

移動計算機を含む Peer-to-Peer 情報共有環境における位置管理方式

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、高性能化にともない、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、無線通信を用いることで、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。この環境において、我々は収集した位置依存情報を、他の計算機と Peer-to-Peer でリアルタイムに共有するシステム基盤の確立を目指している。Peer-to-Peer 環境での情報共有システムでは、計算機間の効率的な通信技術に加えて、すべての資源を効率良く高速に検索する技術が必要である。このため本論文において、移動計算機が提供するサービスを位置情報を用いることにより、効率良く検索できる位置情報管理システムを提案する。本システムが採用する位置管理方式は、無線通信部分でのオーバーヘッドの低減を図りながら、精度の高い位置情報の管理を実現する。また、提案システムのプロトタイプシステムを実装し、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。

A Location Management Method on Peer-to-Peer Computing Environment for Mobile Computers

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

The improvement of mobile computing and input device technologies make it possible to acquire location-dependent information at any place using mobile hosts. 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 prototype system 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、高性能化にともない、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に持ち歩くことが多くなっている。また、携帯電話や無線 LAN の普及、広帯域化により、その出

先においてネットワークに接続し、移動計算機を用いてサービスを受けたり、提供したりすることも可能となっている。

一方、デジタルカメラ/ビデオのようなマルチメディア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外出先で様々なマルチメディア情報を簡単に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 でリアルタイムに共有するソフトウェア基盤の確立を目指している¹⁾。Peer-to-Peer 環境での情報共有システ

[†] 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科
Graduate School of Information Science and Electrical
Engineering, Kyushu University

ムでは、計算機間の効率的な通信技術に加えて、すべての資源を効率良く高速に検索する技術が重要となる。

位置依存サービスの検索システムにおいて、クライアント（位置依存サービスを検索したいユーザ）の利便性を考慮すると、インターネットでの IP アドレスやホスト名などの情報を利用するのではなく、GPS（Global Positioning System）などで得られる地理的な位置情報を利用する必要がある²⁾。たとえば、500メートル以内の移動計算機のサービス検索や、目的地の情報を提供する移動計算機の検索などである。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、移動方向で指定することも実現できる。このように、取得したい地域の位置情報で移動計算機を検索できるので、より自然なインタフェースをクライアントへ提供でき、システムの利便性の向上が期待できる。

本論文では、クライアントが位置情報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。移動計算機の正確な位置を管理するためには、位置情報を登録するための位置登録パケットを位置管理ホストへ頻繁に送信する必要がある。過度の位置登録パケットの送信は、無線環境では大きく電力を消費し、加えて位置管理以外の通信に影響を与えることから、移動計算機環境では問題となる。このため我々は、無線通信部分の位置登録パケットを削減し、正確な位置情報を管理できる位置登録方式を提案する。提案登録方式では、クライアントが要求するときのみ正確な位置情報が必要であることに着目している。通常は移動計算機を精度の低い位置情報で管理することで位置登録パケットを削減し、クライアントからの要求時（オンデマンド時）に、移動計算機の正確な位置情報を登録する。これにより、最小限の位置登録パケットで、正確な位置情報の管理を実現している。

本論文では、位置情報を効率的に管理するための登録方式について述べ、提案方式を採用した位置管理システムの設計/実装について示す。また、位置管理システムのプロトタイプシステムを実装し、実際の無線環境での登録方式の有効性について評価する。

2. 無線接続モデルを考慮した位置情報の登録方式

提案するシステムでは、位置管理に関する特別な基盤設備を想定しておらず、GPS などの位置取得デバイスと、インターネットへ接続するためのネットワーク機器を、移動計算機が装備することを想定している。移動計算機を検索するシステムを実現するには、移

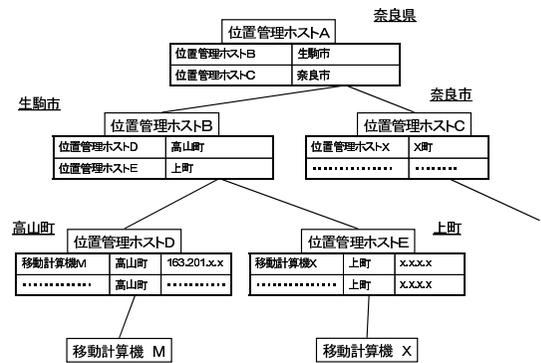


図1 位置管理ホストの階層構造

Fig. 1 Hierarchical structure of location management hosts.

動計算機の位置情報を管理する必要がある。そこで、提案システムでは、位置管理ホストという固定の計算機を用いて、移動計算機の位置情報を管理する。一般的な位置情報の管理において、位置管理ホストの負荷を分散することから、位置管理ホストを階層化して管理するモデルが用いられる。たとえば、図1のように奈良県を示す最上位層の位置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位置管理ホストを用いて階層化する。移動計算機がGPSなどから位置情報を取得し、位置管理ホストへ通知することで、移動計算機の位置情報は管理される。

