

GLI システムの改良と実証実験

渡辺 恭人*
Yasuhito WATANABE

大西 孝義†
Takayoshi OHNISHI

佐藤 雅明‡
Masaaki SATO

植原 啓介§
Keisuke UEHARA

村井 純¶
Jun MURAI

慶應義塾大学
Keio University

概要

地理的位置情報システム (GLI システム) は、インターネット上の識別子と現実世界の地理的位置情報の登録・検索機能を提供するシステムである。本稿では、GLI システムの改良を行った。今回の改良では、登録される情報と検索の種類、データ構造について考察し、検索の種類に応じてデータベースを個別に導入し、検索の種類を拡張した。地理的位置情報を鍵とした検索では多次元データに適した SR-Tree を利用したデータベースを導入し、地理的位置情報と付帯情報での検索機能を実現した。また、インターネット自動車を利用した、GLI システムの実証実験では、改良・拡張された検索を行う 2 種類のアプリケーションの設計・実装を行い、用意された検索機能の動作を確認した。また、拡張可能なデータベース構造、アプリケーションに必要な地理的位置情報に関する課題を明らかにした。

1 はじめに

ユービキタス・コンピューティングの環境では、遍在するコンピュータがユーザの位置を利用してユーザの作業を支援する。例えば、Active Badge location system [1] では、個人の身につけた Active Badge によって個人の位置を検出する。Context/Location-Aware Computing [2] では、このようにして得た位置情報から、属しているホストや人間のグループ、そばにあるアクセス可能な装置などの状況に適応するようなアプリケーションやシステムを提供している。

また、地理的位置情報を利用する分野としては

地理情報システム (GIS)*がある。このシステムでは地理的に分布する情報を、位置を表す空間情報と性質を表す属性情報として管理・利用する。これまでの地理情報システムは特定目的毎のアプリケーションで閉じたシステムとなっていた。近年、OpenGIS Consortium [3]・ISO/TC211 [4] 等により GIS データの相互共有を目指して、相互運用使用の策定、空間データモデルや空間演算、参照系、メタデータ、品質評価などの分野において地理的位置情報の国際標準化が行われており、世界規模での空間データ基盤開発を支援している。

我々が提案している地理的位置情報システム (GLI システム) [5] では、移動体の識別子と位置情報の登録・検索機能の実現を目指しており、計算機やユーザの位置・状態をインターネットを通じて認識することができる。移動体はサーバに位置や状態の情報

* riho-m@sfc.wide.ad.jp

† ohnishi@sfc.wide.ad.jp

‡ saikawa@sfc.wide.ad.jp

§ kei@wide.ad.jp

¶ jun@wide.ad.jp

* Geographic Information System

を登録し、クライアントは、識別子や位置を鍵とした検索要求をサーバに送信することにより、移動体を検索することができる。また、インターネットに接続された移動体はその地理的位置に基づいて、近接のサービス・資源を検索するといった移動体通信環境の支援や、地理的に分散した多数の移動体を持つ状態情報の分布をリアルタイムに観測することができる。GISが現実世界の地理情報、地形情報を取り扱うシステムであるのに対して、GLIシステムはインターネットに接続されたノードの識別子と地理的位置情報の登録と検索を分散的に管理する機構の実現を目指している。

GLIシステムで取扱う移動体の数は極めて多くなることが予想され、登録されるデータ量は膨大な数となるが、既存のGLIシステムでは、移動体を持つ多様なデータの登録と拡張性、検索の種類や性能に係るデータベースの構造に関しては、あまり考慮されていなかった。本稿では地理的位置情報システムにおけるデータの種類の登録、アプリケーション側から要求される検索の種類について考察し、GLIシステムの改良を行う。また、1999年11月に実施されたオープンリサーチフォーラム[†]におけるインターネット自動車の実験環境において、改良した地理的位置情報システムの実証実験を行った。

2 GLIシステムの概要

2.1 GLIシステム概念

GLIシステムの基本構成を図1に示す。[5]で提案されたGLIシステムは、エージェント、サーバ、クライアントの3種類のモジュールで構成される。エージェントは移動体上のソフトウェアであり、GPSなどの位置取得デバイスで取得した緯度・経度・高度・速度、および状態情報を識別子とともにサーバに登録する。サーバはそれらの情報をデータベースに格納し、クライアントからの検索要求により検索を行い検索結果をクライアントに送信する。クライアントはサーバに対し、移動体の識別子または位置情報を鍵とした検索要求を送信し、サーバから検索結果を受信する。また、クライアントは指定した移動体のエージェントに直接情報を問い合わせるこ

