

# STRAP: 移動を考慮した空間的・時間的資源割当てプロトコル

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。これとは別に、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。これらに共通の問題として、帯域が狭く不安定な通信を、移動計算機がいかに効率良く利用するかがある。本論文では、カーナビゲーションシステムや高度道路情報システムにおける移動する自動車と比較的小さなセルを持つ中継基地局経由の通信において、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あらかじめ割り当てるための、空間的・時間的資源割当てプロトコル (STRAP) を提案する。このプロトコルは、現在地、時刻、進行方向などの自動車側の情報を用いて作成した移動計算機の移動計画をもとに資源を割り当てる手法である。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。すべての移動計算機が同一データを必要としている場合は、ブロードキャスト法が最も効率が良いが、移動計算機それぞれが個別のデータを必要としている場合、STRAP は、地理的放射手法と比較しても通信効率が高く、本シミュレーションモデルにおいて、地理的放射手法に対し最大約 2.5 倍の通信効率を得ることができた。

## STRAP: Spatio-Temporal Resource Allocation 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 recently has given mobile users the capability of accessing multimedia data. In addition, 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. The common problems on these systems are network connectivity and bandwidth between mobile hosts and fixed hosts.

In this paper, we propose STRAP, a Spatio-Temporal Resource Allocation Protocol, to allocate resources on base stations or networks along the route according to mobility specification; a schedule that a mobile host is assumed to travel. The concrete target system we have considered is vehicle navigation systems and ITS (Intelligent Transport Systems) communication networks. We simulated the protocol on the model close to the real traffic roads environment in comparison with existing two protocols; a broadcast method and the geographic transfer model. Although the broadcast method is the best in the case that all mobile hosts request the common information, the efficiency of STRAP is 2.5 times as good as one of the geographic transfer model when each mobile host needs the respective data.

### 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。これらの技術を支えるため、移動計算機からネットワークにアクセスすることを中

心に、モバイルコミュニケーションに対する研究が積極的に行われている。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どうしを、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<sup>1)</sup>の MRSVP、藤田ら<sup>2)</sup>の IP ローミング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移動するか、どのタイミングで移動する

<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

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<sup>3)</sup>の地理的放射手法、あるいは、進行方向へ転送する高羽ら<sup>4)</sup>の小ゾーン連続型自動車パケット通信も提案されている。武ら<sup>5)</sup>は、パケットを安定して送信するために離散配置極小ゾーン移動体パケット通信を検討している。これとは別に、最近、マイクロソフトの Auto PC<sup>6)</sup>、インテルの Connected Car PC<sup>7)</sup>、IBM, Sun Microsystems, Netscape, Delco によって開発された Network Vehicle<sup>8)</sup>、Daimler-Benz の Internet-on-wheels concept<sup>9)</sup>、Wide プロジェクトのインターネットカー<sup>10)</sup>など、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、いかに効率良く利用するかがある<sup>11)</sup>。

本論文では、カーナビゲーションシステムや ITS (Intelligent Transportation Systems)<sup>12)</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ることにより、狭い帯域を有効に利用することを提案する。これら移動計算機のシステム<sup>13)</sup>では、GPS (Global Positioning System) や地図データをもとに現在の位置および正確な時刻を知ることができる。また、あらかじめ目的地をセットすれば、渋滞や工事などの交通状況を考慮し、目的地までの最適経路を計算することができ、この移動計算機の移動する経路と時刻の予測 (移動計画) が可能となる。この移動計画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、移動計算機に対し多くのデータ転送量を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と考えている。本論文では、移動計算機の移動計画をもとに、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あらかじめ割り当てるための空間的・時間的資源割当てプロトコル (STRAP: Spatio-Temporal Resource Allocation Protocol)<sup>14)</sup>の提案を行うとともに、シミュレーションによる評価を行う。

## 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

図 1 に示すように、固定ネットワーク、固定ネットワークに接続された計算機 (固定ホスト)、移動計算機、中継基地局からなるモデルを考える。中継基地局

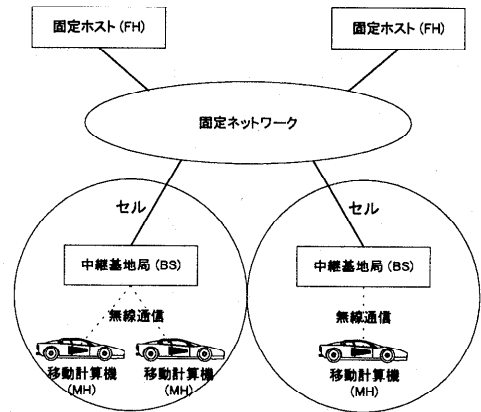


図 1 通信ネットワークモデル

Fig. 1 The mobile communication network model.

