねた。設問2では、整形が進んだことによる影響を見るため、図形の心地よさに

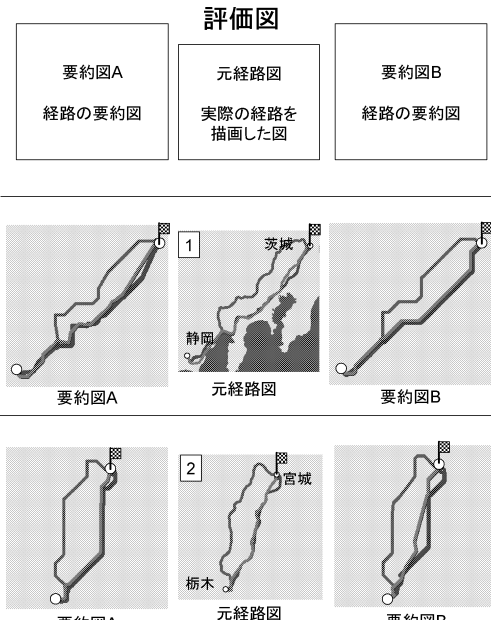


図 11 ユーザ評価に用いた評価対象サンプル図
Fig. 11 Samples used for user evaluations.

設問 1. 元経路図の距離感が保たれていますか？



設問 2. 見ていて心地よい図はどちらですか？



図 12 アンケートの設問

Fig. 12 Questions in the questionnaire.

ついて尋ねた。

これらの各設問について得られた5段階評価の評定値をそれぞれの経路図のスコアとする。今回、このアンケートを20人の被験者に対して行った。従来手法による経路図と提案手法による経路図のそれぞれについて、10サンプル×20人の計200サンプルについて平均スコアを計算した。提案手法による経路図が従来手法による経路図に比べ高い平均スコアを得られていれば、ネットワーク構造要約の有効性が確認できる。

3.4.2 ユーザ評価の結果

ユーザ評価のスコア平均値とスコア差の平均値を表3と表4にそれぞれ示す。設問1の結果によるとネットワーク構造要約ありの結果の方がわずかに距離感を保っている。これらの2標本t検定を行うと、この差が統計的に有意でない確率は22.12%であった。

表 3 アンケート調査結果のスコア平均値
Table 3 Averaged score in the questionnaire.

| 方式 | 平均スコア | |
|------|-------|------|
| | 設問 1 | 設問 2 |
| 従来方式 | 3.18 | 2.90 |
| 提案方式 | 3.25 | 3.70 |

表 4 アンケート調査結果のスコア差の検定
Table 4 Statistical tests for difference between results.

| | 設問 1 | 設問 2 |
|-------------------|-------|--------------|
| (従来 - 提案) のスコア差平均 | -0.08 | -0.81 |
| 差が有意でない確率 | 22.1% | $10^{-11}\%$ |

設問 2 では、提案方式のスコアが従来方式に比べ高い。2 標本 t 検定によると、この差が有意でない確率は $1.03 \times 10^{-11}\%$ と非常に小さく、従来との差異があると考えられる。

4. 考 察

4.1 複雑度評価について

ネットワーク構造要約によって、リンク数は半数近くまで減少させることができた。今回実験サンプルとして用いた経路データは、ある程度近くを走る経路 5 つの重ねあわせである。全体的な傾向としておおむね 2 つから 3 つ程度に固まっていることが目視により確認できるため、妥当な結果であると考えられる。フラクタル次元は混雑している曲線ほど 2 に近く、直線的であるほど 1 に近い。併合前に比べ N-N 構造要約後のデータは直線的であり細かな位置関係が簡略化された。また、その後の L-L 構造要約によってさらに直線に近づいている。これは複雑に交差し 2 次元的な振舞いをしてきたリンクがネットワーク構造要約により 1 つの直線としての振舞いになったためである。閾値以下に近接している部分のみの効果であるためフラクタル次元の減少量は多くはないが、全データで次元が減少しており確実に要約できていることが分かる。

以上の結果から、構造要約を行うことで複雑に入り組んだリンクが減少したことが確認できた。つまり、近接したリンクが存在することによって整形処理が行いにくくなるという問題が解消されたと考えられる。

