

空間要約による携帯ナビゲーションシステムの構成方式とその評価

嶋田 茂[†] 谷崎 正明[†] 丸山 貴志子[†]

携帯電話に向けた空間情報サービスは、提供サイトの数が多くなっている割には実用の域に達しているものは少ないといわれている。本研究ではその普及の障害となっている要因分析を行い、問題を明確化するとともに、それらの解決のために、空間要約技術による視認性の良い要約地図の生成機能、ブラウザフォンのローカルベクトルグラフィックスによる高速表示機能、位置と方位が反映された行動支援機能を提案する。そしてこれらの機能を備えた携帯ナビゲーションシステムのテストベッドの試作と実証実験を行った。その結果、携帯ナビゲーションにベクトルグラフィックス高速表示機能を備えた要約地図を用いることが有効であること、測位精度の変動に適合して要約地図の生成レベルを切り替える方式が有効であること、方位を反映した行動支援機能が有効であること、がそれぞれアンケート調査から実証され、実用化のための知見を得た。

Study & Evaluation of Practical Cell Phone Based Navigational System Using Automatic Spatial Summarization

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

There were already a lot of service sites which supply cell phone based spatial information services. But it is said that almost of these kinds of services are not enough to arrive practical level of services. In this study, while analyzing factors acting as obstacles which prevent widely spreading of these kinds of services, and clarifying problems. Following proposals are performed for those solutions; ①Automatic generation functions of the fine looking guide map by spatial summarization functions, ②The fast display functions by browser phone's local vector graphics, ③The action plan generation functions which reflect user location and direction. And, practical experiments were held by utilizing test bed which was equipped with upper mentioned functions, and then we can get many prospects to realize the practical cell phone based navigational system.

1. はじめに

1.1 背景

携帯電話の急速な普及に相まって、携帯電話への各種の情報サービスは大変活発になっている。特に i-mode, EZ-web, J-Sky 等に代表されるインターネット情報サービスの発展は目覚ましく、このようなインターネットの Web ブラウザを装備した携帯電話を特別に「ブラウザフォン」と呼び、通話よりもデータ通信機能を利用した情報サービスに注目が集まっている。

これらの情報サービスの中で、特にモバイルアプリケーションにおいて必須となる地図や位置情報を提供する空間情報サービスはきわめて活発であり、すでにこのようなサービスサイトは枚挙にいとまがない^{1)~3)}。

ところがこれらの空間情報サービスは、提供サイトの数が多くなっている割には実用の域に達しているものは少ないといわれており、その根本的な原因追求が求められている⁴⁾。

一方最近のカーナビゲーションシステムは、デジタル地図コンテンツの充実と相まって、従来のパードビュー表示から 3 次元立体表示といったようリアルで緻密な表示を行う傾向にある。しかしながら、緻密な表示を行えば行うほど運転上の安全性に悪影響を与えることが問題となっており、携帯電話の場合と同様に、一瞥で簡単に理解できる空間情報の表示方法が求められている⁵⁾。

1.2 実用化の問題点

本研究では、このブラウザフォンに代表されるモバイル端末への空間情報サービス普及の障害となっている要因分析を行いその技術課題を明確にするとともに、実用的でスケラブルな携帯ナビゲーションシステム

[†] 株式会社日立製作所中央研究所
Central Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

を実現することを目的とする．そこでまず、ブラウザフォン利用者の観点から障害となっている問題の抽出を行い、次のような項目に整理してまとめた．

P1. 表示画面における地図視認性の問題

ブラウザフォンの表示画面サイズはPCに比べてかなり小さく(面積比で1/25~1/50程度)、このような狭い画面にPCと同等の地図表示を行っても視認性が悪く周辺状況が把握できない．

P2. 高速グラフィックスの問題

ブラウザフォンのグラフィックス処理能力はまだ弱く、簡単な案内地図の表示にもサーバ生成の画像表示しかなく、レスポンスが悪い．

P3. 行動支援のための方位把握の問題

上記P1の問題と連鎖して、周囲状況の把握ができないことから方位の判断がつきにくく、表示されたブラウザフォン上の地図表示と現実の世界との対応がつかない．

P4. 測位精度が安定しない問題

ブラウザフォンにはgpsOne⁶⁾に代表される高感度の位置測位サービスが開始されているが、GPS方式によるため測位精度は不安定である．特に都心部においては、高層建物の影や反射の影響を受けやすく、移動しながら行う測位の精度は安定しない．

1.3 本論文の構成

本論文では、携帯電話に向けた空間情報サービスの普及の障害となっている要因分析を行い、それらの問題解決のための技術開発項目の提案と実装方法および実証実験を通してその有効性を考察する．論文の構成としては、本章で空間情報サービス実用化上の問題点の整理を行ったことを受け、2章ではその問題を解決する空間要約技術の提案と方式の内容詳細を説明する．3章では第2の解決策として、ベクトルグラフィックス技術の提案を行う．4章では第3の解決策として、方位が反映される行動支援技術の提案を行う．5章ではこれら3つの技術提案を盛り込んだ携帯ナビゲーションシステムの構成方法および実装方法について述べる．6章ではそのシステムを用いた実証実験の内容と評価・分析結果について述べ、7章でまとめを行う．

2. 空間情報の要約技術

本章では、上記の第1の問題P1として指摘されている「表示画面の狭いブラウザフォンを対象とした場合に発生する問題」に対して視認性の良い空間情報をどのように提供するかに関する解決策について述べる．

2.1 従来技術

地図を視認性良く表示する方法に関する技術は多方

面から提案されている．初期の段階では、複雑な海岸線の簡略化⁷⁾、表示文字の重なり解消⁸⁾、地図の利用観点からのモデル化^{9),10)}等が提案されている．しかし最近になって、ブラウザフォン等表示面積の狭いモバイルクライアント向けの地図の表示方法のニーズが高まり、空間情報のエッセンスを抽出する簡略化の意味での要約地図の生成方式に関する研究開発がさかんに行われるようになってきた．

すでにこの方面での研究開発の報告が多く行われており、文献11),12)では現在地から目的地までの経路に着目したフィーチャ(地図を構成する各種の要素で「地物」と訳される)が選択され、経路という1次元的な接続関係に基づく変形方式が提案されている．これに対して、文献13)~15)では、与えられた道路地図上の2次元的な接続関係を保持させた形状ディフォルメーション方式が提案され、道路以外のフィーチャは道路変形にともなうモーフィングによって再配置される．さらに、文献18)では、空間オブジェクトの構造化モデル^{16),17)}を適用することによって、フィーチャ間の位置関係を保持させた形状ディフォルメーション方式が提案されている．これらの論文において、要約地図を生成するプロセスはおおむね次のとおりとなる．

