

移動計算機環境における位置情報管理システムの設計と構築

島田 秀輝[†] 田頭 茂明^{††}
中西 恒夫[†] 福田 晃^{†††}

近年、移動計算機とそれらを取り巻く入力デバイスの小型化、高性能化に伴い、多くの移動計算機が、様々な場所で、位置に依存する情報（位置依存情報）を収集できる環境が整いつつある。また、携帯電話や無線 LAN 等の無線媒体を用いることで、多くの場所においてネットワークと接続できるようになっている。このため我々は、収集した位置依存情報をリアルタイムで、他の計算機と共有するシステム基盤の確立を目指している。しかし、移動計算機を位置で指定する仕組みがないために、位置依存サービスを受けることが、システムを利用するユーザにとって大変困難になっている。そこで、本稿では移動計算機の位置を管理し、移動計算機の位置情報の取得、または位置情報で移動計算機の検索ができる位置情報管理システムを提案する。本システムは、移動計算機環境を想定するために、無線通信部分における位置管理のためのオーバーヘッドを削減する機構を持つ。また、提案システムの一部を実装し、提案システムが移動計算機環境に適していることを実験により示した。

Design and Implementation of Location Management System for Mobile Servers

HIDEKI SHIMADA,[†] SHIGEAKI TAGASHIRA,^{††} TUNEO NAKANISHI[†]
and AKIRA FUKUDA^{†††}

The improvement of mobile computing and input device technologies makes it possible to acquire location-dependent information at any place using mobile hosts very easily. In addition, mobile hosts can be connected to a network from anywhere with wireless communication devices such as cellular phones, wireless LAN, and so on. In such an environment, we aim at the implementation of the system software on which mobile hosts can share the location-dependent information with other hosts. It is, however, difficult for users that request location-dependent information to identify mobile hosts that provide them because the system presents no mechanism to identify hosts by the geographic location. In this paper, we propose location management system that can manage locations of mobile hosts and can identify them by the geographic location. Since our system is supposed under mobile computing environment, it has the mechanism that reduces the overhead of location management on wireless communication. Moreover, we implement a part of this system and show that this system is suitable for mobile environment through the experiment.

1. はじめに

計算機の小型化、高性能化に伴い携帯性のある計算機（移動計算機）が普及し、仕事場だけでなく外出先を持ち歩くことが多くなっている。また、携帯電話や無線ネットワークの普及、広帯域化により、その外出先

においてネットワークに接続しサービスを受け取るだけでなく、サービスを提供することも可能となっている。一方、デジタルカメラ/ビデオや GPS(Global Positioning System) のような入力デバイスも小型化、高性能化に加えて安価になり、広く一般に普及している。これらデバイスを用いることで容易に外出先で様々な情報を取得することができる。我々は、それら情報の中でも、場所と時間に強く依存する情報（位置依存情報）に注目し、これらの位置依存情報に関するサービス（位置依存サービス）を、移動計算機環境で Peer to Peer で共有するシステム基盤の確立を目指している¹⁾。特に本稿では、移動計算機の位置管理システムについて議論する。

[†] 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科
Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

^{††} 広島大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Hiroshima University

^{†††} 九州大学大学院システム情報科学研究所
Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University

位置依存サービスの指定方法において、IP アドレスのようなネットワーク的な論理アドレスで移動計算機を指定するのではなく、GPS といった位置情報取得手段で得られる地理的な位置情報を用いて移動計算機を指定できることが切望されている²⁾。取得したい場所から連想できる情報で、移動計算機を指定できるので、ユーザに対してより自然なインタフェースを提供でき、システムの利便性の向上が期待できる。

そこで本稿では、ユーザが地理的な位置情報を用いて、移動計算機を指定できる枠組みの構築を目指している。具体的には、移動計算機の位置を管理し、移動計算機の位置情報を取得、または位置で移動計算機を検索できる位置情報管理システムを提案する。提案システムを用いることで、500 メートル以内の移動計算機のサービス検索や、目的地の駐車場の状況を提供する移動計算機の特定などの指定方法を実現できる。また、ビーコンなどの向きを判別することが可能なデバイスを装備すると、位置情報だけでなく、向きで指定することも可能となる。しかし、頻繁に移動する移動計算機の正確な位置を管理するには、管理ホストと頻繁に通信する必要がある。ネットワーク帯域が不安定で、送信に大きく電力を消費する無線通信のために、移動計算機環境では大きな問題となる。

