

テレマティクス空間情報サービスのための領域検索の高速化方式

谷崎 正明[†] 丸山 貴志子[†] 嶋田 茂[†]

カーナビゲーションの分野では、携帯電話通信網を用いて空間情報や交通情報等を車載端末へ配信するテレマティクスサービスが普及しつつある。ここで我々は、高速に空間情報を車載端末へ配信するため、経路に沿った帯状の多角形領域の検索を行う Snake-Shaped Region (SSR) Retrieval Method を提案する。さらに、この方式の検索性能を向上させるため、1) 検索領域の多角形の簡略化を行う方式、2) 空間索引木のセル単位に検索領域を分割することにより交差および包含判定処理の負荷を削減する方式、3) 端末における応答性を向上させるため、現在地付近の情報だけを先に送る分割配信方式、4) さらに車載端末が提供を受けた案内経路から逸脱した際の対応のための複数レイヤ提供方式について検討を行った。またこれら提案方式の有効性を評価するためにプロトタイプシステムを開発し、全米 1,200 万件の道路データを用いて測定した。その結果、都市域であっても 200 mile 以内の経路では約 10 秒以内に端末でナビゲーション機能を開始できることを確認でき、実サービス適用への見通しを得た。

High Speed Region Retrieval Method for Telematics Spatial Information Services

MASAAKI TANIZAKI,[†] KISHIKO MARUYAMA[†] and SHIGERU SHIMADA[†]

Telematics services, which provide map and traffic information via mobile phone wireless networks, have spread recently. We propose a new map retrieval method within a Snake-Shaped Region (SSR) along a driving route corridor. We considered four techniques. The first is by simplification of the SSR. The second is by dividing the SSR with cells of a spatial search index. The third is by split distributions for an efficient transfer. Finally, the fourth is multilayer distributions for route deviations. We have developed a prototype based on these proposed methods. The prototype uses United States road map data, which amounts to approximately 12-million road features, and provides route guidance information. Even in an urban area, we managed to provide an approximately 200-mile route area of guide information within 10 seconds.

1. はじめに

1.1 テレマティクスサービスの概況

自動車等に搭載されるモバイル端末に無線通信デバイスを組み合わせ、サービスセンタから各種情報を提供するテレマティクスサービスの分野では、図 1 に示すように、交通情報やナビゲーション、およびエンタテインメント向け音楽配信等のサービスが商用化されている。これらの中で、現在最も市場の伸びが期待されているのは、車載端末へリアルタイムに渋滞や事故情報を提供する交通情報サービスである。

特に米国では、ATIS (Advanced Travelers Information System)¹⁾ に代表される交通情報サービスの普及が進んでおり、すでに 1990 年代初頭から官主体の

511 サービス²⁾ や民間主体の WestwoodOne³⁾, Traffic.com⁴⁾ 等が事故や交通渋滞等の情報提供を行っている。欧州諸国においても、交通渋滞や予測情報を提供する民間主体のサービスが開始されており、英国の Trafficmaster 社⁵⁾ やドイツの DDG 社⁶⁾ 等のサービス例がある。

一方、日本における交通情報サービスの状況としては、官公庁主体のプロードキャスト型交通情報サービス (VICS: Vehicle Information and Communication System⁷⁾) が 1990 年より立ち上がっているものの、民間のサービスとしては遅れていた。しかし 2002 年から民間サイトによる VICS の情報付加サービスが認可され、従来の不特定多数向け放送メディアを介したサービスから、各個人向けにカスタマイズされた On Demand 型のサービスへと急速に市場展開が始まろうとしている。

[†] 株式会社日立製作所中央研究所

Central Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

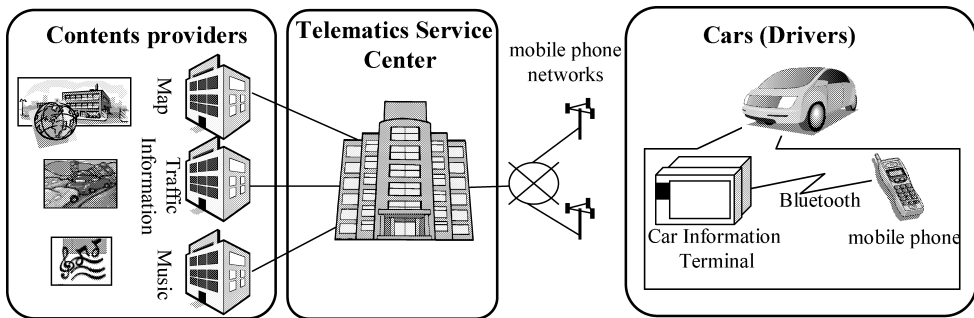


図 1 テレマティクスサービスシステムの構成
Fig.1 Architecture of telematics service systems.

1.2 テレマティクスサービスの実現手法

これら交通情報サービスの車載端末への情報提供手段として、従来のカーナビの表示方法と同等に、地図や簡易図形を提供して表示する方式が用いられることが多い。たとえば 2002 年に商用化された Air Navi⁸⁾では、クライアント/サーバ構成により、最新の交通情報が得られるようなテレマティクスサービスが発表されている。このシステムでは、車載端末に詳細な地図データベースを備える代わりに、サーバにおいて検索された最新の交通情報やナビゲーション情報が、携帯電話通信網を介して提供される。この Air Navi を皮切りに、日本の自動車会社からも本格的なテレマティクスサービスが開始されるようになり、現在までの代表的なものとして CarWings⁹⁾、G-Book¹⁰⁾、Premium Club¹¹⁾ 等がある。

一方、欧米でもこのようなテレマティクスサービスによる交通情報サービスが急速に普及し始めている。その事例として、PDA や携帯電話への簡易図形を用いたサービスを目的とした Webraska Navigation¹²⁾ や、MapQuest Mobile¹³⁾ 等があげられる。これらはいずれもサーバ側に必要なエリアの検索と交通情報の重畳処理が行われた後に、各クライアントに向けて情報配信が行われる構成となっている。このように交通情報と組み合わせることにより、たとえば混雑している道路を避けたり、工事等で封鎖されている道路を迂回したりするといった案内情報を提供することができる。