F1. フィーチャセレクション

ユーザ要求に応じて、一般の地図DBからエッセンスとなるフィーチャを選択する．

F2. 形状ディフォルメーション

選択されたフィーチャのうち、道路や建物等の形状をディフォルメーションによって見やすく変形する．

F3. ランドマークモーフィング

上記以外のランドマークを主体とするフィーチャを、変形にともなうモーフィングによって再配置する．

F4. レイアウトコントロール

名称等の表示文字やランドマーク類を重なりのないように見やすく配置する．

これらのプロセスの中でF3,F4に関しては、先に示した文字レイアウトに関する文献7),8)、および道路形状変形からのランドマークモーフィングに関する文献11),13)等により、ある程度の技術的な見通しが得られつつある．ところがF1のフィーチャセレクションに関しては古くからの研究例として文献9),10)があるが、モバイルクライアントに対応した検討は行われていない．また、F2の形状ディフォルメーションに関しても、すでに文献13)~15)等で検討は行われているが、ブラウザフォンへの具体的な適用検討は必ずしも十分ではない．

そこで本研究ではこれらのプロセスの中で、特に

F1, F2 を中心に技術を深めており、以降各技術の内容について詳細に説明する。

2.2 フィーチャセレクション

本節の対象とするフィーチャセレクションとは、使用目的に適合するエッセンスとなるフィーチャだけを選択抽出する処理系のことをさし、空間情報の要約過程のコア部分となる。一般に空間情報を構成するフィーチャとしては、地図の点・線・面といった基本的なカテゴリのほか、道路地図の道路や住宅地図の建物といった応用的なカテゴリが存在する。しかも案内用に要約された地図といった特別の目的に適合した地図を生成するためには、1つのデータベースだけでは不足することが多く、複数のデータベースから必要なフィーチャをそれぞれ独立に抽出して、それらを矛盾なく合成する必要がある。

このような要求に対応するため、本研究開発ではフィーチャセレクションをデータベースのインターオペラブルな環境で実行できるように拡張している。

(1) インターオペラブル環境

多くの地図 DB では、アクセス対象とする範囲を小さな水平・垂直方向の単位に分割してタイルのように管理するようなタイリングシステムを導入している場合が多い(水平方向の分割)。モバイルクライアントではこのようなタイリング境界を意識することなく、自由にしかも高速にアクセスできなければならない。

一方、多くの地図 DB では、道路・建物・河川等の主題単位にアクセスコントロールが容易となるようにフィーチャを集合化させたレイヤの概念が導入されている場合が多い(垂直方向の分割)。モバイルクライアントで要求される案内地図等のサービス要求では、このレイヤ構造に制約されることなく、任意の地物を必要なだけ選択できるように構成されなければならない。

これらの水平・垂直の分割を意識することなく自由にフィーチャの選択を可能とするためには、いろいろな実現方法が考えられるが、本研究開発では空間情報管理専用のアプリケーションサーバにおける仮想キューブ生成によるマルチデータベース環境を実現させている^{19),20)}。インターオペラブルなアクセスを実現するためには、この仮想キューブの生成をリアルタイムに行う必要がある、各レガシ空間 DB から提供される独自形式の空間データを、リアルタイムに標準の相互運用形式に変換して合成している(図1参照)。また、これらのプライオリティ値に基づく表示制御方式に関しては3.3節で説明する。

(2) 基本フィーチャのセレクション ランドマークセレクション

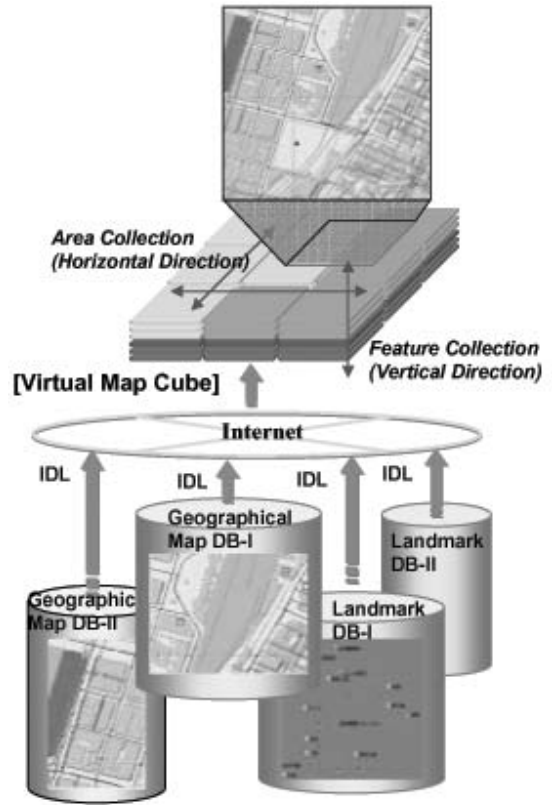


図1 相互運用DBのための仮想地図キューブの概念
Fig.1 Concept of virtual map cube for interoperable DB.

ランドマークは点カテゴリに属する基本フィーチャと見なすことができ、そのフィーチャセレクションの方法としてはプライオリティ制御が基本となる。プライオリティ値の付与方法に関しては、後述のアプリケーションフィーチャに依存し、ランドマーク種別(銀行・コンビニ等の店舗用途)や配置種別(直進・曲がり角等の経路誘導用途)により値が設定される。ランドマークセレクションとしては、このプライオリティ値に基づくソートによる順序付けを行った後、表示に許容される数だけのランドマークを選択する。

ポリラインのフィーチャセレクション

次に線カテゴリに属するポリラインでは、任意の屈曲点を持った図形の構成点列から、形状の特徴をなすフィーチャ(特徴点)だけを抽出して、残りは間引く処理を行う。そのフィーチャセレクションの判定としては図2に示すように、各端点間を結ぶ補助線を引き、各構成点からの距離を計算して、一定の距離以下となるものを省略するような処理を繰り返す。そしてこの補助線が3つの点で構成される最小単位となるまで繰り返し、残った点がその特徴となる点となる。

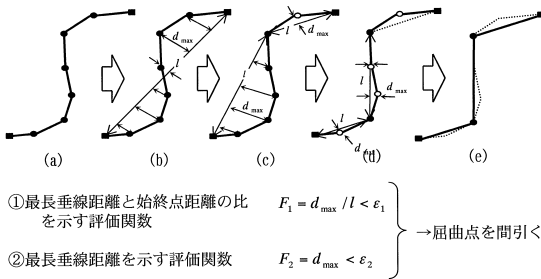


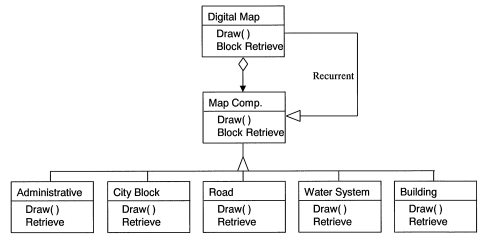
図2 ポリラインのフィーチャセレクション
Fig. 2 Feature selection of poly-lines.

