

## DSRC を用いた連続型路車間通信における 可変無線ゾーンの構成と動的スロット多重

福井 良太郎<sup>†1,†2</sup> 中村 めぐみ<sup>†1</sup> 柿田 法之<sup>†1</sup>  
 屋代 智之<sup>†3</sup> 重野 寛<sup>†1</sup>  
 岡田 謙一<sup>†1</sup> 松下 温<sup>†4</sup>

道路と自動車の協調によりドライバを支援し走行時の安全性を高める AHS の研究がさかんに行われており、その 1 つとして照明灯を用いた路車間通信が研究されている。照明灯を用いて連続型路車間通信を実現するには次のような問題点がある。1 つ目は、照明灯の間隔に合わせて路側アンテナを設置するため極小セル配置となり、ハンドオフの回数が増加してしまう点である。2 つ目は、DSRC 規格<sup>1)</sup>はスロット数が少ないため頻りにセルを切り換えるとスロットを継続して使用できない車両が多くなるという点である。本稿ではこれらを解決するために、車両密度に合わせて無線ゾーンの構成法を変化させる可変無線ゾーンの構成法、スロットを複数の車両で共有・多重する動的スロット多重の 2 つを提案する。これによりハンドオフを軽減し継続的な通信が可能となることを計算機シミュレーションにより評価した。

### Adaptive Radio Zone Configuration Method and Dynamic Slot Multiplexing of Road-to-Vehicle Successive Communication System Using DSRC

RYOTARO FUKUI,<sup>†2,†1</sup> MEGUMI NAKAMURA,<sup>†1</sup> NORIYUKI KAKITA,<sup>†1</sup>  
 TOMOYUKI YASHIRO,<sup>†3</sup> HIROSHI SHIGENO,<sup>†1</sup> KEN-ICHI OKADA<sup>†1</sup>  
 and YUTAKA MATSUSHITA<sup>†4</sup>

AHS, which is that a driver is supported by the cooperation with the road and the car, and the safety of the driving is improved, is studied very hard recently. One of the study is "road-to-vehicle communication using a road lighting". There are some problems in road-to-vehicle successive communication. The first is that handoff increases, because a road side antenna is installed in accordance with the interval of a road lighting and the cell of the road becomes a minimum. The second is that vehicles may not be able to get a slot when vehicles change a cell frequently. We proposed two of the next to solve these. One is an adaptive radio zone configuration method that the construction of the radio zone changes due to the increase and decrease of the vehicles number. The other is dynamic slot multiplexing that a slot is shared by more than one vehicles. By this study, the communication of assuring continuity becomes possible.

#### 1. はじめに

ITS ( Intelligent Transport Systems : 高度交通システム ) は、交通問題や環境問題、交通事故問題など

の解決を図る次世代交通システムである。加えて交通情報や地域情報などを提供することにより生活の利便性を向上することを目的とする。

ITS における通信はその形態から、車両が互いに通信する車々間通信<sup>2)</sup>と、路側インフラと車両が通信する路車間通信<sup>3),4)</sup>があり、さかんに研究が行われている。路車間通信では、VICS ( Vehicle Information and Communications System : 道路交通情報システム<sup>5)</sup>、ETC ( Electronic Toll Collection system : 自動料金収受システム<sup>6)</sup>がすでに実用化されている。

また、ITS には、道路交通の安全性、利用効率の

†1 慶応義塾大学

Keio University

†2 沖電気工業株式会社

Oki Electric Industry Co., Ltd.

†3 千葉工業大学

Chiba Institute of Technology

†4 東京工科大学

Tokyo University of Technology

向上などを目指した AHS (Advanced Cruise-Assist Highway Systems: 走行支援道路システム) がある。AHS は、事故を未然に防ぐため各種センサにより道路や周辺車両の状況などを把握し、情報提供装置によりドライバに危険警告・操作支援などを行うものである。

特に安全性の向上に関しては一刻も早く対処すべきであり、それにはドライバを支援するシステムを構築することが必要である。そのための通信形態としては車々間通信も考えられるが、車々間通信は多くの車両が通信機器を搭載して初めて成立するものであるため、ITS が普及するための第 1 段階としては、すべての車両に専用の機器が搭載されなくても自車両が搭載していればそのサービスを受けることができる路車間通信が適している。

路車間通信の研究例として、照明灯を用いた路車間通信<sup>7)~10)</sup>がある。これらの研究では、照明灯にアンテナを取り付けることでコストの低下や、路車間通信で大きな問題となるシャドウイングを軽減できることが示され、早期に高性能な安全支援システムを構築できることが示されている。しかし、AHS を実現するためにはシャドウイングを低減できるだけでなく、通信の連続性を保証した通信が必要となる。

照明灯を用いた連続型路車間通信システムでは次のような問題点がある。照明灯の間隔に合わせてアンテナを設置すると、セルを連続的に並べる構成になるため、ハンドオフの回数が非常に増加してしまい、リンク確立などの要求データのために通信効率低下を起こしてしまう。また通信に用いる DSRC (Dedicated Short-Range Communication System: 専用狭域通信) 規格<sup>1)</sup>は、1 フレームのスロット数が少なく、車両が頻りにセルを切り換えるとスロットを使用できない車両が存在し、そのたびに再びリンク確立の手順を踏むことになる。DSRC 規格では連続通信は考慮されていないので、安全支援に不可欠な連続通信を行うことは難しい。

