

インターネット自動車のテストベッドの構築と評価

遠山 祥広[†] 塚田学[†] 植原 啓介^{††}
砂原 秀樹^{†††} 村井 純[†]

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なっている。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なった。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する説明と報告を行なう。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センサーボードを搭載、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箇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なった。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。

Activity and evaluation in Internet-connected vehicle (InternetCAR) test environment

YOSHIHIRO TOYAMA,[†] MANABU TSUKADA,[†] KEISUKE UEHARA,^{††}
HIDEKI SUNAHARA^{†††} and JUN MURAI[†]

The InternetCAR Project aims to develop elemental technologies to connect vehicles and vehicle applications. We developed the operational testbed to evaluate and promote these functions comprehensively. In this paper, the overview of testbed and applications are described. We mounted IP-sensor to several vehicle and Mobile Router. We implemented monitor application about vehicle information on the web site. We placed several access points at Tsurumi-ku Yokohama-city and Nagoya-city. Beside mobile router has a cellular network interface. So we can experiment switching technology between large-bandwidth and small-bandwidth. And we developed the function which configure SSID and WEP-key automatically. We can discuss about technical problem and applications with this testbed.

1. はじめに

1.1 背景

インターネット自動車プロジェクト¹⁾(以下、ICAR プロジェクト)は WIDE プロジェクト²⁾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 年から行なってきた。

ここでは、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³⁾などの研究活動が行なわれている。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。例えば図 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。

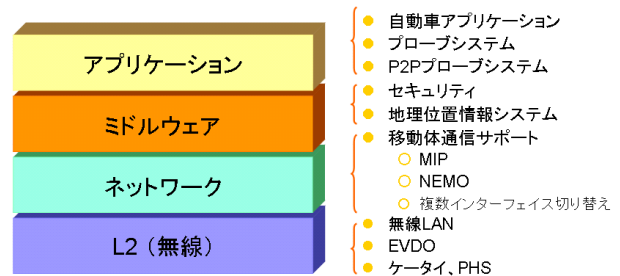


図 1 ICAR アーキテクチャ

1.2 テストベッド構築の目的

モジュール化された testbed の設計と実装を行ない、さらには、定常運用することによって初めて発見される問題点などの洗い出しを行なうため、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

[†] 慶應義塾大学 環境情報学部

Faculty of Environmental Information, Keio University

^{††} 慶應義塾大学 政策・メディア研究科

Graduate School of Media and Governance, Keio University

^{†††} 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学センター

Information Technology Center, NARA Institute of Science and Technology

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、定期的な運用されるテストベッドを構築し、その上で評価を行なうことが有効である。これにより、他の機能との協調やシステム全体の中での性能評価を行なうことが可能となる。

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当たって、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。定期的にシステムの測定を行なう。この機能を実装することにより、新たに作りこ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なう。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なうためである。
- **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、その情報に対する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、実車に車載ルータ等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なう。

3. アプローチ

以上の要件から設計を行なう場合、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る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な環境を用意する。

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。

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 に示すように、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、自動車に直接 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、は主にシームレスハンドオーバーの実験を行なうため、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。

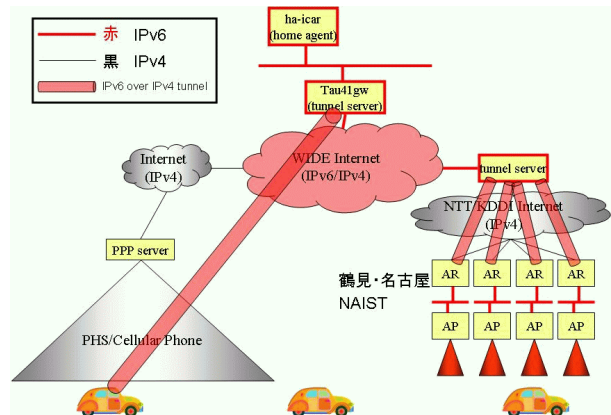


図 2 ネットワーク構成図

4.2 車載システムの概要

インターネット自動車は Network Mobility⁴⁾ 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 AMD133MHz の CPU を搭載し、FreeBSD4.9R が稼働している。