(3) アプリケーションフィーチャのセレクション

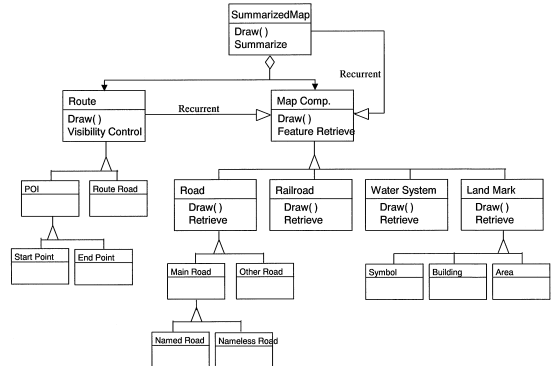
用途に密着したモデルに立脚したアプリケーションフィーチャ(たとえばナビゲーション用途では国道・県道・高速道路等)の選択を行う。一般にすでに運用が行われているデータベース(レガシDB)のアクセスでは、専用の構造化がなされているため、今回の目標とする空間情報サービスに関するスキームとは異なったものが存在する。これはいわゆるデータベーススキーマのミスマッチの問題ととらえることができ、スキーマ変換や統合が必要となる。

レガシDBの多くは機能を汎用にするため、同類のフィーチャを単純にアーカイブ化した平坦なレイヤ構造をとることが多い。一方、空間情報サービスのための案内用の地図では、モバイルユーザの把握を容易にするような階層的なフィーチャ構造となることが多い。たとえばレガシ空間DBの候補として、国土地理院の数値地図2500があげられるが、このデータベーススキーマは図3(a)に示すように、レイヤ構造に相当するような比較的平らな構造になっている。一方、我々の目標とする空間情報サービスの観点では、ブラウザフォンの狭い画面においても視認性の良い要約地図の形式で提示するため、図3(b)に示すような比較的ネストの深い構造となっている。これらのスキーマ構造の変換と統合を行うため、フィーチャ名称の変換テーブルや構造変換規則等を備えてスキーマ変換と統合が可能なメディアータを開発している²¹⁾。

このようにして得られるアプリケーションスキーマから必要なフィーチャのセレクション方法がいろいろ考えられる。その一例としては、経路探索結果を中心にしたトポロジー解析から、隣接経路の抽出と補填を行うことにより道路フィーチャのセレクションが実現する。他の例としては、建物面積の大きさから主要建物の抽出を行う建物フィーチャのセレクションが実現する。



(a) DB schema structure of National Numerical Map 2500



(b) DB schema structure of summarized guide map

図3 データベーススキーマ構造の比較

Fig. 3 Comparison of DB schema structures.

2.3 形状デフォルメーション

従来の方式は、「道路の直線化」と「方向の正規化」を基本とした変形方式である。これらの方式では、方向の正規化に基づいて道路を水平・垂直にするため、変形の結果が最初の地図の向きに依存してしまうという問題があった。また、実際の道路は碁盤の目のような単純な構造ではなく、複雑なネットワーク構造を持っているため、任意のエリアで良好な変形結果が得られるとは限らない。そこで本研究開発では、より品質の高い要約地図を生成することを目的とした実用的な形状デフォルメーション方式を提案する。

形状デフォルメーションの最適化

最初に、変形対象とするモデルについて説明する。図4に示すように、形状の構成点をノードとして定義し、各ノードを結ぶベクトルを伸縮可能なバネで構成するようなバネモデルを構成する。このバネ埋め込みモデルに基づく変形アルゴリズムとしては、ある初期配置から力学系のエネルギーを最小化する安定配置を求めるアプローチをとる。そこでまず、次のようなデフォルメマップ生成規則を定式化する。

T1 道路長の保存

道路長をなるべく初期値のまま保存する

T2 相対角度の正規化

道路間のなす相対的な角度を正規化する

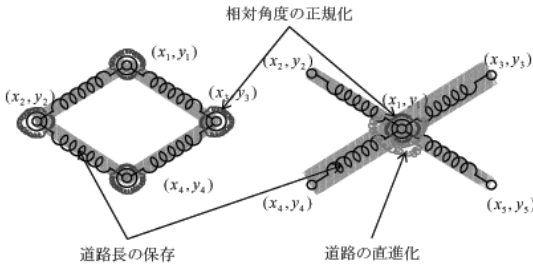
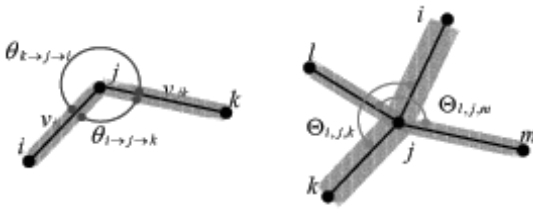


図4 形状デフォルメーションのためのバネモデル
Fig. 4 Spring model for shape deformation.



- i, j, k, l, m : ノードID (交差点、屈曲点、及び端点)
- v_{ij} : i, j を結ぶ辺の長さ
- $\theta_{i \rightarrow j \rightarrow k}$: $i \rightarrow j \rightarrow k$ の右側のなす角度
- $\Theta_{i,j,k}$: i, j, k のなす角度

図5 モデル記述変数の定義

Fig. 5 Definition for model description variables.

ここで、T1の道路長の保存は形状デフォルメーション処理の際に地図のスケールを保存するために考慮する。また、T2の相対角度の正規化は道路の直進化、直変化、および平行化を含んでいる。このような力学モデルに対応するエネルギーは、図5に示す変数を用いて、次の式のように与えられる。

$$\begin{aligned}
 E = & \frac{1}{2} \sum_{\{i \leftrightarrow j\}} k_{ij}^v (v_{ij} - u_{ij})^2 \\
 & - \sum_{\{i \rightarrow j \rightarrow k\}} k_{ijk}^\theta \cos(\theta_{i \rightarrow j \rightarrow k} - \phi_{i \rightarrow j \rightarrow k}) \\
 & - \sum_{\{i, j, k\}} k_{ijk}^\Theta \cos(\Theta_{i, j, k} - \pi)
 \end{aligned}$$