頻繁に移動する可能性がある移動計算機を正確に管理するためには、位置管理ホストへ位置情報を通知/更新する時期が重要な項目となる。ここで、移動計算機環境で利用できる位置登録方式について以下に示す。周期登録方式 移動計算機の位置情報を一定の時間間隔で位置管理ホストへ登録する。位置情報の精度は、周期間隔に依存する。すなわち、周期間隔を短くすると正確な移動計算機の位置情報を管理できる。逆に、周期間隔を長くすると正確な移動計算機の位置情報を管理することができない。

周期登録方式における位置登録パケット数は、周期間隔と移動計算機の密度（エリア内に存在する移動計算機数）に依存する。周期間隔を短くすると、移動計算機と位置管理ホスト間における位置登録パケット数が増大する。逆に、周期間隔を長くすると移動計算機からの位置登録パケット数を削減できる。加えて、移動計算機の数におよそ比例して全体の位置登録パケット数は増加する。周期登録方式では、移動計算機が頻繁に動いた場合においても、周期的に発生する以上の位置登録パケットは発生しない。このため位置登録に関し

ては、高負荷になる状況がなく安定したシステムを提供できる。

移動時登録方式 この方式では、移動計算機は、システムによって定義される管理エリアをまたがって移動するとき(移動時)に位置情報を登録する。位置情報の精度は、管理エリアのサイズに依存する。すなわち、管理エリアのサイズが小さい場合は、高い精度の位置情報を管理できるが、大きいサイズでは位置情報を低い精度でしか管理できない。また、移動時登録方式における位置登録バケット数は、移動計算機の移動速度/方向、管理エリアのサイズ、移動計算機の密度に依存する。すなわち移動計算機が管理エリアをまたがる方向に高速に移動する場合や、管理エリアのサイズを小さく設定した場合は位置登録バケット数が増大する。逆に移動計算機が移動しない場合や、管理エリアのサイズを大きく設定した場合は、位置登録バケット数を抑えることができる。加えて、移動計算機の数におよそ比例して全体の位置登録バケット数は増加する。

移動時登録方式では、検索時の単位である管理エリアで移動計算機を管理するために、クライアントからの検索要求に対して特別な処理をせずに結果を返答でき、応答時間が短縮できるという利点を持つ。

オンデマンド登録方式 オンデマンド登録方式では、クライアントからの検索要求時に移動計算機の位置情報を取得する方式である。すなわち、クライアントが位置管理ホストに検索を要求したときに、位置管理ホストから登録要求バケットを移動計算機に送出し、移動計算機からの位置登録バケットを返答して移動計算機の位置情報を取得する。オンデマンド登録方式では、クライアントからの要求を受けた後、管理するすべての移動計算機へ位置登録バケットを送出するために、移動計算機に対する応答時間が加わり、クライアントからの要求に対する検索に遅延が発生する。しかし、クライアントの要求時にのみ、移動計算機は位置登録バケットを送出するので、クライアントからの要求がない場合などは位置登録バケット数を抑えることができる。また、移動計算機の数とクライアントの要求数が多くなると、位置登録バケット数が増加し性能が悪化する問題がある。

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、できる限り無線接続部分における位置管理バケットを削減し、正確な位置情報を管理する登録方

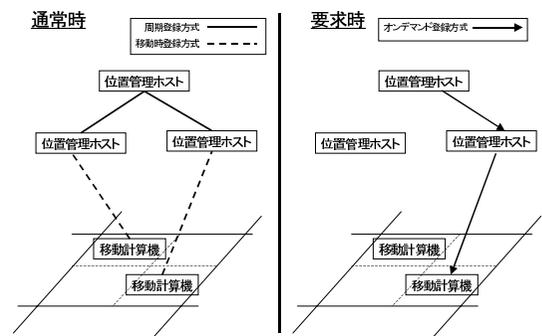


図2 提案システムにおける位置情報の登録方式

Fig.2 Management method for location information in our proposed system.

式が必要である。

このため我々は、無線通信部分の位置登録バケットを削減し、正確な位置情報を管理できる登録方式を提案する。提案方式では、正確な位置情報が必要になるのは、クライアントの要求時であることに着目している。システムは、クライアントの要求時(要求時)に正確な位置情報を取得し、それ以外(通常時)は、低い精度で移動計算機の位置情報を管理する。この方式を実現するために、上述した3種類の登録方式を図2に示すように組み合わせる。以下に具体的な提案方式における登録方式の適用部分について要求時と通常時に分けて説明する。

通常時

位置管理ホスト間 位置管理ホスト間は、システムの安定性を考慮して周期登録方式を用いて移動計算機の位置情報を交換する。

位置管理ホストと移動計算機間 位置管理ホストと移動計算機間は、検索処理を容易に実現するために移動時登録方式を用いる。ここでの移動時登録方式では、比較的大きな管理エリアを用いる。大きな管理エリアを用いることで、精度の低い位置情報しか管理できないが、位置管理ホストと移動計算機間の無線通信を使った位置管理バケットを削減できる。

要求時

位置管理ホストと移動計算機間 通常時の管理方式だけでは、大きな管理エリアの精度でしか移動計算機の位置を特定できない。そこで、要求時には要求の対象となる移動計算機を持つ位置管理ホストと、移動計算機間でオンデマンド登録方式を用いて、移動計算機の正確な位置情報を取得する。要求対象の移動計算機を持つ位置管理ホストのみに、オンデマン

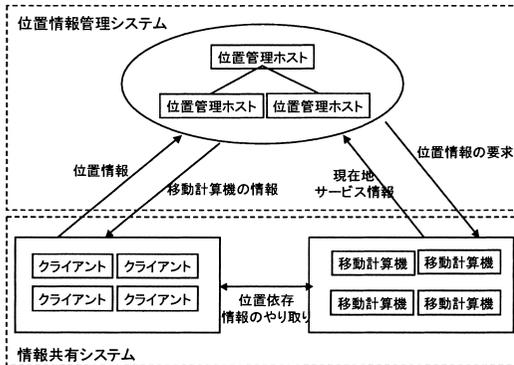


図3 Peer-to-Peer 情報共有環境における位置管理システムの概要
Fig. 3 Overview of our location management system on peer-to-peer computing environment.