本稿では、セルを狭い間隔で並べることによるハンドオフ頻度の増加、車両密度の増加による通信スロットの不足という問題点を解決するために次の 2 点を提案する。1 つは車両台数の増減により無線ゾーンの構成法を変化させる動的無線ゾーンの構成法であり、ハンドオフ回数の減少を目指す。もう 1 つはスロットを複数の車両で共有・多重するスロット多重方式であり、車両が移動先のセルで確実にスロットを使用できるようにし、リンク切断の回避を目指す。

## 2. DSRC を用いた連続無線ゾーン構成

本章では照明灯を用いた路車間通信システムを概観し、その問題点について述べる。

### 2.1 DSRC 規格

ETC に用いられている無線通信技術<sup>6)</sup>を応用して、駐車場管理、物流管理、代金支払いなどを可能にする DSRC を用いた路車間通信システムに関して、総務省が 2001 年 4 月に省令を制定し、(社)電波産業会 (ARIB) が 2001 年 9 月に民間規格 (ARIB STD-T75<sup>1)</sup>) を策定した。

本稿では、この DSRC 規格の本来の利用形態であるスポット型通信に、連続通信を可能にするプロトコルを加えることで、適用範囲を広げることを考える。そのため ARIB STD-T75<sup>1)</sup>を前提とし、既存のスポット型通信システムと共存する形で連続型通信システムの導入が可能な、互換性のある仕様を提案する。

### 2.2 道路照明灯の利用

DSRC は国際標準として 5.8 GHz マイクロ波帯が利用されている。マイクロ波は比較的直進性が高いので、直接波による見通し内通信が重要となってくる。したがって、シャドウイングの発生を極力抑制する必要がある。そのシャドウイングの問題を解決し、経済的に優れた連続型路車間通信を実現するために、道路照明灯を用いた連続無線ゾーンを提案した<sup>8)</sup>。

DSRC では見通し内通信が重要となることから、各アンテナから車両まで確実に電波が到達するように、アンテナを設置する必要がある。道路照明はなるべく障害物による影を少なくするように設置基準が定められている<sup>11)</sup>。道路照明からの光を電波と置き換えて考えた場合、路車間通信で問題となるシャドウイングを回避でき、見通しを確保できる。この基準に準じて路側アンテナを設置する連続無線ゾーン構成を用いる。

### 2.3 ROF (Radio On Fiber) の利用

光無線通信技術の 1 つとして ROF (Radio On Fiber) がある。ROF は無線周波数 (RF) 帯の信号を変調波として光を強度変調し、光ファイバで伝送するものである。

これを用いて路側システムの構成を考える。統合基地局で受信した様々な各種サービス用周波数帯の電波をすべてマイクロ波に変調する。光信号に変換した後で、光ファイバ経由で道路沿いの路側アンテナまで多重伝送する。路側アンテナでは光信号からマイクロ波を復元して、車両に送信する。車両側で受信した後、車内の周波数変換装置で各種サービス用の様々な周波数の電波を取り出す。

ROF の特徴から、光ファイバを通じて 1 種類の信号を複数のアンテナに分配するというマルチアンテナ方式を導入することを考える。複数のセルに対して 1 種類の信号を送出し、仮想的な大きいセルとして扱う。この方法を用いることによりセル間周波数切換（ハンドオフ）を削減できる。

なお、本稿では、アンテナ単独で構成する通信エリアをセル、ROF により複数のセルを連結した通信エリアをゾーンと呼ぶことにする。

使用する周波数はゾーン内のすべての路側アンテナで同一周波数とする。電波干渉を考慮し、受信電力が閾値  $-60\text{ dB}^{1)}$  を上回る場合のバケットのみ受信することができる。

## 2.4 問題点

前節で述べた DSRC を用いた路車間通信には、次のような問題点がある。

- (1) 照明灯の間隔に合わせてアンテナを設置するためにアンテナ間隔が非常に狭い。そのアンテナ単位でセルを形成すると車両が高速に移動した場合には頻りにハンドオフが起きる。その結果、ハンドオフのたびにリンク確立手順が必要となり、通信効率の低下を起す。
- (2) 通信に用いる DSRC 規格<sup>1)</sup>では 1 フレームのデータ用スロットが最大で 4 スロットなので、同時に通信できる車両は 4 台である。あるセルで車両がスロットを使用しているにもかかわらず、次のセルに移動した場合に新しいスロットを使用できない可能性がある。リンクが切断されると再びリンク確立の手順を踏むことになるため、安全支援に不可欠な連続通信を行うことができなくなる。

ROF ゾーンに DSRC 基地局を 1 つずつ設置し、ゾーン内のセルはすべてその DSRC 基地局が制御する。車両密度が低い場合はゾーンを大きくすることでハンドオフの少ない通信が可能となる。しかし車両密度が高い場合は、多くの通信スロットを必要とするためにセルごとに DSRC 基地局を設置する必要がある。そのためハンドオフ回数が増加する。

