

# 自動車情報化のためのインターネットを用いた 通信システムの構築

植原 啓介<sup>†1</sup> 湧川 隆次<sup>†2</sup> 佐藤 雅明<sup>†2</sup>  
渡辺 恭人<sup>†2</sup> 砂原 秀樹<sup>†3</sup>  
寺岡 文男<sup>†4</sup> 村井 純<sup>†5</sup>

現在の自動車の情報システムは、サービスごとにセンタシステムや通信基盤を含んだ独立したシステムとして構築されており、新たなサービスを始めるためのコストが高い。そこで我々は、安価にサービスを実現するための基盤として、通信部分をサービスから分離したインターネット自動車システムを提案している。本稿では、インターネットを利用した自動車用通信システムを設計・実装した。このシステムは、高速移動する自動車に安定した Internet Protocol (IP) 通信環境を提供するため、インタフェース切替え等の新技術を導入している。車載コンピュータのハードウェアおよびインターネット自動車システムを基盤としたアプリケーションソフトウェアを開発し、実走行環境での実験を行った。実験では、複数の無線通信媒体が切り替わる環境において、連続的に安定した IP 通信機能が実現できることが分かった。この結果、今回構築したシステムが自動車の情報化に十分利用できることが検証された。

## Design and Implementation of the Internet Based Communication System for Automobiles

KEISUKE UEHARA,<sup>†1</sup> RYUJI WAKIKAWA,<sup>†2</sup> MASAOKI SATOH,<sup>†2</sup>  
YASUHITO WATANABE,<sup>†2</sup> HIDEKI SUNAHARA,<sup>†3</sup> FUMIO TERAOKA<sup>†4</sup>  
and JUN MURAI<sup>†5</sup>

In current information systems for automobiles, each service is an independent system including its own communication system. For this reason it is costly to start a new service. In this paper, to realize an affordable service, we propose a new information system called InternetCAR. In this system the communication system and the service has been separated. This paper describes the design and implementation of a automobil communication system which utilized the Internet. The system makes use of interface switching and other new technologies to provide stable IP connectivity for automobiles moving at high speeds. On-board hardware and application software based on the InternetCAR system have been implemented and evaluated in an actual situation environment on board a moving car. The experiments proved that it was possible to provide stable IP connectivity in an environment where different wireless communication mediums are constantly being switched. As a result, it can be said that this system has the ability to safely and reliably connect automobiles to the Internet.

### 1. はじめに

自動車を取り巻くシステムは高度に情報化されつつ

ある。高度道路交通システム ( Intelligent Transport Systems: ITS ) は、道路、自動車、歩行者等道路上の要素を統合的にシステム化し、より先進的な交通システムの実現を図っている。ITS 関連のプロジェクトは、主に政府主導でシステムの実現が進んでいるが、企業等が独自のコンテンツと提供方法を用い、ユーザに情報提供している例も多い。

現在、ITS の多くの技術は独立したシステムとして構築されている。有料道路自動料金収受システム ( Electronic Toll Collection system: ETC ) では、自動車との双方向通信システムやユーザ認証のための IC カードを利用し、有料道路の自動料金徴収を実現して

†1 慶應義塾大学 SFC 研究所  
Research Institute at SFC, Keio University

†2 慶應義塾大学政策・メディア研究科  
Graduate School of Media and Governance, Keio University

†3 奈良先端科学技術大学院大学  
Nara Institute of Science and Technology

†4 株式会社ソニーコンピュータサイエンス研究所  
Sony Computer Science Laboratory

†5 慶應義塾大学環境情報学部  
Faculty of Environmental Information, Keio University

いる。しかし、現時点では、ここで利用されている双方向通信システムや IC カードによる認証は、他の用途に応用することは難しい。また、携帯電話等を利用した双方向通信が可能なカーナビゲーションシステムが多く実現されているが、これらのシステムには統一された規格が存在せず、メーカー等が独自にコンテンツを用意し、情報提供をするシステムとなっている。

しかし、情報化が進むなか、個別のシステムが独立して運用されるモデルは非効率的であり、情報価値の低下を招く。インターネットは、個別の情報としてはさほど意味を持たないものでも、多く集めることにより十分有用な情報環境をつくり出すことが可能であることを示した<sup>1)</sup>。また、個別のシステムとして実現する場合、システム構築のコストの増大も問題となる。

本研究では、インターネットを利用した自動車情報化のための基盤システムであるインターネット自動車 (InternetCAR) システムの概念を構築し、その設計および実装を行う。インターネット自動車システムでは、1) 通信システムをサービスから分離し、2) 自動車のデータセットを定義することにより、サービス導入時のコストの削減を支援する。これにより、ITS 分野における自動車情報化の早期実現を目指す。

本稿では、上記研究のうち、主に通信システムの設計・実装およびその評価について述べる。2 章で自動車情報化の現状を述べ、その問題点を整理する。3 章では、問題点を解決するためのシステムとして提案しているインターネット自動車の概要について述べる。4 章では、インターネット自動車の通信部分の要件をまとめ、そのアプローチについて議論する。5 章では、実際にインターネット自動車の通信部分の設計・実装について述べる。6 章では、実装したシステムを評価し、その有効性を検証する。

## 2. 自動車情報化の現状と問題点

現在、ITS の枠組みの中で自動車の情報化が進められてる。本章では、現在の自動車情報化の目標を確認するとともに現状を把握し、その問題点を明らかにする。

### 2.1 自動車情報化の目標

大枠での自動車情報化の目標の 1 つは、交通のシステム化である。自動車の動きを把握し、自動車に情報を提供することにより、交通流を制御し、交通諸問題を解決する試みである。これは、ITS の究極的な目標となる。