ド登録方式を適用するので、すべての位置管理ホストで適用するのに比べて、短時間で位置情報を取得できる。

このように、各登録方式の長所を考慮し、無線通信部分全体としての総合的な位置管理オーバーヘッドの削減を実現する。

3. 位置情報管理システムの設計

移動計算機を含む Peer-to-Peer 情報共有システムの概要を図3に示す。本論文では、図3における位置情報管理システムについて提案する。位置情報管理システムは、位置依存サービスを提供する移動計算機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。クライアントは位置管理ホストに対して、緯度・経度情報で欲しいエリアを指定し、その周辺に存在する移動計算機のサービス情報を位置管理ホストから取得する。

提案する位置情報管理システムは、2章で説明した管理方式を用いて、移動計算機の位置を管理する。

3.1 位置情報管理のシステムモデル

位置情報管理システムでは、図4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。位置管理ホストは2階層の階層構造で構成されており、上位の位置管理ホストは下位の位置管理ホストの情報をデータベースで管理する。また、下位の位置管理ホストは移動計算機の位置情報のデータベースを管理する。各下位の位置管理ホストは、複数の管理エリアを持つ。

本システムは、2章で説明した登録方式を実現するために、以下の処理を各計算機で実現する。

- クライアントからの要求に対するオンデマンド登録処理

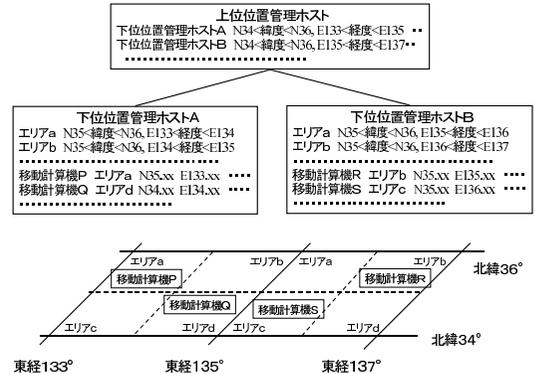


図4 位置情報管理機構の概要
Fig. 4 Overview of our location management mechanism.

- 位置管理ホスト間での周期登録処理
- 移動計算機における移動時登録処理

次節では、各処理の詳細について述べる。

3.2 クライアントからの要求に対するオンデマンド登録処理

本システムは、移動計算機のサービスを位置で検索できる機構をクライアントへ提供する。クライアントからの要求に対する処理の流れを以下に示す。

- (1) クライアントは、まず欲しいエリア、たとえば、奈良県生駒市高山町の奈良先端大を変換テーブルを用いて緯度経度情報「北緯 34°43'41.61"、東経 135°44'10.46"」に変換する。現在、この変換テーブルについては代表的な地名/建物名が提供されている。完全な行政区界と経度緯度の変換テーブルの構築については、その作成が容易ではないため今後の課題とする。次に、取得した緯度経度情報を上位位置管理ホストへ送信する。
- (2) クライアントからの要求を受け取った上位位置管理ホストは、要求された位置情報をもとにデータベースから下位位置管理ホストを検索する。要求であるエリア(たとえば奈良県生駒市)を管理する下位の位置管理ホストを見つけると、その下位の位置管理ホストに対してクライアントの要求を転送する。
- (3) クライアントからの要求のエリア(奈良県生駒市)を管理する下位の位置管理ホストは、要求される位置情報に該当する小管理エリア(高山町)を見つけ出し、データベースから小管理エリア(高山町)内の移動計算機を検索する。検索結果の移動計算機へ正確な位置情報を問い合わせる。

- (4) 小管理エリア(高山町)内のすべての移動計算機から位置情報を取得した後、要求(奈良先端大)に該当する移動計算機を絞り、結果をクライアントへ返す。

このように移動時登録方式により、あらかじめ登録されたデータベースを用いて管理エリアを小管理エリアに絞る。そこで、クライアントからの要求時に、オンデマンド時登録を用いて、クライアントからの要求エリアを含む小管理エリア内に存在する移動計算機の正確な位置情報を取得して、検索に該当する移動計算機を見つけ出す。

次節では、システムを構成する各計算機の処理について示す。

3.3 位置管理ホスト間での周期登録処理

位置管理ホスト間で、位置管理ホストの情報を周期登録方式を用いて登録する。まず、位置管理システムの構成について述べる。階層構造に配置されている位置管理ホストには、上位のものと下位のものが存在する。上位のホストと下位のホストでは、働きが異なる。各管理ホストの働きをまとめると、以下のようになる。