ともできる。

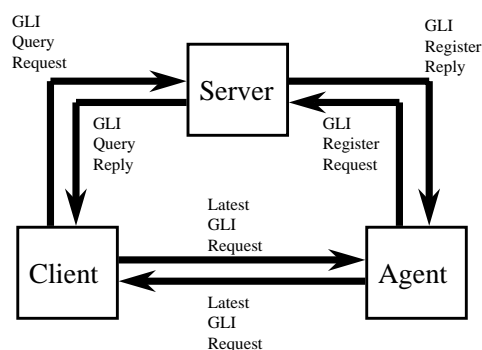


図1 GLIシステム基本構成

サーバの分散管理に関しては[6][7]で提案されており、サーバをホームサーバとエリアサーバという二つの機能に分割した。各エージェントはそれぞれ特定のホームサーバに所属しており、ホームサーバに位置情報を登録する。エリアサーバは特定の地理的領域に属する移動体の位置情報を管理しており、ホームサーバから該当するエリアサーバに更新情報が送信される。

2.2 GLIシステムの課題

サーバを分散管理する場合においても、取り扱う移動体の分布によって登録・検索が集中する可能性がある。そのような場合でも、登録はもとより、検索も高速に行う必要がある。特に、データベースに登録されたデータに対して行われる地理的な位置や範囲を用いた検索に関しては、これまであまり考慮されていなかった。そこで、本稿では地理的位置情報の登録・検索に適したデータベース形態を検討し、設計・実装を行う。特に、地理的位置を鍵としたさまざまな検索のパターンに関して考察し、より高速に検索応答可能なシステムを目標とする。また、登録のフォーマットをより多様な登録データに対応できるように改良する。

3 GLIシステムの改良

3.1 地理的位置情報検索の高速化

GLIシステムでは地理的位置情報のような2次元、3次元のデータと、それに付帯したデータも加えた更に高次元のデータを大規模数蓄積し高速に検

[†] 慶應義塾大学 SFC 研究コンソーシアムが毎年 11 月に行っている研究発表展示会

索する必要がある。このような高次元点データを取扱う手法は、画像データなどのマルチメディアデータにおける内容検索において見られる。画像データの内容検索の実現方法としては、特徴ベクトルを類似検索する方法が広く使用される。その際に必要となる最近接検索を高速化する手法がいくつか提案されている。その中で SR-Tree [9] は、高次元点データに対する最近接検索を高速化するためのインデックス構造である。最近接検索の高速化手法としては、 R^* -Tree や SS-Tree を用いる方法が提案されているが、SR-Tree はこれらより更に高速である。SR-Tree は特に次元が高くなった場合の性能が高く、レコード数が膨大になっても性能の劣化が少なく、記憶装置との入出力の増加が少ないという特徴がある。GLI システムでは移動体の地理的位置情報だけでなく、移動体に固有の状態情報を登録・検索する。その場合、4次元以上のデータを登録・検索する必要がある。以上の理由により今回設計する GLI システムでは SR-Tree を導入する。

3.2 検索パターンと蓄積データの種類

GLI システムは、移動体の地理的位置情報と付帯する情報をエージェントというプログラムからサーバに移動体が登録する。情報を全て蓄積すると膨大な量になるので、基本的には最新の情報だけを蓄積する。しかし、GLI システムへ登録される情報の利用方法を判断するために、過去の情報を求める検索要求を追加し、検索要求の種類に応じて複数の形式で情報を蓄積する。

検索パターンは、[5] で提案された検索を基本として使用する。基本的な検索パターンは次のようになる。

- 正引き検索 (Where are you?): 指定した移動体の位置を検索する
- 逆引き検索 (Who is there?): 指定した位置にある移動体を検索する