また、この整形処理では整形中に交差が発生した場合にその交差を回避する処理を実装しているが、入り組んだネットワーク構造が要約された結果、交差回避処理の実行回数が減るといった利点もあった。この結果から、ネットワーク構造要約によって当初目標とした要約地図に近い表示になっており、本手法が整形処理の前処理として有効であることが確認できた。

4.2 ユーザ評価について

今回のユーザ評価の結果により、ネットワーク構造要約によって要約地図の視認性が改善できることが分かった。これらの評価について具体的な例を表 5 に示す。

設問 1 はネットワーク構造の要約によって、近くにある道路を 1 つに併合することが元地図を過剰に変形していないかを確認するものである。平均値の差はごくわずかであり、特に問題はなかった。実際にネットワーク構造要約を行わない方が距離感を保つという結果が得られた図の例が表 5 の 1 図である。逆にネットワーク構造要約によって距離感を保つようになった図が表 5 の 10 図である。これらの例における差は、被験者のコメントによると図中の点線で囲んだ部分が原因であることが分かった。表 5 の 1 図の点線部は元々離れている部分がネットワーク構造要約によって併合された部分である。一方の表 5 の 10 図はネットワーク構造要約によって細かな交差が除去された部分である。ネットワーク構造要約を行わない場合、整形によって細かな交差が拡大してしまうことによりかえって距離感を失わせていると考えられる。このように、ネットワーク構造要約ではどのリンクを併合するかが重要であり、今回の手法のように閾値 ϵ によって決定するだけでは不十分である。たとえば高速道路と一般道が併走している場合のように、ユーザが併走と認識しているような道路に限り併合するなど、閾値以外の併合条件を追加することによって、より距離感を保つような要約が可能であると推測される。

設問 2 はネットワーク構造の要約により整形が進むことの確認である。統計的検定にも表れているように平均値の差は有意である。また、10 例のすべてについて提案手法の方が良い評価を受けていた。ここから、ネットワーク構造要約によって整形がより進むことが明らかになった。実際表 5 の 10 図のような例では評価の差が大きく、ネットワーク構造要約が有効であることが確認できた。10 例中最も評価差が小さかった例は表 5 の 7 図で、ネットワーク構造要約を行わなくても十分整形が進んでいる例であった。このように、ネットワーク構造要約を用いることで整形がより進むことが確認された。

現在、VICS などにより交通情報が配信されている道路は一部の道路に限られている。そのため、交通情報の提供という目的からすると、交通情報が配信されていない道路は表示する必要性が小さい。そこで、交通情報の配信されない道路を優先的に要約することによって、交通情報が提供できる道路の整形が進み、よ

表 5 アンケート結果の例
Table 5 Examples for results of the questionnaire.

| 図 | 図と方式の対応 | (従来 - 提案)の平均 | |
|---------------------------------|----------------------|--------------|-------|
| | | 設問 1 | 設問 2 |
| <p>要約図A 元経路図 要約図B</p> | 従来：要約図 A 提案：要約図 B | 1.05 | -0.50 |
| <p>要約図A 元経路図 要約図B</p> | 従来：要約図 B 提案：要約図 A | -0.60 | -0.10 |
| <p>要約図A 元経路図 要約図B</p> | 従来：要約図 B 提案：要約図 A | -0.90 | -1.75 |

り視認性の高い交通情報表示が行えると考えられる。

5. おわりに

本論文では、小画面端末向けの広域交通情報サービス提供のため、広域の要約地図を表示領域決定後に自動生成するために必要となる道路のネットワーク構造要約の方式について提案を行った。この要約処理を実装し、経路データを例に評価実験を行うことにより、ネットワーク構造要約の正当性を検証した。複雑度による評価では、提案方式によってネットワーク構造が単純で概略的な構造に変形されていることが分かった。この簡略化がユーザにとって有効であるか検証するため、アンケートによるユーザ評価を行ったところ、ネットワーク構造要約によって距離感を失わせることなく整形が進められることが分かった。以上から、ネットワーク構造要約によって広域地図の自動要約によってより視認性の高い交通情報提示を行うの見込みを得た。

