

## 移動経路情報を利用した路車間通信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>

近年、交通渋滞や事故、環境悪化などの交通問題の軽減に向けて、ITS (Intelligent Transport Systems) の研究が世界的に行われている。たとえば、カーナビゲーションシステムの高度化や、マイクロソフトの Auto PC、インテルの Connected Car PC など、自動車に計算機を搭載し、無線通信を用いてデータをやりとりするシステムがあげられる。これらの通信手段は、携帯電話が一般的であるが、より高速な通信手段として、VICS の光ビーコンや、自動料金収受システム (ETC) がすでに実用段階にある。これらは、小さな通信可能領域 (セル) を持つ中継基地局を經由して、道路と車両の間の通信 (路車間通信) を行う。しかし、セルが小さいため、そこを通過する間にやりとりできるデータ量は限られ効率が悪い。我々は、移動する自動車が小さなセルを持つ中継基地局を複数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ることにより、連続して効率良く通信を可能とする空間的・時間的資源割当てプロトコル (STRAP) を提案している。STRAP では、設定した移動計画どおりに移動計算機が移動することを前提としているが、本論文では、より実用に耐えられるよう、STRAP を拡張することで移動計画から逸れる場合の補正メカニズムを追加するとともに、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、拡張した STRAP の有効性を明らかにした。

### Evaluation of a Road-vehicle Communication Protocol with Mobility Specification by Simulation

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

ITS (Intelligent Transport Systems) has become a popular theme of research nowadays to solve traffic problems such as traffic congestion, accidents and environmental deterioration. For example, advanced in-car navigation systems, Auto PC by Microsoft Corp., Connected Car PC by Intel Corp., and so on have become a platform of in-vehicle computer systems with mobile communication capability. A common mobile communication method of these systems is a cellular phone network; however, broader bandwidth communications, such as infrared beacons in VICS, and ETC, have already been available. Since the faster communication methods have an uneffective problem because of the small-size cell, we have proposed STRAP; a Spatio-Temporal Resource Allocation Protocol, to address the network problems with some information managed by in-vehicle computer systems. This protocol is to allocate resources on some of the base stations or networks for specific period of time, according to a schedule that a mobile host is assumed to travel. In this paper, We supplement STRAP for robustness in case of deviations from the schedule and make it clear that the extended STRAP is useful by using simulation on the model close to the traffic road environment in comparison with existing protocols; the broadcast method and the geographic multicast method.

#### 1. はじめに

近年、ITS (Intelligent Transport Systems: 高度道路交通システム)<sup>1),2)</sup>の研究が世界的に行われて

いる。たとえば、高度化したカーナビゲーションシステム<sup>3)</sup>や、マイクロソフトの Auto PC<sup>4)</sup>、インテルの Connected Car PC<sup>5)</sup>、IBM、Sun Microsystems、Netscape、Delco によって開発された Network Vehicle<sup>6)</sup>、Daimler-Benz の Internet-on-wheels concept<sup>7)</sup>、Wide プロジェクトのインターネットカー<sup>8)</sup>などがある。すでに運用を開始しているサービスとして、トヨタの MONET<sup>9)</sup>、日産のコンパスリンク<sup>10)</sup>、ホンダのインターナビ<sup>11)</sup>などもある。これらは、自

<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

動車に計算機を搭載し、無線による通信手段を用いてデータをやりとりすることで、目的地の案内、交通情報の提供、緊急時の連絡、運転の補助などを行うシステムである。ここで用いられている無線通信手段は、携帯電話が一般的であるが、より高速な通信手段として、VICS（道路交通情報通信システム）<sup>12)</sup>の光ビーコンや、ETC（自動料金収受システム）<sup>13)</sup>などが実用段階にある。これら DSRC（Dedicated Short-Range Communication）<sup>14)</sup>は、小さな通信可能領域（セル）を持つ中継基地局を経由して、道路と車両間の通信（路車間通信）を行う。しかし、これらの通信手段は高速であるが、セルが小さいため、そこを高速で通過する自動車が一度にやりとりできるデータ量は限られ、セルごとに通信が途切れるため効率が悪い。