もまた固定ネットワークに接続され、固定ホストは、この固定ネットワークを経由して中継基地局と通信を行う。また、同様に、中継基地局どうしも固定ネットワークを通して通信を行う。各中継基地局は、それぞれの通信可能領域であるセルを持ち、その中を通過する移動計算機と無線で直接通信を行うことができる。移動計算機が必要なデータは固定ホストにあり、移動計算機からの要求に応じて、固定ホストから中継基地局を経由して移動計算機へデータが転送される。具体的なアプリケーションとして、VICS<sup>15)</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>16),17)</sup>が考えられる。したがって、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、不連続に配置されていると仮定している。しかし、セルが連続して配置されていても、ここで提案するプロトコルや、アルゴリズムに支障を与えるものではない。また、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し、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。

### 2.2 移動経路網

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 2 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。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、左右に曲がることにより、次に移動するリンクを選択する。中継基地局は、移動経路網のノード上に設置されている。

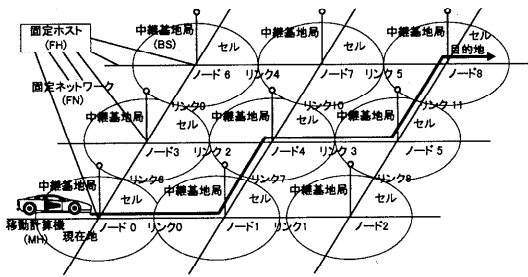


図2 移動経路網モデル

Fig. 2 The route model for mobile communication.

図2において、現在地にある移動計算機は、ノード0からリンク1を走行し、ノード1に到着する。移動計算機は、ノード0あるいはノード1の中継基地局の通信エリアであるセル内（ハッチした領域）に滞在する間に、中継基地局との間で通信を行う。ノード1を通過後、左折する。その後、リンク9を通過し、ノード5を右折し、リンク4、ノード6、リンク11と経由し、ノード9の目的地に到着する。移動計算機は、ノード0、1を通過するときと同様に、ノード5、6、9を通過する際に、中継基地局のセル内において通信を行う。

### 2.3 移動計画

移動計算機は以下の機器を搭載しており、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ものとする。

- GPS (Global Positioning System) 受信機：これにより移動計算機が、現在、地球上のどの位置にあるかを測位することができる。
- 移動経路網データ：GPSの測位データには通常、誤差が含まれている。そのため、測位データに加えて、移動計算機は経路上を移動するという前提に基づき、移動した経路と移動経路網データを照合することで正確な位置を判定する。
- 時計：GPS衛星に搭載されている原子時計をもとに、移動計算機において、正確な時刻を計測することができる。
- 速度計、角速度センサ：移動計算機がどちらの方向にどれだけの速度で移動しているかを測定することができる。
- 経路計算プログラム：移動経路網はノードとリンクのネットワークであるが、それぞれのノードおよびリンクの一般的な通過時間も保持している。

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2のような経路をたどる場

表1 移動計画

Table 1 Mobility specification.

移動経路	予想時刻/予想時間
ノード0 (現在地)	$t_0 (\Delta t_0)$
リンク1	$T_1 (= t_1 - t_0)$
ノード1	$t_1 (\Delta t_1)$
リンク9	$T_9 (= t_4 - t_1)$
ノード4	$t_4 (\Delta t_4)$
リンク4	$T_4 (= t_5 - t_4)$
ノード5	$t_5 (\Delta t_5)$
リンク11	$T_{11} (= t_8 - t_5)$
ノード8 (目的地)	$t_8 (\Delta t_8)$

$t$ : ノード通過時刻,  $\Delta t$ : ノード通過時間,  $T$ : リンク通過時間

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。

通過時間は動的に変化する場合もあり、それにとまって、移動計画も変更される。また、最短経路でなくても、ユーザ自身があらかじめ自由に経路を設定し、それに従って移動計算機を誘導することも可能である。いずれにせよ、ここでは、移動計算機はあらかじめ設定された経路を移動するものとする。

