

第 XX 部

自動車を含むインターネット 環境の構築

第20部

自動車を含むインターネット環境の構築

第1章 はじめに

自動車は、その走行に必要な駆動系・制御系を司る機器や、オーディオシステムやナビゲーションシステムなどの、人間とのインタフェースとして機能する機器など、多種多様な計算機を装備している。また、走行速度や外気温、ワイパーの動作などの情報は、その自動車の存在位置周辺の状況を示す値となり、いわば、周辺世界の環境を把握するセンサとしての機能も持っている。

インターネット自動車 WG では、これまでに移動体通信技術の開発とその実験環境の構築、他団体と共同による実社会での実証実験への参加活動などを行ってきた。

今年度はこれらの活動に加え、実道上に構築した検証環境におけるシステムの開発や、自動車の持つ情報をういたサービスの提案、複数の IP センサとモバイルルータ (MR) および PoE HUB から構成される車載システムの実装とそれを用いた実験、愛知県で開催された ITS 世界会議における開発技術のデモンストレーションなどの活動を行った。

また、以上の活動のほかに、InternetITS 協議会におけるプローブ情報システムに関する研究や、ISO におけるインターネットと自動車に関連する情報の電子化に関わる標準化活動など、前年度までの研究活動も継続して行った。

インターネット自動車 WG の研究活動はインターネット移動体通信技術を中心に、より実社会のニーズを反映した分野へと広がりを見せている。今後も、本 WG では開発した技術の実社会への反映を考慮し、社会全体の利益に資するような貢献を目指していきたい。

1.1 本年度の活動

本 WG では、移動体通信技術の可用性の検証とフィールド実験環境の構築を進めるため、WIDE 研

究会や合宿での BoF を利用した議論に加え、月に1度の定例ミーティングを開催し、継続的に議論を行った。

これらの議論をもとに、インターネット自動車の研究を進めるためのプラットフォームを構築するために、2004年6月18日～19日と2004年8月9日～11日に合宿を行った。第1回目は、慶應義塾大学 SFC において HA のセキュリティ強化、アプリケーションサーバの移設、鶴見 AP の設定の再確認などを行った。第2回目の合宿では、奈良先端科学技術大学院大学において、MR のバージョンアップ、トンネルサーバのアーキテクチャ検討と実装、車載サーバのセットアップ、GPS センサへの補正測位機能の実装などを行った。これにより、インターネット自動車のアプリケーションを実装・検証するための環境を短期間で構築することができた。

2004年10月に愛知県名古屋市内で開催された第11回 ITS 世界会議では、エキシビジョン会場に設置された慶應義塾大学村井研究室の展示ブースにおいて、インターネット自動車 WG の研究開発の成果の一部を展示した。

また、会期中に行った実証実験は、実環境における移動ネットワーク (NEMO) の検証を目的とし、NEMO を実装した MR を設置したマイクロバスとカメラを搭載したカメラカー3台、計4台の実車両を用意し、これら4つの移動体とエキシビジョン会場を IPv6 で接続したネットワークを構築した。実験の被験者は、マイクロバスと会場の双方で、構築されたネットワーク上で動作する双方向動画配信アプリケーションを体験することができた。

このほかに、インターネット自動車 WG としては、InternetITS 協議会の部会、SWG、SIG などへの参加と議論、技術検証および開発を継続的に行っている。また、標準化に関しても、ISO において広域通信に関わる規格案の標準化を行っている TCS204/WG16 の SWG16.2 (ネットワーク部分に関する標準化) および SWG16.3 (車両情報のデータフレームに関する標準化) の議論に積極的に参加している。

1.2 本報告書の構成

本章に続く第 2 章では、6 月と 8 月に行われた合宿の成果をもとに、インターネット自動車のテストベッドの構築と評価を報告する。

第 3 章では、2004 年 10 月に愛知県で開催された第 11 回 ITS 世界会議の総括を述べ、第 4 章では、その ITS 世界会議の慶應義塾大学展示ブースにおける展示および実証実験として、移動ネットワーク下におけるアプリケーションの動的適応性技術について報告する。

第 5 章からは、モバイルネットワークにおけるインターネット接続性の動的共有に関する研究について述べる。ここでは、複数のモバイルルータ (MR) の接続性に関する情報を、動的に共有するためのシステムを提案している。また、第 6 章では、車両データ辞書モデルにおける車両情報の共有機構を提案した情報集約型車両情報管理ミドルウェアの設計と実装に関する報告を、第 7 章では P2P ネットワークにおける位置関連情報の管理・検索手法の提案と評価に関する研究をまとめる。

第 2 章 インターネット自動車のテストベッドの構築と評価

概要

インターネット自動車プロジェクトは自動車を IPv6 を用いてインターネットにつなげる際の要素技術やその上で動くアプリケーションの開発を行っている。それらの機能を総合的に評価することのできる定常的なテストベッドの構築を行った。主に、

現在整備されているテストベッドとそこで運用されているアプリケーションなどについての説明と報告を行う。数台の実車に Mobile Router を載せ、GPS センサや加速度センサなど、車両の情報を取得できるセンサノードを搭載、Mobile Router に接続した。それらの情報を Web を介して取得できるような環境を構築した。さらに、横浜市鶴見区や名古屋市に数ヶ所のアクセスポイントを設置し、高帯域通信と狭帯域通信の自動切替え環境などの整備も行った。そこで不可欠となる無線 LAN の SSID や WEP 自動設定なども実装した。これらテストベッドが整ったうえでのアプリケーション開発や、通信に関する技術的議論などを今後さらに深めていく予定である。

2.1 はじめに

2.1.1 背景

インターネット自動車プロジェクト [339] (以下、ICAR プロジェクト) は WIDE Project 内において自動車をインターネットにつなげること、さらにはその環境の上で考えられるアプリケーションに関する研究活動を 1996 年から行ってきた。

そこでは、ネットワーク層における移動体通信支援技術や、アプリケーション層におけるプローブ情報システム [356] などの研究活動が行われている。このようにインターネット自動車プロジェクトにおいては、階層の異なる分野における協調が不可欠であるため、分野を越えた活動が必要である。たとえば図 2.1 に示すように、無線技術を取扱い研究する者や、ネットワークに興味を持つ者、自動車ネットワークを前提としたアプリケーションを開発する者などの幅広い人材の結束が重要である。

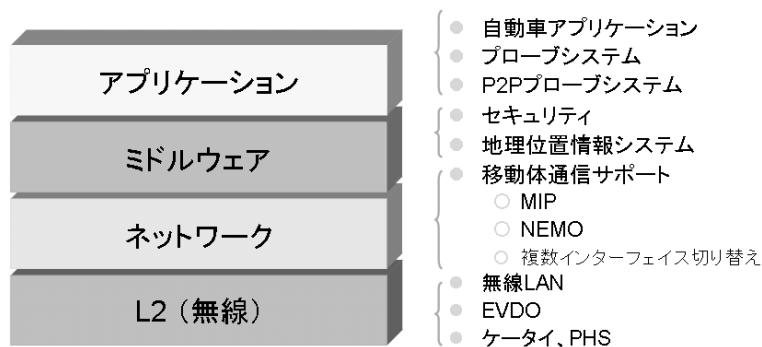


図 2.1. ICAR アーキテクチャ

2.1.2 テストベッド構築の目的

モジュール化されたテストベッドの設計と実装を行い、さらには、定常運用することによってはじめて発見される問題点などの洗い出しを行うため、ICARプロジェクトでは、プロジェクト全体で共有できるテストベッドの構築とその定常的な運用を開始した。

これまでの1996年より始まったインターネット自動車の活動の中で、ICARアーキテクチャの基本的な部分は完成された。今後、各々の機能を個別に精査する必要性が出てきた。それには、定常的に運用されるテストベッドを構築し、その上で評価を行うことが有効である。これにより、ほかの機能との協調やシステム全体の中での性能評価を行うことが可能となる。

2.2 テストベッドの要件

実験に参加する際の障害を取り除くためには、被験者が容易に、かつ、安心して参加できるようなテストベッドを構築する必要がある。そのためには、以下の4つの要件が必要となる。

- **テストベッドのモジュール化**
本テストベッドを今後利用していくにあたって、アプリケーションのバージョンアップや新たなアプリケーションの実装などが考えられる。それらに対応するため、各機能はモジュール化されている必要がある。
- **アプリケーションの評価可能性**
今回作成した機器や機能の性能を測定する。定常的にシステムの測定を行う。この機能を実装することにより、新たに作り込まれたアプリケーションや技術の性能を容易に評価することができる。
- **デモンストレーション効果**
本テストベッドのシステム全体をうまく見せることができるアプリケーションや遠隔地から、デモンストレーションをすることができるようなアプリケーションを構築できるような設計を行う。これは本テストベッドを広く公開しフィードバックを得ることで、テストベッド環境の改良を行うためである。
- **プライバシー保護の説得性**
移動体の情報を利用したアプリケーションを構築しようとした時、その情報に対してのセキュリティの考慮やプライバシーの保護ができるよう

なシステムの構築が必要となる。本テストベッドは、実車に車載ルータなどをのせて運用しているため、被験者のプライバシーを考慮する必要があるからである。

以上の要件を満たしているかどうか評価を行う。

2.3 アプローチ

以上の要件から設計を行う場合、主に以下のような観点を考慮する必要がある。

- **利用しやすいテストベッド環境**
今後、インターネット自動車の普及を考える上で車載機を容易に作成できるよう準備しておく必要がある。そのためには、完成された車載機イメージを作成し、それを利用するためのドキュメント類の整備をする必要がある。
- **評価環境**
帯域の変化やデバイスの変化を考慮したアプリケーションを実装した場合、それを評価できる環境が整備されている必要がある。そのため802.11bによる無線LANデバイスと、PHSや携帯電話といった広域通信デバイスの両方を利用できる環境が必要である。さらに、それらのデバイスを切替える機能を車載機に実装する必要がある。
- **位置情報管理**
移動体情報を利用したアプリケーションを実装する上で、位置情報管理は大変重要となってくる。それは、位置情報をインターネット上で管理する場合、規模性やプライバシーを考慮すべきであるからである。そこで、本テストベッドではアプリケーションが位置情報を容易に利用できるように環境を用意する。

2.4 テストベッド環境の概要

本研究では、鶴見と名古屋の市街に802.11bの無線LANエリアを設置し、将来のインターネット自動車に想定される環境を構築した。これらの実験環境をネットワーク構成、車載システムの概要、Network Mobilityの実装であるSHISAの動作概要に分けて説明する。

2.4.1 ネットワーク構成

IPv6、IPv4混在環境におけるインターネット自動車を想定し、実験環境を構築した。図2.2に示すよう

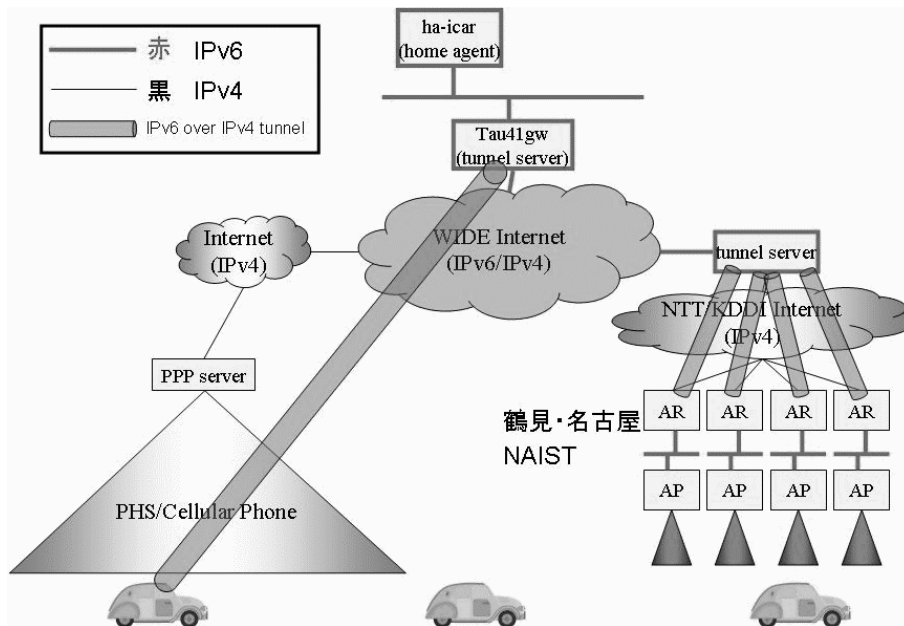


図 2.2. ネットワーク構成図

に、鶴見と名古屋の市街に 802.11b のアクセスポイントを設置し、自動車が直接 IPv6 のネットワークにアクセスできる環境を構築した。鶴見区では、主にシームレスハンドオーバーの実験を行うため、路側に連続的にアクセスポイントを配置した。それに対し、名古屋市では自動車に対するサービスを開発するため、駐車場や自動車整備店、ガソリンスタンドなどに設置した。また、802.11b での接続ができない場所に自動車が移動した際、PHS でのインターネット接続ができるようにした。現状、PHS は IPv4 のネットワークへアクセスされるため、IPv6 over IPv4 トンネルを利用し、IPv6 のネットワークへアクセスできるようにした。

2.4.2 車載システムの概要

インターネット自動車は Network Mobility[59] を実装した Mobile Router を搭載し、ネットワーク間を移動する際の不都合を解決することを想定している。また、自動車には GPS センサ、スピードセンサ、ブレーキセンサ、温度センサ、などのセンサ類が搭載されていて、それらの情報をネットワークへ送信し、交換することによってあらゆる道路の情報をすべてのドライバーが得られるようになって考えている。だれもがあらゆる場所の情報を得られる世界を実現するため、また、想定される世界で実験やアプリケーション開発をするため、本テストベッドにお

いては 7 台の自動車に車載システムを設置した。車載システムの概要として、車載ルータパッケージの内容、Network Mobility の概要、Network Mobility の実装 (SHISA) を説明する。なお、車載ルータは AMD 133 MHz の CPU を搭載し、FreeBSD4.9R が稼働している。

車載システムパッケージ

本システムでは以下の機器を 1 つのシステムとして、手軽に自動車へ設置できるように車載システムパッケージを製作した (図 2.3)。以下に車載システムパッケージの詳細を述べる。

- Mobile Router (MR)
- 802.11b

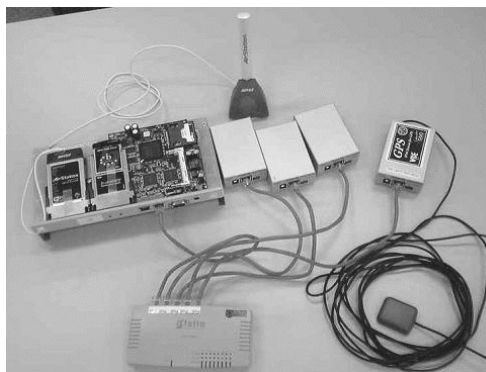


図 2.3. 車載システムパッケージ

- PHS
- IPv6 GPS センサ
- IPv6 温度・湿度センサ
- IPv6 加速度センサ
- IPv6 方位センサ
- Power over Ether ハブ、自動車用電源

Mobile Router、ハブや4つのセンサ類は電源を必要とするため、設置するには6つの電源が必要であった。本システムではPower over Ether ハブを用い、Mobile Router や、センサ類へ電源を供給することによって、1つの電源によってこれらのシステムを動かすことができた。また、電源を自動車のシガーライタから取得できるようにしたため、容易に自動車に設置することが可能となった。

車載ルータの動作概要

車載ルータは802.11bとPHSの2つのネットワークインタフェースを持っている。自動車が移動する時、車載ルータは接続先のアクセスポイントを切り替えながら、車内のネットワークをインターネットに接続している。802.11bのアクセスポイントを変更するため、車載ルータでは802.11bのシグナルを検知し、ESSID、WEPを設定するデーモンが動作している。また、802.11bのシグナルの値が一定値を下回ると、車載ルータはPHSを利用するようになる。

PHSのみが利用できる地域で自動車のエンジンを起動すると、車載ルータへ電源が供給され、車載ルータが起動する。起動時には、PHSの接続(IPv4ア

ドレスの取得) IPv6 over IPv4 トンネルの設定、後述のNetwork MobilityのBi-directional トンネルの確立の順に通信の準備が行われる。また起動時には、802.11bの電波を検索するデーモンが動作している。そのため、利用できる802.11bがある地域で、車載ルータを起動すると、ESSIDやWEPなどを設定し、802.11bを利用できるようになる。