本稿で実装するシステムでは、この基本となる検索パターンを拡張する。また、逆引き検索において 2 種類の位置情報の指定方法を導入する。一つは、指定した 1 点に最も近い位置にある移動体を検索する最近接検索、もう一つは 2 点の座標から特定される四角形を範囲とし、その範囲に含まれる移動体を検索する範囲検索である。これら 2 種類の指定方法はクライアントアプリケーションにおいて検索する

地理的な範囲をマウスなどによって指定されることを仮定している。また、移動体の登録するデータとして、過去に登録されたデータも残し、これを履歴データとし、時間や遡るレコード数での検索を導入する。この拡張により用意される検索の種類は以下のようなになる。

- 正引き検索
 - 識別子からの検索: 移動体の識別子を検索の鍵として検索する
 - 識別子指定と履歴検索: 移動体の識別子を検索の鍵として、過去の登録データまで検索する
- 逆引き検索
 - 最近接検索: 指定した 1 点の座標から最も近い位置にある移動体を順に検索する
 - 範囲検索: 指定した 2 点の座標により特定される四角形の内部に存在する移動体を検索する
- 時間範囲検索: 2 つの時刻を指定し、その時間範囲に登録された移動体を検索する

これらの検索パターンと鍵に使用されるデータの種類の種類から、データベースの種類は以下のようになる。

- 識別子データベース: 識別子を鍵とする検索のデータベース、GDBM ライブラリ[‡]を使用
- 位置情報データベース: 地理的位置情報を鍵とする検索のデータベース: SR-Tree を使用
- 時刻データベース: 時刻とその範囲を鍵とする検索のデータベース。全ての移動体の情報が登録される。SR-Tree を使用。
- 履歴データベース: 移動体過去の情報を個別に検索に使用する。移動体毎に個別にデータベースファイルを作成。追記型バイナリデータファイル

識別子には FQDN(Fully Qualified Domain Name)[§]形式のホスト名を使用している。このデータの登録と検索に関しては、汎用的でシンプルな GNU dbm(GDBM) のライブラリ (gdbm-1.8.0) を使用した。SR-Tree は、[9] の作者が提供するラ

[‡] GNU dbm のこと。extensible hash を使用するデータベースルーチンのセット、UNIX に添付の dbm ルーチンと似た動作をする

[§] ドットで区切られたドメインネームの記述形式、例。foo.bar.com

イブラリ (HnSRTree-1.3.1) を使用した。

3.3 実装

2.1節で述べたように、GLIシステムは、基本的には移動体から位置情報などのデータを送信するエージェントと、問い合わせ要求をするクライアント、それを受け付け検索結果を応答するサーバ、の3者で構成される。

- データフォーマット:

本システムで取扱うデータには、大きく位置情報と状態情報に分けられる。位置情報は測地系と緯度・経度・高度・速度で構成される。状態情報のデータ形式は個別に定義する。それぞれ更に細かいデータセットがあり、id と subid で識別する。

- * 位置情報 (id=0)

- 固定 (sub id=0)
- 目的地 (sub id=1)
- 単独測位 GPS 位置 (sub id=2)
- Differential 補正 (sub id=3)
- RTK 補正 (sub id=4)

- 自動車状態情報 (id=1)

- ワイパー (sub id=0)
- ライト (sub id=1)
- シフト (sub id=2)
- エンジン回転数 (sub id=3)
- 照度 (sub id=4)
- 外気温 (sub id=5)

- プロトコルおよびパケットフォーマット:

本システムの各要素間で通信されるパケットの基本的な構成を図2、図3に示す。

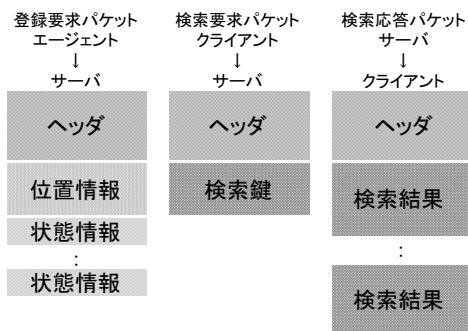


図2 パケットフォーマット概要 (1)

エージェントからサーバに送信されるパケットは、ヘッダと位置情報データ、状態情報からなる。ヘッダには、識別子、データの個数、タイムスタンプなどを含む。状態情報の個数はエージェントが動作する移動体によって異なる。