このように ROF ゾーンの適切な大きさは車両密度によって動的に変化するもので、一意に決定することができない。車両密度の変化に合わせて動的に ROF ゾーンを構成する必要がある。

通信範囲を動的に変化させる方法として、文献 12)~14) が提案されている。文献 12) は、車両密度に応じてドメインを変化させるという手法であり、DSRC を用いることを前提としていない。本提案では、DSRC

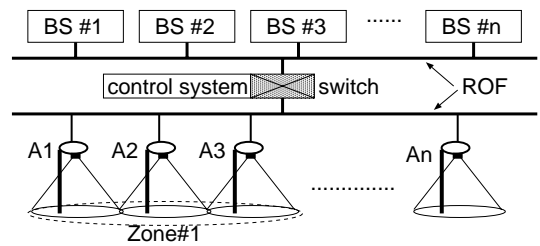


図 1 システム構成

Fig.1 Proposal system model.

規格<sup>1)</sup>を用いることで路車間通信におけるスポット通信と連続通信を同一プロトコルで行うという目的がある。

文献 13), 14) は DSRC を用いる方式である。文献 13) は、センサで車群の速度を予測してゾーンの追従を行っている。この方式は車両を車群として扱っているため、個々の車両に対する通信範囲の制御を行うことができない。本稿では、個々の車両速度に合わせて、それぞれが通信を継続させるような制御方式を提案する。また、文献 14) は、アンテナの照射パターンを変化させることで照射範囲を変化させている。この方式は通信範囲を車両に適合させる方法として有効であると考えられるが、広い照射範囲を分割することで車両の動きに合わせる方法であるため、アンテナ間隔が広く、シャドウイングの影響が大きいと考えられる。本稿ではシャドウイングの影響の少ないアンテナ間隔<sup>2)</sup>でシステムを構成する。

## 3. 提案

上記の問題点を解決するため、可変無線ゾーン構成法、動的スロット多重方法を提案する。

### 3.1 システム構成

図 1 にシステム構成を示す。路側システムは、基地局 (BS)、光ファイバ、路側アンテナ (A)、制御装置、スイッチで構成されている。基地局の送信する信号は ROF 技術により光ファイバを通し、スイッチを介して複数のアンテナに分配される。

制御装置の役割は、基地局と路側アンテナの対応関係を示すマップを作成し、管理することである。スイッチの役割は、制御装置によって作成されたマップに従い、路側アンテナの切換え操作を行うことである。基地局は無線ゾーンの延長・分割・統合といった操作を行うため、使用周波数や通信車両台数などの情報を、隣接基地局と路々間通信によって交換する。さらに、分割や統合を行う際に、アンテナ構成の変更をスイッチに伝える。

### 3.2 可変無線ゾーン構成法

ROFゾーンの大きさを、車両密度の変動に合わせて適切に大小させる。こうすることで、通信可能な車両台数を確保したままハンドオフ回数を減少させることを目指す。

車両密度が低い場合には ROF ゾーンを大きくし、車両密度が高い場合には ROF ゾーンを小さくする。また、車両は走行中の進行方向が変化しないと考え、進行方向に合わせてゾーンの拡大・縮小を行う。

可変無線ゾーン構成には、無線ゾーンの延長・統合・分割の3つの動作パターンがある。これらを説明する。

#### (1) 延長

無線ゾーンの延長は、車両が進行する方向のゾーンに他車両が存在しないときに、車両が使用している無線ゾーンのカバー範囲を前方へ延長する方法である。

BSは車両進行方向のゾーンを制御するBSと通信し、ゾーンに車両が存在しないことが分かるとそのゾーンのアンテナまでを管理下におく。たとえば、BS1がA1~A2でゾーン1を、BS2がA3~A4でゾーン2を構成しているとする。BS1は隣接ゾーンを管理するBS2と通信してBS2に通信車両が存在しないことを確認すると、ゾーン2の終端のアンテナ(A4)までを管理下におくように変更する。スイッチに対してBS1はマップ変更要求を伝え、BS2は登録削除要求を出す。

#### (2) 統合

無線ゾーンの統合は、隣接ゾーンに空きスロットがあり、両ゾーンの通信車両台数が4以下であるとき、ゾーンを1つに統合する方法である。BSは車両進行方向のゾーンを制御するBSと通信し、通信車両台数の合計が4以下であれば、そのゾーンのアンテナまでを管理下におく。延長の場合と異なり、通信中の車両に対してはそのまま通信を継続させる必要があるため、あらかじめ通信中の車両のリンクアドレスなどの情報を交換しておき、速やかに切換えを行う。

#### (3) 分割

無線ゾーンの分割は、あるゾーンにおけるスロットがすべて使用中の場合に、1つのゾーンを2つのゾーンへと分割することでゾーンを管理するBSの数を増やし、通信可能な車両台数を増やすものである。

たとえば、まずBS1においてスロットをすべて使用している場合に、その時点でゾーンを管理

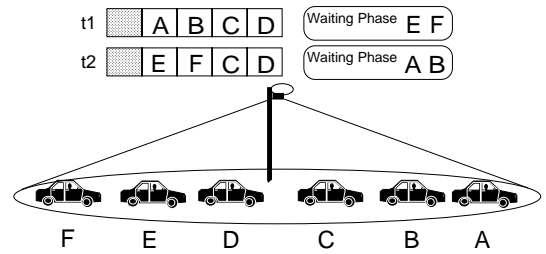


図2 動的スロット多重

Fig.2 Dynamic slot multiplexing.