また、日本国内においてすでに普及しているナビゲーションシステムのように、DVD ドライブや HDD に全地図情報を保持する製品があり、アルパイン社からは更新用の差分地図情報を DVD を用いて HDD に格納された地図情報を更新する方式¹⁴⁾ も発表されている。これに対して、本稿で対象としているテレマティクスサービスによる方式では、端末のハードウェア構

成から HDD 等の数十 GB 程度の大規模記憶装置を省いた形態でも適用できることから、携帯電話や PDA 等幅広いモバイル端末もサービス適用の対象とすることができる。これによりテレマティクスサービスの普及促進を図ることが可能と考える。

このようなテレマティクスの形態により交通情報の提供サービスを実現するための課題としては、次のような項目があげられる。

- (1) CPU やメモリ等のリソースが小さな車載端末へサービスを提供するためには、サーバにおいて地図データベースから必要最小限のエリアを検索し、最新の交通情報と合わせて提供する必要がある。
- (2) 車載端末とテレマティクスサービスサーバとの間には、携帯電話通信網を介したクライアント/サーバの関係を構成する必要がある。しかしその間の携帯電話通信網は LAN 等の有線通信網に比べて低速で不安定なため、できるだけ転送データ容量を小さくする必要ある。

本稿では、このような車載端末へのテレマティクスサービスを実用レベルで実現するための課題を解決するために、SSR (Snake-Shaped Region Retrieval) と称する高速な空間情報の検索と送信方式の提案を行う。さらにこの提案方式を従来の木構造索引に適用した実装およびその評価を行うことによりその効果を示す。以下 2 章では従来研究と課題解決のアプローチ、3 章では SSR の高速化手法、4 章では提案方式を適用して実装した試作システムを用いた評価について述べる。

2. 従来研究と課題解決の方針

2.1 地図データベース検索方式

テレマティクスサービスを、地図データベースを処理する観点から眺めると、従来の車載端末のクライアント処理系に、交通情報を提供するサーバ処理系が加

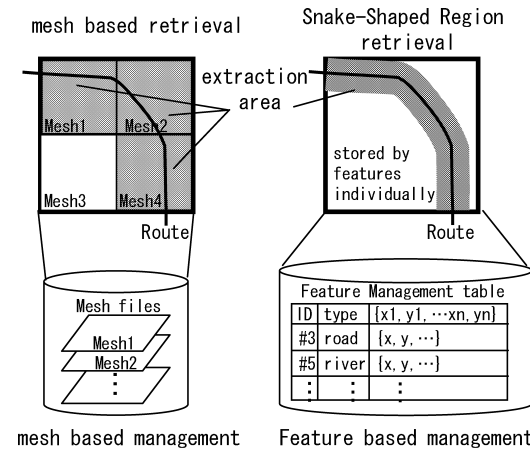


図2 メッシュ単位とフィーチャ単位による検索および管理方式の比較

Fig. 2 Comparison of retrieval and management methods based on meshes and features.

わることになる。テレマティクスサービスの性能を左右するのはこのサーバ処理系にあるため、特にサーバにおける地図データベースの検索方式についての状況を説明する。

従来のスタンドアロン型のカーナビゲーションシステムで広く用いられていた地図データの管理方式としてメッシュ管理方式¹⁵⁾がある。この方式では、車載端末の小さな処理能力でも適度な処理速度を得るため、図2左に示すように、地図データを小さな矩形エリア（これをメッシュと称する）に分割して管理し、関係するメッシュ部分だけを検索して処理負荷の増大を防いでいた。ところがこのような地図データベースの管理と検索処理を行う環境が、CPU性能やメモリの大きなサーバに構築される場合には、必ずしもこのメッシュ管理方式が効率良いことにはならない。特にカーナビゲーションでよく行われる経路探索等の処理では、メッシュ間で分断されている道路を接合して探索計算にあてる処理のオーバーヘッドが頻繁に発生する。このことからサーバ処理の多いGIS (Geographical Information System) の分野では、図2右に示すように、道路・河川等といった個々の地物を表すフィーチャ単位にデータを管理する方式が用いられている¹⁶⁾。このようなフィーチャ管理方式ではメッシュ単位の検索の代わりに、検索条件に記述された領域と包含または交差の関係にある図形データを属性として持つフィーチャだけが抽出される。

今回検討の対象とするテレマティクスサーバでは、このようにフィーチャ単位の管理方式を用いており、カーナビゲーションユーザに対してはスタート位置が

ら目的地に至る探索経路に沿った地図情報を車載端末へ効率良く提供する方式について考えることにする。これは、ドライバにとって必要な経路沿いの地図データを、サーバにおいて地図データベースから幾何的な条件検索により求めて提供するというニーズとなる。このニーズに対応するため、サーバにおいて道路をフィーチャ単位に地図データベースで管理し、経路に沿った細長い領域を多角形で検索条件として指定して、その内側に存在するフィーチャだけを高速に検索する方式を提案する。この帯状の多角形領域は蛇の形状に似ていることから、蛇状領域〔SSR (Snake-Shaped Region)〕と命名し、このSSRを用いた高速検索方式を以降SSR検索と略称することにする。

2.2 従来研究

前節で述べたように、経路沿いの地図情報を提供するSSR検索を用いたサービスは、車載端末へ送信するデータ容量を削減でき、ドライバへ経路案内を行うために必要最小限の範囲の最新地図が得られる点において有効であると考えられる。配信データ容量の比較については4.1節で詳述するが、メッシュ管理方式に対して約1/6に削減できることが確認できている。その一方、空間情報サーバにおいて、この経路沿い領域の地図情報抽出機能を実現するには、多点構成のSSRに交差または包含する道路等の図形データのみを抽出する処理を行うことになる。