クライアントからサーバへの検索要求パケットは検索の種類を含むヘッダと検索の鍵からなる。その応答パケットはヘッダと検索の結果からなる。検索結果は、識別子、位置データ、状態情報で一つの単位とする。個数は可変である。

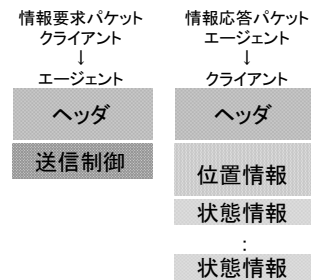


図3 パケットフォーマット概要 (2)

クライアントからエージェントへの情報要求パケットは、送信の開始および停止の制御である。エージェントからクライアントへの応答パケットは、エージェントのヘッダと位置情報と状態情報である。

- サーバ:

サーバでは、検索の種類に応じたデータベースを用意する。エージェントからの登録要求パケットを受信すると、登録情報を全てのデータベースに登録する。クライアントから検索要求パケットを受信すると、種類に該当するデータベースを検索し、応答する(図4)。

- エージェント:

エージェントは、GPSなどの位置取得デバイスから位置情報を取得し、登録要求パケットをサーバへ送信する。送信する主なデータは、識別子(FQDN)、位置データ(緯度・経度・高度・測地系・速度)、状態情報(id, subid, データ)、時刻である。

- クライアント:

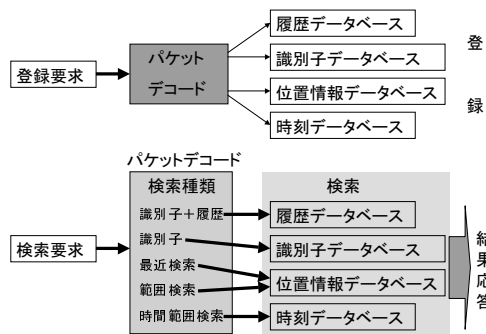


図4 サーバ構造

サーバへの検索要求送信と応答受信のためのインタフェースを提供する。ユーザから入力された問い合わせ要求タイプと検索データをサーバに送信し、応答を受信する。本実装ではサンプルプログラムと基本ライブラリを作成した。これをベースにアプリケーションの設計・実装を行う。

3.4 アプリケーションの設計と実装

本稿では2種類のアプリケーションを実装した。1つはサーバに検索要求を送信して結果を受信する検索要求型、もう1つは移動体に直接問い合わせリアルタイムに移動体の情報を取得するリアルタイム型である。それぞれのアプリケーションは、受け取った移動体のデータを地図上に点として表示する。

実装は、FreeBSD3.3-RELEASEにおいて行った。XFree86(3.3.2)を用い、GUIのツールキットとしてGTK+1.2を使用し、C言語でプログラムを実装した。

検索要求型アプリケーション

検索要求型アプリケーションは、以下のような手順で実行される。

1. ユーザは検索の種類を選択し、必要なパラメータを入力する。
2. 検索要求をパケット化する
3. サーバに検索要求を送信し、結果の応答を待つ
4. 応答を受信し、検索結果があれば地図画面に移動体の位置を表示する

リアルタイム型アプリケーション

リアルタイム型アプリケーションでは、サーバを経由せず、指定した移動体で動作するエージェントと直接通信する。エージェントはクライアントから

送信開始要求の制御パケットを受信するとデータを送信し始め、送信停止要求の制御パケットを受信すると停止する。リアルタイム型アプリケーションは以下のような手順で実行される。

1. ユーザは問い合わせる移動体を指定する
2. 移動体のエージェントに送信開始要求の制御パケットを送信する
3. エージェントからのデータを待つ
4. データを受信し、移動体の位置とデータを表示する
5. 送信停止要求の制御パケットを送信して終了する

4 実験環境

4.1 インターネット自動車

インターネット自動車¹⁾[8]では、自動車を実験基盤として移動を考慮したインターネットについて研究している。次世代情報基盤の実現を目標とし、車載ハードウェア、オペレーティングシステム、通信アーキテクチャ、補正情報配信のGNSSインフラストラクチャ、地理的位置情報システム、アプリケーションなどの各分野において研究が進められている。また、インターネット自動車は、自動車が持つ様々なセンサー情報を多数の自動車からボトムアップに収集することにより、雨量・気温などの地域の状態情報、道路の状況など社会システムに有用な情報として利用することができる。