このため提案システムでは、移動計算機の無線通信部分の位置管理オーバーヘッドを削減するために、周期方式とオンデマンド方式を組み合わせた位置情報の管理方式を採用している。有線通信部分においては、固定の位置管理ホストを管理エリアごとに階層構造に配置し、周期的に通信を行うことにより、位置情報を分散して管理する。また、無線通信部分においては、位置管理ホストと周期的に通信を行うのではなく、クライアントから位置管理ホストに要求があった時のみ、オンデマンドで管理ホストと通信する。これにより、位置管理のための無駄なパケットの削減を実現する。

本稿では、移動計算機における位置管理機構について議論し、その問題について述べる。また、提案する移動計算機環境における位置管理機構を設計し、提案システムの実装について示す。さらに、提案システムが移動計算機環境に適していることを実験により示す。

2. 移動計算機環境における位置管理

提案するシステムは、位置管理に関する特別なインフラ設備を想定しておらず、GPS のような位置取得デバイスと、無線通信を用いてネットワークと接続で

きる環境を、移動計算機が装備するだけで容易に構築できるシステムを目指している。このような環境において、我々は移動計算機の位置を管理し、ユーザが移動計算機の位置を取得したり、あるエリア内の移動計算機を検索できるシステムを構築する。

本節では、位置管理システムとその問題点について考える。

2.1 アプリケーション

現在、提案システムを用いて以下のアプリケーションを実現することを考えている。

近辺のサービス紹介システム

所在している地点の近辺に存在する情報を見つけ、共有するシステムである。移動計算機を持つユーザが周囲に存在する計算機を検索し、それらが提供するサービスの一覧を表示する。

交通網の混雑状況共有システム

クライアント、移動計算機共に車に搭載されている計算機であると仮定すると、カーナビゲーションシステムと連携することにより今から移動する地域の最新の情報を共有することが可能になる。

移動計算機の位置検索システム

ある移動計算機の位置を検索するシステムである。一定間隔で移動計算機の位置を追跡し、その移動計算機が目的地に着いたら知らせてくれる。

2.2 位置情報の管理モデルとその問題

提案システムでは、地理的な位置情報を用いるために、移動計算機の地理的な位置情報を管理しなければならない。

ネットワーク上における DNS などのように、一般的に位置情報の管理において、階層構造で管理するという方法が用いられる。そこで、提案システムでは、管理ホストを階層で構成するという方法をとっている。例えば、図 1 のように奈良県を示す最上位層の管理ホストが存在し、その下に生駒市のような奈良県下の市の管理ホストで階層化する。このような階層構造で管理することで、管理ホストの負荷分散や、ある地域の移動計算機の一覧検索が容易に実現できるといった利点を持つ。また、ユーザは、奈良県 生駒市 高山町といった現実に近い論理アドレスで移動計算機を指定することが可能となる。

移動計算機の位置情報を正確に管理するためには、頻繁に移動することを考慮する必要がある。このことは位置情報データを更新する時期が非常に重要な課題

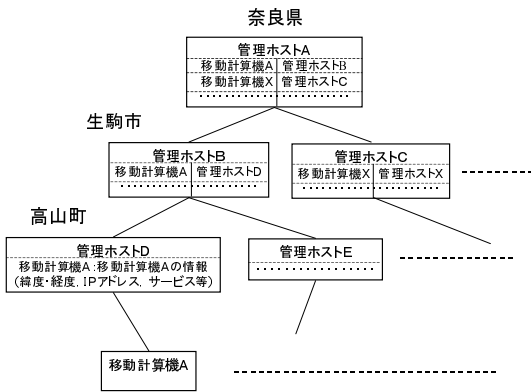


図1 管理ホストの階層構造

になると思われる。

階層構造で位置情報を管理する場合において、位置情報の更新時期として以下に示す方式がある。

周期更新 移動計算機と管理ホスト、又は管理ホスト間の位置情報を周期的に更新する。ある管理ホストの位置情報が複数更新されても、上位層の管理ホストへはまとめて更新するので、上位層の管理ホストの輻輳を回避できる。しかし、その位置情報の精度は、周期間隔に依存する。周期を短くすると、位置管理のためのオーバーヘッドが増大するが、正確な位置情報を管理できる。逆に登録間隔を長くすると、管理オーバーヘッドは削減できるが、正確な位置情報を管理することができない。