従来、道路のような広がりのある折れ線等の図形データの空間検索処理の高速化のために、階層的な木構造による索引技術に関して、次のような方式が提案されてきた。

- 四分木¹⁷⁾：二分木索引を水平垂直方向に適用した方式である。また四分木のリーフだけでなく各階層のノードにも図形データを登録できるよう拡張し、登録対象となる図形データをその外接矩形が包含される最小の矩形を持つリーフもしくはノードに重複なく登録する階層型四分木¹⁸⁾も提案されている。
- R木²⁰⁾：図形データの外接矩形間の包含関係をもとに階層的に木構造に構成したバランス木索引であり、各リーフへの到達コストが均一化される利点がある。またこれを改良したR*木²¹⁾も提案されている。
- GBD木²²⁾：図形データの検索時にはR木と同様に外接矩形を用いる一方、図形データ投入や削除の際のノードの分割管理には領域式と呼ぶ図形中心点の表現方式を用いることで、木構造中の図形データが一意に決まるという特徴がある。

これらの索引方式は、基本的に各図形データへのアクセスが均一となるよう考慮されているため、空間検索のなかでも特に、指定した位置に最も近接する要素を抽出する近傍検索に有効である。しかし本研究の課題としているような SSR の多点構成図形を条件とした範囲検索に適用した場合にはその効果は発揮されず、実用的なレベルのレスポンス時間で処理することはできなかった。その理由として、いずれの木構造索引を用いても、SSR と交差または包含関係にある木構造セルを探索するまでの処理は短時間で終わるが、次にその交差するセルに格納されている個々の図形データが真に SSR に交差あるいは包含されるかどうかの判定処理に時間がかかり、十分な効果が得られなかったと考えられる。

我々はこの問題を把握するため、実際の米国の道路データを用いた評価実験を、日立製作所のデータベース管理システム製品である HiRDB (以後、HiRDB)²³⁾、および、階層型四分木を備えた同空間索引製品 Spatial Search Plug-in (以後、SSP)¹⁸⁾ を用いて行った。この SSP には四分木の各階層のノードに以下のように図形データを登録できるように拡張した階層型四分木が実装されている。管理対象とする道路データは折れ線図形であり、この折れ線の外接矩形が包含される矩形を持つノードに格納する。このとき、四分木の最上位層は管理対象とする全平面を表す矩形を持つ。この矩形を縦横 1/2 に分割してできる矩形を 1 段下の階層のノードに持たせる。同様にさらに下位層のノードの矩形を定める。図形データの登録の際には、最下位層において図形データの外接矩形を包含する矩形を持つリーフを探す。もし単一のリーフの矩形に納まらなければ、1 段上位のノードの矩形を探す。もしまた複数のノードの矩形にまたがる場合にはさらに 1 段上のノードの持つ矩形を探す。これを繰り返し、単一のノードの矩形に図形データの外接矩形が包含されるまで繰り返し、登録するノードを決定する。

これらを用いて、全米の道路フィーチャ 1,200 万件を格納して、200 mile の経路に沿った SSR の多角形の範囲検索を行った。測定環境として、CPU 2.4 GHz、Mem 640 MB、HDD ATA133、OS Windows XP Pro. の PC を用いた。この測定の結果、検索処理における範囲検索の SQL 実行処理時間だけで約 40 秒を要することを確認した。またこの検索処理時間のうち、SSR に交差または包含する矩形セルの探索ではなく、ヒットしたセルに格納されている各図形データが SSR に交差または包含しているかを判定する処理に約 80% の時間が割かれていた。これらのことからテ

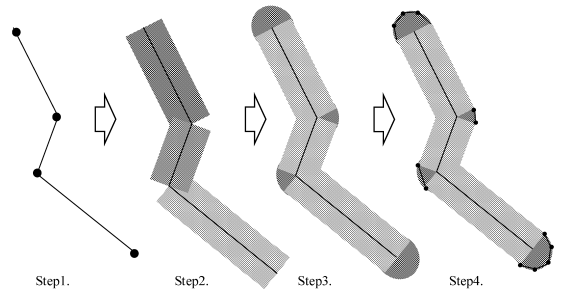


図 3 経路折線図形から検索領域 SSR の生成

Fig. 3 Process flow of SSR generation.

レマティクスサービスの実用化に向けて、SSR 検索処理の性能改善が必要であると判断した。

なお、SSR の多角形と道路の折れ線図形間の交差判定処理では、双方の図形の外接矩形間の交差判定により絞りこんだ後に実際の図形間の交差判定を行った。また SSR の多角形に道路の図形が包含されていることを判定する処理では Jordan の曲線定理を適用し、折れ線図形の頂点から引いた半直線と SSR の多角形の交差回数から内外判定を行っている。SSR 多角形と道路の折れ線図形間の交差判定処理に用いる手法としてほかにも平面走査法²⁴⁾がある。これは垂直な走査直線を各図形データの存在する平面上の左端から右端へと移動し、その途中の各位置において各図形を構成する線分と走査直線との交点を求める。この交点の並びとその並びの変化をもとに交差する線分の対を抽出する方式である。しかし、北米地図データを構成する主要道路の多くは水平もしくは垂直の角度をなしていることから交点の扱いが煩雑となるため、上記の外接矩形間の絞り込みを用いることとした。

2.3 SSR 検索の高速化

経路領域 SSR の生成は図 3 に示すように、以下の手順を用いる。

- step1. 経路探索の結果として得られる道路の図形データを接続して折線図形を生成
- step2. 折線図形の各線分に幅付けして長方形群を生成
- step3. 折線の頂点で円弧を発生させ、前述の長方形間を接続
- step4. 円弧部分に適当な補間点を与えて多角形に近似

一方、探索対象となる道路データは探索対象を絞り込むために空間索引木を適用して各セルに分配して格納するものとする。都市域で約 100 mile の経路を例に、上記手順の step2 における幅付けを片側 1 mile とし帯状の SSR を生成し、形状を確認したところ、経

路全体の折れ線図形の頂点数は約 400, 多角形の頂点数は約 6,000, SSR の領域に交差または包含する空間索引木のセルに格納される道路図形データの総数は約 5,000 であった。なお今回用いた北米地図において, 道路データを表す折れ線図形の平均構成点数は約 7 個であった。

