

## 推薦論文

## 連続型路車間通信システムにおける動的ゾーン制御アルゴリズム

朝倉 啓 充<sup>†</sup> 成田 干 城<sup>†</sup> 中村 めぐみ<sup>†</sup>  
 屋代 智 之<sup>††</sup> 重野 寛<sup>†</sup> 岡田 謙 一<sup>†</sup>

交通事故の防止や快適性の向上のために、ドライバを支援するシステムが必要とされている。そのシステムの1つとしてDSRCを用いた連続型路車間通信システムがある。このシステムでは効率的な通信を可能とするために、交通量に応じた大きさのゾーンを配置する方式が検討されている。しかし交通量は時間とともに変化するために、この変化にゾーン構成が対応できないという問題点がある。本論文では、この問題を解決するために動的ゾーン制御アルゴリズムを提案する。本提案は交通量に応じてゾーン構成を動的に変化させることで、効率的な連続型路車間通信を可能にする。本提案の有効性を計算機シミュレーションを用いて評価し、その有効性を示した。

## Dynamic Zone Control Algorithm for Road-to-Vehicle Successive Communication System

HIROMITSU ASAKURA,<sup>†</sup> TATEKI NARITA,<sup>†</sup> MEGUMI NAKAMURA,<sup>†</sup>  
 TOMOYUKI YASHIRO,<sup>††</sup> HIROSHI SHIGENO<sup>†</sup> and KEN-ICHI OKADA<sup>†</sup>

Systems which support the drivers to prevent traffic accidents and increase the level of convenience are needed. One of these systems is road-to-vehicle successive communication system using DSRC. In this system, diverse sized zones are constructed according to the amount of traffic to maintain efficient communication. However in this system dynamical adjustment according to the change in traffic is not possible. Therefore in this paper, we propose Dynamic Zone Control to solve this problem. Our algorithm dynamically changes the zone alignments according to traffic and enables efficient and successive road-to-vehicle communication. We show the effectiveness of our proposal through computer simulations.

### 1. はじめに

高度情報化社会の到来によって、ITS (Intelligent Transport Systems: 高度交通システム) への取り組みがさかんに行われている。ITSとは情報通信技術を利用して、道路、車両を結んだ次世代交通システムであり、ドライバの安全運転支援に加えて、周辺情報やエンタテイメント情報の提供による快適性の向上などを目的としている。すでに実用化されているシステムとしては、VICS (Vehicle Information and Communication System: 道路交通情報システム)<sup>1)</sup> やETC (Electronic Toll Collection System: 自動料金収受システム)<sup>2)</sup> などがある。

ITSにおいて大きく2つの通信形態が考えられてい

る。1つは車両間で直接通信を行う車車間通信<sup>3),4)</sup>であり、もう1つは道路側に設置された路側設備と車両が通信を行う路車間通信である。車車間通信を用いたサービスを開始するためには、自車両の周囲の車両も通信を行うための車載器を搭載している必要があり、普及初期段階でのサービス提供が困難である。これに対して路車間通信は高速道路など、限定した場所に路側のインフラを構築することで、車載器を搭載した車両から順次サービスを受けることが可能であることから、普及初期段階から実用的なサービスの提供が可能である。

路車間通信ではDSRC (Dedicated Short-Range Communication: 専用狭域通信) を利用したシステムが検討されている<sup>6),7)</sup>。DSRCには5.8 GHzマイクロ波を利用し、通信エリアの大きさが直径数十mと比

<sup>†</sup> 慶應義塾大学

Keio University

<sup>††</sup> 千葉工業大学

Chiba Institute of Technology

本論文の内容は平成15年7月のモバイルコンピューティングとユビキタス通信研究会にて報告され、MBL研究会主催により情報処理学会論文誌への掲載が推薦された論文である。

較的小さいという特徴がある。DSRCにおける通信エリアをセルと呼ぶ。DSRCは単独のセル内の通信を対象としている。

一方、路車間通信の実現技術として、道路照明を利用した連続無線ゾーン構成モデル<sup>8)</sup>がある。このモデルでは、道路照明に路側アンテナを設置し、複数のセルを連続的に配置することで、DSRCを利用する際の問題点であるシャドウィングの影響を最小限に抑え、連続通信が可能となる。また、道路照明を利用することで、インフラ構築のコストも削減することができる。

しかし連続無線ゾーン構成モデルでは、道路照明間隔で連続的に小さなセルを道路上に配置するため、車両が通信維持のために行うハンドオフの回数が増加する。ハンドオフ回数の増加はリンク確立などの作業を繰り返すことを意味し、通信効率の低下を招くという問題がある。