Network Mobilityの動作概要

インターネットは本来、移動しない計算機を前提に構築されているため、移動する計算機がインターネットに接続する際には問題が起こる。たとえば、移動に起因してインターネット上の識別子であるIPアドレスが変化する。そのため、継続中のセッションが遮断されたり、通信相手が特定できなくなったりする。これらの問題を解決するため、Network Mobilityが提案されている。これらの技術は、移動体のインターネット利用環境を向上する上でなくてはならない。

Network Mobilityは次世代インターネット環境における移動体通信技術として標準化に向けてIETFで議論されている。以下に用語の説明を記し、図2.4にNetwork Mobilityを用いた移動透過処理の流れを示す。

- Mobile Router (MR): 移動ネットワークを提供しているルータ
- Home Agent (HA): 移動ネットワークのインターネット上の位置を把握している計算機
- Mobile Network Node(MNN): 移動ネットワーク内のノード

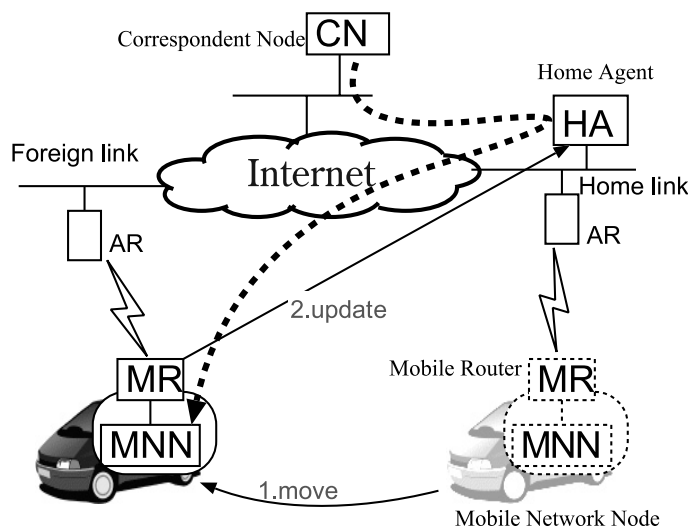


図 2.4. Network Mobility 移動透過処理

- Correspondent Node (CN): 通信相手の計算機
- Care of Address (CoA): 移動先のネットワークで与えられる IP アドレス

Mobile Router (MR) は、常に不変のネットワークである移動ネットワークを Mobile Network Node (MNN) に提供している。MR は異なるリンクへ移動すると移動先のネットワークで取得した Care of Address (CoA) を Home Agent (HA) に通知する。これにより、HA は MR の下にある移動ネットワークのネットワーク上の位置を把握する。その後、その移動ネットワーク宛のパケットを MR に転送することによって移動ネットワークはネットワーク上の移動を実現している。HA はパケット転送を行う際、パケットにヘッダを加えるトンネルという処理を行う。トンネルの処理は MR から HA に転送される際にも行われる。この HA と MR でのヘッダを脱着する処理は Bi-directional トンネルリングと呼ばれる。

SHISA の概要

本システムでは、車載ルータの Network Mobility の実装に SHISA[281] 8 月 10 日 version を用いた。SHISA は WIDE Project で開発されていた SFC-MIP[277] と KAME-MIP[157] の 2 つの Network Mobility の実装を統合したものである。2 つの実装により培われた技術を統合し、より合理的な設計を目標に開発されている。

これまでの 2 つの実装では、Network Mobility の機能はカーネルによって実装されていたが、SHISA はカーネルでの実装を最小限に押し、デーモンとして動作する。これは、Network Mobility の機能と、それ以外の移動の検知やアドレスの取得などの Network Mobility 以外のアルゴリズムを明確に分けることで、プログラムがモジュール化される利点がある。そのため、移動の検知やルータ要請のタイミングの研究をしたい者はその部分だけを改良することが可能となった。Mobile Router 側では、Mobile Router

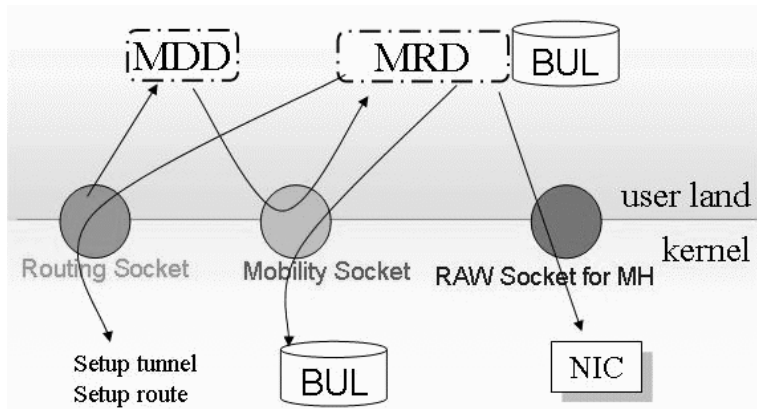


図 2.5. SHISA デーモンの概要 (MR 側)

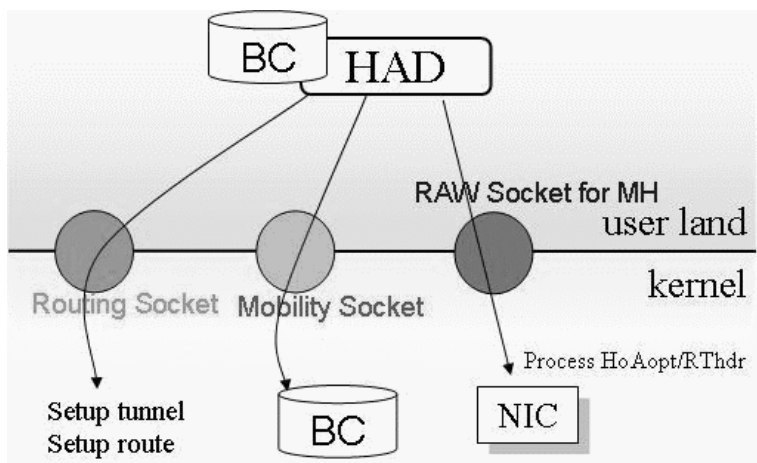


図 2.6. SHISA デーモンの概要 (HA 側)

W I D E P R O J E C T 2 0 0 4 a n n u a l r e p o r t

Daemon (MRD)、Movement Detection Daemon (MDD) の 2 つのデーモンが動作し、MR の機能をはたす。また、Home Agent 側では、Home Agent Daemon (HAD) が動作し、HA の機能をはたす。

MR 側で動作する MRD は Binding Update List (BUL) の管理を行うデーモンである。BUL のライフタイムの期限が切れた時や、ネットワークの移動にともない BUL を変更する必要が生じると、BUL を変更する。カーネル内部に存在する BUL も変更するため、モビリティソケットを用いて、カーネルへと変更を通知する。また、変更を HA に伝えるため Binding Update を行う。また、HA からの Binding Acknowledge を受け取り、MR から HA へのトンネルを確立する。MDD はルーティングソケットを通じて、近隣ノードの変化を検知する。また、検知した情報をモビリティソケットを通じて MRD へと通知する。

HA 側で動作する HAD は Binding Cache (BC) を管理するデーモンである。MR からの Binding Update があつた際、その情報にあわせて BC を更新する。また、Binding Update の情報に応じて MR へのトンネルを確立し、MR のもつ Mobile Network Prefix への経路を設定する。また、MR からの Binding Update が途切れ、ライフタイムの期限が切れた時、対応する BC を削除する。また、モビリティソケットを通じて、カーネル内部の BC へ更新のための通知を行う。

2.5 テストベッド上のアプリケーション

2.5.1 GLI システム

GLI (Geographical Location Information) [292, 369] システムは、インターネット上で移動体の位置

情報を管理する機構として提案されている [108]。本テストベッドでは、前述した Mobile Router に GLI システムの位置登録クライアントを実装している。これは、Mobile Router 内において、IPv6 GPS センサから自車位置情報を取得・特定し、GLI サーバ群に対して車両位置情報の登録を行っている。以下に、GLI システムの概要図 (2.7) を示す。

GLI システムは、インターネット上で移動体の地理位置情報を管理する際に考えうるいくつかの問題点を考慮したシステムとなっている。以下に、その概要を示す。

プライバシー管理

移動体の位置情報をインターネット上から取得できるようになると、自分の位置が容易に他人から発見される恐れがある。そこで、GLI システムでは移動体の識別子として HID (Hashed ID) を利用している。実 ID から HID を生成するための鍵を所持していないと、その HID がどの移動体を表しているのかの判断ができないようになっている。HID は一定時間おきに変化し、HID からトレースされることはない。HID 生成の鍵を所持している場合のみ、実 ID から HID を生成し、比較することで移動体の識別が可能となる。

正引きと逆引き

GLI システムにおいては、移動体の識別子からその位置情報を検索する正引きと、任意の地理位置範囲からそこに存在する移動体の識別子を検索する逆引きをサポートしている。そのために、識別子を鍵にして情報を管理する HID (Hashed ID) サーバと

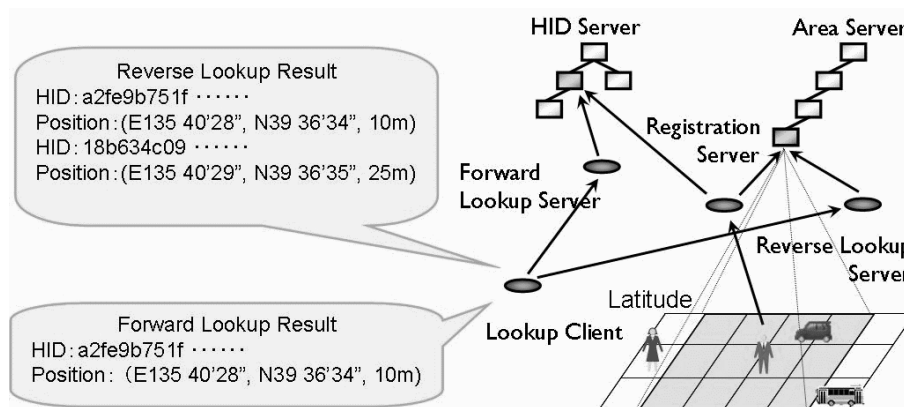


図 2.7. Geographical Location Information システム

位置情報を鍵にしている Area サーバの 2 種類のサーバを運用している。正引きをする際には、HID サーバに識別子から位置情報を問い合わせ、位置を取得する。逆引きを行うときは、Area サーバに地理位置範囲を利用して問い合わせ、その範囲に存在し、かつ登録されているすべての識別子 (HID) を取得することができる。

規模性の確保

地球上に存在する移動体は、自動車だけでも 10 億台という膨大な数であり、それらをインターネット上で統一的に管理するには、規模性を考慮する必要がある。そこで、GLI システムでは HID サーバ、Area サーバそれぞれにおいて分散化を行っている。HID サーバは、HID を鍵にして分散化し、Area サーバにおいては、緯度・経度を鍵にして分散化を行っている。これらの分散化によって、Area サーバは約 8 億台の分散化が可能となる。位置を登録する際に利用する登録サーバはいくつでも設置することが可能であり、検索する際の検索サーバも同じく、設置数はいくつでも構わない。このようなサーバ構成により GLI システムは、規模性を確保している。

GLI システムの動作概要

移動体は登録クライアントを用い、登録サーバに対して自らの実 ID から生成した HID と位置情報を登録する。登録サーバは、移動体の HID から登録すべき HID サーバを選別する。これは、後述する HID サーバの分散化によるものであり、HID ルートサーバから指定された HID サーバとなる。登録サーバは指定された HID サーバに対して、HID と位置情報の対を登録する。それと同時に、登録サーバは Area ルートサーバに登録すべき Area サーバを問い合わせる。指定された Area サーバに対しても、登録サーバは HID と位置情報の対を登録する。

移動体の識別子から位置情報を知りたい時は、正引き検索クライアントを利用する。正引き検索クライアントは検索サーバに対して、HID を指定する。検索サーバは渡された HID から HID ルートサーバに問い合わせるべき HID サーバを問い合わせる。そして、検索クライアントは指定された HID サーバに位置情報を問い合わせ情報を取得する。

逆に、ある位置範囲からそこに存在する移動体を知りたい時は、逆引き検索クライアントを利用する。

逆引き検索クライアントは逆引き検索サーバに対して、任意の位置範囲を送信する。すると、検索サーバは位置情報から Area ルートサーバに対して問い合わせるべき Area サーバを聞く。そして、検索サーバは指定された Area サーバに HID を問い合わせ、情報を取得する。指定された位置が複数の Area サーバに分散化されている場合は複数の Area サーバに問い合わせる必要がある。

本テストベッドに実装されている GLI システムは登録クライアントに車内の GPS センサから位置情報を取得する部分を追加し、20 秒毎に情報を自動的に GLI サーバへ登録するデーモンである。

2.5.2 showlocation

MR パッケージに含まれる GPS センサから取得された位置情報は、図 2.8 のように WEB ブラウザから閲覧できるようになっている。これは、車両の位置情報が GPS センサから取得され、それを地図上に点として表示している。このシステムは、本テストベッドで動作検証をするプログラムの一例である。

外部から車内の GPS センサに対して、SNMP で位置情報を取得し、外部のサーバに保存している。これにより、インターネットにつながっている計算機であればその種類に関わらず、その車の軌跡を見ることができる。さらに、過去の情報も保持しているため、過去の軌跡を閲覧することもできる。

このほかに、本テストベッドに搭載されているセンサ類を利用したプログラムであれば、容易に実験を行うことができる。

2.5.3 MR のネットワーク状態の監視

Smokeping により MR のネットワークの状態を図 2.9 のように監視している。監視しているのは MR までの RTT、パケットロス率である。HA までの状態も把握している。そのため、MR までの経路に問題があった場合、それが MIP による問題であるのか、それとも HA までの経路に問題があるのかといった詳細な動作検証が行える。

本テストベッドを利用したプログラムに何か問題が発見された場合、ネットワークの部分の監視を常に行っているため、その問題がどの部分で発生しているのかを判断することが容易である。

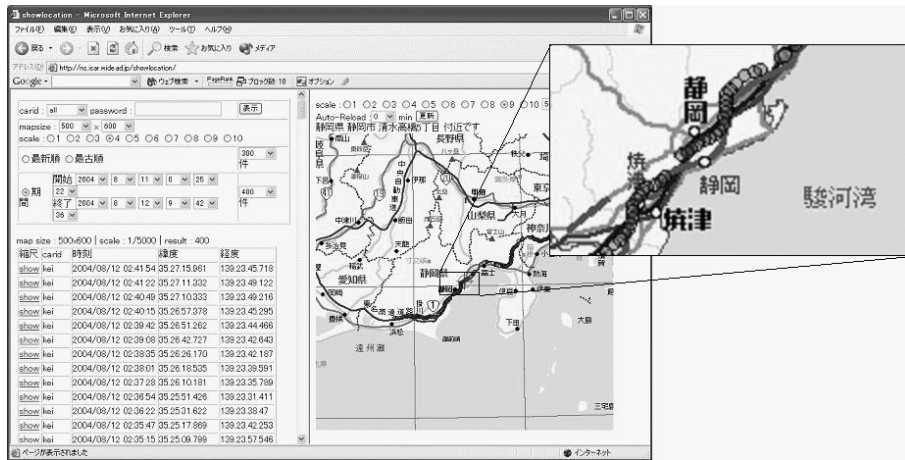


図 2.8. ブラウザによる位置軌跡の閲覧

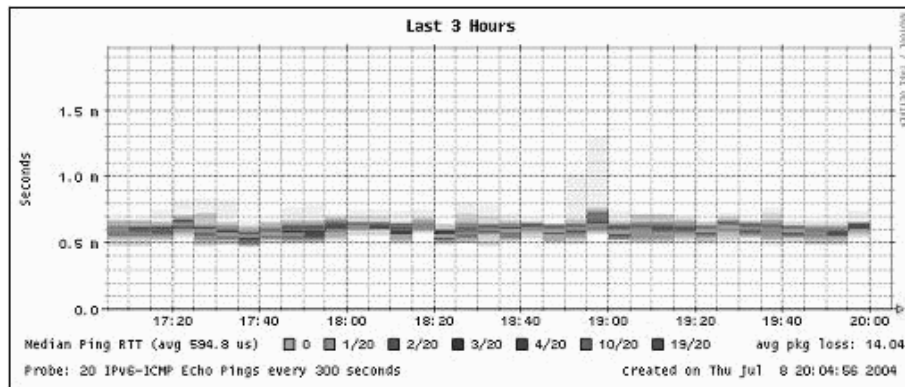


図 2.9. Smokeping

2.5.4 PDA を利用したネットワーク接続性喪失時の対処

本テストベッドでは、いくつかのアプリケーションが実装されているが、それらの中にはネットワークが断絶した場合にその間の情報が抜けてしまうものがある。そうした事態に対処するため、容易に車内に持ち込める機器として PDA を利用した。本テストベッドでは linux-zaurus を利用した。

