

博士論文

移動計算機環境における Peer-to-Peer システムの制御  
機構に関する研究

島田 秀輝

2004年2月6日

奈良先端科学技術大学院大学  
情報科学研究科 情報システム学専攻

本論文は奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科に  
博士(工学) 授与の要件として提出した博士論文である。

島田 秀輝

審査委員： 湊 小太郎 教授  
砂原 秀樹 教授  
福田 晃 教授  
杉浦 忠男 助教授

# 移動計算機環境における Peer-to-Peer システムの制御 機構に関する研究\*

島田 秀輝

## 内容梗概

無線ネットワークデバイス, 携帯可能な計算機 (移動計算機) の進化と共に, 移動計算機を取り巻く環境は年々変化し, ますます身近になり, いつでもどこでもネットワークに接続することが可能になってきている. 携帯電話はもとより, 街中の無線 LAN サービスを利用することにより, IEEE802.11b に代表される無線 LAN 機器を用いて, より高速に通信することが可能である.

このようなネットワークの高速化, 計算機の高性能化に伴い, WWW(World Wide Web) のようなサーバにおける集中管理型ではなく, 各端末が情報を分散管理し, 発信を行う Peer-to-Peer システムが利用可能である. 無線ネットワークデバイスを用いた移動計算機の Peer-to-Peer システムとして, 近年, Ad-hoc ネットワークが注目されている. Ad-hoc ネットワークの研究では, ルーティングに関する研究は多く提案されているが, この技術を利用したアプリケーション例は少ない.

本論文では移動計算機を対象とした Peer-to-Peer システムの構築を目指している. この Peer-to-Peer システムにおいて, 移動に伴い変化する移動計算機の地理的位置情報, インターネットとの接続に不可欠な無線 LAN の基地局に着目する. これらの情報の管理/利用に関する問題点を示し, ワイヤレス Peer-to-Peer システムにおける移動計算機の利用方法について検討する. 具体的には, 次の三項目の実現を目指す.

---

\* 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 情報システム学専攻 博士論文, NAIST-IS-DT0161019, 2004年 2月 6日.

## 移動計算機からの位置依存情報発信システム

移動計算機を持つユーザは、様々な場所に移動を行い、その移動先において情報を収集し、ネットワークに接続を行う。この収集した情報には、その場所に依存し、その場所でしか得ることができない位置依存情報が存在すると考えられる。そこで、位置情報を用いて検索し、この位置依存情報を端末間で Peer-to-Peer で共有するシステムの構築を行う。本論文では、この時に問題となる移動計算機の位置情報の管理方式についてプロトタイプ上で比較を行い、提案方式の優位性を示す。

## 複数のアドホックネットワークグループ間における通信制御機構

一つのアドホックネットワークグループを構成する端末数には、ルーティングの問題によって限りがあると考えられる。そこで、グループ内の端末が固定のネットワークと接続されていると仮定し、固定のネットワークを利用し、グループ間通信を行う機構の検討を行う。アドホックネットワークを構成する端末は、無線 LAN の基地局を根とする木構造で管理され、基地局へのルート情報を取得する。本論文では、この木構造をなす端末間のルーティング方法について述べる。

## マルチホップ無線ネットワークを利用したインターネット接続システム

無線 LAN の基地局からの電波を受信し利用できるエリアは、携帯電話などに比べると非常に狭い。そこで、この基地局の近辺で、端末が中継を行うことにより、マルチホップ無線ネットワークを形成し、一時的に利用エリアの拡大を行うシステムの提案を行う。本論文では、マルチホップ無線ネットワークの構成方法について述べる。さらに、このシステム上において利用可能な基地局が複数検出された場合における、適切な基地局の選択方法についてシミュレーションにより評価を行う。

地理的位置情報や無線 LAN の基地局といった、固定計算機のネットワーク環境には存在しない移動計算機の無線環境に固有の特性を利用/制御する仕組みを本論文では示す。上記三項目をまとめることにより、移動計算機を対象とした Peer-to-Peer システムの適用範囲を広げることができると考えている。本論文は、無

線ネットワークを利用する Peer-to-Peer システムの提案，実装，評価を報告したものである．

キーワード

モバイルコンピューティング，ピア・ツー・ピアコンピューティング，アドホックネットワーク，位置情報，評価



# Control Mechanisms of Peer-to-Peer System for Mobile Computers\*

Hideki Shimada

## Abstract

For the evaluation of wireless network devices and portable computers (mobile computers), these devices become more popular and we can connect mobile computers to the network anytime and anywhere. In the most of public space, we can connect to the network by using cellular phones. IEEE 802.11 access points are also installed in the public spaces. In those spaces, it is possible to communicate at higher speed than the cellular phone by using wireless LAN devices such as IEEE802.11a or b.

With the advance of the network and the computer, we can utilize Peer-to-Peer computing systems, in which the data are distributed over computers. By contrast, conventional systems such as WWW systems manage the data in the centralized server. In recent years, the ad-hoc network attracts attention, Peer-to-Peer system for mobile computers with wireless network devices. There are many research topics of the routing technology for ad-hoc network, but there are few topics of the application for this.

The purpose of our research is the construction of Peer-to-Peer system for mobile computers. My research takes notice of geographic location information of mobile computers varied their movement, and the wireless hot spot indispensable to connect to the Internet. In this paper, we show the problems of the

---

\* Doctral Dissertation, Department of Information Systems, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, NAIST-IS-DT0161019, February 6, 2004.

management and the use of Peer-to-Peer system, so we examine the usage of mobile computers in the wireless Peer-to-Peer system. We specifically aim at the realization of three items as follows.

### **A system providing location-aware information from mobile computers**

Since users having mobile computers move, they acquire the information and connect to the network at the places. We think that this information depends on the geographic location and can be acquired only at the places. Thus, we construct the system that allows users to search for the location-aware information by the location information and share this location-aware information by Peer-to-Peer manner. In this paper, we construct a prototype of the proposed system and estimate the method that manages the location of mobile computers on this prototype to show the advantage of the proposed system.

### **A control mechanism of communication among ad-hoc network groups**

The number of hosts that consist of one ad-hoc network group is limited by the scalability of ad-hoc network routing protocols. Thus, assuming that terminals in this group are connected to the fixed network, our purpose is to propose the routing mechanism that makes possible to communicate among these groups. The hosts in an ad-hoc network group are managed by the tree structure that the root host is the wireless hot spot, and acquire the route information to the wireless hot spot. This paper proposes this communicating method.

### **A system providing the Internet connection by using wireless multi-hop networks**



The area that the radio wave from the wireless hot spot can reach is narrower than the corresponding area of the cellular phone. Therefore, our purpose is to propose the system that expands this area temporarily when the hosts act as intermediary and construct wireless multi-hop networks near the wireless hot spot. In this paper, we describe a method to configure the wireless multi-hop network. We evaluate the selection of wireless hot spots through simulation experiment in the case that the hosts detect some wireless hot spots on this system.

This paper proposes the methods that control the particular characteristics of the wireless mobile computers, such as the geographic location information and the wireless hot spots. By applying the three topics mentioned above, we think that the scope of wireless Peer-to-Peer system can be expanded.

**Keywords:**

Mobile Computing, Peer-to-Peer Computing, Ad-hoc Network, Geographic Location Information, Evaluation



# 目次

|         |                                        |    |
|---------|----------------------------------------|----|
| 第1章     | はじめに                                   | 1  |
| 1.1     | 本研究の背景                                 | 2  |
| 1.2     | 本研究の目的                                 | 4  |
| 1.3     | 本論文の構成                                 | 8  |
| 第2章     | 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 | 11 |
| 2.1     | まえがき                                   | 11 |
| 2.2     | 無線接続モデルを考慮した位置情報の登録方式                  | 12 |
| 2.3     | 位置情報管理システムの設計                          | 17 |
| 2.3.1   | 位置情報管理のシステムモデル                         | 17 |
| 2.3.2   | 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              | 19 |
| 2.3.3   | 位置管理ホスト間での周期登録処理                       | 20 |
| 2.3.4   | 移動計算機における移動時登録処理                       | 21 |
| 2.4     | システム構成                                 | 23 |
| 2.4.1   | 上位位置管理ホスト (U-LMH)                      | 26 |
| 2.4.1.1 | 受付機構                                   | 26 |
| 2.4.1.2 | L-LMH データベース                           | 26 |
| 2.4.1.3 | データベース管理機構                             | 27 |
| 2.4.2   | 下位位置管理ホスト (L-LMH)                      | 28 |
| 2.4.2.1 | 受付機構                                   | 28 |
| 2.4.2.2 | 移動計算機データベース                            | 28 |
| 2.4.2.3 | データベース管理機構                             | 29 |

|            |                                          |           |
|------------|------------------------------------------|-----------|
| 2.4.2.4    | 登録機構                                     | 29        |
| 2.4.2.5    | 移動計算機管理機構                                | 29        |
| 2.5        | 実験と評価                                    | 30        |
| 2.5.1      | 評価方法と実験環境                                | 30        |
| 2.5.2      | 実験結果と考察                                  | 32        |
| 2.6        | 関連研究                                     | 34        |
| 2.7        | むすび                                      | 36        |
| <b>第3章</b> | <b>複数のアドホックネットワークを結合した環境における通信制御システム</b> | <b>39</b> |
| 3.1        | はじめに                                     | 39        |
| 3.2        | 複数のアドホックネットワークを有線で結合したシステムモデル            | 40        |
| 3.2.1      | 概要                                       | 40        |
| 3.2.2      | 問題点                                      | 43        |
| 3.3        | 提案通信制御システム                               | 43        |
| 3.3.1      | システム概要                                   | 43        |
| 3.3.2      | 端末間の通信方法                                 | 45        |
| 3.3.3      | クラスタの構成方法                                | 47        |
| 3.3.4      | クラスタ管理サーバにおけるクラスタ情報の管理方式                 | 51        |
| 3.4        | シミュレーション                                 | 52        |
| 3.4.1      | ns-2 について                                | 52        |
| 3.4.2      | シミュレーション結果                               | 52        |
| 3.5        | 関連研究                                     | 54        |
| 3.6        | むすび                                      | 54        |
| <b>第4章</b> | <b>無線マルチホップネットワークを利用したインターネット接続システム</b>  | <b>57</b> |
| 4.1        | まえがき                                     | 57        |
| 4.2        | 提案システム概要                                 | 59        |
| 4.2.1      | システム構成                                   | 59        |

|            |                                |           |
|------------|--------------------------------|-----------|
| 4.2.2      | 応用例 . . . . .                  | 60        |
| 4.3        | マルチホップ無線ネットワークの構成 . . . . .    | 61        |
| 4.3.1      | アクセスポイント探索フェーズ . . . . .       | 61        |
| 4.3.2      | アクセスポイント選択フェーズ . . . . .       | 63        |
| 4.3.3      | 通信フェーズ . . . . .               | 63        |
| 4.4        | アクセスポイントの探索 . . . . .          | 65        |
| 4.5        | アクセスポイントの選択処理 . . . . .        | 67        |
| 4.5.1      | アクセスポイントの選択基準 . . . . .        | 68        |
| 4.5.2      | ホップ数と電波強度の決定方法 . . . . .       | 69        |
| 4.5.3      | アクセスポイントの選択処理における問題点 . . . . . | 70        |
| 4.6        | シミュレーション . . . . .             | 72        |
| 4.6.1      | シミュレーション条件 . . . . .           | 72        |
| 4.6.2      | シミュレーション結果 . . . . .           | 74        |
| 4.7        | 関連研究 . . . . .                 | 79        |
| 4.8        | むすび . . . . .                  | 80        |
| <b>第5章</b> | <b>結論</b>                      | <b>81</b> |
| 5.1        | 本研究で得られた成果 . . . . .           | 81        |
| 5.2        | 今後の課題 . . . . .                | 82        |
|            | <b>謝辞</b>                      | <b>85</b> |
|            | <b>参考文献</b>                    | <b>87</b> |
|            | <b>研究業績</b>                    | <b>91</b> |



# 目 次

|      |                                    |    |
|------|------------------------------------|----|
| 1.1  | 本研究のシステム像                          | 5  |
| 2.1  | 位置管理ホストの階層構造                       | 13 |
| 2.2  | 提案システムにおける位置情報の登録方式                | 16 |
| 2.3  | Peer-to-Peer 情報共有環境における位置管理システムの概要 | 18 |
| 2.4  | 位置情報管理機構の概要                        | 19 |
| 2.5  | U-LMH 内の機構                         | 24 |
| 2.6  | L-LMH 内の機構                         | 25 |
| 2.7  | 実験環境                               | 31 |
| 2.8  | 平均登録パケット数 (要求回数 10 の場合)            | 32 |
| 2.9  | 平均登録パケット数 (要求回数 100 の場合)           | 33 |
| 2.10 | 平均検索時間 (要求回数 10 の場合)               | 34 |
| 2.11 | 平均検索時間 (要求回数 100 の場合)              | 35 |
| 3.1  | 提案システムの特徴                          | 41 |
| 3.2  | システムモデル                            | 42 |
| 3.3  | クラスタ内の管理構造                         | 44 |
| 3.4  | 端末間の通信方法                           | 46 |
| 3.5  | クラスタの再構成                           | 50 |
| 3.6  | シミュレーション図                          | 53 |
| 4.1  | 提案システム概要                           | 59 |
| 4.2  | アクセスポイント探索フェーズ                     | 62 |
| 4.3  | 通信フェーズ                             | 64 |

|      |                                      |    |
|------|--------------------------------------|----|
| 4.4  | ホップ数の決定 . . . . .                    | 70 |
| 4.5  | 電波強度の決定 . . . . .                    | 71 |
| 4.6  | シミュレーション図 . . . . .                  | 73 |
| 4.7  | シミュレーション結果 (ホップ数がほぼ同じ場合) . . . . .   | 75 |
| 4.8  | ホップ数が大きく異なる場合の位置関係 . . . . .         | 76 |
| 4.9  | シミュレーション結果 (ホップ数が大きく異なる場合) . . . . . | 77 |
| 4.10 | 経路の出現回数と平均持続時間 . . . . .             | 78 |
| 4.11 | ホップ数ごとの通信時間の割合 . . . . .             | 79 |



# 表 目 次

|     |                                         |    |
|-----|-----------------------------------------|----|
| 3.1 | 提案方式と AODV 方式の経路管理のための総通信量 . . . . .    | 53 |
| 4.1 | 送信元端末と固定端末の関係 (ホップ数がほぼ同じ場合) . . . . .   | 74 |
| 4.2 | 送信元端末と固定端末の関係 (ホップ数が大きく異なる場合) . . . . . | 77 |



# 第 1 章

## はじめに

近年の IT 革命などにより，パーソナルコンピュータの普及は著しく伸びつつあり，一般家庭においてもブロードバンド化が進んでいる．このようなパーソナルコンピュータの普及において，デバイスの小型化，我が国の住宅環境などの理由により，携帯が可能でより省スペースに収まるノート型の計算機のシェアが増えつつある．また，家庭においてもブロードバンド化に伴い，複数台の計算機を家庭内において所有する状況になり，配線の手間が少ない無線ネットワークデバイスの普及も進んでいる．このような携帯可能な計算機（移動計算機）や無線ネットワークデバイスの普及によって，屋内だけでなく，屋外においてもネットワーク機能を利用することが可能になりつつある．

また，移動計算機の高性能化，無線ネットワークデバイスの通信速度の高速化により移動計算機からの情報発信も可能である．移動先において取得した情報をその場その場で発信し，共有することによって，移動先のみで取得できる情報を，よりリアルタイムに共有することができる．しかし，移動先において，身近に存在する計算機と通信を行う場合においても，固定のネットワーク網を経由して通信を行う必要がある．この通信コストを下げる仕組みとして，ピア・ツー・ピア（Peer-to-Peer）による情報共有の仕組みが考えられている．さらに，無線ネットワークに特化した Peer-to-Peer の仕組みとして，アドホックネットワークが注目されている．アドホックネットワークを利用することにより，低コストで移動先において情報発信をすることができ，ワイヤレス IP(テレビ) 電話，緊急時におけ

る情報共有システムなどが実現可能である。

本章では、本研究の背景と目的、および、本論文の構成について述べる。

## 1.1 本研究の背景

現在、計算機をネットワークに接続することは一般的になっており、ネットワークに接続せずにスタンドアロンで利用できる資源は非常に限定される状況である。また、DSL(Digital Subscriber Line)、FTTH(Fiber To The Home)やCATV(Cable Television)といったブロードバンド常時接続サービスが普及し、社内や家庭内において、いつでもネットワークから情報を取得することが可能になっている。このような仕組みを利用し、インターネットに接続することによりWWW(World Wide Web)から、膨大な情報を取得・共有することができ、一大メディアとなっている。

計算機の方に着目すると、サイズの小型化や機器の高性能化により、計算機を持ち運び、様々な場所で作業することが可能になっている。固定計算機と同様の環境を提供するノート型の計算機だけでなく、PDA(Personal Digital Assistance)のようなさらに小型の計算機の機能も進歩し、ますます利用範囲が広がっている。このような移動計算機をネットワークと接続することによって、移動先においても、社内・屋内と同じような環境で移動計算機を利用することが可能である。

計算機の高性能化、ネットワークの高速化によって、Peer-to-Peer による情報の送受信も一般的になっている。Peer-to-Peer システムを構成する端末は、ルータ、サーバ、クライアント全ての役割を担う。Peer-to-Peer システムには、データのインデックスを管理するサーバを設け、データそのものを直接やり取りするハイブリッド型と、全てのデータを端末間のみで、送受信するピュア型が存在する。ピュア型のシステムとしては Gnutella<sup>1</sup>、ハイブリッド型のシステムとしては Napster<sup>2</sup> などが挙げられる。ICQ<sup>3</sup> などのインスタントメッセンジャーや、

---

<sup>1</sup> Gnutella : <http://welcome.to/gnutella>

<sup>2</sup> Napster : <http://www.napster.com/>

<sup>3</sup> ICQ : <http://web.icq.com/>

## 1.1. 本研究の背景

SETI@home<sup>4</sup> などのデータ解析作業も Peer-to-Peer システムの実用システムの一例である。

また、移動して計算機を利用する際に変化する情報として、地理的位置情報が挙げられる。携帯電話などに GPS(Global Positioning System) が搭載されるなど、非常に身近なものになりつつある。PHS(Personal Handyphone System) の電波エリアを利用した探索サービスが存在するが、精度が低いという問題点がある。しかし、現在では規制が緩和され GPS の精度が上がり、デバイス自体も小型化が進み、より正確な位置情報を利用するサービスが利用可能である。

この地理的位置情報を利用したシステムとして、インターネットと連携した物が多く存在する。カーナビゲーションシステムは、一番身近な例として挙げられる。トヨタ自動車を中心とする「G-Book」<sup>5</sup>、ホンダ自動車を中心とする「インターナビ」<sup>6</sup>などが、ネットワークを利用したカーナビゲーションシステムとして実用化されている。また、車ではなく人をナビゲートするシステムとして、地下街にて、無線 LAN を利用したナビゲーションシステムが実験されている。このシステムでは、位置情報を取得するデバイスとして、無線 LAN が用いられているが無線 LAN を用いた位置検索システムも研究され [1][2]、Air Location<sup>7</sup> などの商品化されたシステムも存在する。

移動計算機をネットワークと接続するネットワーク機器も携帯電話、無線ネットワークデバイスなど様々な手段が利用可能である。携帯電話としては、第三世代の機器が普及し、伝送速度の高速化が進み、カメラが内蔵されることにより、テレビ電話機能も可能になっている。しかし、携帯電話は公衆電話網を利用し、動画の送受信を行うため、非常に高額なパケット料金が課されるという欠点が存在する。IEEE802.11 に代表される無線ネットワークデバイスもまた、先ほど述べたようなノート型パソコンや PDA に内蔵されることが多くなり、非常に身近なデバイスとなっている。無線ネットワークデバイスを利用するためには、インターネット網に接続された無線 LAN の基地局が必要となる。無線 LAN の基地局

---

<sup>4</sup> SETI@home : <http://setiathome.ssl.berkeley.edu/>

<sup>5</sup> G-BOOK : <http://g-book.com/>

<sup>6</sup> インターナビ : <http://www.internavi.ne.jp/>

<sup>7</sup> Air Location : <http://www.hitachi.co.jp/airlocation/>

は、携帯電話の基地局と比べカバーエリアが非常に狭く、移動して通信する場合、IP アドレスの切り替えが頻繁に生じるため、モビリティに不向きである。しかし、公衆電話網を利用しないため、安価にネットワーク通信できると考えられる。無線 LAN のサービスとしては、各 ISP(Internet Service Provider) による公衆無線 LAN サービスが挙げられる。契約が必要なサービスだけでなく、プリペイド式のサービスも存在し、また、非商用のサービスも存在し、今後の展開にますます期待することができる。