この問題を解決するために、ROF (Radio On Fiber) 技術の利用が考えられている<sup>9),10)</sup>。これは複数の路側アンテナを1つの基地局が制御することによって、仮想的に大きなセルを構築してハンドオフ回数を減少させる方式である。本論文では、このような地理的な連続する通信エリアを、セルと区別してゾーンと呼ぶ。また、DSRCの規格であるARIB STD-T75<sup>5)</sup>では1フレームのスロット数が制限されているために、1つの基地局と同時に通信できる車両台数が制限されている。したがって、ROF技術を利用すると、システム全体での通信可能車両台数が減少することになる。

以上のように、DSRCを利用した連続無線ゾーンを構築する場合、ハンドオフ回数を減少させるためには通信可能車両台数を考慮してゾーンの配置を検討する必要がある。しかしながら交通量は時々刻々変化するものであり、ゾーンの配置もその変化に対応する必要がある。そこで本論文では交通量の変化に応じてゾーンのサイズを適切に変化させ、さらにそのゾーンが車両の移動を追跡するように移動する動的ゾーン制御アルゴリズムを提案する。本提案によって効率的な連続型路車間通信の実現を目指す。

以下、2章では既存の連続型路車間通信システムとその問題点について述べる。3章では提案アルゴリズムを構成する動的ゾーンサイズ変更と車両追跡という2つのアルゴリズムについて述べ、4章では計算機シミュレーションを用いて、その有効性を評価する。最後に5章でまとめる。

## 2. 連続型路車間通信システム

### 2.1 道路照明を利用した連続無線ゾーン構成モデル

DSRCで利用されている5.8GHzマイクロ波帯は直進性が高いために、直接波による見通し内通信が重要である。したがって、DSRCによる連続型路車間通信システムを構成するにあたっては、近隣の車両や障害物によるシャドウィングを考慮して路側アンテナを設置しなくてはならない。

そこで、道路照明に路側アンテナを設置する方式が提案されている<sup>8)</sup>。道路照明はなるべく障害物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>ことから、これによってシャドウィングを最小限に抑えることができるうえに、既存の路側インフラを利用することによってコストを削減することもできる。そこで本論文でもこの道路照明を利用した連続無線ゾーン構成モデルを用いて連続型路車間通信システムを構成する。

### 2.2 連続無線ゾーン構成方式

道路照明を利用した連続無線ゾーン構成方式として、連続セル型構成とROFゾーン構成の2つの連続無線ゾーン構成方式が考えられている<sup>8)-10)</sup>。

#### ● 連続セル型構成

連続セル型構成は1つの基地局が1つの路側アンテナを制御する方式である。この方式を道路照明を利用した連続無線ゾーン構成モデルに適用すると、道路照明ごとに路側アンテナを設置するので路側アンテナ間隔が非常に短くなり、小さなセルを連続的に配置することになる。したがって、車両が移動すると頻繁にハンドオフが起り、通信効率が低下する<sup>8),10)</sup>。しかしARIB STD-T75<sup>5)</sup>において、1つの基地局に対するスロット数が制限されていることから、路側アンテナごとに基地局が設置されている連続セル型構成はシステム全体で使用できるスロット数がROFゾーン構成と比較して多いという利点がある。

#### ● ROFゾーン構成

ROFとは無線信号で光を強度変調することによって、光ファイバを用いた伝送を行うものである。ROFゾーン構成では、この技術を路側基地局構成に利用する<sup>9)</sup>。基地局は受信した様々なサービス用周波数帯の電波をすべてミリ波に変調する。そして光信号に変換し、光ファイバ経由で道路沿いの複数の路側アンテナまで多重伝送する。各路側アンテナでは光信号をミリ波に復元し、車両に送信する。車両は受信後、車内の周波数変換装置で各種サービスの周波数の電波を取り出す。ROF

ゾーン構成では、ROF を用いて同一の信号を複数の路側アンテナに分配することで、地理的に連続するセルをあたかも 1 つのゾーンであるかのように取り扱う。したがって、車両の移動にともなうハンドオフ回数が減少し、効率の高い連続通信が可能となる。