ネットワークが確立されている時は車外と通信を行い、ネットワークが断絶した時は車外に保存すべき情報を PDA に保存する。そして、ネットワークが回復した時に車外と通信を行い、ネットワークが断絶していた間の情報を補完する。現在は、linux-zaurus で SNMP を実行できるようにし、車内の GPS センサからの情報を保存している。

保存する際には、車両データ辞書に基づいたデータ形式を採用している。車両データ辞書は自動車の情報の保存形式（単位・精度など）を取り決めてお

り、ISO で標準化が進められている。車両データ辞書の形式に基づくことにより、車々間で情報の交換・共有が容易になる。これに関しては、いまだ研究段階である。

2.6 テストベッドの性能測定

本節では、今回作成したテストベッドの性能について述べる。車載ルータの性能を計測し、実証実験を行うための性能を有しているかを検証する。

2.6.1 測定項目と測定環境

本稿では、以下の項目を測定した。(1)、(2) は自動車が走行中、どの程度の期間、インターネットへの通信が可能なのか調べるため車載ルータが起動する時間、Network Mobility の有効になる時間を測定した。また、(3)、(4) では、PHS と無線 LAN でどの程度の品質の通信が行えるかを調べるため、RTT の測定を行った。そのほか、インタフェースの切り

替えにかかる時間を測定し、テストベッドが現状でどのような性能を持っているかを測定した。

1. 車載ルータの OS が起動し、PHS の初期化が行われ、PHS が IPv6 アドレスを取得するまでの時間
2. 車載ルータの OS が起動し、PHS の初期化が行われ、PHS が IPv6 アドレスを取得し、HA に binding を登録するまでの時間
3. PHS での IPv6 over IPv4 トンネルを用いた通信の RTT
4. 802.11b を用いた通信の RTT
5. インタフェースを 802.11b から PHS へと切替える際にかかる時間
6. インタフェースを PHS から 802.11b へと切替える際にかかる時間

(1) を計測するため、PHS に IPv6 アドレスを取得すると車載ルータの側面のライトが点灯する機能を実装した。測定には、起動から、ライトの点灯までの時間を用いた。(2) の計測には、車載ルータの自動車

内のネットワークへのインタフェースに ICMPv6 パケットを送り、返答があるまでの時間を計測する方法を用いた(図 2.10)。以上の実験は 5 回ずつ行い測定の結果を算出した。(3)、(4) の計測には、ICMPv6 のパケットによる RTT の計測を行い、100 パケットの平均を算出した。(5) は、802.11b で通信を行っている際、アクセスポイントの電源を落とすことで起こるパケットロスを実験した。測定方法には ping6 を用いた。(6) は、PHS で通信を行っている際、802.11b のアクセスポイントに電源を入れることで起こるパケットロスを計測した。その際、通信不能時間が 1 秒未満であったため ping6 の間隔を 0.1 秒に縮めて計測を行った。

2.6.2 測定結果

測定は表 2.1 のような結果を得た。(1)、(2) より、車載ルータの起動にかかる時間は、自動車を運転する時間の長さを考慮すると問題にならないと考えられる。(3)、(4) では、PHS と 802.11b の RTT の差

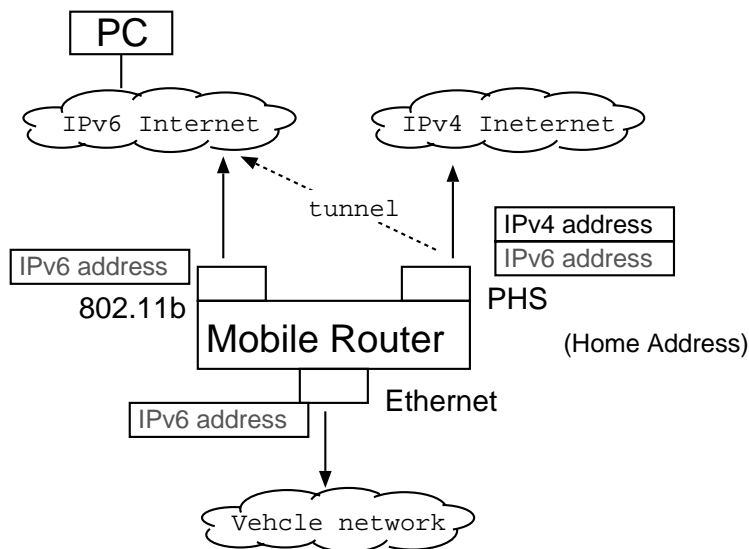


図 2.10. 実験環境

表 2.1. 評価結果

評価項目	測定結果
(1)MR 起動から PHS の IPv6 アドレス取得までの時間	129000 ms
(2)MR 起動から NEMO が機能するまでの時間	141000 ms
(3)PHS を用いた通信の RTT	489 ms
(4)802.11b を用いた通信の RTT	10 ms
(5)802.11b から PHS への切替える際の通信不能時間	9770 ms
(6)PHS から 802.11b への切替える際の通信不能時間	400 ms

が大きく出たが、これらの特性は将来インターネット自動車普及した時にも、同様に起こる現象と考えられるため、テストベッドを構築した目的は達成されている。(5)では、インタフェース切り替えにかかる時間がほとんどないことを確認した。(6)では、802.11bからPHSへとインタフェース切り替えにかかる時間はこれからの改良によって短縮すべき目標と考える。

2.7 評価

2.7.1 発展性

常時利用可能なテストベッドを構築したことによって、今後インターネット自動車の開発者は各モジュールだけを改良していくことが可能となった。たとえば、無線切り替えを研究しようという者は、無線切り替えモジュールを変更すればよい。これまでのように、無線切り替え実験のための実験環境を別途用意する必要がなくなった。今後、Network Mobility、MANET、GLIやその他のインターネット自動車に関わる技術を改良していく上で、基盤となるテストベッドが完成したことで、いっそうの発展性が期待できる。

2.7.2 性能計測環境の整備

これまで、新たにインターネット自動車用のアプリケーションを開発したい者にとって、実験をする環境がなかった。これは、性能測定やデバッグなど、アプリケーションを精査していく上で非常に問題となっていた。アプリケーション開発者は今回、常時利用可能なテストベッドを構築したことによって、実世界に即したアプリケーション開発が可能となった。これにより、いっそう質の良いインターネット自動車アプリケーションの開発が期待できる。

2.7.3 デモンストレーション効果

個人が所有する自動車に設置した機器によって、テストベッドが構築されていることにより、インターネット自動車を実現可能な研究であるとアピールできる。法律的問題、電源による問題、振動による問題、IPv6が未普及な問題など、ひと通りの問題をクリアして、テストベッドを運用していることで、研究の未来に説得力を持たせる効果がある。

2.7.4 セキュリティ・プライバシー

実世界でのテストベッドを運用することで、開発者はセキュリティやプライバシーの問題を考慮した開発を行う必要がある。これらの問題は、しばしば利用者の利便性とのトレードオフを考慮する必要がある。トレードオフのバランスは定義が難しい問題であるが、実世界でテストベッドを運用することによって、セキュリティやプライバシーを考慮したアプリケーションを開発することができた。

2.8 まとめ

インターネット自動車プロジェクトは自動車をIPv6を用いてインターネットにつなげる際の要素技術やその上で動くアプリケーションの開発を行った。それらの機能を総合的に評価することのできる定常的なテストベッドの構築を行った。主に、現在整備されているテストベッドとそこで運用されているアプリケーションなどに関して説明した。数台の実車にMobile Routerを載せ、GPSセンサや加速度センサなど、車両の情報を取得できるセンサノードを搭載し、Mobile Routerに接続した。それらの情報をWebを介して取得できるような環境を構築した。さらに、横浜市鶴見区や名古屋市に数ヶ所のアクセスポイントを設置し、広帯域通信と狭帯域通信の自動切替え環境などの整備も行った。そこで不可欠となる無線LANのESSIDやWEP自動設定なども実装した。

今回構築したテストベッドを利用することで、今後さらなるインターネット自動車のネットワークを構築する活動を促進できる。それは、これまで定常運用されている実車を利用したインターネット自動車テストベッド環境が存在しておらず、実際の利用をした上で見つかる不具合があった部分を本テストベッドを利用することにより低減できると考えるからである。ICARプロジェクトにおいては、本テストベッドが整ったうえでのアプリケーション開発や、通信に関する技術的議論などを今後さらに深めていく予定である。

第 3 章 ITS 世界会議 2004 名古屋における実証実験概要

3.1 ITS 世界会議 2004 名古屋概要

ITS 世界会議は、1997 年から年に 1 回開催されている ITS (高度交通情報システム、Intelligent Transport Systems) 業界で最大の国際会議である。ITS AMERICA、ERTICO (ITS ヨーロッパ)、ITS JAPAN が中心となって運営しており、欧州、米国、アジア・パシフィックの 3 ヶ所で順番に開催されている。2004 年は、ITS JAPAN がチェアとなり、名古屋で開催された。

会議は大きく分けて、セッション、エキシビション、テクニカルツアーの 3 つに分かれている。セッションは、カンファレンス形式で行われ、先進技術発表からシステムの運用、法制度に関するものまで、1 枠 90 分で各国・各企業の ITS に関する取り組み事例などを挙げながら幅広いテーマについて発表・議論が行われる。

エキシビションは、併設される展示会場において各国の ITS に関する取り組みや自動車メーカー、自動車部品メーカー、車載機器メーカーなどの製品やビジョンに関する展示が行われている。

テクニカルツアーは、会場近郊にある ITS 関連施設や企業などを訪れ、実際のシステムの見学や、運用管理者とのディスカッションを行う。

WIDE Project ICAR WG は、エキシビション会場に設置された慶應義塾大学ブース村井研究室エリアにおいて、実環境における移動ネットワーク技術の検証のため、実車両を用いた実証実験を行った。

実証実験では、移動体ネットワーク技術を実装したモバイルルータを設置したマイクロバスとカメラを搭載したカメラカーを準備した。これら 4 つの移動体とエキシビション会場を IPv6 で接続し、被験者はマイクロバス、もしくはエキシビション会場にて移動体ネットワーク技術を利用した双方向動画配信アプリケーションを体験することが可能であった。以下に、その詳細を述べる。

3.2 実環境における移動ネットワーク技術の検証

インターネットにおける移動ネットワーク技術 (Network Mobility、NEMO) は、標準化へ向けた議

論も終わり、編集作業を待つ状態となっている。多くの計算機を有する移動体をインターネットに接続するための技術として提案された Mobile IPv6 (MIP6) の拡張プロトコルである。MIP6 では、1 台の計算機の移動しか実現することができなかったが、NEMO では、1 台のルータがサブネットワークの移動を隠蔽することを可能としている。このため、自動車などの比較的大きな移動体における利用に期待が寄せられている。

しかし、NEMO は適応範囲を広げるために多様性の高いプロトコルとして設計されているため、仕様に準拠していても相互接続性がない場合がある。たとえば、HA が移動ネットワークのネットワークアドレスを知る方式として、移動ルータ (MR) が移動ネットワークのネットワークアドレスを明示的に HA に伝える Explicit mode と、ホームアドレスだけを伝えて HA は自身が保持しているデータベースからネットワークアドレスを検索して利用する Implicit mode がある。NEMO を正しく動作させるためには HA と MR の間で同じモードを利用している必要がある。

そのため、実証実験において、NEMO の実用化の要件を洗い出し、システムの細部を注意深く設計し、具体的な ITS アプリケーションを動作させることで、NEMO が自動車環境で利用可能であることを検証した。

3.3 NEMO 実用化の要件

NEMO を実用化するためには、実運用を考慮したシステム設計が必要となる。前節で述べたとおり、NEMO の仕様は多様性を持っており、実際に運用するためには運用仕様を定める必要がある。定めるべき運用仕様は大きく次の 2 つの要件を持つ。

- NEMO が持つ多様性の排除
- システムの中での協調性の向上

前者は、相互接続性の欠如につながる NEMO の多様性を排除するため、NEMO のプロトコルの複数の選択肢がある部分について取捨選択を行うものである。後者は、NEMO が実際のシステムの中で利用されるにあたり、アプリケーションを効率良く動作させるためにほかのモジュールとの間で必要となるインタフェースを明確にし、その仕様を決めるものである。

3.4 想定する ITS アプリケーション

NEMO 実用化の要件の詳細項目を検討するにあたり、具体的なアプリケーションを想定しておく必要がある。今回は ITS アプリケーションを対象とすることとし、具体的には以下のアプリケーションを実現する。

- 双方向動画画像通信
- 遠隔カメラ画像配信
- センサ情報配信

3.5 本検証の運用仕様と検証項目

本節では、NEMO 実用化の要件をもとに、本稿で検証すべき項目を明らかにする。

3.5.1 NEMO の仕様に関する運用仕様

現在の NEMO の仕様を持つ相互接続性の欠如につながる多様性と今回の実験で選択した運用仕様について、理由を添えて以下にまとめる。

移動ネットワークアドレスの通知方法

移動ネットワークのアドレスを通知する方式として Explicit mode と Implicit mode がある。今回は MR と HA の設定が確実に同じであることを保証するために Explicit mode を使うこととした。

ホームアドレスの割り当て方法

ホームアドレスを割り当てる方法として、MR の移動ネットワーク側のアドレスを利用する方法と、別にホームアドレスを割り当てる方法がある。今回は、NEMO だけではなく MIPv6 も同じ HA で運用することを想定して後者の方法をとることとした。

セキュリティ

NEMO 仕様では HA-MR 認証の為に IPSec を利用することとなっている。しかし、今回は実験ネットワークに閉じた運用となるため IP でのセキュリティレベルはそれほど高くなくても良いと判断し、IPSec は利用しないものとした。

HA 発見手法

NEMO では HA の発見手法として動的 HA 発見機構 (Dynamic HA Address Detection, DHAAD) の利用を推奨している。今回は HA の発見手法としてこの機構を用いるものとした。

複数外部接続インタフェースの利用手法

複数の外部接続インタフェースを利用可能な場合、すべてを同時に利用する (ポリシーで利用インタフェースを決定する) 方法と、同時にはたかだか 1 つのインタフェースしか利用しない方法がある。今回は前者を利用するものとした。

3.5.2 アプリケーションとの協調性に関する運用仕様

実運用を考慮した場合、移動体通信では通信の質が頻繁に、大きく変化するため、アプリケーションがこれに追従できるしくみが必要となる。今回は、NEMO は独立してネットワーク移動をするものとし、その変化をアプリケーションに素早く伝えるしくみを構築する。具体的には、自動車内で動作するアプリケーションに対しては MR から、インターネット上のアプリケーションに対しては HA 側からネットワーク接続性の変化を通知するしくみを構築した。

3.5.3 検証項目

実証実験においては、前項までに挙げた仕様を中心として、主に下記の事項について評価を行った。

- 想定したアプリケーションでの可用性
- 仕様に基づく相互接続性

3.6 実験概要

3.6.1 実験シナリオ

前節までに述べたアプリケーションと検証項目を考慮して、今回の検証では次のような実験シナリオとした。

- 自動車は広域通信メディアと狭域通信メディアをもち、これを切り替えながら通信する。
- 移動体としてバス 1 台、カメラカー 3 台を用意する。
- 移動しないサイト (会場) とバスの間で双方向の動画配信を行う。双方向なので遅延を極力小さくする必要がある。
- カメラカーからバスおよび会場へ動画配信を行う。片方向なので多少の遅延は許容できる。
- 移動体は位置、気温、湿度、進行方向、加速度などの情報を提供するサーバを持ち、会場およびほかの移動体に情報を提供することができる。