ここで、第1項はノード間を結ぶエッジに作用する項、第2項は隣接するエッジのなす相対角に作用する項、第3項は交差点で直進に近いエッジのなす相対角に作用する項を表す。 u_{ij} は v_{ij} の理想的な値を表し、エッジの長さの初期値を設定する。 $\phi_{i \rightarrow j \rightarrow k}$ は $\theta_{i \rightarrow j \rightarrow k}$ の理想的な値を表し、相対角度の初期値から設定する。また、 π は $\Theta_{i \rightarrow j \rightarrow k}$ の理想的な値を表し、各項の係数 k はバネ係数である。形状デフォルメーション最

適化のためには、これらの最小エネルギー値となる安定点を求める。なお、この最適化アルゴリズムと数値計算方式の詳細は文献22)に示す。

座標回転・補正処理

形状デフォルメーションの後処理として、図形ができるだけ水平・垂直に揃うように座標回転し、さらに補正を行うことによって道路を厳密に水平・垂直化する。ここで回転角は、ベクトル長と幅によって重み付けを行ったベクトル方向についてのヒストグラム解析によって決定する。また、回転した後で、水平・垂直に近い道路が完全に水平・垂直になるような補正を行う。

3. PSVG ベクトルグラフィックス

本章では、上記の第2の問題P2として指摘されている「高速グラフィックスの問題」に対して、ブラウザでも高速処理可能なポータブルなベクトルグラフィックスに関する検討内容について述べる

3.1 ブラザフォンベクトルグラフィックスの状況

第2.5世代に位置付けられた日本の最新の携帯電話においても、CPUパワーが1-2MIPS、Midlet (J2MEベース Java Appletの呼称)の動作領域が50Kbyte以下といった非常に制約された処理環境となっている。現在W3CからWeb対応ベクトルグラフィックスの勧告案として提案されたSVG (Scalable Vector Graphics)の仕様に基づくビューアを支障ない速度で動作させるには、最低でも50-100MIPS、Midlet領域も1Mbyte程度必要となる。したがって、上述の第2.5世代のブラウザフォンでは、実用上ほど遠い緩慢な動作環境しか得られないことになる。このような理由から、我々はSVGよりもさらにコンパクトなタグ仕様を策定することにし、その新たな仕様名称をPSVG (Portable SVG)と命名し、タグ仕様およびシステムの開発を行っている²⁰⁾。

3.2 PSVG タグ仕様

PSVGのタグセットは、W3Cからすでに公開されているSVG-V1.1のサブセットとなるような策定を行った。SVGを構成するXMLタグを分類すると、要素の形状定義や動作定義を行うエレメントタグ群と各エレメントの特性を定義するアトリビュートタグ群に分類される。PSVGでは、このエレメントタグの中でJ2MEがサポートしている基本的な図形要素 {line, rect, circle, image}を採用している。また、SVGの複数要素をまとめるためのgタグをサポートした。

次に狭いブラウザフォン表示装置上のベクトル描画を効率的に行うため、次のような新規タグの拡張を

行った。

Exp1. Max/Min Scale Tag for Area Effectiveness

表示縮尺の上・下限基準点の記述

Exp2. Datum Point for Overlay Display

複数コンテンツ重畳表示のための基準点の記述

Exp3. Priority Control Tag for LOD (Level of Detail)

縮尺に応じた表示詳細度制御のための表示

プライオリティー値の記述

なおプライオリティー値は、図形および図形集合に対して定義可能で、アトリビュートタグとして付与する。

4. 位置と方位が反映される行動支援機能

本章では、上記第3の問題P3として指摘されている「行動支援のための方位把握の問題」と、第4の問題P4として指摘されている「測位精度が安定しない問題」に対して解決方法の検討内容について述べる。

4.1 CLAの構成方式

位置測位に関して、au系のブラウザフォンを用いる場合にはgpsOneを用いることは可能であったが、方位計測用の電子コンパスとの連動や測位精度の制御等を行うためにはCPUパワーが不十分であった。そこで、自律測位可能なGPSモジュールと方位測定可能なコンパスモジュールとを一体化してブラウザフォンに接続可能なインタフェースを備えたCLA (Compass Location Adapter)を開発した。

このCLA単体の機能を実現するため、GPSと電子コンパスとを制御可能なDSP (Digital Signal processor)を備えるように構成し、ブラウザフォンのインタフェースに接続した。これによって、ブラウザフォンインタフェースを介してモバイルクライアント上のメニューから起動させることができ、ブラウザフォンユーザの現在位置と方位の測定データを位置決定サーバへ転送し、行動支援機能に位置と方位を提供できるようになった。

4.2 測位精度を反映した空間要約生成の制御

CLAの測位精度はGPSの性能に依存し、特に都心部では、衛星の状況や高層建物等の周囲状況の影響を受け、測位精度は安定しない。GPSの測位精度は予測することが可能で、「補足した衛星数」および「衛星の配置」を用いた位置計算により、測位精度の限界値を予測することが可能である⁶⁾。

この測位精度が安定しない問題に対応するため、測位精度に応じて要約生成レベルを制御することにより、得られた位置測位データからの行動支援機能を改善する方式について述べる。開発した要約生成レベルの制

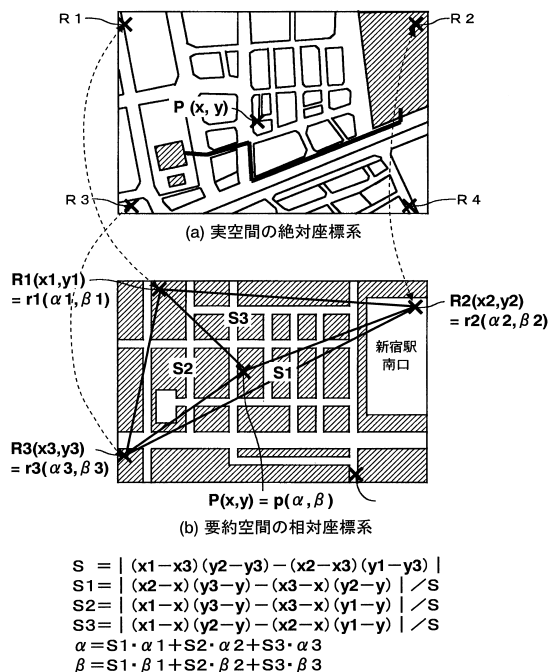


図6 位置情報の要約空間へのマッピング
Fig. 6 Summarized space mappings of locations.