このように移動計算機と無線ネットワークデバイスを用いて、様々な場所でインターネットに接続することは可能であるが、これらのデバイスを用いた他の利用形態として、アドホックネットワークが存在する。アドホックネットワークは、移動端末同士が集まり、無線ネットワークデバイスを利用し、構成される一時的なネットワークである。固定ネットワークとは別にネットワークを独自に構成するため、無線 LAN の基地局などのシステムは不要である。従って、アドホックネットワークはハイブリッド型ではなく、ピア型の無線環境における Peer-to-Peer システムであるといえる。しかし、このアドホックネットワークは、実用的なアプリケーションなどが、まだ少なく一般的には普及していないのが現状である。

## 1.2 本研究の目的

本研究では、地理的位置情報、インターネット接続に着目し、移動計算機を中心とした Peer-to-Peer システムの設計/構築を目指している。具体的には、図 1.1 のように、街中などに設置されている無線 LAN の基地局や、ユーザが所有する無線ネットワークデバイスを利用し、マルチホップ無線ネットワークを構成する。マルチホップ無線ネットワーク上において、移動計算機から情報の発信を行う。この情報としては、移動計算機が移動先において取得する位置依存情報や、音声、動画など考えられる。位置依存情報を発信することによって、位置情報で情報を指定し、その場所に行かなくても現地でしか得る事が出来ない情報を取得することが可能になる。また、音声、動画を発信する事によって、アドホックな無線 IP 電話システムの構築に利用できる。

## 1.2. 本研究の目的

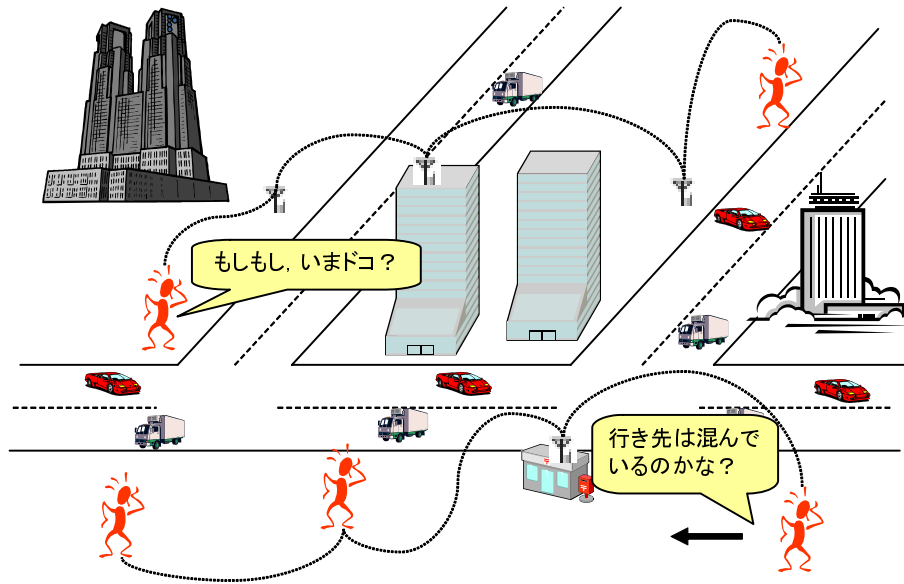


図 1.1 本研究のシステム像

端末は、街中に存在する無線 LAN の基地局を利用することによって、電波到達エリア内に存在する場合のみ、インターネット接続が可能である。提案システムでは、これらの端末が中継を行うことにより、電波到達エリア外に存在する端末にもインターネット接続性を提供する。また、地理的に近くに存在する端末と通信を行う場合は、端末間でパケットの中継を行いアドホックネットワークを構成し、Peer-to-Peer で通信を行う。

このようなシステムの構成を考えると、以下のような問題点が挙げられる。

1. 位置情報による端末/情報の指定方法
2. 無線マルチホップネットワークの構成方法

1 の問題点が生じる理由として、インターネットにおけるデータの所在と地理的な場所との間には関連性がないことが挙げられる。従って、位置情報を用いて計算機・データを探索することを想定すると、データと位置情報の対応付けを行う必要がある。また、外部ネットワークと接続を行わない閉じられた空間内で考え

ると、アドホックネットワークの仕組みを利用することによって、2 の問題点を解決することができる。しかし、インターネットのような外部ネットワークへの接続を考えると、無線 LAN の基地局の選択など様々な問題点が生じる。

本論文では、移動計算機の無線ネットワーク環境に生じるこれらの問題点を明らかにし、それらに対処する方法の検討を行う。具体的には以下の 3 項目のシステムの提案・構築を行う。

#### 移動計算機の位置情報管理システム

ネットワークに接続された移動計算機の位置情報を管理し、移動計算機が持つ位置依存情報を Peer-to-Peer で共有するシステムの提案を行う。この提案システムでは、移動計算機の位置情報を位置情報管理サーバで管理し、共有する位置依存情報自体の管理は行わず、インデックス情報のみを管理する。端末は、位置情報を用いて位置情報管理サーバに対して検索要求を送信し、要求地点近辺に存在する移動計算機が持つ情報のインデックスを取得し、位置依存情報を Peer-to-Peer でやり取りする。従って、提案システムは、ハイブリッド型の Peer-to-Peer システムといえる。

位置情報を用いて位置依存情報の検索を行うため、移動計算機は位置情報の登録を位置情報管理サーバに対して行う必要がある。移動計算機の無線環境において、位置情報の登録は計算機資源を浪費するため、不要な登録を避ける必要がある。本論文では、この登録に必要な通信量を少なくし、かつ、必要な時に正確な位置情報の提供を行う仕組みを提案する。

本研究では、上記の位置情報管理システムのプロトタイプの実装を行い、プロトタイプ上にて、位置情報の管理に必要な通信量の比較を行う。実験結果より、提案登録方式は周期登録方式、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%程度に削減でき、無線環境に適していることがわかった。

#### アドホックネットワークグループ間における通信制御システム

移動計算機の位置情報管理システムでは、移動計算機の位置情報を管理するために位置情報管理サーバを設置する必要がある。しかし、システムの



## 1.2. 本研究の目的

適用エリアが広がるにつれ、位置情報管理サーバを多数設置する必要があり、スケーラビリティの問題が生じる。そこで、ピュアな Peer-to-Peer 型の位置依存情報共有システムを目指し、アドホックネットワークグループ間における通信制御システムの提案を行う。

提案システムでは、アドホックネットワークを構成している端末を1つのグループと想定し、そのグループ中に外部のネットワークと接続している端末が一台存在することを仮定している。その端末をゲートウェイと呼び、他のグループと通信を行う時には、ゲートウェイを経由して通信を行う。従って、グループ内の各端末はゲートウェイまでのルート情報を保持する必要があり、提案システムでは、ゲートウェイを根とする木構造で管理される。また、グループ内の端末はゲートウェイの近隣に存在していると考えられる。従って、ゲートウェイの位置情報を管理することによって、他の端末の位置情報をおおまかに把握することができ、位置情報を用いて位置依存情報の検索を行うことができる。ゲートウェイ間で管理エリアとなる位置情報を交換する方法も考えられるが、提案システムでは、ゲートウェイの位置情報を管理するサーバを設置する。前述の移動計算機の情報管理システムでは、全ての移動計算機を管理する必要があった。しかし、本システムでは無線 LAN の電波特性を利用することによって、位置情報の管理コストを下げる事ができる。

本研究では、このグループ内における木構造をなすルーティングアルゴリズムについて提案を行う。

### 無線マルチホップネットワークを利用したインターネット接続システム

上述した両システムは共位置情報取得デバイスを用いる必要があり、位置依存情報に特化しているため、適用範囲が限定される。そこで、より適用事例を増やすため、このワイヤレス Peer-to-Peer の機構を利用し、インターネット接続を行うシステムを目指し、システム構築を行う。

インターネットに接続することにより、利用できるアプリケーションが増え、より一般的になると考えられる。具体的には、昨今、増加している無線

LAN の基地局を利用し，インターネットへの接続を行う．屋内だけでなく，街中などの公共の場所においても基地局は利用可能である．しかし，これらのカバーエリアは携帯電話などと比較すると非常に狭く，限定されたエリアでしかない．この基地局の電波を受信した端末が中継を行い，他の端末も順に中継を行い，マルチホップ無線ネットワークを構成すると，一時的に利用エリアを拡大できると考えられる．

そこで，本研究では，マルチホップ無線ネットワークの構成方法を述べ，近隣に複数の基地局が検出された場合における，基地局の選択方法について考察を行う．また，基地局の選択基準の一つであるホップ数に着目し，シミュレーションにより，ホップ数が経路へ与える影響について評価を行う．

上記の三項目を提案・構築することで，移動計算機からの情報発信環境を提供し，ワイヤレス Peer-to-Peer システムの利用用途を広げることが可能になる．

### 1.3 本論文の構成

本論文は全 5 章で構成される．

第 1 章，すなわち本章では，ワイヤレスネットワークを取り巻く環境と，移動計算機を対象とした Peer-to-Peer システムの利用例について概説し，本研究の背景と目的を述べた．

第 2 章では，移動計算機から位置依存情報を発信するシステムの設計について述べる．その際に問題となる移動計算機の位置情報更新に関する通信量を削減する登録方式を提案する，さらに，提案方式をプロトタイプに実装し，評価する．

第 3 章では，アドホックネットワークグループ間における通信制御システムの提案を行う．提案システムでは，アドホックグループ内に外部ネットワークと接続している端末を想定し，この端末の位置情報を管理する．無線 LAN の電波特性を利用し，第 2 章で述べる位置依存情報配信システムより，位置情報登録に必要な通信量の削減が期待できる．

そして，第 4 章では，無線マルチホップネットワークを利用したインターネット接続システムについて述べる．その際，問題となるアクセスポイントが複数検

### 1.3. 本論文の構成

出された場合におけるアクセスポイントの選択基準について考察を行い，本研究では，選択基準の一つであるホップ数に着目する．シミュレータ上において，ホップ数に関する評価を行う．

最後に第 5 章において，本研究で得られた成果をまとめ，今後の課題について述べる．



## 第 2 章

# 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

### 2.1 まえがき

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データ受信，さらに所有しているデータ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．これらの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．本章では，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 [3]．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

## 第 2 章 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

を探索したいユーザ)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[4]。例えば、500メートル以内に存在する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、ビーコンなどの方向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することができ、システムの利便性の向上が期待できる。

本章では、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、さらに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。このため本論文では、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時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。

本章では、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、提案登録方式の有効性について評価する。

### 2.2 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

## 2.2. 無線接続モデルを考慮した位置情報の登録方式

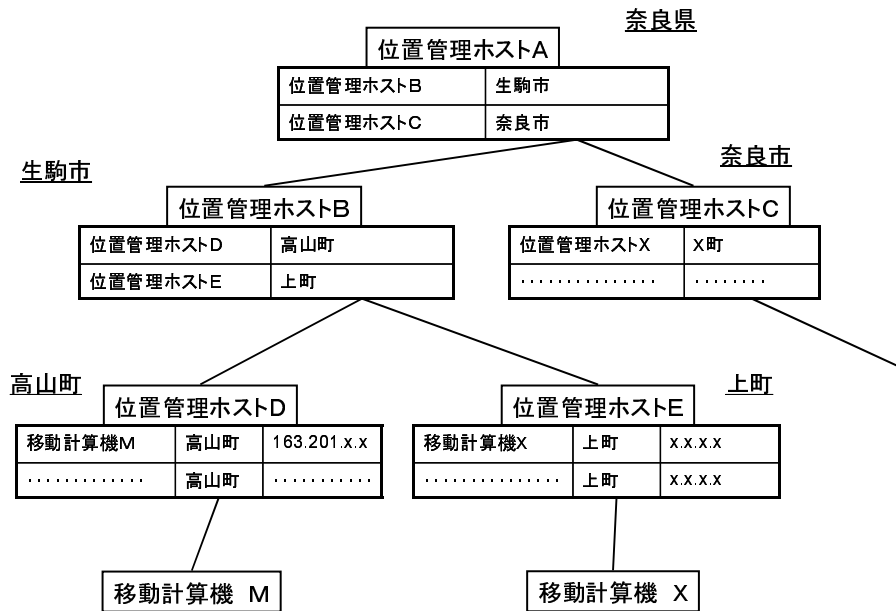


図 2.1 位置管理ホストの階層構造

機器を、移動計算機が装備することを想定している。

位置情報を用いて移動計算機を検索するシステムを実現するには、移動計算機の位置情報を管理する必要がある。そこで、本システムでは、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を用いる。例えば、図 2.1 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

移動計算機が、自身の位置情報を一定の時間間隔で位置管理ホストへ登録

## 第 2 章 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

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．さらに，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移動した場合においても，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時(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パケット数は，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パ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，位置登録パケット数を抑えることができる．さらに，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．

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もつ．



## 2.2. 無線接続モデルを考慮した位置情報の登録方式

### ・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時に、位置管理ホストから登録要求パ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パ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パケットを送出する。そのため、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パケットを送出するので、クライアントからの要求が無い場合などは位置登録パ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、位置登録パ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登録パケットを削減し、正確な位置情報を管理する登録方式が必要である。

そこで、本研究では、無線通信部分の位置登録パケットを削減し、正確な位置情報をクライアントに提供す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2.2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

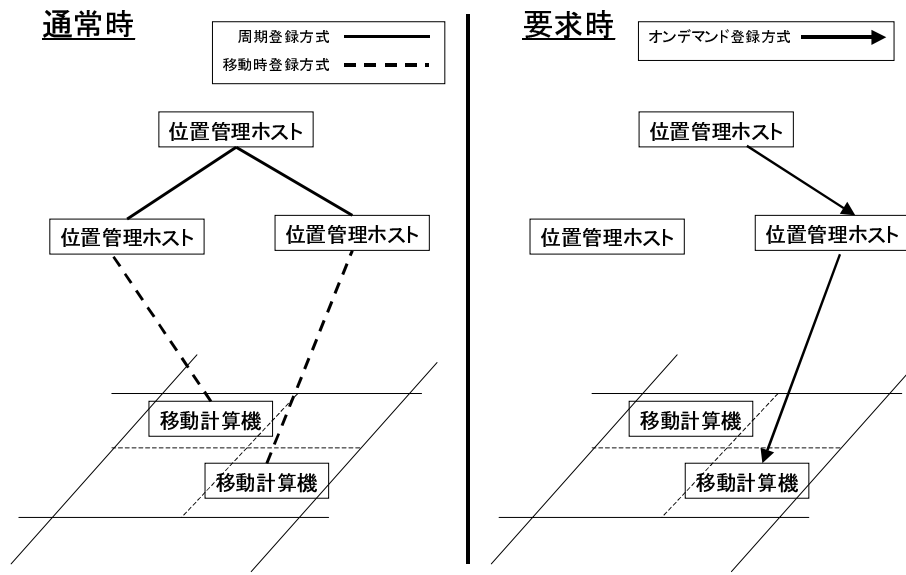


図 2.2 提案システムにおける位置情報の登録方式

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．このようにして，位置管理ホストは移動計算機がどのエリアに存在するかを把握し，クライアントからの要求を素早く，対応する位置管理ホストに送信する．

- 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用する位置登録パケットを削減できる．

● 要求時

- 位置管理ホスト間

クライアントからの要求を受信すると，対応するエリアを管理する位

## 2.3. 位置情報管理システムの設計

置管理ホストに要求の送信を行い，検索結果をクライアントに対して送信する．

### - 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ヘッドの削減を実現する．

## 2.3 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 2.3 に示す．本論文では，図 2.3 における位置情報管理システムの提案を行う．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・経度情報もしくは地名で，欲しいエリアを指定し，その近辺に存在してい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．

また，位置情報管理システムは，第 2.2 節で説明した管理方式を用いて，移動計算機の位置情報を管理する．

### 2.3.1 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 2.4 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．位置管理ホストは二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

## 第 2 章 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

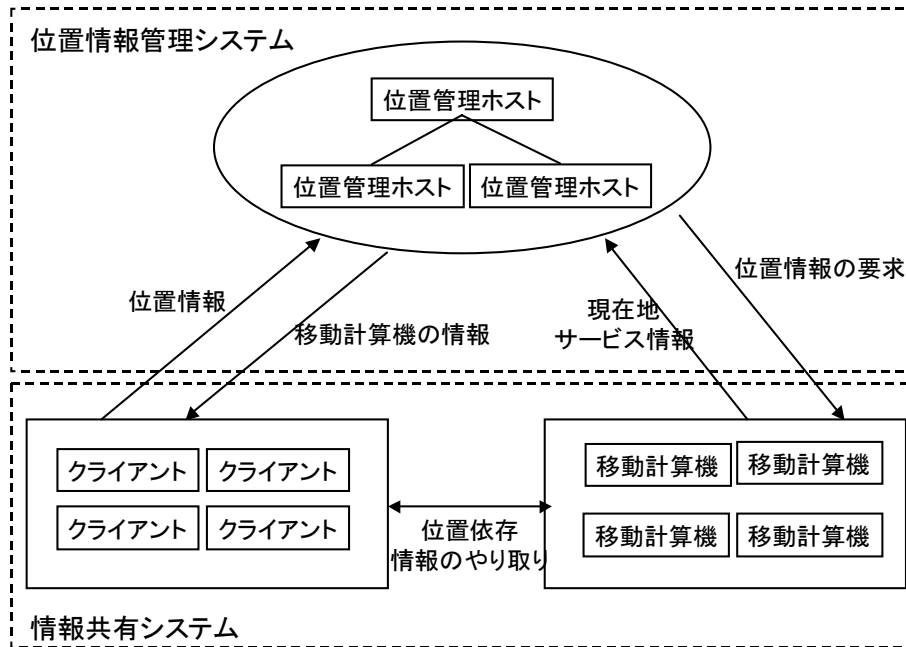


図 2.3 Peer-to-Peer 情報共有環境における位置管理システムの概要

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、第 2.2 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
- 位置管理ホスト間での周期登録処理
- 移動計算機との移動時登録処理

次節では、各処理の詳細について述べる。

## 2.3. 位置情報管理システムの設計

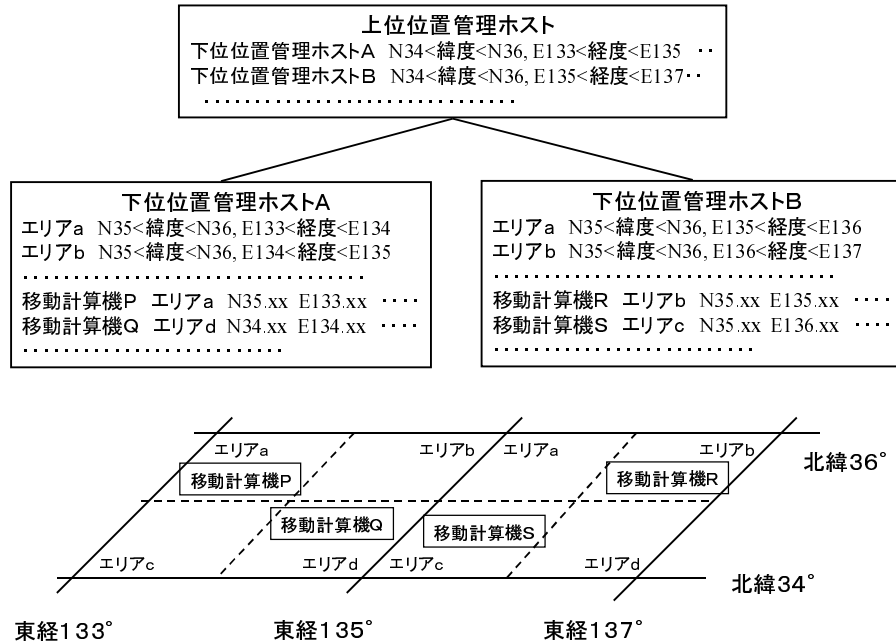


図 2.4 位置情報管理機構の概要

### 2.3.2 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情報を用いて、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、例えば、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と考えられる。クライアントは、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

## 第 2 章 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

エリア (例えば奈良県生駒市) を管理する下位位置管理ホストを見つけると、その下位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エリア (奈良県生駒市) を管理する下位位置管理ホストは、要求された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。生駒市に存在する移動計算機に対してではなく、小管理エリアを利用し、高山町に存在する移動計算機に対して、現在の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、下位位置管理ホストは検索結果をクライアントへ返信する。

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、登録要求の送信対象である管理エリアを小管理エリアに絞る。その後、クライアントからの要求時に、オンデマンド時登録方式を用いて、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。

### 2.3.3 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は、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、上位のホストと下位のホストが存在する。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以下に述べる。

#### 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。上位位置管理ホストが 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。従って、上位位置管理ホストを複数台設置し、

### 2.3. 位置情報管理システムの設計

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ーとしては、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された移動計算機の情報をも移動時登録方式とオンデマンド登録方式を併用し、データベースを用いて管理する。管理エリアは、複数の規模の小さい小管理エリアに分割されており、その小管理エリアごとに移動計算機の検索が可能である。下位位置管理ホストが持つデータベースのエントリーとしては、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。