3.6.2 システム構成

今回の検証システムのシステム構成を図 3.1 に示

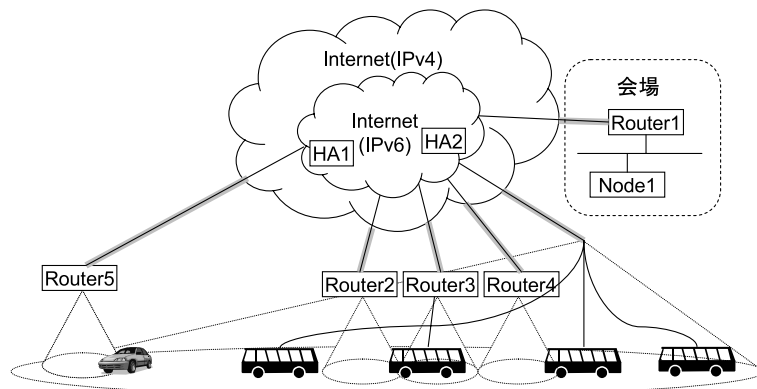


図 3.1. システム構成

す。図が示すように、システムはIPv6を利用して構成されているが、IPv4しか利用できない部分はIPv6 over IPv4トンネルを利用している。システムでは2台のHAがIPv6ネイティブネットワーク上に設置されており、バスやカメラカー上のMRの支援を行っている。MRは携帯電話(CDMA-EVDO)および無線LAN通信装置を搭載しており、外部接続デバイスとして利用している。それぞれの無線LANセグメントはルータを介して敷設されており、別のセグメントとして構成されている。

このため、隣接する無線LANセグメント内の移動でも移動を隠蔽するためには、MIPまたはNEMOの支援が必要となる。

本検証システムは、2つの異なったNEMO実装を使用して構成した。片方はNetBSD上で動作するもの、もう片方はLinux上で動作するものであった。

3.7 実証実験結果と考察

実証実験は、前述のようにITS世界会議でのデモンストレーションとして行った。世界会議の慶応ブースに会場設備を設置し、1台のマイクロバスと3台のカメラカー、計4台の自動車との間で通信実験を行った。また、マイクロバスは決められた経路を周回し、会場およびカメラカーとの間で通信を行った。バスの経路は一周約40分ほどであった。

今回の実験では大きな問題は発生せず、大局的には異なる実装間での相互接続性が確認された。カメラカーおよびバスのMRを入れ換えながらさまざまな組合せで実験をした結果、すべての組合せで相互接続性が確認できた。また、MR-HAの組み合わせ変更でも問題なく動作した。

今回の実験の中で、いくつか検討すべきことが明ら

かになった。まず、MR-HAの組み合わせを交換するため設定変更を行ったが、設定情報がMRやHAに分散されているため、変更に手間がかかることが明らかになった。セキュリティ情報なども含めてより容易に管理が可能なシステムが必要である。

次に、HAの発見手法であるが、MRがネットワークに接続されていないような状況や不安定なネットワークに接続された状況で起動されると、HAの発見に長い時間を要することがわかった。安定した運用を行うためには再送パラメータの調整やDHAAD以外の方法(静的設定)などを検討する必要がある。複数インタフェースの利用では、とくに高帯域な通信メディアから低帯域の通信メディアに移る際に、アプリケーションへの通知のタイミングと実際の経路の変化のタイミングに細心の注意をすることがわかった。また、今回はアプリケーションが動作するノードが決まっていたため、設定ファイルにてMRのインタフェースの利用状況を通知する先を設定していた。この方法は拡張性に欠けるため、今後、ほかの方式に変更する必要がある。

3.8 結論

インターネットITSなどでの利用が想定されるインターネットネットワークモビリティ技術(NEMO)を複数実装し、その性能やインターオペラビリティなどの項目を実際の自動車を用いて検証した。検証実験では3台のカメラを搭載した自動車と1台のデモバス、デモ会場をIPv6のネットワークで接続し、ストリームアプリケーションの利用を試みた。自動車では無線LANとCDMA-EVDOを用い、無線LANが利用できる範囲では無線LANを、それ以外の場所ではCDMA-EVDOを用いるようなくみを実

現した。実証実験はおおむね良好に動作した。一方でこれらの技術を展開するときの問題が浮き彫りになった。

第4章 移動ネットワーク環境下でのアプリケーションの動的適応性

4.1 はじめに

移動ネットワークとは、そのネットワークに所属する移動ルータによって移動透過性が保証されるサブネットである。移動ルータは、移動透過性を実現するための機能を代表して実施するため、個々のノード自身は移動を意識することなくインターネットに接続できる [79]。移動ネットワークを実現する技術は、Mobile IP[245] の Host Mobility に対して Network Mobility (NEMO) と呼ばれ、パーソナルエリアネットワークや自動車、飛行機などへの応用が検討されている [81]。

移動ルータは、複数の通信インタフェースを搭載し、それらを切り替えまたは同時利用するため、通信環境が動的に変化する。たとえば、自動車に搭載される移動ルータの場合、駐車場やガソリンスタンドでは無線 LAN を使用し、道路走行中は携帯電話を使用することが想定される。一般に、無線 LAN は高帯域低遅延な狭域通信網であり、携帯電話は低帯域高遅延な広域通信網であるため、その通信環境は大きく異なる。しかし、現状では、アプリケーションが携帯電話の限られた帯域に合わせて設定されていたり、通常の輻輳制御ではこのような通信環境の変化に追従できないため通信が非効率になっている、という問題がある。

本研究の目的は、移動ルータの通信環境状態を移動ネットワーク上のノードまたはその通信相手と共有することで、アプリケーションの振る舞いを状況に応じて変えることである。本研究では、これを、アプリケーションの動的適応性と定義する。アプリケーションが動的適応性を備えることにより、帯域の有効利用やより効率的な輻輳制御への応用が可能となる。

本研究では、移動ルータ上の各通信インタフェースに ID を割り当て、現在利用可能な通信インタフェースの ID を移動ネットワークまた移動ネットワーク

の通信相手に通知する機構を構築する。また、受信した ID に応じて、配信品質を動的に変化するビデオ会議システムを構築し、本研究で提案する手法の評価を行う。

なお、本研究は、KDDI 株式会社、株式会社 KDDI 研究所、京セラ株式会社、株式会社トヨタ IT 開発センターとの共同研究である。本研究で構築するシステムは、第 11 回 ITS 世界会議名古屋 [357]、慶應義塾大学ブースにてデモ展示を行った。

4.2 アプローチ

本研究における、アプリケーションの動的適応性とは、1) 移動ルータの通信環境状態を移動ネットワーク上のノードまたその通信相手と共有する機構、2) 移動ルータの通信環境状態に応じて振る舞いを変えるアプリケーションの 2 点によって実現される。

1) について：一般に、移動ルータを介した通信は、移動ルータが使用している通信インタフェースがボトルネックになっている。そのため、移動ルータを介した通信の品質は、移動ルータが使用している通信インタフェースが大きな決定要因になっている。そこで、本研究では、移動ルータを介した通信の終端同士で、移動ルータがどの通信インタフェースを利用しているかを共有する枠組を構築する。

Mobile IPv6 の拡張仕様として、移動ノード上の各通信インタフェースに Binding ID (BID) を割り当て、現在利用可能な BID を Binding Update (BU) に含め、通信相手に通知する機構が提案されている [316]。通信相手は、移動ノードが利用している通信インタフェースを検知できるため、アプリケーションの動的適応性に応用できる。

本研究では、同様のアプローチを NEMO に適用したシステムを提案する。移動ルータ上の各通信インタフェースに BID を割り当て、現在利用可能な通信インタフェースの BID を移動ネットワークまた移動ネットワークの通信相手に通知する。

2) について：BID は単なる識別子であるため、それ自体には通信インタフェースの種類や特徴などの情報を含んでいない。本来なら、BID の意味することを移動ルータに問い合わせるようなしくみが必要であるが、本稿では対象外とする。したがって、アプリケーションの振る舞いは、BID に対応する形で定義される。

4.3 設計

本研究では、IETF で標準化が行われている NEMO Basic Support[60] を拡張し、システムを設計する。図 4.1 に、本研究で提案する BID 通知機構の概要を表す。

1. 移動ルータ (MR) が新しく Care of Address (CoA) を取得すると移動検知の処理が行われ、Home Agent (HA) に CoA が検知されたインタフェースに対応する BID を含む BU を送信する。2. BU が正しく処理されると、HA は Binding Acknowledgment (BA) を MR に送信する。3. この際に、HA は Correspondent Node (CN) に対して検知された BID の通知を行う。4. BA を受信した MR は、Binding が正しく処理されたと判断し、該当する BID を移動ネットワークに所属するノード (MNN) に対して通知する。5. BID を受け取ったノード (CN、MNN) の

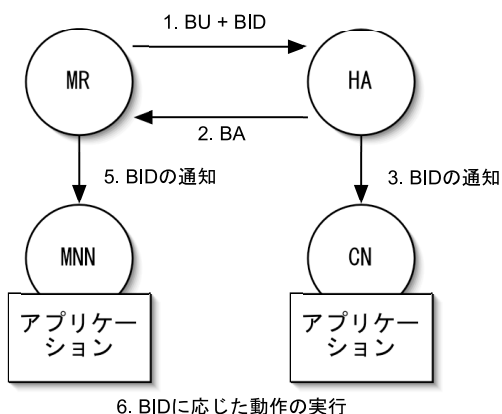


図 4.1. BID 通知機構概要

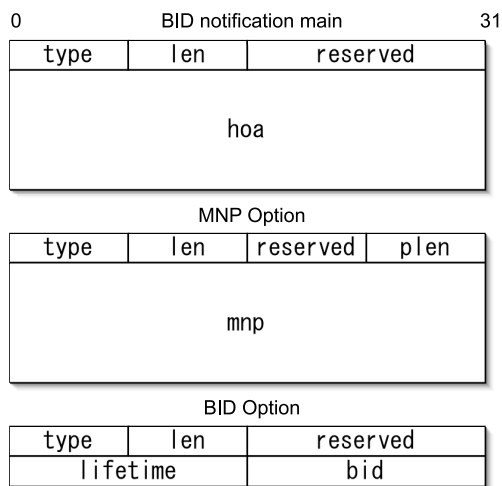


図 4.2. BID 通知機構パケットフォーマット

アプリケーションは、BID に応じた動作を実行する。

BID の通知は、BID に対応する Binding が有効になり次第、迅速に通知されるべきである。Binding が有効になったと判断できるタイミングは MR と HA で異なり、MR は BA の受信後、HA は BA を送信後である。NEMO では MR と HA 間の双方向トンネルを必ず経由する通信になるため、一般的に、MNN は MR に近接し、CN は HA に近接していると考えられる。また、MR の外部接続性は不安定かつ遅延の大きな無線リンクであるため、MR から CN に通知する場合、信頼性や即時性に欠けることが懸念される。したがって、一般的に HA は CN を意識しないが、本機構では MR から MNN、HA から CN に BID を通知することとする。

BID を MNN および CN に通知するメッセージは UDP/IPv6 を使用し、移動ルータの HoA、移動ネットワークのプレフィックス、BID を含める。図 4.2 に、そのパケットフォーマットを示す。

BID 通知メッセージは、本体部 (BID notification main) および、MNP option、BID option で構成される。本体部には、メッセージの種類を識別するための type、パケット全体の長さを示す len、どの MR に関する通知かを識別するために HoA を hoa に格納する。MNP option には、メッセージの種類を識別するための type、パケット全体の長さを示す len、移動ネットワークのプレフィックス長を示す plen、どの移動ネットワークに関する通知かを識別するための移動ネットワークのプレフィックス (MNP: Mobile Network Prefix) を mnp に格納する。また、BID option には、メッセージの種類を識別するための type、パケット全体の長さを示す len、通知する BID のライフタイムを示す lifetime、該当する BID を bid に格納する。なお、移動ルータが複数の通信インタフェースを同時に利用可能な場合は、複数の BID option を含める。

4.4 実装・評価

移動ルータに EVDO および無線 LAN を搭載し、移動ネットワークを構築した。KAME Project で公開されている NEMO 実装 (SHISA [281]) を拡張し、本システムの実装を行った。SHISA では、モビリティソケットと呼ばれるインタフェースを利用することにより、Binding の追加 / 変更 / 削除の情報を得ることができる。BID 通知アプリケーションは、こ

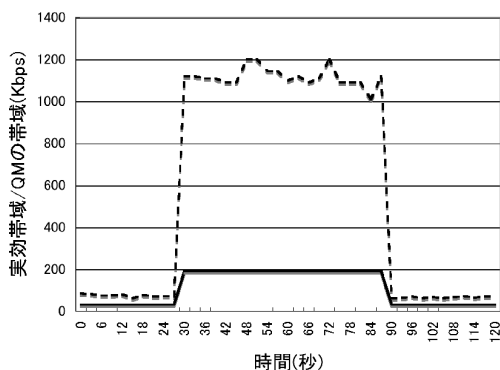


図 4.3. 実効帯域および QM の通信帯域

の枠組を利用し、Binding の変化を監視した。BID 通知先は、MR および HA で、あらかじめ設定しておく。

SHISA では、移動検知デーモンが通信インタフェースを監視し、CoA の取得または解放を、モビリティソケットを介してほかの SHISA デーモンに通知する。この移動検知デーモンに通信インタフェースと BID の対応を持たせることにより、CoA に該当する BID も同時に通知することを可能にした。

ビデオ会議アプリケーションとして、Quality Meeting (QM) [161] を利用した。あらかじめ EVDO 用と無線 LAN 用の設定ファイルを用意しておき、異なる BID が通知された際にアプリケーションを再起動し、通知された BID に対応した設定ファイルを読み込むようにした。設定は、EVDO 使用時：32 Kbps、無線 LAN 使用時：192 Kbps という内容である。

図 4.3 に、EVDO から無線 LAN、無線 LAN から EVDO に切り替わる際の、MNN から CN 向けの実効帯域 (図中、破線) および QM の帯域 (実線) の変化を示す。インタフェースを切り替えた際に、QM の通信帯域が変化し、実効帯域に応じた通信が行われていることが確認できる。また、主観的にも、無線 LAN のエリアでは、EVDO 使用時に比べ、動画や音声の品質が大幅に向上することが確認できた。

4.5 まとめ

本研究では、移動ルータの通信環境状態を共有するために、移動ルータ上の通信インタフェースに ID を割当て、現在利用可能な通信インタフェースの ID を移動ネットワーク上のノードおよびその通信相手に通知する機構を構築した。また、受信した ID に応じて、配信品質を動的に変化させるビデオ会議システムを構築し、評価を行った。結果、通信環境への動的適応性が有効であることが確認できた。

第 5 章 Mobile Network におけるインターネット接続性の動的共有に関する研究

abstract

移動する計算機が増えるにしたがい、Mobile IPv6 や Network Mobility (NEMO) などの移動体通信技術の必要性が高まってきた。特に ITS の分野では、自動車に搭載されている機器を移動する計算機群ととらえ、通信を行う需要が高まっている。

移動体計算機群では、インターネット接続性を持つ計算機と持たない計算機が混在する。現状では、これらの計算機は、Mobile Router (MR) と呼ばれる 1 台のルータを経由してインターネットに接続される。そのため、移動計算機群の通信は 1 台の計算機の持つ接続性に依存したものとなる。

本研究においては、たとえば、PDA や携帯電話など移動ネットワーク内においてインターネット接続性を持つ計算機を MR として動作させる。複数の MR を同時に利用することで接続環境の安定性を向上したり、利用できる帯域を増大する。

これらを実現するため、複数 MR の接続性情報を動的に情報交換、協調して動作するモデルを提案した。その後、モデルにしたがいシステムの設計と実装を行い、実験環境にて実装の評価を行った。

本研究の結果、移動体計算機群において複数のインターネット接続を同時に利用できることを実証した。またユーザのポリシーに応じた接続経路の使い分け、および経路多重化による通信帯域の増加を実証した。本研究により、移動ネットワークに持ち込まれた複数のインターネット接続を有効に利用することが可能になった。