上位位置管理ホスト 上位位置管理ホストは、下位位置管理ホストの情報をデータベースで管理している。上位のホストが1台であると、システムのスケラビリティの観点から問題があるので、複数台用意し、各上位位置管理ホスト間で通信を行い、データベースの同期をとり、同じデータベースを保持する。データベースのエントリとしては、下位位置管理ホストのIPアドレス・管理エリア(緯度・経度)・移動計算機数である。周期登録方式を用いて下位位置管理ホストと通信を行い、データベースの登録を行う。

下位位置管理ホスト 下位位置管理ホストは、管理エリア内に存在し登録が行われた移動計算機の情報をデータベースで管理する。管理エリアは、複数の規模の小さい小管理エリアに分かれており、そのエリアごとに移動計算機の検索が可能である。下位の管理ホストが持つデータベースのエントリとしては、移動計算機を識別するためのIPアドレス、位置情報である緯度・経度情報、クライアントに提供するサービス情報である。

周期登録方式を用いて上位位置管理ホストと通信を行い、データベースの登録を行う。

3.4 移動計算機における移動時登録処理

移動計算機上で実装する移動時登録処理の構成について示す。

まず最初に、移動計算機の位置管理ホストへの初期

登録処理/終了処理について述べる。この処理により、移動計算機のサービスが開始・終了されたことを位置管理ホストへ通知することになる。以下にその手順について説明する。

初期登録処理・終了処理

- (1) 移動計算機は、上位位置管理ホストに対して、登録要求を送信する。
- (2) 上位位置管理ホストは、移動計算機からの要求を受け取ると、要求内の緯度・経度情報を元に位置管理ホストのデータベースを検索し、要求のエリアを管理する下位位置管理ホストに移動計算機の要求を送信する。
- (3) 上位位置管理ホストから要求を受け取った下位位置管理ホストは、登録要求を送信した移動計算機をデータベースに登録し、確認メッセージを移動計算機に送信する。確認メッセージ内には、登録された下位位置管理ホストの管理エリアの範囲に加え、管理エリア内の小管理エリアの情報が含まれている。
- (4) 以後、登録後は管理されている下位位置管理ホストと直接通信を行い、データベースの登録を行う。
- (5) 最後に、移動計算機がサービス供給を終了する際には、現在地を管理する下位位置管理ホストに登録停止要求を送信する。すると、下位位置管理ホストはデータベースから移動計算機のエントリを消去し、完了メッセージを移動計算機に送信する。

ある下位位置管理ホストに登録を行った移動計算機は、現在の下位位置管理ホストの管理エリア外への移動、また、小管理エリアをまたいで移動することが考えられる。このような場合、移動時登録処理を実行する。以下に、管理エリア外に出た場合の処理の流れについて説明する。

移動時登録処理

- (1) 移動計算機 A は下位位置管理ホスト X に登録をされており、下位位置管理ホスト X の管理エリアの情報を持っている。そして、移動計算機 A が下位位置管理ホスト X の管理エリア外に出る。
- (2) すると、移動計算機 A は下位位置管理ホスト X に対して、登録停止要求を送信する。この登録停止要求には、移動計算機の現在地の緯度・経度情報が含まれている。
- (3) 下位位置管理ホスト X は、移動計算機からの要求を受け、緯度・経度情報を上位位置管理ホ

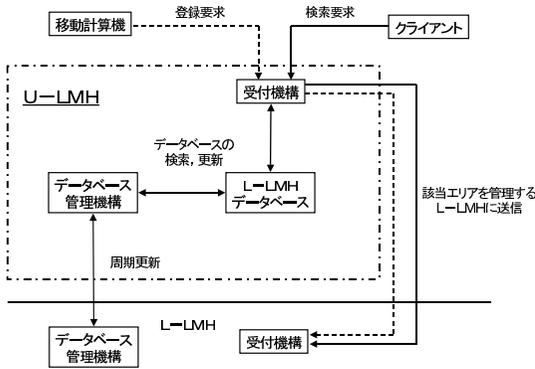


図 5 U-LMH 内の機構

Fig. 5 Structure of U-LMH.

ストに送信し、そのエリアを管理している下位位置管理ホスト Y の情報を取得する。

- (4) 下位位置管理ホスト X は、移動計算機 A に完了メッセージを送信する。この完了メッセージには、下位位置管理ホスト Y の情報が含まれている。
- (5) そして、下位位置管理ホスト X は、データベース内の移動計算機 A の情報を下位位置管理ホスト Y に送信し、下位位置管理ホスト X は移動計算機 A のエンTRIES を消去する。
- (6) 下位位置管理ホスト X からのメッセージを受け取った下位位置管理ホスト Y は、データベースに移動計算機 A の情報を登録し、管理エリア内の小エリアの情報を移動計算機 A に送信する。

4. システム構成

提案システムでは、上位位置管理ホスト (Upper layer Location Management Host, U-LMH), 下位位置管理ホスト (Lower layer Location Management Host, L-LMH) で移動計算機の位置情報を管理する。図 5 のように、U-LMH 内の位置情報管理機構は以下の機構で構成される。