移動時更新 移動計算機の移動したときに、管理ホストの位置情報を更新する。周期更新に比べて、更新がない場合の無駄な管理オーバーヘッドを削減できるが、頻繁に移動する場合は、頻繁に更新されるため管理オーバーヘッドが増大する。移動計算機の1度の経度/緯度の位置変化で“移動した”とせず、10度の変化で“移動した”と定義することで、オーバーヘッドを軽減できるが、正確な位置情報とのトレードオフとなる。また、位置情報更新時において、下位層の管理ホストから上位層の管理ホストまで直接更新を伝播するために、上位層の管理ホストにおいて輻輳が起こる可能性がある。

オンデマンド更新 ユーザの位置情報の要求があったときに、管理ホスト上の位置情報を更新する。多くの無駄な管理オーバーヘッドを削減できるが、検索時間が遅くなる。

移動計算機環境を想定した位置管理システムを構築する場合、出来る限りオーバーヘッドを削減し、正確な位置情報を管理できる更新方式を考える必要がある。

3. システム設計

3.1 概要

本システムは、位置依存サービスを提供する移動計算機サーバとその地理的位置情報を管理する位置管理ホストで構成される。ユーザはクライアントを用いて要求を出す。各計算機の間を図2に示す。

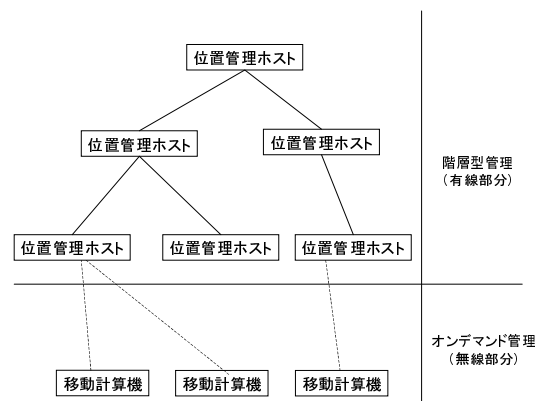


図2 提案システム概要

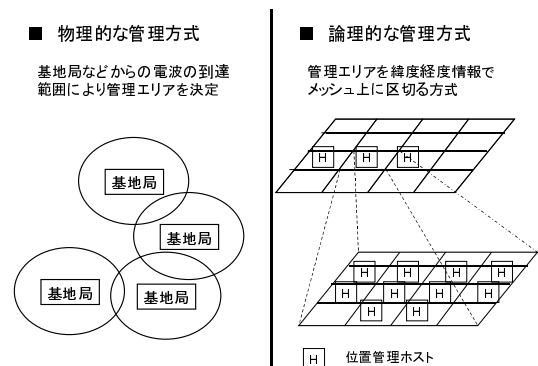


図3 論理的・物理的な管理方法

図2に示すように、固定計算機である位置管理ホストを有線リンクで互いに接続する。各位置管理ホストは、階層構造の関係にあり、上位層の管理ホストは中位層の管理ホストを管理し、中位層の位置管理ホストは下位層の位置管理ホストを管理する。末端である下位層の位置管理ホストは、移動計算機を管理する。各位置管理ホストは、自身の管轄である管理エリアを持つ。管理エリアの分割は、無線ネットワークの基地局の電波の到達範囲のように物理的に分割するのではなく、図3のように地理的な情報を用いて論理的に分割

する。

提案システムにおける位置の管理方式は、ネットワークの接続形態によって更新方式を変化させている。有線で接続されている位置管理ホスト間は周期更新方式を用いている。また、無線で接続されている移動計算機と位置管理ホスト間はオンデマンド更新方式を用いている。このように、各更新方式の長所を考慮し、提案システムのネットワーク形態の性質に適應することで、管理オーバーヘッドの削減を実現する。

提案システムがクライアントに提供する機能としては、ある管理エリア内にある移動計算機の一覧を検索できる検索機能と、ある移動計算機の位置情報を取得できる取得機能がある。クライアントからの要求に対するシステムの流れを、検索機能と取得機能について示す。

