

GLIシステムにおける位置情報履歴および付帯情報管理機構の構築

原 史明[†] 栗栖 俊治[†] 渡辺 恭人^{††} 白石 陽^{†††} 寺岡 文男[†]

[†] 慶應義塾大学大学院理工学研究科 寺岡研究室 〒223-0061 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1

^{††} 慶應義塾大学 SFC 研究所 〒252-8520 神奈川県藤沢市遠藤 5322

^{†††} 東京大学空間情報科学研究センター 〒153-8904 東京都目黒区駒場 4-6-1

E-mail: [†]{haha, chris}@tera.ics.keio.ac.jp, ^{††}riho-m@sfc.wide.ad.jp, ^{†††}siraisi@csis.u-tokyo.ac.jp,
^{††††}tera@ics.keio.ac.jp

あらまし 本研究では移動体の位置情報履歴および付帯情報を管理するシステムの構築を目標とする。インターネットを利用した移動体の位置情報管理機構に GLI(Geographical Location Information) システムがあるが、想定する利用例およびシステムの汎用性、単純化の観点から最新位置情報のみを管理し、位置情報の履歴や移動体の持つ付帯情報は管理しない設計となっていた。しかし、位置情報履歴や付帯情報を用いることで車両追跡や周辺環境の把握など、より有用なサービスが提供できると考えられる。そこで GLI システムを基礎として位置情報履歴および付帯情報を管理するシステムを設計、実装、評価する。

キーワード インターネット, モバイルコンピューティング, ユビキタスコンピューティング, 位置情報

The Construction of Geographical Location Information (GLI) System with Location History and Accessory Information Management

Fumiaki HARA[†], Toshiharu KURISU[†], Yasuhito WATANABE^{††}, You SHIRAIISHI^{†††},
and Fumio TERAOKA[†]

[†] Teraoka Laboratory, Graduate School of Science and Technology, Keio University 3-14-1 Hiyoshi, Kohoku-ku, Kanagawa, 223-0061 Japan

^{††} Keio Research Institute at SFC 5322 Endo, Fujisawa-shi, Kanagawa, 252-8520 Japan

^{†††} Center for Spatial Information Science at the University of Tokyo 4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo, 153-8904 Japan

E-mail: [†]{haha, chris}@tera.ics.keio.ac.jp, ^{††}riho-m@sfc.wide.ad.jp, ^{†††}siraisi@csis.u-tokyo.ac.jp,
^{††††}tera@ics.keio.ac.jp

Abstract In this research, we aim at managing location history and accessory information. The Geographical Location Information (GLI) System manages latest geographical location information because of the envisioned examples of use, versatility and simplification. However, we can provide more useful services such as tracing mobile object or understanding the circum-condition of the mobile object by managing location history and accessory information. So, we design, implement, and evaluate the system managing location history and accessory information based on GLI system.

Key words The Internet, Mobile Computing, Ubiquitous Computing, Location Information

1. はじめに

近年、インターネットおよび携帯端末の普及によりいつでもどこからでもインターネットにアクセスできるようになった。また GPS 等の位置測位技術の発展により、携帯端末を用いて

手軽に正確な位置情報を取得することが可能となった。そこで、現在位置情報を利用したサービスの研究、開発が行われている。

インターネット上で移動体の地理位置情報を管理する機構として、我々は GLI (Geographical Location Information) システムを提案している [1]。GLI システムは移動体の位置情報を

ビスを提供するため、補間等による真の値ではない情報を提供するべきではない。そこで補間等は一切行わず、点の情報そのまま管理する。ただし点の情報そのまま管理すると、登録された時刻以外では位置情報を得ることができないため、位置情報の検索において時刻を範囲として指定することにより、目的の時刻近辺の位置情報を得られるようにする。

検索は GLI システムが持つ、正引き検索機能、逆引き検索機能に対して時刻を検索の鍵として加え、以下の 2 つの機能をサポートする。

(1) 移動体の識別子と時刻範囲を鍵とした、移動体の地理位置情報の集合の検索 (正引き検索)

→「HID A で指定される移動体が時刻 $t_1 \sim t_2$ においてどこに存在したか。」(例：車両の運行軌跡の検索)