移動計算機が複数の中継基地局を経由することで、固定ネットワークに接続された計算機から連続してデータを転送する方法として、Talukdar らの MRSVP <sup>15)</sup>、Lee の Adaptive Reserved Service <sup>16)</sup>、藤田らの IP ローミング<sup>17)</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おり、実システムにおいては、中継基地局側の情報のみで移動方向とタイミングを検知することは難しい。そこで、移動先でただちに通信を可能とするため、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（Geographic Multicast Method）<sup>18)</sup>が提案されている。この手法では、移動計算機が位置する中継基地局に隣接するすべての中継基地局にあらかじめデータを転送するものであるが、転送のタイミングが不明確で、転送はされたが利用されない中継基地局の数が多く、効率が良くない。

我々は、移動する自動車が小さな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ることにより、複数のセルを連続して利用し効率良く通信を行うための空間的・時間的資源割当てプロトコル（STRAP: Spatio-Temporal Resource Allocation Protocol）を提案している<sup>19)</sup>。本プロトコルでは、自動車側の情報を利用して移動計算機の移動する経路と時刻（移動計画）を計算し、中継基地局の資源、あるいはネットワーク帯域を、それぞれの移動計算機の移動に従って割り当て、効率の良い通信を行う。また、これにより、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。この文献<sup>19)</sup>で提案した STRAP では、設定した移動計画どおりに移動計算機が移動することを前

提としているが、本論文では、STRAP を拡張し（拡張 STRAP）、より実用に耐えられるよう移動計画から逸れる場合の補正メカニズムを追加するとともに、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拡張 STRAP の有効性を明らかにする。

## 2. 移動計算機の移動と通信方式

### 2.1 道路通信ネットワーク

本論文では、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、図 1 に示す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、それぞれのノード間をリンクで結び構成をとる。この移動経路網上の各ノードには中継基地局（BS: Base Station）が設置され、中継基地局のセル内に自動車が搭載された移動計算機（MH: Mobile Host）が通過する際に無線で通信を行う。中継基地局は、固定ネットワークを経由し、固定ホスト（FH: Fixed Host）と接続され、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。ここでは、このような道路通信ネットワークを説明するため、移動経路網を単純なメッシュ構成とし、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。

本研究において対象とする道路通信ネットワークのモデルの具体的形態として、前述の VICS や ETC、あるいは、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>20)</sup>などの DSRC を考える。これらの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。ここでは、より具体的な通信方式として検討を行うため、警察庁および新交通管理システム（UTMS）協会が交通情報提供で実現している赤外線を用いて通信を行う VICS の光ビーコン<sup>21)</sup>による通信方式を検討対象とする。ある中継基地

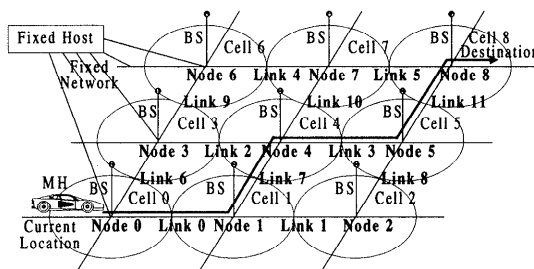


図 1 道路通信ネットワーク構成

Fig. 1 Road network model for communication.

局に対し、移動計算機が id を送信し、それに対し中継基地局がデータを送信するため、基本的に同時刻にはセル内に位置する 1 台の移動計算機がデータを受信することができる。また、現在の光ビーコンでは定義されていないが、ここではさらに、同じ内容のデータであればセル内に位置する複数の移動計算機に対し同時に転送（マルチキャスト）が可能な通信方式も検討に入れる。

2.2 動的経路誘導による移動計画

移動計算機は、GPS 受信機、移動経路網データ、速度計、角速度センサなどを用いて、現在地、時刻、移動方向を計測することができる。これらの情報に加えて、動的な交通情報を考慮し、移動計算機の現在地から目的地までの経路、各地点の通過時間、および目的地への到着時間を求める。一般に、移動計算機が目的地までの経路を動的に経路誘導する DRG (Dynamic Route Guidance) の方式として、Centralized-DRG と Localized-DRG の 2 通りがある<sup>22)</sup>。前者では、移動計算機が、目的地を交通管制センターに送信し、交通情報をもとに最適経路を計算し、移動計算機に送り返す。この経路情報をもとに、移動計算機は目的地までの経路を誘導するものである。後者は、交通管制センターから送られてくる交通情報をもとに、移動計算機において最適経路を計算し、誘導するものである。ここでは、移動計算機が経路を選択するための最適経路情報を、移動計画 (Mobility Specification) と呼ぶ。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 のような移動計画となる。

特定の条件下であるが、移動計算機が現在地から

表 1 移動計画の例

Table 1 Example of mobility specification.