また, 経路領域の幅の選定のため, 今回の試作に用いた車載端末の画面において, 経路から片側 0.5 mile, 1 mile, 2 mile 等の幅付けを行った検索結果を用いた表示の確認を行った。この結果, 自車位置の把握には, 走行中の道路と併走する主要道路の表示が有用であるとの考えに至った。北米では都市域で一般に 1 mile ごとに東西方向と南北方向に主要道路が整備されていることが多いことから, 併走する主要道路の表示には片側 1 mile の領域が必要となる。また一方, 配信データ量を少なくして応答性を向上させるといふ点とも合わせて, 片側 1 mile を選択することとした。

以下, この例にあげたような SSR 多角形の頂点数および探索対象となる道路図形数を削減することを目指し, SSR 検索の高速化手法としての 3 つ¹⁹⁾, さらにサービスのロバスト性向上のための手法 1 つと合わせた 4 つの方針をとる。

第 1 の方針は, SSR を表す多点構成多角形を車載端末における経路案内機能の実行に問題ない程度に簡略化を行い, SSR の頂点数を削減することにより, 性能向上を図るものである。第 2 の方針は, 簡略化した多点構成多角形をさらに木構造索引の複数のセル領域に分割することにより, 各セル内での部分領域ごとの交差および包含判定組合せに削減し, 性能向上を図るものである。また第 3 の方針は, SSR 検索による抽出結果を端末へ効率良く配信するための手法である。さらに第 4 の方針は案内経路から車両が逸脱した際であっても経路案内を継続するための対応に関する手法である。

【方針 1】許容誤差を考慮した SSR の簡略化

前述の図 3 に示す領域生成処理に要する時間を削減することも考慮して, 経路の折れ線図形に対して簡略化を実施する。次に簡略化した折れ線図形をもとに前述の領域生成手順に従い, SSR を求める。最後に, この SSR に対して再度簡略化処理を施す。これらの簡略化の過程で行き過ぎた構成点の間引きを行うと, 本来求められる SSR の空間情報を表示する際にもとの形状からの変化が大きくなり, もとの経路を外れた領域にもなりうるため, 誤差の上限を適切に定めることのできる簡略化処理が必要となる。

【方針 2】木構造索引への領域分割導入

木構造索引で管理された図形データ群から, 経路領域の多角形に交差または包含される図形データのみを検索する過程では, まず多角形に交差または包含されるセルを抽出し, 次に交差するセルに登録された図形データが真に多角形に交差するかを判定する。このとき, 多角形はセルと比較して非常に長大な形状をしており, 多角形のすべての辺との交差判定を行うことには無駄が多い。そこで, セルに登録された図形データとの交差および包含判定を行う前に, 多角形とセルとが重複する領域を求め, 該当する重複領域の部分多角形を交差および包含判定に用いることが有効であると考えた。つまり, 従来の木構造索引の利点を活かし, そのうえに経路領域分割を導入する。

【方針 3】分割配信方式

ここでは, 以上に述べた SSR 検索方式の高速化に加えて, テレマティクスセンタから車載端末へのデータ配信を効率化するための方針について述べる。車載端末におけるレスポンス向上を図るためには, テレマティクスセンタにおいて, SSR 検索方式によって抽出される空間情報を効率良く端末へ配信し, 端末におけるナビゲーション処理を速やかに開始することが必要である。ナビゲーション処理を開始するために必要な情報を先に送るためには, SSR 検索で抽出される全領域の空間情報を一括して送るのではなく, 分割してナビゲーション処理の初期段階に必要なデータだけを先に送り, 続いて残りを順次送る方式が必須となる。

【方針 4】経路案内サービスのロバスト性向上

ここでは, 次に経路案内サービスのロバスト性向上についての要件を述べる。実際にサービスを北米へ適用することを考慮すると, 出発地点として想定される居住地域では携帯電話通信網のカバレッジに含まれることが多いものの, 目的地に至る経路上ではカバレッジを外れるかあるいは通信状況が不安定となり, データを受信できないことも想定される。それゆえ, 目的地までの案内機能を成立させるために必要な情報は出発地点付近で受信できることが必要となる。

また, 車載端末が経路領域の地図情報を受信した後, 車両が案内される経路から外れて走行した場合であっても, 目的地への案内を継続できる方式が必要となる。この際, 経路から外れた位置から目的地まで再度サーバへ情報提供を要求することなしに, 実現できる手法が望ましい。

3. 提案方式

3.1 SSR 検索領域の簡素化

前章の【方針 1】で示したような経路の折れ線を中心として発生させる SSR の生成方式を用いると、SSR 外形をなすベクトル図形の辺の数が増える。そのため SSR と検索図形との辺の交差判定処理の負荷が増大する。この負荷を軽減させるため、経路の折れ線の形状を簡略化して生成された SSR の外形図形の頂点数を削減する。経路の折れ線形状の簡略化アルゴリズムとしては、図 4 に示すような図形頂点を形状特徴に応じて間引く方式を用いる。このアルゴリズムは、線画像の折れ線近似に用いられていたミニマックスアルゴリズム²⁵⁾を基本にして、次のような手順で行う。

- step1. 始終点を結ぶ直線に対し、最長垂線距離（最長距離 d_{max} ）となる屈曲点を求める。
- step2. 垂線距離 d_{max} が閾値 (ϵ) 未満の場合にはその屈曲点を間引く。
- step3. 残された点を結ぶ直線に対してそれぞれ最長垂線距離となる屈曲点を求める。
- step4. 同様に垂線距離の値が閾値未満ならばこの屈曲点を間引く。

以降、すべての垂線距離の値が閾値以上となるまで、step3, 4 を繰り返す。

この簡略化の閾値として、大きい値を用いることで形状のさらなる簡略化が期待できるが、経路を中心に車載端末で適切な縮尺で地図を表示したとき、過度の間引きによる検索範囲の歪みにより、本来の経路領域からの逸脱が起こることのないよう定める。今回は単純な走行試験において車載端末の画面上で検索結果を表示して、検索領域の中心が経路から東西、南北方向に 20% 程度のずれを許容することとした。ここでは経路からの検索幅を片側 1 mile としており、閾値は 0.2 mile として簡略化を行った。この場合、車両が経路に沿って走行する際に地図の表示方向を北を上、もしくは進行方向を上と変えても画面上でつねに経路および周辺道路が表示され、画面両端に空白部分がほとんど表示されず、ドライバによる視認に支障ないこと

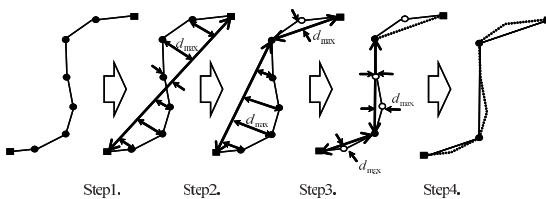


図 4 道路の形状簡略化処理

Fig. 4 Process flow of feature extraction of road lines.