(2) 地理位置の範囲と時刻範囲を鍵とした、移動体の識別子の集合の検索 (逆引き検索)

→「時刻 $t_1 \sim t_2$ において領域 B にどのような移動体が存在したか。」(例：交差点を一定時間に通過した移動体の検索)

3.2 付帯情報の管理

付帯情報とは、移動体の速度や向き、周辺の温度や湿度など、移動体に付属する情報を指す。例えば、自動車は速度センサーなど 100 種類以上のセンサーを持つ。自動車でも多くの種類のセンサー情報を持つうえ、本研究が対象とする移動体は自動車に限らないため、情報の種類はさらに多岐に渡ることになる。よって、システムとして情報の種類を統一的に管理することは困難である。そこで付帯情報のセマンティクスには触れず、登録する移動体は付帯情報の種類を表す番号を指定し、その番号を検索者と共有することで検索を可能とする。

付帯情報は移動体に付属する情報であることを考慮し、位置情報履歴を管理するサーバが管理する。ただし、全く同じ付帯情報のデータを HID サーバ、エリアサーバの両者が管理することは効率的ではないので、付帯情報は HID サーバのみに登録する。検索は正引き検索にて付帯情報を表す番号を指定することで、検索結果として移動体の位置情報履歴と共に付帯情報を取得する。逆引き検索において付帯情報を取得したい場合は一旦逆引き検索を行って移動体の HID の集合を取得し、その HID を用いて正引き検索を行い、付帯情報を取得する。

3.3 HID の重複に対する対応

HID は 160bit の長さで、そのパターンは約 10^{48} 通り存在する。GLI システムでは最新の位置情報のみ管理するため最新の移動体の HID のみ管理すれば良い。しかし位置情報履歴を管理する本システムの場合、同一移動体に対して複数の HID を管理する必要があり、異なる移動体と HID が偶然重複してしまう可能性は GLI システムより高い。HID を移動体の識別子として用いるため、HID の重複が発生してしまうと登録された位置情報が重複した移動体のどちらの情報であるか判断できない。そこで 128bit の補助識別子を用意し、HID が万一重複してしまった場合はこの補助識別子を用いることで移動体を識別する。ただし、この手法は HID が重複する確率を限りなく 0 に近づけているだけであり、問題の根本的解決とはなっていない。

3.4 登録・削除の動作概要

登録時および削除時の通信には通信のオーバーヘッドを最小限にするため、UDP を用いる。図 2 に登録時のパケットフローを示す。削除時のパケットフローは登録時と同様である。また、以下に登録時の動作概要を示す。

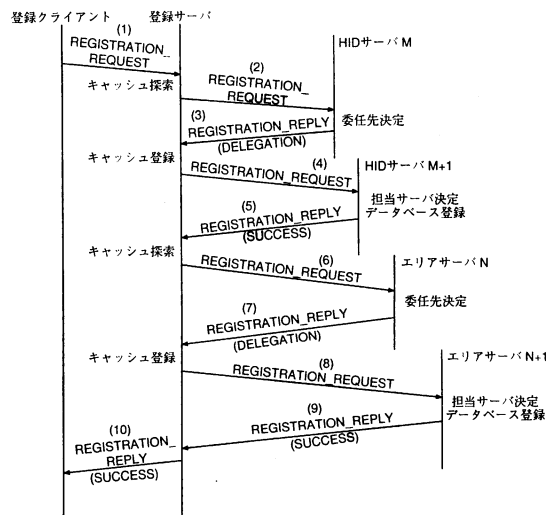


図 2 登録時のパケットフロー

(1) 登録クライアントは登録要求 (REGISTRATION_REQUEST) を登録サーバへ送信する。

(2) 登録サーバは委任情報を保持したキャッシュを探索し、ヒットした HID サーバ M へ REGISTRATION_REQUEST を送信する。

(3) HID サーバ M は下位層への委任情報を保持したテーブルを探索して委任先 (HID サーバ M+1) を決定し、登録サーバへ委任情報 (DELEGATION) を含んだ登録応答 (REGISTRATION_REPLY) を送信する。

(4) 登録サーバは委任情報をキャッシュに登録し、委任先 (HID サーバ M+1) へ REGISTRATION_REQUEST (位置情報および付帯情報) を送信する。