#### 2.3.4 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、登録要求内の移動計算機の所在地の情報である緯度経度情報を元に、下位位置管理ホストのデータベースを検索する。検索後、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登録要求を送信する。

## 第 2 章 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

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移動計算機は直接通信を行い、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。そして、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、移動計算機は、移動時登録処理を実行する。次に、移動計算機が管理エリア外へ移動し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、小管理エリアの情報を持っているものとする。そして、移動計算機 A が下位位置管理ホスト X の管理エリア外に移動する。
2. 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、移動計算機からの登録停止要求を受信する。その後、下位位置管理ホスト X は、移動計算機の緯度経度情報を上位位置管理ホストに送信し、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。



## 2.4. システム構成

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 のエントリを消去する．
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 の情報を登録する．移動計算機 A は以後，下位位置管理ホスト Y の管理エリアと小管理エリアの情報を利用し，移動時登録を行う．

小管理エリアをまたいで移動した場合，下位位置管理ホストの切り替え作業は不要であるので，移動計算機は，現在登録されている下位位置管理ホストに対して，再登録するのみである．

## 2.4 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 2.5 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を示す．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，L-LMH データベース内の移動計算機数を登録する機構である．また，U-LMH 間で通信を行い，L-LMH データベースの一定周期で同期をとる．

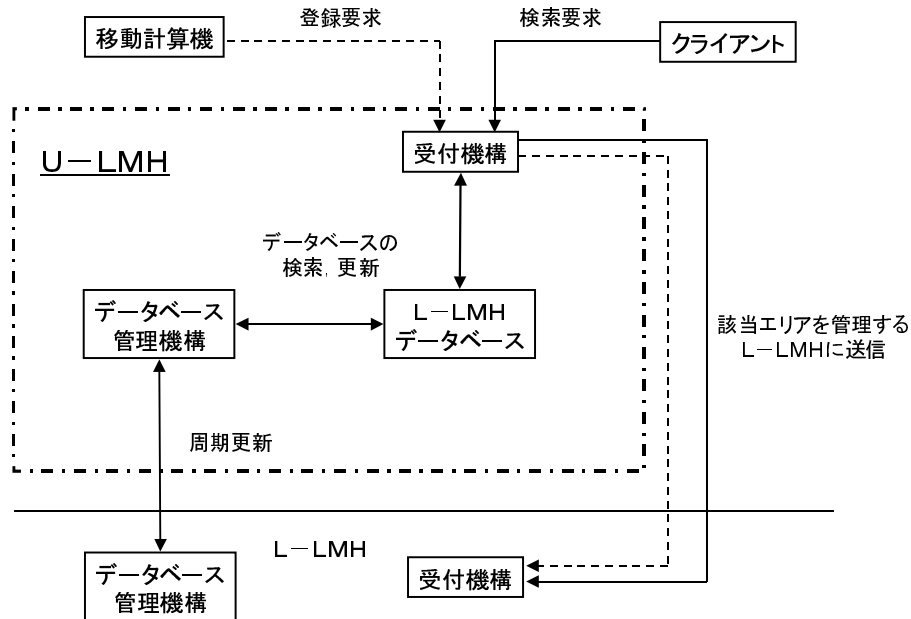


図 2.5 U-LMH 内の機構

- 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である. L-LMH データベースを検索し, 移動計算機とクライアントからリクエストを対応するエリアを管理する L-LMH に送信する.

同様に, 図 2.6 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である. 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の情報を管理するデータベースである. L-LMH は, 管理エリアを分割し, 小管理エリアに区切り, その小管理エリアごとの

## 2.4. システム構成

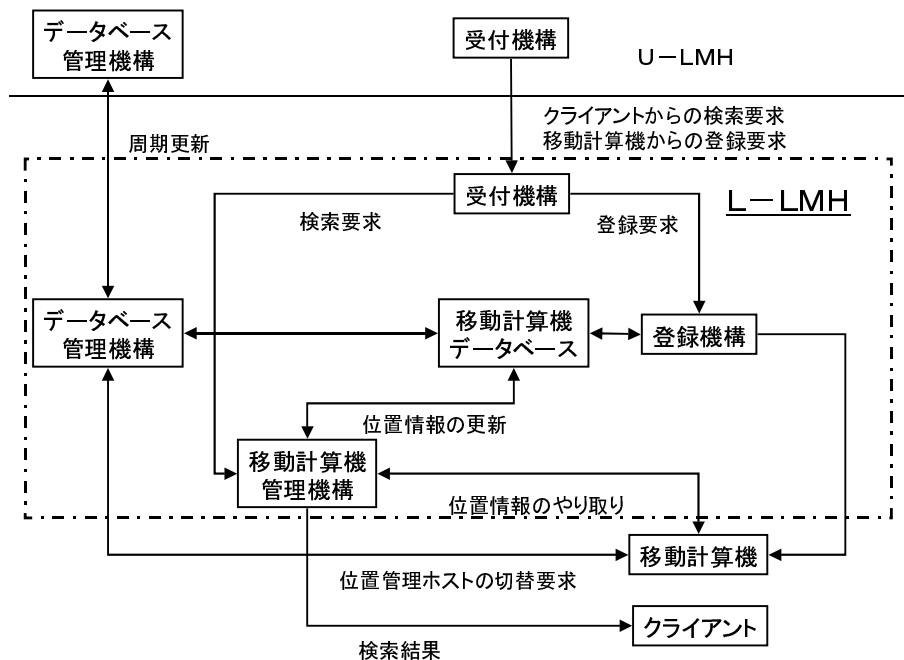


図 2.6 L-LMH 内の機構

移動計算機データベースを持つ。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 (緯度経度)、URI (Uniform Resource Identifiers) である。

- データベース管理機構

周期的に 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である。また、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信し、移動計算機情報を移動計算機データベースに登録する機構である。

- 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信し、対応する小管理エリア内

## 第 2 章 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

に登録されている移動計算機全体に現在地を要求する．移動計算機から位置情報を受信後，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答する機構である．

以下において，各機構の設計について説明する．

### 2.4.1 上位位置管理ホスト (U-LMH)

図 2.5 のように，U-LMH は，受付機構，L-LMH データベース，データベース管理機構の三機構で構成される．各機構の設計について以下に説明する．

#### 2.4.1.1 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である．入力されるデータは，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，受付機構は該当するエリアを管理する L-LMH に要求を送信する．

#### 2.4.1.2 L-LMH データベース

下位位置管理ホストである 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 つが挙げられる．

##### 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．従って，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 データベースを管理させることを想定している．そ

## 2.4. システム構成

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、データベースの登録が行われる。

### 2.4.1.3 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。具体的には、以下の機能が挙げられる。

#### 1. U-LMH 間における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に伴うデータベースの登録を行う。この同期作業は、一定の周期で行われる。その際、全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、差分のみを送信し、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が行われる。この L-LMH からの周期登録処理に伴うデータベースの登録を行う。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 の管理している移動計算機の台数がわかり、管理エリアの変換などに用いることが可能である。

#### 3. L-LMH からの位置管理ホスト切替え処理

移動計算機が移動を行い、管理される L-LMH を切替える時、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、切替え要求のあった L-LMH にその情報を送信する。

## 2.4.2 下位位置管理ホスト (L-LMH)

図 2.6 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．

### 2.4.2.1 受付機構

U-LMH から送られた要求を受け付ける機構である．入力としては，U-LMH から送信された移動計算機の登録要求とクライアントからの検索要求が存在する．移動計算機の登録要求であれば，受付機構は，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．

### 2.4.2.2 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である．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，そのデータの所在を示すインデックス情報を管理する．位置依存情報そのものは，移動計算機とクライアント間において，必要時に Peer-to-Peer で通信を行いデータをやり取りする．移動計算機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．データベースが登録される要因としては，以下の状況が挙げられる．

#### 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

## 2.4. システム構成

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する。L-LMH は、その要求を受信すると、データベース管理機構によって、その移動計算機のエントリを消去し、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時も、移動計算機データベースは登録される。

### 2.4.2.3 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、一つ目に U-LMH との通信が挙げられる。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。従って、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、L-LMH は移動計算機数の登録を U-LMH に対して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。

二つ目の機能としては、移動計算機の移動に伴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。

### 2.4.2.4 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わかることができ、位置管理ホストの切替を明確にする。

### 2.4.2.5 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である。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

第 2 章 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  
要求が送られた時である。このように、クライアントからの要求があった時に、  
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。

## 2.5 実験と評価

### 2.5.1 評価方法と実験環境

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、以下の 3 種類の位置情報登録方式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、移動計算機は L-LMH に対して、移動時登録方式とオンデマンド登録方式を併用し位置情報を登録する。

#### 周期登録方式

移動計算機と L-LMH 間において、移動計算機は L-LMH に対して、周期的に位置情報を登録する。

#### オンデマンド登録方式

移動計算機と L-LMH 間において、移動計算機は L-LMH に対して、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 2.7 に示すようにクライアントと U-LMH と L-LMH 間は有線のネットワーク (帯域 100Mbps)、L-LMH と移動計算機間は無線のネットワーク (帯域 11Mbps) で構成されるネットワーク環境で行った。今回の実験では、クライアント、移動計算機は各 1 台を用い、情報を連続して複数回、送信することにより、複数台の計算機からの情報発信を仮想的に行った。

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 2.7 の実線で囲まれた四角形のように、それぞれ異なった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 2.7



## 2.5. 実験と評価

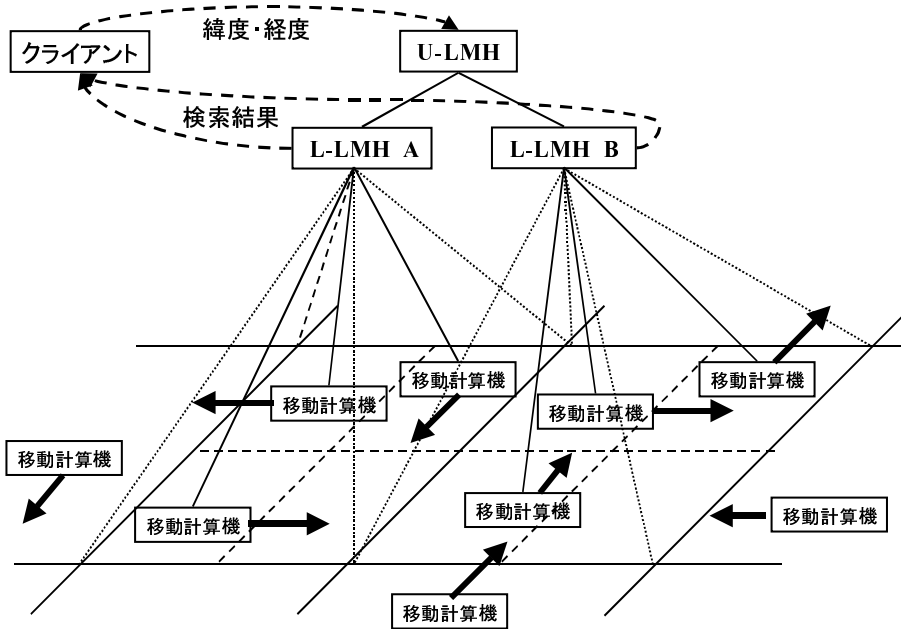


図 2.7 実験環境

の点線のように区切られ、500メートル四方の4つの小管理エリアに分割されている。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、この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 に残りの半分の登録する。そして、移動計算機は各管理エリア内のランダムな位置に初期配置される。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 内の位置情報を要求エリアとして送信する。この要求エリアには、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 $\pm 20$ メートルとした。L-LMH は、要求エリア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。

## 2.5.2 実験結果と考察

本実験では，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，平均登録パケット数，平均検索時間の計測を行った．本節では，それぞれの実験結果とその考察について述べる．

はじめに，平均登録パケット数について述べる．平均登録パケット数は，「シミュレーション時間中に位置情報登録のために一台の計算機が送信したパケット数の平均」である．要求回数が 10，100 の場合における結果を，それぞれ図 2.8，図 2.9 に示す．

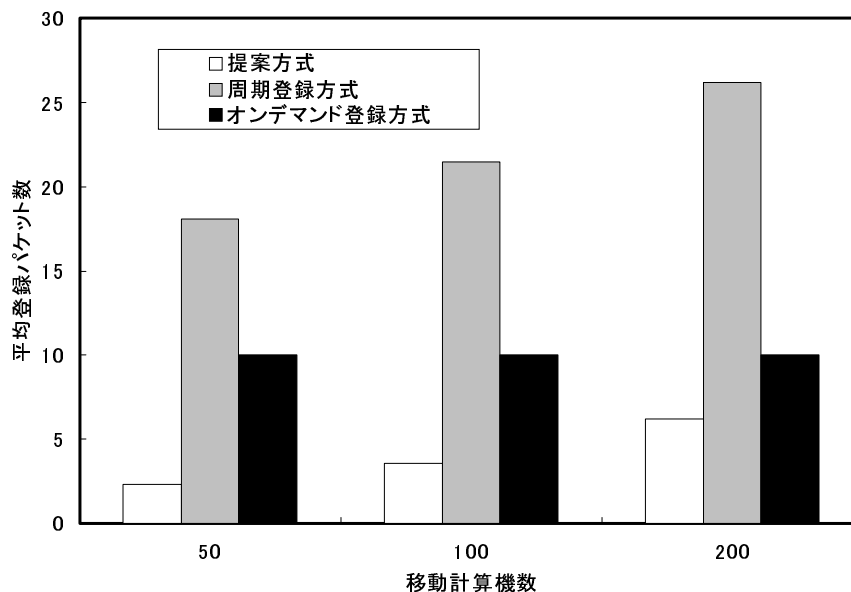


図 2.8 平均登録パケット数 (要求回数 10 の場合)

また，クライアントが U-LMH へ要求を送信してから，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 2.10，図 2.11 に示す．各図では，移動計算機数が 50，100，200

## 2.5. 実験と評価

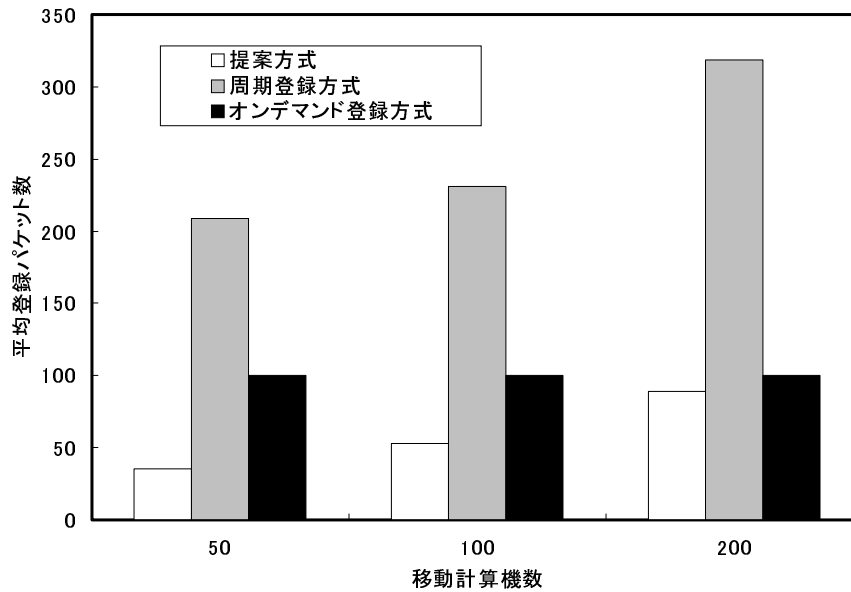


図 2.9 平均登録パケット数 (要求回数 100 の場合)

の場合の結果を示す。

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 2.8、図 2.9 より、提案方式は、周期登録方式に比べおよそ 80% 減少し、オンデマンド方式と比べて、およそ 70% 減少している。これらの結果より、提案方式における登録パケット数の有効性を確認できる。提案方式では、移動時登録による小管理エリアでオンデマンド登録の対象となる移動計算機数を限定したため、他の二方式と比べ格段に減少した。

また、検索時間をみると、図 2.10、図 2.11 から、提案方式は、周期登録方式に比べ、およそ 10% 増加し、オンデマンド登録方式に比べおよそ 20% 減少している。周期登録方式では、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、提案方式も移動時登録方式を併用しているため、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ることがわかった。

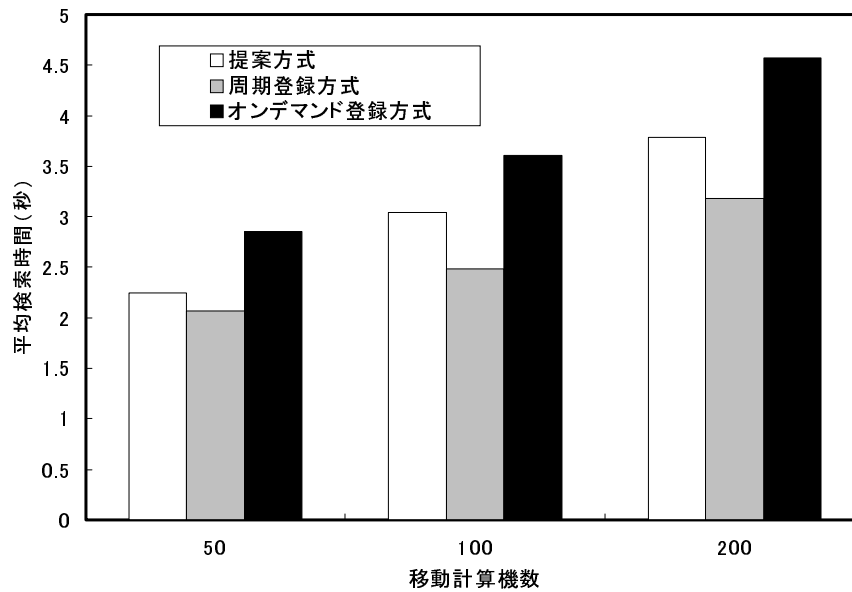


図 2.10 平均検索時間 (要求回数 10 の場合)

## 2.6 関連研究

### GLI システム [5]

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<sup>1</sup> 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、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。

<sup>1</sup> InternetCAR Project : <http://www.sfc.wide.ad.jp/InternetCAR/>

## 2.6. 関連研究

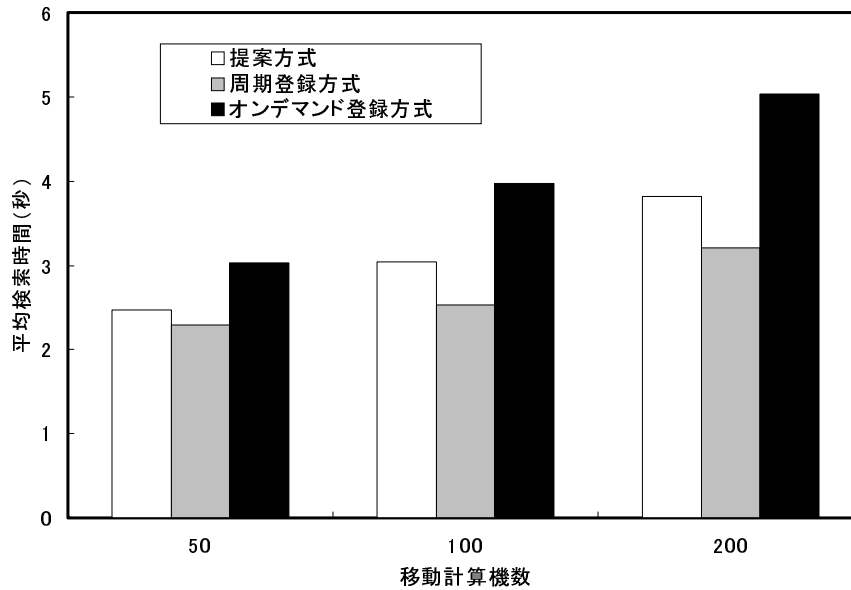


図 2.11 平均検索時間 (要求回数 100 の場合)

GPS に基づくアドレス割り当てとルーティング (GPS-Based Addressing and Routing) [7]

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言及されている .

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. 地理的なルーティング方法 (Geographic Routing Method)
2. 地理的なマルチキャストルーティング方法 (Geographic-multicast Routing Method)

### 3. DNS の解決方法 (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こと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言及されていないが,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.

## 2.7 むすび

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,移動計算機に提供する.提案登録方式では,クライアントが要求する時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,最小限の位置登録パケットで,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のプロトタイプを実装し,実験を行った.実験結果より,提案システムは周期登録方式,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わかり,有効性を示した.