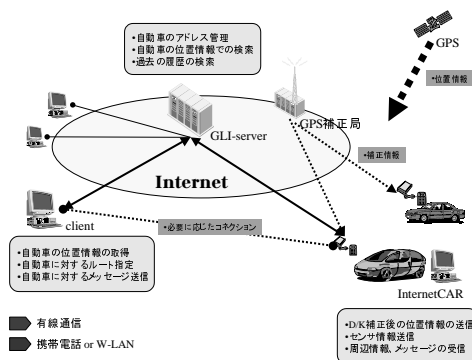


図5 インターネット自動車システム概要

図5にインターネット自動車システム概要を示す。

¹⁾ 慶應義塾大学インターネット自動車研究コンソーシアム、WIDEプロジェクトインターネット自動車分科会

車載ハードウェアには、SIC2000 というインターネット自動車用に設計されたハードウェアを開発した。RS232C インタフェース 4 口、PC Card のインタフェースを 4 スロット持つ。ハードディスクはなくフラッシュメモリを持つなど、自動車での使用を考慮した仕様となっている。このハードウェアのオペレーティングシステムとして NetBSD をポータリング [10] し、インターネット自動車用の各アプリケーションを実行する。

4.2 ネットワーク環境

臨時にキャンパス内に無線 LAN(IEEE802.11 ベース)のアクセスポイントを複数設置した。インターネット自動車はキャンパス内周回道路では約 2Mbps で継続して通信できる。



図 6 無線 LAN 通信可能領域の調査

まず、無線 LAN 基地局アンテナをキャンパス内のいくつかのビル屋上に設置し、周回道路を走行するインターネット自動車からの通信状況を調査した。図 6 はこの調査段階で試験的に配置した場合での通信可能領域である。その結果、アクセスポイント 3 個では、周回道路上の半分程度をカバーできることがわかった。実験では、周回道路西側部分において無線 LAN を使用するようにアクセスポイントを設置した。1 つのアクセスポイントを基幹の LAN に接続し、他の 2 個をブリッジ接続した。

また、ネットワーク間の移動を実験するために、無線 LAN に加え通信媒体として 9600bps の携帯電話も使用し、学内に設置した PPP のアクセスポイントにダイヤルアップ接続した。実験環境では、インタフェーススイッチと呼ぶ機能を開発し、無線 LAN と携帯電話のうち利用可能なものを動的に選択できるようにした。

実験ネットワーク環境を図 7 に示す。網掛けの部分は無線 LAN が利用可能な部分、それ以外では携帯電話での通信を行う。インターネット自動車は周回道路 (SFC メビウスリング) を走行し、インタフェース切替えを行いながら通信を継続する。

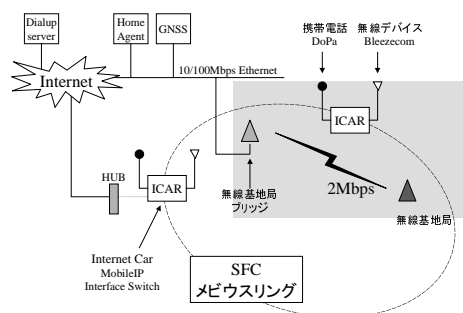


図 7 実験ネットワーク環境

4.3 インタフェーススイッチ

インターネット自動車では、無線 LAN、携帯電話、PHS といった複数の通信媒体を想定し状況に応じて切替える。この場合、無線 LAN が使用可能な状況では無線 LAN というように、通信状況に応じて使用するネットワークインタフェースを自動的に切替えるインタフェーススイッチ機構が重要である。本機構には、MIBsocket [11] というソフトウェアを使用した。

4.4 Mobile IP

インターネット自動車は移動しながらインターネット上で一つのエンドノードとして認識され、唯一不変に識別されることが重要である。また、移動中の通信インタフェースの IP アドレスが変化しても通信を継続する必要がある。ここでは、MobileIP [12] を利用しそれを実現する。本実験では [6] で実装されたパッケージを使用した。