しかし、現在のような情報社会の下では、自動車を情報化する場合、交通だけに特化するのではなく、よ

り広い応用分野を考えるべきである。ITS が提唱されてから 20 年以上の期間が経過しており、その将来像も変化してきている。様々な情報のデジタル化が急速に進み、社会はデジタル情報の流通により支えられるようになった。このような環境下では、自動車に閉じた情報化は考えにくく、社会システムの中の 1 つとして、自動車を情報化する必要がある。

### 2.2 インターネットによる自動車情報化の現状

カーナビゲーションシステムの普及が進み、その機能強化が進むと、他のシステムとの差別化を図るため、インターネット機能を搭載したシステムが登場した。これらのシステムの多くは携帯電話を介してインターネットにダイヤルアップ接続し、Web ブラウジング機能、E-Mail の送受機能を提供するものである。しかし、これらの機能はインターネット上のアプリケーションを自動車に設置されたカーナビゲーションシステム上で利用できるようにしたものであり、自動車の情報化とはいいい難い。

また、本来のカーナビゲーションシステムの機能の一部をインターネット上に構築し、車内での利用と車外での準備を連係させた本田技研社のインターナビのようなシステムも存在する。しかし、このシステムも基本的にはカーナビゲーションシステムの機能の一部をインターネット上に持ち出しただけにすぎず、それ以上の情報化をもたらすものではない。

現在のインターネットを用いた自動車の情報化は、専用の通信基盤を敷設しなくても独自のサービスを提供できる、つまり通信路としてのインターネットの一面だけを利用したシステムであるということができる。

### 2.3 FCD

ドイツの BMW 社では、実際に走行中の自動車から速度等の情報を得て、これらを統計処理し、道路や交通の状況を把握する Floating Car Data (FCD) システム<sup>2)</sup>の研究を進めている。FCD では各車両が得た情報を携帯電話 (GSM) を通じてセンタシステムに送り、道路の状況を調査している。

しかし、このシステムでは、情報はすべて 1 つのセンタシステムに送られる構造になっており、速度情報は A 社へ、ワイパー情報は B 社へというような柔軟なシステム構築に対応できない。実際にサービスを行う場合、車載機のコスト負担を分散するため、1 台の自動車が、多くのセンタシステムに情報を提供できることが望ましい。

### 2.4 動態管理システム

物流や公共交通機関の運航管理においても、自動車の情報化は重要な意味を持っている。現在、物流や公

公共交通機関ではデジタル MCA 等の通信デバイスを用い、人手や GPS 等を利用して動態管理を行っている<sup>3)</sup>。これらのシステムは、効率的な配車や顧客への情報提供のために利用されている。

現在利用されている動態管理システムの多くは、専用システムである。このため、システムの拡張や他のシステムとの協調は難しい。

### 2.5 ITS 通信システムの現状

ITS の枠組みの中で、自動車用の情報通信システムのアーキテクチャが整理されている。ITS の情報通信システムは以下のように分類されており<sup>4)</sup>、必要に応じてそれぞれの情報通信システムを利用してアプリケーションを構築するような設計になっている。

- 路車間通信
- 車車間通信
- ITS 用通信ネットワーク
- 車両内情報ネットワーク
- その他

しかし、現状では、新たなサービスを始めるために、専用の通信基盤を整備している。Vehicle Information & Communication System (VICS) では、光ビーコンや電波ビーコン、FM 多重放送を利用している。また、今年から日本において運用が始まった ETC は、専用狭域通信 (Dedicated Short Range Communication: DSRC) 技術が用いられている。ここで利用されている通信基盤は、それぞれのサービス専用に敷設されており、他の目的への流用は難しい。現在、運用が開始されているこれらの 2 つのサービスは、通信基盤とアプリケーションシステムを分割できなかった典型的な例としてとらえることができる。

### 2.6 現状の問題点

本節では、前節までに述べた自動車情報化の現状をふまえ、その問題点を整理する。

まず、最大の問題点として、サービス開始のためのコストの高さをあげることができる。現在の自動車の情報化では、システムが個別に設計されており、すべてのシステムで車両側システム、センタシステム、通信システムの開発コストと導入コストが必要となる。なかでも、通信システムの導入コストは高く、多くの場合、携帯電話等の既存の通信インフラを利用することになる。

しかし、安易に単一のシステムを導入するのは危険である。単一のシステムを用いた場合、衛星通信のような広範囲のサービスでも、立体駐車場等のサービスエリア外の場所が存在し、その場所での通信は不可能となる。また、回線交換のデバイスを用いる場合にも

注意が必要である。多くの回線交換のシステムは、たかだか同時に 1 つの相手としか通信できない。このため、複数のサービスを利用する場合、情報を交換するセンタシステムごとに端末を用意する必要がある。

一方で、複数の通信システムを利用可能にするのもコストが高い。通信システムは、それぞれ独自のアプリケーションインタフェースを持っている。システムごとに、携帯電話、PHS、DSRC 等の通信デバイスすべてのインタフェースを準備するのは無駄が多く、コストが高い。

また、情報モデルが構築できていないことも、問題点として指摘できる。自動車の情報を取り扱う場合、これらを 1 つのデータ辞書に照らし合わせて交換できることが望ましい。これにより、ある情報を複数のサービスで共有することが可能となる。

以上をまとめると、現在、自動車情報化のための情報基盤が未整備であることが大きな問題点であるといえることができる。本研究では、自動車情報化のための情報基盤として、インターネットを利用したシステムを提案する。その第一歩として、自動車用の情報通信システムを構築する。また、その上で交換される情報の標準化に関して考察する。

## 3. インターネット自動車システム

我々は、前章で述べたような問題を解決するために、インターネット自動車システム<sup>5)</sup>を提案している。本章では、インターネット自動車システムのコンセプトと概要について述べる。