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が挙げられる.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の構築を目指す.さらに現在の

## 2.7. むすび

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必要がある。





## 第 3 章

# 複数のアドホックネットワークを結合した環境における通信制御システム

### 3.1 はじめに

無線ネットワークデバイスを利用するノート型計算機が一般的になり、無線ネットワーク環境はオフィスから家庭内まで幅広く利用されるようになってきている。また、空港や街中のホテルやレストランなどでも無線基地局が設置され、個人ベースではなく、ビジネス的にも無線ネットワークの利用が展開されようとしている。このように、IEEE802.11 を代表とする無線ネットワークデバイスは、屋内だけでなく、外出先において外部のネットワークと接続する重要な情報通信技術として注目を浴びている。

また、無線ネットワークデバイスを用いたモバイルコンピューティングの新しい通信形態として、アドホックネットワークが着目されている。特に、アドホックネットワークのルーティングに関しては様々な角度から多くの研究がなされている [9][10][11]。しかし、実社会におけるアドホックネットワークとしては、一般的に普及していないのが実状であると思われる。この原因としては様々な要因が考えられるが、具体的なキラーアプリケーションが少ないことや、実際に適用する範囲が少ない点などが挙げられる。このため、アドホックネットワークの利用形態を拡張し、バックボーンネットワークとの運用を図る研究もなされている

[12][13][14] .

本章では、複数のアドホックネットワークグループをバックボーンネットワークで結合したシステムモデルを想定し、そのモデル上で効率的にグループを構成/管理する技術を提案する。具体的には、アドホックネットワークグループ内のバックボーンネットワークとの境目に存在する端末を中心としたグループ内のルーティングアルゴリズムの提案を行う。提案システムを用いることにより、複数のアドホックネットワークが結合され、多数の端末が参加した大規模なネットワークを構築することが可能になり、新たな応用例の発見が期待できる。

## 3.2 複数のアドホックネットワークを有線で結合したシステムモデル

### 3.2.1 概要

提案システムでは、あるアドホックネットワークグループ(本論文では、このグループのことをクラスタと呼ぶ)内の端末が、クラスタ内の外部ネットワークと接続されている端末(本論文では、ゲートウェイと呼ぶ)を経由し、所属するクラスタ内の端末だけでなく、外部ネットワークの端末と接続することを目的としている。このようなシステムを想定すると、クラスタ内の各端末はゲートウェイまでのルートを確立する必要があり、このルートを使用することによって、外部のネットワークとの通信が可能になる。

本研究では、このようなクラスタが各所に存在する環境において、これらのクラスタをバックボーンネットワークで接続し、クラスタ内及びクラスタ間の接続性を確保する大規模なアドホックネットワークを構成するシステムを仮定している。提案システムにおいて、各端末は、同一クラスタ内の端末とアドホックネットワークを利用し通信することができ、また異なるクラスタに属する端末ともゲートウェイを介して通信することができる。このモデルを用いることで以下の利点を有する。

- 図 3.1 左図は、既存の無線 LAN システムとアドホックネットワークが存在

### 3.2. 複数のアドホックネットワークを有線で結合したシステムモデル

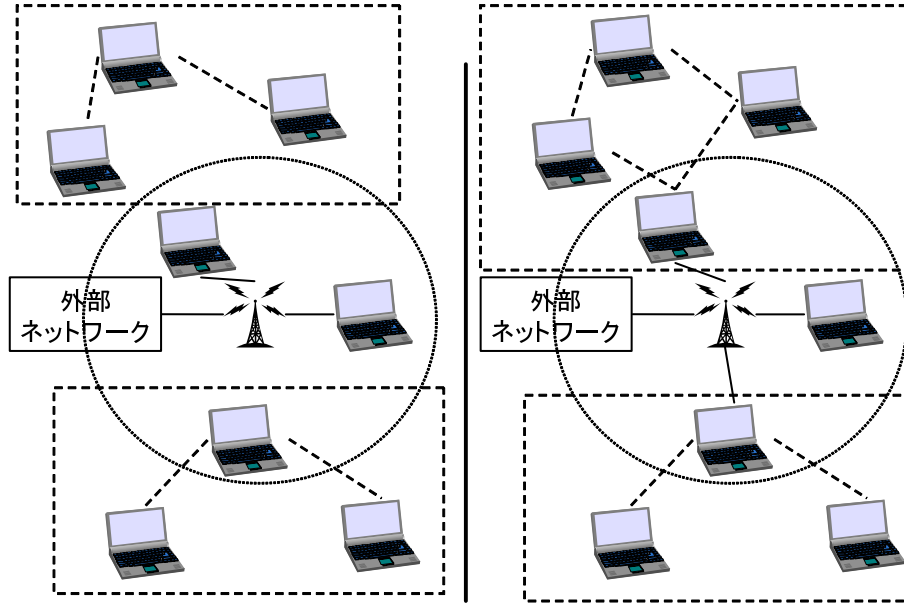


図 3.1 提案システムの特徴

している環境を示す．この環境では，無線 LAN システム，アドホックネットワークそれぞれ独立した存在であり，その境界を越えて通信することはできない．図 3.1 右図は，提案システムの様子を示す．提案システムのように，アドホックネットワークと無線 LAN システムの境界をなくすことによって，電波到達エリア外に存在する端末に対しても，外部ネットワークへの接続性を提供することが可能になる．

- 外部ネットワークに接続しているゲートウェイを介して，他のクラスタに属する端末と通信が可能になるので，クラスタを増やすことにより，大規模なアドホックネットワークに拡張することが可能である．

具体的には，図 3.1 右図において，既存のアドホックネットワークでは，上下に存在する点線で囲まれたクラスタ内でしか通信できない．しかし，提案システムでは，ゲートウェイを利用することにより，他のクラスタに属する端末とも通信が可能になり，システム全体を一つのアドホックネットワークとして，とらえることが可能である．

### 第 3 章 複数のアドホックネットワークを結合した環境における通信制御システム

このシステムモデルを用いることで、オフィス内の数箇所に基地局を配置し、接続性を高めた携帯アドホックインターネット電話や、屋外のホットスポットなどの無線 LAN の基地局を利用して、ホットスポットの電波到達範囲外の端末に対する外部ネットワークとの接続性の提供などが可能である。

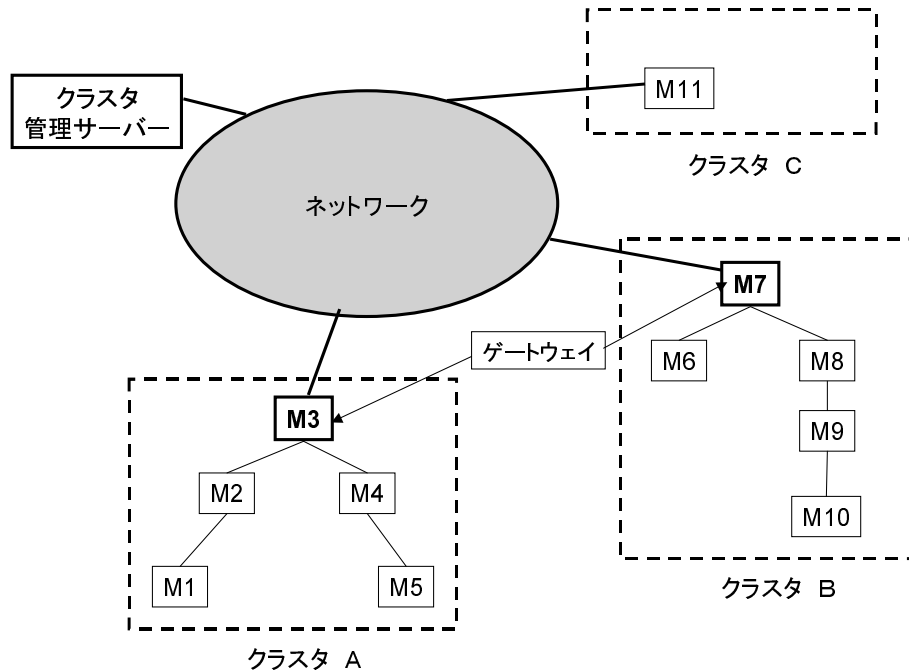


図 3.2 システムモデル

提案システムの全体図を図 3.2 に示す。クラスタ A は、M1 から M5 までの端末がアドホックネットワークを構成しており、M3 がこのクラスタにおけるゲートウェイとなり、外部ネットワークと接続されている。同様にクラスタ B では、M7 がゲートウェイになっており、M6 から M10 の端末によってアドホックネットワークが構成されている。また、各クラスタ内の端末情報を管理するクラスタ管理サーバを固定ネットワーク上に設置する。クラスタ内では、アドホックな通信が可能であり、クラスタ間においても外部ネットワークと接続されているゲートウェイを介し、クラスタ管理サーバを用い、通信を行うことが可能である。

### 3.3. 提案通信制御システム

#### 3.2.2 問題点

提案システムでは，端末がクラスタ内で通信する場合，既存のアドホックネットワークのルーティング手法を利用することができる．しかし，お互いが異なるクラスタに属する端末間での通信を実現するためには，追加機能が必要となる．この場合，各端末は所属するクラスタ内のゲートウェイを利用する必要があるので，ゲートウェイまでのルート情報を，端末は保持しなければならない．従って，提案システムにおいて，端末がどのようにしてゲートウェイまでのルート情報を管理するかを考える必要がある．

また，クラスタ間の通信を考えると，例えば，図 3.2 において，端末 M1 が端末 M10 と通信を行う場合を考えると，M1 からゲートウェイ M3 に通信要求が送信され，その後，この通信要求を M10 が属するクラスタのゲートウェイ M7 に送信される必要がある．しかし，ゲートウェイは，各端末がどのクラスタに属しているかという情報を持っていない．従って，ゲートウェイに，目的端末がどのクラスタに属するかを通知する機構が必要である．

一つ目の問題点の解決方法であるが，各クラスタ内においてゲートウェイを根とする木構造をなすルートを構成することで解決する．また，二つ目の問題点を解決するために，インターネットにおけるルータの役割を果たすクラスタ管理サーバを用いる．以下の節において，それぞれの機構を具体的に説明する．

### 3.3 提案通信制御システム

#### 3.3.1 システム概要

提案する通信制御システムは，第 3.2 章で述べたモデル上で，ルーティングに必要なクラスタ構成情報などを効率的に扱う技術を提供する．提案システムでは，クラスタ構成管理のため，定期的にクラスタ内の端末間で管理情報の交換を行う必要がある．この交換する管理情報には，ゲートウェイ端末，同一クラスタ内に属する端末が含まれる．

この場合，各端末が無作為に管理情報のブロードキャストを行い続けると，無

第3章 複数のアドホックネットワークを結合した環境における通信制御システム  
駄なパケットの送信が増大しフラッディング状態になり、無線環境では問題となる。提案システムでは、クラスタ外と通信を行うために、ゲートウェイまでのルート情報が必要となるので、各端末の接続関係は、図3.3に示すようにゲートウェイを根とする木構造を構成するものとする。このような接続関係を端末間に持たせると、近接する端末間の接続関係を端末自身が保持できるので、端末から送信されるパケットの伝播範囲を制限でき、パケットの増大を防ぐことができる。

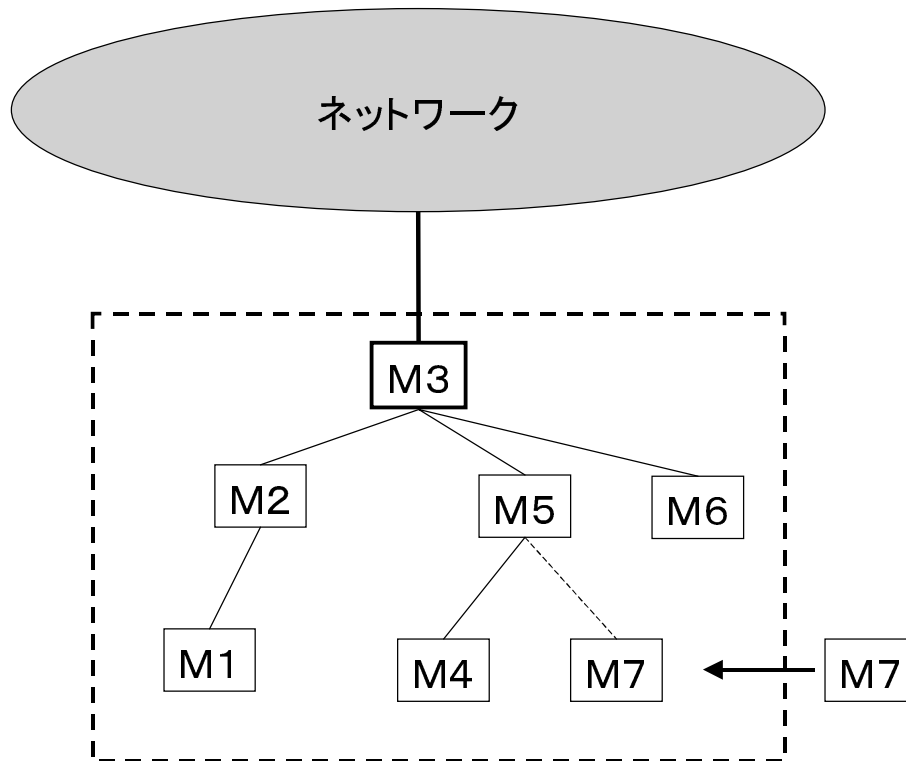


図 3.3 クラスタ内の管理構造

システム内の端末の構成と、それぞれの端末が管理する情報は、以下のとおりである。

- ゲートウェイ

各クラスタ内のゲートウェイは、クラスタに属する全端末の情報を管理する。具体的には端末の識別情報として、無線ネットワークデバイスのMAC

### 3.3. 提案通信制御システム

アドレスと識別番号 (ノード ID) の組である。この情報を定期的にゲートウェイから、管理情報として送信する。クラスタ内では、各端末は木構造を構成するので、直下に存在する子端末の情報、およびこれらの子端末が構成する木構造の状態を管理し、接続関係を保持する。

- 端末

ゲートウェイ以外の端末もゲートウェイと同様に、クラスタ内の全端末情報、および、直下に存在する子端末が構成する木構造の状態を管理する。また、ゲートウェイ以外の端末は、木構造を成す際、親にあたる端末が存在するので、自身の親となる端末の情報を管理する。親端末情報を利用することにより、各端末は他のクラスタに属する端末と通信を行う際、パケットを親端末に送信することができる。その際、各端末の親端末が順番に中継を行うことによって、ゲートウェイへ到達し、他のクラスタを管理するゲートウェイへ送信される。

- クラスタ管理サーバ

外部ネットワーク上に存在する計算機で、各クラスタに属する端末の情報を一括して管理する。クラスタ管理サーバの情報を用いて、端末は、異なるクラスタに属する端末と通信することが可能になる。管理する情報は、ゲートウェイを識別するための IP アドレス、ゲートウェイが管理する全端末の識別番号である。

現在の提案システムでは、クラスタ管理サーバというクラスタ外に存在する計算機を想定している。しかし、ゲートウェイを無線 LAN の基地局と考え、基地局間で端末情報を Peer-to-Peer でやり取りできるようになれば、このような計算機は不要になり、よりアドホックな通信システムを構築できると考えている。

#### 3.3.2 端末間の通信方法

クラスタ構成後における、端末間の具体的な通信の流れについて説明する。端末間の通信は、クラスタ内の端末との通信、クラスタ外の端末との通信の二つに

### 第3章 複数のアドホックネットワークを結合した環境における通信制御システム

分けられる．同一クラスタに属する端末は，共有している端末の管理情報を使うことで，通信相手が同一クラスタかどうかの判別を行うことができる．図3.4は，クラスタ内及びクラスタ外の端末との通信について示したものである．

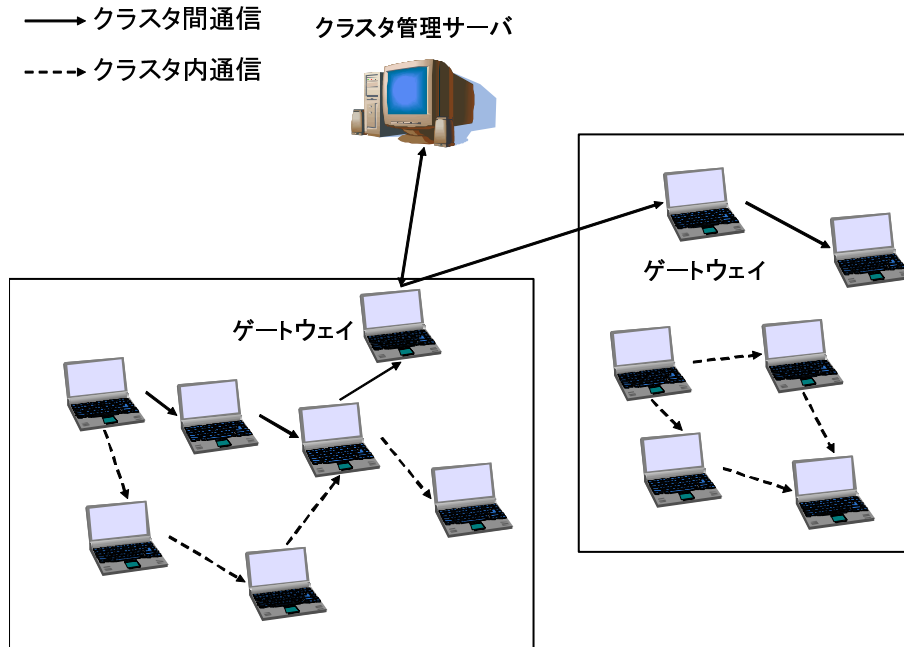


図 3.4 端末間の通信方法

それぞれの通信方法は，以下のようになる．

#### クラスタ内の通信

保有しているクラスタ内の全端末情報より，端末は，通信相手が同一クラスタ内に存在することを把握する．クラスタ内の木構造の関係より，親端末に要求を送信し各親端末が子端末が通信相手であるか検索し中継を行う方法も考えられる．しかし，近隣に存在しているにも関わらず，迂回してしまう場合が考えられる．従って，通信端末は，AODV(Ad-hoc On-demand Distance Vector) ルーティングプロトコルなどの既存のアドホックネットワークのルーティングプロトコルを用いて通信を行う．



### 3.3. 提案通信制御システム

#### クラスタ間の通信

通信相手が異なるクラスタに存在する場合、通信端末は、各端末の接続関係が木構造であることを利用し、親端末が中継を行うことにより、ゲートウェイへ通信要求が送信される。その後、ゲートウェイは通信相手が存在するクラスタのゲートウェイに転送し、通信相手の端末に到達することになる。このとき、ゲートウェイはクラスタ管理サーバと通信を行い、相手端末が属するクラスタの情報を取得する。

このように本システムでは、各端末は、通常のアドホックネットワークにおける通信と同等の操作で、クラスタ内及びクラスタ間の通信を実現している。

#### 3.3.3 クラスタの構成方法

本節では、クラスタの構成方法の詳細について述べる。クラスタ内では、「管理パケット」、「参加要求パケット」の2種類のパケットを利用することにより、端末は木構造の関係を構成する。それぞれのパケットの役割を以下に示す。

##### 管理パケット

所属しているクラスタ内の全所属端末情報とゲートウェイの情報が格納されているパケットである。定期的に各端末がブロードキャストを行い、端末間の接続状態の確認を行う。各端末は、それぞれの親端末から管理パケットを受信すると、全所属端末情報を更新するし、近隣の端末を含む、子端末に対して、ブロードキャストを行う。

##### 参加要求パケット

端末が、クラスタに登録を行う際に送信するパケットである。参加要求を行う端末情報が含まれ、管理パケットを受信し、取得したゲートウェイの情報を利用し、ゲートウェイに対して送信される。中継を行う端末は、ゲートウェイによる参加要求パケットに対する返答パケットを中継する際、子端末の情報を更新する。

### 第 3 章 複数のアドホックネットワークを結合した環境における通信制御システム

各クラスタにおいて、このような管理パケット、参加要求パケットを送受信することによって、端末がクラスタに参加し、木構造を構成していく。また、逆に移動するなどの要因で、クラスタから離脱する場合も考えられる。このような状況の流れについて、以下に示す。

#### (1) クラスタの構成手順

クラスタ内では、各端末は図 3.3 のように、ゲートウェイを根とした木構造を用いて管理されている。この木構造を構成する仕組みを図 3.3 において、端末 M7 がクラスタに参加する手順を例に説明する。

1. 端末 M1 から M6 は、このクラスタに属しており、所属している全端末の情報、端末の親子関係を保持しており、図 3.3 のような木構造を構成している。このとき、各端末は定期的に管理パケットをブロードキャストし木構造の親子関係を維持している。
2. 端末 M7 が移動を行い、端末 M5 の電波到達範囲に入る。そして、端末 M7 は、端末 M5 からの管理パケットを受信しクラスタの存在を取得する。
3. 端末 M7 はクラスタに参加するため、受信した管理パケットの送信元端末である M5 に対して参加要求パケットを送信する。
4. 端末 M5 は参加要求パケットを受信し、親端末であるゲートウェイ M3 へ参加要求パケットの中継を行う。
5. ゲートウェイである端末 M3 は、端末 M5 からの参加要求パケットを受信すると端末 M7 の登録を行い、端末 M7 への返答パケットの返信を行う。返答パケットには、先ほどの参加要求パケットの中継した端末情報、クラスタ内の全端末情報が含まれている。
6. 端末 M5 は、返答パケットの中継し、新規端末 M7 に対して送信する。このとき、端末 M5 は自分の子端末として、端末 M7 を登録する。端末 M2、M6