5.1 研究背景

ITS 分野 [338] で注目が集まっているインターネット自動車 [339] は移動する計算機群であり、インターネット自動車のアーキテクチャにおいては NEMO [223] が前提となっている [360]。NEMO 機能を持つルータを Mobile Router (MR) といい、MR を車内に搭載することが想定されている。

NEMO 基本サポート [60] はその仕様上、車内の計算機は 1 台の MR を経由してインターネットに接続

される。そのため、車内にインターネット接続性を持つ計算機が複数搭載されている場合においても、安定性の向上や帯域の増大は達成できない。移動ネットワークに複数の MR を設置し、状況に応じて接続性を使い分けることができれば、安定性の向上と帯域の増大を達成できる。しかし、現状の NEMO においてはそのようなしくみは存在しない。

5.2 本研究の目的

今後の自動車では、多数の計算機が搭載され、インターネットへの接続性を持った計算機によってネットワークに接続されたインターネット自動車となる。

本研究は、移動計算機群にインターネット接続性を持つ計算機が追加された場合に、その接続性をほかの計算機でも利用できるしくみを提案する。また、移動計算機群において複数の接続性がある時、トラフィックを分散することができるようにする。

本研究では複数計算機の持つ接続性を有効に利用するため、複数 MR が協調して動作するモデルを提案する。そして、本研究はそのモデルを実現するために生じる技術的な問題を整理し、解決方法を示す。また、解決方法に基づいたシステムの設計・実装を行い、その有用性を示すため、評価を行う。

本システムによって、移動計算機は安定した、広帯域の通信を行うことが可能となる。

5.3 本研究の位置付け

IETF NEMO WG において単一 Mobile Router (MR)、単一 Home Agent (HA)、単一 Mobile Network prefix (MNP) を想定している NEMO 基本サポートとは別に、複数 MR、複数 HA、複数 MNP を想定する Multihoming が NEMO 拡張サポート

表 5.1. Multihoming の形態

- A. (n, 1, 1) : 複数 MR、単一 HA、単一 MNP
- B. (n, n, 1) : 複数 MR、複数 HA、単一 MNP
- C. (n, 1, n) : 複数 MR、単一 HA、複数 MNP
- D. (n, n, n) : 複数 MR、複数 HA、複数 MNP

として議論されている。Multihoming が目指す利点は draft-ernst-generic-goals-and-benefits-00[84] に述べられている。Multihoming の利点を要約すると以下の通りである。

- 常時接続性の向上
- 通信の安定性の向上
- 通信の負荷分散
- 複数経路通信 (Bi-casting)
- 経路選択の可能化
- 通信の帯域の増大

また、draft-ietf-nemo-multihoming-issues-01[228] において、NEMO における Multihoming の分析が行われている。文献 [228] では、Multihoming を MR、HA、MNP が単一であるか複数であるかによって分類し、8 通りの Multihoming の形態を定義している。さらに、文献 [228] では、上述した 8 通りの形態で発生する問題を 13 通りに分類し、NEMO 環境における Multihoming の問題を整理している。文献 [228] に示される Multihoming の定義を用いると、表 5.1 で示す 4 通りの複数 MR があるが、本研究のターゲットはタイプ A に絞る。

5.3.1 要求事項

本研究における要求事項を表 5.2 に整理した。本研究では [228] に示された 13 個の問題のうち 6 つの Multihoming の問題点を解決し、これらの要求事項を満たす複数 MR モデルを提案する。

表 5.2. 要求事項のまとめ

要求の由来	要求事項
前提となる要求	移動体通信をサポートすること
	エンドノードに移動体通信機能を追加しないこと
Multihoming の問題点に基づく要求 (文献 [228] に示される問題点のうちの 6 つ)	残存トンネルを利用し、経路変更は上位の層に透過的であること
	利用するトンネルを選択できること
	ほかの計算機の接続性を用いて Binding を通知できること
	各 MR が同じ決定にしたがって動作すること
	複数の Binding を登録できること
今後の移動体通信環境に基づく要求	Mobile Network の分割の処理を考慮すること
	計算機の持つ接続性の管理を動的に行うこと
	エンドノードに複数接続性の共有機能を必要としないこと

5.4 アプローチ

本研究は Multiple Care of Address registration (複数 CoA 登録)[317] に仮想インタフェースモデルと MR 間の動的な情報共有モデルを導入した形で目的を達成する。本研究では、これらのモデルを導入し複数 MR を同時利用可能とするしくみを Multiple Mobile Router Management (MMRM) として提案する。

5.4.1 複数 CoA 登録

本研究の目的である複数ノードのもつ接続性を共有するため、単一の MNP に対して複数の CoA を HA に登録するしくみが必要である。複数 CoA 登録のしくみは、これを満たしている。したがって、本研究において新しく複数 CoA 登録のしくみを定義することは技術の重複にあたり望ましくない。よって、本研究において複数 CoA 登録のしくみを利用し、拡張することで本研究の目的を達成する。

5.4.2 仮想インタフェース追加モデル

本研究は方針として、エンドノードに追加機能が必要としないため、Mobile Network に1つのデフォルトゲートウェイを設置することとした。そのため、図 5.1 に示すモデルを採用する。

Mobile Network に持ち込まれた計算機は、MR の仮想インタフェースとして加わる。これによって Mobile Network にデフォルトゲートウェイを1つ設置し、複数接続性を利用できる

5.4.3 MR 間の動的な情報共有モデル

複数 CoA 登録は単一の MR を想定しているため、複数 MR に応用すると問題が発生する。これは、複数 MR 間の情報交換が欠如しているためである。そのため、要求事項のうち「各 MR が同じ決定にしたがって動作すること」、「計算機のもつ接続性の管理を動的に行うこと」、「ほかの計算機の接続性を用いて Binding を通知できること」が満たせない。

本研究では MR 間の動的な情報共有を行うことで、これらの要求事項を満たす。各 MR は移動ネットワーク側のインタフェースを用いて情報共有を行う。各 MR の Binding 情報や、Binding Update を代行するためのメッセージなどを交換する必要がある。

5.5 設計

まず、本研究で新たに定義した用語について説明を行う。

- Primary Mobile Router (PMR)

Mobile Network を提供する責任をもつ MR

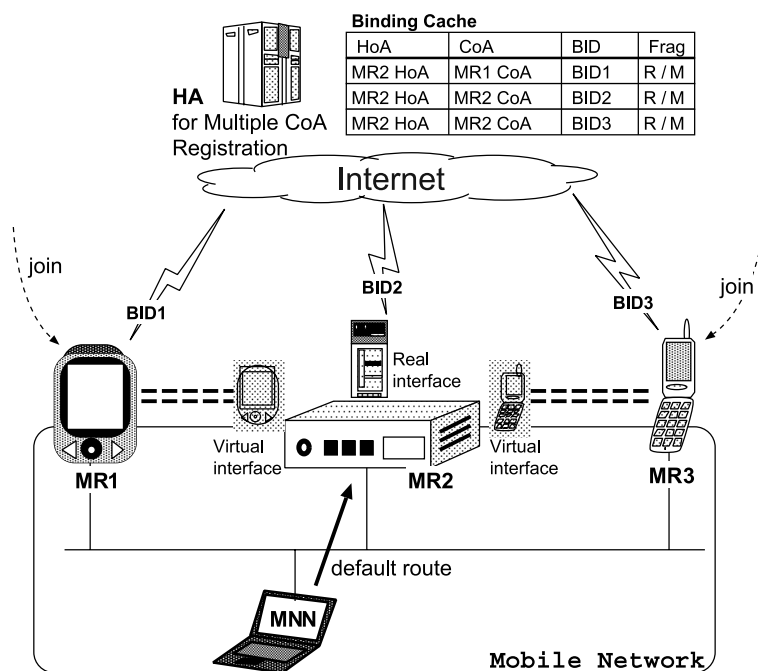


図 5.1. 仮想インタフェース追加モデル

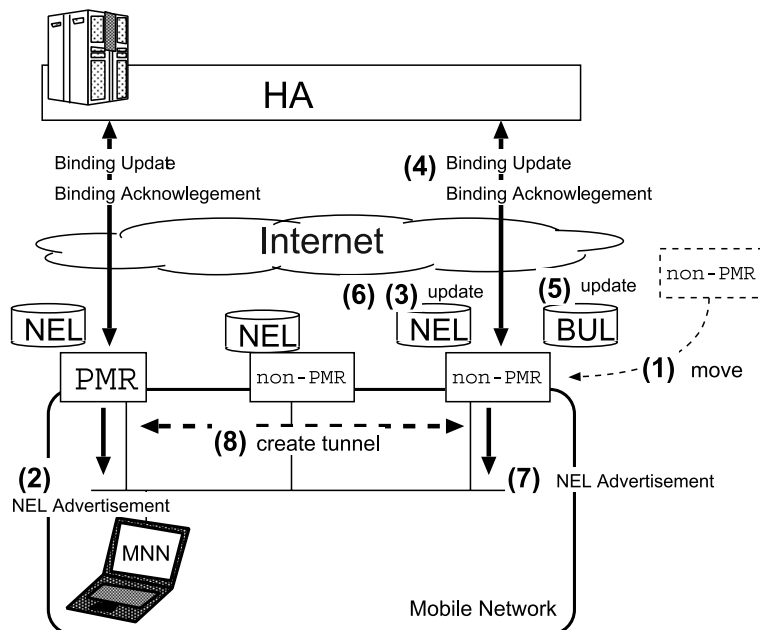


図 5.2. NEL Advertisement による Egress インタフェースの情報交換

- non-Primary Mobile Router (non-PMR)
所属する Mobile Network の PMR から転送されたパケットを HA まで転送する MR
- Neighbor Egress interface List (NEL)
Mobile Network と HA を結ぶ MR-HA トンネルの情報を格納するデータストラクチャ
- NEL Advertisement
PMR および non-PMR は、自身の持つインタフェースからの MR-HA 間トンネルの情報を Ingress インタフェースを通じて Mobile Network へと提供する。MR は BUL が追加・変更・削除された時に NEL Advertisement を送信する。

図 5.2 を用いて Egress インタフェースの情報交換の概要について説明を行う。Mobile Network 内に入ってきた non-PMR (1) は、定期的送信されている NEL Advertisement メッセージを受け取る (2)。MR はこのメッセージを受け取ると、メッセージに含まれる情報を NEL へと格納し (3)、自身もその Mobile Network の MR として動作する。その後、Mobile Network を提供している HA へと Binding Update を行う (4)。この際、non-PMR は PMR と同じ Home Address を使用し、また複数 CoA 登録の仕様のとおり重複しない Binding Unique Identifier (BID) を生成し、Binding Update を行う。CoA 登録が正常に終了した MR は、Binding Update List

(BUL) を生成し (5)、それを基に NEL を更新する (6)。その後、NEL の更新をほかの MR へと伝えるため、Mobile Network に対して NEL Advertisement を行う (7)。

NEL Advertisement を受け取った PMR は、その情報を NEL へと格納し、自身の属する Mobile Network に新たに MR-HA トンネルが確立されたことを検知する。PMR は、その non-PMR の Ingress インタフェースへと MR-MR 間トンネルを確立する (8)。

図 5.3 を用いて MMRM のルーティングについて説明を行う。PMR はルータ広告を送信するなどし、MNN はデフォルト経路を PMR へと設定する。PMR のみが、どの通信にどの MR-HA トンネルを利用するかを記述したポリシーをもつ。MR-HA トンネルは BID によって識別される。図 5.3 に示すように、MNN の通信はまず、PMR へと送信される。PMR は MNN からのパケットがどのトンネルから送信されるべきか、ポリシーを参照する。この時、PMR は自身の持つトンネルから出ていくべき通信であれば、通常の Network Mobility のとおり HA へと送信する。また、パケットが non-PMR の持つ MR-HA トンネルを使用するべきであった場合、non-PMR へトンネルを通じて転送する。PMR からパケットを転送された non-PMR は、そのパケットを HA へと転送する。図 5.3 では、PMR がポリシーによって、non-PMR の持つ Egress インタフェースを経由する

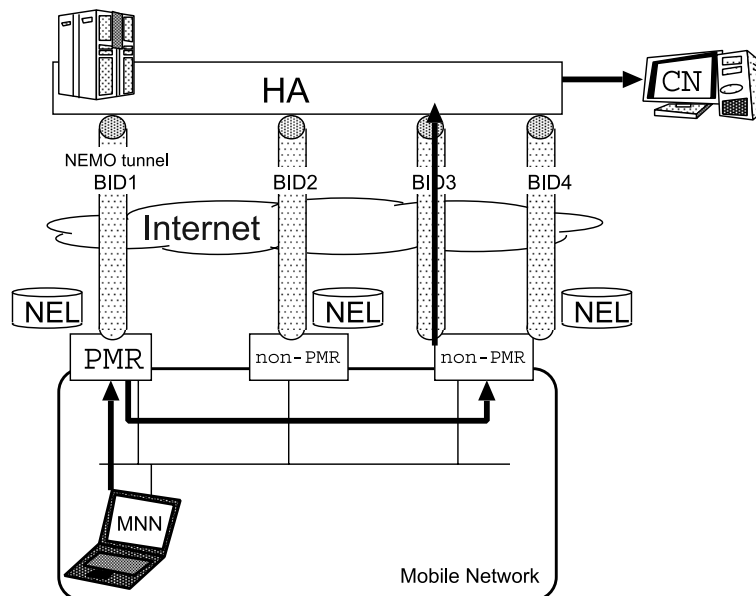


図 5.3. PMR による経路選択

経路を選んだ場合を示した。MMRM は複数 CoA 登録のしくみについて HA 側での拡張を行っていない。したがって、HA は CN から MNN への通信を複数 CoA 登録と同様のしくみによって振り分ける。

5.6 実装概要

MMRM は NetBSD1.6.2-RELEASE 上で動作する SHISA[281] を拡張することで実装した。SHISA は 2004 年 11 月 15 日のスナップを用いた。

MMRM は、本研究において SHISA に Multiple Mobile Router Management Daemon (MMRMD) として追加した。MR 側の MMRMD は、同一 Mobile Network に所属するほかの MR と情報交換をし、ポリシーのとおり IP Filter (IPF)[140] と経路を書き換える。HA 側の MMRMD は BC の状態に応じて IPF のポリシーを書き換える。なお、MR、HA のコードは同一のものであり、起動時のモード選択によって MR、HA の切替えを行う。

5.6.1 MR 側の MMRMD 実装概要

図 5.4 に MR 側と HA 側の MMRMD の動作概要を示した。MR 側の MMRMD は初期化終了後、モビリティソケットと Ingress インタフェースを監視しており、受信メッセージに対応する。SHISA のデーモン群は主にモビリティソケットを介して情報をやりとりする。MRD はモビリティソケットを通じて、BUL の追加・変更・削除のメッセージを送信し、MMRMD はそ

のメッセージを受信する。(図 5.4 の (a)) MMRMD は BUL の追加・変更のメッセージに含まれる HoA、CoA、BID を取得し、NEL へと格納する。BUL の削除の場合は対応する NEL をリストから削除する。いずれの場合も、Ingress インタフェースに向けて、NEL Advertisement を行う(図 5.4 の (b))。NEL Advertisement には、NEL_ADD または、NEL_REMOVE が含まれており、NEL の追加・更新の広告を行う場合には NEL_ADD を使い、NEL の削除を広告する場合は、NEL_REMOVE を用いる。

また、NEL_ADD の NEL Advertisement を受け取った MMRMD は対応する NEL を追加または更新する(図 5.4 の (c))。NEL_REMOVE の NEL Advertisement を受け取った MMRMD は対応する NEL を削除する。NEL の追加・更新時にはライフタイムに指定されたタイマを設定しておき、定期的なアップデートのない NEL を削除する。このとき、non-PMR が PMR の NEL を削除した場合は、Mobile Network 分割の際の問題を回避するため、その non-PMR は Binding Update を中止する。