御方式は次のとおりである。

M1. 要約対象とする地図の縮尺度の切替

要約処理の対象とする地図を測位精度に応じてマクロな縮尺1/10000レベルから詳細な1/1500レベルにまで切り替える。

M2. 要約地図生成範囲の制御

生成する要約地図の範囲の大きさを測位精度に応じて切り替える。精度が悪い場合には広範囲のマクロ地図を、精度が良い場合には狭い範囲の詳細地図とする。

M3. フィーチャ優先度の制御

ランドマーク等、要約地図を構成するフィーチャのセレクトションレベルを測位精度に応じて切り替えるとともに、LOD表示制御を行う。

4.3 位置情報の要約空間へのマッピング

空間要約の過程で形状ディフォルメーションが施された要約地図の座標系は、元の地図の絶対座標系と異なり、相対座標系で記述されることになる。CLAから提供される測位データは緯度・経度を単位とした絶対座標系 $(P(x, y))$ であるため、要約地図上にその位置 $(p(\alpha, \beta))$ や行動支援のための案内情報を表示するためには、絶対座標系から相対座標系への座標変換が必要となる。

この課題を解決するため、図6に示されるような最近隣の3つの基準点 $(R1, R2, R3)$ との間で形成さ

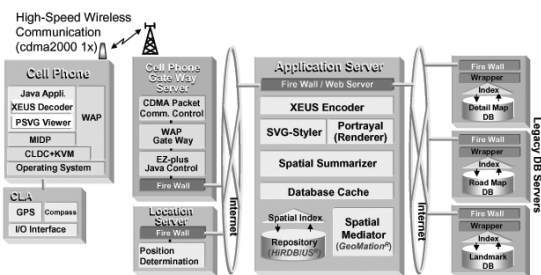


図 7 テストベッドの全体システム構成

Fig. 7 Total system structure of test-bed.

れる三角形の面積比から相対座標位置を求める方式を用いている²³⁾。この変換処理によって、要約地図においても、CLA からの位置測位データは、対応する位置へ表示することが可能となる。ただし基準点からの変換は一般的な線形処理であり、等高線等の曲線の場合には非線形変換を必要とするため、部分的に誤差が生じる場合がある。しかしその誤差は基準点の覆う範囲内においては微小である。

5. 携帯ナビゲーションシステムの構成方式

実用的でスケーラブルな携帯ナビゲーションシステムを実現させるため、今まで説明した機能をインプリメントしたテストベッドを開発し、実際の au 携帯電話網を介した空間情報サービスを試行した。

5.1 システム構成方式

本テストベッドの全体システム構成を図 7 に示す。次にこのシステムを構成する各サブシステムの方式について説明する。

Browser Phone/CLA

cdmaOne 携帯電話からなるブラウザフォンと、これに装着し位置および方位情報を発信する CLA によって構成される「CLA 接続のブラウザフォン」

Browser Phone Gateway Server

携帯電話網における WAP プロトコルとインターネット網における HTTP プロトコルを相互に変換する「WAP ゲートウェイサーバ」(KDDI 基地局サーバ)

Application Server

ブラウザフォンからの要求に応じて Web サーバおよびアプリケーションソフトを実行する「アプリケーションサーバ」

Location Server

ブラウザフォンからの位置情報を受信し、基地局情報に基づく補正計算を行う「位置決定サーバ」

Legacy DB Server

空間情報および属性情報を管理する「DB サーバ」

特に DB サーバには、道路等の空間データを格納する空間 DB サーバと、ランドマークや店舗等の属性データを格納する属性 DB サーバを用意する。なお、位置決定サーバから提供される測位精度の異なる複数の測位方式に適した行動支援をサポートするため、縮尺 1/1000 レベルの詳細空間 DB サーバと縮尺 1/2500 レベルのマクロ空間 DB サーバとによる 2 種類の空間 DB サーバを用意した。

5.2 システム全体の動作

ブラウザフォンから現在位置の測位とその付近の周辺地図の検索要求を行い、要約地図を表示するまでの全体のシステム動作について、図 7 の全体システム構成図に従い、ステップ別に説明する。

- S1. ブラウザフォンから Wap ゲートウェイサーバを介してアプリケーションサーバ部へログインする。
- S2. アプリケーションサーバの要約生成メニューの選択から、現在位置付近の周辺地図の検索要求を、要約生成モジュールに与える。
- S3. 要約生成モジュールは、CLA に現在位置と方位の測定を行う要求を与える。
- S4. CLA はこの要求に対して現在位置と方位とを測定した結果を位置決定サーバに与え、周辺地図検索用の現在位置座標を求め、その値を要約生成モジュールに戻す。
- S5. 要約生成モジュールは、現在位置座標をレガシ DB サーバ群に与え、詳細地図 DB・道路地図 DB・ランドマーク DB の各サーバに現在位置周辺範囲の検索要求を行う。
- S6. 複数の DB サーバ群からの出力データは、アプリケーションサーバのメディアータ部により CORBA 相互運用プロトコルを介して統合され、1 つのまとまった周辺地図として要約生成モジュールに与えられる。
- S7. 要約地図生成モジュールはこの周辺地図を入力として要約地図の生成を行い、PSVG ベクトル形式に変換してブラウザフォンに転送する。
- S8. ブラウザフォンではローカルなベクトルグラフィックスを用いて高速表示を行う。

5.3 CLA と位置決定サーバ間プロトコル

CLA はブラウザフォンに装着し、CLA から発せられる位置情報と方位情報の信号はシリアル信号制御と I/O インタフェースを介して CDMA パケット通信へ載せられるように構成する (図 8 参照)。次に位置決定サーバは、CLA 機能から測位情報を受け取り、位置決定サーバにそれを保存して、サービスメニュー提供機能から現在位置情報要求を受け取ったタイミングで、保存された測位情報を現在位置情報として返す。

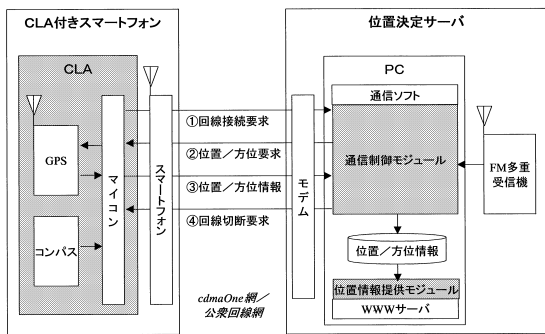


図 8 CLA と位置決定サーバ間プロトコル

Fig. 8 Communication protocol between CLA and location determination sever.