していないBS(BS2とする)を選択する。そして選択したBS2に対して新たに管理を委譲するアンテナ番号を通知する。同時にBS1はスイッチに対してアンテナの管理を委譲したというマップ変更要求を伝える。

### 3.3 動的スロット多重方式

可変無線ゾーン構成を取り入れると、車両密度が高くなった場合にROF構成から最も小さい無線ゾーンであるセル構成へと移行する。しかしセル構成になると、それ以上に車両密度が増加した場合にはゾーン構成を適応させることができず、車両収容可能台数を超過してしまう。そのためスロットを使用できずにリンクが切断されてしまう車両が現れる。それを回避するため、スロットを複数の車両で共有多重する。

DSRC基地局では、基地局と車両との間で確立されているリンク数であるNUMLINKと、基地局が許可するリンク数の最大を示すMAXLINKを保持している。NUMLINKは通信リンクが確立されるごとに1ずつ増加する。基地局はNUMLINKがMAXLINKを超えたと判断すると、これ以上リンクを確立しないよう、車両からのリンク確立要求を拒否する。本提案では、NUMLINKがMAXLINKを超えた場合、車両からのリンク確立のための要求を拒否せずに、動的スロット多重の手続きに入る。

本提案では、MAC層においてスロット取得フェーズ、待機フェーズを設ける。スロット取得フェーズは、次のフレーム作成時にスロットを使用できる車両が登録され、待機フェーズは次のフレーム作成時に待ち状態になる車両が登録される。

たとえば、図2のように、1セルに6台が存在する場合を考える。DSRCのデータスロットは4スロットなので同時通信が可能な台数は4台である。そのため、2台あふれた状態である。

ある時間t1でスロットを車両A,B,C,Dが使用しているとすると、使用できない車両E,Fは待機フェーズである。次の時間t2では待機フェーズの車

表1 シミュレーション条件  
Table 1 Condition of simulation.

道路	3車線, 直線 1,080 m (路側アンテナ 30 個)
路側アンテナ高	12 m
路側アンテナ間距離	36 m
車両の流れ	ポアソン分布
車両速度	通常走行車線: 80 km/h 中央車線: 100 km/h 追い越し車線: 120 km/h
信号伝送速度	4,096 kbps ( $\pi/4$ シフト QPSK 方式)
シミュレーション終了条件	車両 3,000 台の処理終了

両 E, F に対して優先的にスロットを割り当てる。そして空きスロットがなくなるまで車両 A, B, C, D から選んでスロットを割り当て、スロットを取得できなかった車両は待機フェーズへ移行する。この方法によって、時間的に交互にスロットを使用し複数の車両でスロットを共有することにより、全車両が途切れない通信を行うことができる。

この方式により各車両に割り当てられる帯域は減少する。しかし安全性を高めるための通信には、高速な通信を行うことよりも途切れない通信を実現することのほうが重要である。継続的に通信可能な環境を構築することで、危険警告などの緊急性の高い情報をリアルタイムに伝送することができる。

## 4. 評価

### 4.1 シミュレーション

提案の有効性を示すため、計算機シミュレーションにより評価を行った。シミュレーション条件を表1に示す。

本稿では照明灯と路側アンテナの設置位置を一致させ、アンテナの高さと間隔は文献 8) より路車間での見通しが最も良くなる高さ 12 m, 間隔 36 m とした。路側アンテナの指向性は真下方向に楕円形とする。また受信において路面反射波が最も大きな干渉波として影響を及ぼすと考えられるため、車載アンテナはそれを抑制するために車両の上部に取り付け、指向性を上向きとする。

道路は片側3車線の高速道路を想定し、各車両は各車線の中央を走行するものとする。車両速度は通常走行車線を 80 km/h, 中央車線を 100 km/h, 追い越し車線を 120 km/h とする。

車両は軽自動車, 乗用車, 普通貨物, 大型貨物, 大型トレーラの5種類を用意した。その車両の大きさと発生頻度を表2に示す<sup>15)</sup>。発生する車両の大きさはシャドウイングに影響を及ぼす。路側アンテナから

表2 車両の大きさと車両の出現確率  
Table 2 Vehicle size and arrival probability.