Predicted Route	Predicted Time
Node 0 (Current Location)	$t_0 (\Delta t_0)$
Link 0	$T_0 (= t_1 - t_0)$
Node 1	$t_1 (\Delta t_1)$
Link 7	$T_7 (= t_4 - t_1)$
Node 4	$t_4 (\Delta t_4)$
Link 3	$T_3 (= t_5 - t_4)$
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 an MH arrives at a node  
 $\Delta t$ : Period of time for an MH to pass through a node  
 $T$ : Period of time for an MH to pass through a link

目的地まで移動する際の時間を、Centralized-DRG, Localized-DRG, タクシー、距離の最短経路で比較すると、この順番で目的地到達までに要した時間が小さいことが実験により確認されている<sup>23)</sup>。したがって、移動計算機が現在地から目的地を目指す場合、DRG のシステムにより提供された経路を走行するのが時間的に都合が良いと考えられる。移動計算機は、基本的に提供された経路を走行するものとするが、ここでは、経路から逸脱する場合も考慮に入れる。

3. STRAP: 空間的・時間的資源割当てプロトコル

3.1 一般的な通信手順

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取るというものであった。これを図 2 に示す。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めデータを送っておく手法が一般的に考えられる。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内に入った時点で、ただちに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) と呼ぶものとする。図 3 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

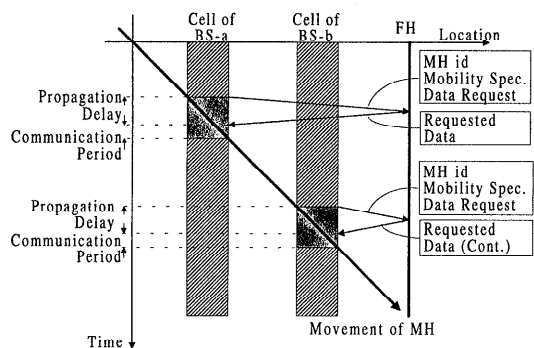


図 2 1つのセル内での一般的な通信手順  
 Fig. 2 Conventional communication procedure in a cell.

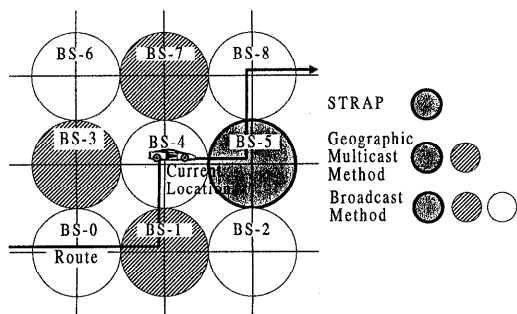


図3 移動計算機の移動と通信セル

Fig. 3 Movement of the mobile hosts.

る時刻において、移動経路網内に位置す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、先に述べた地理的放射手法が提案されている。この手法では、移動計算機があるセルに入ったとき、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あらかじめデータを転送しておくものである。図3においては、BS-4に位置す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転送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うことができ、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3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4を用いて説明する。移動計算機(MH)が最初に通信可能となるのは、中継基地局a(BS-a)のセル内に入ったときである。その際、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BS-aのセルを出る時刻、次の中継基地局b(BS-b)のセル内に入るといった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-aに転送する。BS-aのセル内での通信可能時間は、図2の一般的な通信手順と同じである。しかし、BS-aのセルを出る際に、MHが受け取ったデータを通知することで、BS-bにおいて引続きデータを受信することができる。この際、MHがBS-bへ到着する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における要求データの保持時間を最小限にできる。MH

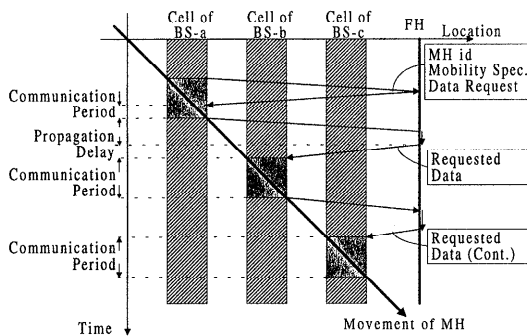


図4 移動計算機の移動とメッセージ通信

Fig. 4 Message communication along with movement of the mobile hosts.