検索機能 クライアントは位置管理ホストに対して、欲しいエリアの検索要求を最上位層の管理ホストへ送信する。位置管理ホストはクライアントからの要求を受けると、下位層の管理ホストへ要求を転送する。要求されたエリアの位置管理ホストにその要求が到達するまで転送を続ける。該当する位置管理ホストは、データベース内を検索し、要求エリアに該当する移動計算機の情報をクライアントに返信する。

取得機能 クライアントは位置管理ホストに対して、移動計算機の位置の取得要求を最上位層の管理ホストへ送信する。位置管理ホストはクライアントからの要求を受けると、下位層の管理ホストへ要求を転送する。移動計算機の情報を持つ位置管理ホストにその要求が到達するまで転送を続ける。位置管理ホストは、該当する移動計算機に対して、現在の位置情報を要求し、データベースを更新する。そしてこの移動計算機の情報をクライアントへ返信する。

3.2 移動計算機の登録処理

位置管理ホストが管理を行う際には、まず、移動計算機が位置管理ホストに対して登録を行い、管理エリア外に出るまでその移動計算機の位置情報をデータベースを用いて管理する。管理エリア外に出ると、移動計算機は移動先を管理する管理ホストの情報を先ほど管理されていた位置管理ホストからもらい、新規の位置管理ホストに再び登録を行い、管理される。

上記の移動計算機の登録処理において、図4に示すように位置管理ホストの切り替えのタイミングが問題

になる。

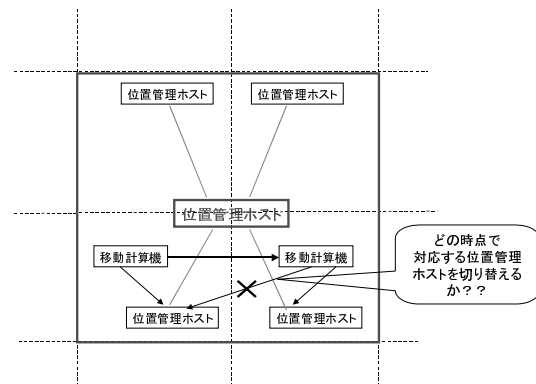


図4 位置管理ホストの切り替えの問題

一定周期ごとに位置管理ホストに登録する場合であれば、切り替えのタイミングはすぐにわかるが、本論文におけるシステムでは、このような管理方式を採用していない。

そこで、この移動計算機の移動に伴う位置管理ホストの変化に対応するために、位置管理ホストに登録する際に、現在の位置管理ホストが管轄する管理エリア情報を移動計算機に通知する。移動計算機はGPSなどの位置取得デバイスを用いて、常に自分の所在を管理しているので、自分がその管理エリアから外に出たことは認識できる。

位置管理ホストが切り替わる際のシステムの流れを図5において説明する。

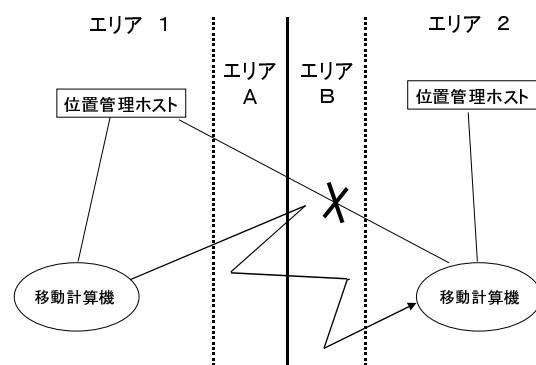


図5 位置管理ホストの切り替えの問題

- (1) 移動計算機はエリア1に存在し、エリア1を管理する位置管理ホストに対して登録要求を送信する。
- (2) 位置管理ホストから移動計算機に対して応答と

して、自身が管轄する管理エリア（図 5 内の実線部分の緯度・経度情報）、エリア 1 とエリア 2 の境界付近の重なり合う範囲（図 5 内の点線部分の緯度・経度情報）を移動計算機に対して返す。