	車高 (m)	車長 (m)	車幅 (m)	出現確率 (%)
軽自動車	1.3	3.2	1.4	3.6
乗用車	1.5	5.0	1.6	80.6
普通貨物	2.5	8.0	2.0	8.9
大型貨物	3.0	12.0	2.5	5.8
大型トレーラ	3.8	16.5	2.5	1.1

車両側アンテナへ直接波および反射波が到達可能であるかどうかを計算する。幾何学モデルで計算した受信電力が閾値  $-60$  dB<sup>1)</sup> を上回る場合にパケットを受信する。

シミュレーションでは以下の3つの方式を比較する。それぞれ2.2節で示したように、照明灯を用いて連続無線ゾーンを構成するものとする。

方式Aは、各路側アンテナに1つずつ基地局を固定的に割り当てるセル型構成のモデルである。方式Bは、方式Aに可変無線ゾーン構成法を適用したモデルである。方式Cは、方式Bに動的スロット多重を適用したモデルである。

### 4.2 評価項目

評価する項目は以下のとおりである。

- 車両密度と平均ハンドオフ回数の関係
- 車両密度と連続受信バイト数の関係
- 車両密度とハンドオフ成功確率の関係
- 車両密度と平均バイトレートの関係
- 各車両に対する受信量の分散

車両密度とは1車線1kmに存在する車両台数である。連続受信バイト数とは、ある車両がスロットを取得して通信を開始してから、スロットを取得できずに通信が途切れるまでの間に連続して受信したバイト数である。

### 4.3 車両密度とハンドオフ回数の関係

図3に車両密度とハンドオフ回数の関係を示す。横軸は車両密度、縦軸は車両1台あたりの平均ハンドオフ回数である。シミュレーションモデルにおいて路側アンテナ数は30個であるので、ハンドオフ回数は29回が上限である。

方式Aではセルが30個で固定されているので、ハンドオフ回数は上限の29回に近い値で横ばいになっている。

方式Bと方式Cでは、車両密度が30[台/km/lane]以下になるとハンドオフ回数は半分以下になっていることが分かる。これは、提案の可変無線ゾーン構成法を取り入れることで、車両の台数がスロットを満たすまでゾーンを延長・統合するため、複数のセルにまた

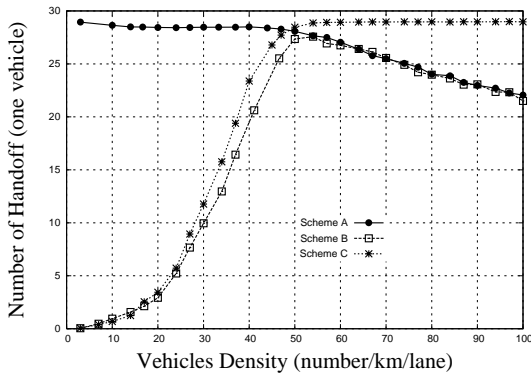


図3 車両密度とハンドオフ回数の関係

Fig. 3 Relation between number of handoff and vehicle-density.

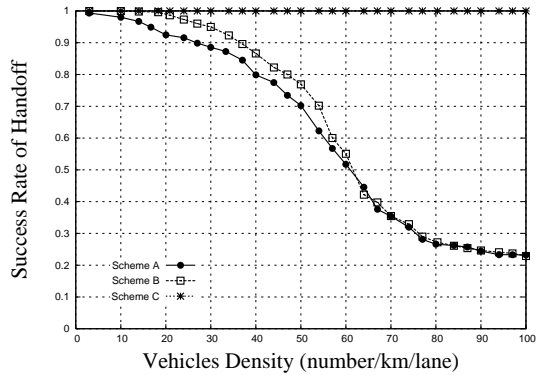


図4 車両密度とハンドオフ成功確率の関係

Fig. 4 Relation between probability of successful handoff and vehicle-density.

がった長い距離をハンドオフなしで走行できるからである。

しかし、車両密度が 30[台/km/lane] 以上になると、可変無線ゾーン構成を取り入れた 2 つのモデル(方式 B, 方式 C)でもハンドオフ回数が増加していく。これは、車両台数が増加するに従ってゾーンの大きさが小さくなり連続セル型構成に近づくためである。

車両密度が 50[台/km/lane] 以上になると、方式 A と方式 B はハンドオフの回数が低下している。これは、車両密度が増加したことでスロットを使用できない車両が増え、セルを移動した際のハンドオフに失敗したためである。これに対して方式 C は動的スロット多重方式を用いているので、セルを移動した場合に確実にスロットを使用できる。そのため、方式 A と方式 B のような落ち込みがない。

車両が 100 km/h で走行しているときは 100 m 程度の車間距離をとることが望ましいということを考えると、車両密度は 10[台/km/lane] 程度である。そのような車両密度の低い場合にはハンドオフ回数の低下を達成できている。車両の速度が遅く、渋滞しているような場合は、走行時間に対するハンドオフにかかる時間が占める割合が低い。そのため、可変無線ゾーン構成を取り入れることで、車両密度が低いとき、つまり高速移動が可能となきハンドオフ回数を減少できたことは、効果大きい。

4.4 車両密度とハンドオフ成功確率の関係

図 4 に車両密度とハンドオフ成功確率の関係を示す。横軸は車両密度、縦軸はハンドオフの成功確率である。

車両密度が低いとき、方式 B と方式 C は、方式 A を改善している。これは可変無線ゾーン構成法の効果であり、車両台数に応じて確実にスロットを使用でき

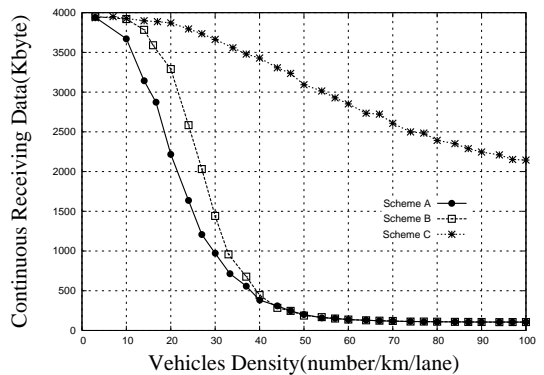


図5 車両密度と連続受信バイト数の関係

Fig. 5 Relation between consecutive receive data (byte) and vehicle-density.