が確認できた。また実際に、いくつかの経路に対して、前述 0.2 mile を閾値とする経路点列の簡略化処理を施すと、表 1 に示すように、経路図形の構成点数は元の 1/30 程度に削減できることが分かる。この閾値に関しては車載端末の位置測位装置の精度、用いる地図データの精度や画面表示縮尺の規定等によって適宜調整が必要となる。

3.2 SSR の領域分割

前章の【方針 2】で示したように、経路領域と図形データの交差判定回数を削減するため、経路領域を木索引のセル単位に分割して、複数の部分多角形による交差判定処理を行う経路領域分割判定方式を導入する。本稿では木索引のなかから、四分木の各階層のノードにも図形データを登録できるよう拡張した階層型四分木を選択した。この理由としては、格納する図形の形状や格納順によって木構造の索引における各階層のセル形状が変化する R 木や GBD 木に対して、階層型四分木では木構造索引の各階層において、縦横 1/2 に分割する規則に従ってセル形状がデータベース構築時に静的に一意に定まるので、領域分割処理に関する実装が単純となる利点が得られるためである。また、実際のサービス運用後に生じる道路データの追加や削除や変更等といった更新の際に、R 木や GBD 木に見られるノードの分割といった索引構造の変化をとまなわれないことから得られるメンテナンス作業の簡易さの面での利点もあげられる。

この階層型四分木を用いた SSR 検索では、図 5 (a) に示すように、経路領域 fig に交差する階層 i における j 番目のセル $Cell_{ij}$ を求め、次に各セル $Cell_{ij}$ に登録されている図形集合と、経路領域 fig との間で交差もしくは包含関係があるかどうかを個々に判定する。この判定処理に検索する多角形の頂点数 p に依存する処理が生じ、性能劣化の原因となっていた。

これに【方針 2】の領域分割を導入し、図 5 (b) に示すように、検索領域 fig を各階層のセル境界で部分 fig_{ij} に分割し、この部分 fig_{ij} とセル $Cell_{ij}$ に登録された図形集合との間で交差判定処理を行う。これによって、全体 fig の頂点数 p に対する部分 fig_{ij} の頂

表 1 簡略化による構成点数削減効果
Table 1 Composition point reduction effectiveness achieved with simplification.

Route length (miles)	112.5	204.8	437.8
Number of vertexes (Before simplification)	419	1518	3882
Number of vertexes (After simplification)	18	47	121
Reduction ratio	4.3%	3.1%	3.1%

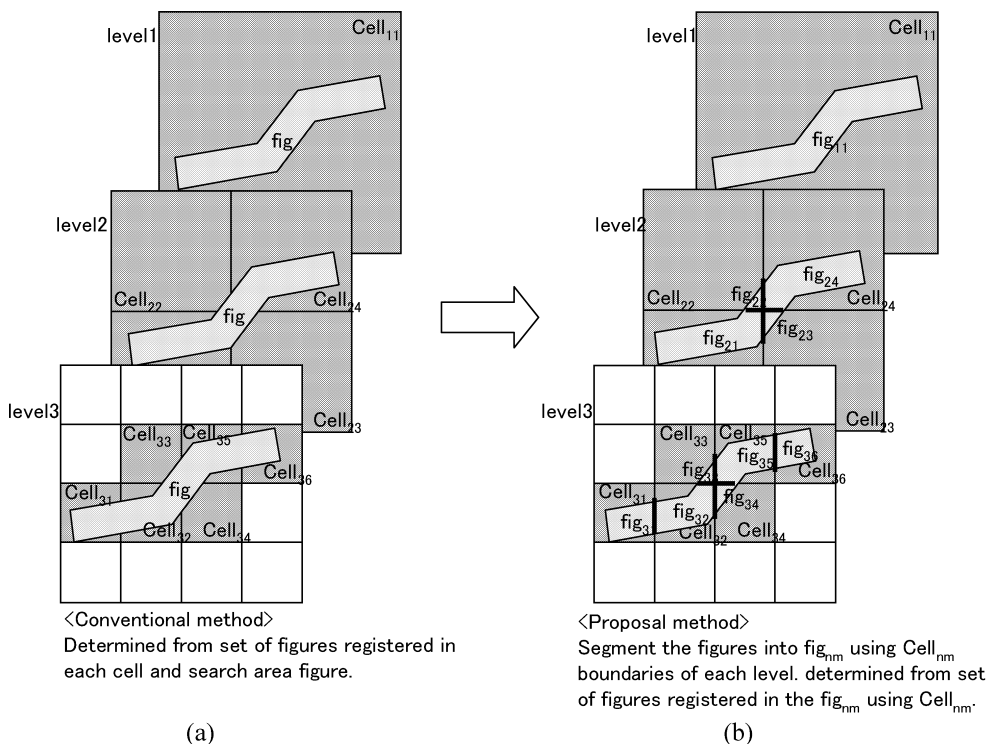


図 5 セル単位の経路領域分割

Fig. 5 Comparison of conventional and proposed method.

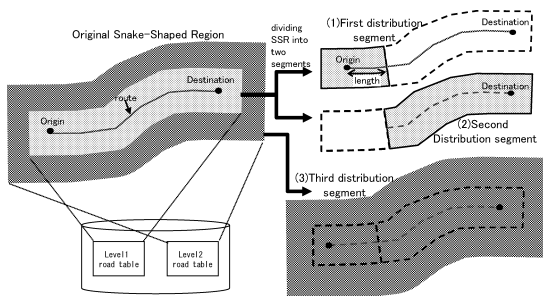


図 6 分割配信および複数レイヤ配信方式

Fig. 6 Split and multilayer distribution method.