- (3) 移動計算機が移動し、エリア A に入ると移動計算機は管理されているエリア 1 の位置管理ホストに対して、この部分を管理しているもう一つの位置管理ホスト（図 5 ではエリア 2 の位置管理ホスト）の情報を要求し、管理エリアについての情報をもらう。
- (4) そして、エリア 1 とエリア 2 の境界部分まで移動すると、移動計算機はエリア 2 の位置管理ホストに対して登録要求を送信し、エリア 2 の位置管理ホストは先ほどと同様の情報を移動計算機に対して送信する。
- (5) この時点では、移動計算機はエリア 1 の位置管理ホストとエリア 2 の位置管理ホストの二つに管理されている。移動計算機はエリア B に入り、エリア B とエリア 2 の境界部分に達すると、エリア 1 の位置管理ホストに対して管理停止要求を送信し、完全にエリア 2 の位置管理ホストに対して管理される。

このように、境界領域を越えたので位置管理ホストを切り替えるといった方法ではなく、一時的に移動計算機が 2 つの位置管理ホストに管理されるような方式を採用している。この理由は、図 5 のように移動計算機がジグザグに移動し、頻繁に起きる位置管理ホストの切り替えの回数を減らすためである。切り替えの回数を減らすことにより、位置情報管理ホストへの登録バケット量を減少させることができる³⁾。

4. システム構成

位置管理ホスト（LMH）内における移動計算機の位置情報を管理する機構として、LMH 内に位置情報管理機構を設ける。本節では、この位置情報管理機構の設計について説明する。

位置情報管理機構は、以下の機構で構成される。

受付機構

移動計算機、クライアントからの要求を受け付ける機構。

LMH 通信機構

要求が管理エリア内でない場合に LMH 間で通信を行う機構。階層構造で管理されている LMH 間

で通信を行う機構。

移動計算機管理機構

移動計算機へ位置情報の要求を行い、得た位置情報を管理する機構。クライアントからの要求を実際に処理する機構。

位置情報管理機構内の各機構間の関係は図 6 のようになる。以下において、各機構の設計について説明

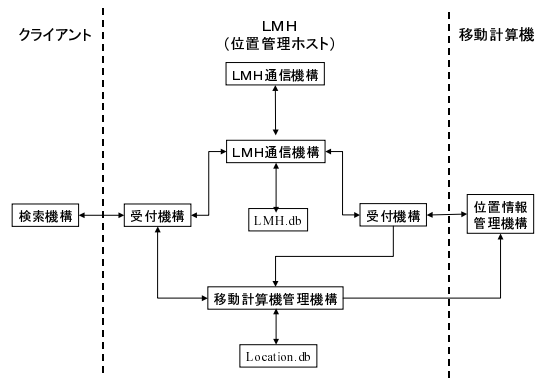


図 6 位置情報管理機構（全体図）

する。

4.1 受付機構

LMH と通信を行う計算機である移動計算機・クライアントからの要求を受け付ける。また、自身の管理エリアの要求かどうかを判別する。各計算機からの要求である情報を LMH 通信機構もしくは、移動計算機管理機構に送る機構である（図 7）。

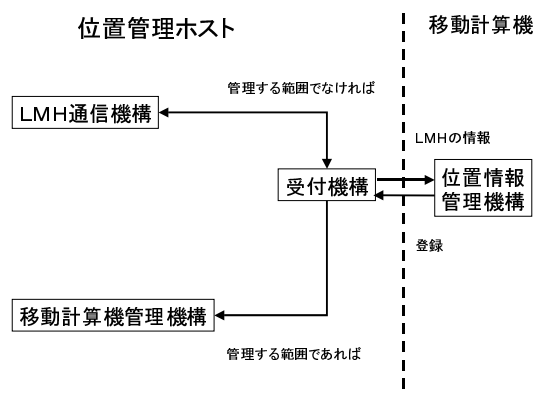


図 7 受付機構（移動計算機側）

要求のあった情報が LMH が管理しているエリア内であれば、その LMH 内で処理を行うので、移動計算

機管理機構へその要求を送信する．一方，要求が管理エリア外であれば，要求を処理することができないので，該当するエリアを管理する LMH を転送する．このため，要求を LMH 通信機構へ送信する．