しかし大きなゾーンを構成するために、システム全体で使用できるスロット数が連続セル型構成の場合よりも少ないという欠点がある。

連続セル型構成は車両密度が高い場合に適した連続無線ゾーン構成方式であり、ROF ゾーン構成は車両密度が低い場合に適した連続無線ゾーン構成方式だといえる。

### 2.3 動的ゾーン制御方式とその問題点

前節で述べたように連続無線ゾーン構成方式において、車両密度に応じたサイズのゾーンを配置することが考えられている。しかし、これらのゾーン構成方式は固定的にゾーンを配置する方式であり、車両密度が変化してもゾーン構成を変更することができない。したがって、つねに車両密度に応じた適切なゾーン構成にならないという問題点がある。この問題を解決するために通信ゾーンを動的に変化させるシステムが提案されている<sup>12)~15)</sup>。

文献 12) は車両密度に応じて割り当てるドメインを変化させ、ハンドオフを減少させる方式を提案している。しかし具体的なドメイン割当てのアルゴリズムについては言及されていない。文献 13), 14) では DSRC を利用したシステムが検討されている。文献 13) ではセンサで車群の位置を予測し、その予測からゾーンの移動を行っている。この提案は車両の位置把握を車群単位で行っていることに加えて、予測を用いているために車両 1 台 1 台に適したゾーンを配置できるとは限らない。文献 14) ではアンテナの照射パターンを変化させることでゾーンの大きさを制御している。ゾーンの大きさを変化させる技術として、ハンドオフ回数の削減に有効であると考えられるが、この方式を用いると大きなゾーンを構成したときにシャドウイングの影響が強くなってしまふと考えられる。

これらの問題点を解決し、動的にゾーンを制御する連続型路車間通信システムの提案として文献 15) がある。この提案では路側基地局が車両の位置を把握し、車両が通信を維持できる範囲でゾーンを拡大することでハンドオフ回数を減少させる。この方式は車両密度に応じて動的に適切なゾーン配置を行うことが可能である。しかし車両がつねにコネクションを維持するような環境を前提としているため、スロットに余裕のあ

るゾーンが少ない。したがって、車両からの通信要求に応じたチャンネル割当てを行うと、スロット不足によりリンク確立ができない問題がある。本論文では車両がつねにコネクションを維持するようなチャンネル割当てを固定型チャンネル割当てと呼び、車両が必要時にだけコネクションを結ぶようなチャンネル割当てを要求型チャンネル割当てと呼ぶことにする。

## 3. 動的ゾーン制御アルゴリズムの提案

前章で述べた問題を解決する動的ゾーン制御アルゴリズムを提案する。本提案は交通量に応じて動的にゾーンを配置し、車両の移動を追跡するようにゾーンも移動させることで、ハンドオフ回数を必要最小限に減少させる。また、通信車両が存在しない道路区間に意図的にゾーンを挿入することで、固定型チャンネル割当ての場合に加えて、車両が必要時にだけスロットを要求する要求型チャンネル割当ての場合でも、車両に対して円滑にスロットを割り当てることが可能となる。本提案は、動的ゾーンサイズ変更、車両追跡の 2 つのアルゴリズムによって構成される。

### 3.1 システムモデル

図 1 に本論文で前提とするシステムのモデルを示す。本モデルでは、同数の基地局と路側アンテナがスイッチを介して、光ファイバにより相互に接続される。基地局とその基地局が制御する路側アンテナはスイッチングにより、動的に変更できる。基地局は地理的に連続する複数の路側アンテナを同時に制御することで、ゾーンを構成することができる。また、基地局は自身の制御するゾーンの情報、およびそのゾーン内を走行している車両の情報を管理する。スイッチは基地局が制御する路側アンテナが記録されているマップを管理

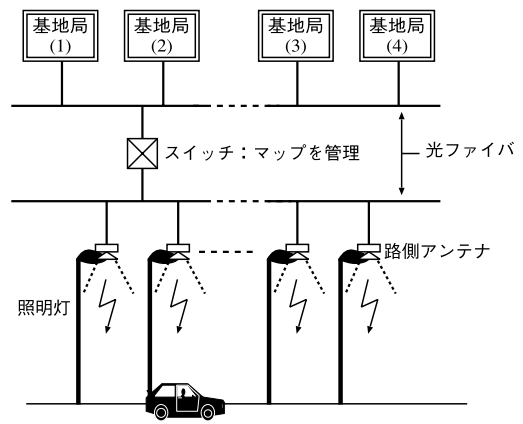


図 1 システムモデル  
Fig. 1 System model.