## 3. STRAP: 空間的・時間的資源割当てプロトコル

### 3.1 従来の通信手順

移動計画を用いないで移動計算機の移動経路を予測しない場合、移動計算機は、通常、次のような手順でデータを入手する。

- (1) 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する。
- (2) その要求が固定ホストに転送され、要求を受けた固定ホストがデータをその中継基地局に返す。
- (3) その後に、移動計算機が要求したデータが中継基地局から移動計算機に送られる。

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し、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という問題がある。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、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と呼ぶ。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、

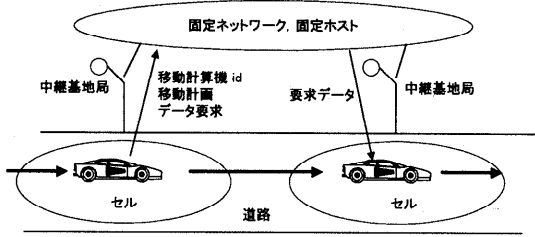


図3 移動計算機の移動  
Fig. 3 Movement of the mobile hosts.

通信できるのは1台だけとなり、効率が悪い。

また、ブロードキャスト法よりも効率の良い方法として、地理的放射手法<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ならずあらかじめデータを転送しておくものである。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

本節では、STRAPにおける通信手順、および、データの取得方法について説明する。移動計算機が図3の矢印の方向に移動している場合を想定する。この移動計算機が最初に通信可能となるのは、中継基地局Aのセル内に入ったときである。そのとき、移動計算機は、移動計算機 id、移動計画、必要とするデータ要求を中継基地局に転送する。ここで、移動計画には、時刻  $t$  にこの移動計算機が次の中継基地局 B のセル内に入るという情報を含む。要求を受け取った中継基地局 A は、要求されたデータを持つ固定ホストに、この要求を転送する。固定ホストは、移動計画を参照し、要求データを中継基地局 B に転送する。この際、時刻  $t$  に合わせて要求データを転送することができれば、中継基地局 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。移動計算機が中継基地局 B のセル内に入り、移動計算機 id を転送する。中継基地局 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移動計算機に対して転送する。

中継基地局のセル内を通過する時間  $\Delta t$  の間にデータ転送が完了しない場合は、中継基地局 B で保持しているデータを破棄し、転送を必要とする残りのデータがあることを固定ホストに送信する。このとき、移動計算機が予定している移動計画の時刻のずれを補正することができる。固定ホストは、補正された移動計

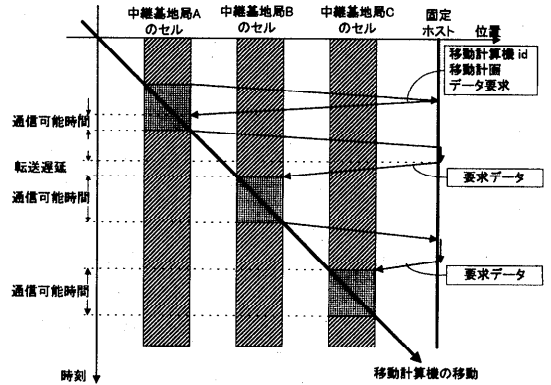


図4 移動計算機の移動とメッセージ通信  
Fig. 4 Message communication along with movement of the mobile hosts.

画に基づき、次に移動計算機が通過する中継基地局 C に対し、中継基地局 B で転送できなかった残りのデータを通過時刻に合わせて送る。移動計算機がこの中継基地局 C のセル内に入った際にデータを転送する。これらの手順を図4に示す。

3.3 通信帯域の予約

3.2節で述べた手順は、中継基地局に転送データを一時的にバッファリングすることを前提としている。これに対し、RSVP<sup>18)</sup>において経路上の帯域を予約すると同様に、固定ホストから移動計算機へのネットワーク経路および帯域を予約するという機能をSTRAPに加えることも考えられる。この手法を採用すれば、帯域が保証されているので、伝達遅延のみで移動計算機と中継基地局が通信できるため、中継基地局に一時的にバッファリングする必要がなくなる。一般に、固定ホストと中継基地局間のネットワークの帯域は、中継基地局と移動計算機間の帯域より大きい。したがって、中継基地局と移動計算機間の帯域分だけ、固定ネットワークの帯域を確保すればよいことになる。また、移動計画を用いて、移動計算機が経路を利用する時刻を判別できるため、その時刻のみを予約することで、他の通信に対しても大きな制約を加えずとすむと考えられる。すなわち、通信を行うネットワークの経路の必要な帯域を必要な時間だけ予約できれば、全体としてネットワークの使用効率を向上させることができる。