4.2 LMH 通信機構

クライアントからの要求，また移動計算機からの登録要求が管理エリアでなかった場合，受付機構から LMH 通信機構に要求が送られる (図 8)．LMH 通信

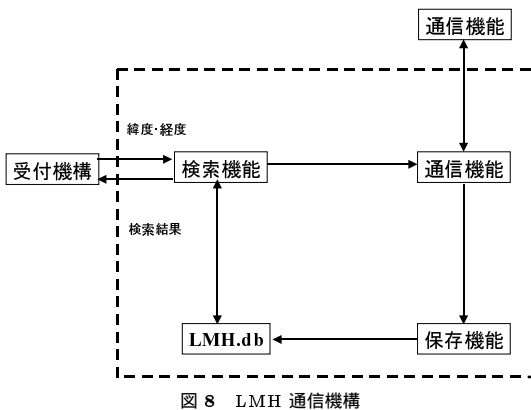


図 8 LMH 通信機構

機構の働きとしては，受付機構から受け取った情報を元に，キャッシュファイルである LMH.db を検索する．キャッシュには，今までに LMH 間で通信を行い取得した位置管理ホストの情報が保存されている．このようにキャッシュを用いるのは，頻繁に利用される LMH 要求について，毎回階層構造を辿るのは効率が悪いので，キャッシュにヒットした場合は，短絡して LMH への転送を実現できる．また，このキャッシュに存在しないエリアを管理している LMH の情報は，階層構造で管理されている LMH 間で通信を行うことにより見つける．キャッシュの検索もしくは，通信を行うことによって見つかった該当エリアを管理する LMH の情報を LMH 通信機構は，受付機構に渡す．

4.3 移動計算機管理機構

図 9 に示す移動計算機管理機構は，移動計算機の位置情報を直接管理する機構である．移動計算機からの登録要求が受付機構から送られると，現在の緯度・経度情報，各移動計算機の ID，サービス情報，アドレスなどの情報を移動計算機管理機構は管理する．クライアントからの取得要求が受付機構から送られると，管理下の移動計算機のアドレスに対して位置情報要求

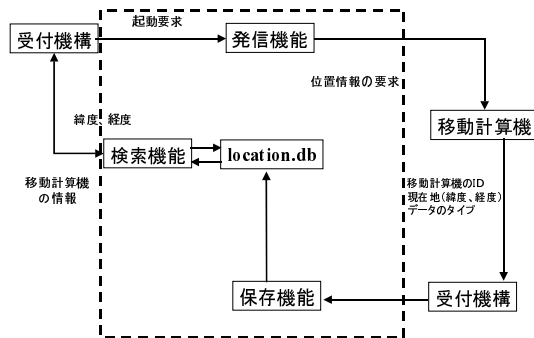


図 9 移動計算機管理機構

メッセージを送信する．そして，移動計算機からの位置情報を受け取った後，結果を受付機構に渡す．

5. 実験と評価

5.1 評価方法，実験環境

本稿において，移動計算機環境において位置登録のための無駄なパケットを減少させるシステムの提案，設計を行った．本節では，提案システムの有効性を調べるために位置情報管理機構のプロトタイプを実装し，実験を行った．実験においては，移動計算機と LMH 間をオンデマンドで通信を行う提案システムと，周期的に通信を行う方式を比較した．

実験環境であるが，クライアントと LMH 間には有線のネットワーク (帯域 100M)，LMH と移動計算機間には無線のネットワーク (帯域 11M) で構成されるネットワーク環境で行った．今回の実験においては，クライアント，移動計算機は各 1 台で複数台の計算機からの情報発信を仮想的に行った．また，LMH は 1 台である．

5.2 実験結果，考察

図 10, 11, 12 はそれぞれ，クライアント数が 10, 50, 100 の場合における，移動計算機が LMH へ位置情報登録のために送信したパケット数の平均の結果である．また，図 13, 14, 15 はそれぞれ，クライアント数が 10, 50, 100 の場合における，クライアントが LMH へ要求を出してから検索結果を得るまでの平均時間の結果となっている．

LMH への登録のためのパケット数であるが，図 10, 11, 12 のように提案手法の方が周期的に通信する方式に比べ，約 5 分の 2 程度に減少している．また，検索時間であるが，図 13, 14, 15 のように提案方式の