インターネット自動車システムは、インターネットを利用して自動車の情報化を支援する基盤システムである。前章で述べたように、現在の自動車の情報化では、共通の基盤が存在していないことが問題となっている。インターネット自動車システムでは、通信部分を基盤システムとしてサービスから独立させることにより、サービス提供者が独自に情報を自動車に提供したり、自動車が持つ情報を他のシステムから利用したりするのを支援することを目標としている。

インターネット自動車システムでは、主に以下の 2 つの機能を提供する。

- 自動車-センタシステム 間の自由な通信
- 情報再利用のための共通情報プラットフォーム

---

自動車からの情報収集、あるいは自動車への情報提供を行うシステム。インターネット自動車における、センタシステムは自動車に関係する情報を処理するシステムを指し、たとえ 1 台の情報しか扱っていないものや自動車内部で他の車両の情報を取得・処理している場合でも情報処理システムと称することとする。

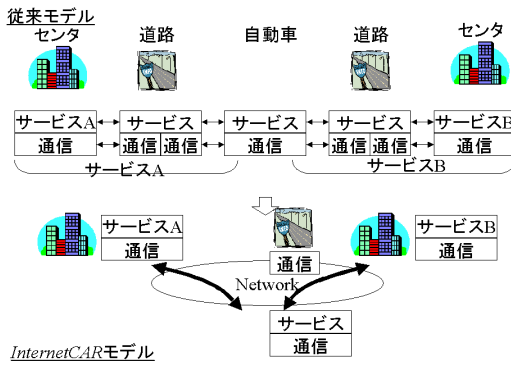


図1 インターネットを用いた通信システム

Fig.1 Communication system using the Internet.

これらの機能をインターネットで実現することにより、アプリケーションの開発、インターネット上の他の情報システムとの協調が容易になる。

自動車を対象とした情報サービスでは、自動車とセンタシステムとの間で通信が行われる。図1に現在のサービスアーキテクチャと提案する通信システムモデルを示す。従来モデルでは、道路側システム等、通信路に依存したシステム構築が行われている。しかし、インターネットを用いることにより、センタシステムおよび自動車側システムでは、通信路を意識することなくシステムを構築することが可能となる。また、道路側システムは通信部だけを支援し、簡素化できる。

また、自動車が持つ情報の再利用可能性も、今後の自動車の情報化では重要な鍵となる。図2に現在のシステム構成と提案するモデルを示す。現状では、自動車のデジタルモデルが確立されていないため、システムごとに情報を収集し、利用している。しかし、これらの情報は自動車固有のものであり、本来、複数のシステムで利用できる。そこで、図2下のように自動車のデータセットを定義しておき、これを利用して多くのシステムが構築できる基盤を構築する。これにより、システムの開発のコストを下げることができ、自動車の情報化を加速させることが可能となる。

以上のようなインターネット自動車システムは、インターネット環境で、自動車をデジタル情報として取り扱う基盤を提供する。この基盤を利用することにより、多くのサービスが純粋なソフトウェアとして実現可能であり、自動車に情報を提供、あるいは、自動車から他のシステムに情報を提供するようなサービスを、早期に、しかも安価に実現することが可能となる。

#### 4. インターネット自動車の通信システム

自動車は高速で移動するため、一般的なインター

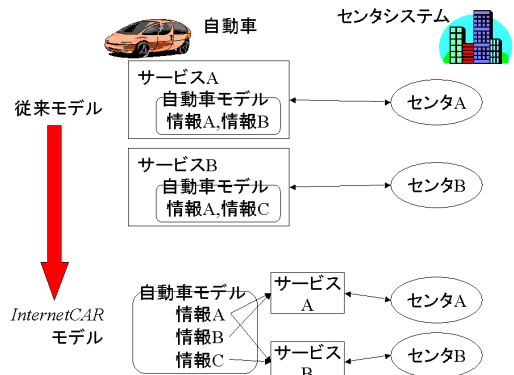


図2 情報の取り扱いモデル

Fig.2 Information model.

ネット環境とは異なった通信環境を持つ。本章では、インターネット自動車が置かれている通信環境に対応した通信システムについて考察する。

##### 4.1 ホストとしての自動車

まず、インターネット上で自動車をどのように表現するかを考える。インターネット上で自動車を表現する場合、以下の2つの方法が考えられる。

- エージェントとして取り扱う方法
- ホストとして取り扱う方法

前者は、自動車をソフトウェアとして表現する方法である。この方法では、自動車が通信できない状態にある場合でも、エージェントが応えられるという利点を持つ。反面、実際に自動車と通信する際にもエージェントを介して自動車の情報を取得しなければならない。

後者は、自動車を1つの通信ノードとして表現する方法である。この方法では、自動車が通信不可能な状態にある場合には、センタシステムとの通信が成立しない。しかし、センタシステムと自動車の間に入るものがないため、アプリケーションの機能拡張や新規サービスの導入が、他のアプリケーションに依存せずに容易に行えるという利点を持つ。

インターネット自動車システムでは、新規サービスの導入を容易にするため、後者の方法を採用する。

##### 4.2 通信デバイス環境

自動車は道路上を移動する。当然、有線の通信デバイスを利用できる状況は限られており、基本的には無線通信デバイスを用いることになる。しかし、現状では、あらゆる環境において利用できる無線デバイスは存在しておらず、無線デバイスはそのサービスエリアが限られている。また、狭域高速な通信デバイス、広域低速な通信デバイス等、デバイスによってその特長

も大きく異なる。

そこで、インターネット自動車システムでは複数の通信デバイスを切り替えながら利用する必要が生じる。これにより、ある通信デバイスのサービスエリアを出ても、他の通信デバイスのサービスエリア内であれば、継続して通信路を確保することが可能となる。