(5) 登録される HID を管理する HID サーバ M+1 は下位層への委任情報を保持したテーブルを探索して自身が管理する HID サーバであることを確認し、データベースに登録する。そして登録サーバへ登録成功 (SUCCESS) を含んだ REGISTRATION_REPLY を送信する。

(6) 登録サーバは HID サーバから登録成功メッセージを受信すると、エリアサーバの委任情報を保持したキャッシュを探索し、ヒットしたエリアサーバ N へ REGISTRATION_REQUEST を送信する。

(7) エリアサーバ N は下位層への委任情報を保持したテーブルを探索して委任先 (エリアサーバ N+1) を決定し、登録サーバへ委任情報 (DELEGATION) を含んだ REGISTRATION_REPLY を送信する。

(8) 登録サーバは委任情報をキャッシュに登録し、委任先

(エリアサーバN+1)へREGISTRATION_REQUEST(位置情報)を送信する。

(9) 登録される位置を管理するエリアサーバN+1は下位層への委任情報を保持したテーブルを探索して自身が管理するエリアサーバであることを確認し、データベースに登録する。そして登録サーバへ登録成功(SUCCESS)を含んだREGISTRATION_REPLYを送信する。

(10) 登録サーバはREGISTRATION_REPLYを受信すると登録クライアントへ登録成功(SUCCESS)を含んだREGISTRATION_REPLYを送信する。

3.5 正引き検索の動作概要

正引き検索の通信では大量のデータが検索結果としてやりとりされる可能性があるため、TCPを用いる。ただし、サーバ検索要求とサーバ検索応答についてはUDPを用いる。図3に正引き検索時のパケットフローを示す。また、以下に動作概要を示す。

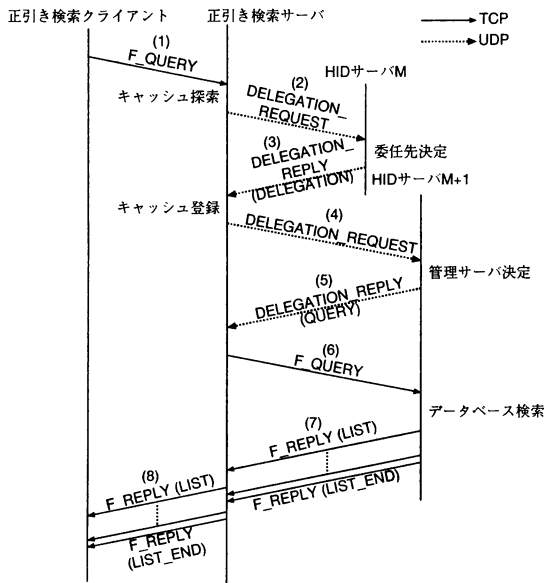


図3 正引き検索時のパケットフロー

(1) 正引き検索クライアントは正引き検索要求(F_QUERY)を正引き検索サーバへ送信する。

(2) 正引き検索サーバは委任情報を保持したキャッシュを探索し、ヒットしたHIDサーバMへサーバ検索要求(DELEGATION_REQUEST)を送信する。

(3) HIDサーバMは下位層への委任情報を保持したテーブルを探索して委任先(HIDサーバM+1)を決定し、正引き検索サーバへ委任情報(DELEGATION)を含んだサーバ検索応答(DELEGATION_REPLY)を送信する。

(4) 正引き検索サーバは委任情報をキャッシュに登録し、委任先(HIDサーバM+1)へDELEGATION_REQUESTを送信する。

(5) 正引き検索されるHIDを管理するHIDサーバM+1は下位層への委任情報を保持したテーブルを探索して自身が管理するHIDサーバであることを確認し、検索可能応答(QUERY)を含んだDELEGATION_REPLYを送信する。

(6) 正引き検索サーバは検索可能応答にしたがってF_QUERYをHIDサーバM+1へ送信する。

(7) HIDサーバM+1はデータベースを検索し、検索結果のリストである正引き検索応答(F_REPLY)を正引き検索サーバへ送信する。

(8) 正引き検索サーバは検索結果を正引き検索クライアントへ送信する。

3.6 逆引き検索の動作概要

逆引き検索の通信では正引き検索と同様に大量のデータがやりとりされる可能性があるため、サーバ検索要求およびサーバ検索応答にはUDP、それ以外ではTCPを用いる。図4に逆引き検索時のパケットフローを示す。また、以下に動作概要を示す。