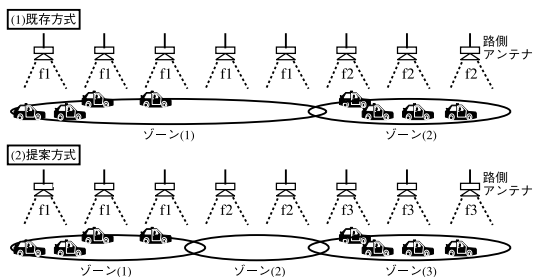


図 2 動的ゾーン制御アルゴリズムの比較

Fig. 2 Comparison between two different dynamic zone control algorithms.

する．車両は GPS などを搭載し，自身の位置情報を定期的に基地局に送信する．

スイッチは自身の管理するマップを参照して，各基地局と路側アンテナを接続する．これによってマップに記録された内容どおりに各基地局は路側アンテナを制御することが可能となる．

3.2 動的ゾーンサイズ変更

ARIB STD-T75<sup>5)</sup> では 1 つの基地局が使用できる最大スロット数は 8 スロットであり，全二重通信の場合は up-link 用に 4 スロット，down-link 用に 4 スロット割り当てるために最大で 4 台の車両が同時に通信可能である．そこで通信車両台数を把握することによって，構成するゾーンの大きさを適切なものに変化させる．文献 15) では，車両が 4 台になる範囲でゾーンを最大に拡大する．しかし本提案では，車両が 4 台になる範囲で必要最小限のサイズにゾーンを制御することで，通信車両が存在しない道路区間に新しいゾーンを挿入するスペースを作り出す．図 2 の場合，既存方式と提案方式でゾーン (1) の制御が異なることで，提案方式の場合は車両の存在しない新しいゾーン (2) を挿入することが可能になる．この新しいゾーンの挿入によって，システム全体で使用できるスロット数を向上させ，要求型チャンネル割当ての場合も，車両の新しい通信要求に対して円滑にスロットを割り当てることが可能となる．

そこで本提案では 1 つのゾーン内の通信車両台数が 4 台になるように，基地局はスイッチの持つマップの書き換えを行う．このときゾーンの両端のセル内に必ず通信車両が存在するようにゾーンを構成することで，ゾーンを必要最小限のサイズにする．通信車両台数に応じてゾーンサイズを決定することによって，車両密度が高い場合は小さなゾーンを構成し，車両密度が低い場合は大きなゾーンを構成することが可能となる．また，車両が存在しないエリアはまだ車両と通信を行っていない基地局の制御下に置く (図 3)．なお，

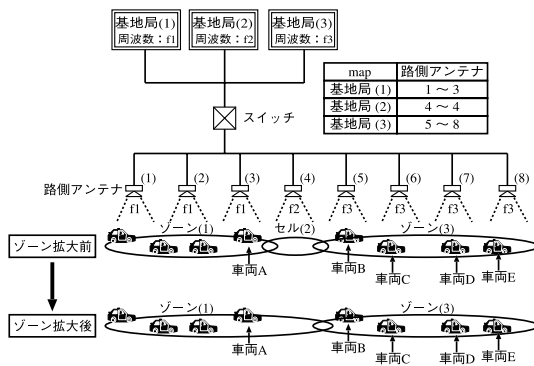


図 3 動的ゾーン制御アルゴリズム

Fig. 3 Dynamic zone control algorithm.

図 3 では基地局の数を省略したが，実際のシステムでは基地局と路側アンテナの数は同数である．

3.3 車両追跡

車両追跡とは車両の移動を追跡するようにゾーンを移動させることである．文献 15) ではゾーンサイズを可能な限り大きくすることでハンドオフを回避するが，本提案ではゾーンサイズを必要最小限にするために，車両追跡を行うことでハンドオフ回数を減少させる．

車両追跡はゾーンの前方向への拡大，後方向への縮小を繰り返す．またスロットが不足した場合はゾーンの分割を行う．以下では，図 3 を用いて，基地局 (1) の車両追跡の様子を例として説明する．

● ゾーンの拡大

図 3 のゾーン拡大前の状態において，基地局 (1) は自身の制御するゾーン (1) を走行している先頭車両 A が，基地局 (2) が制御する隣のセル (2) に進入しようとしていることを認知すると，ハンドオフを回避するために自身のゾーンの拡大を試みる．