#### 4.3 移動透過性

自動車をホストとして扱うこと、および、自動車が通信デバイスを切り替えながら通信することをインターネットの視点でとらえると、移動ホストの問題に帰着する。インターネットでは、IP アドレスによってホストを識別している。しかし、IP アドレスはホストが接続されている場所に依存しているため、接続場所が変化すると IP アドレスも変化する。これは、移動前と移動後で別のホストとして認識されてしまうことを表している。

前節で述べたように、インターネット自動車システム環境では、複数の通信デバイスを切り替えて通信を行う。また、通信デバイスの切替えがなくても、移動によってその接続先が変化することがありうる。このような状況では、自動車の IP アドレスが変化し、移動の前後で別の自動車として認識されてしまう。

このような問題を解決するためには、Mobile IP<sup>6)</sup> や Virtual Internet Protocol (VIP)<sup>7)</sup> のような、インターネット用の移動体通信プロトコルを利用する必要がある。これらの移動体通信プロトコルは、ホストの IP アドレスが変化しても、ホストを 1 つの IP アドレスで識別できる環境を提供する。これにより、自動車が利用する通信デバイスや、その接続先が変化しても、継続して相手の自動車と通信を行うことが可能となる。

#### 4.4 インターネット自動車通信システムモデル

インターネット自動車の通信システムは、1) 1 台の自動車を 1 つのホストとして取り扱い、2) その自動車は複数の通信デバイスを選択しながら、3) 継続して通信できる環境を提供する。通信部の階層モデルを図 3 に示す。サービスを実現するためのアプリケーションは、自動車を指定して情報を送受する。このため、自動車はそれぞれに自動車の識別子 (Host ID) を持つ必要がある。また、通信デバイスは、接続可能性を監視し、接続可能であればアドレスを取得して状態変化を制御部を通じてネットワーク位置管理部に通知する。位置管理部では通信可能なデバイスのリストから、自動車 (ホスト) のネットワークの位置を決定し、継続した通信をアプリケーションに提供する。つまり、ホストは、アドレスの取得が完了しているインタフェー

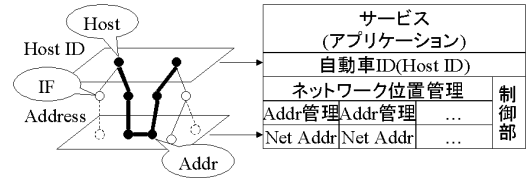


図 3 通信システムの階層モデル  
Fig. 3 InternetCAR layering model.

スのリストから適当なものを選択し、それを利用できるように自分のネットワークの位置の管理を行う。これにより、ホスト間の継続した通信が成立する。

### 5. 設計と実装

本章では、インターネットを利用した自動車情報化システム「インターネット自動車システム」の設計および実装について述べる。

#### 5.1 通信システム

インターネット自動車システムでは、エンドエンドの通信を実現しなければならない。しかし、現実的に利用可能な無線通信デバイスは、携帯電話や無線 LAN 等に限定されており、つねに通信を保証することはできない。そこで、インターネット自動車システムの通信システムでは、複数の無線通信デバイスを用いて、可能な限り接続を維持することを考える必要がある。

しかし、現状のインターネットでは、複数の無線デバイスを切り替えながら通信を維持することはできない。そこで、インターネット自動車システムではインタフェース切替機構および Mobile-IP を組み合わせて用いることによってこの環境を実現する。図 4 に自動車側システム (車載機) の通信部のブロックダイアグラムを示す。通信部は、インタフェースごとにアドレス管理がなされている。さらに Mobile-IP や経路制御表を利用したインタフェース切替機構により、どのインタフェースを利用するかを決定するように構成されている。アドレス管理は、通信デバイスに応じて PPP のアドレス取得サブプロトコルである IP Control Protocol (ICP) や DHCP によって行われている。

Mobile-IP は、現状ではほとんど利用されていないが、標準化が行われている技術である。一方、インタフェース切替機構は、特に標準として定められているものは存在しない。手で IP 層の経路表を書き換えることによってインタフェースを切り替えることも可能である。今回は、自動車環境を考慮し、高速に自動でインタフェースを切り替える機構を構築する必要がある。

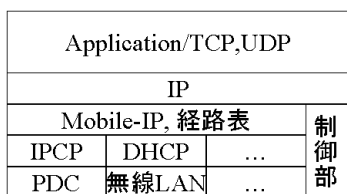


図 4 車載機通信部のブロックダイアグラム  
Fig. 4 Blockdiagram of communication system.

図 4 は、図 3 の通信システムをインターネットに適用した例を示している。制御部が無線 LAN デバイスから電波強度等の情報を受け取り、その強度に応じて経路を変更し、また、Mobile-IP の Home Agent ( HA ) への位置登録を指示する。ここで、携帯電話側はパケット通信を仮定した常時接続を行っており、Point-to-Point Protocol ( PPP )<sup>8)</sup> ソフトウェアによって再発呼等の処理を行う。

今回、実装はインターネット自動車システム用に開発した車載ハードウェア SIC2000<sup>9)</sup> を用いて行った。SIC2000 は、CPU に VR4300 を搭載した計算機で、センサ信号入力用の A/D, D/D インタフェースやパルスカウンタ、携帯電話等を接続するための PC カードスロット、Ethernet インタフェース、内蔵 GPS ユニット等を備えている。自動車で利用することを前提としているため、DC12~24V の電源で動作し、ACC スイッチ（一般的にはイグニッションキー）による電源制御が可能である。また、カーオーディオサイズ（1 DIN サイズ）のコントローラを接続できる。SIC2000 の取り付け時の写真を図 5 に示す。左側がコントローラ、右側が SIC2000 本体である。

実験のために SIC2000 上では NetBSD を動作させ、その上にネットワーク環境を構築した。実際の実装に沿ったブロックダイアグラムを図 6 に示す。実装では、PPP のモジュールとしては iij-ppp を常時接続モードで利用した。また、インタフェース切替え部分は MIBsocket<sup>10)</sup> を利用して構築した。MIBsocket は、ネットワークエンティティの状態変化をアプリケーションに伝えたり、状態変数を変化させたりするのに利用できる。経路管理デーモンはイーサネットに接続された無線 LAN デバイス ( Breezecom ) から Simple Network Management Protocol ( SNMP )<sup>11)</sup> により、電波強度を定期的に取得する。このとき、電波強度が閾値より低くなると、MIBsocket を介して経路表を書き換え、携帯電話を利用するように設定する。逆に、携帯電話を利用しているときに電波強度が強くなると、無線 LAN を利用するように設定変更する。経路監視デーモンは、経路の変化を MIBsocket からの



図 5 取り付け時の SIC2000  
Fig. 5 SIC2000: which is installed to a vehicle.