### 3.3. 提案通信制御システム

も M3 からの返答パケットを受信するが、返答パケット内の中継端末情報より、中継を行わないが、クラスタ内の全端末情報を更新する。

7. 端末 M7 は、端末 M5 によって中継された返答パケットを受信し、親端末、ゲートウェイ端末の情報に加え、クラスタ内の全端末情報を取得する。
8. 端末 M1 や端末 M4 は、端末 M2、端末 M5 から定期的を送られる管理パケットより、端末 M7 が同じクラスタに属すること把握する。

#### (2) クラスタの再構成

親端末の電波到達範囲外への移動、端末自身の電池電源の消耗に伴う計算機の停止などの要因により、クラスタ内のネットワークトポロジーが変化することが考えられる。DSDV(Destination Sequenced Distance Vector) ルーティングプロトコル [15] のような Proactive 型のルーティングプロトコルでは、ネットワークトポロジーが変化すると、全端末のルート情報を再構成する必要がある。提案システムでは、各端末間において親子関係を持たせているので、変化のあった端末部分のみルート情報を変更すればよい。提案システムにおけるトポロジー変化が生じた場合における、クラスタ再構成の仕組みを述べる。

各端末は定期的に管理パケットをブロードキャストすることを先に述べた。この管理パケットを用い、各端末は、それぞれ親端末と接続の確認を実行する。図 3.3 において、端末 M5 に注目すると、M5 は定期的に管理パケットを送信しており、新規端末 M7 が受信した時の振る舞いを前節にて述べた。この管理パケットはブロードキャストされているので、M5 の子端末にあたる M4 も管理パケットを受信する。端末 M4 は受信すると、自分の親端末である M5 からの管理パケットと判断し、M5 に対して返答パケットを送信する。このような動作を各端末間で行うことによって、何らかの要因でルートが分断されたことを各端末は判別する。図 3.5 において端末 M5 の移動によるクラスタの再構成について説明する。

1. 図 3.5 のようなクラスタを考え、端末 M5 が移動などの要因によって、クラスタから外れる場合を考える。この場合、直接影響を受けるのは M5 の子端末にあたる M4、M7 になる。

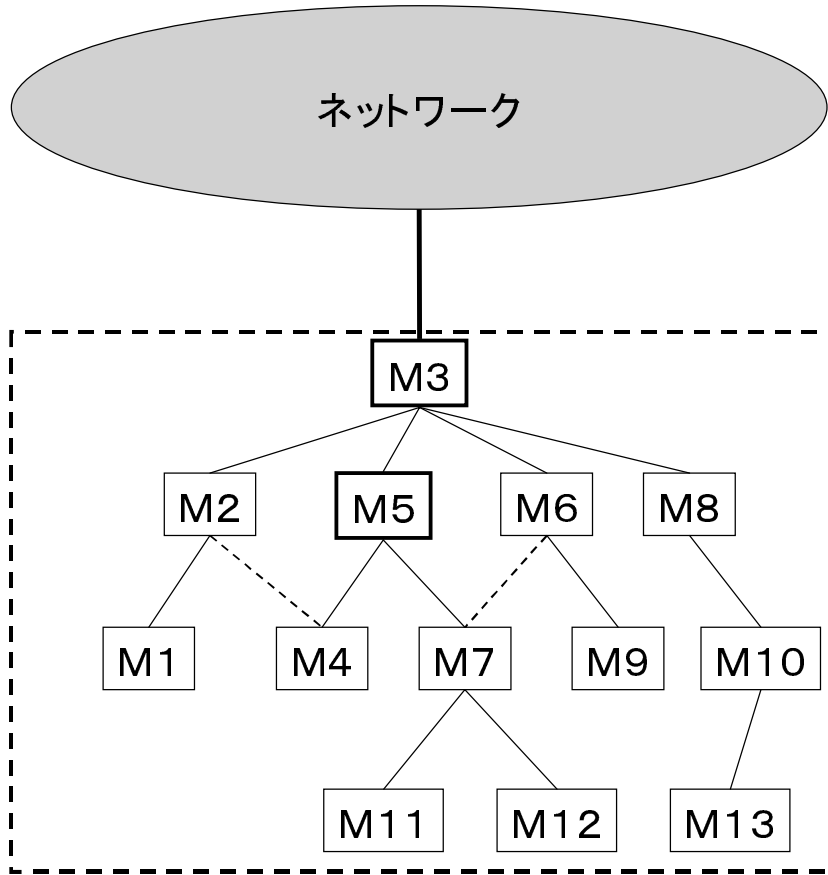


図 3.5 クラスタの再構成

2. ゲートウェイである M3 は管理パケットを送信した後，子端末にあたる端末 M5 から返答パケットが返ってこないことを判別し，M5 の登録情報と共に M5 の子端末情報を削除する．
3. 端末 M4，M7 はそれぞれの親端末である M5 から定期的に送られてくる管理パケットが到着しないことを判別し，親端末 M5 がクラスタから離脱し，ゲートウェイへのルートが分断したことを把握する．
4. 端末 M4，M7 は移動して，それぞれ端末 M2，M6 の電波到達エリアに入る場合を考える．M4，M7 は管理パケットを受信し，その後，M4，M7 は参

### 3.3. 提案通信制御システム

加要求パケットを送信し、再度、登録を行う。

5. M7の子端末にあたるM11, M12は, M7から管理パケットを受け取り, 新しい全所属端末の情報を取得する。管理パケットの送信間隔に依存するが再登録までの間隔が短い場合, M11, M12は, クラスタから離脱したことを感知しない。
6. この場合と異なりM7が新しい親端末と接続できなかった場合, 子端末M11, M12は, 先程の端末M4, M7の場合と同様にクラスタから離脱することになる。

定期的には送信される管理パケットを用い, ルートの状態を各端末間において管理する。管理パケットは, ゲートウェイ端末から送られ, 各端末が返答パケットとして子端末の情報を返すことにより, 全登録端末の情報が更新され, クラスタが再構成される。

#### 3.3.4 クラスタ管理サーバにおけるクラスタ情報の管理方式

端末がクラスタをまたがって通信をすることを実現するために, 端末はゲートウェイへの経路を管理し, ゲートウェイは所属端末情報を管理する。各ゲートウェイにおいて, 分散的に全ての端末情報を管理する方法も考えられるが, クラスタ数が膨大な数になると, ネットワーク間での遅延などにより, システムの応答が悪くなると想定される。

従って, 提案システムには, 各ゲートウェイが管理している端末情報を一括して管理するクラスタ管理サーバを用いる。クラスタ管理サーバでは, クラスタを管理するゲートウェイに対して, 他のクラスタ内に所属する端末情報を提供する役割を果たす。

ここで, 各クラスタ内のゲートウェイによる端末情報の更新のタイミングが問題になる。周期的に更新を行うと, 各ゲートウェイへの負荷が高まると考えられる。そこで, 本システムでは, クラスタ内の端末情報が変化した場合, すなわち, 新規端末が追加された場合, もしくは, クラスタの再構成があった時にのみ, ゲートウェイからクラスタ管理サーバに対して, 更新情報を送信する。

## 3.4 シミュレーション

提案システムでは、クラスタ内においてゲートウェイを根とした木構造で端末間の接続関係を管理している。この管理方法のルーティングに要した通信量を調べるために、シミュレーションを行い、提案手法の評価を行う。

### 3.4.1 ns-2 について

今回、シミュレータとして ns-2(Network Simulator)ver2.26<sup>1</sup> を Linux 上にて使用した。ns-2 は、カリフォルニア大学バークレイ校で開発されたネットワークシミュレータであり、多くのルーティングが実装されており、数多くの研究論文が発表されている [16]。

ns-2 自体は C++ で記述されており、シミュレーションスクリプトは OTcl を利用し記述する。シミュレーションに用いる各プロトコルは C++ で記述されており、新しいプロトコルの作成も可能である。また、ns-2 によって出力されたデータを可視化し、端末、パケットの振る舞いをアニメーション表示する NAM(Network Animator) を利用することによって、視覚的に動作を確認することが可能である。

### 3.4.2 シミュレーション結果

図 3.6 のように端末を木構造の状態に配置し、各端末は移動を行わないものとする。AODV プロトコルを利用し、端末間の経路の構築を行うシステムを比較対象として用いた。提案システムでは、木構造で管理するための管理パケットを、シミュレーションでは 1 秒間隔でゲートウェイから定期的に送信を行った。また、提案システム、AODV を用いたシステム共に、0.25 秒間隔でゲートウェイ端末からランダムに選択された目的端末に対して、500 バイトの cbr(Constant Bit Rate) パケットの送信を行った。シミュレーション時間は 10 秒である。

この条件の下で、それぞれのシステムにおける経路管理に使用された総通信量を測定した。この総通信量には、両方式に共通の cbr パケット、RTS(Request to

---

<sup>1</sup> Network Simulator - NS : <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>

### 3.4. シミュレーション

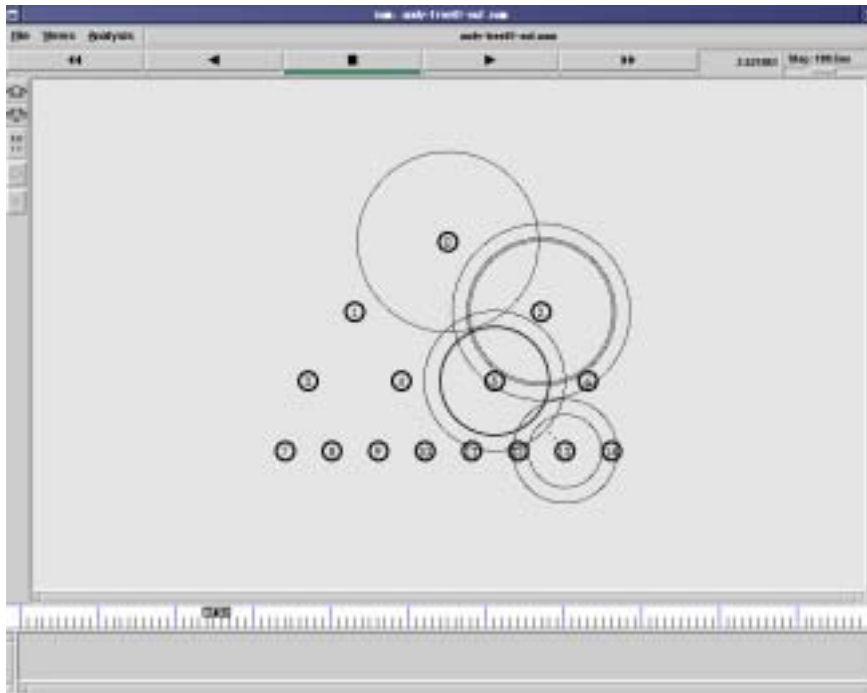


図 3.6 シミュレーション図

Send) パケット, CTS(Clear to Send) パケットは含まれていない. シミュレーション結果を表 3.1 に示す. 表 3.1 において, それぞれの総通信量の単位はバイトである. 提案方式では, 定期的を送信する管理パケットがデータが送信される端末間以外の部分においても送信されるため, オンデマンドルーティングである AODV プロトコルを利用したシステムより, 総通信量が約 3 % 増加する結果となった. 今回のシミュレーション条件では, 端末数が 15 台と少ないため, このような差が少ない結果となったと考えられる. しかし, 管理パケットの送信間隔を 1 秒と

表 3.1 提案方式と AODV 方式の経路管理のための総通信量

| 提案方式  | AODV 方式 |
|-------|---------|
| 39200 | 37984   |

## 第 3 章 複数のアドホックネットワークを結合した環境における通信制御システム

いう短い周期で送信しているにも関わらず、このような少ない差の結果になった。従って、端末台数によって送信間隔を変更することにより、経路管理に必要な通信量を調整することができることがわかった。

### 3.5 関連研究

本章で提案したルーティングアルゴリズムでは、端末間に木構造の関係を持たせている。アドホックネットワークの端末を木構造で管理するルーティングプロトコルとして、TBRPF(Topology Broadcast Based on Reverse-Path Forwarding) プロトコル [17] が挙げられる。TBRPF は Proactive 型のルーティングプロトコルであり、隣接ノードリストを作成し、自身の端末から他の全ての端末へのルーティングテーブルの作成を行う。TBRPF では、各端末が根となる木構造を端末が構成することになるが、提案システムでは、ゲートウェイを根とする木構造となる。従って、提案システムでは全ての端末への経路を管理する必要がないため、TBRPF とは異なる仕組みである。

また、アドホックネットワークグループをクラスタとしてまとめ、クラスタ間での通信を提案システムでは端末に提供している。このようなクラスタ (領域) に分割し、ルーティングを行うプロトコルとして、CGSR(Clusterhead-Gateway Switch Routing) プロトコル [18] や ZRP(Zone Routing Protocol)[19] が挙げられる。これらは共に、アドホックネットワークの端末を全て対等にするのではなく、階層化することにより、ルーティングオーバーヘッドの削減を実現している。クラスタに分割する概念は、提案システムと同様であるが、有線ネットワークを用いて通信を行うという点で、提案システムは異なる。

### 3.6 むすび

本章では、アドホックネットワークグループ間で通信を行うシステムの設計に関して提案を行った。提案システムでは、複数のアドホックネットワークグループをバックボーンネットワークで接続し、適用範囲を広げることが可能になる。



### 3.6. むすび

このように、利用端末数、適用エリアが増えることにより、様々なアプリケーションが想定できる。バックボーンネットワークと接続を行うために、提案システムでは無線部分と有線部分の境界にゲートウェイを設け、ゲートウェイを根とする木構造をなすルーティングアルゴリズムの提案を行った。また、シミュレーションを行い、ルーティングに要する通信量の比較を行った。シミュレーション結果より、クラスタの参加端末数と管理パケットの送信間隔を調整することにより、少ない通信量で経路を管理できることがわかった。

今後の課題としては、クラスタ間が重なった場合における木構造の構成方法、クラスタの切り分け方法などが挙げられる。



## 第 4 章

# 無線マルチホップネットワークを利用したインターネット接続システム

### 4.1 まえがき

計算機の高性能化に加え，ネットワークのブロードバンド化や常時接続が普及し，インターネットから情報を収集することが一般的になっている．インターネットは，従来から存在するクライアント/サーバ型の情報配信システムであるが，各端末がクライアントとサーバそれぞれの役割を担うピア・ツー・ピア (Peer-to-Peer, P2P) 型のアプリケーションも一般的になりつつある [20]．

また，ネットワークのブロードバンド化に伴い，無線ネットワークシステム (IEEE802.11b/a) は社内や家庭内への普及しており，IEEE802.11g など，より通信速度の速い製品も普及しつつある．一般的に利用されている基地局を利用したシングルホップの無線ネットワーク接続だけでなく，各端末が中継を行い，自律的にネットワークを構成しネットワーク接続を行うシステムも実現されている [21]．さらに，街中で利用できるホットスポットなどの公衆無線 LAN 網が提供されてきており，屋内だけでなく，屋外においても使用できる環境が整いつつある．これらを利用することにより，いつでも，どこでも高速なネットワークサービスを利用することができるようになる．このような屋外において無線ネットワークシステ

第 4 章 無線マルチホップネットワークを利用したインターネット接続システム  
ムを利用例として、Mesh Networks 社<sup>1</sup> による ITS(Intelligent Transport Systems)  
における情報提供などが挙げられる。

このような無線ネットワークデバイスの普及に伴い、固定のネットワークシステムを利用しないワイヤレス P2P システムを利用した仕組みが数多く提案されている。中でも、代表的な研究としてアドホックネットワークが注目されている。アドホックネットワークとは、無線の特性を利用し、端末が集まり、その場その場で構成される動的なネットワークである。従って、固定のネットワークと異なり、インフラストラクチャを必要としないため、目的端末への経路を設定するためのルーティングが大きな問題となる。また、このルーティングによってスケラビリティの問題も生じる [22]。アドホックネットワークの研究では、このルーティングの技術は、IETF(Internet Engineering Task Force)<sup>2</sup> の Mobile Ad-hoc Networks Working Group<sup>3</sup> を中心に、様々な提案、研究がなされており、標準化が進められている。しかし、アドホックネットワークの仕組みのみを利用するアプリケーションは、あまり一般的には普及していないのが現状である。アドホックネットワークの技術を利用し、セルラー電話などの固定のネットワークを併用した研究もなされている [23][24][25]。

このような背景のもと、無線ネットワークの利点を生かし、有線ネットワークを用い、無線ネットワークの欠点を補うことにより、ワイヤレス P2P システムの利用範囲が広がると考えられる。また、街中に数多く存在するホットスポットを共有し、協調しあうことができれば、既存のインフラを用いワイヤレス P2P システムを利用して、日常的に利用することができる様々な応用を考えることが可能であると考えられる。

そこで、本章では、ワイヤレス P2P システムを利用した仕組みとして、アクセスポイントへのマルチホップ無線ネットワークを利用し、インターネット接続を可能にするシステムを提案する。本システムを利用することにより、アクセスポイントからの電波が届かない端末もマルチホップ無線ネットワークを形成し、各端末が中継を行うことにより、インターネットサービスを利用することが可能

---

<sup>1</sup> Mesh Networks : <http://www.meshnetworks.com/>

<sup>2</sup> IETF : <http://www.ietf.org/>

<sup>3</sup> MANET Working Group : <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>

## 4.2. 提案システム概要

になる。さらに、アクセスポイントを利用する際、複数個のアクセスポイントが検出された場合における、アクセスポイントの選択方法について提案を行い、シミュレーションによって評価を行う。

## 4.2 提案システム概要

### 4.2.1 システム構成

提案システムにおける各端末の構成を図 4.1 に示す。システム内では、無線ネットワークデバイスと無線 LAN の基地局となるアクセスポイントのみで構成され、システム固有の機器は不必要である。

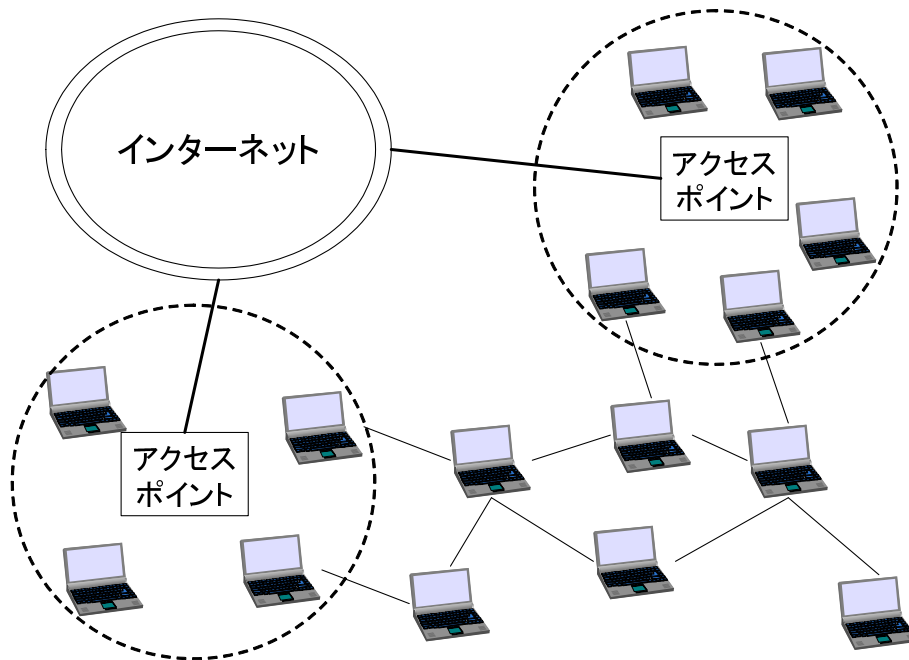


図 4.1 提案システム概要

図 4.1 のようにアクセスポイントの電波到達エリア内 (図 4.1 中の破線の円で囲まれた内部) に存在する移動端末は、アクセスポイントと直接、接続を行いイン

第 4 章 無線マルチホップネットワークを利用したインターネット接続システム  
ターネットに接続することが可能である。さらに、提案システムでは、アクセス  
ポイントの電波到達エリア外に存在する端末も、各端末が中継を行いマルチホッ  
プでアクセスポイントのエリア内に存在する端末と接続し、インターネット接続  
性を取得する。

一般的な無線 LAN システムとは異なり、提案システムでは、アクセスポイン  
ト近辺においてマルチホップ無線ネットワークを構成する。このため、各端末は  
中継機能を持っており、他の端末が送信したリクエストを中継し、端末間でアド  
ホックネットワークを構成する。提案システムにおけるデータのやり取りを、以  
下に示す。