まず基地局 (1) はセル (2) を走行中の通信車両が存在するか基地局間の通信によって調べる．そしてセル (2) に通信車両が存在しない場合は，基地局 (1) はスイッチの持つマップの書き換えを行って，基地局 (2) の制御下にあった路側アンテナ (4) を自身の制御下に変更し，ゾーン (1) を前方に拡大する．これによって図 3 のゾーン拡大後のように，基地局 (1) は，路側アンテナ (1) から (4) までを 1 つのゾーンとするため，先頭車両はハンドオフを行うことなく通信を維持することができる．また基地局 (2) は制御する路側アンテナがなくなり，他の路側アンテナの制御要求があるまで待機する．

● ゾーンの縮小

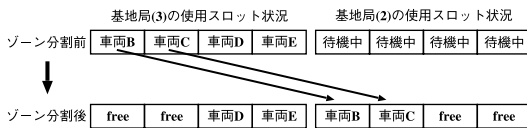


図 4 ゾーンの分割

Fig. 4 Division of zone.

図 3 のゾーン拡大後の状況において、基地局 (1) はゾーン (1) を走行中の最後尾の車両が路側アンテナ (1) のセルから、路側アンテナ (2) のセルへ移動することによって、路側アンテナ (1) を介して車両と通信する必要がなくなった場合、ゾーンの縮小を行う。基地局 (1) はスイッチの持つマップの書き換えを行って制御する路側アンテナ数を減らし、路側アンテナ (1) の制御を、まだ路側アンテナの制御を行っていない新しい基地局に依頼する。たとえばゾーンの拡大によって待機中になっている基地局 (2) が選択される。これによって基地局 (1) は、路側アンテナ (2) から (4) までを制御することになり、ゾーンの縮小を行うことができる。新しく制御を任された基地局 (2) は、通信車両が 0 台のゾーンを構成することになる。

- ゾーンの分割

先頭車両が進入しようとしているセルに前方ゾーンの車両が存在した場合には、ゾーンを拡大することができない。この場合、車両は通常のハンドオフを行って前方の異なるゾーン内で通信を維持しようとする。しかし動的ゾーンサイズ変更によってゾーン内の車両台数は可能な限り 4 台になるように制御されているために、前方のゾーンに空きスロットが存在せず、スロットが獲得できない場合が考えられる。このような場合は基地局間で情報交換を行い、新しい基地局を利用してゾーンの分割を行う。すなわち今まで 1 つの基地局で制御していた路側アンテナの範囲を、2 つの基地局で制御することによって空きスロットを作り出す。図 3 のゾーン拡大後の状況において、このまま車両 A が走行を続けると、スロットに空きのない基地局 (3) の制御するゾーンに進入してしまう。そこで基地局 (3) は待機中の基地局 (2) を利用して通信車両台数が 2 台ずつになるように自身のゾーンを分割する必要がある。このゾーンの分割により、図 4 のように空きスロットを作り出すことができる。これにより前方のゾーンに追いついた車両がハンドオフを行って、通信を継続することが可能となる。

表 1 シミュレーション条件

Table 1 Condition of simulation.

|        |                                 |
|--------|---------------------------------|
| 道路     | 直線 2,000 m, 2 車線 (片側のみ)         |
| 路側アンテナ | 間隔 36 m, 高さ 12 m                |
| 車両速度   | 走行車線 80 km/h<br>追い越し車線 100 km/h |
| 車両の発生  | ポアソン分布                          |
| 変調方式   | $\pi/4$ シフト QPSK                |
| 伝送速度   | 全二重 4 Mbps                      |
| 最大ゾーン長 | 600 m                           |

表 2 車種ごとのパラメータ

Table 2 Size of vehicles and probability of arrival.

|      | height<br>車高 | length<br>車長 | width<br>車幅 | arrival probability<br>出現率 |
|------|--------------|--------------|-------------|----------------------------|
| 軽自動車 | 1.3 m        | 3.2 m        | 1.4 m       | 3.6%                       |
| 乗用車  | 1.5 m        | 5.0 m        | 1.6 m       | 80.6%                      |
| 普通貨物 | 2.5 m        | 8.0 m        | 2.0 m       | 8.9%                       |
| 大型貨物 | 3.0 m        | 12.0 m       | 2.5 m       | 5.8%                       |
| トレーラ | 3.8 m        | 16.5 m       | 2.5 m       | 1.1%                       |

## 4. 評価

### 4.1 シミュレーション

提案の有効性を示すため、イベントドリブン型のシミュレータを作成し、評価を行った。シミュレーション条件を表 1 に示す。

本論文では道路照明と路側アンテナの設置位置を一致させ、道路照明の高さと間隔は文献 [11] 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干渉波として最も大きな影響を及ぼすと考えられるため、それを抑制するために車載アンテナは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 2 車線、直線 2,000 m とし、それぞれの車線を一定速度で車両が走行し、その出現間隔は任意の車両密度に応じてポアソン分布を用いて決定する。