また、MMRMD は NEL の状態が変わるごとに IPF のポリシーをユーザのポリシーによって書き換える(図 5.4 の (d))。

5.6.2 HA 側の MMRMD 実装概要

起動時に HA モードを選択された MMRMD はモビリティソケットを開く。MMRMD はモビリティ

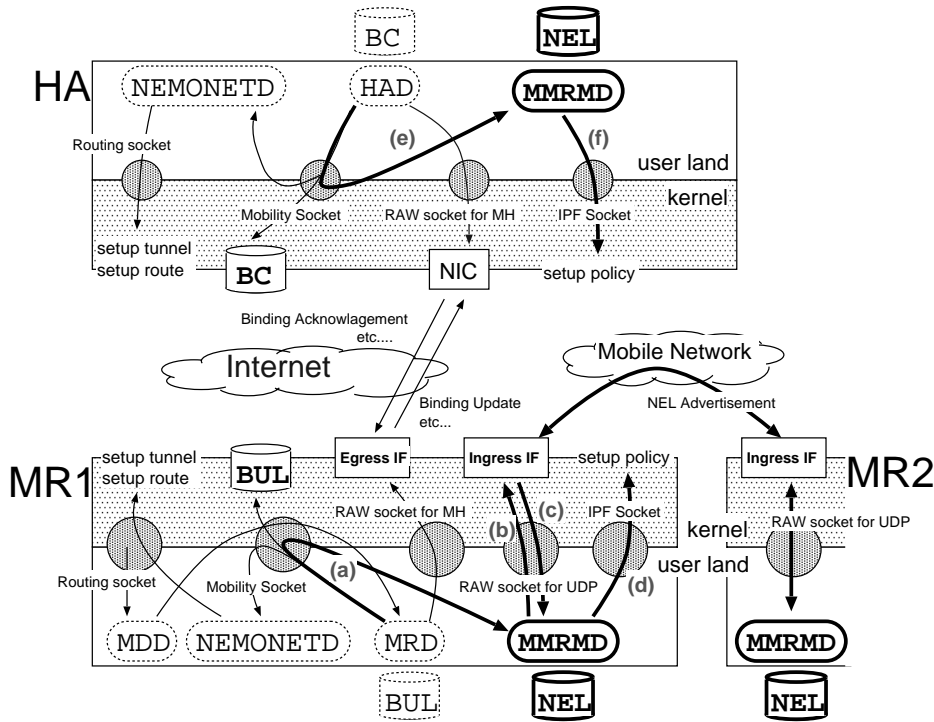


図 5.4. MMRM の概要

ソケットを監視して、BC の追加・変更・削除を NEL へと格納する (図 5.4 の (e))。NEL に変更のあった時、NEL を参照し IPF のポリシをユーザのポリシによって書き換える (図 5.4 の (f))。

5.7 評価

評価実験は想定しない通信が測定に影響しないように、図 5.5 に示すようなローカルな IPv6 ネットワークを構築して行った。

定性的評価として、表 5.2 に示した要求事項がすべて満たされたことを確認した。

5.7.1 オーバヘッドの計測

本システムでは、複数 MR を利用する際に MR 間でパケットの転送が行われる。本項では、MR 間パケット転送にかかるオーバーヘッドを計測する。実験は NEMO 基本サポートと本システムを比較することで、RTT とスループットのオーバーヘッドを計測する。

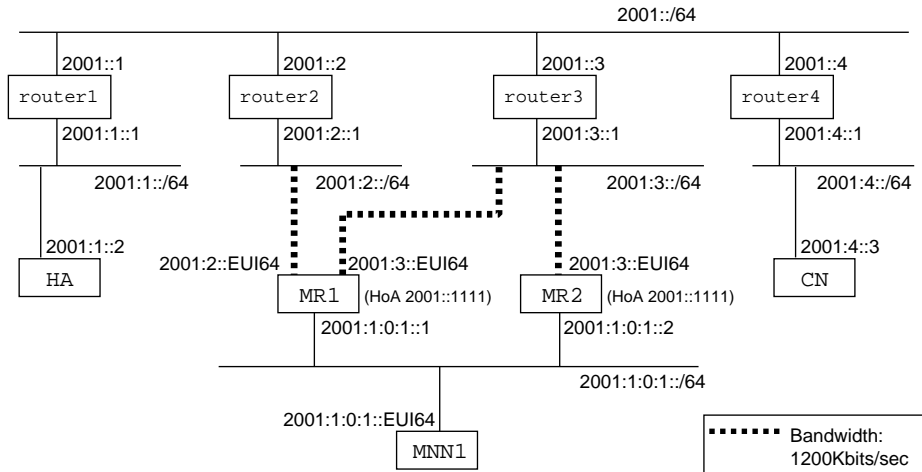


図 5.5. 定性評価の実験環境

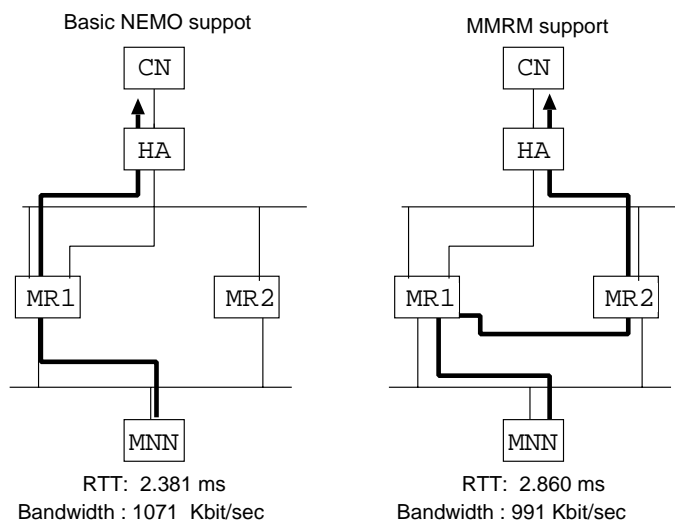


図 5.6. オーバーヘッドの計測

RTT とスループットの両方の実験で、図 5.5 に示した実験環境を用いた。RTT の実験は、MNN から CN へと ping6 プログラムを実行した。1 秒おき 100 回の 56 Byte のパケットを送信した際の平均の RTT を計測した。また、スループットの実験では、CN を iperf のサーバとして “iperf -s -V” を実行した。また、MNN を iperf のクライアントとして “iperf -c 2004:4::4 -i 3 -t 600 -f k” を実行した。

RTT とスループットの結果を図 5.6 にまとめた。RTT は、本システムを動作した場合、動作しない場合に比べて、0.479 ミリ秒増えた。本システムでは、ルータが 1 ホップ増えるため、RTT が増えるが、複数 MR を利用できるメリットと比較して無視できる程度である。同様にスループットは 80 Kbps 減少したが、複数 MR を利用できるメリットと比較しオーバーヘッドは無視できる程度であった。

5.7.2 スループットの計測

本実験では、本システムを動作させると NEMO 基本サポートと比較して、スループットが向上することを示す。また、どれぐらいのスループット向上が見られるか確認する。

実験は、図 5.5 に示した実験環境を用いた。本実験では、複数の MR の持つ接続性が 1 つの場合と 3 つの場合のスループットを計測して比較する。

本実験では、CN を iperf のサーバとした。また、MNN を iperf のクライアントとして TCP の通信を行い、3 秒おきに 600 秒間のスループットを出力した。

MNN ではポート番号を 5001 番、5002 番、5003 番に指定した iperf を同時に 3 つ実行した。

0 秒から 300 秒では、図 5.7 の (B) と (C) の Ethernet ケーブルを抜いて、測定を行った。そのため、MNN で実行した 3 つの iperf プロセスによるトラフィックはすべて、図 5.7 の (A) を経由する。300 秒から 600 秒では、(B) と (C) の Ethernet ケーブルを接続した。また、図 5.7 に示したように、ポート番号によって通信を振り分けるポリシーを設定した。

図 5.8 に 3 つの経路のスループットを合計したもののグラフを示す。0 秒から 300 秒までは、スループットは平均 1086 Kbps であった。300 秒から 600 秒までは、3 つの経路が利用可能となり平均のスループットは 2586 Kbps に向上した。これによって、本システムは利用可能な帯域を増大することが確認できた。

1 つの接続性を利用した際のスループットが 1086 Kbps であるため、3 つの接続性を利用した際のスループットの理想値は、 $1086 \times 3 = 3258$ Kbps となる。実測値では、2586 Kbps であり、672 Kbps ほどの乖離が見られた。5.7.1 項において、本システムのオーバーヘッドはスループットに 80 Kbps の影響を与えることが確認されている。3 つの接続性を利用するオーバーヘッドを $80 \times 3 = 240$ Kbps と仮定しても、3 つの接続性を利用する際は、それ以上のオーバーヘッドがかかることがわかった。今後は、オーバーヘッドの解明などを行っていく予定である。

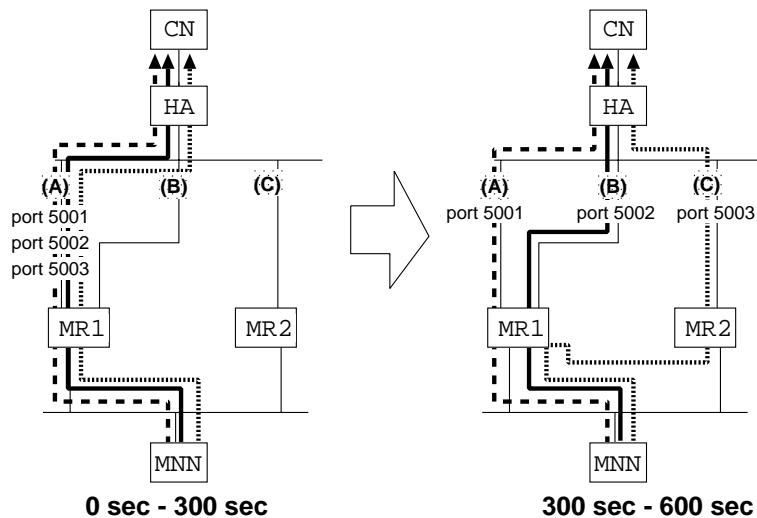


図 5.7. 実験のトポロジ

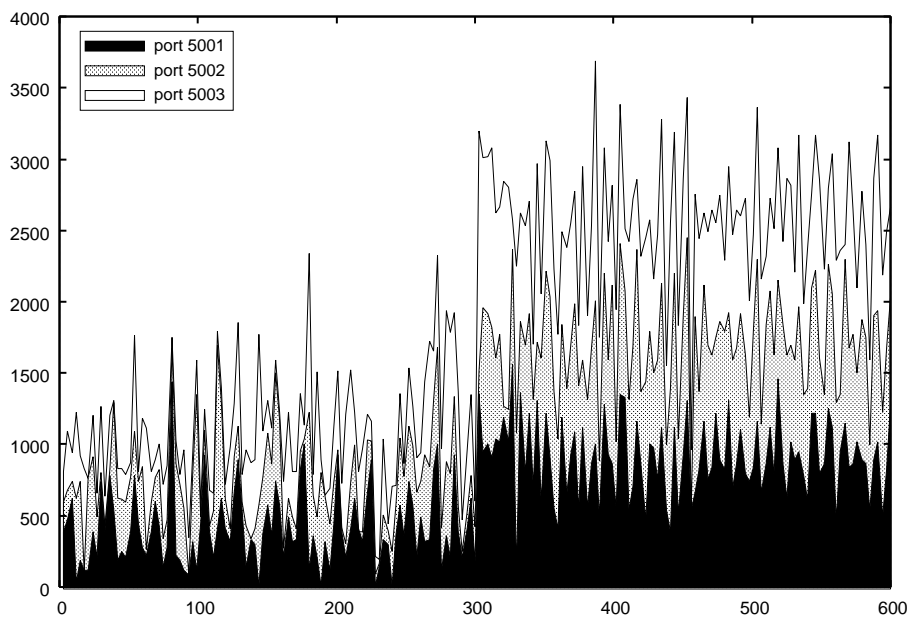


図 5.8. MMRM の概要

第 6 章 情報集約型センタサーバモデルの設計

概要

ICAR WG での活動は、主に技術開発とアプリケーション検討、それにともなう問題に対する議論である。アプリケーション開発の土台として、これまで車両の持つ情報(以下、車両情報)の粒度・単位を統

一のものにするため標準化活動を行っている。車両データ辞書モデルと呼ばれるこのモデルにより、収集した車両情報の加工などが容易になった。しかし、車両情報が統一化されたにも関わらず、現状では特定のサービスに依存した方法で取得され、それぞれのサービスの中でのみ利用されているという問題がある。そこで、本研究では、車両情報を効率的に利用するための共有機構を提案した。そのため、まず車両情報および車両情報を利用したサービスの分類を行い、車両情報利用モデルを分類した。次に、それに基づいた情報管理モデルを示し、本研究が対象

とする情報集約型センタサーバモデルに関して考察を行った。その後、機能要件の整理を行い、現在行われているサービスの整理を行った。本研究で提案した情報集約型センタサーバモデルを利用することで、車両は複数のサービスを利用していても同一情報をそれぞれ別個に送信する必要はなく、自らの情報をどこのサーバに保存するかを明示的に指定することができる。その結果、車両情報を利用したサービスの構築が容易になると同時に、情報の効率的利用ができる環境を実現した。

6.1 はじめに

6.1.1 背景

自動車インターネットに接続されることは、現在、不可能ではなくなっている。インターネットを利用した自動車の道路交通の情報化は、インターネットITS[338]と呼ばれ、さまざまな議論がなされている。インターネット自動車プロジェクト [339] は自動車がインターネットに接続するために必要な技術開発と、そこで運用されるアプリケーションの研究開発を行っている。こうした活動によって、自動車が持つ情報をインターネットを介して外部と共有することが可能となった [360]。自動車の持つ多数の情報の中には、それらを収集・加工することでさらなる価値を生み出すものが存在する。車両の位置と速度を関連付けて利用することで、交通情報を生成したり、ABS作動情報を集約することで、事故の起こりそうな道路や滑りやすい道路（路面の凍結した道路）を発見することができる。

6.1.2 目的

現在の車両情報利用システムは、汎用性に欠けるものとなってしまっている。それは、現在の車両情報を利用したシステムは、すべてある特定のサービ

スに利用するために構築されたもので、情報の取得や利用に関して独自の手法とフォーマットを採用しているからである。

本研究の目的は、車両情報の管理機構モデルの設計を行い、以下の2つの目的を達成し、現状における車両情報利用が抱える問題の解決を図ることである。

- 車両情報の容易な利用環境の構築
- 車両情報における基本情報の共有

6.2 現状における車両情報利用に関する考察

自動車の持つ情報をインターネットを介して利用するサービスが、ネットワーク部分の研究や車載機能の能力などに関しては、現実性を帯びてきた。しかし、現状では、個々のサービスを包含的に整理し、システムの効率的な構築を可能とするアーキテクチャは存在しない。

車両情報の利用形態を考えることで、車両情報アーキテクチャを考えることができる。車両情報アーキテクチャに基づく車両情報の管理を実現することで、アプリケーション構築にかかるコストの中で車両情報取得部分に関するコストを低減させることができる。車両情報の利用は、これまでのようにアプリケーションを構築する時に情報の取得手法から構築しなければならないなどといった問題がなくなり、車両情報の利用が容易になる。

図 6.1 に理想とする車両情報の利用形態の概念を示す。現在考えられている車両情報を取得・利用するアプリケーションは、車内・車外それぞれに存在し、情報の利用形態も多岐にわたる。そこで、本研究では車両の持つ情報をその特徴を元に分類し、その情報を利用するアプリケーションの要求についても分類を行う。分類されたアプリケーションから情報の流通モデルの考察を行い、本研究で対象とする情報集約型センタサーバモデルの議論を行う。

