

## 移動経路情報を利用したデータ転送方式のシミュレーションによる評価

佐藤 健哉<sup>††</sup> 最所 圭三<sup>††</sup> 福田 晃<sup>††</sup>

携帯情報端末の普及にともない、移動計算機環境においてマルチメディアデータを転送するための研究が積極的に行われている。これらのシステムの問題として、帯域が狭く不安定な通信を、移動計算機がいかに効率よく利用するかがある。一方、最近、マイクロソフトの Auto PC、インテルの Connected Car PC など、自動車における計算機の役割がいくつか提案されている。自動車側の情報を利用し、帯域が狭い移動計算機の通信を効率良く利用するため、移動経路上にある中継基地局と移動計算機間の通信帯域を割り当てるための空間的・時間的資源割り当てプロトコル (STRAP) を提案してきた。本報告では、実環境を想定したモデル上においてシミュレーションを用い、従来からのブロードキャスト法および地理的放射手法と比較し評価を行い、本プロトコルの適応範囲を検討した。

### Evaluation by Simulation of a Data Transfer Protocol with Mobility Specification

KENYA SATO,<sup>††</sup> KEIZO SAISHO<sup>††</sup> and AKIRA FUKUDA<sup>††</sup>

The rapidly expanding technology of portable personalized computing devices and wireless data networks has recently given mobile users capability of accessing multimedia data. The common problems on these systems are network connectivity, bandwidth, and latency. Meanwhile, Auto PC by Microsoft Corp., Connected Car PC by Intel Corp., and so on have been announced as a platform of in-vehicle computer systems. We have proposed STRAP (a Spatio-Temporal Resource Allocation Protocol), to address the network problems with some information managed by these systems for ITS (Intelligent Transportation Systems) communication networks. In this paper, We evaluate the protocols on the model close to the road environment in comparison with existing protocols. The STRAP is specially effective in the case of crowded traffic condition.

#### 1. はじめに

無線によるパーソナル移動通信技術の発展や、計算機ハードウェアの小型化などにより、携帯情報端末が広く普及してきている。一般に、移動計算機を接続するネットワークは、帯域が狭く、不安定である場合が多い。このような状況のもと、移動計算機と固定ネットワークに接続された計算機、あるいは移動計算機同士を、中継基地局を経由して接続し、マルチメディアデータを転送するために、Talukdar らの MRSVP<sup>1)</sup>、藤田らの IP ローミング<sup>2)</sup> などの研究がなされている。これらの研究においては、移動計算機が移動する

際、ある中継基地局の通信可能エリア (セル) から、どの中継基地局にどのタイミングで移動するかは既知として取り扱っている。また、現在地から進行可能な方向すべてにあらかじめデータを転送する八幡らの地理的放射手法<sup>3)</sup>、あるいは、進行方向へ転送する高羽らの小ゾーン連続型自動車パケット通信<sup>4)</sup>も提案されている。これとは別に、最近、マイクロソフトの Auto PC<sup>5)</sup>、インテルの Connected Car PC<sup>6)</sup>、その他<sup>7)8)9)</sup>、自動車における計算機の様々な役割が提案されている。これらに共通の問題として、自動車に搭載された計算機、すなわち、移動計算機が、帯域が狭く不安定な通信を、いかに効率よく利用するかがある<sup>10)</sup>。

我々は、カーナビゲーションシステムや ITS<sup>11)</sup> などにおいて、移動する自動車が比較的小さなセル (マイクロセル) を持つ中継基地局を経由して通信する場合、現在地、進行方向などの自動車側の情報を利用す

<sup>†</sup> 住友電気工業株式会社 ITS 研究所

ITS Laboratories, Sumitomo Electric Industries, Ltd.