4.5 GNSS システム

GPS 衛星からのデータにはあらかじめ誤差が含まれているので、GPS で測位した位置データにも誤差が含まれる。インターネット自動車に限らず、位置の正確性は重要である。GPS の位置を補正し、精度を高めるには、予め正しい位置が分かっている場所において測位した位置データを元にした補正情報を用いる。補正の技術として、Differential/RTK などがあるが、補正情報を配送するには別の通信デバイスを必要とする。GNSS システム [13] は、インターネットにおいて補正情報の配送を行うシステムである。本実験ではそのプロトタイプを設計・実装して使用した。

5 実験結果と考察

5.1 実験結果

本稿で実装した GLI システムを使用し、4節で述べた実験環境において 3 台の実験車、サーバ 1 台、クライアント 1 台を利用して動作実験を行った。

クライアントは、3.4節で述べた 2 種のアプリケーションをベースにしたものであり、より具体的な目的を持つようにした。このクライアントアプリケーションの動作実験によりクライアントからサーバへの検索要求、サーバにおける検索要求処理、クライアントにおける検索結果受信とその表示処理が正しく動作することを確認した。

エージェントとサーバ間の通信

実験車では、それぞれエージェントを動作させた。エージェントは、1 秒毎にインターネット上の固定ホスト上で動作するサーバに対して、GPS により取得した位置情報と識別子、付帯するセンサー情報を送信する。サーバはエージェントからの送信を受信して登録要求を受け付け、エージェントの情報をデータベースに登録する。これらは、良好に動作した。

アプリケーション：自動車の軌跡による地図の作成

本アプリケーションでは、3.4節の「検索要求型」アプリケーションをベースにして、インターネット自動車によってサーバに登録された地理的位置データから補正されたデータを選択して地図を作成するものである。湘南台-大学間で 3 時間程の走行記録から地図らしきものが作成できることを示した。そ

の際、Differential GPS により補正された位置情報を使用した。図 8 に湘南台駅-慶應義塾大学湘南藤沢キャンパス間周辺で作成された地図を示す。

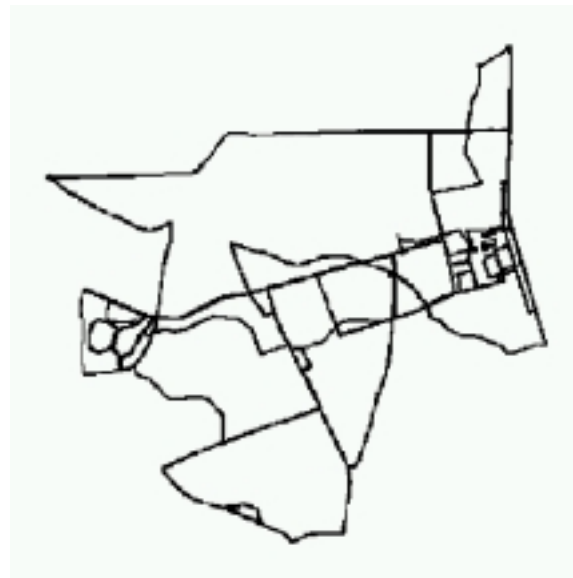


図 8 地図 1「走行記録による地図」

本アプリケーションを利用して、多数のインターネット自動車の履歴を検索すると、新しい道路を通過した場合に地図が更新され、道路が増加する。また道路を通った回数で表示する色を変えることにより、頻度情報とすることもできる。

アプリケーション：自動車のモニタリング

本アプリケーションは、3.4節の「検索要求型」「リアルタイム型」の両方のアプリケーションをベースとしており、インターネット自動車の検索・モニタリングプログラムを作成した。モニタリングではエージェントへ直接問い合わせることによって状態を表示した(図 9)。

また、検索を行いその結果を表示した。3.2節に示した検索のうち次の 3 種を実装した(図 10)。

- 識別子を指定しての検索
- 範囲検索 (マウスで矩形を指定してその内部に存在する自動車を表示)
- 最近接検索 (マウスで 1 点を指定して最短距離に位置する自動車を表示)

これら 2 種類のアプリケーションは良好に動作し、3.4節で設計された二つのタイプ「検索要求型」「リアルタイム型」のアプリケーションが GLI システムにおいて実現した。