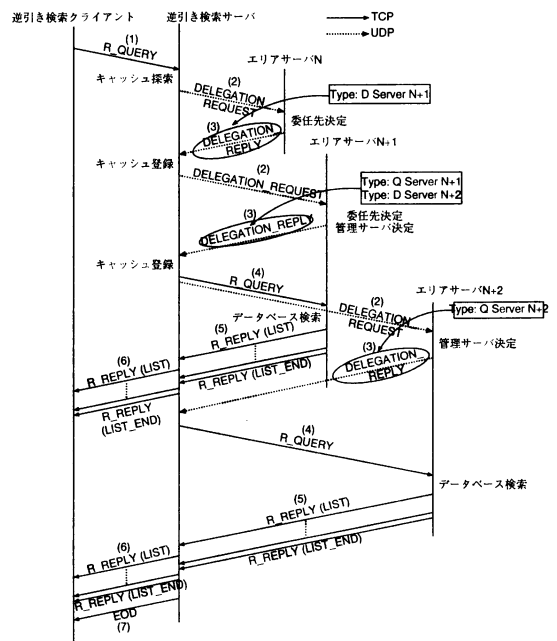


図4 逆引き検索時のパケットフロー

(1) 逆引き検索クライアントは逆引き検索要求(R_QUERY)を逆引き検索サーバへ送信する。

(2) 逆引き検索サーバは委任情報を保持したキャッシュを探索し、ヒットしたエリアサーバNへサーバ検索要求(DELEGATION_REQUEST)を送信する。

(3) エリアサーバNは下位層への委任情報を保持したテーブルを探索して委任情報のリストを決定する。検索領域が複数のエリアサーバの管理領域に跨る可能性があるため、複数の委任情報がリストの中に含まれる。委任情報のリストには下位層への委任先情報(Type D)、自身のサーバが管理領域であること

を示す検索可能応答 (Type Q) の 2 種類の情報が含まれる。この委任情報のリストをサーバ検索応答 (DELEGATION_REPLY) として逆引き検索サーバへ送信する。

(4) 逆引き検索サーバは委任情報をキャッシュに登録、委任先のすべてのエリアサーバへ DELEGATION_REQUEST を送信する。また、検索可能応答が含まれる場合は委任情報の送信元エリアサーバへ R_QUERY を送信する。

(5) エリアサーバはデータベースを検索し、検索結果のリストである逆引き検索応答 (R_REPLY) を逆引き検索サーバへ送信する。

(6) 逆引き検索サーバは検索結果を逆引き検索クライアントへ送信する。

(7) 逆引き検索サーバは、検索領域を管理するすべてのエリアサーバからの検索結果を逆引き検索クライアントへ送信すると、検索終了メッセージを検索クライアントへ送信する。

4. 実装

提案システムを FreeBSD Release 4.8 上に実装した。各サーバを独立にユーザプロセスとし、HID サーバ、エリアサーバのデータベースには SR-Tree [3] を用いた。各サーバにおけるキャッシュ探索やデータベース登録等の個々の処理は逐次処理としたが、相手サーバからの返答待ちの状態では別の要求を処理するようにして登録や検索の処理全体としては並列処理とした。

5. 評価

実装の性能評価を行った。評価として各サーバの登録・逆引き検索・逆引き検索の処理時間を測定した。測定に使用したマシンのスペックは、CPU が VIA C3(800MHz)、メモリは 512Mbyte である。

5.1 登録処理

図 2 より、以下の処理が行われる。表 1 に処理時間の測定結果を示す。キャッシュ探索において結果が範囲で示してあるものは、キャッシュの状態により値が変化するため最良値と最悪値を示した。最良値はキャッシュの先頭に目的の情報がある場合、最悪値は最大に階層化し、キャッシュサイズが最大かつ目的の情報がキャッシュの最後尾に存在する場合である。ただし、最悪値は設計上最大に階層化した場合であり、実際には最悪値ほど大きな値とはならない。また、HID サーバ、エリアサーバそれぞれにおけるデータベース処理時間については図 5 に示す。登録データは移動体が 1,000 台、HID はランダムに与え、位置は北緯 35 度 ~ 40 度、東経 135 度 ~ 140 度を自由に動く。登録は 3 分間隔とし、HID は 10 分で更新するものとした。