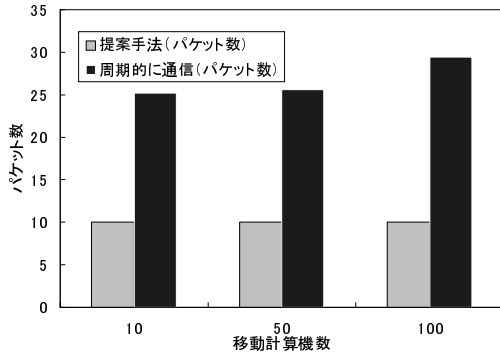


図 10 平均送信パケット数 (クライアント数 10 の場合)

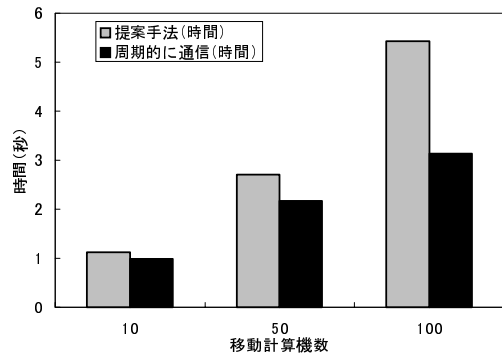


図 13 平均検索時間 (クライアント数 10 の場合)

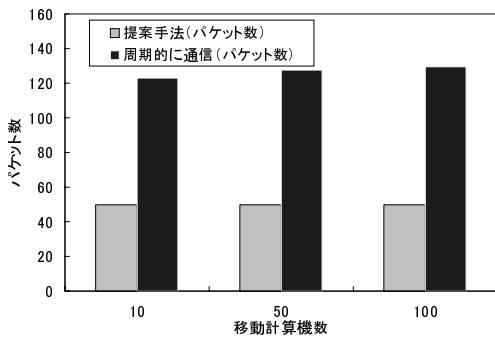


図 11 平均送信パケット数 (クライアント数 50 の場合)

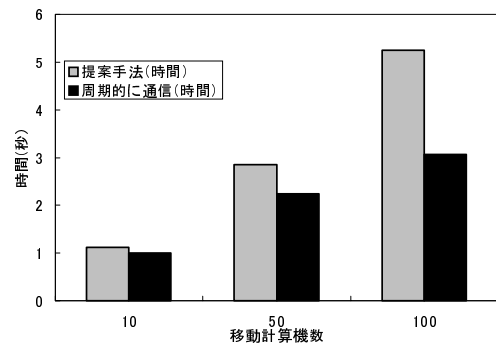


図 14 平均検索時間 (クライアント数 50 の場合)

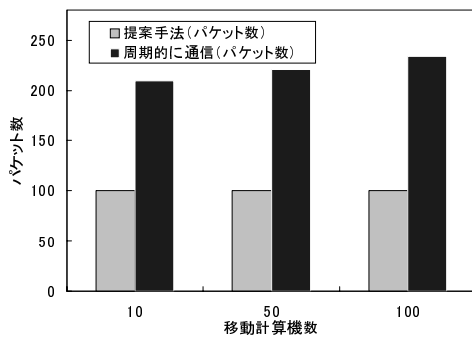


図 12 平均送信パケット数 (クライアント数 100 の場合)

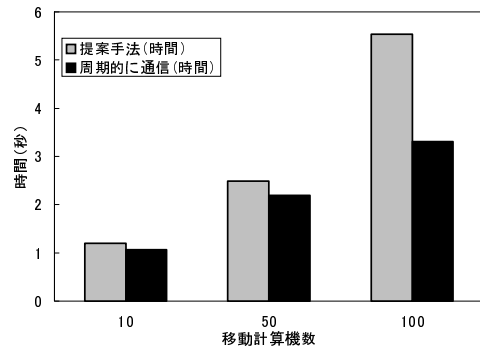


図 15 平均検索時間 (クライアント数 100 の場合)

ほうが、周期的に通信を行う方式よりも約 1.4 倍程度増加している。

今回の実験は、クライアントからの検索要求を 1 秒から 10 秒の間でランダムに発生させたので、実験にかかった全体の時間は実際にシステムとして使用する場合と比較して少ないと考えられる。しかし、全体の時間が短いにも関わらず登録のためのパケット数は大幅に減少しているため、使用時間が長いとより減少率が多くなると考えられる。また、検索時間であるが、今回の実験においては正確なデータベースを用いて管