今後は本方式によって生成された要約地図を利用し、交通情報などを要約して分かりやすく提示する方式について検討する予定である。

参 考 文 献

- 1) 松下 温, 屋代智之: ITS の通信基盤の展望と課題, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol.J82-B, No.11, pp.1950-1957 (1999).
- 2) 財団法人道路交通情報通信システムセンター: VICS HOME PAGE. <http://www.vics.or.jp/>
- 3) 交通情報サービス株式会社: ATIS. <http://www.atiss.co.jp/>
- 4) 東日本高速道路株式会社, 中日本高速道路株式会社, 西日本高速道路株式会社: ドライバー's Navi. <http://www.nexco.ne.jp/>
- 5) Ware, J.M., Wilson, I.D., Ware, J.A. and Jones, C.B.: A Tabu Search Approach to Automated Map Generation, *Proc. 10th ACM international symposium on Advances in geographic information systems*, pp.101-106 (Nov. 2002).
- 6) Hosokawa, Y., Kimura, N. and Takahashi, N.: An implementation method of a locationbased active map transformation system, *Proc. 6th International conference on Mobile data management MEM'05*, pp.13-21 (2005).
- 7) Agrawala, M. and Stolte, C.: Rendering Effective Route Maps: Improving Usability Through Generalization, *Proc. 28th annual conference on Computer graphics and interactive tech-*

niques, pp.241–250 (Aug. 2001).

- 8) 藤井憲作, 杉山和弘: 歩行者ナビゲーションのための案内文生成手法, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J82-D-II, No.11, pp.2026–2034 (1999).
- 9) 河北秀世, 有川正俊, 上林禰彦: 大量の結果を生成する地理データベース質問に対するブラウジング機能, 情報処理学会研究報告, 1993-DBS-096 (Oct. 1996).
- 10) 山守一徳, 本田 宏, 長谷川純一: ストリート単位の変形に基づく道路網の整形手法, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J84-D-II, No.9, pp.2058–2069 (2005).
- 11) 山本輝俊, 梶田健史, 山守一徳, 長谷川純一: デフォルメ地図自動生成のための並列型道路変形手法の提案とその実験的評価, 情報処理学会研究報告, CVIM, 106-4 (July 1997).
- 12) 丸山貴志子, 谷崎正明, 嶋田 茂: デフォルメマップ生成のための道路形状正規化モデルとそのシステム評価, 電子情報通信学会論文誌 A, Vol.J87-A, No.1, pp.108–119 (2004).
- 13) 梶田健史, 山守一徳, 長谷川純一: デフォルメ地図自動生成システムの開発, 情報処理学会論文誌, Vol.37, No.9, pp.1736–1744 (1996).
- 14) 上村郷志, 長谷川美紀, 北島秀夫: フラクタル次元を指標とした線画像の外形を保持した単純化法, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J85-D-II, No.3, pp.435–447 (2002).
- 15) 小池英樹, 石井威望: フラクタルの概念に基づく情報量制御手法, 情報処理学会論文誌, Vol.33, No.2 (1992).
- 16) 金子 博: フラクタル特徴とテクスチャ解析, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J70-D, No.5, pp.964–972 (1987).

(平成 18 年 3 月 31 日受付)

(平成 18 年 10 月 3 日採録)



浅原 彰規

平成 14 年北海道大学理学部物理学卒業。平成 16 年北海道大学大学院理学研究科物理学専攻修士課程修了。同年(株)日立製作所入社。以来, 中央研究所にて空間情報システムの研究に従事。電子情報通信学会会員。



嶋田 茂(正会員)

昭和 50 年名古屋工業大学大学院生産機械修士課程修了。平成 9 年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。工学博士。昭和 50 年(株)日立製作所入社。以来, 中央研究所にて, パターン認識による地図・図面入力システム, 空間情報システムの研究に従事。現在, 同研究所主任研究員。電子情報通信学会, IEEE, ACM 各会員。



丸山貴志子(正会員)

昭和 63 年お茶の水女子大学大学院理学系研究科修士課程修了。平成 4 年総合研究大学院大学数物科学研究科統計科学博士課程修了。博士(学術)。同年(株)日立製作所入社。以来, 中央研究所にて, 空間情報システムの研究に従事。現在同研究所・主任研究員。電子情報通信学会会員。