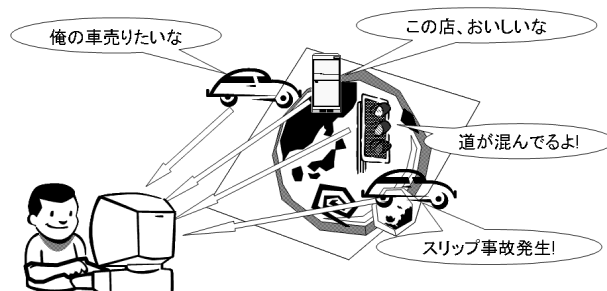


図 6.1. 情報利用の容易性

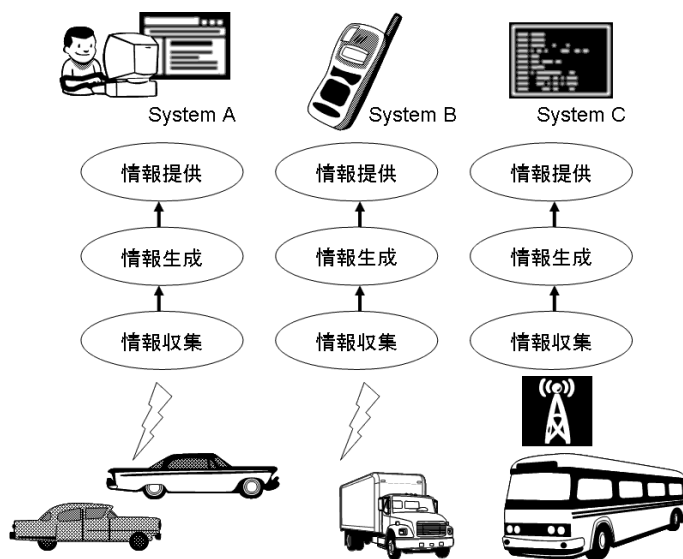


図 6.2. これまでの車両情報利用モデル

6.2.1 問題点

現状では、前項で述べたような車両情報の容易な利用環境や情報の効率的な活用がなされていない。それらを解決するために、現状のサービス全体への問題点を以下の3種類に分類する。

スタンドアロンモデル

現在、車両情報を利用したサービスがいくつか存在している。しかし、それらのサービスで利用される車両情報は、同一の情報であっても違うサービスであれば、別々に保持され、別々に利用されている [図 6.2]

これは、車両情報利用に関するモデルが各アプリケーションで異なるためであり、車両情報アーキテクチャが明確化されることで、この問題は回避できる。

サービス依存な車両環境

現状における車両情報利用サービスが、先に述べたようなモデルで運用されているのは、車両情報の利用モデルが示されておらず、サービス提供側がサービスを提供する際に、仕様の決定・インフラ構築・情報の収集・情報の生成・サービスの展開まですべて独自に行わなければならないからである。こうした現状を考えると、新たなサービス事業者がサービスを展開する場合、そのコストは非常に大きなものとなる。新規参加が困難であると、インターネット自動車の普及を促すようなアプリケーションアイデアが存在しても、それを実現することが困難とな

り、インターネット自動車システムの普及促進の障壁となる。

情報共有機構の未整備

車両情報にはさまざまな種類が存在し、それぞれに特徴がある。車両情報の中には、多くのアプリケーションで利用されるような基本的な情報がある。しかし、前述したとおり現状ではそれら情報は各サービス内で限定的に利用されており、ほかのアプリケーションで利用される同一情報に関してはまったく利用できていない。

6.3 車両情報利用モデル

車両の持つ情報には更新頻度に大きく差がある。さらに、アプリケーションによって、もしくはその情報を利用するアプリケーションの数によっても情報の利用頻度が異なる。そのため、それら情報を1つのプラットフォームで利用するのは不可能である。まず、考え得る車両情報の分類とそれを実現する情報流通モデルを表 6.1 に示す。

ここで挙げた利用モデルは「アドホック通信モデル」「情報集約型センタサーバモデル」「情報更新型センタサーバモデル」の3種であるが、このほかにそれぞれの情報を車両自体に保存する「車両保存型モデル」が考えられる。表 6.1 は、車両情報を「情報更新頻度」と「情報鮮度の重要性」で分類した。車両の持つ情報には更新頻度に大きく差がある。さらに、アプリケーションによって、もしくはその情報を利用するアプリケーションの数によっても情報の

表 6.1. 車両情報の特徴と情報流通モデル

情報更新頻度	情報鮮度の重要性 (リアルタイム性)	サービス例	情報流通モデル
高い	高い	急加速度を後方へ伝達するサービス	情報集約型センタサーバモデル
	中程度	速度情報を利用した渋滞情報	
	低い	急加速度の多い道路の検索	
中程度	高い	—	
	中程度	行先情報を利用した広告サービス	
	低い	人気スポット検索	
低い	高い	—	情報更新型センタサーバモデル
	中程度	修理・事故履歴を利用した中古車販売サービス	
	低い	車種による事故率判定	

利用頻度が異なる。そのため、それら情報を1つのプラットフォームで利用するのは不可能である。

多くの情報を集約するタイプのサービスは、サーバ型モデルが好ましい。それは、センタレスシステムを構築したとして、情報が各車両に保持されている場合、多くの情報を集約するためには、多くの車両へのアクセスを必要とする。そこで、そのようなアプリケーションが多数存在すると、各車両に多大な負荷がかかるとともに、逆に車両の通信量が増大してしまう。さらに、車両への到達性がない場合、その車両の情報の取得はまったく不可能となる。そのような見地から、本研究では情報の更新頻度が高く、リアルタイム性は高くない情報利用形態について論じ、情報集約型センタサーバモデルとして提案する。

6.4 機能要件の整理

6.2節で述べた問題点を6.3節で述べた情報集約型センタサーバモデルに当てはめ、以下のような機能要件を挙げる。

- 共通インタフェース

車両情報の中には、位置情報や搭乗者情報などプライバシーに大変深い関わりのある情報がある。そのほかにも、車両情報の柔軟なメタ情報記述に対する要求がある。そのような要求に応じる必要がある。

車両やサービスとサーバの間における通信を統一化する必要がある。それは、前述したように本システムが車両情報に関するミドルウェアとして存在するためには、車両やアプリケーションに対して共通の言語を提供する必要があるからである。

- 拡張容易性

車両の持つ情報は前述した車両データ辞書モデルにより、現状の車両に関する情報は定義がなされている。しかし、自動車というものが今後ガソリン車から電気自動車などへ進化を遂げていった場合、現行の車両データ辞書モデルには存在しないパラメータが追加される可能性が高い。さらに、インターネット ITS 協議会 [338]・共通サービス基盤 SIG においては、車両の持つ情報以外に、搭乗者の情報を利用すべきだという議論がなされている。

そのような観点から、車両情報に関して新たなパラメータが容易に追加できるような設計を行う必要がある。

- 電源断時の応答

移動体は、無線デバイスによる通信を行うため、環境によってはネットワークに接続できない場合がある。自動車は、エンジンがかかっていない時間(車内に電源が供給されていない時間)はまったくネットワーク接続性がない。このような時間にアプリケーションから情報要求があった場合、自動車に情報が保存されていると、センタサーバが存在していても情報を応答することができない。

これは前述した情報の車両保存モデルを利用する限り、必ず問題となる。そのため、本システムにおいてセンタサーバは最低でも最新の情報を保持する機能を持つ必要がある。

- プライバシー情報の取扱い

いくつか前述したが、車両情報の中にはプライバシーと密接に関わる情報が存在する。さらに、

車両情報以外にも、搭乗者の情報が追加される可能性は今後否定できず、そういった場合にはさらにプライバシーへの考慮が必要となる。システム全体を通して、プライバシーを守ることができる設計になっていることが必要であろう。

- 情報の更新

本システムでターゲットとしている車両情報は、情報の更新頻度が比較的高いものである。そこで、更新頻度が高い情報に対して対応する必要がある。

- 情報の共有

情報の共有を行えるような明確な車両情報利用モデルを設計することは、大きな意義があると考えられる。さらに、基本的情報に関して情報の共有を行うことは、以下の 2 つの機能要件を満たすためのものである。

- 情報量の増大

速度情報や位置情報、方位情報(車両の進行方向)などは、渋滞情報や地理位置に基づく情報配信など多くのアプリケーションに利用される。そのような基本情報がアプリケーション間で共有されることでサービスや情報生成に利用できる情報量が増大する。たとえば、近くの車両のうち自分の店方向に進行している車両を特定したいときは、情報量の増大がそのままサービスの向上に直結する。

- 精度の向上

車両の情報から渋滞情報や降雨情報などプローブ情報を生成する場合、計測する地点において収集できる情報量が増大することで、生成できる情報の統計学的な精度が向上する。これは、前述したプローブ情報生成に際し、誤差やはずれ値などへの耐性が強まることを期待できる。

- 共有情報の重複回避

このような目的に利用する共有情報に関しては、どの車両からの情報なのかといったプライバシー情報を含んではならない。それは、精度の向上などを目的とした情報の共有には車両を特定できるということは不必要な要件であるとともに、共有情報という特性上、ほかのアプリケーションがどのように利用するかが特定できない。そのような観点から、共有情報においては車両識別ができないような設計(匿名性の確保)にす

る必要がある。しかし、1 台の車両が複数サーバに対して情報を発信していた場合、それぞれのサーバから共有情報として情報が提供され、1 台であっても複数台からの情報であるように解釈されてしまう恐れがある。よって、匿名性の確保と重複回避を両立する設計にする必要がある。

6.5 情報集約型センタサーバモデル

6.5.1 VIML の制定

6.4 節で共通インタフェースが必要であると述べたが、本研究では、VIML という XML によって記述された車両情報記述言語を共通インタフェースとして提案する。VIML という言語により車両情報を記述することができるため、車両が提供する情報の解析が容易となる。VIML は登録要求・検索要求・検索応答の 3 種類に大別される。

- 登録要求

登録要求は、車両が自らの情報を外部のサーバに通知するために利用するものである。車両には、自車情報を VIML 形式に変換するための設定ファイルを置いておく。設定ファイルには、登録サーバの IP アドレス、保存サーバの情報、保存する情報名を記述する。この設定ファイルを用い、情報の保存場所を区切る簡素な構造をとることで、サーバ数の増加や付加情報の拡張などが容易に行えるよう設計した。

- 検索要求

アプリケーションが車両情報を取得する検索要求 VIML は、基本的に登録要求 VIML と同様の記述方法をとる。これは、登録と検索は基本的に情報にアクセスする、という観点から見ると非常に類似していると考えられるからである。

- 検索応答

検索応答 VIML は、アプリケーションからの要求に応じて、検索要求に似た形で記述された車両情報を返すために存在する。内容については、column 数と row 数を付加した形で与えられ、アプリケーションが VIML を解析しやすい構造となっている。

6.5.2 情報の共有機構における情報重複回避

共有情報の扱いについて、匿名性が確保されるべきであるという前提で、車両が異なる登録サーバに

対して同一の共有情報の登録クエリを送信したとする。この場合、共有サーバから見るとその2つのクエリが同一の車両の情報であることを認識できない。よって、同一の車両であってもそこに2台の車両があると認識してしまう。このような状況になると、交通量調査や情報の精度に対して信頼性が薄れてしまう。

この問題を回避するために、本システムにおいては共有情報のための識別子として登録IDを提案する。

登録IDは送信時に一時的に生成されるランダムな文字列で、同一車両が同一のタイミングにおいて持つ登録IDは同一である。この登録IDを軸に共有サーバのエントリが存在する。このことにより、異なる登録サーバを経由した同一車両の共有情報であっても、その情報源が同一であると判断され、情報の重複は回避される。また、登録IDは一時的に生成されるものであるため、共有情報を元に車両の特定をすることはできない。

以上のように、共有情報については登録IDを利用することで情報の重複回避と匿名性の確保を両立することができる。

6.5.3 設計と実装

次に、本研究で提案する情報集約型センタサーバモデルの実装について述べる。

車両情報の共有をするために、図6.3のように設計した。この図のように、本システムでは共有サーバと固有サーバを分離する形態を採用している。これは、これらのサービスを同一サーバで運用した場合、次項で述べるような固有情報の限定的共有やプライバシー管理への柔軟性が失われるからである。固有サーバや共有サーバは1つずつというわけではなく、運用のされ方によりいくつでも増やすことができる。実際にデータが保持されるサーバが分離されているため、登録サーバや検索サーバもいくつでも増やすことができる。よって、各アプリケーションが別個に登録サーバ、検索サーバを置くことができる。

6.5.4 登録サーバ

車両から送信された登録要求 VIML を受け取り、それを解析して要求どおりに登録クエリを保存サーバへ送信する役割を果たす。

車両と本システム間は VIML という共通記述方式による通信を行う。詳しくは後述するが登録要求 VIML には、保存サーバの情報とそこに書き込む車両情報群が格納されている。これらを解析し、適切な保存サーバへ情報を送信する。その際に利用される言語は、保存サーバに依存する形となり、具体的には保存サーバがリレーショナルデータベースであった場合は、SQL (Structured Query Language) などが当てはまる。

6.5.5 保存サーバ

保存サーバは、図6.3における共有情報サーバと固有情報サーバをあわせたもので、登録サーバからの要求により、実情報を保持するサーバを指す。保存サーバは1つではなく、車両の要求により1台の車両の情報が複数サーバに分散して保存されることとなる。保存サーバの中には、車両データ辞書モデルにおける基本情報を保存する共有サーバというものがあり、そこには多くのアプリケーションサービスに利用される車両情報が保存されている。保存サーバの実体は、リレーショナルデータベースなどである。

6.5.6 検索サーバ

検索サーバは、車両情報を利用したいアプリケーションに対して、車両情報の検索サービスを提供するサーバである。

アプリケーションは検索 VIML を検索サーバに対して送信し、検索サーバはそれを受け取った後、解析を行う。検索 VIML には問い合わせるべきサーバ情報と取得したい情報名が記述されている。解析した結果に基づき、保存サーバに依存した検索クエリを生成し、保存サーバに対して検索を行う。このとき利用される言語は、具体的には SQL などである。

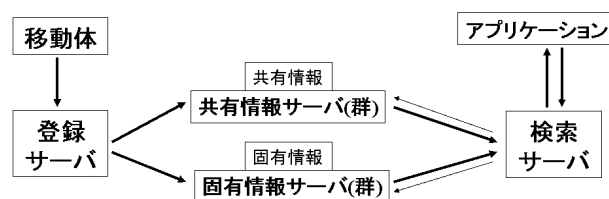


図 6.3. 情報集約型センタサーバモデルの概要

検索の結果、応答された情報を元に、検索サーバは応答 VIML を生成し、アプリケーションに返答する。

このことで、情報を利用したいアプリケーションは VIML という共通の言語だけを利用して情報の検索を行うことができる。

6.6 評価

前述した機能要件をすべて満たしたことを確認する。

本モデルで提案した VIML は、車両情報を記述する言語である。VIML は多くのサービスで利用される情報を記述することができ、共通インタフェースとして利用することができる。また、VIML は XML 形式で記述されており、タグを追加・削除するだけで、新たな情報の追加削除をすることができる。

車両の持つ情報は、車両自身ではなく保存サーバに蓄積されている。そのため、車両の電源が入っていないときでも、車両の情報を取得するアプリケーションは情報を取得することができる。保存サーバは、固有サーバと共有サーバに分割されており、その構成は情報項目やサーバ数などの面で柔軟に設定できる。そのため、情報のアクセスをある程度制御することができる。しかし、保存されたサーバへのクラッキングなどを今後考慮して実装しなおす必要がある。

情報の共有を行うために、本システムでは共有サーバを構築した。共有サーバは前述したように、構成を柔軟に変更できるため、より情報の効率的な利用を促進できると考える。また、共有情報において、1 台の車両が発する情報を重複して受け取ることはないような機構を提案し、実装した。そのため、システムの運用方法によって車両情報の重みが変わることはなく、均一化された。

6.7 結論

インターネット自動車の実現化が進むにつれ、車両の持つ情報を利用したサービスへの期待が高まっている。そういった中で、現状においては車両情報を利用したサービスを構築するには大変多くのコストがかかる。それは、車両情報の取得部分はどのサービスも個別のものを用意しており、新規参入する場合は、情報の取得という部分に最も多くのコストを割く必要がある。このコストを削減することは、さまざまなサービスの増加につながり、車両情報の効

率的利用を図ることができる。

そこで、本研究では車両情報の管理方法に対する提案を行った。本研究で提案したシステムにおいては、多くのサービスで利用される情報群を共有することで車両情報の効率的な利用ができるようなシステムを提供している。情報の共有により重複のない情報送信や、情報量の増大、情報精度の向上が達成された。共有機構に関しては、柔軟に新たなサービス間共有を行える設計であるため、サービス間の連携などを図ることを可能にしている。