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転送し、MHはこのセルに入ると同時にデータを受信することができる。

要求データが転送されるセルの利用効率だけを見れば、地理的放射手法の場合は、転送されながら利用されないデータを持つセル数は3で、STRAPの場合は0であるが、実際、地理的放射手法では移動計算機の進行速度を考慮しないため、FHからBSに要求データを転送するタイミングが不明である。このため、BSにおける要求データの保持時間を最小限とすることはできないため、セルが隣接しておらず離散的に配置されている場合は、地理的放射手法の効率はさらに低下することになる。

### 3.3 移動計画の経路からの逸脱

地理的放射手法の場合、移動計算機の移動方向を特定しないため、4方向にデータを転送し、どちらの方向に進行しても通信を行うことができる。しかし、STRAPの場合、MHは、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できる。しかし、この方法では逸脱した際のペナルティが大きいので、あらかじめ複数の基地局にデータを送る方法も考え、従来のSTRAPを拡張する(拡張STRAP)。

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従来の方式をSTRAP1、拡張STRAPとして、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

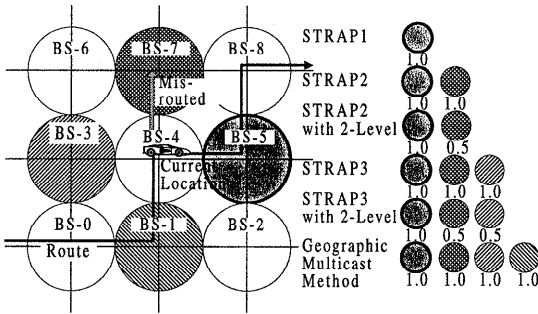


図5 移動計画からの逸脱への対処

Fig. 5 Deviation from the mobility specification.

(図5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。転送タイミングを考慮に入れず、データが転送されるセルの利用効率という観点から見れば、STRAP2, 3は、STRAPと地理的放射手法の組合せとも考えることができ、これらの中間的な性質を持つと予想される。

また、STRAP2, 3において、移動計画から逸れる場合の確率は、移動経路どおり進行する確率より低いと仮定し、通信資源を1/2だけ確保する方式(2-Level)も考慮している。1つのMHについてBSの通信資源を1/2といったように分割して確保することができれば、別のMHについてもそのBSの資源の残り1/2を確保することが可能となる。このように、MHの移動経路から逸れる確率により資源を割り当てることで、このような状況下でも通信をより効率的に行うことができると考えている。

### 3.4 移動計画と実際の移動とのずれ

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、予定よりも通信時間が短くなる。この様子を図6(a)に示す。また、図6(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。

### 3.5 複数の移動計算機の通信条件

2台のMHが同一の経路を通過する場合を考察する。図7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と通信を行うため、この間、MH-2は通信を行うことができない。しかし、同一方向に進行するMHの要求するデータ

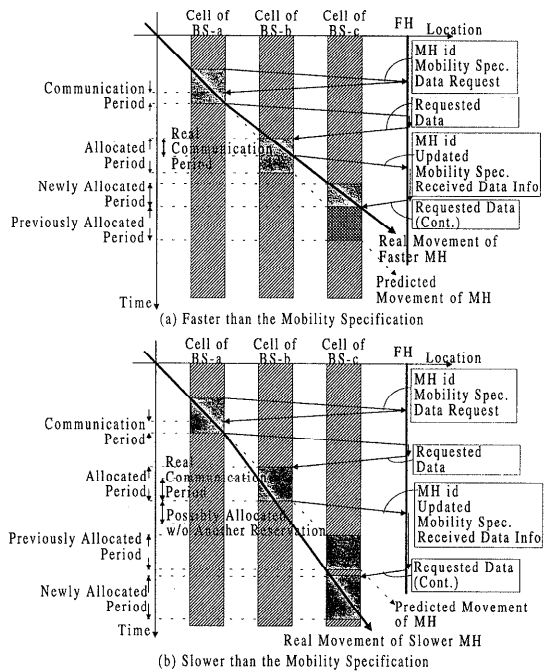


図6 移動計画からのずれ

Fig. 6 Error of the mobility specification.