点数 p_{ij} の割合だけ、判定回数を削減し、従来の階層型四分木の利用よりも高速化を図ることができる。

3.3 分割配信方式

前章の【方針 3】で示したように、SSR 検索により抽出した空間情報を一括して車載端末へ配信すると、すべてのデータが届くまで、地図表示や経路案内を開始できない。そこで図 6 (1), (2) に示すように、SSR 検索領域を現在地付近の領域と、途中から目的地までの領域に分けて端末へ配信する方式を導入する。これにより、初回の配信時の送信データ量を削減することができるため、ドライバーを待たせることなく経路案内を開始することができる。この経路案内を開始するた

め、初回の配信時に図 6 (1) に示すように目的地までの経路案内データも合わせて送る。この経路案内データには、目的地までの経路の道路データと、経路上の交差点における右左折指示データが含まれる。これらのデータを端末で最初に受け取ることによって、ドライバーに対して出発地付近における地図を表示するとともに、目的地への経路を地図上に描画し、右左折する交差点に近づいた時点で画面上へ方向表示や音声による右左折指示を提供することができる。図 6 (2) に示すように、続いて配信される経路途中から目的地までの経路沿いの空間情報は、端末において受信が終わり次第、端末の画面へ継続するエリアの地図表示に反映される。このデータ受信および画面への表示処理は、すでに開始されている経路誘導の処理と並行して行われる。

また、前章の【方針 4】に示したように、初回のデータを受信して経路案内が開始された後に、携帯電話の通信状況が悪いと、続いて配信される目的地までの経路周辺の地図データを受信できないという事態が起こりうる。この場合、初回にすでに受信している経路の道路データと右左折指示データを用いて、現在地から何 mile 走行後に右左折する案内をテキスト表示、もしくはテキストを読み上げた音声により経路案内を実

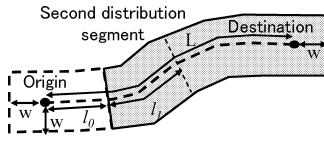


図7 継続配信領域の分割
Fig. 7 Split of a second distribution segment.

行できる．このように，経路案内データを初回の地図配信時に付加した分割配信方式とすることで，単純な分割配信で起こりうる経路案内データの欠落による経路途中で案内機能の中止を回避することができる．

なお，分割配信で最初に送る領域の決め方は，現在地付近の経路の平均走行速度や空間情報の密度，センタと端末の間を結ぶ通信速度等をもとに，抽出される空間情報のデータ量と通信に要する時間を計算して適切に定める．この算出では，最初に配信される地図の範囲からドライバが走り出る前に，残りの地図が届くように設定しなければならない．よって，長距離の場合は，経路途中から目的地までの領域をさらに複数に分割することも必要となる．これについて，車両の速度，携帯電話網のデータ通信速度，地図データベースにおける道路データの密度が一定であると簡単化した場合，図7に示すように，検索領域の片幅 w ，経路長 L ，初回の配信領域内における始点からの経路沿いの距離を l_0 とし，また平均走行速度を v ，道路データの単位面積あたりの容量を d としたとき，2回目の配信を目的地までの残りすべてを1度に行うとするとデータ容量は，面積 $2w \times (L - l_0 + w)$ ，これにデータの密度 d をかけてデータ通信速度 s で割ると，配信データの受信までに要する時間が得られる．ここで車両が l_0 の距離を速度 v で走行するとしたとき，車両の走行時間とデータ到達時間の関係を表す以下の不等式が成り立てば分割は必要ない．

$$l_0/v \geq 2w \times (L - l_0 + w) \times d/s$$

また分割が必要であれば連続する分割領域の長さ l_i と l_{i+1} を次の不等式が成り立つよう定めればよい．

$$l_i/v \geq 2w \times (L - l_{i+1} + w) \times d/s$$

3.4 複数レイヤ配信方式

前章の【方針4】で示したように，車載端末が受信したSSR検索の結果による経路案内の開始後に，ユーザが誤って配信データの領域から外れて走行した場合であっても，案内を継続できるよう図6(3)に示すように，さらに広域のSSR検索による経路周辺の概略地図データを提供．ただし，配信データ容量を考慮して，サーバの地図データベースには，精度と整備される道路種別の異なる道路データテーブルを設け

る．この広域の概略地図データには，道路データとして細街路を除いた主要道路のみを整備対象とする地図情報を用いる．これは一般的に始終点付近では細街路を走行する可能性が高いが，経路の途中では主要道路を走行することが多いためであり，また細街路の全道路データに占める割合は約40%程度であることから，配信データ量を抑えることができる．

4. 実装と評価

4.1 評価用システムの実装

本稿で提案した方式の評価用データとして，全米道路地図情報1,200万件を使用し，これを日立製作所のHiRDB²³⁾，同SSP¹⁸⁾を用いてデータベースの構築を行った．今回の実装に用いたHiRDB/SSPは，空間情報処理に関する標準化組織OGC (OpenGIS Consortium)²⁶⁾により規定された仕様に従った空間検索用のデータ型と操作用SQL関数を備えており，抽象データ型ADT (Abstract Data Type)による図形データ表現用のGeometry型と，当該データ型に対する点や折線図形にバッファを与えて円や多角形を生成するRegionBuffer関数や，図形間の交差や包含判定を行うIntersectsIn関数等，多様な空間検索用SQL関数を提供する．また，空間索引としては，データ更新時に空間索引木の構造の変更によるメンテナンスコストがR木およびGBD木に比べて小さい階層型四分木を用いている．

これらの提供機能を用いて，道路情報のうち，折線で表される空間データを拡張定義型ADTにより定義したGeometry型を用いて格納し，他の道路幅や名称等の属性データをそれぞれ数値型や文字列型を用い，これら空間データと属性データを合わせて1テーブルに定義して格納した．