3.4 移動計画における移動経路からの逸脱

基本的に、移動計算機は、経路計算プログラムにより算出された移動計画における経路に基づいて移動することを前提としている。しかし、移動計算機が、移動計画の経路から逸脱する場合が考えられる。この場合、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。この際、今までこの移動計算機に割り当てられていた資源を解放し、新しい割り当てに備える。

### 3.5 移動計画と実際の到着時刻のずれ

移動計算機の移動速度が予定した値と異なる場合、移動計算機の中継基地局への到着時刻と、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、移動計算機が早く中継基地局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、移動計算機がセル内にいる予定の  $\Delta t$  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5(a)に示す。また、図5(b)に示すように、移動計算機が予定時刻よりも遅く到着した場合も、通信時間が短くなる。ここでは説明のため、中継基地局におけるデータの保持は、1台の移動計算機に対してのみと仮定している。

移動計画の到着時刻のずれにより通信時間が短くなる問題に対して、移動計算機が到着する予定時刻よりも早い時点で、固定ホストよりデータを中継基地局に転送しておく方法が考えられる。これにより、移動計

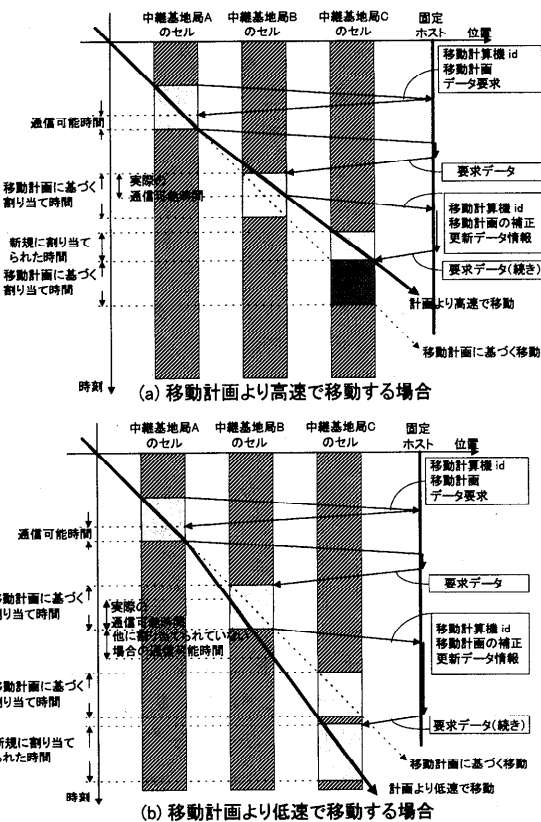


Fig. 5 Error of the mobile specification.

算機が予定より早く到着した場合に対応できるが、1台の移動計算機の通信を、余裕を持って優先的に確保した場合、他の移動計算機の通信時間を制限する結果となる。予定より遅く到着した場合も、同様に、あらかじめ長い時間を予約しておくことで、通信時間を確保することができる。この場合も他の移動計算機の通信を制限する結果となるのは同じであるが、あらかじめ確保した時間の後に、他の移動計算機の予定がなければ、動的に予定時刻を遅らせ、遅く到着した移動計算機に対応して通信を行うことができる。

移動計算機の通過予定時刻を正確に確保すれば、全体としてネットワークの利用効率が上がるが、その分、移動計算機の予定時刻のずれに対応できず、通信時間が短くなるというトレードオフが発生する。