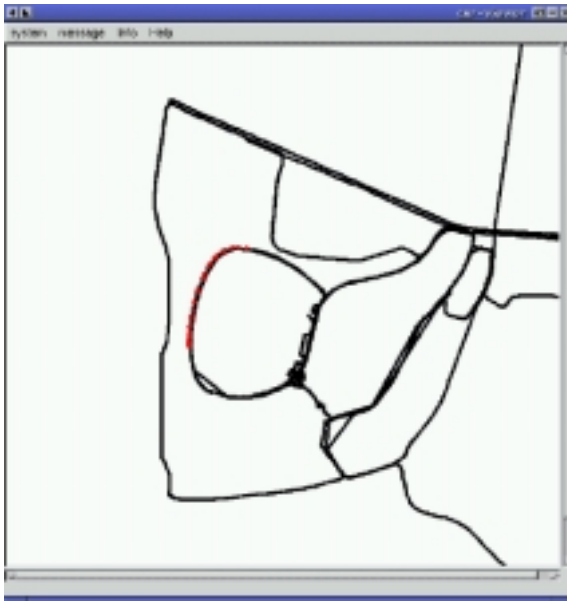


図9 モニタリング実行画面

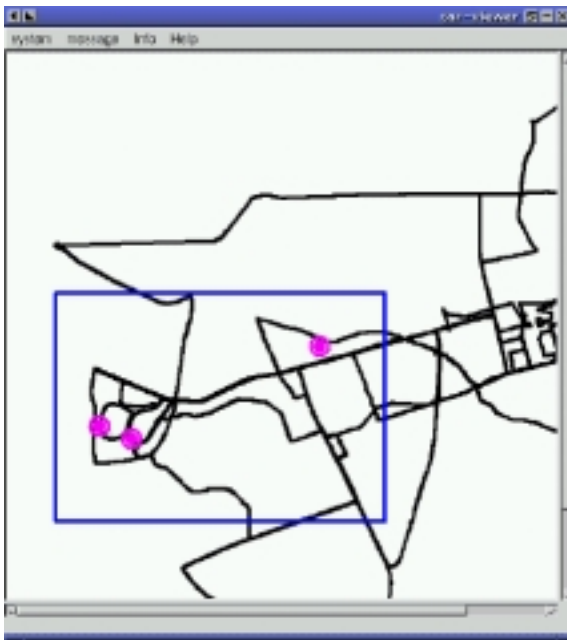


図10 検索実行画面

5.2 考察

データセットの定義とデータベース構造

本システムでは、データセットの定義があれば移動体の持つさまざまな情報をサーバに登録することが可能である。現状では、基本データとなる位置情報データと、実験でも使用しているインターネット自動車のセンサー情報データの2種類のデータセットが定義されている。このような移動体固有の様々な状態情報に対応する必要がある。

データベース構造もそれに対応して変化する必要がある。現状ではインターネット自動車の実験のみで使用されているため、位置データと状態情報データは同じデータベースとして扱っている。データセットが増加した場合データベースの拡張が容易な構造を持つ必要がある。例えば、図11のように、検索用に分割された基本データベース(位置・識別子・時間)のそれぞれからデータセット別のデータへのリンク(リレーション)で結びつけることなどが考えられる。このような構造では、データベースの拡張が大きくなるにつれて、登録・検索ともにより多くの時間を要する。特に検索中に移動体が移動している可能性も生じる。移動体は現在最短で1秒間隔で登録のための送信を行っている。検索に要する時間が、登録送信の間隔より短くなるように間隔を調整する必要がある。または、分散化されたサーバが管理する領域の大きさを小さくし登録される移動体の数を減らすことが必要となる。

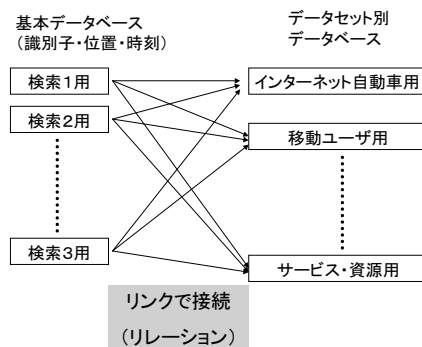


図11 データベース構造

構造化された地図データ

本システムでは、移動体(自動車)の位置を点として扱い、その軌跡から地図を作成しているが、この地図が一般の地図として利用できるためには、地図上の道、川、建物などを個別のデータとして扱える必要がある。デジタル地図に見られる構造化された地図データ(リンクデータ)を扱うことにより、インターネットにおける地図データの配信など、より実用的なアプリケーションが期待できる。