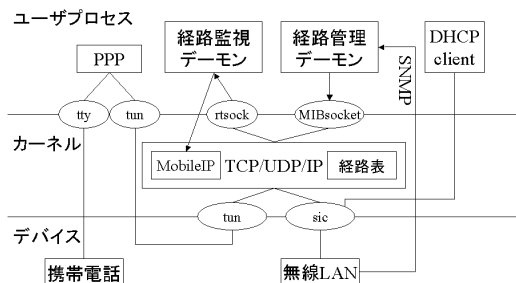


図 6 通信部の実装  
Fig. 6 Implementation of communication system.

イベントにより検知し、Mobile-IP の CoA ( Care of Address ) 登録を行う。

この機構により、自動的な通信デバイス選択と通信の継続を実現し、自動車の継続したインターネット接続を支援する。

### 5.2 動態管理アプリケーション

今回の実装では、アプリケーションとして、自動車の情報をセンタ側でモニタする動態管理を実現する。

動態管理を実現するためには、車載機側で、情報を取り込むソフトウェアと外部に情報を提供するソフトウェア、2つのソフトウェア間のインタフェースが必要となる。特に、2つのソフトウェア間のインタフェースの構築は他のアプリケーションを実現するうえで重要となる。

今回は、情報を取り込むソフトウェアに User Datagram Protocol ( UDP ) を用いた、ネットワークを介して情報提供が可能なインタフェースを設けることにより、アプリケーションを実現した。ネットワークを介した情報提供インタフェースを構築することにより、アプリケーション依存部を車載機側、インターネット側のどちらに構築することも可能となり、アプリケーション設計者の自由度を高めることを狙いとしている。情報システムのアーキテクチャを図 7 に示す。このアーキテクチャでは、自動車をデータセットとして取

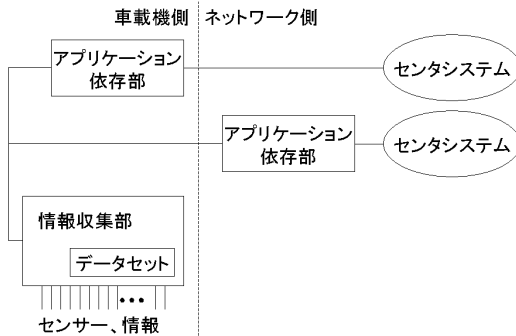


図 7 情報システムのアーキテクチャ  
Fig. 7 Architecture for information system.

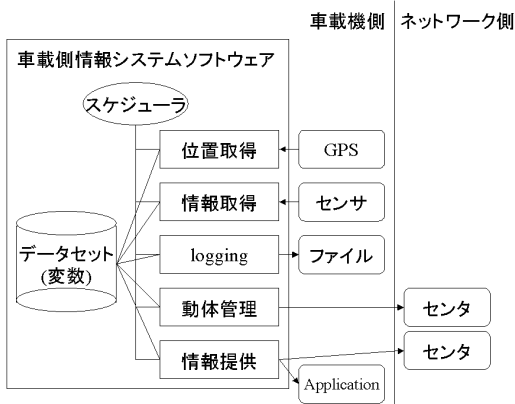


図 8 車載側情報システムの実装  
Fig. 8 Implementation of on board system.

り扱い、これを利用してサービスを実現する。

今回の実装では、アプリケーション依存部と情報収集部を 1 つのソフトウェアとして実装した。既存のアプリケーションは情報収集部を設計する段階で取り込むことが可能であり、その方が効率的な実装が可能である。実際に作成したソフトウェアでは、情報収集部組み込みの場合、変数に直接アクセスすることが可能であり、外部プログラムとして実装される場合は、UDP ネットワークインタフェースを介して情報にアクセスできるようになっている。

車載側情報システムの実装を図 8 に示す。この実装では、データセットとスケジューラを軸に、データセットの情報を更新するいくつかのモジュールと、それらの情報をもとにサービスを提供するアプリケーションモジュールから構成されている。ソフトウェア内部に組み込まれたソフトウェアはデータセットに直接アクセスすることが可能である。また、後に追加するモジュールについては、情報提供モジュール (UDP/IP を用いてデータセットにアクセスする機能を提供するモジュール) を介してデータセットにアクセスする。

表 1 平均遅延

Table 1 Average of delay.