<sup>††</sup> 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科

Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

ることにより、狭い帯域を有効に利用するプロトコル (STRAP) を提案している<sup>12)</sup>。本プロトコルでは、移動計算機の移動する経路と時刻の予測 (移動計画) し、この情報をもとに中継基地局、あるいはネットワーク資源を、それぞれの移動計算機の移動に従って割り当てることで、移動計算機に対し転送するデータ量をより多く確保できるとともに、情報を提供するネットワーク全体としてデータ転送の効率を上げることができる。本報告では、本プロトコルの適応範囲を検討するため、実環境を想定したモデル上においてシミュレーションを用い、従来からのブロードキャスト法および地理的放射手法と比較し評価を行った。

## 2. 通信ネットワークモデルと移動計画

### 2.1 通信ネットワークモデル

移動経路網として、自動車が走行する道路ということ念頭に入れ、図1のようなモデルを設定する。移動経路網において、道路に相当する部分をリンク、交差点に相当する部分をノードと呼び、ノード間をリンクで結ぶ構成をとる。各ノードに設置された中継基地局 (BS: Base Station) のセル内を移動計算機 (MH: Mobile Host) が通過する際に無線で通信を行なう。中継基地局は、固定ネットワークと固定ホスト (FH: Fixed Host) で接続され、移動計算機からの要求を伝え、固定ホストに保持されているデータを移動計算機に返す。

具体的なアプリケーションとして、VICS<sup>13)</sup> や郵政省が検討を進めているミリ波通信のマルチメディア移動アクセス (MMAC)<sup>14)</sup> などの DSRC (Dedicated Short Range Communication) を考えており、本研究のモデルでは、これらのセル (マイクロセル) は比較的小さく、連続、あるいは不連続に配置されていると仮定している。ここでは、説明のため以下の議論では、ある1基の中継基地局は、同時刻には基本的にセル内にある1台の移動計算機のみとしか通信を行うことができないものとする。また、同一データであればセル内にある複数の移動計算機に対し同時に転送 (マルチキャスト) が可能とする。自動車に搭載された移動計算機は、移動経路網のリンクに沿って移動し、ノードにおいて直進するか、左右に曲がるだけで、後退はしない。

### 2.2 移動計画

移動計算機は GPS 受信器、移動経路網データ、速度計、角速度センサ、を搭載しており、現在地、時刻、移動方向、および移動経路を検知することができる。さらに経路計算プログラムを搭載しており、移動計画 (Mobility Specification) を求めることができるもの

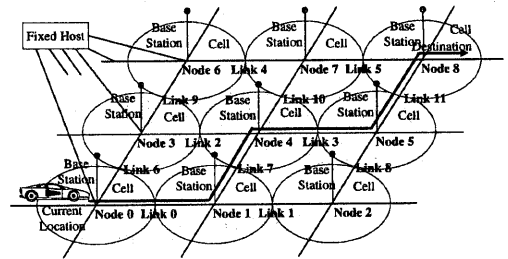


図1 移動経路通信網モデル

表1 移動計画

| Predicted Route           | Predicted Time         |
|---------------------------|------------------------|
| Node 0 (Current Location) | $t_0 (\Delta t_0)$     |
| Link 1                    | $T_1 (= t_1 - t_0)$    |
| Node 1                    | $t_1 (\Delta t_1)$     |
| Link 9                    | $T_9 (= t_4 - t_1)$    |
| Node 4                    | $t_4 (\Delta t_4)$     |
| Link 4                    | $T_4 (= t_5 - t_4)$    |
| Node 5                    | $t_5 (\Delta t_5)$     |
| Link 11                   | $T_{11} (= t_8 - t_5)$ |
| Node 8 (Destination)      | $t_8 (\Delta t_8)$     |

$t$ : Time when MH arrives at a node.

$\Delta t$ : Period of time while MH goes through a node.