L-LMH データベース

L-LMH の情報を管理するデータベースファイル。エンTRIES は、L-LMH の IP アドレス・管理エリア・登録移動計算機数である。

データベース管理機構

L-LMH と一定周期で通信を行い、データベース内の移動計算機数を登録する機構。また、U-LMH 間で L-LMH データベースの一定周期で同期をとる。

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

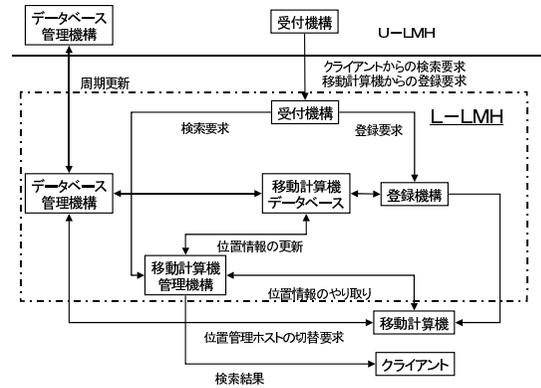


図 6 L-LMH 内の機構

Fig. 6 Structure of L-LMH.

る機構。L-LMH データベースを検索し、要求のエリアを管理する L-LMH に要求を送信する。同じく、図 6 のように、L-LMH 内の位置情報管理機構は以下の機構で構成される。

受付機構

U-LMH から送信される移動計算機、クライアントからの要求を受け付ける機構。移動計算機からの要求は登録機構へ渡し、クライアントからの要求は移動計算機処理機構へ渡す。

移動計算機データベース

登録されている移動計算機を管理するデータベース。L-LMH は、管理エリアを分割し、小エリアに区切り、その小エリアごとの移動計算機データベースをもつ。エンTRIES は、移動計算機の IP アドレス・位置情報 (緯度・経度)・URI (Uniform Resource Identifiers) である。

データベース管理機構

定期的に U-LMH と通信を行い、登録されている移動計算機数を送信する機構。加えて、移動計算機から登録停止要求を受信し、U-LMH のデータベース管理機構と通信を行い対応する。

登録機構

受付機構から移動計算機の登録要求を受け、移動計算機データベースに登録する機構。

移動計算機管理機構

受付機構からクライアントの登録要求を受け、小エリア内の登録されている移動計算機全体に現在地を要求し、移動計算機データベースの登録・検索を行い、検索結果をクライアントに返す機構。以下において、各機構の設計について説明する。

4.1 上位位置管理ホスト (U-LMH)

図 5 のように、U-LMH は、受付機構、L-LMH デー

データベース, データベース管理機構の機構で構成される。以下において, 各機構について説明する。

4.1.1 受付機構

移動計算機からの登録要求, クライアントからの検索要求を受け付ける機構である。両要求ともに, 要求内の緯度・経度情報を元に, L-LMH データベースを検索し, 該当するエリアを管理する L-LMH に要求を送信する。

4.1.2 L-LMH データベース

下位管理ホストである L-LMH の情報をデータベースで管理する。データベースのエントリは, L-LMH の IP アドレス, 管理エリア, 登録されている移動計算機数である。データベースが更新される要因としては次の 2 つがあげられる。

1. U-LMH, L-LMH 間の周期登録

U-LMH は, L-LMH と周期的に通信を行い, L-LMH に登録されている移動計算機数を管理している。そのため, L-LMH と通信を行うと, データベースの登録が行われる。

2. U-LMH 間の周期登録

スケーラビリティの問題上, 提案システムでは U-LMH を複数台用い, 各 U-LMH に同じ L-LMH データベースを持たせている。そのため, 一部の U-LMH のデータベースが登録されるとデータベースに違いが生じるので, 一定周期で同期を取り, データベースを更新する。

4.1.3 データベース管理機構

データベース管理機構は, U-LMH が持つ L-LMH データベースの同期など, 他の LMH と通信を行い, データベースを管理する機構である。具体的な機能としては, 以下のものがあげられる。

1. U-LMH とのデータベースの同期

複数台存在する U-LMH 間で通信を行い, 管理する L-LMH データベースの同期をとる。一定周期で同期をとるが, すべてのデータベースを送受信し, 同期を取ると効率が悪いので, 変更のあったエントリのみを送信し, データ量を減少させる。

2. L-LMH からの登録処理

U-LMH は, L-LMH と一定周期で通信を行い, L-LMH データベースのエントリである移動計算機数の登録を行う。このように移動計算機数を周期的に登録することにより, 各 L-LMH の管理しているデータベースのサイズが分かり, 管理エリアの変換などに用いることが可能となる。

3. L-LMH からの管理ホスト切替え処理

移動計算機が移動をし, 管理される L-LMH を切

り替えるとき, L-LMH のデータベース管理機構から U-LMH のデータベース管理機構に切替え要求が送信される。L-LMH からの要求を受け, U-LMH のデータベース管理機構は, L-LMH データベースを検索し, 移動計算機の移動先のエリアを管理する L-LMH の情報を取得し, 要求のあった L-LMH にその情報を送信する。

4.2 下位位置管理ホスト (L-LMH)

図 6 のように, L-LMH は, 受付機構, 移動計算機データベース, データベース管理機構, 登録機構, 移動計算機管理機構で構成される。各機構の働きについて, 以下に説明する。