通信方式	RTT (ms)	スループット (Kbps)
PDC	499	7.35
PDC+Mobile-IP	533	7.52
PDC(V.42bis)	462	25.1
PDC(V.42bis)+Mobile-IP	484	24.3
無線 LAN	9.33	815
無線 LAN+Mobile-IP	11.0	826

## 6. 評価

本章では実際に構築したシステムを用い、その性能および有効性を評価する。

### 6.1 通信システムの性能

本節では、まず、今回構築した通信システムの性能を調査し、インターネットを用いた場合の通信性能に関して考察する。

今回構築したシステムは、インターネットを用いた自動車用の通信システムである。インターネットの接続には、携帯電話 (PDC: Personal Digital Cellular) と無線 LAN を用いた。まず、これらの通信デバイスを用いてインターネットに接続した場合の Round Trip Time (RTT) とスループットを測定した。結果を表 1 に示す。ここで、測定に用いたホストと Mobile-IP の Home Agent は同一のセグメントに存在する。また、RTT の測定には ping コマンドによる ICMP echo request を、スループットの測定には、tcp を Transmission Control Protocol (TCP) モードで利用した。

PDC の場合、表 1 に示した RTT のうち 9 割程度が無線部の影響である。この結果より、直接通信デバイスを用いて構成する従来の方式と、インターネットを用いて通信を抽象化した場合の通信遅延は、ほぼ等しいことが分かる。無線を用いた通信デバイスは、一般的に ARQ 等の誤り制御機構を持っており、遅延が大きくなる傾向がある。このため、輻輳していないインターネット上を通るときの遅延は無視できるものと考えられる。また、Mobile-IP に関して、三角ルーティングが起きない限り、そのオーバーヘッドは十分に小さく、利用する価値の高い技術であることが分かる。

スループットに関して、PDC、無線 LAN の物理的な転送速度はそれぞれ 9600 bps、1 Mbps であり、その 8 割程度のスループットが得られた。この値は、データの転送速度であり、ヘッダのオーバーヘッド等は考慮しておらず、実際にデバイスを通ったデータはさらに多いことになる。また、PDC を用いた場合は、モ

表 2 通信デバイス切替時間

Table 2 Handoff time.

切替え方向	切替え時間 (ms)
PDC → 無線 LAN	約 300 ms
無線 LAN → PDC	約 400 ms

デムのプロトコルや PPP により圧縮をかけることによって、さらに効率の良い通信が可能となる。表 1 に V.42bis を利用したときの RTT とスループットを参考として示す。

自動車情報化のための通信にインターネットを利用する利点の 1 つに、アプリケーションが意識することなく、複数の通信デバイスを利用できることをあげることができる。地下駐車場等携帯電話が利用できない場所でも、無線 LAN のような安価な通信インフラを敷設することにより、通信を継続することが可能となる。また、限られた範囲での高性能な通信を実現するのも、この手法は有効である。そこで、通信デバイスを切り替える際のハンドオフ操作に必要な時間を計測した。測定結果を表 2 に示す。測定は、ICMP echo request を 100 ms 間隔で送出して RTT を計測し、使われている通信デバイスが切り替わるまでを計測した。また、代表的な切り替わるまでの過渡状態を図 9、図 10 に示す。ここで、約 200 ms の RTT が計測されるのは、自動車側の送出経路が変化したが Mobile-IP の登録が終わっておらず、片道が無線 LAN、片道が PDC を通っている状態だと考えられる。

実際に運用する場合には、上記の切替え時間のほかに PPP や DHCP<sup>12)</sup> によりネットワークを設定する時間が必要となる。これらの処理に必要な時間を計測した結果を表 3、表 4 に示す。PPP の場合には 30 秒程度のオーバーヘッド、DHCP の場合には新規にアドレスを取得する場合で 500 ms 程度のオーバーヘッドが必要となることが分かった。また、あらかじめ取得しているアドレスの更新時には 1.83 ms、取得しているアドレスと別のアドレスを取得する新規割当て時には約 58 秒の時間が必要であった。これにより、PPP の場合および現在取得しているアドレスが無効なネットワークで DHCP を使用する場合のオーバーヘッドは、実際の運用では致命的であり、あらかじめ接続を確立しておく等の対処が必要となることが分かる。

また、通信デバイスを切り替えるためには、切り替えるタイミングを検知する必要がある。今回の実装では、無線 LAN デバイスに SNMP でポーリングをかけることにより、無線 LAN のサービスエリアの中に入ったり、サービスエリアから出たりすることを検知している。表 5 に SNMP でのポーリングに必要な時

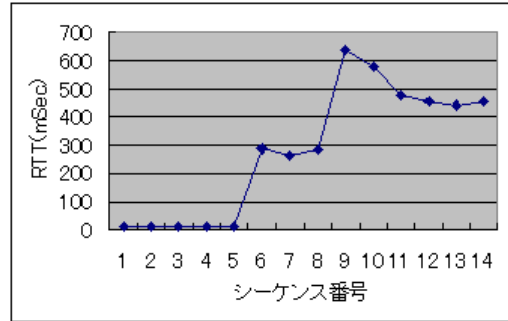


図 9 通信デバイス切替時間 (無線 LAN → PDC)  
Fig. 9 Communication device switching time (from Wireless LAN to PDC).

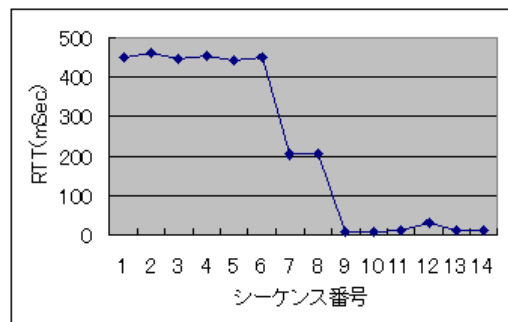


図 10 通信デバイス切替時間 (PDC → 無線 LAN)  
Fig. 10 Communication device switching time (from PDC to Wireless LAN).

表 3 PPP 接続に必要な時間

Table 3 ppp connection setup time.

ダイヤリング (秒)	PPP リンク (秒)	合計 (秒)
25.3	7.5	32.8

表 4 DHCP に必要な時間

Table 4 DHCP time.

初期状態	アドレス取得時間
アドレスなし	546 ms
アドレスあり (更新)	1.83 ms
アドレスあり (新規)	58 s

表 5 ポーリングに必要な時間

Table 5 Polling time.