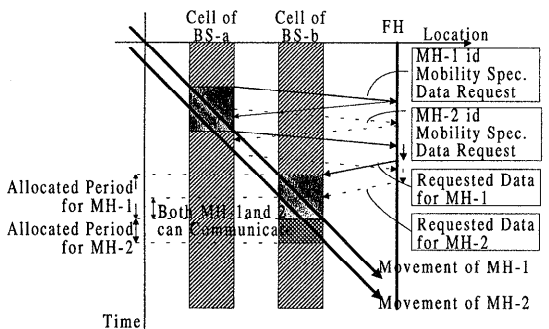


図7 複数の移動計算機の移動

Fig. 7 Movement of the mobile hosts.

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、全体として効率を上げ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

STRAP1, 2, 3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。これらの従来手法では、移動計算機

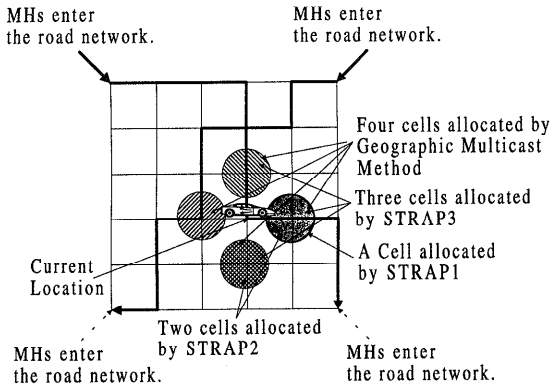


図8 シミュレーションモデル  
Fig.8 Simulation model.

の移動のタイミングが考慮されておらず、STRAPと単純には比較できないが、ここでは従来手法においても移動のタイミングが考慮され移動計算機が移動したタイミングでただちに通信できる最良の場合について評価を行った。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。交通に関するシミュレーションは数多く提案されているが<sup>24)</sup>、ここでは、図8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つねに一定とし、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を手す

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ともない、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で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位置す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9から図13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。次節でシミュレーション結果から得られる拡張STRAPの有効性を示す。

#### 4.3 拡張STRAPの有効性

図9に、横軸に移動経路網に入る移動計算機の間隔をと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従って、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の効果は小さくなる。図10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につれ、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、通信資源を1/2だけ確保する方式(2-Level)の通信効率を図11に示す。その他、STRAP1, 2, 3は図10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とも、2レベルで通信時間を確

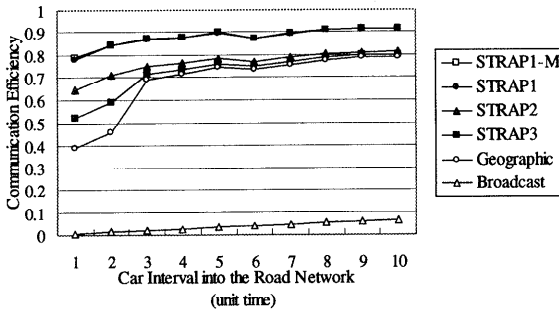


図9 移動計算機間隔に対する各方式の通信効率  
Fig. 9 Communication efficiency of each method.

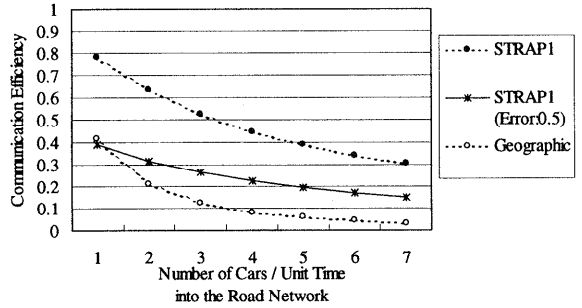


図12 移動計画からの時間的ずれがある場合の通信効率  
Fig. 12 Communication efficiency of STRAP with error.

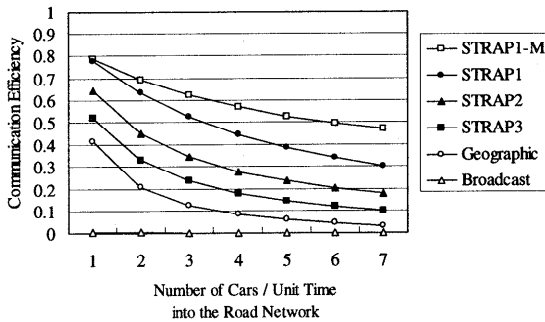


図10 移動計算機数に対する各方式の通信効率  
Fig. 10 Communication efficiency of each method.