4.2.1 受付機構

U-LMH から送られる移動計算機の登録要求, クライアントの検索要求を受け付ける機構。移動計算機の登録要求であれば, 登録機構へ要求を送信する。また, クライアントからの検索要求であれば, 移動計算機管理機構へ要求を送信する。

4.2.2 移動計算機データベース

登録が行われた管理エリア内に存在する移動計算機の情報を管理するデータベース。L-LMH は, 移動計算機の持つ位置依存情報そのものではなく, そのデータの所在のみを管理し, 位置依存情報そのものは, 移動計算機とクライアントが Peer-to-Peer で通信を行いデータをやりとりする。このデータベースのエントリは, 移動計算機の IP アドレス, 位置情報, URI である。このデータベースが登録される事象としては, 以下の事柄があげられる。

1. クライアントから検索要求があった場合

クライアントから U-LMH に検索要求があると, L-LMH に送られ, 移動計算機管理機構によって登録下の移動計算機に現在地を要求する。移動計算機から応答が返ってくると, 移動計算機管理機構は, 移動計算機の位置情報を移動計算機データベースに登録し, 位置情報を最新の位置情報に更新する。

2. 登録されている移動計算機が管理エリア外に出た場合

登録されている移動計算機が管理エリア外に出ると, 位置管理ホストを切り替えなければならない。移動計算機は管理エリア外に出ると, L-LMH に登録停止要求を送信し, その要求を受け, データベース管理機構によって, その移動計算機のデータを消去し, 移動先の L-LMH にそのデータベースを送信する。

同様に移動計算機が管理エリア内に移動したとき

も、移動計算機データベースは登録される。

4.2.3 データベース管理機構

移動計算機データベースの同期など、他の LMH と通信を行いデータベースを管理する機構である。この機構の働きとして、1 つ目に U-LMH との通信があげられる。U-LMH は、移動計算機データベースに L-LMH の登録移動計算機数を管理しているが、管理下の移動計算機の移動などによって、移動計算機数が変わるので、登録を行わなければならない。この登録作業を U-LMH のデータベース管理機構と通信を行い実行する。

2 つ目の機能としては、移動計算機の移動にともなうデータベースの管理である。移動計算機が管理エリアを出ると、その移動計算機のデータベース内のエントリを消去し、移動先を管理する L-LMH に移動計算機の情報を送信する。

4.2.4 登録機構

新規の移動計算機の登録を行う機構である。U-LMH からの移動計算機登録要求を受け、移動計算機の情報をデータベースに登録する。また、移動計算機への応答メッセージとして、登録した L-LMH の管理エリアの情報を移動計算機に送信する。これにより、移動計算機自身が管理エリア内にいるかどうかを分けることができ、位置管理ホストの切替えを明確にする。

4.2.5 移動計算機管理機構

移動計算機に対して、現在地を要求し、データベースに登録する機構。現在地を要求するタイミングは、クライアントからの検索要求が U-LMH から送信され、L-LMH の受付機構が受信し、受付機構から移動計算機管理機構に発信要求が送られたときである。このように、クライアントからの要求があったときに、現在地を移動計算機に要求することにより、不必要な移動計算機からの位置登録パケット数を削減できる。

5. 実験と評価

5.1 評価方法、実験環境

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、以下の 3 種類について比較を行った。

提案方式

移動計算機と L-LMH 間において、移動時登録方式とオンデマンド登録方式を併用する。

周期登録方式

移動計算機と L-LMH 間において、周期的に位置情報を登録する。

オンデマンド登録方式

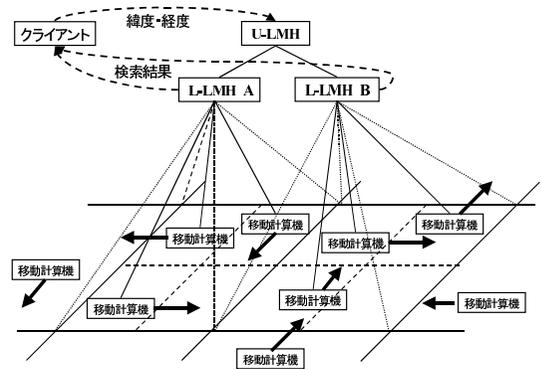


図 7 実験環境

Fig. 7 Experimental environment.

移動計算機と L-LMH 間において、クライアントから要求があった場合のみ、位置情報を登録する。実験環境は、図 7 に示すようにクライアントと U-LMH 間は有線のネットワーク（帯域 100 Mbps）、L-LMH と移動計算機間は無線のネットワーク（帯域 11 Mbps）で構成されるネットワーク環境で行った。位置管理ホストは、U-LMH を 1 台、L-LMH を 2 台用いた。各 L-LMH は、図 7 の実線部分のように、それぞれ異なる隣接する管理エリアを持っている。管理エリアのサイズは 1 キロメートル四方で、管理エリアは図 7 の点線部分のように、500 メートル四方の 4 つの小管理エリアに分割している。この小管理エリアは、移動時登録方式の管理単位として用いている。すなわち小管理エリアが切り替わると、移動計算機は位置登録パケットを送信する。