上記のテーブルに対してSSRの空間検索を行うため，まず経路探索の結果得られる道路データの折線図形を接続し，これに幅付け処理を行うことでSSRを求める．このSSR多角形を生成するために，経路の折線 (Polyline) とバッファ値を入力として幅付け多角形領域を出力するRegionBuffer関数を次のように記述したストアプロシジャを作成した．

```
RegionBuffer(GeomFromText('LineString
(x1 y1,..., xi yi, ... ,xn yn)',
BufferWidth,3),0,1)
```

ただし，RegionBuffer (折線図形データ，
バッファ幅，屈曲部の頂点生成数)

GeomFromTet(): 文字列で記述した図形データ
からGeometry型を生成するコンストラクタ

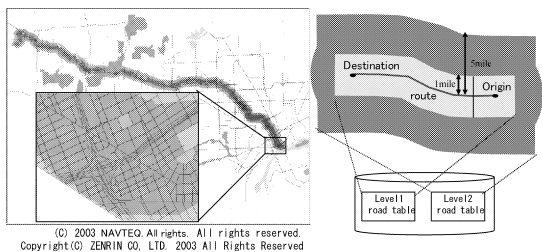


図 8 SSR 検索結果例 (経路約 60 mile)

Fig. 8 Snake-Shaped Region Retrieval (route length: 60 mile).

LineString(): 折線図形データ型

ここで用いた RegionBuffer の引数 LineString(x1 y1, ..., xi yi, ..., xn yn) に、簡略化処理を実施した折線図形の座標値列を代入して実行する。なお、3.3 節で述べた分割配信方式を実施するには、この LineString 関数に与える経路座標値列を、現在地付近と残り目的地までに分けて設定し、それぞれ RegionBuffer 関数を用いて検索領域となる多角形を 2 つ生成すればよい。また 3.4 節で述べた複数レイヤ配信方式を実装するには、上記に加えて新たに低精度の道路テーブルを設け、適切な幅付けによる経路周辺領域となる多角形をさらに 1 つ生成する。続いてこの RegionBuffer 関数の実行結果として得られる経路領域の多角形 (Polygon) を、以下のように空間検索 SQL へ組み込むことによって、多角形に交差または内接する空間データ geo_colum を持つ道路のみが選択して出力される。なお、3.4 節で述べた複数レイヤ配信方式の実装には、同 SQL においてテーブル名を低精度用の名称に変更し、また Polygon として前述の経路周辺領域を表す多角形を用いる。

```
select geo_colum, width, name, ...
from road_table
where IntersectsIn(geo_colum,
    RegionFromText('Polylgon(x1 y1,
        ...,xj yj, ...,xm ym)'))
is true
```

ただし、IntersectsIn(): 図形どうしが交差または包含関係にあるとき true を返す判定関数以上の実装方式による空間検索結果を出力した例を図 8 に示す。この検索例では、米国都市域における約 60 mile の経路について、高精度道路データテーブルから片側 1 mile のバッファ領域を、低精度道路データテーブルから片側 5 mile のバッファ領域を検索し、PC 上で重ねて表示している。

この検索方式のうち、高精度道路データの SSR 検索

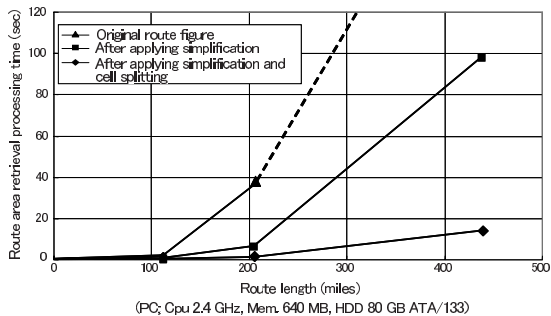


図 9 検索方式の比較

Fig. 9 Comparison of retrieval processing time.

結果について、従来のメッシュ単位の配信方式と比較したところ、約 1/6 のデータ量削減が達成できたことが分かった。なお、この比較に用いた地図データのメッシュサイズは緯度方向 75 秒、経度方向 112.5 秒で構成されており、評価用にはこの各メッシュに含まれる道路データをフィーチャとしてデータベースのテーブルへ格納して用いた。実際に車載端末へ配信する SSR 検索結果の地図データには経路周辺の道路の図形データが含まれており、車載端末で GPS 等の測位手段をもとに自車位置を地図上に表示するとともに目的地までの案内を行うことができる。一方、3.4 節で述べた複数レイヤ配信方式のため、低精度の道路テーブルを組み合わせることで地図データベースを構築した。こちらの地図データには主要道路のみ整備された道路データを用いており、ドライバーが行程等概観を把握するために有効であるとともに、案内経路から外れた場合に経路への復帰を促す方向を提示することができる。

4.2 SSR 実装性能の評価

前節で詳述した SSR 検索処理に対して、本稿で提案した高速化施策を適用した効果を図 9 に示す。グラフには横軸に経路の距離を、縦軸には空間検索処理時間をとり、これにオリジナルの SSR を用いた空間検索処理と、SSR に簡略化処理のみ適用して検索した場合と、さらに領域分割方式も適用した場合の空間検索処理時間を表している。測定環境として、CPU 2.4 GHz, Mem 640 MB, HDD ATA133, OS Windows XP Pro. の PC を用いた。このグラフから、たとえば約 200 mile の経路では、従来の階層型四分木索引を用いた場合に比べて、簡略化処理により約 5 倍、領域分割によりさらに約 4 倍、合わせて約 20 倍に高速化を達成できていることが分かる。

以上の結果から分かるように、実際のサービスで多用されると予想される 100 mile から 200 mile 程度の範囲については、約 3 秒以内に検索処理を終えること