るようにゾーン構成を変化させているためである。

車両密度の高いときは、可変無線ゾーン構成法により通信エリアはセル型に近くなるので、動的スロット多重方式を用いて移動先で確実にスロットを使用できる方式 C のみが、高いハンドオフ成功確率を得ている。

可変無線ゾーン構成法と動的スロット多重方式の 2 つを取り入れた方式 C は、ハンドオフの成功確率はつねに 1 となっている。

方式 A と方式 B で、図 3 の車両密度 50[台/km/lane] 以上におけるハンドオフ回数の減少は、移動先のゾーンにおいてスロットを使用できないというハンドオフ成功確率の低さが原因である。

4.5 車両密度と連続受信バイト数の関係

図 5 に車両密度と連続受信バイト数の関係を示す。横軸は車両密度、縦軸は車両 1 台が連続的に受信できたバイト数である。

方式 B と方式 C は、方式 A に比べて、車両密度が低い領域(車両密度 30[台/km/lane] 以下)におい

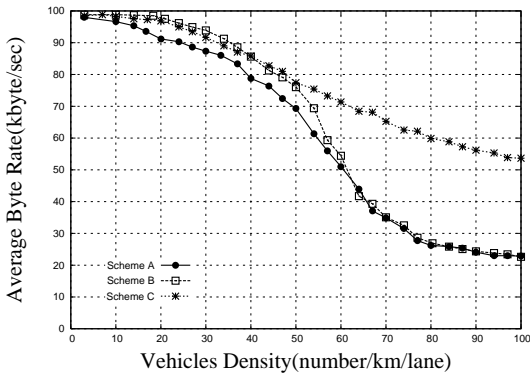


図6 車両密度と平均バイトレートの関係

Fig. 6 Relation between received data (Kbyte/sec) and vehicle-density.

て連続受信量が多い．可変無線ゾーン構成法では，スロットの使用状況を見ながらゾーン構成を変動させているため，ハンドオフの失敗が起こらず，また，ゾーンを大きくとるのでハンドオフ回数が少ない．そのため，1度スロットを取得すると長時間通信を継続させることができるからである．

しかし，方式Bにおいて，車両密度が高くなると連続受信量は急激に減少する．これは，車両密度が高くなると無線ゾーンが小さくなり連続セル型構成の状態に近づくため，ハンドオフ回数が増加するからである．

方式Aと方式Bにおける連続受信バイト数の極度の低下は，図4から分かるように，移動先のゾーンにおいてスロットを使用できないというハンドオフ成功確率の低さが理由である．

これに対して方式Cでも，車両密度が高くなるに従って連続受信バイト数に若干の低下は見られるが，方式A，方式Bに対しては大幅に改善している．これは，ハンドオフの回数は増加するものの，動的スロット多重を行うことによりリンクが途切れず，他の2つのモデルのような急激な落ち込みがないためである．ただし動的スロット多重方式は一種の帯域分割方式であるため，受信量は減少する．

グラフから，動的スロット多重は，特に車両密度が高い領域において有効であるといえる．

#### 4.6 車両密度と平均バイトレートの関係

図6に車両密度と平均バイトレートの関係を示す．横軸は車両密度，縦軸はシミュレーション区間内における車両1台あたりの平均バイトレートである．

車両密度の低い領域（車両密度50[台/km/lane]以下）における平均バイトレートは，方式Bと方式Cが方式Aを上回っている．これは，方式Aはハンドオフ回数が多いため，ハンドオフが失敗する機会も多

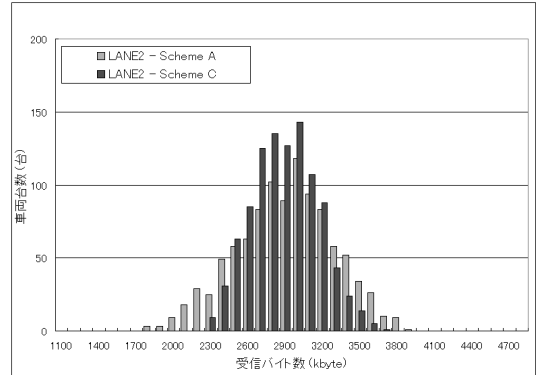


図7 受信量の分散(中央車線)

Fig. 7 Dispersion of received data (second lane).