1. 送信元端末は、近隣に存在するアクセスポイントを探索し、検出する。
2. アクセスポイントの選択を行い、検出時に取得した中継端末情報を用い、ア  
クセスポイントに対してリクエストを送信する。
3. 中継端末は、送信元端末から送信されたリクエストの中継を行う。
4. アクセスポイントにリクエストが到達すると、アクセスポイントはリクエ  
ストをインターネットに対して送信する。
5. アクセスポイントにデータが届けられ、再び中継端末を経由し、送信元端  
末にデータが届けられる。

アクセスポイントの検出、選択の流れの詳細については、それぞれ 4.4 節、4.5  
節において述べる。

#### 4.2.2 応用例

無線ネットワークデバイスを用い、このように他の端末によってパケットが中  
継されるためセキュリティの問題が考えられる。しかし、これにより、一時的に  
アクセスポイントを利用することができるエリアを拡大することができ、有効に  
アクセスポイントを利用することが可能になる。さらに、人口の密集地域などで

#### 4.3. マルチホップ無線ネットワークの構成

は中継端末数が増加すると考えられるので、アクセスポイントの設置数を削減することも期待される。

提案システムでは、屋内/屋外においてアクセスポイントを利用しインターネット接続が可能であるので、応用例として、ワイヤレスIP電話などが考えられる。既に設置されているアクセスポイントを利用することができれば、新たに基地局や中継局を設置する必要がないので、低コストで携帯可能な電話システムを利用することができる。また、移動端末の特性として挙げられるモビリティの特性を考え、位置情報と連携することにより、歩行者/移動体のナビゲーションに利用可能であると考えられる [26]。

### 4.3 マルチホップ無線ネットワークの構成

提案システムでは、各端末間においてマルチホップ無線ネットワークを構成し、データの送受信を行う。端末は、初期状態ではアクセスポイントの情報や近隣に存在する端末の情報を持っていない。このような端末が、近隣の端末と通信を行う場合は、アドホックネットワークのルーティングプロトコルを利用し、目的端末への経路情報を取得することができる。しかし、インターネット上のデータを要求するためには、アクセスポイントの情報を取得する必要がある。

そこで、データの送受信する前にアクセスポイントまでの経路を調べる「アクセスポイント探索フェーズ」、アクセスポイントの情報を取得後、通信を行うアクセスポイントを決定する「アクセスポイント選択フェーズ」、そして、データを実際に送受信する「通信フェーズ」のこれら3つに分けてデータのやり取りを行う。本節では、これら3つのフェーズについて、それぞれの処理の概要を述べる。

#### 4.3.1 アクセスポイント探索フェーズ

インターネット上の端末とデータのやり取りを行う端末は、まず近隣に存在するアクセスポイントの所在を把握しなければならない。端末は周囲に存在する端末の情報を持っていないので、初めに探索パケットのプロードキャストを行う。

#### 第 4 章 無線マルチホップネットワークを利用したインターネット接続システム

この探索パケットには宛先として、アクセスポイントを指定するべきであるが、端末はアクセスポイントの IP アドレスに関する情報を持っていない。そこで、まず端末は近隣の端末よりアクセスポイントの情報を取得する。アクセスポイントの情報を持つ端末は、インターネット上の端末と通信を行う際の経路としてアクセスポイントを登録している。その流れを図 4.2 と共に以下に示す。

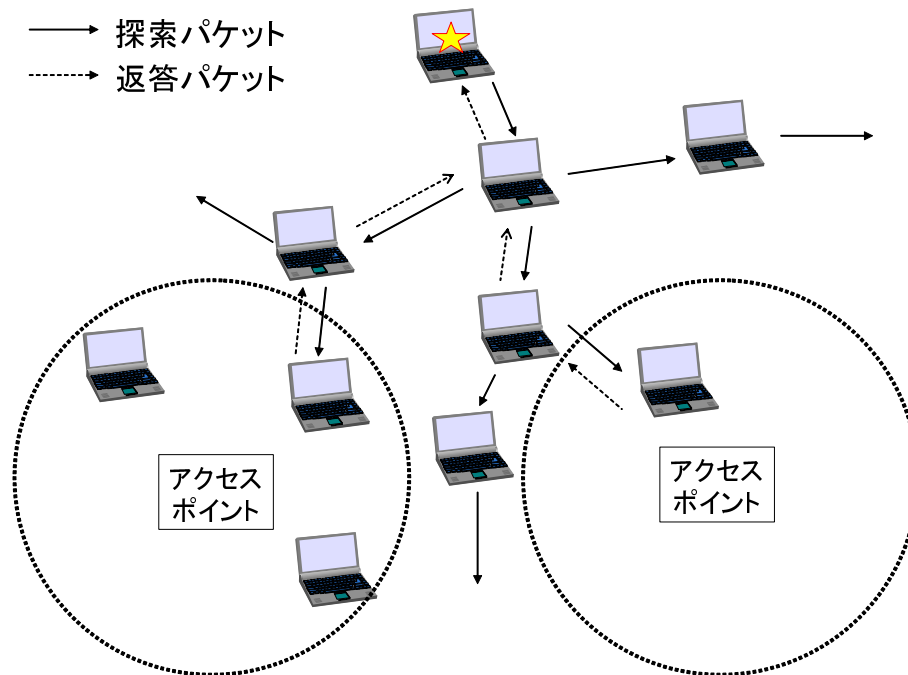


図 4.2 アクセスポイント探索フェーズ

1. 送信元端末は、ホップ数を指定し、近隣の端末に対して探索パケットをブロードキャストする。
2. 探索パケットを受信した端末は、アクセスポイントへの経路情報を持っていれば、送信元端末に対して返答パケットを送信する。持っていない場合、ヘッダに記載されているホップ数以下であれば、再度ブロードキャストを行う。
3. 上記、2.の動作がホップ数の上限まで繰り返される。



### 4.3. マルチホップ無線ネットワークの構成

探索パケットには、送信元端末を起点とした中継端末情報が追加されていき、この情報をもとに返答パケットが送信される。また、返答パケットには返答パケットを送信する端末が持っているアクセスポイントへの経路情報が含まれる。

このようにして、端末は近隣の端末からアクセスポイントの情報を取得する。送信元端末は、探索パケットを中継した端末情報に加え、返答パケットのアクセスポイントへの経路情報を用い、アクセスポイントへの経路情報を得る。また、規定のホップ数内に存在する端末がアクセスポイントの情報を持っていない場合、送信元端末は、一定の待ち時間の後、再度、探索パケットの送信を行う。

#### 4.3.2 アクセスポイント選択フェーズ

アクセスポイント探索フェーズでは、送信元端末は近隣に存在するアクセスポイントへの経路情報を取得し、要求を送信することが可能になる。しかし、図 4.2 のように複数のアクセスポイントが近隣に存在する場合は想定される。このような場合、複数のアクセスポイントを併用し、データの送受信を行う仕組みも考えられるが、複数のアクセスポイントを利用すると中継端末が増加する。従って、経路を維持するための不用なパケット量が多くなると考えられる。さらに複数のアクセスポイントを併用すると、一つの無線ネットワークデバイスに対して複数の IP アドレスが割り当てられ、ネットワークのコネクションを保持することができなくなる。そこで本システムでは、各端末は一つのアクセスポイントを選択し、通信を行う。アクセスポイントを選択する際の選択基準、また選択処理については、第 4.5 節にて述べる。

#### 4.3.3 通信フェーズ

今までの処理において、通信を行うアクセスポイントの情報を取得し、そのアクセスポイントまでの中継端末のリストである経路情報を、送信元端末は取得している。この通信フェーズでは、端末は実際にアクセスポイントへリクエストを送信し、インターネットからデータの取得を行う。その流れを図 4.3 と共に以下に示す。

## 第 4 章 無線マルチホップネットワークを利用したインターネット接続システム

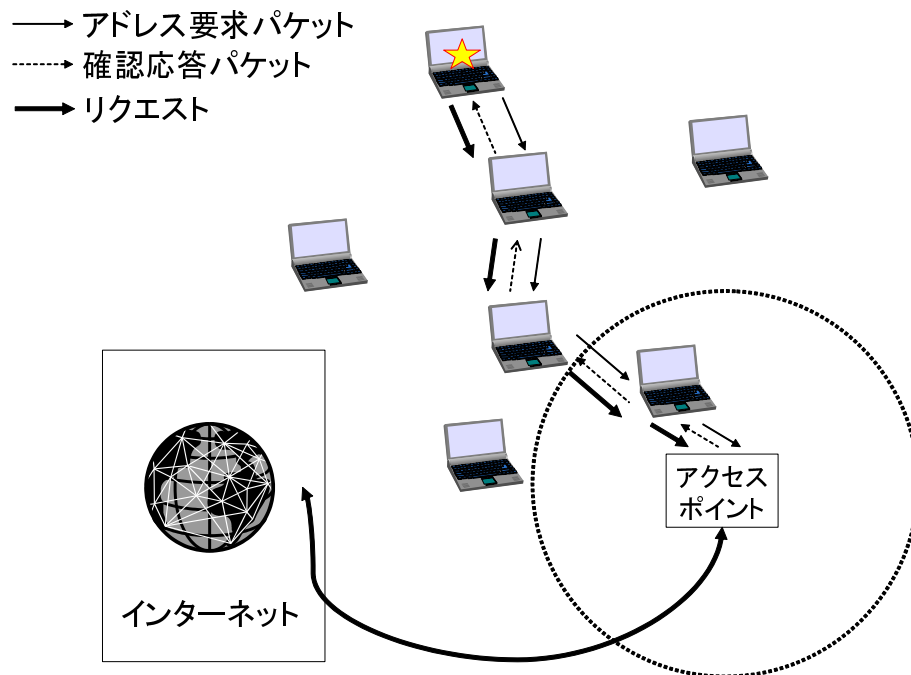


図 4.3 通信フェーズ

1. 送信元端末は、アクセスポイント選択フェーズにて決定したアクセスポイントに対して、ルートを確保するためアドレス要求パケットを送信する。このアドレス要求パケットの宛先は、アクセスポイントであり、中継端末情報が含まれる。
2. アドレス要求パケットを受信した端末は、自身がパケット内の中継端末情報に含まれているかを確認する。パケット内に含まれている場合のみ、端末は中継を行い近隣の端末に送信する。含まれていなければ、パケットの中継を行わずパケットを棄却する。
3. アドレス要求パケットがアクセスポイントに到着すると、送信元端末に対して IP アドレスを割り当て、確認応答パケットを送信元端末に対して送信する。
4. 送信元端末は、IP アドレスを取得するとアクセスポイントに対してリクエ

#### 4.4. アクセスポイントの探索

ストを送信する。

5. アクセスポイントは、送信元端末からのリクエストをインターネット上へ送信する。インターネットからデータを受信し、アクセスポイントはリクエストの逆経路で送信元端末に対して、データの送信を行う。

アドレス要求パケットは、ヘッダに記載されている中継端末情報を利用し、アクセスポイントへ送り届けられる。確認応答パケットの役割は、割り当てたルーティング可能な IP アドレスを送信元端末に届けることである。

### 4.4 アクセスポイントの探索

本節では、アクセスポイント探索フェーズの詳細について説明する。提案システムでは、各無線端末において、アドホックネットワークが構成されている状況を想定している。アクセスポイントの検索を行うための探索パケットは、アドホックネットワーク上で使用されているルーティングプロトコルを用いて伝播される。提案システムは、Proactive 型、Reactive 型など多様なプロトコルに対応することが可能である。

探索パケットを送信する際、ホップ数を用いて探索パケットの伝播範囲を制限している。探索パケットを受信した端末は、アクセスポイントまでのルート情報を持っていない場合、ホップ数のカウントを一つ下げ、自身のノード情報を中継端末情報に付加し、再度ブロードキャストする。アクセスポイントへのルート情報を持っていると、その情報を返答パケットとして、送信元端末に対して送信する。この中継をホップ数のカウントが 0 になるまで繰り返し、その際、重複を防ぐため、中継端末情報に自身のノードがあれば、探索パケットを破棄する。Proactive(table driven) 型、Reactive(On-demand) 型それぞれの場合における動作を以下に述べる。

#### \* Proactive 型

Proactive 型のルーティングプロトコルは、table-driven 型とも呼ばれるように、通信を行う前にあらかじめ他の端末とルート情報の交換を行い、ルー

## 第 4 章 無線マルチホップネットワークを利用したインターネット接続システム

ティングテーブルの作成を行う。常に他の端末との接続関係を管理しているため、近隣に存在するアクセスポイントをすぐに検出することが可能である。しかし、トポロジーの変化に対処するため、端末の移動に対して脆弱であり、端末数が多くなるとルーティングテーブルの管理が難しいという欠点がある。

Proactive 型の代表的なアドホックネットワークルーティングプロトコルの一つである Optimized Link State Routing(OLSR) ルーティングプロトコル [27] を例にとり、説明する。OLSR 網がアクセスポイント近辺で構築されているものとする。

1. ある端末 S が通信要求を行う。端末 S は、近隣の端末に対して HELLO メッセージの送信を行う。
2. 近隣の端末は、定期的に周囲の端末と HELLO メッセージ、TC(Topology Control) メッセージなどを交換している。従って、各端末はアクセスポイントへの経路を持っていると考えられるので、端末 S からのメッセージを受け取った端末は、アクセスポイントへの経路を含むローカルリンク情報を端末 S に対して送信する。

### \* Reactive 型

Reactive 型のルーティングプロトコルは、on-demand 型とも呼ばれるように、通信要求が発生しない時には他の端末と通信を行わず、発生時に各端末がオンデマンドでルート of 構築を行う。通信要求時のみ経路の構築を行うため、ルーティングテーブルを管理する必要がなく、端末の移動の影響が少なく、スケーラビリティの問題も Proactive 型と比べ有効である。しかし、通信要求が発生後に経路探索を行うので、リアルタイム性が必要な通信には不向きである。

Reactive 型のアドホックネットワークルーティングプロトコルの一つである Ad Hoc On-Demand Distance Vector(AODV) ルーティングプロトコルを例にとり、説明する。AODV 網がアクセスポイント近辺で構築されているものとする。

#### 4.5. アクセスポイントの選択処理

1. ある端末  $S$  が通信要求を行う。端末  $S$  は、Route Request(RREQ) パケットを近隣の端末に対してブロードキャストする。
2. RREQ パケットを受信した端末は、自身の経路表(タイマ付)に端末  $S$  の情報を加える。その後、受信した端末は、RREQ パケットの送信先端末であるアクセスポイントへのエントリを調べる。

##### 経路表に存在した場合

Route Reply(RREP) パケットを作成し、送信元端末  $S$  に対して送信を行う。このとき、この RREP パケットは各端末の経路表を元に送信される。アクセスポイントに RREQ パケットが到達した場合も同様の処理を行う。

##### 経路表に存在しなかった場合

経路表にアクセスポイントのエントリを作成し、RREQ パケットの転送を行う。この動作が経路表にアクセスポイントへのエントリが見つかる、もしくは、アクセスポイントに到達するまで繰り返される。

このように Proactive 型のプロトコルでは、どのような端末が近隣に存在しているかを定期的に監視しているため、Reactive 型のプロトコルよりも簡単にアクセスポイントの検出を行うことが可能である。しかし、どちらのタイプのプロトコルも利点、欠点があるため、提案方式は 3 章で提案した仕組みのように Proactive 型に固定するのではなく、その利用用途に応じて使い分けることができる。

## 4.5 アクセスポイントの選択処理

前節において、アクセスポイントへのルートの検出処理について述べたが、図 4.2 のように複数のアクセスポイントが見つかる場合が考えられる。複数のアクセスポイントを併用し、データの送受信を行う仕組みも考えられるが、複数のアクセスポイントを利用すると中継端末が増えてしまい、端末間においてルート情報交換のための不要なパケット量が多くなると考えられる。さらに、複数のアク

## 第 4 章 無線マルチホップネットワークを利用したインターネット接続システム

セスポイントを併用すると、一つの無線ネットワークデバイスに対して複数の IP アドレスが割り当てられ、ネットワークのコネクション管理を別途行う必要が発生する。そこで、本システムでは、一つのアクセスポイントへのルートを選択し、通信を行う。本節では、このアクセスポイントへのルートの選択方法について述べる。

### 4.5.1 アクセスポイントの選択基準

マルチホップ無線ネットワークを形成し、アクセスポイントを利用して通信を行う端末にとって重要であるのは、高品質で安定して通信を行うことであると考えられる。そこで、このような条件に近いアクセスポイントを選択する際、重要になるのは以下のような項目であると考えられる。以下に各項目の概要と特徴を述べる。

#### 1. ホップ数

本システムでは、シングルホップではなく、マルチホップ無線ネットワークを形成する。従って、このホップ数は、もっとも重要な要素であると考えられる。また、どのようなルーティングプロトコルを使用しているとしても、アクセスポイントへの中継端末情報から取得することができる。ホップ数が多いと、中継端末が多くなる。これにより、移動などに伴うネットワークの分断が多くなり、中継処理に伴う遅延が発生すると考えられるので、ホップ数は小さい方が適している。

#### 2. 利用端末数

アクセスポイントを利用し、インターネット接続を行う際、一つのアクセスポイントに対して理論的には 250 台程度の端末が同時接続できる。しかし、アクセスポイントに接続している端末数によって、通信の品質は変化する。利用端末数が少ない方が伝送速度は高くなるので、利用端末数が少ないアクセスポイントを選択することが望まれる。

#### 3. 設置場所

端末を持つユーザは頻繁に移動すると考えられる。移動することによって、

#### 4.5. アクセスポイントの選択処理

通信を行っているアクセスポイントへのルートが分断される場合が想定される。従って、このような移動に伴う分断を回避するためには、近隣に存在する、もしくは移動先に存在するアクセスポイントを選択すべきである。

#### 4. 電波強度

無線ネットワークデバイスを使用していると、通信相手との距離以外に遮蔽物や計算機の状態などの影響で電波強度が変化する。電波強度が弱いと通信帯域が狭くなり、マルチホップを行うことによりさらに減衰すると考えられるので、電波強度が強い経路上に存在するアクセスポイントを選択すべきである。

アクセスポイントの設置場所を考慮するためには、端末に GPS(Global Positioning System) のような位置情報取得デバイスを備える必要がある。また、利用端末数を測定するためには、アクセスポイントの管理能力が必要になると考えられる。そこで、本節では「ホップ数」と「電波強度」に注目し、最適なアクセスポイントを選択する仕組みの検討を行う。

#### 4.5.2 ホップ数と電波強度の決定方法

本節では、ホップ数と電波強度の選択基準の決定方法について説明する。まず、ホップ数の決定方法について説明する。アクセスポイント探索フェーズにおいて、探索パケットを送信した送信元端末は、アクセスポイントの電波到達エリア内に存在する端末などから返答パケットを受信する。この返答パケットに中継を行った端末のリストが含まれており、送信元端末は、アクセスポイントへのホップ数を獲得する。複数のアクセスポイントを検出した場合、送信元端末は、ホップ数が小さいルートを用いてアクセスポイントと通信を行う。

図 4.4 において端末 S の場合を考える。端末 S は、アクセスポイント X, Y の二つを検出し、それぞれへのホップ数は 4, 3 となる。従って、この場合はアクセスポイント Y への経路を使用し通信を行う。

次に、電波強度の決定について説明する。前処理では、検出パケットと返答パケットが各端末間でやり取りされる。この時に無線ネットワークデバイスの電波

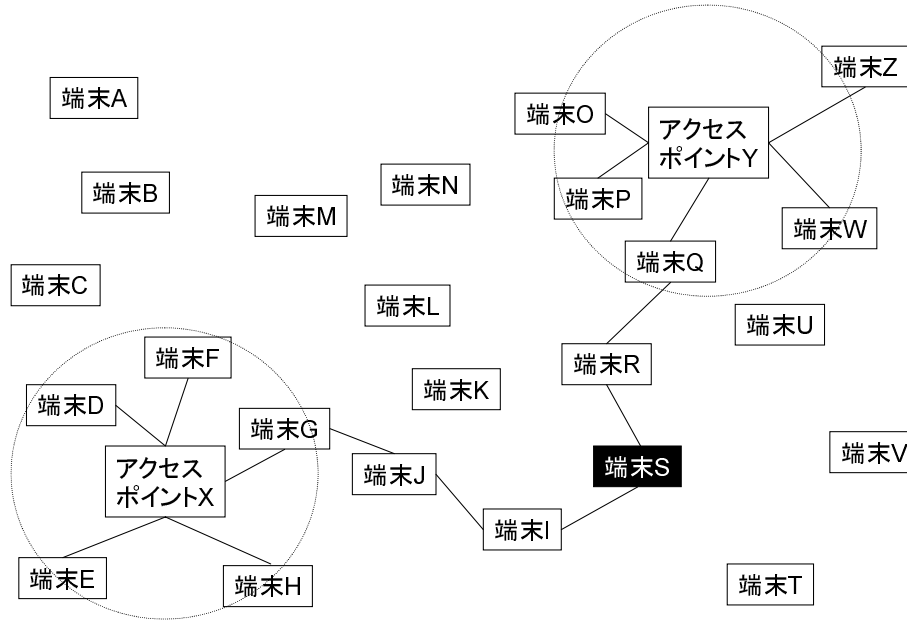


図 4.4 ホップ数の決定

強度を用いて、各端末間の電波強度の測定を行い、各端末間の電波強度を返答パケットに含める。送信元端末は返答パケットを受信した後、その積を計算し、値が大きいルートを用いてアクセスポイントと通信を行う。