この CLA 操作にともなう位置決定サーバとの間の信号処理の流れを以下に示す。

SS1. CLA から位置決定サーバへ回線接続要求を送信し、通信コネクションを確立する。

SS2. 位置決定サーバから CLA へ位置要求または方位要求を送信し、CLA 内で要求に応じた位置情報または方位情報を GPS またはコンパスから取得する。

SS3. CLA から位置決定サーバへ要求に応じた位置情報または方位情報を送信し、位置決定サーバ内に保存する。

SS4. 位置決定サーバから CLA へ回線切断要求を送信し、通信コネクションを切断する。

ただしこの SS1 ~ SS4 のプロトコル実行時間は次のとおりである。GPS からの電源投入からのコールドスタートでは、衛星補足等の立上げを要するため、10 ~ 60 sec 要するが、歩行ガイド等ホットスタンバイからの連続的な位置測位の場合には CDMA パケット通信のネゴシエーション時間を入れても 1 ~ 5 sec である。

6. 実証実験とその評価

以上説明した空間要約による携帯ナビゲーションシステムの構成方式において、実現した各種の機能の実用性について評価することを目的とする実証実験を行った。本章では、その実証実験の具体的な方法と評価方法、および得られた考察について説明する。

6.1 実証実験の具体的な方法

まず実証実験の具体的な方法として、次のような手順で行った。実証実験の期間は 2 期に及び (2000 年度²⁴⁾, 2001 年度²⁵⁾) 延べ 3 ヶ月とし、総計 20 人の被験者を募り、実際のフィールドに出て CLA 付きブラウザフォン操作の過程からデータを収集する方式とした。調査フィールドとしては、東京都内の特定 5 地域 (銀座・東京駅・新宿・浅草・国分寺) で、都市の整備

	オリジナル地図	生成された要約地図
浅草地区		
新宿地区		
東京駅地区		

図 9 テストベッド出力要約地図サンプル

Fig. 9 Summarized map samples derived from test-bed.

状況や GPS 受信状況等の条件の異なる都心部 (銀座・東京駅・新宿) と郊外部 (浅草・国分寺) に分類できる典型的な地域を選定した。この場合、ブラウザフォンに表示される要約地図のサンプルを図 9 に示す。

収集する実験データは、アクセスログ・アンケート・測位結果・測位誤差・結果サンプルの 5 種類で、実験条件の設定のもとに目的地への誘導による検証を行う方式とした。具体的には、被験者に実際のフィールドに出て空間情報サービスシステムを操作させ、目的地に到達するまでの歩行途中または歩行終了後に随行員によりアンケートをとる方式を主体にした。その場合の実験条件としては、被験者自らの判断だけにより目的地に到達できるかどうかの判定と、その目的地に到達するまでの歩行ガイドが有効かどうかの判定をアンケート形式で定量化する方式とした。

なおアンケートの精度を高めるため、本実験では 1 地域につき 3 ~ 5 本の経路を設定して、その各経路につき 20 人の被験者による歩行実験を行うようにした。これによって 1 地域あたり最低でも 60 人分のアンケート結果が得られ、5 地域全体で 300 人分のデータとして集計している。

6.2 要約地図の視認性評価

ブラウザフォンへの空間情報提供として、レガシ DB の単純な検索から得られる地図を直接用いるのではなく、空間要約処理を施した要約地図を用いる場合の有効性について検証することを目的に実験を行った。仮説の設定：

現行のブラウザフォンの表示面積は 2 ~ 3 インチと小



図 10 要約地図の視認性に関するアンケート

Fig. 10 Questionnaire result about visibility of summarized map.

大きく、たとえば液晶ディスプレイの密度が高精度になったとしても、表示される空間情報の要素サイズは大きなものが望めない。このような小さな表示画面を使って経路誘導を行う場合に、「要約地図を用いた経路誘導が有効である」といった仮説を立てた。このような要約地図は特定ユーザの嗜好が影響する可能性もあるため、その有効性を確認するための実証実験を行った。実験方法とその結果：

まず上記の携帯ナビゲーションシステムから提供される要約地図の視認性について評価を行った。ブラウザフォンに表示された要約地図を用いて経路誘導を行った後に、その要約地図が見やすかったかどうかについてモニタにアンケートをとる形式で評価を行った。その場合、単純に見やすさの問合せを行うだけでなく、形状ディフォルメーションの品質の目安となる距離感の保存性、要約地図を表示するブラウザフォンのローカル環境の使いやすさ、縮尺に応じて表示対象を制御する LOD 機能の有効性等の項目も合わせてアンケート調査するようにした。

評価と考察：

全体評価

まず全般的な傾向として、図 10 に示すように、最低でも 64% のモニタが見やすかったと答えており、仮

説の「要約地図を用いた経路誘導は有効である」が実証されたと判断される。

ただしこの評価値は地域別の分散が大きく、さらに詳しく分析すると、都心部の評価値が 71% (図 10 (a-1)) と高いのに対して、郊外部での評価値が 58% (図 10 (a-2)) と低くなっている。これは、都心部の街区形状が比較的碁盤の目のように整備されており、要約後の道路形状が水平・垂直の直線で構成された清楚な印象に対して、郊外部の街区形状には旧市街の複雑な道路形状が残るため、要約後の道路形状が比較的雑多な線で構成された印象を与えるためと考えられる。

形状ディフォルメーション効果

道路形状のディフォルメーションをあまり強力に適用しすぎると、オリジナルの地図の距離感が失われる恐れがある。本研究開発では、形状変形の制約としてオリジナルの形状をできるだけ残す制約と、トポロジー保存の制約とを課している。またランドマークモーフィングによって、ランドマーク位置の道路上の距離の割合を保存している。これらの技術によって、図 10 (b) のアンケートに反映されているように、68% のモニタが距離感の保存が適当であることに賛同しており、形状ディフォルメーションが有効であると判断される。

ローカルなベクトルグラフィックス機能の効果

クライアント側にはベクトルデータを含む表示アプレットとして転送されるため、ブラウザフォンのローカル処理系にて高速に表示を行うことができる。すなわち、拡大・縮小・スクロール等の表示要求は、サーバでの再生成が必要なく、クライアント側でのみ処理することができる。このクライアントのローカル処理のレスポンス時間は平均 0.3~1.0 sec であり、現行の画像を用いた地図サービス^{1)~3)}のレスポンス時間である 5~20 sec に比べて大幅な短縮が図られている。その効果は、図 10 (c), (d) のアンケート結果が示すように、それぞれ 82%, 71% といった高い評価を得ている。すなわちサーバによる画像生成方式に比べ、格段に使い勝手が向上することが実証されている。

LOD 表示制御の効果

ブラウザフォンへの表示対象物の LOD 表示制御は、今回は主にランドマークや表示文字を中心に行っているが、その効果をアンケートにより評価した。その結果、図 10 (e) に示すように、58% のモニタの賛同が得られたものの、他の表示効果に比べ評価が低い。これは、一部の表示文字が重なる等、LOD 制御タグの設定が不十分なためと予想される。今後の改良が望まれる。

6.3 方位反映方式の検証

ブラウザフォンを用いたナビゲーションの場合には、

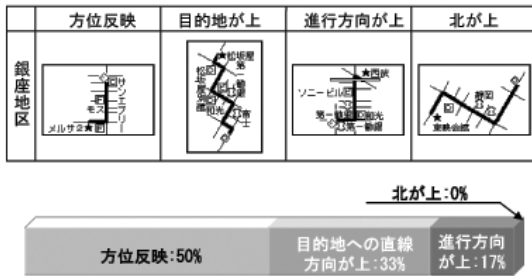


図 11 方位反映方法の比較アンケート

Fig. 11 Comparative questionnaire of direction reflected method.