くなるからである．

それに対して方式Bと方式Cでは可変無線ゾーン構成を用いることで不要なハンドオフが生じないので，より長い距離にわたって通信を継続させることができるため，方式Aより平均バイトレートが高くなる．

車両密度の高い領域においては，方式Cが方式A・方式Bを大きく上回っている．これは，動的スロット多重を用いることで方式Cのみが移動先のセルにおいて確実にスロットを使用できるからである．方式Aと方式Bではハンドオフをしたとき，スロットを使用できずに通信が途切れてしまうため，平均バイトレートは低下する．

#### 4.7 受信量のばらつき

安全支援では，車両によって受信量に偏りが生じるのではなく，各車両が平等かつ連続受信できることが望まれる．連続受信に関してはすでに4.5節で議論した．ここでは各車両の受信量の分散について検討する．最も受信量にばらつきが出るのは，車両密度が高くなりスロットの競合が多くなってきたときである．そこで，車両密度が60[台/km/lane]のときに絞って議論する．

通常走行車線，中央車線，追い越し車線における受信バイト数の分散について，方式Aと方式Cを比較する．

図7は，中央車線における受信バイト数の分散を示したものである．この図から，方式Cに比べて方式Aのほうが受信バイト数の少ない領域への分散が大きいことが分かる．これは，車両密度が高いことから，方式Aではスロットを使用できない車両が多く発生するためだと考えられる．通常走行車線，追い越し車線においても同様の傾向が見られた．

表3から，いずれの場合も，方式Cの方が受信量の分散値が小さいことが分かる．また，車線別で比較

表3 各車線における受信量の分散  
Table 3 Dispersion of received data.

	方式 A	方式 C
通常走行車線	$168 \times 10^3$	$82 \times 10^3$
中央車線	$151 \times 10^3$	$68 \times 10^3$
追い越し車線	$125 \times 10^3$	$47 \times 10^3$

をすると、走行速度の小さい車線のほうが分散値が大きい。これは、1つ1つのゾーンでスロットを取得したときには多くの情報を受信できるが、スロットを使用できなかった車両はその分だけ他車両の受信量との差が大きくなるためである。

このことから、本稿の提案モデルは、車両によって受信量に偏りが少ない連続型路車間通信システムであるといえる。

## 5. おわりに

AHS に利用するなどの目的で、本稿では照明灯を用いた路車間通信システムにおいて、通信の連続性について検討し、可変無線ゾーン構成法と動的スロット多重方式を提案した。可変無線ゾーン構成法は、車両台数の増減により無線ゾーンの構成法を変化させるものであり、動的スロット多重方式は、スロットを複数の車両で共有・多重する方式である。

シミュレーションによる評価から、可変無線ゾーン構成法だけでも、高速移動体における通信で問題となるハンドオフの頻度を減少できることを示した。また、動的スロット多重方式により、車両台数が増加した場合でもスロットを使用できるようにしたことで、継続した通信を可能とした。これら2つを組み合わせた方式は車両密度が高くなった場合にも有効である。

本研究により、DSRC を用いた連続型路車間通信システムにおいて、ハンドオフの頻度を軽減し、継続的な通信が可能になるといえる。

## 参考文献

- 1) 社団法人電波産業会：狭域通信(DSRC)システム標準規格，第1.0版(ARIB STD-T75)(2001).
- 2) Verdone, R.: Multihop R-ALOHA for Inter-vehicle Communications at Millimeter Waves, *IEEE Trans. Vehicular Technology*, Vol.46, No.4, pp.992-1058 (1997).
- 3) 屋代智之, 松下 温: 路車間・車々間通信統合MACプロトコル: I-WarpII, 情報処理学会論文誌, Vol.J42, No.7, pp.1781-1789 (2001)
- 4) Aoki, Y., Okada, M., Sasaki, K., Harada, H. and Fujise, M.: Spot Access System for Millimeter-wave Road-to-Vehicle Communication Systems using Radio-on-Fiber Technology,

*ITST-2000*, pp.47-52 (2000).

- 5) Yamada, S.: The Strategy and Deployment Plan for VICS, *IEEE Communications*, Vol.34, No.10, pp.94-97 (1996).
- 6) 社団法人電波産業会：有料道路自動料金収受システム標準規格(ARIB STD-T55)(1997).
- 7) 福井良太郎：ビーコン連続型DSRCシステムの構成方法, 情報処理学会第2回高度交通システム研究会(2000-ITS-2), Vol.2000, No.83, pp.55-60 (2000).
- 8) 福井良太郎, 柿田法之, 屋代智之, 重野 寛, 松下 温: 道路照明を用いた連続無線ゾーン構成法による路車間通信システムの実用性の評価, 情報処理学会論文誌, Vol.J43, No.12, pp.3931-3938 (2002).
- 9) 中村めぐみ, 柿田法之, 福井良太郎, 屋代智之, 重野 寛, 岡田謙一, 松下 温: DSRCを用いた連続型路車間通信におけるシステム構成の検討, 情報処理学会第11回高度交通システム研究会(2002-ITS-11), Vol.2002, No.115, pp.179-186 (2002).
- 10) 朝倉啓充, 柿田法之, 中村めぐみ, 福井良太郎, 屋代智之, 重野 寛, 岡田謙一: 連続ゾーン路車間通信における動的ゾーン制御方式, 情報処理学会第65回全国大会, Vol.3, pp.377-378 (2003).
- 11) 交通工学研究会(編): 交通工学ハンドブック, pp.727-739, 技報堂出版(1998).
- 12) 西野健一, 長谷川孝明: 道路プラットフォーム“ドットITS”におけるIP接続に関する一検討, 2003年電子情報通信学会技術研究報告, ITS2002-180, pp.117-122 (2003).
- 13) Yamaguchi, A., Takeuchi, Y. and Yasunaga, M.: Dynamic Radio Zone Communication System for ITS, *ITS00133, 8th World Congress on Intelligent Transport Systems* (Oct. 2001).
- 14) Yamasaki, Y., Yasunaga, M., Murakami, Y. and Moribe, H.: Development of Beam Control Array Antenna for Road to Vehicle Communications, *ITS00153, 8th World Congress on Intelligent Transport Systems* (Oct. 2001).
- 15) 自動車工学全書編集委員会：自動車工学全書別巻 自動車に関する法規，規格，統計，株式会社山海堂(1980).