### 3.6 複数の移動計算機

2台の計算機が同一の経路を通過する場合を考察する。図6に示すように、移動計算機Aの後を、移動計算機Bが追隨する場合、移動計算機Aが中継基地局Aのセルに入った直後に移動計算機Bがセル内に入る。中継基地局Aは移動計算機Aと通信を行うため、この間、移動計算機Bは通信を行うことができない。移動計算機Aがセルを出た時点で移動計算機Bが通信可能となるが、セル通過時間の一部しか通信することができない。すなわち、移動計算機Aのために通信時間を確保すると、移動計算機Bの通信時間が十分に確保できなくなる。移動計算機Bの通信時間を確保するために、移動計算機Aの時間を短くし、その時間を移動計算機Bに割り当てることもできる。

あるいは、同一方向に進行する移動計算機が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台の移動計算機に対して、図6に示すように、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。移動計算機AとBが必要な

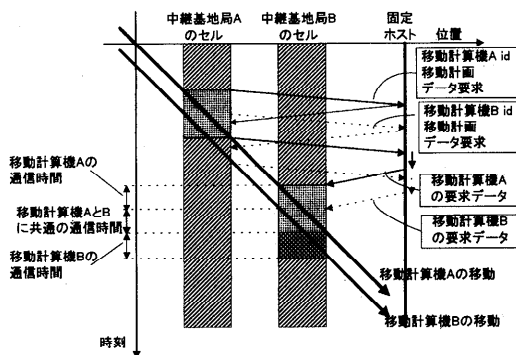


Fig. 6 Movement of the mobile hosts.

データが同じである場合、移動計算機 A と B が同時に中継基地局 A のセル内にいる間にデータを 2 台の移動計算機に対しマルチキャストすることで、どちらもデータの提供を受けることが可能となる。これにより、1 回のデータ転送時間で、2 台の移動体計算機に対してデータを提供できることとなり、全体として効率が上がる。

#### 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行い、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。STRAP では、移動計画と実際の到着時刻にずれが生じる場合、データを予想より長時間保持しておく必要があるが、この問題は地理的放射手法でも同じように起こる。また、STRAP には、共通のデータに対しマルチキャストの効果があることを説明したが、他の手法でも同様の手順でマルチキャスト（ブロードキャスト）を考慮することができる。ここでは、他のモデルと通信効率のみを単純に比較することを目的とし、図 7 のような移動経路網モデル上でシミュレーションを行った。次の条件で移動しながら通信を行うと仮定する。

- 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し、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  $2n - 3$  となる。
- 移動計算機は 1 単位時間ごとに次々と移動経路網の外側の頂点から移動経路網に入り、残り 3 頂点のうち 1 つを目的地として移動する。定常状態では、移動経路網内に  $(2n - 1) \times 4$  台の移動計算機が存在することになる。
- 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。
- 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、1 台のみが通信でき、他の移動計算機は通信できない。

ここで利用したモデルは、混雑時の都心を想定し、4 方向から都心を通過して、他の方向に進行する自動車を実定している。中継基地局は、すべての交差点に設置されている。

##### 4.2 他の通信手法との比較

STRAP を評価するため、ブロードキャスト法、地理的放射手法と比較した。ブロードキャスト法は、移動経路網内のどこに移動計算機が存在するか不明であることを前提に、1 台の移動計算機に対しデータを提供するため、1 単位通信時間にすべての中継基地局に同じデータを送ることで通信を行う。経路網全体において 1 単位通信時間にデータを提供できる移動計算機は 1 台のみであるため、これを単位時間ごとに分割してそれぞれに移動計算機にデータを提供する。地理的放射手法では、移動計算機が存在する中継基地局に隣接する中継基地局に対しあらかじめデータを転送し、その隣接する中継基地局のうち 1 台に移動計算機が入ると通信を行う。ここでのモデルの場合、1 基の中継基地局に隣接する 4 基のノードの中継基地局が対象となる。この対象となっている中継基地局に対してあらかじめデータが送られるが、この移動計算機以外の移動計算機がこの 4 基の中継基地局のうち 1 基に同時に入った場合、通信を行うことはできない。すなわち、1 台の移動計算機の移動にともない、STRAP で

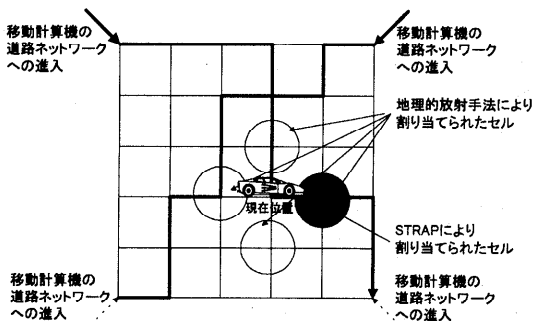


図 7 シミュレーションモデル  
Fig. 7 The simulation model.