$T$ : Period of time while MH goes through a link

とする。

移動計画は、現在地、目的地、目的地に到達するまでに通過するノード、リンクのリスト、およびノードを通過する予想時刻、リンクを通過するのに必要な時間からなる。たとえば、図1のような経路をたどる場合、表1のような移動計画が経路計算プログラムにより作成される。

## 3. STRAP: 空間的・時間的資源割り当てプロトコル

### 3.1 従来の通信手順

従来の一般的な通信手順では、移動計算機は、ある中継基地局のセルに入った時点で、その中継基地局経由でサービスを行っている固定ホストにデータ要求を送信し、そのセルを通過するまでに要求データを受けとるというものであった。この手順では、中継基地局から固定ホストに要求が転送され、データが中継基地局に到着するまでの間に、セル内の移動計算機が移動するため、移動計算機がそのセルを出るまでに得られる通信時間が短くなる。最悪の場合、データを受け取る前に移動計算機はセルの外に移動するので、通信することができない。移動経路を予測することなく確実に通信を行うために、すべての中継基地局にあらかじ

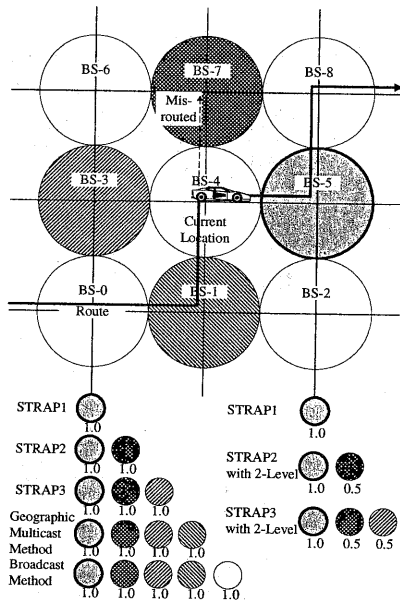


図2 移動計算機の移動と通信セル

めデータを送っておく手法が考えられる。これにより、移動計算機が、移動経路網内における中継基地局のセルに入った時点で、データを受信することができる。ここではこれをブロードキャスト法 (Broadcast Method) と呼ぶ。図2の場合、BS-4にある移動計算機に対して、BS-0からBS-8のすべての基地局に対してデータを送っておく。この方法では、ある時刻において、移動経路網内にある移動計算機のうち、通信できるのは1台だけとなり、効率が悪い。また、より効率の良い方法として、地理的放射手法 (Geographic Multicast Method)<sup>3)</sup> が提案されている。この手法では、移動計算機があるセルに入った時、そのセルを持つ中継基地局に隣接する複数の中継基地局のみにあらかじめデータを転送しておくものである。図2においては、BS-4にある移動計算機に対して、BS-1, 3, 5, 7に対してデータを送っておくものである。ブロードキャスト法では、移動経路網内のすべての中継基地局にデータを送信しておく必要があったが、地理的放射手法では、隣接する中継基地局のみでよくなり、移動経路網内の複数の移動計算機が個別に通信を行なえることができ、ネットワーク全体として効率が上がる。

### 3.2 STRAPの通信手順

STRAPでは、移動方向の基地局 (図2のBS-5) のみにデータを送信する。STRAPにおける通信手順、および、データの取得方法について図3で説明する。移動計算機 (MH) が最初に通信可能となるのは、中継