また、車両情報を送信する部分と車両情報を取得する部分に関して、多くのサービスが利用できるようにインタフェースを定義した。そして、本研究で提案したモデルに基づいたシステムを実際に構築し、車両情報の効率的な利用が可能であることを確認した。

本研究の成果により、車両情報の効率的利用が可能となり、情報集約型サーバモデルにおいて多くの新たなアプリケーションが構築されることが期待できる。

第 7 章 P2P ネットワークにおける位置に関連した情報の管理・検索手法の提案と評価

概要

移動可能な通信端末の発展により位置情報サービスへの要求が高まっている。また多くの通信端末がいたるところに存在しており、端末の持つ情報を位置に基づいて収集・加工することおよび端末が位置に基づいて情報を自ら流通させることが要求されている。そこで本章では、P2P ネットワーク上において、位置に関連した情報の管理・検索手法を提案する。2 次元座標を 1 次元の円周上に対応させることによって情報管理や検索の手法が単純化され、計算量 $O(\log N)$ で情報の検索が可能である。また一意な検索が可能のため情報の有無を確認でき、加えてフラッシングを用いるほかの P2P システムと比べてネットワークに対する負荷が少ない。シミュレータを作成し提案システムを評価した結果、既存の DHT を利用したアルゴリズムと同程度の検索速度を示しながら、位置に基づく情報の管理・検索が可能である事を検証した。

7.1 はじめに

無線技術の向上や携帯電話、PHSの普及を受け、人や自動車などの移動ノード（以下、通信可能な計算機端末をノードと呼ぶ）は時間や場所などの制約を受けずにネットワークに接続可能である。移動端末の発展を受け、たとえば周辺の天気や目的地の渋滞情報のように位置に依存するサービスへの要求が高まっている。またPDAなどの小型端末や自動車に搭載される車載器などの廉価化が進み、移動ノード数に関しても大幅な増加が予想される[367]。

このような状況で統計情報のサービスのあり方も見直されている。日本自動車研究所（JARI: Japan Automobile Research Institute）[364]の試みでは、自動車に取り付けたワイパーセンサのデータなどをインターネットを利用してサーバに収集することにより詳細な降雨情報などの生成が可能となっている。

しかし、増加するノードに対してすべてのサービスをサーバ・クライアントモデルで実現すると、サーバに対してネットワーク帯域や記憶媒体などの負荷がさらに集中することが予想される。このような膨大な数のノードが生成するトラフィックやデータを扱うためには、情報を分散管理する機構が必要となる。

情報を分散管理する手法の一つとしてPeer to Peer（以下、P2P）ネットワークに注目が集まっている。P2Pネットワークでは各ノードが情報やデータを管理し、対等な立場でノード間が直接通信をすることによって負荷分散を実現している。またネットワーク帯域の負荷や計算処理の負荷が局所的にかかる集中型データベースや集中型インデックスを用いることなしに、情報の分散管理が可能である。しかし既存のP2Pネットワークは直接位置情報を扱うものは少ない。

位置情報を考慮したP2PネットワークとしてはLL-net[348]がある。LL-netでは物理的な空間をあらかじめ小さなエリアに分割し、そのエリアに振ったIDをもとに位置情報に基づいたオーバーレイネットワークを構築する。LL-netはノードの検索を主眼においているため、位置に基づいた情報の蓄積はできない。

ネットワークゲーム内の各属性をP2Pネットワークで分散管理させる手法としてMercury[18]がある。Mercuryではゲーム空間における各プレイヤーの座標（ x, y 座標）やプレイヤーの状態を表す属性値な

どを固定長の範囲に分割し、連続する一連の属性値を参加ノードに割り当て管理する。参加ノードは円周上に並べられ、属性値の種類の数だけ円周が形成される。Mercuryはpublish/subscribeモデル[293]を用いて情報の伝達を行う。すなわち、各ノードはあらかじめ情報を取得したい範囲を通知しておき、次に属性値の変化を起こすイベントが発生すると、その属性値の範囲を担当するノードがイベントの通知を希望しているノードに対して通知を行う。またLL-netがノードの発見に主眼をおいているのと同様に、Mercuryではゲーム空間内のプレイヤーの発見に主眼を置いている。そのため位置に基づく情報の蓄積が困難である。

そこで本研究では、ノードの存在する場所に関わらず、位置に基づいた情報の管理・検索が可能な手法を提案する。2次元座標を1次元の円周上に対応付けることにより、情報の管理・検索手法が単純化され、 $O(\log N)$ の計算量で検索可能である。ほかのフラッディングを用いるP2Pネットワーク構築手法と比べて、一意な検索が可能であり検索クエリの数を抑えることができ、情報の有無も確認できる。提案手法は既存の分散ハッシュテーブル（DHT）を用いた手法と同程度の検索速度を実現し、また特定の位置に基づいた情報の検索が可能となっている。

7.2 P2P ネットワークにおける位置に関連した情報の管理・検索

7.2.1 前提条件

提案するP2Pネットワークに参加するすべてのノードは以下の前提条件を満たすものとする。

- 自分の位置情報を取得する能力を持つ（GPS機器を備えるなど）
- インターネットを介して通信が可能である
- データを送受信すること、およびデータの検索や収集・加工が可能である

現在、携帯電話やPDAの多くはインターネットに接続する機能をすでに持っており[367]、車載機においても一部のものはインターネットの接続性を有する。またGPSの小型化、廉価化が進み多くの携帯電話や車載機に搭載されており、GPSが搭載されていない端末に関しても専用のGPS機器を接続可能となっている。今後これらの傾向はさらに強まり、上記で挙げた前提条件を有するノードは増加していくと予想される。

7.2.2 2次元から1次元へのマッピング

提案手法では2次元座標から1次元の円周上への対応付けを行っている。1次元のIDを利用できることで $O(\log N)$ の高速な検索が可能となり、2次元上で検索するよりも検索効率が高い。また情報の管理・検索が単純化されるという利点もある。

ノードは自分の位置情報(2次元座標)から1次元のIDを生成する。図7.1に2次元座標から1次元の円周への対応付けを図示する。網掛けの部分(ID: 8、9、10、11)を設け、対応箇所を示している。1次元のIDをもとにノードはオーバーレイネットワークに参加を行ったり、情報の管理・検索に利用する。1次元のIDは2次元座標の各桁の値を交互に入れ替えて生成する。たとえば取得した位置情報が(123, 789)だとすると生成される1次元のIDは172839となる。各桁を交互に入れ替えて生成したIDには下記のような特徴がある。

- IDを1ずつ増加させると対応する2次元座標は正方形を形作る
- IDを1ずつ増加し続けると、小さい正方形から始まり大きな正方形を作る

このような特徴は領域検索時に領域の分割を抑え、検索速度を向上させるために有効に働く。

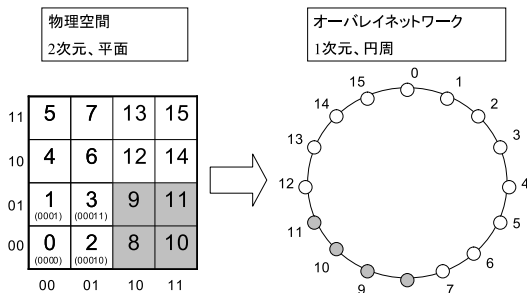


図 7.1. 2次元から1次元へのマッピング

7.2.3 検索アルゴリズム

提案システムでは1次元のIDをもとに該当するノードを検索し、情報の管理や取得を実現している。検索手法としてはスキップリストのアルゴリズムを利用しており、Chord[288]と似た手法を採用している。円状に配置されたIDに対して各ノードは双方向のスキップリストを作成する。このことにより、 $O(\log N)$ での検索が可能となっている。

7.3 シミュレーション評価

7.3.1 動作環境

表7.1に動作環境とシミュレータの環境設定を示す。シミュレータの利用は提案システムの動作確認およびアルゴリズムの特性を測定することを目的としている。そのためにノード数を変化させて検索速度やノード間で交換されるメッセージの数を測定した。計算機の能力のため最大ノード数は2560とした。提案システムの特性を算出するには十分な数であった。領域については 4096×4096 をとりIDとして 2^{24} の空間を割り当てた。これはノード数に対して十分に大きな値であり、IDの衝突などが生じない値となっている。

表 7.1. 動作環境

CPU	Pentium4 2.4 GHz
Memory	1 GB
OS	WindowsXP SP2
開発言語	Java 2 SDK ver1.4.2
ノード数	10-2560
ID空間(領域)	2^{24} (4096×4096)
ノードの移動アルゴリズム	ランダムウォーク

7.3.2 動作例

ここではノードが移動しながら一定の時間間隔で温度センサによって温度情報を取得し、その情報を位置に基づいてP2Pネットワーク上で流通させるというシナリオを設定した。図7.2に実際の検索結果例を示す。図中で網掛けをしてある領域を検索した結果、領域内の情報を持ついくつかのノードから温

```

StartID: 12582912
EndID : 13631487
+++++
ID = 13272179
Time = Sun Jan 16 20:14:04 JST 2005
Type = 温度(°C)
Value = 18
-----
ID = 13298359
Time = Sun Jan 16 20:14:03 JST 2005
Type = 温度(°C)
Value = 18
-----
ID = 12849678
Time = Sun Jan 16 20:14:03 JST 2005
Type = 温度(°C)
Value = 21
-----
                    
```

ノード数: 1000
情報の取得間隔: 20秒
移動速度: 2~5/秒

検索領域

図 7.2. 領域検索の検索結果例

度情報を取得できた。図 7.2 の検索結果を見るとすべての ID は StartKeyID と EndKeyID の間にあることがわかる。これは検索対象としている領域内の情報が正確に取得できていることを示している。実際には取得した温度情報を用いて特定の場所の平均気温を算出したり、周りの温度から突出した値を見つけることで車載機などの異常や火災などの発見に利用できる可能性があると考えられる。

7.3.3 検索速度

ランダムにノードを選び任意の領域を検索し情報を得るといった条件のもとで、ノードの増加にともない検索ホップ数がどのように変化するかを計測した。ノード数の増加に対する検索ホップ数の推移は図 7.3 のようになっている。右回りの線形検索ではノードの増加にともない検索ホップ数が線形に増加している。一方でスキップリストを用いて領域検索した場合は $O(\log N)$ の検索が可能となっており、ノード数が増加しても高速な検索が維持される。提案システムは Gnutella や Freenet などのフラッディングを利用するアルゴリズムよりも高速な検索が可能であり、加えて目的とする情報がない場合は情報が存在しないことが確認できる。

7.3.4 ノード間でのメッセージ交換量

ノード間でやり取りされるメッセージの量を測定し、ノード 1 つあたりが処理するメッセージ数を算出した。メッセージとはノードの生存を定期的を確認するために交換されるメッセージとノードが参加するためや離脱したノードが再び参加するために交換されるメッセージの 2 種類から成り立っている。図 7.4 にシミュレーション結果を示す。線形検索を用いている手法はノードの増加にともないメッセージ交換量が増加している。生存確認をするためのメッセージ交換量はノード 1 つあたり一定であるが、新規参加ノードを参加させるための処理がオーバーレイネットワークを構成するノード数の増加にともなって線形に増加するためである。一方でスキップリストを利用した場合は新規参加ノードを参加させる処理が少ない。なぜなら、新規参加ノードの NodeID を担当しているノードを $O(\log N)$ で検索できるためである。このために全体のノード数が増えても 1 つのノードあたりにかかるメッセージ交換量はほとんど増加していない。サーバ・クライアント型のサービスではノード数が増えるにつれて線形にメッセージ交換量が増加する。このためにサーバ・クライアント型に比べて優位性があるといえる。

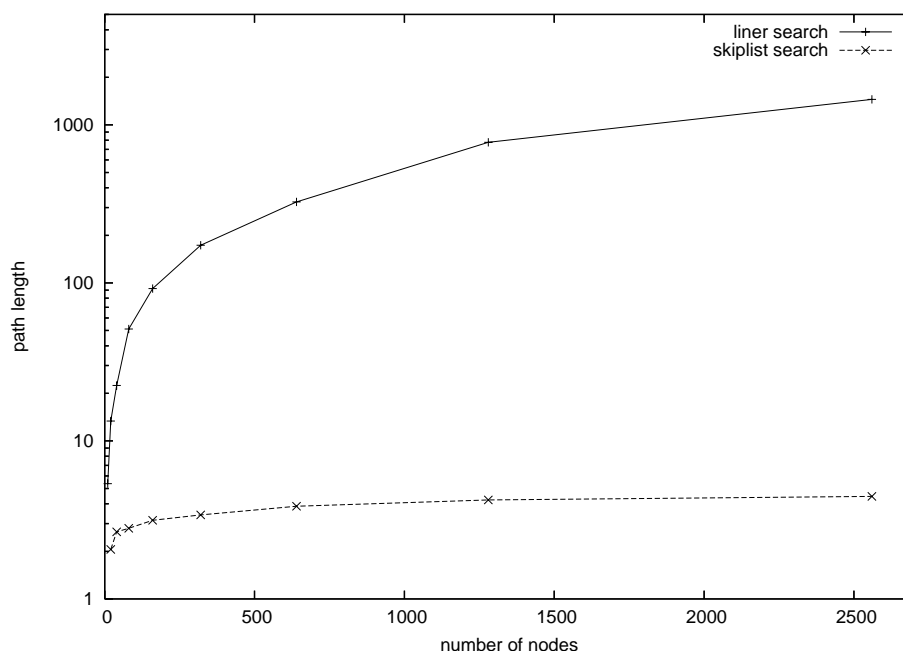


図 7.3. ノード数と検索ホップ数の関係

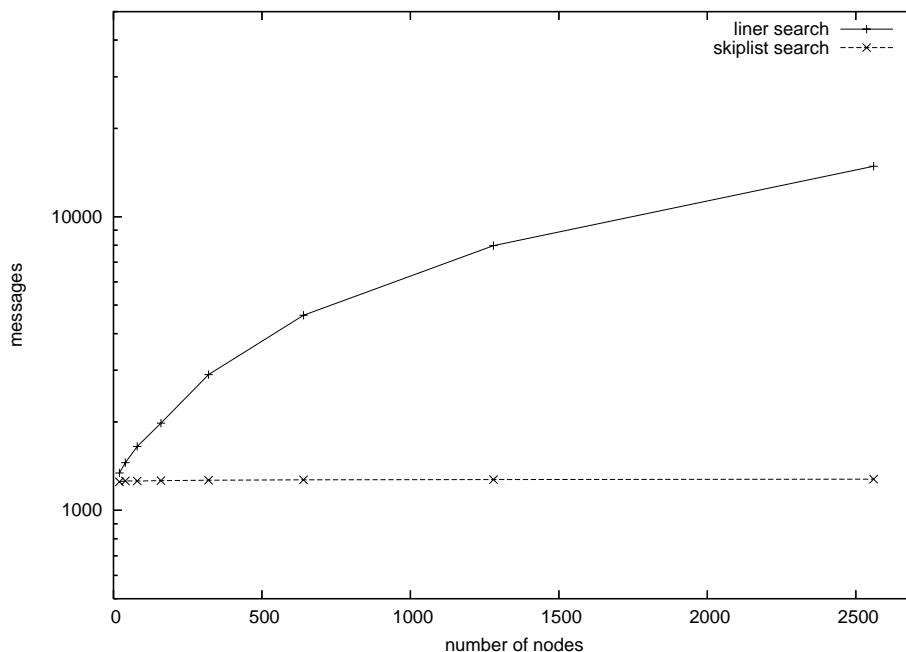


図 7.4. ノード数とノード一つあたりが処理するメッセージ数の関係

7.4 おわりに

位置情報サービスへの要求の高まりや移動ノードの増加を受けて、位置に関連した情報の管理・検索手法を提案した。本提案のモデルを利用することにより、位置に基づいた情報検索と位置に基づいた情報の蓄積が可能となる。

シミュレーションの結果から、提案システムは既存の DHT と同等の計算量で検索が可能であることが明らかとなった。また検索にかかる計算量やノード 1 つあたりの負荷が全体のノード数 N に対して $\log N$ であることから、ノード数の増加に強いシステムであることが明らかとなった。

今後の課題としては実環境に近いエミュレート環境を構築したり、実機を使った実環境での測定を行う必要がある。また実環境に適応するためにネットワークや計算機資源を加味し、システムを改良する。