理していないので、この件は今後の課題として挙げられる。

6. 関連研究

GLI システム⁴⁾

GLI(Geographic Information System) は、インターネットにおける識別子と実空間の地理的位置情報の登録機能や検索機能を提供するシステムで

ある．WIDEプロジェクトのInternetCARプロジェクト⁵⁾において実装されている⁶⁾．

GLIシステムは，クライアント，サーバー，エージェントの3つのモジュールで構成される．移動体で動作しているエージェントは一定間隔でサーバーに緯度・経度などの状態情報を送信，登録する．クライアントは位置情報を鍵とした検索要求をサーバーに送信し，サーバーから検索結果を受信する．これにより，計算機やユーザーの位置・状態をインターネットを通して認識することが可能になっている．

GPS-Based Addressing and Routing⁷⁾

地理的位置情報を用いて，ネットワークにおいてアドレスを割り振り (Geographic Addressing)，ルーティング (Geographic Routing) を行うという研究がなされている⁸⁾．

この論文では，将来的に見て携帯電話，車にGPSが搭載されるという前提の下で，位置情報を用いたソフトウェア，アプリケーションの可能性について書かれている．

具体的なルーティングの方法として，以下の3つの方法について述べられている．

1. Geographic Routing Method
2. Geographic-multicast Routing Method
3. Domain Name Server Solution

また，このようなルーティング方法を利用したサービスとして，地理的な電子メール (Geo Mail) サービス，地理的なマルチキャスト (Geo Multicasting) の方法などがあげられている．

GLIシステムは，移動計算機環境において考えると一般的に無線ネットワークによって接続されており，固定ネットワークに比べると帯域は狭く，不安定である．このような環境において定期的に位置管理ホストと登録のために通信するには問題があると考えられる．また，GPS-Based Addressing and Routingは，本稿で提案したような移動計算機環境における位置情報管理については書かれていないが，述べられている仕組みは提案システムでも利用できると考えている．

7. ま と め

本稿では，移動計算機の地理的位置情報を管理し，位置情報を指定することにより情報の発信先を指定する機構を設計した．また，本システムの有効性を示すために，位置情報を管理する機構を実装し，実験を

行った．実験結果より，提案システムのほうが周期的に位置管理ホストと通信を行う場合に比べ，位置情報管理のためのパケット数が平均して約40%になっていることがわかり，有効性を証明することができた．

移動計算機からの直接のデータ発信，また，本システムによる位置管理ホストへの登録パケットの減少により，クライアントが欲しい地域を指定することにより各移動計算機の持つ位置依存情報を効率的に発信する機構を提供できると考えられる．

参 考 文 献

- 1) 田頭 茂明, 安田 修, 最所 圭三, 福田 晃: “ 移動計算機情報発信環境のための Toolkit の設計と実装 ”, 情報処理学会論文誌, Vol.41, No.6, pp.1640-1650, 2000 .
- 2) 島田 秀輝, 田頭 茂明, 最所 圭三, 福田 晃: “ 移動計算機から位置依存情報を提供するサービスアプリケーションの構築 ”, 情報処理学会 モバイルコンピューティングとワイヤレス通信研究会, pp.109-116, 2000 .
- 3) Tracy Camp, Jphn Lusth, Jeff Matocha: “ Reduced Cell Switching in a Mobile Computing Environment ”, MOBICOM 2000.
- 4) Yasuhito Watanabe, Atsushi Shinozaki, Fumio Teraoka, and Jun Murai: “ The Design and Implementation of the Geographical Location Information System ”, Proc.Inet96, 1996.
- 5) WIDEプロジェクト-InternetCARプロジェクト
<http://www.sfc.wide.ad.jp/InternetCAR/>
- 6) 渡辺 恭人, 大西 孝義, 佐藤 雅明, 植原 啓介, 村井 純: “ GLI システムの改良と実証実験 ”, 第3回プログラムおよび応用にシステムに関するワークショップ (SPA2000), 2000 .
- 7) Thomasz Imielinski and Julio C. Navas: “ Geographical Addressing, Routing, and Resource Discovery with the Global Positioning System ”, Communications of ACM Journal, pp.86-92, 1999.
- 8) Thomasz Imielinski and Julio C. Navas: “ GPS-Based Addressing and Routing ”, RFC 2009, 1996.