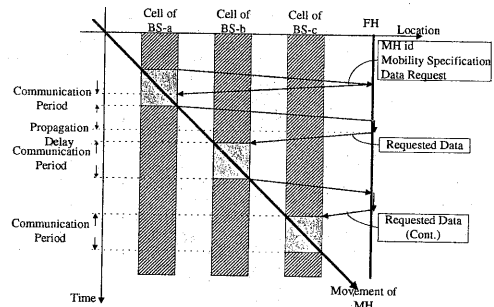


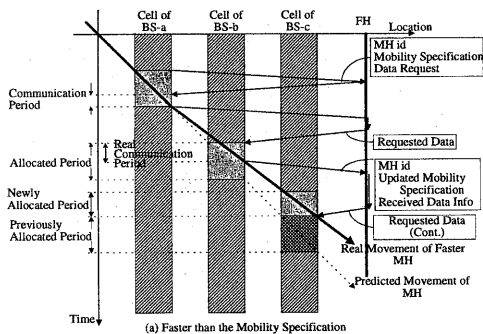
図3 移動計算機の移動とメッセージ通信

基地局 a (BS-a) のセル内に入った時である。その時、MHは、移動計算機 id、移動計画、必要とするデータ要求を BS-a に転送する。移動計画には、この MH が次の中継基地局 b (BS-b) のセル内に入るという情報およびその時刻を含む。要求を受け取った BS-a は、要求されたデータを持つ固定ホスト (FH) に、この要求を転送する。FH は、移動計画を参照し、要求データを BS-b に転送する。この際、MH の到着時刻に合わせて要求データを転送することができれば、BS-b において要求データを保持する時間は最小限で済むことになる。MH は BS-b のセル内に入り、移動計算機 id を転送する。BS-b はこの id を確認し、あらかじめ保持している要求データを MH に対して転送する。

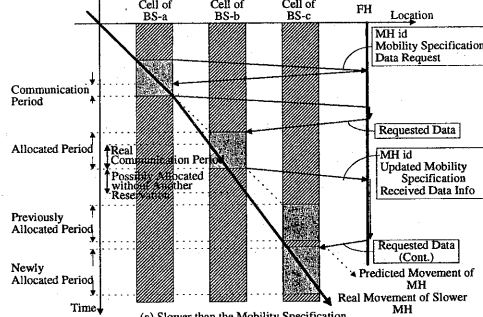
### 3.3 移動計画における移動経路からの逸脱

地理的放射手法の場合、4方向にデータを転送しているため、どちらの方向に進行しても通信を行なうことができる。しかし、STRAPの場合、基本的に、MHは、経路計算プログラムにより算出された移動計画に基づいて移動することを前提としているため、移動計画から逸脱すると通信を行なうことができない。この場合、今までこの MH に割り当てられていた資源を解放し、逸脱したノードの次のノードを最初の現在地として、再計算を行ない目的地までの経路上の資源を割り当て直すことにより対処する。また、移動計画の逸脱に備える方法として複数の基地局にデータを送る方法も考えられる。

ここでは、移動計画における移動経路の方向のみにデータを転送する方式を STRAP1、2つの BS にデータを送る方式を STRAP2、3つに送る方式を STRAP3 と呼ぶ。STRAP2 の場合、目的地の方角は合っているが、経路から逸れる基地局 (図2のBS-7) にも送付する。STRAP3 の場合は、MH が進行してきた方向を除く3つの BS (BS-3, 5, 7) に対して送付する。STRAP2, 3 において、移動計画から逸れる場合の確率は、移動経路通り進行する確率より低いと仮



(a) Faster than the Mobility Specification



(a) Slower than the Mobility Specification

図4 移動計画からのずれ

定し、通信資源を1/2だけ確保する方式(2-Level)も考えている。

### 3.4 移動計画と実際の到着時刻のずれ

MHの移動速度が予定した値と異なる場合、MHのBSへの到着時刻と、あらかじめ通知した移動計画の時刻とのずれが発生する。移動速度が速く、到着予定時刻より、MHが早くBSのセルに入った場合、通信を開始できるのは、到着予測時刻からであり、MHがセル内にいる予定よりも短い時間の通信時間しか確保できなくなる。この様子を図4(a)に示す。また、図4(b)に示すように、MHが予定時刻よりも遅く到着した場合も、MHがセルから出る前にBS上でのデータを破棄するため、通信時間が短くなる。ここでは説明のため、BSにおけるデータの保持は、1台のMHに対してのみと仮定している。

### 3.5 複数の移動計算機

2台のMHが同一の経路を通過する場合を考察する。図5に示すように、MH-1のあとを、MH-2が追従する場合、MH-1がBS-aのセルに入った直後にMH-2がセル内に入る。BS-aはMH-1と通信を行なうため、この間、MH-2は通信を行なうことができない。しかし、同一方向に進行するMHの要求するデータが同じ可能性もあり、その場合は、同一セルに存在する2台のMHに対して、同時に、同じデータをマルチキャ