ポーリングに必要な時間
13.1 ms

間を示す。値は 10 秒間ポーリングを繰り返し、その間にポーリングできた回数から逆算した。

## 6.2 コスト

提案モデル導入時の最大の利点は、サービス導入時のコストを削減できることである。本節では、今回構築したシステムを例にとって、サービス導入時にかか



表 6 車載機側ソフトウェアの内訳  
Table 6 Breakdown of car-agent.

	行数
スケジューラ他	360
位置取得部	151
情報取得部	164
logging 部	69
動態管理部	241
情報提供部	91

るコストについて考察する。

今回の実装では、動態管理のためのシステムを構築した。これらのシステムはインターネットアプリケーションとして設計・実装されており、その開発に特別なアプリケーション開発環境やテスト環境を必要としない。このためアプリケーションを安価に作成することができた。実際に車載機側のソフトウェアに必要な C 言語のステップ数の内訳は表 6 のとおりである。この結果より、低いコストで新たなサービスを導入できることが分かる。

また、本モデルにおいて重要な点は、サービスごとのインフラ整備が不要となることである。自動車とセンタシステムの直接通信を実現しているため、新たなサービスの導入時に、道路側システムを更新する必要がなくなる。また、基盤整備とサービス拡大の同期をとる必要がなくなり、独自にシステムを拡張することが可能となる。

## 7. 今後の課題と方向性

本稿で示したモデルおよび実装では、通信路の安全性や通信性能の保証については言及しなかった。しかし、自動車の情報化においては安全にかかわる情報、課金情報、プライバシーにかかわる情報等、重要度の高い情報が取り扱われる。このため、通信相手の認証と通信路の安全性の保証、頑健な通信路が必要となる。

現在、インターネットでは、相手の認証を行うための基盤が整備されつつある。認証局 (Certificate Authority: CA) にあらかじめ公開鍵を登録しておき、CA を介してお互いを認証する方式である。また、IPsec<sup>13)</sup> によって、通信路の安全性も保証できる段階にきている。これらの枠組みを早い時期に取り入れることによって、安全な通信が可能となる。

一方で、通信性能の保証は現在のインターネットでは難しい。しかし、Diffserv<sup>14),15)</sup> 等の技術により、ある範囲の通信路の通信性能を保証することは可能になりつつある。重要な情報を交換する部分に適度な通信インフラを整備し、これらの技術を適用することにより、インターネットの利点を失うことなく、通信性能

を保証することができる。

さらに、現在インターネットではあまり利用されていないような通信メディアの利用を考慮する必要がある。自動車には、これまで利用されてきたデジタル MCA のような通信メディアが存在している。また、自動車に対する通信メディアとして衛星通信やデジタル FM 放送等が期待されている。自動車での通信をインターネットで抽象化するためには、これらの新しい通信メディアをどのように利用するかを検討する必要がある。

また、規模性に関しても考慮する必要がある。すべての自動車がインターネットに接続されると、日本国内で約 7,300 万台 (1997 年調べ)<sup>6)</sup> のホストがインターネットに接続されることになる。インターネットでは、IP アドレスの枯渇問題が発生しており、より大きなアドレス空間を提供するため、IP version 6 (IPv6)<sup>7)</sup> への移行が進んでいる。自動車をインターネットに接続する際には、IPv6 の利用も考慮する必要がある。

さらに、標準化も重要な鍵となる。自動車の情報化を効率的に行うためには、すべての自動車が同じ基盤上にあることが望ましい。これにより、新たなサービスを導入する際の導入コストを削減することができ、また、より多くの自動車をそのサービスの対象とすることが可能となる。

## 8. 結 論

本稿では、インターネットを用いた自動車の情報化手法を提案した。現在の自動車の情報システムは、主にサービスを中心とした 1 つの閉じたシステムとして設計されている。しかし、これらのシステムは共通する部分も多く、その部分を抜き出して情報化のための基盤技術とすることにより、新たなサービスを導入する際のコスト削減ができる。本研究では、現状で共通基盤をつくることのできる通信部分の分離を行い、その実現方法を示した。

我々の手法では、現在最大のデジタル情報基盤であるインターネットを利用しており、既存の通信デバイスの有効利用や発展性の面でも優れている。すでに敷設されている様々な通信デバイスを利用してシステムを構築することが可能であり、徐々にシステムを大きくしていくことができる。また、インターネットを基盤とした情報家電等の製品化も進んでおり、これらとの協調システムを構築するにあたって我々の手法は有用である。

謝辞 本研究を行うにあたり、研究の場を提供して

いただきました慶應義塾大学 SFC 研究所インターネット自動車コンソーシアムのメンバの方々に感謝いたします。

本研究を進めるにあたり、貴重な助言をいただきました WIDE Project<sup>18)</sup> インターネット自動車分会の皆様および(株)東芝の石山氏をはじめとする rover 研究グループ<sup>19)</sup>の方々に感謝いたします。