表2 各方式の通信効率 (メッシュサイズ 5×5)  
Table 2 Communication efficiency of each method (mesh size 5×5).

計測時間	ブロードキャスト法	地理的放射手法	STRAP
100	0.042	0.300	0.673
200	0.032	0.265	0.673
400	0.032	0.264	0.654
1000	0.031	0.265	0.655

表3 各方式の通信効率 (メッシュサイズ 10×10)  
Table 3 Communication efficiency of each method (mesh size 10×10).

計測時間	ブロードキャスト法	地理的放射手法	STRAP
100	0.015	0.330	0.793
200	0.015	0.313	0.789
400	0.014	0.314	0.789
1000	0.014	0.313	0.790

は1基の中継基地局が割り当てられるが、本モデルにおける地理的放射手法においては4基の中継基地局が割り当てられ、そのうち、3基は使用されない。この3基の中継基地局に他の移動計算機が入っても通信を行うことができないことを意味する。

#### 4.3 シミュレーション結果

メッシュサイズ、計測時間をパラメータとして、ブロードキャスト法、地理的放射手法、STRAPを利用した場合の3つの手法に関して、シミュレーションを用いて、それぞれ確保できる総通信時間の計測を行った。総通信時間とは、計測時間内において、各移動計算機が確保できた通信時間の合計である。

この結果を表2、表3に示す。表中の各手法の値は、通信効率を示す。これらのシミュレーション結果より、STRAPを用いた場合、すべての移動計算機がすべてのノードにおいて通信可能とした場合と比較して、5×5のメッシュサイズで約65%、10×10のメッシュサイズで約79%となる。また、地理的放射手法と比較して約2.5倍の通信時間を確保できることが分かる。計測時間が少ない場合、地理的放射手法、STRAPとも、計測時間が多い場合と比較して総通信時間が多くなっているが、これは、初期状態において経路網内に移動計算機がなく、最初に経路網に入った移動計算機が目的地に到着するまで、複数の移動計算機が1基の中継基地局内に存在し通信ができなくなる割合が小さいためである。

ブロードキャスト法は、メッシュサイズが大きくなれば、他の条件が同じであっても、通信効率は低下する。これは、メッシュサイズが大きくなり、移動経路網内の移動計算機の数が増えたにもかかわらず、単位時間に通信できる移動計算機は1台であり、通信できない移動計算機の数が増えたためである。

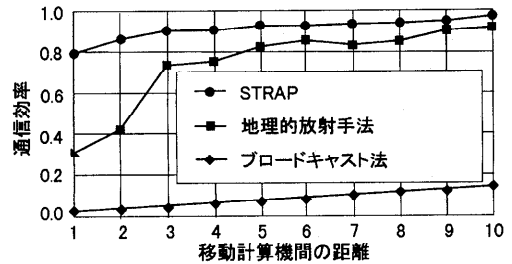


図8 通信効率を変えた場合の各方式の通信効率 (メッシュサイズ 10×10, 計測時間 200)

Fig. 8 Communication Efficiency of Each Method for Communication Load (Mesh Size 10×10, Time 200).

これらのシミュレーション結果において、移動計算機の移動経路網への進入は、1方向から1単位時間に1台の割合、合計すると1単位時間で4方向から4台の割合である。この割合を1から10単位時間ごとに、それぞれ4方向から4台ずつ移動経路網に進入するとした場合のシミュレーション結果を図8に示す。この結果から分かるように、移動経路網内の移動計算機の数が増えれば、ブロードキャスト法、地理的放射手法、STRAPとも通信効率は上昇する。これは、ある移動計算機の通信が、他の移動計算機の通信によって妨げられる確率が低くなり、地理的放射手法とSTRAPの場合との通信効率の差は小さくなる。地理的放射手法は4基の中継基地局にデータを転送し、STRAPでは1基のみに転送するため、理想的には、STRAPの通信効率は、地理的放射手法の4倍となるが、この理想的な場合は、すべての移動計算機の4方向すべてに他の移動計算機が存在した場合であり、このシミュレーションで仮定した移動では、このような条件は発生せず、STRAPの効率は最大で約2.5倍という結果となっている。