基地局とスイッチ間のやりとりなど有線ネットワークに関しては簡略化したモデルを用い、伝送遅延やスイッチ切替えの遅延などはないという前提でゾーンを制御する。無線ネットワークに関しては ARIB STD-T75<sup>5)</sup> を想定し、スロットの獲得によって車両は通信を行う。また基地局は車両の位置を正確に把握できるという前提とした。

路上には軽自動車、乗用車、普通貨物、大型貨物、大型トレーラが存在するものとし、そのパラメータは表 2 に示すとおりである。車両の大きさについては法定規格を参考に決定し、出現率については車種別新車登録台数<sup>16)</sup>をもとに算出した。これらのパラメー

タを用いて、路側アンテナから車載アンテナへ直接波および反射波が到達可能であるかを計算する。

評価対象は連続セル型構成、ROFゾーン構成（ゾーン長 240 m, 420 m, 600 m の 3 パターン）、提案方式である。ゾーン長は AHS (Advanced Cruise-Assist Highway Systems: 走行支援システム) のリクワイアメント<sup>17)</sup>に従って、最大 600 m とした。また通信環境として、固定型チャンネル割当ての場合と、要求型チャンネル割当ての場合を評価した。固定型チャンネル割当ての場合では、車両はつねに接続を維持しようとする。要求型チャンネル割当ての場合では車両はリンク確立要求を出し、連続して 2,000 スロット獲得するといったん接続を切断し、0~10 秒の範囲の一様分布乱数に応じた時間待った後に再びリンク確立要求の送信を行う。2,000 スロットは約 800 Kbyte に相当し、画像を含むデータ受信には十分なサイズであると考えられる。また連続で 2,000 スロット獲得する前に通信が切断された場合は、2,000 スロット獲得するまでリンク確率要求を出し続けて接続を確立しようとするものとした。

#### 4.2 評価項目

固定型チャンネル割当ての場合、車間距離を変化させたときのハンドオフ回数、ハンドオフ成功率について評価した。また要求型チャンネル割当ての場合、車間距離を変化させたときのハンドオフ回数、データ受信成功率を評価した。

車間距離とは車両の後端からそのすぐ後方を走行する車両の先端までの距離の平均を示す。またハンドオフ回数は車両 1 台あたりのハンドオフ成功数と失敗数の合計を示し、ハンドオフ成功率は車両 1 台あたりのハンドオフ合計回数に対するハンドオフ成功数の割合を示す。データ受信成功率は接続が切断することなく、連続で 2,000 スロット受信することのできた割合を示す。

#### 4.3 固定型チャンネル割当ての場合

##### 4.3.1 ハンドオフ回数

図 5 にハンドオフ回数と車間距離の関係を示す。縦軸はハンドオフ回数、横軸は車間距離である。

連続セル型構成、ROFゾーン構成の場合のハンドオフ回数は車間距離に関係なくほぼ一定の値になっている。その理由はこれらのゾーン制御方式は固定的にゾーンを配置する方式であるため、車両が移動によってゾーンをまたぐ回数は車間距離に依存しないためである。したがって、ゾーン長が長くなるほどハンドオフ回数が少ない値になっている。しかしこのハンドオフ回数にはハンドオフの失敗回数も含まれており、こ

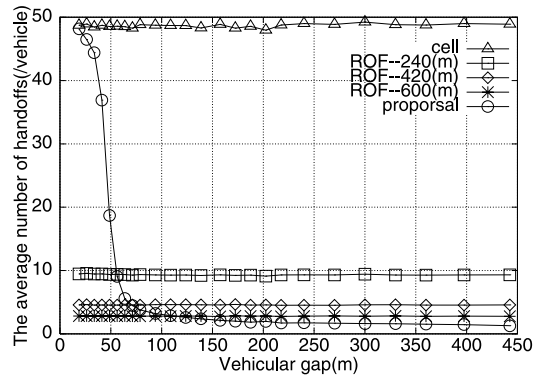


図 5 ハンドオフ回数（固定型チャンネル割当て）

Fig. 5 The average number of handoffs.