移動計算機については、L-LMH A に初期台数の半分を登録し、L-LMH B に残りの半分を登録する。各管理エリア内にランダムな位置に初期配置する。また、初期配置後は、東西南北のいずれかの方向に時速 4 キロメートルで移動する。今回の実験においては、1 台の移動計算機から複数の登録要求を出し、仮想的に複数台の移動計算機を実現している。

クライアントは、10 秒以内のランダムな間隔で、U-LMH に対して、2 つの L-LMH 内の要求エリアを送信する。要求エリアとは、中心の緯度・経度と、中心からの範囲が含まれている。本実験では範囲は、±20 メートルとした。L-LMH は、要求エリア内に存在する移動計算機の位置依存サービス情報を検索し、検索結果をクライアントに送信する。

また、周期登録方式における間隔は 2 秒としている。

5.2 実験結果、考察

クライアントから U-LMH に対して送信した回数（要求回数）と移動計算機数を変化させ、移動計算機

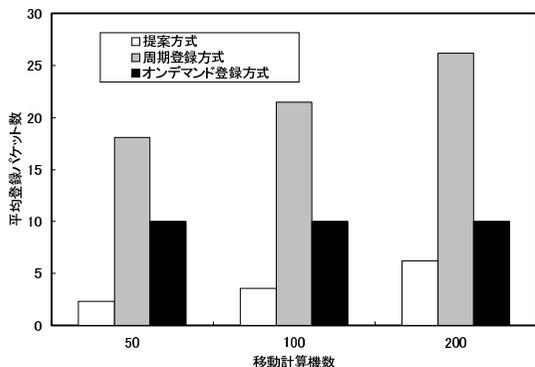


図 8 平均登録パケット数 (要求回数 10 の場合)

Fig. 8 Average number of packets (the case of 10 requests).

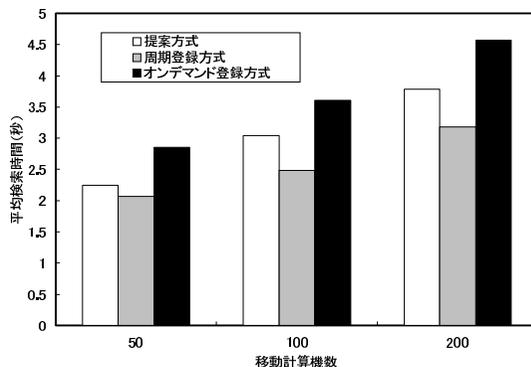


図 10 平均検索時間 (要求回数 10 の場合)

Fig. 10 Average turn-around time (the case of 10 requests).

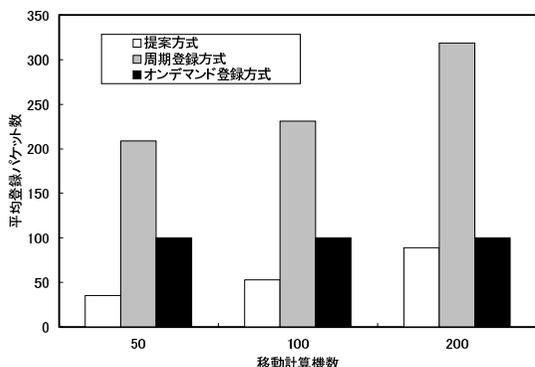


図 9 平均登録パケット数 (要求回数 100 の場合)

Fig. 9 Average number of packets (the case of 100 requests).

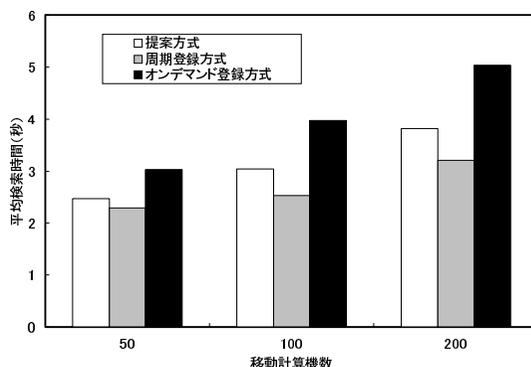


図 11 平均検索時間 (要求回数 100 の場合)

Fig. 11 Average turn-around time (the case of 100 requests).

が L-LMH へ位置情報登録のために送信した平均登録パケット数を計測した。要求回数が 10, 100 の場合における結果を、それぞれ図 8, 図 9 に示す。また、クライアントが U-LMH へ要求を出してから、L-LMH から検索結果を得るまでの平均検索時間を計測した。要求回数が 10, 100 の場合における結果を、それぞれ図 10, 図 11 に示す。それぞれ、移動計算機数が 50, 100, 200 の場合の結果である。

移動計算機が送信した L-LMH への登録のためのパケット数は、図 8, 図 9 より、提案手法は、周期登録方式に比べおおよそ 80% 減少し、オンデマンド方式と比べてもおおよそ 70% 減少している。これから提案手法における登録パケット数の有効性を確認できる。

また、検索時間は、図 10, 図 11 から、提案手法は、周期登録方式に比べ、おおよそ 10% 増加し、オンデマンド方式に比べおおよそ 20% 減少していることが確認できる。周期登録ではクライアントからの要求時には、すでに移動計算機の位置情報が登録されているために短