(平成15年3月31日受付)

(平成15年9月5日採録)





福井良太郎 (正会員)

昭和 42 年慶應義塾大学工学部電気工学科卒業。同年沖電気工業(株)入社。現在、慶應義塾大学大学院理工学研究科後期博士課程在学中。無線通信システム、情報通信システム等の開発を経て、現在高度道路交通システム(ITS)の開発に従事。電子情報通信学会会員。



中村めぐみ (学生会員)

平成 14 年慶應義塾大学理工学部情報工学科卒業。現在、同大学大学院理工学研究科開放環境科学専攻情報通信メディア工学専修修士課程在学中。



柿田 法之 (正会員)

平成 15 年慶應義塾大学大学院理工学研究科開放環境科学専攻情報通信メディア工学専修修士課程修了。同年、東邦ガス入社。



屋代 智之 (正会員)

平成 2 年慶應義塾大学理工学部計測工学科卒業。平成 10 年同大学大学院理工学研究科博士課程修了。同年より千葉工業大学工学部情報ネットワーク学科専任講師。現在同大学情報科学部情報ネットワーク学科助教授。博士(工学)。LAN の媒体アクセス制御方式、マルチメディアネットワーク、高度道路交通システム(ITS)、モバイル・コンピューティング等の研究に従事。情報処理学会高度交通システム研究会幹事。著書『コンピュータネットワーク』(オーム社),『ITS と情報通信技術』(裳華房)等。電子情報通信学会,人工知能学会,IEEE 各会員。



重野 寛 (正会員)

平成 2 年慶應義塾大学理工学部計測工学科卒業。平成 9 年同大学大学院理工学研究科博士課程修了。平成 10 年同大学理工学部情報工学科助手(有期)。現在、同大学理工学部情報工学科助教授。博士(工学)計算機ネットワーク・プロトコル,モバイル・コンピューティング,マルチメディア・アプリケーション等の研究に従事。情報処理学会マルチメディア通信と分散処理研究会幹事。著書『ネットワーク・ユーザのための～無線 LAN 技術講座』(ソフト・リサーチ・センター),『コンピュータネットワーク』(オーム社)等。電子情報通信学会,IEEE,ACM 各会員。



岡田 謙一 (正会員)

慶應義塾大学理工学部情報工学科助教授,工学博士。専門は,グループウェア,コンピュータ・ヒューマン・インタラクション。『コラボレーションとコミュニケーション』(共立出版)をはじめ著書多数。GN 研究会運営委員,MBL 研究会運営委員,日本 VR 学会仮想都市研究会幹事。情報処理学会論文誌編集主査,電子情報通信学会論文誌編集委員。ECSCW2001 プログラム委員,INTER-ACT2001 財務委員長。IEEE,ACM,電子情報通信学会,人工知能学会各会員。平成 7 年度情報処理学会論文賞,情報処理学会 40 周年記念論文賞,平成 12 年度情報処理学会論文賞受賞。



松下 温(正会員)

昭和 38 年慶應義塾大学工学部電気工学科卒業。昭和 43 年イリノイ大学大学院コンピュータサイエンス専攻修了。平成元年 4 月より 14 年 3 月まで慶應義塾大学理工学部教授。

平成 14 年 4 月より東京工科大学教授および慶應義塾大学理工学部客員教授。工学博士。マルチメディア通信、コンピュータネットワーク、グループウェア等の研究に従事。情報処理学会理事、同学会副会長、マルチメディア通信と分散処理研究会委員長、グループウェア研究会委員長、MIS 研究会委員長、バーチャルリアリティ学会サイバースペースと仮想都市研究会委員長等を歴任。現在、情報処理学会 ITS 研究会主査。郵政省、通産省、建設省、農水省、都市基盤整備公団、行政情報システム研究所等の委員長、座長、委員を多数歴任。『やさしい LAN の知識』(オーム社)、『201x 年の世界』(共立出版)等著書多数。平成 5 年情報処理学会ベストオーサ賞、平成 7 年および平成 12 年情報処理学会論文賞、平成 12 年 10 月情報処理学会 40 周年記念 90 年代学会誌論文賞、平成 12 年 10 月電子情報通信学会フェロー、平成 12 年 10 月 VR 学会サイバースペース研究会、平成 13 年 5 月情報処理学会功績賞。情報処理学会フェロー、電子情報通信学会、人工知能学会、ファジィ学会、IEEE、ACM 各会員。

---