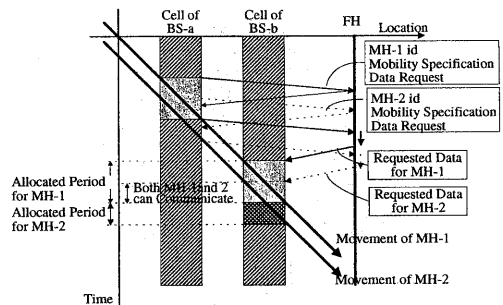


図5 複数の移動計算機の移動

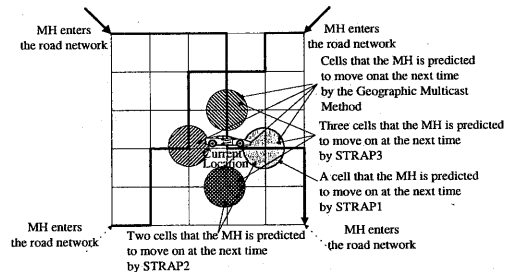


図6 シミュレーションモデル

ストするという手法が考えられる。これにより、1回のデータ転送時間で、2台のMHに対してデータを提供できることとなり、全体として効率化することが可能である。

## 4. シミュレーションによる評価

### 4.1 シミュレーションモデル

ここで述べたSTRAPの通信効率を評価するため、シミュレーションを用い、ブロードキャスト法、地理的放射手法と比較した。シミュレーションモデルにおいて移動計算機が移動する間に確保できる総通信時間を測定した。その測定した総通信時間を、移動計算機がすべての中継基地局において通信可能とした場合の通信時間で割ったものを通信効率として評価の対象にした。図6のような移動経路網モデル上で次の条件で移動しながら通信を行うと仮定し、シミュレーションを行なった。

- 移動経路網モデルは  $n$  ノード  $\times$   $n$  ノードのメッシュで構成される。
- 各ノードはすべて等間隔に設定され、ノード間のリンクの長さはすべて等しい。
- 移動経路網の外側の4頂点を出発点とし、この出発点より移動経路網内に向けて移動計算機が入り、対角線上の頂点を目的地として移動する。

- 移動計算機の移動速度は常に一定とし、1 単位時間に 1 メッシュ移動する。
- 移動計算機は、移動経路モデルの出発点から目的地までの最短経路を無作為に選択し移動する。 $n \times n$  のメッシュでは、目的地に到着するのに要する時間は  $2n-2$  となる。
- 移動計算機は単位時間を基準として一定の時間間隔で次々と移動経路網の外側の頂点から移動経路網に入る。
- 中継基地局は、移動経路網の外周を含むすべてのノードに設置してされている。移動計算機は各ノードにおいて、中継基地局よりデータ入手するための通信を行う。移動計算機が中継基地局を通過中に通信を行える時間を 1 単位通信時間とする。また、通信資源を 1/2 確保する方式 (2-Level) の場合は、0.5 単位時間とする。
- 移動計算機の移動に伴い、同時刻に 1 基の中継基地局のもとに、2 台以上の移動計算機が存在する場合、基本的に 1 台のみが通信でき、他の移動計算機は通信できない。
- 前述の STRAP1 におけるマルチキャストの場合 (STRAP-M) は、それら複数の移動計算機がいつも同時に通信できる。
- STRAP2, STRAP3, 地理的放射手法の場合、ある移動計算機が確保している複数の中継基地局において、他の移動計算機は通信を行なうことができない。ブロードキャスト法の場合、移動経路モデル内にある移動計算機のうち、特定の時刻に通信できるのは 1 台のみとなる。

#### 4.2 シミュレーション結果

シミュレーション結果を図 7 から図 11 に示す。それぞれの図は、メッシュサイズ  $20 \times 20$ 、総通信時間 200 とした、ブロードキャスト法、地理的放射手法、STRAP の通信効率を示している。このメッシュサイズは、実際の移動経路網よりは小さいが、このメッシュを再帰的に配置することで、実ネットワークを構成することが可能である。また、ここで設定した総通信時間は、初期状態から開始して、定常状態になるのに十分な時間である。