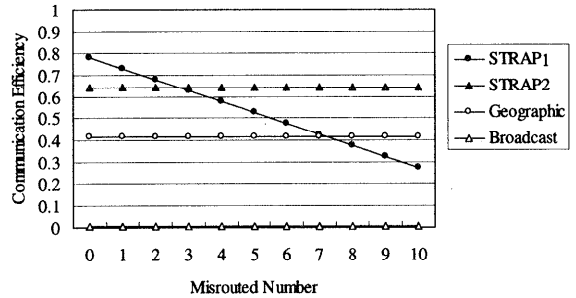


図13 移動計画における経路から逸脱した場合の通信効率  
Fig. 13 Communication efficiency of STRAP with deviation.

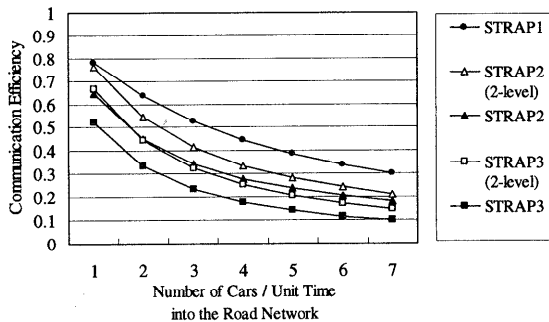


図11 通信時間を2レベルとした場合のSTRAPの通信効率  
Fig. 11 Communication efficiency of STRAP with 2 level data.

保したほうが効率が良いことが分かる。

図12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10のと同じである。移動経路網に入る移動計算機の台数が、単位時間あたり1台の場合は、STRAPの通信効率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とった場合の、各方式の通信効率を図13に示す。STRAP1とSTRAP2を比較した場合、逸脱回数が3回でほぼ同等となり、地理的放射手法とは7回でほぼ同等となる。

### 5. まとめと今後の課題

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。STRAPでは、設定した移動計画どおりに移動計算機が移動することを前提としているが、本論文では、より実用に耐えられるよう、STRAPを拡張することで移動計画から逸れる場合の補正メカニズムを追加し、実環境を想定したモ

デル上における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拡張 STRAP の有効性を明らかにした。

ブロードキャスト法、地理的放射手法と単純に比較した場合、STRAP の通信効率が高く、道路が混雑するに従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と通信効率が低下する。これらを考慮した STRAP 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結果より、予測が実際の経路や通過時刻といくらかずれても、道路が混雑している状況下であれば、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分かった。

ここでのシミュレーションはプロトコルを評価するため、単純なメッシュ状の道路網を移動計算機が等速で移動するという限られた条件のもとで行った。実際の道路網を実速度で移動するという条件でシミュレーションを行うことが課題となる。また、実機で評価することも考えている。このプロトコルの実ネットワークへの実装するにあたり、移動計画を含め、現在地や経路情報を、IP 層などのネットワークレベルで解決するか、アプリケーション層で実現するかが考えられる。前者は、アプリケーションからみて位置透過性という長所があるが、一方、後者では、アプリケーションが直接位置情報を扱えるという点で勝っていると考えられる。