一般のカーナビと異なりユーザの進行方向をリアルタイムに反映することは難しい状況にあった。そこで、間欠的な方法でどのような方位反映方式が有効なのかを検証することを目的に実験を行った。

仮説の設定：

有効性の検証として「方位を反映した表示方式が有効である」といった単純な仮説のほかに「その方位の反映方式はどのようにするのが効果的であるのか」を探る目的で実験を行った。このような方位反映の有効性は、システムが利用される場所や利用者の土地勘等の条件に依存して異なると予想されるため、実証実験と評価を行った。

実験方法とその結果：

方位の反映方式として次の方式を実装し、モニタからその分かりやすさの評価をアンケート形式で調査して集計した。

- K1 北が上となるように固定
- K2 目的地の方位が上となるように固定
- K3 目的地への直線方向が上となるように固定
- K4 進行方向が上となるように回転

図 11 に示すアンケートの集計結果から、モニタ全員が従来の北を上にした固定した地図表示ではなく、CLA から提供される方位を何らかの形式で反映させた地図表示を望んでいることが分かった。

評価と考察：

これより当初の仮説として打ち立てた「方位を反映した表示方式が有効」であることが確認された。さらに詳細なアンケート分析から、歩行を開始した後は、K2 の目的地が上、または K4 の進行方向が上の方が分かりやすいといった意見が多く、カーナビゲーションシステムと同様に歩行の方位変化に同期して方位の反映をリアルタイムに行うことが望まれることも分かった。しかしこのリアルタイムに方位反映を行うためには、現行の CLA を接続したブラウザフォンの構

成ではシステムレスポンスが遅く対応不可能であった。今後ブラウザフォンのローカル処理性能の向上が望まれる。

6.4 測位精度適応の要約レベル制御方式の検証

GPS に代表される位置測位システムの出力は、都心部の高層ビルの陰や反射により影響されることが多く、安定しないことが多い。その変化幅は、20m から 150m に及ぶ。このような変化にもかかわらず、画一的な空間情報の提供方法でよいのかをどうかを検証することを目的に実験を行った。

仮説の設定：

大幅な測位精度の変化に対応して、ブラウザフォンに提供する要約地図は「測位精度に応じて要約地図の生成レベルを切り替える方式が有効である」とする仮説を立てた。

実験方法とその結果：

2000 年 5 月の米国政府による SA (Selective Availability) 解除²⁶⁾により、単独の GPS 測位の精度は大幅に向上している。しかし測位精度は、衛星の配置や高層ビルの反射等の影響を受け、精度の制御は不可能に近かった。そこで、サーバからの位置の出力時にノイズを付加する形式で測位精度の制御を行い、モニタの経路誘導に与える影響を測定する方法を用いた。具体的には、正確な位置からの外乱値を次の 5 種類 (150 m, 100 m, 50 m, 20 m, 5 m) 用意して、どの精度で経路探索が開始できるか、およびどの精度で目的地に到達できるかを測定した。ただしこの外乱値は、正確な位置からの距離が固定となるような制約下で方向に対するノイズが様に分布するよう x, y 座標オフセット値として与えており、実験サンプルの計測を行うごとに変動させている。

アンケートは、経路探索開始時と目的地到達時の 2 つの場合それぞれ独立に集計しており、前者の場合には主にどの程度の測位精度のときにスタートすることができるかの頻度を求め、後者の場合には得られた測位精度がどの程度のときに到達可能となるのかの頻度を計測した。特に後者の場合、目標位置付近で役に立った要約地図の詳細度に関する傾向を調べた。

その結果、図 12 に示すアンケート結果から、スタート時の測位精度の影響は各個人の嗜好があるため大きな傾向は見られないのに対して、目的地付近の測位精度はより高精度の 20 m に集中することが分かった。さらに、目標地付近で使用する要約地図の特性として、測位精度が悪い場合にはより詳細な要約地図を、測位精度が良い場合にはマクロな要約地図でよいことが分かった。

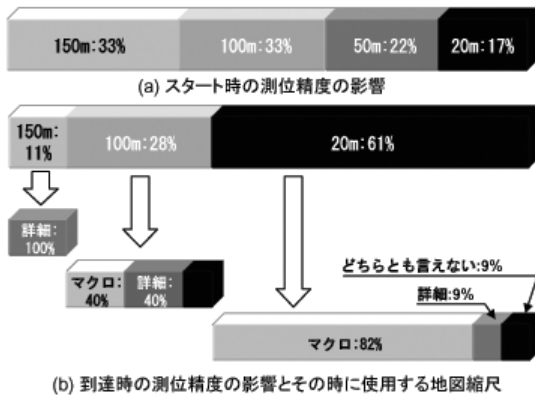


図 12 スタート時および到達時における測位精度の影響

Fig. 12 Effect of positioning accuracy at the start and arrival time.

評価と考察：

本実験の目的である「測位精度に応じて要約地図の生成レベルを切り替える方式が有効である」という仮説が実証された。ただし、測位精度に応じた要約地図の静止レベルの適性は、測位精度が低い場合にはそれに対応して要約地図の精度も低くすればよいといった当初の予想に反して、測位精度が低い場合には詳細地図を、測位精度が高い場合にはマクロな地図が有効であるという結果になった。これは、測位精度の不確かさを詳細地図で補おうとするモニタ行為の結果であり、測位精度の低さに起因する情報提供の限界を、他の詳細な情報で補おうとするヒューマン・マシン上の相補作用が働くためと判断される。

7. 結 言

本論文では、携帯電話への空間情報サービスの普及を阻害している要因を分析し、ブラウザフォンの狭い表示画面に起因する地図の視認性が悪くなる問題、ブラウザフォンの処理能力の制約から高速の地図表示ができない問題、行動支援のための方位把握できない問題、および位置測位精度が安定しない問題、を抽出した。

これらの問題解決のため、空間要約技術による視認性の良い要約地図の生成機能、ブラウザフォンのローカルベクトルグラフィックスによる高速表示機能、および位置と方位を反映させた行動支援機能の提案を行った。特に空間要約技術に関しては、形状デフォルメーション方式を提案し、直進性・直交性・平行性に優れた視認性の良い要約地図の生成方式を提案した。