4.2.1 車載システムパッケージ

本システムでは以下の機器を一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 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
 - 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 on 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、設置する際には 6 つの電源が必要であった。本システムでは Power on 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、一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。

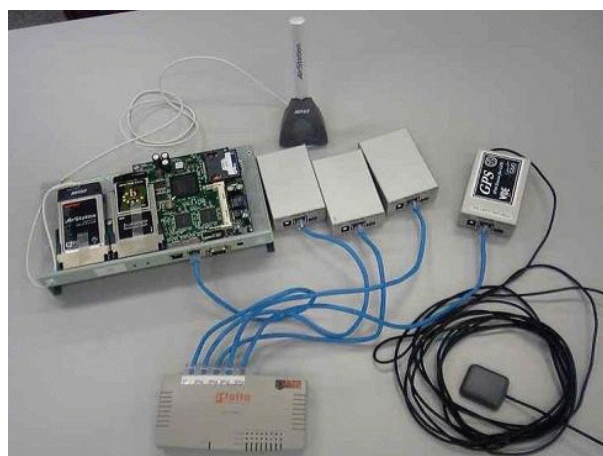


図 3 車載システムパッケージ

4.2.2 車載ルータの動作概要

車載ルータはより広帯域な 802.11b とより広域 PHS のネットワークインターフェイスを持っている。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、車載ルータは起動する。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への準備が行なわれる。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。

4.2.3 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。例えば、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 4 に Network Mobility を用いた移動透過処理の流れを示す。

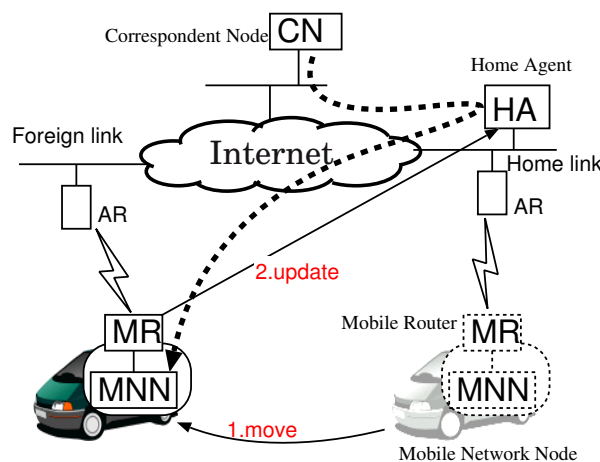


図 4 Network Mobility 移動透過処理

- 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
- 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 packets 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 packets 転送を行なう際、packets

The Internet Engineering Task Force, インターネット技術の標準化を推進する任意団体。

にヘッダを加えるトンネルという処理を行なう。トンネルの処理は MR から HA に転送される際にも行なわれる。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。

4.2.4 SHISA の概要

本システムでは、車載ルータの Network Mobility の実装に SHISA⁵⁾ 8 月 10 日 version を用いた。SHISA は WIDE プロジェクトで開発されていた SFC-MIP⁶⁾ と KAME-MIP⁷⁾ の二つの Network Mobility の実装を統合したものである。二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 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) の管理を行なうデーモンである。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 を行なう。また、HA からの Binding Acknowledge を受取り、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。

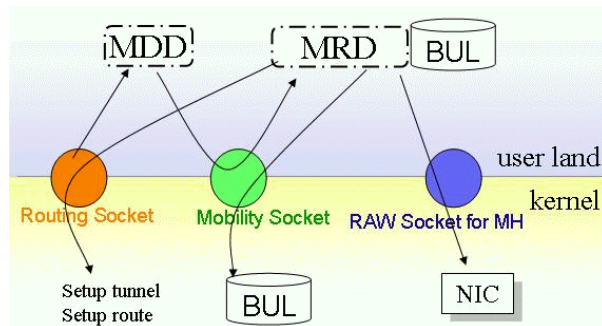


図 5 SHISA デーモンの概要 (MR 側)

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 があった際、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