図 4.5 のように端末 S からアクセスポイント X、アクセスポイント Y へのルートが検出された場合を考える。図 4.5 内の数字は、それぞれ、各端末間の電波強度を示す。アクセスポイント X へのルートの電波強度は  $0.7 \times 0.7 \times 0.8 \times 0.8$  の 0.3136 となり、アクセスポイント Y へのルートの電波強度は  $0.7 \times 0.6 \times 0.7$  の 0.294 となる。従って、アクセスポイント X のルートの方が電波強度が強いので、この場合、アクセスポイント X が選択される。

### 4.5.3 アクセスポイントの選択処理における問題点

提案システムでは、前節で述べた「ホップ数」と「電波強度」を共に参照して適切なアクセスポイントへのルートを決する。本節では、提案システムにおけ



#### 4.5. アクセスポイントの選択処理

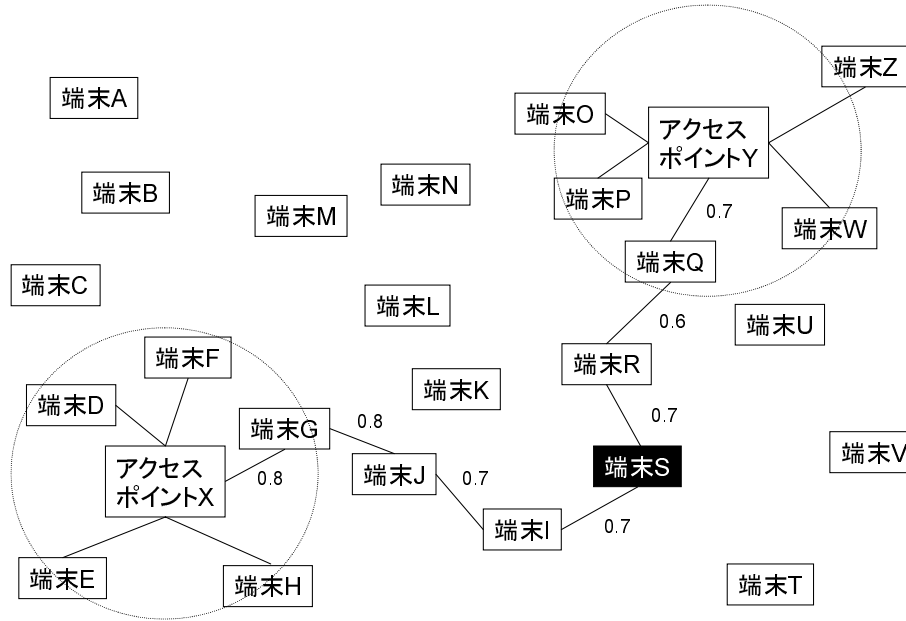


図 4.5 電波強度の決定

る選択処理について述べる。

図 4.5 において、端末 S がアクセスポイントを二つ検出し、選択する場合を考える。ホップ数に着目すると、アクセスポイント X へは 4 ホップ、アクセスポイント Y へは 3 ホップとなるが、電波強度に着目するとそれぞれ、0.3136, 0.294 となる。従って、ホップ数を優先するとアクセスポイント Y を選択することになり、電波強度を優先するとアクセスポイント X を選択することになる。

アプリケーションや端末の状態にも依存するが、どちらを優先すべきか一意に決定することは難しいと考えられる。また、電波強度を利用すると、端末の電波状態を定期的に交換する必要があり、Reactive 型のルーティングプロトコルを利用する場合、問題になる。そこで、本研究ではシミュレーションを行い、ホップ数によってどのように通信の状態が変化するかを調べる。シミュレーションについては、次節で述べる。

## 4.6 シミュレーション

前節までに、アクセスポイント近辺において、無線マルチホップネットワークを構成し、複数のアクセスポイントが検出された場合の選択方法について述べた。本研究では、複数のアクセスポイントが見つかった状況において、適切なアクセスポイントを選択するための条件として、アクセスポイントまでのホップ数に着目する。そこで、ホップ数と通信路の安定度を調べるために、第 3.4.1 節にて述べた ns-2 をシミュレータとして使用し、シミュレーションを行う。

### 4.6.1 シミュレーション条件

ns-2 にて使用したシミュレーションスクリプトの条件を示す。図 4.6 は、ns-2 によって出力されたデータを Nam(Network Animator)<sup>4</sup> を用いて表示したものである。

#### 全般的な条件

1000m × 1000m のフラットなエリア上において、100 秒間シミュレーションを行う。移動端末は AODV プロトコルを使用し、固定端末までの経路情報を取得し、パケットの送信を行う。

#### ノード数

移動端末 50 台、固定端末 2 台を用いる。2 台の固定端末をアクセスポイントと想定し、ランダムに選択された 1 台の移動端末から固定端末に対して、CBR(Constant Bit Rate) パケットを 0.25 秒おきに送信する。cbr パケットのパケットサイズは 500 バイトである。

#### 端末移動パターン

50 台の移動端末の初期位置は、設定したエリア上においてランダムに決定され、ランダムウェイポイントモデルに従い、移動を行う。本シミュレーションで利用したランダムウェイポイントモデルを以下に示す。

---

<sup>4</sup> Nam(Network Animator) : <http://www.isi.edu/nsnam/nam/>

## 4.6. シミュレーション

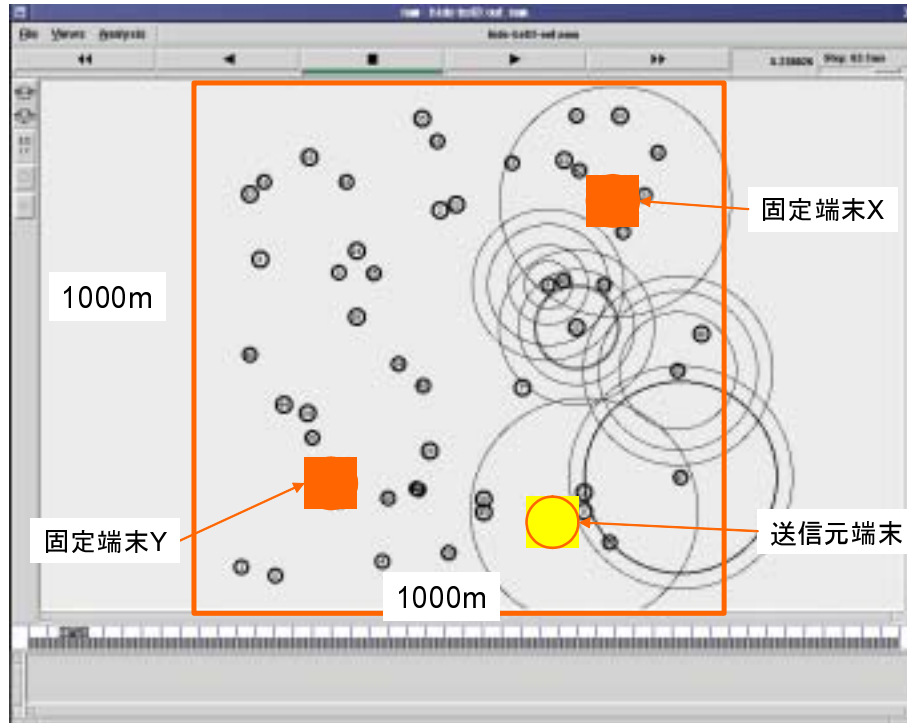


図 4.6 シミュレーション図

1. エリア内の移動先  $d$  を決定 .
2. 速度 (秒速  $0\text{m} < v < \text{秒速 } 3\text{m}$ ) を決定 .
3. 移動先  $d$  まで速度  $v$  で移動 .
4. 到着後 , 2 秒間停止 .
5. 1 にもどる .

この動作をシミュレーション時間内繰り返し行い , 各端末は移動する . この移動モデルは , ns-2 のパッケージ内に含まれる `setdest` プログラムを使用し作成する .

### 無線ネットワークデバイス

使用した無線ネットワークデバイスの転送速度は 2Mbps であり , 電波の到

## 第 4 章 無線マルチホップネットワークを利用したインターネット接続システム

達エリアは 250m である．電波の伝搬モデルは地面での反射のみを考慮した Two Ray Ground モデルを，また，アンテナは 360 度に渡って送受信可能なオムニアンテナをそれぞれ使用している．

### 4.6.2 シミュレーション結果

同一の移動モデルに対して，送信元端末を 50 個の中からランダムに 1 つ選択し，その端末から 2 つの固定端末に対して，前述の条件でパケットの送信を行った．今回のシミュレーションでは，送信元端末を変更し，5 パターンの結果に関する解析を行った．本節では，この結果の中から，2 つの固定端末までのホップ数がほぼ同じである送信元端末と，大きく異なる送信元端末の結果について述べ，その後，シミュレーション全体の結果について述べる．

#### (1) ホップ数がほぼ同じ場合

送信元端末と固定端末が，図 4.6 のような位置関係に存在する場合を考える．初期状態における送信元端末と固定端末との平均ホップ数，初期状態における端末間の距離はそれぞれ表 4.1 のような状態であり，固定端末とのホップ数は非常に近い値である．

表 4.1 送信元端末と固定端末の関係 (ホップ数がほぼ同じ場合)

|      | 送信元端末と固定端末 X | 送信元端末と固定端末 Y |
|------|--------------|--------------|
| ホップ数 | 4.875        | 3.737        |
| 距離   | 691.628      | 374.098      |

この時のシミュレーション結果を図 4.7 に示す．図 4.7 のように「総通信時間」，「平均ホップ数」，「経路の切り替え回数」の計測を行った．グラフの左 Y 軸は，総通信時間の秒数 (s) を示しており，右 Y 軸は平均ホップ数の回数，経路の切り替え回数の回数をそれぞれ示している．計測項目それぞれの定義を以下に述べる．

## 4.6. シミュレーション

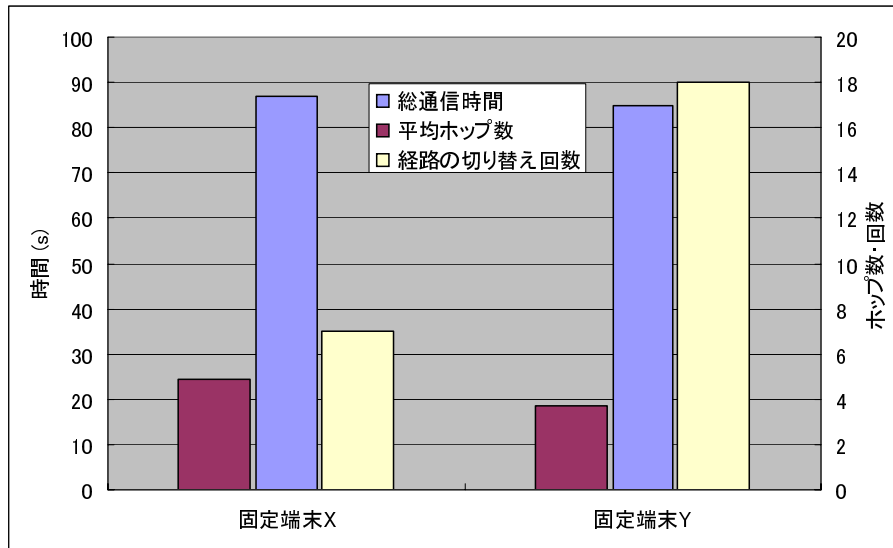


図 4.7 シミュレーション結果 (ホップ数がほぼ同じ場合)

### 総通信時間

シミュレーション内での送信元端末と固定端末間における通信可能な時間の合計を示す。すなわち、シミュレーション時間から経路の構築に要した時間を除いたものである。

### 平均ホップ数

シミュレーションでは、端末の移動や無線の衝突などの要因によって経路が分断され、再度、送信元端末は固定端末への経路を構築する。この構築された経路のホップ数を平均した値である。

### 経路の切り替え回数

シミュレーション時間内において、経路が分断し、新たな経路に切り替わった回数を示す。

図 4.7 に示すように平均ホップ数が少ない経路となる固定端末 Y との総通信時間が、平均ホップ数の多い経路となる固定端末 X の場合よりも短くなった。ホップ数が少ない場合、中継端末の移動に伴う経路の分断が少なく、通信時間が長くな

第 4 章 無線マルチホップネットワークを利用したインターネット接続システム

ると考えられる。しかし、図 4.7 に示すように、経路の切り替え回数が多くなったため、総通信時間が短くなる結果になった。本結果より、中継端末の移動パターン次第で、中継端末数が少ない場合でも経路の分断が頻繁に発生し、それにより通信時間が短くなることがわかった。この場合は、本通信を開始する前に、パケットの送信を行い、それぞれの経路の安定度確かめ、固定端末 X を選択すべきである。

(2) ホップ数が大きく異なる場合

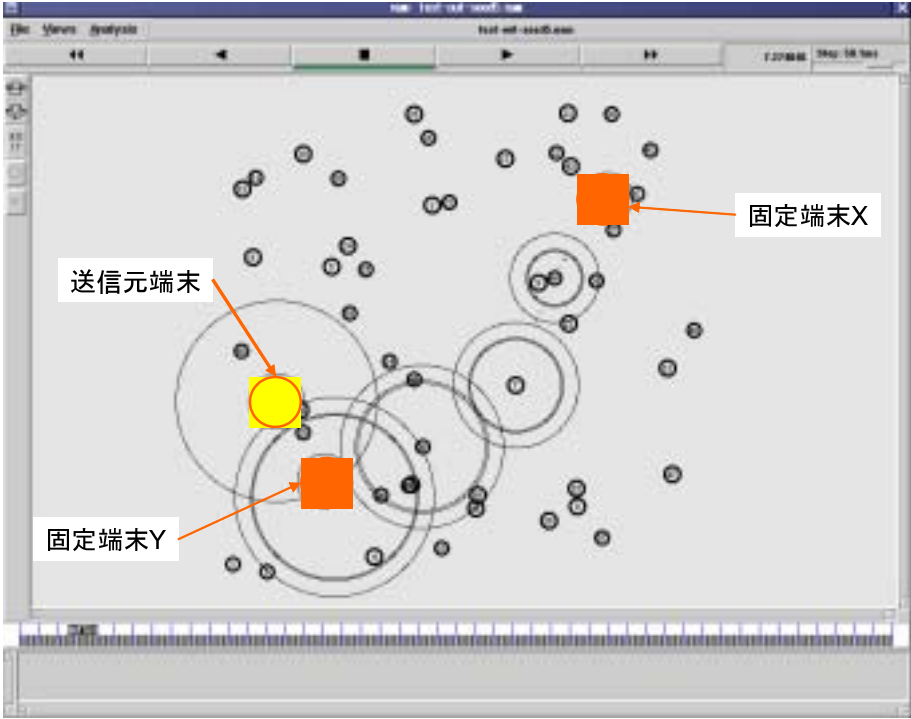


図 4.8 ホップ数が大きく異なる場合の位置関係

送信元端末と固定端末は、図 4.8 のような位置関係に存在する場合を考える。初期状態における送信元端末と固定端末との平均ホップ数、距離はそれぞれ表 4.2 のような状態であり、各固定端末とのホップ数は大きく異なっている。

#### 4.6. シミュレーション

表 4.2 送信元端末と固定端末の関係 (ホップ数が大きく異なる場合)

|      | 送信元端末と固定端末 X | 送信元端末と固定端末 Y |
|------|--------------|--------------|
| ホップ数 | 5.8          | 1            |
| 距離   | 826.831      | 198.114      |

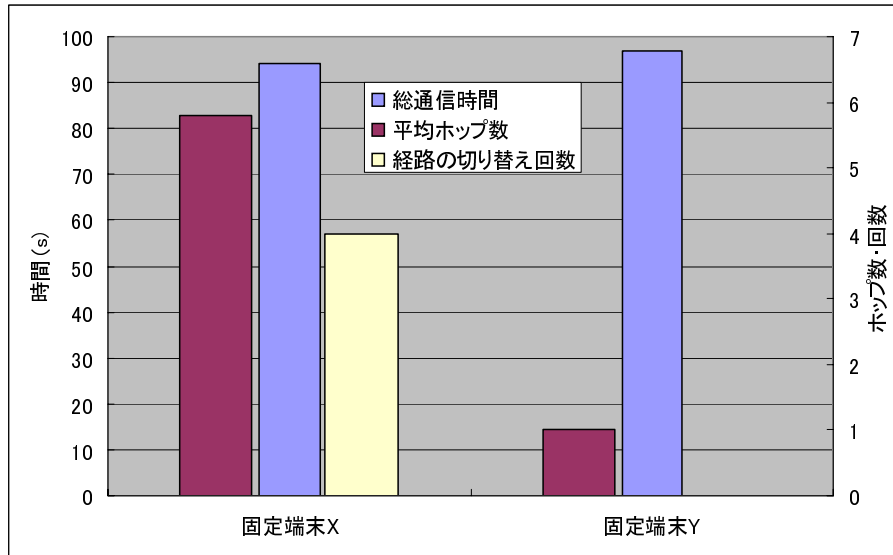


図 4.9 シミュレーション結果 (ホップ数が大きく異なる場合)

この時のシミュレーション結果を図 4.9 に示す。図 4.7 と同様に、グラフの左 Y 軸は、総通信時間の秒数を示しており、右 Y 軸は平均ホップ数の回数、経路の切り替え回数の回数をそれぞれ示している。図 4.9 に示すように、固定端末 Y とのホップ数は 1 のまま変化せず、移動距離が少なかったため、経路の切り替えも発生しなかった。しかし、固定端末 X への経路も通信時間は比較的長く、通信は安定している結果が得られた。このように、中継を行う端末の振る舞いが大きな影響を与えることがわかる。この場合、1 ホップで使用することができる固定端末 Y を選択すべきである。

(3) ホップ数と通信時間の関係

前節，前々節において，送信元端末と固定端末との代表的な関係についての結果を述べた．本節では，今回行った 5 パターンをまとめた結果について述べ，シミュレーションのまとめを行う．

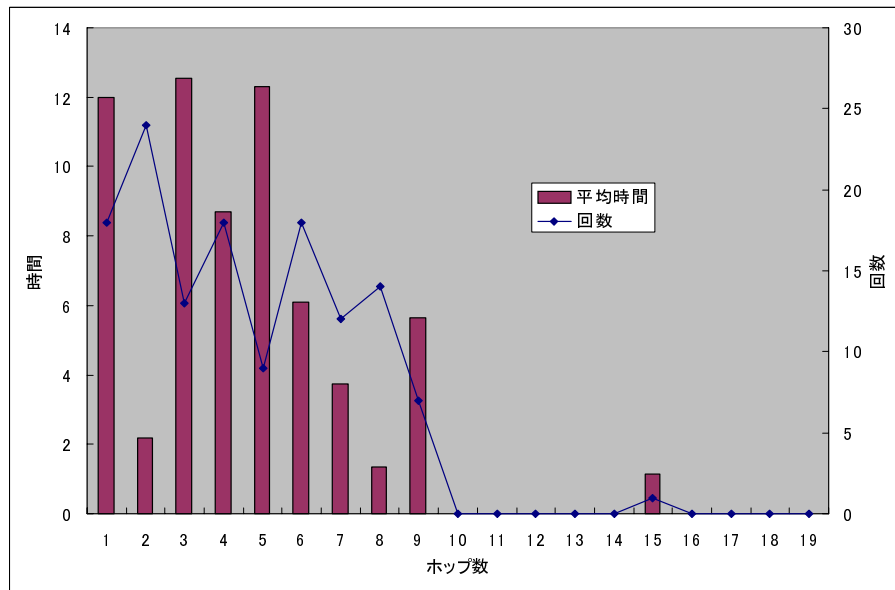


図 4.10 経路の出現回数と平均持続時間

図 4.10 は，全シミュレーション時間中に検出された経路の出現回数と平均持続時間をホップ数ごとに表したものである．図 4.10 のようにホップ数としては，最小で 1 ホップ，最大で 15 ホップの経路を確認した．ホップ数が多い経路は，中継を行う端末数が増加するため移動に伴う経路の分断が多くなると考えられる．しかし，図 4.10 のように，ホップ数と持続時間には関係がない結果を得ることができた．この原因としては，経路の分断回数が影響していると考えられる．図 4.10 において，ホップ数が 2 の経路を見ると，平均持続時間が他と比べ大幅に減少し，経路の出現回数が非常に多くなっていることがわかる．これは，経路の分断が頻繁に生じ，それによって経路の出現回数が増加したためと考えられる．