時間で結果を返答できる。しかし、提案手法も移動時登録方式を併用しているので、周期登録方式と遜色のない検索時間でかつ、オンデマンド登録方式よりも検索時間を短縮できたことが分かる。

6. 関連研究

GLI システム³⁾

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⁴⁾において実装されている⁵⁾。

GLI システムは、クライアント、サーバ、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に送信し、サーバから検索結果を受信する。これ

により、計算機やユーザの位置・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 Routing⁶⁾ 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⁷⁾。

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、本論文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. おわりに

クライアントが位置情報で移動計算機を効率良く検索できる位置情報管理システムを提案した。本システムでは、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オーバーヘッドを削減できる位置管理登録方式を提供する。提案登録方式では、クライアントが要求するときにのみ正確な位置情報が必要であることに着目している。通常時は移動計算機を精度の低い位置情報で管理することで位置管理パケットを削減し、クライアントからの要求時 (オンデマンド時) に、移動計算機の正確な位置情報を登録する。これにより、最小限の位置管理パケットで、正確な位置情報の管理を実現している。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登録方式・オンデマンド登録方式に比べ、位置情

報登録のためのパケット数が平均して 25% 程度になっていることが分かり、有効性を証明することができた。

今後の課題としては、管理エリアのサイズや移動計算機の移動速度に関する本システムの詳細な評価を行う予定である。また、管理エリアのサイズを動的に変更できる機構を追加して、さらに効率的なシステムを実現する。さらに現在のシステムでは代表的な地名/建物名でしか検索できないが、さらにシステムを改良し、すべての行政区界で緯度・経度情報に変換する機構を検討する予定である。

謝辞 本研究の一部は、科研費 基盤研究 (B) (2) No.12480099、および、NTT 受託研究による。

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, 中西恒夫, 福田 晃: 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, 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.23-30 (2001).
- 3) Watanabe, Y., Shinozaki, A., Teraoka, F. and Murai, J.: The Design and Implementation of the Geographical Location Information System, *Proc. Inet96*, Internet Society (1996).
- 4) WIDE プロジェクト—InternetCAR プロジェクト. <http://www.sfc.wide.ad.jp/InternetCAR/>
- 5) 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のシステムに関するワークショップ (SPA2000) (2000). <http://www.jaist.ac.jp/SPA2000/>
- 6) Imielinski, T. and Navas, J.C.: Geographic Addressing, Routing, and Resource Discovery with the Global Positioning System, *Comm. ACM*, Vol.42, No.4, pp.86-92 (1999).
- 7) Imielinski, T. and Navas, J.C.: GPS-Based Addressing and Routing, RFC2009 (1996).

(平成 13 年 6 月 7 日受付)

(平成 13 年 12 月 18 日採録)



島田 秀輝 (学生会員)

1976 年生。1999 年神戸大学工学部卒業。2001 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程修了。現在、同大学院博士後期課程在学中。モバイルコンピューティングの研究に従事。

ングの研究に従事。



田頭 茂明 (正会員)

1973 年生。1996 年龍谷大学理工学部卒業。1998 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程修了。2000 年同大学院情報科学研究科博士後期課程修了。同年広島

大学工学部第二类 (電気系) 助手。現在に至る。博士 (工学)。モバイルコンピューティング、システムソフトウェアの研究に従事。1999 年第 14 回電気通信普及財団賞受賞。



中西 恒夫 (正会員)

1970 年生。1993 年大阪大学工学部通信工学科卒業。1995 年奈良先端科学技術大学院大学博士前期課程修了。1998 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了。この間、1996 年から 1998 年まで日本学術振興会特別研究員。1998 年より奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助手。博士 (工学)。研究対象

としてはコンパイラ、アーキテクチャ、オペレーティングシステム、モバイルネットワークに、研究分野としては組込みシステム、バイオインフォマティクス、並列処理に興味を持つ。ACM, IEEE-CS, 日本バイオインフォマティクス学会各会員。



福田 晃 (正会員)

1954 年生。1977 年九州大学工学部情報工学科卒業。1979 年同大学院修士課程修了。同年 NTT 研究所入所。1983 年九州大学大学院総合理工学研究科助手。1989 年同大学助教授。1994 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科教授。2001 年より九州大学大学院システム情報科学研究院教授。工学博士。オペレーティング・システム、コンパイラ、計算機アーキテクチャ、組込システム、モバイルコンピューティング、並列/分散処理、性能評価などの研究に従事。本学会平成 2 年度研究賞、平成 5 年度 Best Author 賞受賞。著書「並列オペレーティングシステム」(コロナ社)、訳書「オペレーティングシステム」(共訳、培風館)。ACM, IEEE Computer Society, 電子情報通信学会、日本 OR 学会各会員。

教授。1994 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科教授。2001 年より九州大学大学院システム情報科学研究院教授。工学博士。オペレーティング・システム、コンパイラ、計算機アーキテクチャ、組込システム、モバイルコンピューティング、並列/分散処理、性能評価などの研究に従事。本学会平成 2 年度研究賞、平成 5 年度 Best Author 賞受賞。著書「並列オペレーティングシステム」(コロナ社)、訳書「オペレーティングシステム」(共訳、培風館)。ACM, IEEE Computer Society, 電子情報通信学会、日本 OR 学会各会員。