研究を進めるにあたり、議論や実験等に協力していただいた慶應義塾大学環境情報学部徳田・村井・中村・楠本研究室の皆様々に感謝いたします。

### 参 考 文 献

- 1) Lee, T.B., Gailliau, R., Luotonen, A., Nielsen, H.F. and Secret, A.: The World-Wide Web, *Comm. ACM*, Vol.37, No.8, pp.76-81 (1994).
- 2) Huber, W., Lädke, M. and Ogger, R.: EXTENDED FLOATING-CAR DATA FOR THE ACQUISITION OF TRAFFIC INFORMATION, *ITS Wrold Congress'99* (1999).
- 3) 外山利和: タクシーはどのように配車されるのか—タクシー無線配車システムの高度化, 情報処理, Vol.41, No.1, pp.96-101 (2000).
- 4) 福井良太郎: ITS 情報通信システム技術, 情報処理, Vol.40, No.10, pp.970-973 (1999).
- 5) Uehara, K., Watanaba, Y., Sunahara, H., Nakamura, O. and Murai, J.: InternetCAR - Internet Connected Automobiles, *INET'98* (1998).
- 6) Perkins, C.: IP Mobility Support, RFC 2002 (1996).
- 7) Teraoka, F., Uehara, K., Sunahara, H. and Murai, J.: VIP: A Protocol Providing Host Mobility, *Comm. ACM*, Vol.37, No.8, pp.67-75 (1994).
- 8) Simpson, W.: The Point-to-Point Protocol (PPP), RFC 2131 (1994).
- 9) 杉本信太, 植原啓介, 三屋光史朗, 村井 純: 車載コンピュータへの BSD の応用, 第 3 回プログラミングおよび応用のシステムに関するワークショップ (SPA2000) (2000).
- 10) 湧川隆次, 植原啓介, 田村陽介, 徳田英幸: MIBsocket: 移動型計算機におけるネットワークエンティティの状態変化に対応する管理機構の設計と実装, 情報処理学会システムソフトウェアとオペレーティングシステム研究会 (1999).
- 11) Rose, M.T.: *The Simple Book - An Introduction to Internet Management*, 2nd edition, Prentice Hall (1994).
- 12) Droms, R.: Dynamic Host Configuration Protocol, RFC 2131 (1997).
- 13) Kent, S. and Atkinson, R.: Security Architecture for the Internet Protocol, RFC 2401 (1998).
- 14) Clark, D.D. and Fang, W.: Explicit Allocation of Best Effort Packet Delivery Service, *IEEE ACM Trans. Networking*, Vol.6, No.4, pp.362-373 (1998).
- 15) Blake, S., Black, D., Carlson, M., Davies, E., Wang, Z. and Weiss, W.: An Architecture for Differentiated Services, RFC 2475 (1998).
- 16) 運輸省自動車交通局 (編): 数字でみる自動車, 社団法人日本自動車会議所 (1999).
- 17) Deering, S. and Hinden, R.: Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification, RFC 2460 (1998).
- 18) WIDE Project. <http://www.wide.ad.jp/>.
- 19) rover 研究グループ. <http://www.sfc.wide.ad.jp/rover/>.

(平成 12 年 5 月 19 日受付)

(平成 12 年 10 月 6 日採録)



植原 啓介 (正会員)

1970 年生。1995 年、電気通信大学大学院電気通信学研究科情報工学先攻 (博士前期課程) 修了。慶應義塾大学環境情報研究所研究員、慶應義塾大学環境情報学部助手、慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科 (後期博士課程) を経て、現職、慶應義塾大学環境情報研究所研究員に至る。移動通信プロトコル、移動計算機環境等の研究に従事。修士 (工学)。ACM, IEEE 各会員。



湧川 隆次

1975 年生。1999 年慶應義塾大学総合政策学部卒業。現在同大学大学院政策・メディア政策科修士課程在学中。InternetCAR プロジェクト等を中心に、移動体通信支援の研究を行っている。



佐藤 雅明

1977 年生。2000 年慶應義塾大学環境情報学部卒業。現在同大学大学院政策・メディア研究科修士課程在学中。InternetCAR プロジェクト等の移動体通信の研究に従事。



渡辺 恭人(学生会員)

1970年生. 1996年慶應義塾大学政策・メディア研究科修士課程修了. 同大学環境情報研究所訪問所員を経て, 同大学政策・メディア研究科後期博士課程在学中. 修士(政策・メディア). 現在, コンピュータネットワークトラフィック解析, インターネットにおける地理的位置情報に関する研究に従事.



砂原 秀樹(正会員)

奈良先端科学技術大学院大学情報科学センター助教授. 1960年生. 1983年慶應義塾大学工学部電気工学科卒業. 1988年同大学大学院博士課程修了. 1988年より電気通信大学情報工学科助手を経て現職. 工学博士. インターネット, モバイル/ユービキタスコンピューティング, 大規模広域分散環境, 並列処理, オペレーティングシステム, 電子図書館に関する研究に従事. 電子情報通信学会, ソフトウェア科学会, Internet Society, ACM, IEEE 各会員.



寺岡 文男(正会員)

1959年生. 1984年慶應義塾大学院修士課程修了. 同年キヤノン(株)入社. 1988年(株)ソニーコンピュータサイエンス研究所入社. 現在, 同社シニアリサーチャ. 工学博士. 1991年日本ソフトウェア科学会高橋奨励賞受賞. 1993年元岡記念賞受賞. コンピュータネットワーク, オペレーティングシステム, 分散システム等の研究に従事. 特に移動透過性を提供するプロトコルVIP (Virtual IP)の開発を通してIETFのMobile IP分科会の活動に貢献. 著書に「ワイヤレスLANアーキテクチャ」(共著, 共立出版). ACM, IEEE, 日本ソフトウェア科学会各会員.



村井 純(正会員)

現職: 慶應義塾大学環境情報学部教授. 1955年生. 1984年慶應義塾大学工学部数理工学博士課程修了. 1987年博士号取得. 1984年東京工業大学総合情報処理センター助手. 1987年東京大学大型計算機センター助手. 1990年慶應義塾大学環境情報学部助教授を経て1997年より現職. 1999年慶應義塾大学SFC研究所所長. 1984年JUNETを設立. 1988年WIDEプロジェクトを設立し, 今日までその代表として指導にあたる. 社団法人日本ネットワークインフォメーションセンター理事長. インターネットソサエティ(ISOCC)理事. ICANN暫定ボード. 著書に「インターネット」, 「インターネットII」(岩波新書), 監訳に「インターネットシステムハンドブック」(インプレス), 「IPv6: 次世代インターネットプロトコル」(プレントリスホール)等がある.