ができ、検索処理性能については、実サービスへの適用の見通しが得られた。

4.3 フィールド実験による評価

前節で示したプロトタイプの実用性を検証するため、60 kbps 程度でパケット通信可能な携帯電話により車載端末と接続する評価実験を現地で実施した。この結果、約 200 mile 以内の経路であれば、車載端末でナビゲーション開始までに約 10 秒、さらに約 1 分以内に残りの目的地までの空間情報を受信できることを確認できた。ここでは、分割配信のための SSR 領域分割地点は、現在地から経路方向に約 2.5 mile としたところ、分割配信 1 回目の通信データ量は約 10 KB から 40 KB 程度であり、2 回目の通信データ量は多くても 400 KB 程度であった。また複数レイヤ配信による経路周辺の概略地図のデータ量は約 50 KB 程度であった。よって、たとえば車両がナビゲーション開始後に高速道路にのって 60 mileph で走行したとしても、分割した境界で地図が途切れることなく、ナビゲーション機能を実行できることが分かった。以上のことから、ナビゲーションで多用される範囲においては十分に実サービスへ適用できる見通しが得られたといえる。

5. おわりに

本稿では、テレマティクス向け空間情報サーバの実現に向けて必須となる経路領域の範囲検索処理を高速化するための手法として、検索範囲の多角形の簡略化と、検索領域の分割、および、分割配信の 3 つの方式を提案するとともに、経路領域の空間情報を受信後に車両が経路から逸脱した場合の復帰を可能とすることで、案内サービスの適用性の向上を図った。これらのうち高速化手法を階層型四分木索引上へ実装および評価を行った結果、実サービスで多用される 200 mile 以内の経路では約 3 秒以内に地図データベースの検索処理を完了できることを確認できた。さらに、テレマティクスサービスシステムのプロトタイピングを行い、携帯電話を介した車載端末への通信実験を行ったところ、約 10 秒でナビゲーション機能を開始できることが確認できた。今後の課題として、領域分割数の最適化、地図の差分提供によるさらなる高速化への検討があげられる。

参 考 文 献

1) SAE ITS Division: J2256 In-Vehicle Navigation and Related ATIS Communications Device Message Set Standard (2006).
<http://www.sae.org/standardsdev/>

groundvehicle/sysscop.htm
 2) 511 (2006). <http://www.deploy511.org/>
 3) Westwood One (2006).
<http://www.westwoodone.com/>
 4) Traffic.Com (2006).
<http://www.traffic.com/>
 5) Trafficmaster (2006).
<http://www.trafficmaster.co.uk/>
 6) DDG (2006). <http://www.ddg.de/>
 7) VICS (2006). <http://www.vics.or.jp/>
 8) Air Navi (2002). <http://pioneer.jp/press/release341-j.html>
 9) CARWINGS (2006).
<http://www.nissan-carwings.com/>
 10) G-Book (2006). <http://g-book.com/>
 11) Internavi Premium Club (2006).
<http://www.premium-club.jp/>
 12) Webraska (2006). <http://www.webraska.com/>
 13) Mapquest (2006).
<http://www.mapquest.com/>
 14) Alpine (2006). <http://www.alpine.co.jp/x07/>
 15) 日本工業規格、自動車-カーナビゲーションシステム用地図データ格納フォーマット JIS, D0810:2004.03.
 16) Lake, R., et al.: *GML Geography Mark-Up Language, Foundation for the Geo-Web*, John Wiley & Sons, Ltd. (2004).
 17) Finkel, R.A. and Bentley J.L.: Quad Trees: A Data Structure for Retrieval on Composite Keys, *Acta Informatica*, Vol.4, pp.1-9 (1974).
 18) HiRDB Spatial Search Plug-in Version 3 解説・手引・文法・操作書 共通マニュアル 3000-6-248-10, pp.54-56, (株) 日出版センター。
 19) Tanizaki, M., et al.: Acceleration Technique of Snake-Shaped Regions Retrieval Method for Telematics Navigation Service System, *21st International Conference on Data Engineering (ICDE'05)* pp.949-957 (2005).
 20) Guttman, A.: R-Trees: A Dynamic Index Structure for Spatial Searching, *Proc. ACM SIGMOD Intl. Symp. on the Management of Data*, pp.45-57 (1984).
 21) Norbert, B., et al.: R*-tree: An Efficient and Robust Access Method for Points and Rectangles., *Proc. ACM SIGMOD Int. Conf. on Management of Data*, pp.322-331 (1990).
 22) 大沢 裕, 坂内正夫: 2 種類の補助情報により検索と管理性能の向上を図った多次元データ構造の提案, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J74-D-1, No.8, pp.467-475 (1991).
 23) HiRDB (2006). <http://www.hitachi.co.jp/Prod/comp/soft1/hirdb/>
 24) 杉原: データ構造とアルゴリズム, pp.139-144, 共立出版 (株), ISBN4-320-12034-5 (2001).

- 25) 大沢, 山川ほか: 図面の認識と理解, pp.66-70, 昭晃堂 (1989).
 26) OGC (2006).
<http://www.opengeospatial.org/>

(平成 18 年 9 月 20 日受付)
 (平成 19 年 3 月 8 日採録)

(担当編集委員 高倉 弘喜)



谷崎 正明 (正会員)

1993 年神戸大学工学部計測工学科卒業, 1995 年同大学大学院工学研究科計測工学専攻修士課程修了. 同年 (株) 日立製作所入社. 中央研究所にて空間情報システム, モバイルデータベース等の研究開発に従事. 現在, イリノイ大学シカゴ校客員研究員, 日立製作所主任研究員.



丸山貴志子 (正会員)

1988 年お茶の水女子大学大学院理学研究科物理学専攻修士課程修了. 1992 年総合研究大学院大学数物科学研究科統計科学専攻博士課程修了. 博士 (学術). 同年 (株) 日立製作所入社. 中央研究所にて空間情報システムの研究開発に従事. 現在, 同研究所主任研究員. 電子情報通信学会会員.



嶋田 茂 (正会員)

1975 年名古屋工業大学大学院工学研究科生産機械専攻修士課程修了. 同年 (株) 日立製作所入社. 中央研究所にてパターン認識技術による地図・図面入力システム, 空間情報システム, ユビキタスシステム等の研究開発に従事. 1997 年東京大学大学院工学系研究科情報工学専攻より学位取得, 博士 (工学). 2007 年より首都大学東京産業技術大学院大学教授. IEEE, ACM, 電子情報通信学会各会員.