知を行なう。

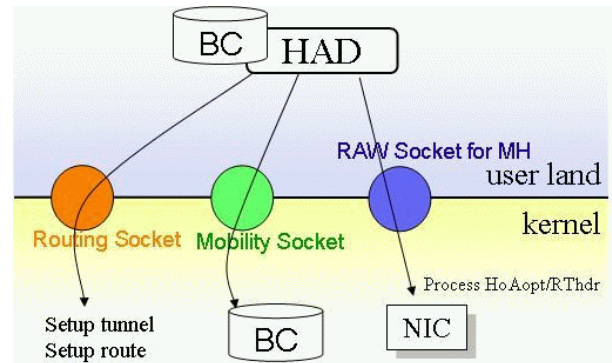


図 6 SHISA デーモンの概要 (HA 側)

5. テストベッド上のアプリケーション

5.1 GLI システム

GLI(Geographical Location Information)⁸⁾⁹⁾ 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¹⁰⁾。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なっている。以下に、GLI システムの概要図 [7] を示す。

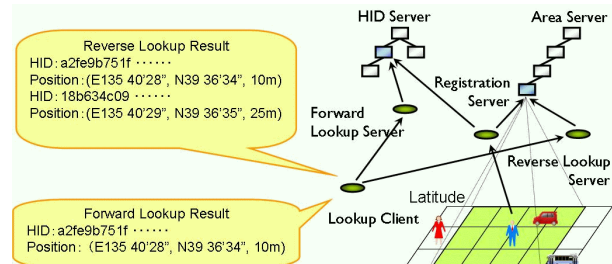


図 7 Geographical Location Information システム

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。

5.1.1 プライバシ管理

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 がどの移動体をあらわしているのかの判断ができないようになっている。HID は一定時間おきに变化し、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。

5.1.2 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。逆引きを行なうときは、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、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。

5.1.3 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なっている。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なっている。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。

5.1.4 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。

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 [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。

この他に、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、容易に実験を行なうことができる。

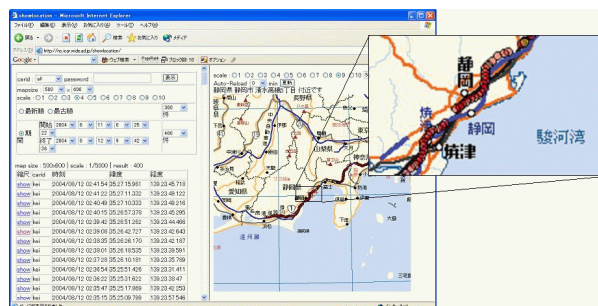


図 8 ブラウザによる位置軌跡の閲覧

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 [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なっているため、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。

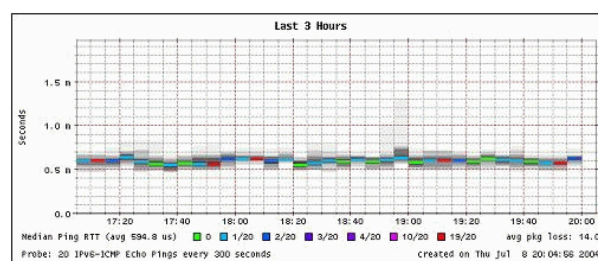


図 9 Smokeping

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ない、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ない、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。

6. テストベッドの性能測定

本章では、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、実証実験を行なうための性能を有しているかを検証する。

6.1 測定項目と測定環境

本論文では、以下の項目を測定した。(1), (2) は自動車が行走中、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、Netowor 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なえるかを調べるため、RTT の測定を行なった。その他、インターフェイ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 の初期化が行なわれ、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 の初期化が行なわれ、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) インターフェイスを 802.11b から PHS へと切替える際にかかる時間
- (6) インターフェイスを 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ーフェイスに 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 10]。以上の実験は 5 回ずつ行ない測定を平均を算出した。(3)、(4) の計測には、ICMPv6 のパケットによる RTT の計測を行ない、100 パケットの平均を算出した。(5) は、802.11b で通信を行なっている際、アクセスポイントの電源を落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 で通信を行なっている際、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なった。