また，図 4.11 では，総経路使用時間を 100 とした時のホップ数ごとの通信時間



#### 4.7. 関連研究

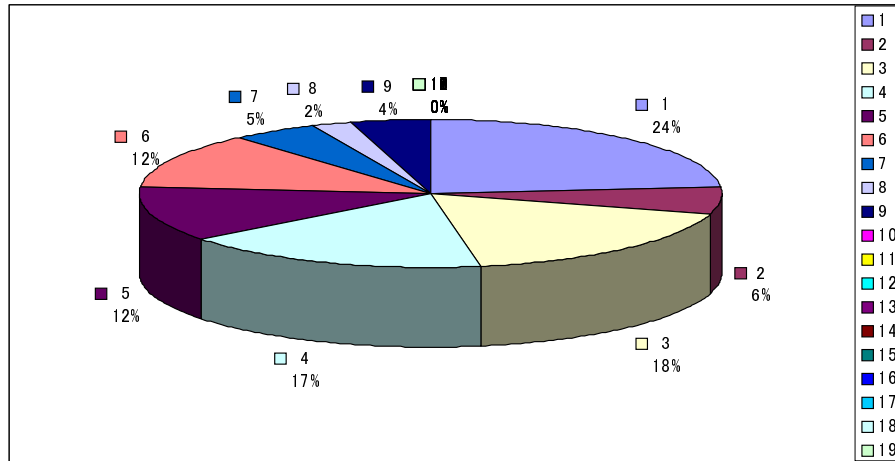


図 4.11 ホップ数ごとの通信時間の割合

の割合を示している。全体的に見て、ホップ数が小さい経路を利用して、長く通信を行っていることがわかる。

これらの結果より、ホップ数が小さい経路を選択する方が経路の持続時間は長くなるが、持続時間に対して経路の分断回数が非常に影響するということがわかった。従って、適切な経路を選択するためには、中継を行う端末の状態を取得すべきであると考えられる。同じ方向に向かう端末でグループを構成する場合を想定すると、ホップ数が少ない経路を選択すると安定した通信を行うことができる。

#### 4.7 関連研究

アドホックネットワークにおけるルーティングの研究はIETF MANET ワーキンググループが中心となり標準化が進められている。多くのルーティングプロトコルが提案されているが、Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV)、Optimized Link State Routing Protocol (OLSR) はRFC化され、他にも Internet-Draft として検討されている。本章において提案する仕組みは、Proactive 型、Reactive 型 共に対応するように設計しているため、アクセスポイントへの経路を登録している端末を含めば利用することが可能である。

## 第 4 章 無線マルチホップネットワークを利用したインターネット接続システム

また、アドホックネットワークとインターネットの融合に関する研究もなされており、Mobile IP と組み合わせたシステムの研究がなされている [28]. この文献では、Reactive 型のルーティングプロトコルの利用を仮定し、外部エージェントを利用し、インターネット接続性を端末に対して提供する仕組みをとっている。この外部エージェントの広告を定期的に行い、端末は外部エージェントの情報を取得するという Proactive 型とのハイブリッドな形式を用いている。文献 [24] と同様にアドホックネットワーク部分とインターネット部分の境目にゲートウェイ端末を用いている。本章で提案したシステムでは、無線 LAN のアクセスポイントの利用を想定しており、ゲートウェイの情報を直接、ゲートウェイから取得するのではなく、他の端末から取得する点で異なる。

### 4.8 むすび

本章において、移動端末がアクセスポイント近辺で、無線マルチホップネットワークを構成し、アクセスポイントを利用して通信を行うシステムの提案を行った。これにより、アクセスポイントの電波到達エリアを一時的に拡大することが期待できる。また、近隣に複数のアクセスポイントを検出した際に、最適なアクセスポイントへのルートを選択する仕組みについて提案を行った。また、アクセスポイント選択のためのパラメータの一つとしてホップ数を対象としたシミュレーションを ns-2 を用いて行った。

ホップ数を基準としてアクセスポイントの選択を行っているが、利用するアプリケーションによっては、設置場所など他の基準も必要であると考えられる。今後の課題として、アプリケーションによって選択基準を変化させる仕組みを考えている。

## 第 5 章

### 結論

無線ネットワークを利用する移動計算機環境には，固定のネットワークを用いたシステムとは異なり，移動などのモビリティによって生じる問題点が存在する．またさらに，位置情報の変化など移動計算機固有の性質が存在し，このような特性を利用するシステムの検討は，ウェアラブルコンピューティングなど今後，ますます計算機の小型化が進むなか，重要課題である．本研究では，移動計算機の移動によって変化する地理的位置情報と無線ネットワークデバイスを利用し，さらに外部のネットワークとの接続に不可欠な無線 LAN の基地局に着目し，これらを利用したシステムの提案，設計を行った．

本章では，本研究で得られた成果をまとめ，今後の課題について述べる．

#### 5.1 本研究で得られた成果

2 章では，移動体が動くことによって変化する地理的位置情報に着目し，移動計算機から位置依存情報を配信するために必要な移動計算機の位置情報管理機構について設計を行った．さらに，位置情報管理機構のプロトタイプを実装し，本プロトタイプ上において，提案する位置情報の更新方式の優位性を示した．

3 章では，ワイヤレス Peer-to-Peer システムであるアドホックネットワークを利用し，アドホックネットワークを構成する端末をクラスタとしてまとめ，固定ネットワークを介して，クラスタ間で通信を行うシステムの提案について述べた．

また、クラスタを構成する端末を木構造で管理する方法について提案を行った。

4章では、無線ネットワークデバイスを用いてインターネット接続に不可欠なアクセスポイントに着目した。アクセスポイントの近隣で、無線マルチホップネットワークを構成することにより、アクセスポイントの電波到達エリア外に存在する端末に対して、インターネット接続性を提供する仕組みの提案を行った。また、提案システム上において、複数のアクセスポイントが検出された場合における、アクセスポイントの選択基準、選択方法について提案を行った。アクセスポイントの選択基準の1つであるホップ数に着目し、ホップ数が経路の安定度に与える影響について、シミュレーションを行い調査した。

移動計算機の無線ネットワーク環境が持つ位置情報、無線 LAN のアクセスポイントなどの特性を制御/利用する仕組みを本論文では提案した。これらの成果より、移動計算機を含む無線ネットワーク環境における Peer-to-Peer システムの有用性を示した。

## 5.2 今後の課題

本研究を通して、移動計算機の地理的位置情報、無線 LAN システムといった特性の制御、管理について、三システムの提案を行った。これら三システムを融合し、新たな機構を組み込んだシステムとして次のような仕組みの構築が考えられる。

### アドホック無線 IP 電話システムの構築

本研究において、無線マルチホップネットワークを利用しアクセスポイントを介して、インターネット網と接続を行う仕組みの提案を行った。アドホックネットワーク網がインターネットと接続されることによって、様々なアプリケーションに展開することが可能であると考えられる。アドホックネットワーク網を利用し、無線 IP 電話システムを構築することによって、セルラーフォンシステムに変わる物として期待することができる。

## 5.2. 今後の課題

無線 LAN デバイスを利用するため、より高速なデータ通信をすることが可能である。しかし、セルラーフォンと比べ、以下のような問題が考えられる。

- アクセスポイントの切り替え処理
- 無線ネットワークデバイスの認証

移動に伴うハンドオーバーの処理に関しては、様々な研究がなされている。本論文において述べたアクセスポイントの選択機構を実装することにより、アクセスポイントの切り替え回数を削減することが期待できる。

また、アクセスポイントの不正使用を防ぐため、ユーザやデバイスを管理する必要がある。そのため、無線マルチホップネットワークを経由して、インターネットに接続する際、ユーザの認証を行う必要がある。シングルホップでアクセスポイントを利用する場合、電波到達エリア内に存在するアクセスポイントを選択し、ESS-ID や WEP Key を入力し利用することができる。しかし、マルチホップを利用する場合を考えると、アクセスポイントへの経路を取得することは可能であるが、電波到達エリア内に存在しない場合が想定されるため、別の認証方法が必要になる。従って、別途、インターネット網に認証サーバなどを設置する必要がある。

## ITS における車車間通信への適用

ITS における車車間通信へのアドホックネットワークの適用は、車車間通信のように、ネットワークを構成する端末が、非常に頻繁に変化する場合、有効であると考えられる。さらにアドホックネットワークを適用することで、路面状況や天候、位置情報などの外部情報を利用することによって、通信を行う端末を、相対位置関係やホップ数を用いて限定することができる。これにより、車車間通信のように、複数の用途が特化した情報のやりとりが頻繁に発生するネットワークにおいて、ブロードキャストを行うことで生じるリソースの浪費や、を抑えることが可能となる。

例えば、ブレーキ信号は、自車の後方を走行中の車だけに伝えればよく、さらに路面状況等に応じて、どれだけ後ろまで、ブレーキ信号を伝えればよいかを変

更する．現在の 802.11 に代表される無線ネットワークデバイスは，全方向性のアンテナを使用しているため，無線の電波を特定の方向に送信することができない．従って，指向性アンテナを使う，もしくは，マルチキャスト通信など端末をグループ化し情報を送信する必要がある．

## 無線 IC タグの利用

ユビキタスコンピューティングが注目される中，RFID といった非接触の無線タグを利用した仕組みが改札システムなどで利用されている．この無線タグを利用することによって，流通業界に大きな変革があると言われ，非常に注目されている．また，無線タグを位置の同定に利用することが可能であり，GPS の利用が難しい屋内などでの利用が見込める．

また，この無線 IC タグを利用し，認証に利用することができると考えられる．無線 IC タグをアクセスポイント近隣に設置し，登録することによって，アクセスポイントの利用権を取得する．そのために，無線 IC タグの登録方法，タグに書き込む認証情報をどのようにするか，検討する必要があると考えられる．

## 謝辞

本研究，および本論文作成における全過程を通じて，懇切なる御指導，御鞭撻を賜りました本学情報科学研究科の湊 小太郎教授に厚く感謝の意を表します．また，本研究を進めるにあたり，数々の御助言，御援助を賜りました九州大学 大学院システム情報科学研究院情報工学部門の福田 晃教授，本学情報科学センターの砂原 秀樹教授，ならびに本学情報科学研究科の杉浦 忠男助教授に深く感謝致します．福田 晃教授には，奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科在職時から，様々な研究上の機会を頂き，重ねて感謝いたします．

本学在職時からお世話になった九州大学 大学院システム情報科学研究院情報工学部門の中西 恒夫助教授，同大学院の北須賀 輝明助手，ならびに広島大学工学部第二類（電気系）の田頭 茂明助手には研究全般にわたり数多くの貴重な御意見，御支援を賜りましたことをここに述べ、心より感謝の意を表します．

また，日頃の研究活動を通じ，本研究に関して様々な御討論，御協力を頂いた本学情報科学研究科の菅 幹夫助手，研究のみではなく学内の生活においても大変気を配っていただいた佐藤 哲大助手に心から感謝いたします．

九州大学大学院システム情報科学府情報工学専攻福田研究室の久住 憲嗣氏，森若 和雄氏，ならびにモバイルグループのメンバーの方々には本研究の議論に貴重な時間を割いていただきました．これにより多くの知見が得ることができたことをここに述べ，深く感謝します．

そして，秘書の辰巳 涼子様，生命機能計測学分野の阿賀 俊幸氏，石田 実里様，春名 かおり様，松村 憲和氏をはじめとする研究室の皆様方には，日頃の学生生活を共にし，学内での生活を充実したものにできたのは，ありとあらゆる面で支えてくださった皆様のおかげです．本当にありがとうございました．

## 謝辞

最後になりましたが、長期間の学生生活を援助していただいた家族に深く感謝いたします。



## 参考文献

- [1] 北須賀 輝明, 中西 恒夫, 福田 晃 : “無線通信網を用いた屋内向け測位方式”, 情報処理学会論文誌 (コンピューティングシステム), Vol.44, No.GIS10(ACS2), pp. 131–140 (2003).
- [2] 荻野 敦, 垣原 克彦, 渡辺 晃司, 藤嶋 堅三郎, 山崎 良太, 鈴木 秀哉, 加藤 猛 : “無線 LAN 統合アクセスシステム-位置検出方式の検討-”, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2003) シンポジウム論文集, pp. 569–572 (2003).
- [3] 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).
- [4] 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”, 情報処理学会研究報告, 2001-MBL-17, pp. 23–30 (2001).
- [5] Yasuhito Watanabe, Atsushi Shinozaki, Fumio Teraoka, Jun Murai : “The Design and Implementation of the Geographical Location Information System”, Proc. Inet96. Internet Society (1996).
- [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), <http://www.jaist.ac.jp/SPA2000/> (2000).

- [7] Tomasz Imielinski, Julio C . Navas : “Geographic Addressing , Routing, and Resource Discovery with the Global Positioning System”, Communications of the ACM, Vol.42, No. 4, pp. 86–92 (1999).
- [8] Tomasz Imielinski, Julio C . Navas : “GPS-Based Addressing and Routing”, RFC 2009, <http://www.ietf.org/rfc/rfc2009.txt> (1996).
- [9] David B. Johnson, David A. Maltz, Yih-Chun Hu, Jorjeta G. Jetcheva : “The Dynamic Source Routing Protocol of Mobile Ad Hoc Networks”, IETF Internet draft, draft-ietf-manet-dsr-07.txt, <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-manet-dsr-07.txt> (2002).
- [10] C. Perkins, E. Belding-Royer, S. Das : “Ad Hoc On Demand Distance Vector (AODV) Routing”, RFC 3561, <http://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt> (2003).
- [11] V.D. Park, M. S. Corson : “A Highly Adaptive Distributed Routing Algorithm for Mobile Wireless Networks”, Proceedings of IEEE INFOCOM’97, pp. 1405–1413 (1997).
- [12] 大田 賢, 吉川 貴, 中川 智尋, 磯田 佳徳, 杉村 利明 : “アドホックネットワークによるユビキタスインターネットアクセス”, 情報処理学会研究報告, 2002-MBL-20, pp. 219–224 (2002).
- [13] 中川 智尋, 吉川 貴, 大田 賢, 倉掛 正治 : “移動通信網における無線マルチホップアクセス方式の性能評価”, 情報処理学会研究報告, 2002-MBL-21, pp. 39–44 (2002).
- [14] EMIP(Emergent Mobile Internet Platform) : <http://www.emip.net/>
- [15] Charles E. Perkins, Pravin Bhagwat : “Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers”, Proc. SIG-COMM, pp. 234–244 (1994).

## 参考文献

- [16] T. Camp, J. Boleng, V. Davies : “A Survey of Mobility Models for Ad Hoc Network Research”, *Wireless Communications and Mobile Computing (WCMC)*, Vol.2, Num.5, pp. 483–502 (2002).
- [17] R. Ogier, F. Templin, M. Lewis : “Topology Dissemination Based on Reverse-Path Forwarding (TBRPF)”, IETF Internet draft, draft-ietf-manet-tbrpf-11.txt, <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-manet-tbrpf-11.txt> (2003).
- [18] Ching-Chuan Chiang, Hsiao-Kuang Wu, Winston Liu, Mario Gerla : “Routing in Clustered Multihop, Mobile Wireless Networks with Fading Channel”, *IEEE SICON-97*, pp. 197–211 (1997).
- [19] Mario Joa-Ng, I-Tai Lu : “A Peer-to-Peer Zone Based Two-Level Link State Routing for Mobile Ad Hoc Networks”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communication*, Vol.17, No. 8, pp. 1415–1425 (1999).
- [20] Hideki Shimada, Shigeaki Tagashira, Tsuneo Nakanishi, Akira Fukuda : “Evaluation of a Location Management System for Wireless Communicating Mobile Computers”, *Proc. of the 16th Int. Conf. on Information Networking (ICOIN)*, Vol.I, pp. 3C-5.1–5.11 (2002).
- [21] MOTERAN(Mobile Telecommunication Radio and Relay Network) : <http://www.mitsubishi.co.jp/ndesk/newsr/020702.html>
- [22] Xiaoyan Hong, Kaixin Xu, Mario Gerla : “Scalable Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks”, *IEEE NETWORK*, July/August 2002, Vol.16, No. 4, pp. 11–21 (2002).
- [23] Yoshiki Shimotsuma, Takashi Sakakura, Kouji Yoshida, Masahiro Kuroda, Tadanori Mizuno : “Percolating Data Delivery on Cellular-Ad Hoc Integrated Network”, *IEICE transactions on communications*, Vol.84E-B, No.4, pp. 771–778 (2001).

- [24] Ryuji Wakikawa, Jari T. Malinen, Charles E. Perkins, Anders Nilsson, Antti J. Tuominen : “Global connectivity for IPv6 Mobile Ad Hoc Networks”, IETF Internet draft, <http://www.wakikawa.net/Research/drafts/draft-wakikawa-manet-globalv6-02.txt> (2002)
- [25] 島田 秀輝, 田頭 茂明, 中西 恒夫, 福田 晃 : “複数のアドホックネットワークを結合した環境における通信制御システムの提案”, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICO2002) シンポジウム論文集, pp. 93–96 (2002).
- [26] Yu-Chee Tseng, Shih-Lin Wu Wen-Hwa Liao, Chih-Min Chao : “Location Awareness in Ad Hoc Wireless Mobile Networks”, IEEE COMPUTER, June 2001, pp. 46–52, (2001).
- [27] T. Clausen, P. Jacquet : “Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)”, RFC 3626, <http://www.ietf.org/rfc/rfc3626.txt> (2003).
- [28] P. Ratanchandani, R. Kravets : “A Hybrid Approach for Internet Connectivity for Mobile Ad Hoc Networks,”, IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC) (2003).

# 研究業績

## 学術論文誌

1. 島田 秀輝, 田頭 茂明, 中西 恒夫, 福田 晃 : 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, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.2, pp. 605–615 (2002).

## 国際会議

1. Hideki Shimada, Shigeaki Tagashira, Tsuneo Nakanishi, Akira Fukuda : Design and Implementation of Location Management System for Mobile Servers, Proc. 2001 Int. Conf. on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA2001), Vol.II, pp. 1000–1005 (2001).
2. Hideki Shimada, Shigeaki Tagashira, Tsuneo Nakanishi, Akira Fukuda : Evaluation of a Location Management System for Wireless Communicating Mobile Computers, Proc. 16th Int. Conf. on Information Networking (ICOIN), Vol.I, pp. 3C-5.1–5.11 (2002).
3. Hideki Shimada, Shigeaki Tagashira, Teruaki Kitasuka, Tsuneo Nakanishi, Akira Fukuda : Proposal of Wireless Peer-to-Peer System using the Wireless Multi-Hop Network to access Wireless Hot Spot, Proc. 2003 Int. Conf. on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications(PDPTA2003), Vol.II, pp. 977–881 (2003).

## シンポジウム (査読あり)

1. 島田 秀輝, 田頭 茂明, 中西 恒夫, 福田 晃 : 複数のアドホックネットワークを結合した環境における通信制御システムの提案, 情報処理学会, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2002) シンポジウム論文集, pp. 93-96 (2002).
2. 島田 秀輝, 田頭 茂明, 北須賀 輝明, 中西 恒夫, 福田 晃 : 無線マルチホップネットワークを利用したインターネット接続システムの提案, 情報処理学会, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2003) シンポジウム論文集, pp. 405-408 (2003).

## 研究会

1. 島田 秀輝, 田頭 茂明, 最所 圭三, 福田 晃 : 移動計算機からの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, 情報処理学会研究報告, 2000-MBL-14, pp. 109-115 (2000).
2. 田頭 茂明, 島田 秀輝, 最所 圭三, 福田 晃 : 移動計算機からの情報発信を支援するツールキットの性能評価, 情報処理学会システム評価研究グループ, (口頭発表) (2000).
3. 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, 情報処理学会研究報告, 2001-MBL-17, pp. 23-30 (2001).
4. 島田 秀輝, 田頭 茂明, 中西 恒夫, 福田 晃 : 無線環境に適した移動計算機の位置情報管理機構の評価, 情報処理学会研究報告, 2001-MBL-18/2001-ITS-6, pp. 1-8 (2001).

## 全国大会

1. 島田 秀輝, 田頭 茂明, 中西 恒夫, 福田 晃 : 無線環境に適した移動計算機の位置情報管理機構の評価, 情報処理学会第 63 回全国大会, Vol.3, pp. 387-388 (2001).
2. 島田 秀輝, 田頭 茂明, 北須賀 輝明, 中西 恒夫, 福田 晃 : 無線 LAN スポット位置情報を利用したデータ配信システムの構築, 情報処理学会第 65 回全国大会, Vol.3, pp. 245-246 (2003).