図 7 に、横軸に移動経路網に入る移動計算機の間隔を取った場合のブロードキャスト法、地理的放射手法、STRAP1, 2, 3, マルチキャスト考慮の STRAP1 の通信効率を示す。移動計算機の間隔が大きくなるにしたがって、道路ネットワーク内に存在する移動計算機は少なくなり、すべての方式に関して通信効率は高くなるが、他の方式と比較して、相対的に STRAP の効

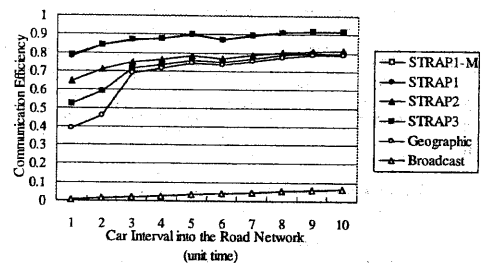


図 7 移動計算機間隔に対する各方式の通信効率

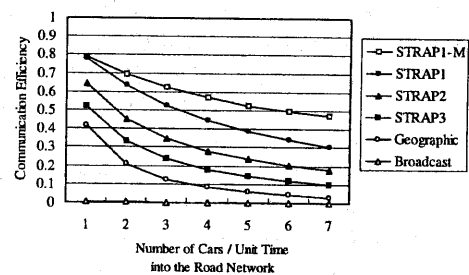


図 8 移動計算機数に対する各方式の通信効率

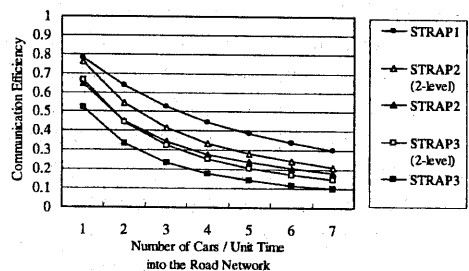


図 9 通信時間を 2 レベルとした場合の STRAP の通信効率

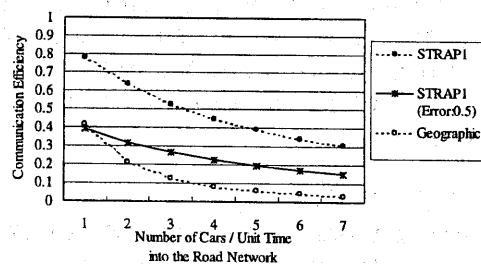


図 10 移動計画からの時間的ずれがある場合の通信効率

果は小さくなる。図 8 では、同時に移動経路網に入る移動計算機の台数を横軸としている。この台数が多くなると、移動経路網内の移動計算機の数が増加し、全体として通信効率は低下する。しかし、他の方式と比較して、相対的に STRAP の効果は大きくなる。

経路逸脱に備えた STRAP2, 3 において、通信資源

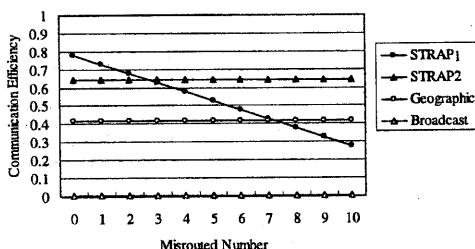


図 11 移動計画における経路から逸脱した場合の通信効率

を 1/2 だけ確保する方式 (2-Level) の通信効率を図 9 に示す。その他, STRAP1, 2, 3 は図 8 と同じで, 横軸も同時に移動経路網に入る移動計算機の数である。STRAP2, 3 と, 2 レベルで通信時間を確保したほうが効率が良いことがわかる。

図 10 に, 移動計算機が, 移動計画で設定した時刻より早く, あるいは, 遅く中継基地局に到着し, 通信時間が 0.5 単位時間 (Error:0.5) となった場合を示す。パラメータ, 横軸, STRAP1 および地理的放射手法の通信効率は, 図 8 のと同じである。移動経路網に入る移動計算機の台数が, 単位時間当たり 1 台の場合は, STRAP の通信効率よりよりわずかに地理的放射手法のほうが高いが, 移動経路網内の移動計算機の台数が増加するにつれ, STRAP の通信効率が高くなる。