6.2 測定結果

測定は表 1 のような結果を得た。(1), (2) より、車載ルー

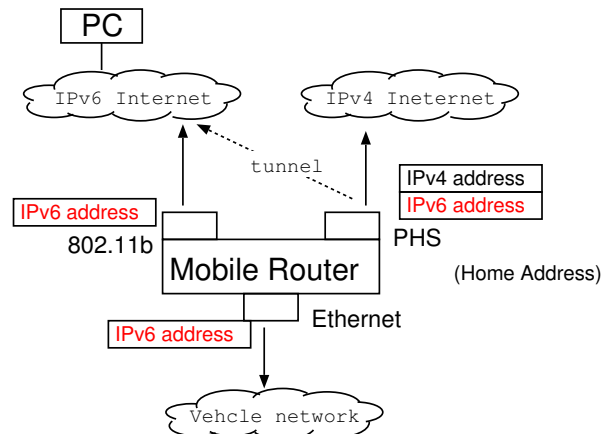


図 10 実験環境

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も普及した時にも、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、インターフェイ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 へとインターフェイス切替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。

表 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	129000ms
(2)MR 起動から NEMO が機能するまでの時間	141000ms
(3)PHS を用いた通信の RTT	489ms
(4)802.11b を用いた通信の RTT	10ms
(5)802.11b から PHS への切替える際の通信不能時間	9770ms
(6)PHS から 802.11b への切替える際の通信不能時間	400ms

7. 評価

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、無線切替を研究しようという者は、無線切替モジュールを変更すれば良い。これまでのように、無線切替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。

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。

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。

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なう必要がある。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。

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なった。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なった。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する説明した。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箇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環境などの整備も行なった。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。

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。

謝辞 和泉順子氏を始めとする奈良先端科学技術大学院大学・砂原研究室の方々には、テストベッド構築の作業をする場所を手配していただきました。それにより、共同作業を大変スムーズに進めることができました。電気通信大学・楯岡孝道氏にはテストベッドの構築に際して、助言だけでなく実際にアプリケーション製作などに関わっていただきました。Sony Computer Science Laboratory の河野通宗氏には、構築したテストベッドを用いたグラフィカルなアプリケーションを製作していただきました。これはテストベッドの構築に対する意欲が高まりました。Romain 氏を始めとする WIDE プロジェクト Nautilus6 ワーキンググ

ループの方々には、テストベッドを用いたビデオストリーミングの性能測定などに関わっていただき、有意義な測定ができました。東日本電信電話株式会社の皆様には、トンネリングサーバの運用などに御協力をいただきました。株式会社 IIJ の島慶一氏には、SHISA のデバッグや動作確認などをしていただきました。株式会社デンソーの江川孝志氏には、車載ルータの動作実験を重ねていただき、数多くの問題発見や問題解決をしていただきました。最後に渡辺恭人氏を始めとする慶應義塾大学の方々には、実験環境構築全般や本論文に対するコメントなど大変お世話になりました。

みなさまに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) インターネット自動車プロジェクト.
<http://www.sfc.wide.ad.jp/InternetCAR/>.
- 2) WIDE プロジェクト. <http://www.wide.ad.jp/>.
- 3) 砂原秀樹, 佐藤雅明, 植原啓介, 青木邦友, 村井純. Ipcar: インターネットを利用した自動車プロープ情報システムの構築, April 2002. 電子情報通信学会 B 論文誌 Vol.J85-B No.4, pp.431-pp437.
- 4) Vijay Devarapalli, Ryuji Wakikawa, Alexandru Petrescu, and Pascal Thubert. *Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol*, February 2004. IETF work in progress.
- 5) SHISA(WIDEMIP). <http://www.mobileip.jp/>.
- 6) SFC-MIP.
<http://www.wakikawa.net/Research/contents/mip6.html>.
- 7) KAME プロジェクト. <http://www.kame.net/>.
- 8) 渡辺恭人, 竹内奏吾, 栗栖俊治, 寺岡文男, 村井純. プライバシー保護を考慮した地理位置情報システムの実装と評価, August 2003. 電子情報通信学会論文誌, Vol.J86-B, No.8, pp.1434-1444.
- 9) Sohgo Takeuchi, Yasuhito Watanabe, and Fumio Teraoka. The gli system: A global system managing geographical location information of mobile entities, August 2001. Trans. IEICE, Vol.E84-B, No.8, pp.2066-2075.
- 10) GLI プロジェクト. <http://www.gli.jp/>.