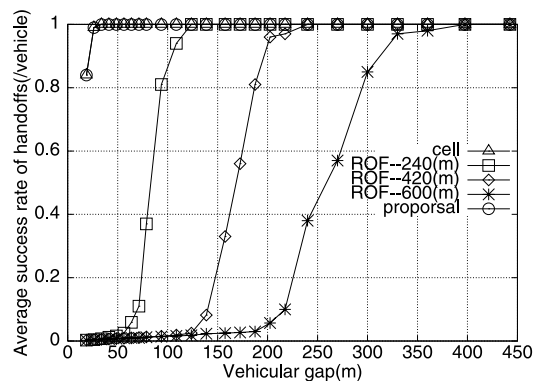


図 6 ハンドオフ成功率（固定型チャンネル割当て）

Fig. 6 Average success rate of handoffs.

の値が小さいだけでは一概に効率の高い通信環境であるとはいえない。これに関しては次のハンドオフ成功率の項で考察する。

次に提案方式は車間距離に応じてハンドオフ回数が増えている。これは車両密度に応じてゾーン構成を変化させているためである。車間距離が 25 m 以下の場合はそのゾーン構成は連続セル型構成に近づくため、ハンドオフ回数もほぼ同じ値になっている。しかし車間距離が長くなるに従ってハンドオフ回数は減少していき、車間距離が 150 m 以上ではゾーンサイズが最大となる ROF ゾーン構成 600 m のときの 50% 程度まで減少させることができる。

##### 4.3.2 ハンドオフ成功率

図 6 にハンドオフ成功率と車間距離の関係を示す。縦軸はハンドオフ回数、横軸は車間距離である。

ROFゾーン構成の場合は構成するゾーンサイズに応じて、車間距離が短くなるにつれてハンドオフ成功率が減少している。これは ROF ゾーン構成の場合はシステムを構成する基地局数が少なく、システム全体で使用できるスロット数が連続セル型構成と比較し

て少なくなってしまうためである。したがって、ハンドオフの際に前方のゾーンのスロットに空きがない場合が多く、通信が切断されやすいと考えられる。このことから ROF ゾーン構成の場合、ハンドオフ回数は減少するがハンドオフ成功確率も減少してしまい、連続型通信が行えていないことが分かる。またゾーンサイズが大きいかほどシステムを構成する基地局数が少ないために、許容できる通信車両台数が少なくなること確認できる。

これに対して提案方式は、スロット数が最大となる連続セル型構成とほぼ同じハンドオフ成功確率を示していることが分かる。図5の結果と合わせて考察すると、提案方式は高いハンドオフ成功確率を維持したまま、最小限のハンドオフ回数に抑えられるようにゾーンを制御していることが確認できる。

以上より固定型チャンネル割当ての場合、提案方式は適切なゾーンサイズを決定することで交通量に対応したゾーンを配置し、また、車両追跡を行うことによりハンドオフの回数を ROF ゾーン構成の場合よりも少なくすることが可能であり、効率的な通信が行えることが確認できた。

#### 4.4 要求型チャンネル割当ての場合

##### 4.4.1 ハンドオフ回数

図7にハンドオフ回数と車間距離の関係を示す。縦軸はハンドオフ回数、横軸は車間距離である。

固定型チャンネル割当ての場合と比較すると、ゾーン構成に関係なく全体的にハンドオフ回数が少ないことが分かる。これは要求型チャンネル割当ての場合、連続で2,000スロット獲得した後、再びリンク確立要求を行うまでに待ち時間があるために通信を行っていない車両が存在し、システム全体における通信車両台数が減少するためである。

また、図5に比べて、どのゾーン構成においても車

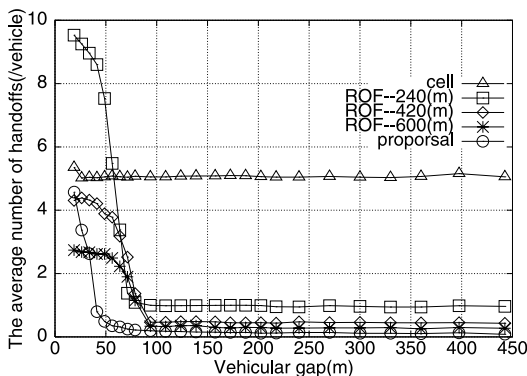


図7 ハンドオフ回数（要求型チャンネル割当て）

Fig. 7 The average number of handoffs.