さらにこれらの方式を適用した携帯ナビゲーションシステムを実際に構築して、延べ3ヵ月20人に及ぶ

実証実験を行い、その実用性に関する評価を行った。その結果、携帯ナビゲーションシステム実用化に関する知見として次のような結論を得た。

- 携帯ナビゲーションに要約地図を用いることは大変効果的である。
- 測位精度の変動に適合して要約地図の生成レベルを切り替えることが有効である。特に測位精度が悪い場合には、詳細な地図に切替える方式が有効である。
- 方位を反映した行動支援機能が有効である。

今後の課題としては、上述の考察で述べた問題点に対する解決策のほかに、最適化アルゴリズムの高速化があげられる。また、できるだけ多くの道路地図を用いたさらなる評価実験を行い、システムの実用化を深めていくことが課題である。

謝辞 本研究を進めるにあたり、モバイル向け SVG のブラウザを提供いただいた KDDI 研究所の井ノ上直己氏、高木悟氏、携帯ナビゲーションシステムの開発をいただいた日立製作所ソフトウェア開発本部渡辺和典氏、田中勝氏、石田均氏にそれぞれ感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) ゼンリン携帯マップ. <http://www.zenrin-datacom.net/keitai/index.html>
- 2) 地図丸 EZweb. <http://www.ncg-map.co.jp/internet/chizuez/news.htm>
- 3) iMapFan. <http://www.mapfan.com/Documents/imode>
- 4) 福井泰代, 酒井嘉昭: マンナビゲーションの全容, 新社会システム総合研究所 SSK セミナー資料 (2002).
- 5) 両角岳彦, 神尾 寿: テレマティックスの要諦, 新社会システム総合研究所 SSK セミナー資料 (2003).
- 6) Qualcomm Inc.: gpsOne Solutions for CDMA2000R, CDMA20001x and CDMA20001xEV. <http://www.cdmatech.com/solutions/products/gpsone.html>
- 7) 上林彌彦, 有川正俊: 図形データベースにおける概視機能とその実現, 情報処理学会研究会報告, 86-DB-54-10 (1986).
- 8) 今井 浩, 有川正俊, 青沼裕美, 神代伸彦: 地理データベースシステム GARDEN におけるデータ構造と文字自動配置機能, 電子情報通信学会機能図形システムシンポジウム講演会論文集, FIGS89-4, pp.14-21 (1989).
- 9) Shimada, S. and Matsushima, H.: Map Summarization using Analogical Matching of

- Schema, *Database and Expert Systems Applications*, Karagiannis, D. (Ed.), pp.271-278 Springer-Verlag (1991).
- 10) 嶋田 茂：類推型スキーマアナロジーによるマルチメディア DB の主題別検索, 情報処理学会研究会報告, IM-5-3, pp.1-8 (1992).
 - 11) 上田俊弘, 堀江政彦, 淡誠一郎, 馬場口登, 北橋忠広：地図理解支援のための略地図生成システム, 信学技報, PRU94-103, pp.47-54 (1995).
 - 12) 馬場口登, 堀江政彦, 上田俊弘, 淡誠一郎, 北橋忠広：経路理解支援のための略地図とその案内文の生成システム, 信学論 (D-II), Vol.J80-D-II, No.3, pp.791-800 (1997).
 - 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) 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, 情報処理学会研究会報告, CVIM-106-4, pp.25-32 (1997).
 - 15) 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, 信学論 (D-II), Vol.J84-D-II, No.9, pp.2058-2069 (1997).
 - 16) 藤井憲作, 若林佳織：空間オブジェクトの位置関係に着目した地図理解モデル, GIS—理論と応用, Vol.5, No.1, pp.29-37 (1997).
 - 17) 藤井憲作, 杉山和弘：歩行者ナビゲーション支援のための場所案内文生成手法, 信学論 (D-II), Vol.J82-D-II, No.11, pp.2026-2034 (1999).
 - 18) 藤井憲作, 杉山和弘：携帯端末向け案内地図生成システムの開発, 情報処理学会論文誌, Vol.41, No.9, pp.2394-2403 (2000).
 - 19) 谷崎正明, 嶋田 茂：サイバースペースにおける空間情報提供方式及び仮想都市構築への適用, 情報処理学会第 3 回知能情報メディアシンポジウム (1997).
 - 20) Shimada, S., Tanizaki, M., Takagi, M. and Kobayashi, A.: Geospatial Information Service System for Browser-phones utilizing PSVG, *W3C Proc. SVG Open/Carto .net* (2002).
 - 21) Shimada, S. and Fukui, M.: Geospatial Mediator Functions and Container-based Fast Transfer Interface in SI³CO Test-Bed, *Proc. 2nd International Conference (INTEROP'99)* (1999).
 - 22) 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変形モデルとそのシステム評価, 信学技法, ITS2002-129, pp.77-84 (2003).
 - 23) 高木 悟, 小林亜鈴, 嶋田 茂, 谷崎正明：地図表示端末・地図表示装置ならびにその無線端末及び地図サーバ, 特許庁出願 P01-330828 号 (2001).
 - 24) 嶋田 茂, 渡辺典和：方位が反映された空間情報要約技術による行動支援情報基盤の開発, 平成 11 年度 IPA 先端的情報化推進基盤整備事業報告書 (2000).
 - 25) 高木 悟, 嶋田 茂：ウオーキングナビ, データベース振興協会 G-XML 国際統合版テストベッド成果報告書 (2001).
 - 26) IGEB (Interagency GPS Executive Board) (2000).
<http://www.igeb.gov/sa/diagram.shtml>

(平成 15 年 4 月 8 日受付)

(平成 15 年 9 月 5 日採録)



嶋田 茂 (正会員)

昭和 50 年名古屋工業大学工学部生産機械工学科修士課程修了。平成 9 年東京大学工学部大学院工学系研究科博士課程修了。工学博士。昭和 50 (株) 日立製作所入社。以来, 中央研究所にて図面認識・理解, マルチメディアデータベース, 空間情報処理等の研究開発に従事。現在同研究所・主任研究員。信学会, ACM, IEEE 各学会会員。



谷崎 正明 (正会員)

平成 7 年神戸大学工学部計測工学科修士課程修了。同年 (株) 日立製作所入社。以来中央研究所にて, 地理空間データベースシステムの研究開発に従事。現在, 同所知能システム研究部研究員。



丸山貴志子

昭和 63 年お茶大学大学院理学部物理学科修士課程修了。平成 4 年総研大数物科学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。