#### 5. まとめ

カーナビゲーションシステムやITSにおいて、移動する自動車がマイクロセルを持つ中継基地局経由の通信において、要求データとともに、移動計算機の移動する経路と時刻の予測(移動計画)を中継基地局に送付し、その情報をもとに、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しくみを提案した。これを、ネットワーク全体の場所と時刻をあらかじめ予約する手順であることから、空間的・時間的資源割当てプロトコル(STRAP: Spatio-Temporal Resource Allocation Protocol)と呼ぶ。この手法は、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、移動計算機に対し多くのデータ転送量を確保できるとともに、移動計算機に対しデータを提供でき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 STRAP を用いた場合、ブロードキャスト法、地理的放射手法と比較して、通信時間においてネットワーク全体でどれだけの効果があるかを調べるために、移動経路網内で移動計算機が移動するモデルを設定し、その仮定のもとでシミュレーションを行い、ブロードキャスト法、地理的放射手法と比較した。

STRAP は、地理的放射手法と比較して、移動計算機は移動計算機 id に加えて移動計画の情報を送信する必要があるが、これは全通信量と比較して非常に小さいものであり、無視することができる。すべての移動計算機が同じデータを必要としている場合は、ブロードキャスト法が最も効率的であるが、移動計算機それぞれが個別のデータを必要としている場合、移動経路網内の移動計算機の数が増加するに従って、ブロードキャスト法は急激に通信効率が低下する。また、その際、STRAP は、地理的放射手法と比較して通信効率が高く、ここでのシミュレーションモデルにおいて、地理的放射手法に対し最大約 2.5 倍の通信効率を得ることができた。

本論文では、各通信方式の基本的性能をシミュレーションにおいて評価するために単純な道路ネットワークモデルを用いたが、実際の道路においては、必ずしも正確なメッシュ状の構成はとらず、また、すべての交差点に中継基地局が設置されているわけではない。実際の道路に適応するためには、ここで用いたシミュレーション条件を実条件に適合させる必要があると考えている。

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福田研究室の皆様、および、住友電気工業 ITS 研究所、システムエレクトロニクス研究開発センターの皆様には感謝いたします

### 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バ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) 武啓二郎, 三田泰弘, 大石哲矢, 富永英義: 離散的極小ゾーン移動体バケット通信システム, 電子情報通信学会誌 B-I, Vol.J77-B-I, No.6, pp.405-413 (1994).
- 6) Auto PC Web Site, <http://www.microsoft.com/windowsce/autopc>
- 7) Connected Car PC Technology, <http://www.intel.com/technology/carpcc>
- 8) The Network Vehicle, <http://www.alphaWorks.ibm.com/networkvehicle/index.html>
- 9) Jamel, A., Stuempfle, M. and Fuchs, A.: Web on Wheels: Toward Internet-Enable Cars, *IEEE Computer*, Vol.31, No.1, pp.69-76 (1998).
- 10) 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>
- 11) 佐藤健哉, 左近 透: カーナビのためのモバイルコンピュータ技術, 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).
- 12) ITS in Japan, <http://www2.nnpl.co.jp/ITS/j-html/ITSinJapan/index.html>
- 13) 佐藤健哉, 左近 透ほか: 自動車用ナビゲーションシステムの新プラットフォームの開発, 住友電気第 148 号, pp.37-41 (1996).
- 14) 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).
- 15) Mizoguchi, M.: VICS Strategy and Deployment Plan, *Proc. 2nd World Congress on Intelligent Transport Systems 95*, Vol.5, pp.2618-2621 (1995).
- 16) MMAC-Menu, <http://www.arib.or.jp/mmac/>
- 17) 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).
- 18) Zhang, L., Deering, S., Estrin, D., Shenker, S. and Zappala, D.: RSVP: A New Resource ReSerVation Protocol, *IEEE Network*, Vol.7, No.5, pp.8-18 (1993).

(平成 10 年 5 月 8 日受付)

(平成 10 年 9 月 7 日採録)





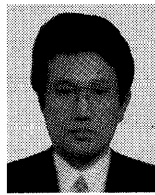
### 佐藤 健哉 (正会員)

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グラフィック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。カーナビゲーションシステムの開発、および、コンピュータアーキテクチャ、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。