6 まとめと今後の課題

本稿では、地理的位置情報システムの検索に関して検索パターンの検討とデータベース部分の改良を行った。移動体の状態情報の登録に関して、様々な種類の状態情報に対応できる可変長のパケットフォーマットへ変更し、これらの設計実装を行った。インターネット自動車によるインターネット移動体通信基盤の実験環境の中で、本システムの動作実証実験を行い、良好な動作を確認した。

インターネット自動車やインターネット移動体通信環境構築に関する研究が今後より実用的な段階へ進むためには、基盤となるソフトウェアやアーキテクチャの構築に加えて、既存のアプリケーションを移動体通信環境に適応させるミドルウェア、自動車や移動体を考慮したアプリケーションやシステム、インタフェースなどの課題についても検討する必要があると考えられる。

謝辞

オープンリサーチフォーラムにおけるインターネット自動車実験準備に協力して頂いた湧川隆司氏、杉本信太氏、川喜田佑介氏、その他村井研究室 NACM 研究グループの皆様にご感謝致します。また、論文執筆に当たっては熱心に御指導くださった、ソニーコンピュータサイエンス研究所の寺岡文男氏、有益な議論をしてくださった、rover ワーキンググループの皆様にご感謝致します。

参考文献

- [1] Roy Want, Andy Hopper, Veronica Falcao, Jonathan Gibbons: The Active Badge Location System ACM Transactions on Information Systems, 10(1):91-102, January 1992.
- [2] Bill N. Schilit, Norman I. Adams, Roy Want:

Context-Aware Computing Applications Proceedings of the Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, Pages 85-90, Santa Cruz, CA, December 1994. IEEE Computer Society.

- [3] OpenGIS Consortium Abstract Specification version 4, <http://www.opengis.org/techno/specs.htm>
- [4] ISO/TC 211 Geographic information/Geomatics, <http://www.statkart.no/isotc211/>
- [5] Yasuhito Watanabe, Atsushi Shionozaki, Fumio Teraoka, Jun Murai, "The design and implementation of the geographical location information system.", Proc. of INET'96. Internet Society, June 1996.
- [6] Keisuke UEHARA, Takamichi TATEOKA, Yasuhito WATANABE, Hideki SUNAHARA, Osamu NAKAMURA, Jun MURAI, "A Network Architecture for Continuous Mobility", Proc. of WWCA'98, Springer-Verlag LNCS1368, pp. 224-269, Feb. 1998
- [7] 竹内 奏吾, 中村 嘉志, 多田 好克, "インターネットにおける地理位置情報管理システムの設計と実装", 情報処理学会マルチメディア、分散、協調とモバイル(DICOMO'99)シンポジウム論文集, 405-410, June, 1999
- [8] Keisuke UEHARA, Yasuhito WATANABE, Hideki SUNAHARA, Osamu NAKAMURA, Jun MURAI, "InternetCAR -Internet Connected Automobiles-", Proc. of INET'98, Jul. 1998
- [9] Norio Katayama, Shin'ichi Satoh, "The SR-tree: An Index Structure for High-Dimensional Nearest Neighbor Queries," Proceedings of the 1997 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data (May 1997) pp. 369-380.
- [10] 杉本信太, 植原啓介, 三屋光史朗, 村井純, "車載コンピュータへのBSDの応用", 日本ソフトウェア科学会, 第3回プログラミングおよび応用のシステムに関するワークショップ, March, 1999
- [11] Ryuji Wakikawa, Keisuke Uehara, Yosuke Tamura, Hideyuki Tokuda, "MIBsocket: Integrated Control Mechanism for Network Entity in Mobile Network", IPSJ/SIGOS at Okinawa, Spring 1999.
- [12] Perkins, C. IP Mobility Support, RFC 2002, October 1996.
- [13] Hisakazu HADA, Keisuke UEHARA, Hideki SUNAHARA, Jun MURAI, Ivan PETROVSKI, Hideyuki TORIMOTO, Seiya KAWAGUCHI, "New Differential and RTK Corrections Services Based on the Internet", Proc. of GNSS'99, ... 1999