登録サーバ

- HID サーバの分散化情報のキャッシュを探索する時間
- HID サーバの分散化情報をキャッシュに登録する時間
- エリアサーバの分散化情報のキャッシュを探索する時間
- エリアサーバの分散化情報をキャッシュに登録する時間

HID サーバ

- HID サーバの委任先を決定する時間

- 担当サーバが決定し、データベースに登録する時間
- エリアサーバの委任先を決定する時間
- 担当サーバが決定し、データベースに登録する時間

表 1 登録処理時間

サーバ名	処理	処理時間 (μsec)
登録サーバ	HID サーバキャッシュ探索	14 ~ 564
	HID サーバキャッシュ登録	25
	エリアサーバキャッシュ探索	15 ~ 25931
	エリアサーバキャッシュ登録	11
HID サーバ	委任先決定	33
	担当サーバ決定	33
エリアサーバ	委任先決定	5 ~ 23503
	担当サーバ決定	5 ~ 23503

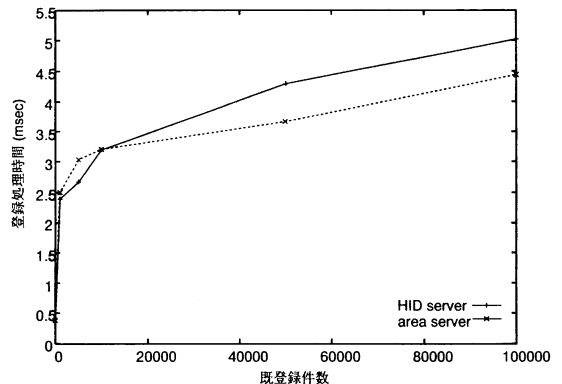


図 5 データベース登録処理時間

図 5 より既登録件数の増加に従い処理時間は増加し、既登録件数が 100,000 件における HID サーバの登録処理時間は 5.0msec、エリアサーバの登録処理時間は 4.4msec となった。

以上の測定結果に加えて各サーバ間の RTT(Round Trip Time) が十数 msec、各サーバでのパケット送受信処理時間が数十 μsec 程度かかることより、登録処理時間については各サーバ間の RTT およびデータベース登録処理時間が大半を占める。また、分散化の状態によってキャッシュの探索時間も影響する。

5.2 正引き検索処理

図 2 より、以下の処理が行われる。表 2 に測定結果を示す。キャッシュ探索については登録処理と同様に最良値と最悪値を示した。また、データベース検索処理時間については図 6、図 7 に示す。

正引き検索サーバ

- HID サーバの分散化情報のキャッシュを探索する時間
 - HID サーバの分散化情報をキャッシュに登録する時間
- HID サーバ
- HID サーバの委任先を決定する時間
 - HID サーバ自身が担当サーバであると決定する時間
 - データベースの検索時間

表 2 正引き検索処理時間

サーバ名	処理	処理時間 (μsec)
正引き検索サーバ	HID サーバキャッシュ探索	14 ~ 564
	HID サーバキャッシュ登録	25
HID サーバ	委任先決定	表 1 参照
	担当サーバ決定	表 1 参照

図 6 に 1 件の検索結果を得るためのデータベース検索処理時間を示す。既登録のデータは登録処理の評価に用いたものと同様である。既登録件数の増加に従いデータベース検索処理時間は増加し、既登録件数が 100,000 件における HID サーバのデータベース検索処理時間は 6.0msec となった。図 7 に検索結果の件数に対するデータベース検索処理時間を示す。既登録のデータは 100,000 件で登録処理の評価に用いたものと同様である。検索結果件数の増加に従いデータベース検索処理時間はほぼ線形に増加し、検索結果数が 1,000 件における HID サーバのデータベース検索処理時間は 41msec となった。

以上の測定結果に加えて各サーバ間の RTT、各サーバでのパケット送受信処理時間より、正引き検索処理時間については各サーバ間の RTT およびデータベース登録処理時間が大半を占める。