謝辞 ご指導、ご助言をいただいた奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科福田研究室の皆様、および、住友電気工業 ITS 研究所の皆様にご感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 建設省道路局 ITS ホームページ。  
<http://www.moc.go.jp/ITS/j-html/index.html>
- 2) Shenai, K., McShane, E. and Trivedi, M.: Electronics Technologies for Intelligent Transportation Systems, *Proc. IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC '97)*, pp.302-307 (1997).
- 3) 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).
- 4) Auto PC Web Site.  
<http://www.microsoft.com/windowsce/autopc>
- 5) Connected Car PC Technology.  
<http://www.intel.com/technology/carpc>
- 6) The Network Vehicle.  
<http://www.alphaWorks.ibm.com/networkvehicle/index.html>
- 7) Jamel, A., Stuempfle, M. and Fuchs, A.: Web on Wheels: Toward Internet-Enable Cars, *IEEE Computer*, Vol.31, No.1, pp.69-76 (1998).
- 8) Uchara, K., Watanabe, Y., Sunahara, H., Nakamura, O. and Murai, J.: InternetCAR - Internet Connected Automobiles, *Proc. INET '98* (1998).
- 9) MONET. <http://www.tms.ne.jp/index.html>
- 10) COMPASSLINK 情報センター。  
<http://www.compasslink.co.jp/cplweb/pc/index.html>
- 11) INTER NAVI SYSTEM INDEX.  
<http://www.internavi.ne.jp/index.html>
- 12) Mizoguchi, M.: VICS Strategy and Deployment Plan, *Proc. 2nd World Congress on Intelligent Transport Systems 95*, Vol.5, pp.2618-2621 (1995).
- 13) Future ITS. <http://www.nihon.net/ITS/j-html/index/indexEtc.html>
- 14) Cseh, C.: Architecture of the Dedicated Short-Range Communications (DSRC) protocol, *Proc. 48th IEEE Vehicular Technology Conference (VTC '98)*, Vol.3, pp.2095-2099 (1998).
- 15) 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).
- 16) Lee, K.: Adaptive Network Support for Mobile Multimedia, *Proc. 1st Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom '95)*, pp.62-74 (1995).
- 17) 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).
- 18) 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).
- 19) 佐藤健哉, 最所圭三, 福田 晃: STRAP—移動を考慮した空間的・時間的資源割当てプロトコル, 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.1, pp.76-84 (1999).
- 20) MMAC.  
<http://www.arib.or.jp/mmac/index.html>
- 21) 光ビーコン概要. <http://www.utms.or.jp/japan/30system/beacon/index.html>
- 22) Shimoura, H., Nishimura, S., Nagao, M. and Tenmoku, K.: Evaluation of the Effect of DRGS



Using Traffic Flow Simulation System, *Proc. 2nd World Congress on Intelligent Transport Systems 95*, Vol.5, pp.2637-2645 (1995).

- 23) Sakakibara, H., Yamaguchi, M., Kitamura, T., Moritata, M. and Takeuchi, K.: Field and Simulation Tests of the Interactive CDRG in UTMS, *Proc. 9th International Conference on Road Transport Information and Control*, pp.207-211 (1998).
- 24) Fujii, S., Iida, Y. and Uchida, T.: Dynamic Traffic Simulation to Evaluate Vehicle Navigation Systems, *Proc. Vehicle Navigation and Information Systems Conference (VNIS '94)*, pp.239-244 (1994).

(平成 11 年 2 月 9 日受付)

(平成 11 年 9 月 2 日採録)



佐藤 健哉 (正会員)

1984 年大阪大学工学部電子工学科卒業。1986 年同大学院工学研究科電子工学専攻修士課程修了。同年住友電気工業(株)入社。情報電子研究所にてワークステーションの研究開発に従事。1991 年より 1994 年まで米国スタンフォード大学計算機科学科客員研究員。現在、住友電気工業 ITS 研究所所属。高度道路交通システム、および、モバイルコンピューティングの研究に従事。ACM, IEEE Computer Society, 電子情報通信学会各会員。



最所 圭三 (正会員)

1982 年九州大学工学部情報工学科卒業。1984 年同大学院工学研究科修士課程修了。同年同大学工学部助手。1991 年同大学工学部講師。1993 年同大学大型計算機センター助教授。1994 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助教授、現在に至る。工学博士。高信頼性システム、並列/分散処理、モバイルシステム、並行処理等の研究に従事。1998 年情報処理学会全国大会大会優秀賞受賞。電子情報通信学会会員。



福田 晃 (正会員)

1954 年生。1977 年九州大学工学部情報工学科卒業。1979 年同大学院修士課程修了。同年 NTT 研究所入所。1983 年九州大学大学院総合理工学研究科助手。1989 年同大学助教授。1994 年より奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科教授。工学博士。オペレーティング・システム、並列化コンパイラ、計算機アーキテクチャ、並列/分散処理、性能評価等の研究に従事。本学会平成 2 年度研究賞、平成 5 年度 Best Author 賞受賞。著書「並列オペレーティングシステム」(コロナ社)、訳書「オペレーティングシステムの概念」(共訳、培風館)。ACM, IEEE Computer Society, 電子情報通信学会、日本 OR 学会各会員。