ブロードキャスト法, 地理的放射手法は移動計画における移動経路からの逸脱した場合でも, 通信を行なうことができる。また, STRAP2, 3 も移動計算機が目的地の方向に進行する限り, 通信を行なうことができるが, STRAP1 の場合, 移動計画の経路から逸脱すると, 通信を行なうことができない。出発点から目的地までの間に, 移動計画の経路から逸脱した回数を横軸に取った場合の, 各方式の通信効率を図 11 に示す。STRAP1 と STRAP2 を比較した場合, 逸脱回数が 3 回ではほぼ同等となり, 地理的放射手法とは 7 回ではほぼ同等となる。

## 5. ま と め

移動計算機の移動する経路と時刻の予測 (移動計画) をもとに, 移動計算機が次の中継基地局のセルを通過する際に, 待つことなくデータを転送できるプロトコル (STRAP) を提案している。

単純に, ブロードキャスト法, 地理的放射手法と比較した場合, STRAP の通信効率は高く, 道路が混雑するにしたがってその効率は相対的に高くなる。しかし, STRAP では, 移動計画を利用するため, 移動計算機の移動がこの予測から地理的, 時間的にずれる場

合が発生する。シミュレーション結果より, 予測が実際の経路や通過時刻と大きくずれない限り, ブロードキャスト法, 地理的放射手法と比較して STRAP の通信効率は高いものとなることがわかった。

## 参 考 文 献

- 1) Talukdar, K., Badrinath, B. R., and Acharya, A., : MRSVP : A Reservation Protocol for an Integrated Services Packet Network with Mobile Hosts, *Rutgers University Technical Report TR-337* (1996).
- 2) 藤田謙, 小林和真, 山口英: VIP による IP ローミングの実現手法, 情報処理学会研究報告, 97-MBL-2 Vol. 97, No. 72, pp. 43-48 (1997).
- 3) 八幡孝, 塚本昌彦, 春本要, 西尾章二郎: 連続メディアのための移動体通信アーキテクチャ, 情報処理学会夏のプログラミングシンポジウム, pp. 81-88 (1995).
- 4) 高羽禎雄, 酒井清一郎, 関根富美, 濱辺孝二郎: 小ゾーン連続形自動車パケット通信システムの構成と評価, 電子情報通信学会論文誌 B-II, Vol. J78-B-II, No. 5, pp. 288-296 (1995).
- 5) Auto PC Web Site, <http://www.microsoft.com/windowsce/autopc>
- 6) Connected Car PC Technology, <http://www.intel.com/technology/carpc>
- 7) The Network Vehicle, <http://www.alphaWorks.ibm.com/networkvehicle/index.html>
- 8) Jamel, A., Stuempfle, M., Fuchs, A., : Web on Wheels: Toward Internet-Enable Cars, *IEEE Computer*, Vol. 31, No. 1, pp. 69-76 (1998).
- 9) SFC オープンリサーチフォーラム'97 説明会, <http://www.kris.sfc.keio.ac.jp/ORF97/ohp/index.html>
- 10) 佐藤健哉, 左近透: カーナビのためのモバイルコンピューティング技術, 情報処理学会 マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集 Vol. 96, No. 1, pp. 159-164 (1996).
- 11) ITS in Japan, <http://www2.nnpl.co.jp/ITS/j-html/ITSinJapan/index.html>
- 12) 佐藤健哉, 最所圭三, 福田晃: STRAP: 移動を考慮した空間的・時間的資源割り当てプロトコルに関する考察, 情報処理学会モバイル研究会第 5 回研究報告会, pp. 49-54 (1998).
- 13) Mizoguchi, M.: VICS Strategy and Deployment Plan, *Proc. of 2nd World Congress on Intelligent Transport Systems 95*, Vol. 5, pp. 2618-2621 (1995).
- 14) 吉本繁寿, 岩間司, 辻宏之, 金澤亜美, 辛景民: ミリ波帯広帯域無線アクセス技術へのとりくみ, 電子情報通信学会通信 RCS 研究会, No. RCS97-41 (1997).