5.3 逆引き検索処理

図 2 より、以下の処理が行われる。表 3 に測定結果を示す。キャッシュ探索については登録処理と同様に最良値と最悪値を示した。また、データベース検索処理時間については図 6、図 7 に示す。

逆引き検索サーバ

- エリアサーバの分散化情報のキャッシュを探索する時間
- エリアサーバの分散化情報をキャッシュに登録する時間
- エリアサーバの委任先を決定する時間
- エリアサーバ自身が担当サーバであると決定する時間
- データベースの検索時間

表 3 逆引き検索処理時間

サーバ名	処理	処理時間 (μsec)
逆引き検索サーバ	エリアサーバキャッシュ探索	15 ~ 25931
	エリアサーバキャッシュ登録	11
エリアサーバ	委任先決定	表 1 参照
	担当サーバ決定	表 1 参照

図 6 に 1 件の検索結果を得るためのデータベース検索処理時間を示す。既登録のデータは登録処理の評価に用いたものと同様である。既登録件数の増加に従いデータベース検索処理時間は増加し、既登録件数が 100,000 件におけるエリアサーバのデータベース検索処理時間は 2.6msec となった。また、図 7 に検索結果の件数に対するデータベース検索処理時間を示す。検索結果件数の増加に従いデータベース検索処理時間はほぼ線形に増加し、検索結果数が 1,000 件におけるエリアサーバのデータベース検索処理時間は 35msec となった。

以上の測定結果に加えて各サーバ間の RTT、各サーバでの

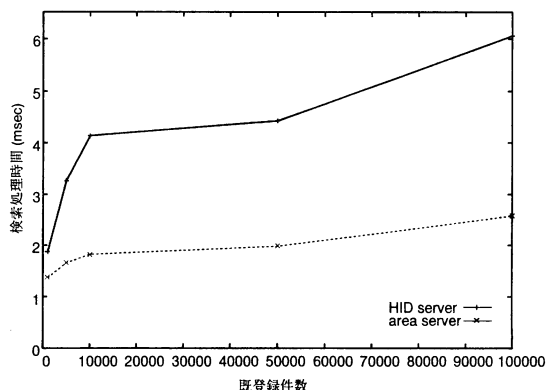


図 6 データベース検索処理時間 (1 件検索)

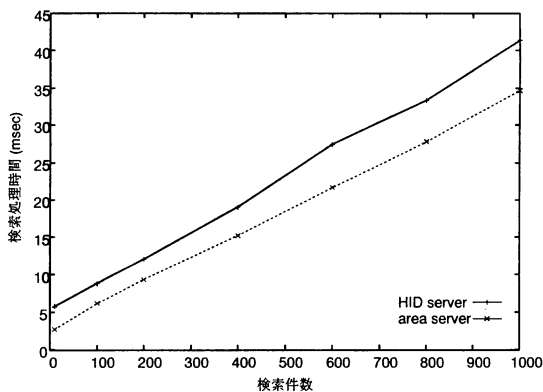


図 7 データベース検索処理時間 (複数検索)

パケット送受信処理時間より、逆引き検索処理時間については各サーバ間の RTT およびデータベース登録処理時間が大半を占める。また、分散化の状態によってキャッシュの探索時間も影響する。

6. おわりに

本研究では、GLI システムを基礎として位置情報履歴および付帯情報を管理する機構を設計・実装・評価した。性能評価として各サーバにおける登録・正引き検索・逆引き検索処理時間を測定した。処理時間は各サーバ間の RTT および HID サーバ、エリアサーバのデータベース処理時間に影響される。

文 献

- [1] 渡辺恭人, 竹内奏吾, 植原啓介, 寺岡文男, 村井純, “プライバシー保護を考慮した地理位置情報システム”, 情処学論マルチメディアネットワークシステム特集号, vol.42, no.2, Feb.2001
- [2] 栗栖俊治, 渡辺恭人, 竹内奏吾, 寺岡文男, “プライバシーを考慮した地理位置情報システムの実装と評価”, 情処学全大, 分冊 5, pp.103-106, Mar.2003
- [3] N. Katayama and S. Satoh, “The sr-tree: an index structure for high-dimension nearest neighbor queries”, Proceeding of the 1997 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, pp. 369-380, May. 1997.