間距離が50~100m程度で、ハンドオフ回数が増加する点も固定型チャンネル割当ての場合と異なる。車間距離が短くなってくると、車両台数に対してスロットが不足することからハンドオフ成功確率が低下する。したがって、連続で2,000スロット獲得することが難しくなる。要求型チャンネル割当ての場合は連続で2,000スロット獲得できるまで、車両はリンクを維持しようとする。そのため各車両が円滑に2,000スロットを獲得できる場合と比較して、ハンドオフ成功確率が低下している場合では、車両がリンクを維持しようとする時間が長くなるために、ゾーンをまたぐ回数が増える。そのためどのゾーン構成においても、ハンドオフ回数が増加するのだと考えられる。

要求型チャンネル割当ての場合も、提案方式は、車間距離が100m以上の場合は、ハンドオフ回数が最小となっている。これは動的ゾーンサイズ変更と車両追跡によって効率的な通信が行えているためである。また、すべての車両が通信要求を行う固定型チャンネル割当てと比較して、要求型チャンネル割当てでは、必要な車両だけが通信要求を行うために、同じ平均車間距離でもスロットを必要としている車両台数は要求型チャンネル割当てのほうが少ない。そのためハンドオフ回数の削減が可能な平均車間距離の幅が、固定型チャンネル割当てよりも要求型チャンネル割当ての方が広いことが分かる。

また車間距離が50m以下の場合、ROFゾーン構成はハンドオフ回数が図5と近い値になっている。これはROFゾーン構成の物理的なゾーン数による限界値であり、これ以上の値になることはない。これに対して連続セル型構成や提案方式は、まだ限界値に達していないことが確認できる。

##### 4.4.2 データ受信成功確率

図8にデータ受信成功確率と車間距離の関係を示す。縦軸はデータ受信成功確率、横軸は車間距離である。

ROFゾーン240m、420mの場合、車間距離の増加とともにデータ受信成功確率も増加している。これに対してROFゾーン600mの場合は車間距離90~140mのときにデータ受信成功確率がほぼ一定になっている。2,000スロットを連続受信するのに必要な走行距離は今回のシミュレーション条件上では200~300m程度である。すなわちROFゾーン構成600mの場合は1度スロットを獲得すると、ハンドオフすることなく1つのゾーン内で2,000スロット獲得することができる。したがって、ハンドオフ成功確率が低い状態でもある程度のデータ受信成功確率を示すと考えられ、この一定のデータ受信成功確率とその限界値であると

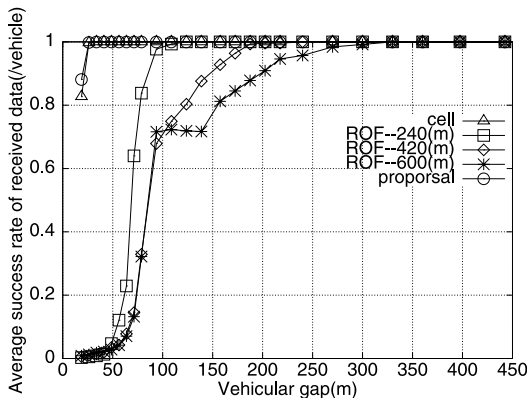


図 8 データ受信成功確率  
Fig. 8 Success rate of received data.

考えられる．また車間距離が 50 m よりも短い場合はほとんどデータ受信が成功していないことが分かる．

これに対して提案方式を図 7 と合わせて考察すると、提案方式はコネクションの維持ができる最低限のハンドオフを行い、その結果高いデータ受信成功確率を示していることが分かる．ROF ゾーン構成の場合は車間距離が 50 m 以下のときにほとんどデータ受信に成功していないことから考えると、提案方式が非常に有効であることが分かる．以上のことから要求型チャネル割当ての場合も、本提案が有効であることを示した．

## 5. おわりに

ドライバの安全運転支援や快適性の向上を目指して、本論文では道路照明を用いた連続型路車間通信システムについて考察し、時間とともに変化する車両密度に応じて最適なゾーン構成を行う動的ゾーン制御アルゴリズムを提案した．本提案はゾーンサイズを必要最小限にすることによって、通信車両の存在しない道路区間に新しいゾーンを挿入し、加えて通信車両を追跡するようにゾーンを動的に制御する．

計算機シミュレーションによる評価から、提案方式は固定型チャネル割当ての場合、要求型チャネル割当ての場合のどちらにおいても、高いハンドオフ成功確率を維持したままハンドオフ回数を大幅に低減できることを示した．

本研究により、DSRC を用いた連続型路車間通信において高品質、かつ継続的な通信が可能になったといえる．

また本論文では伝送遅延やゾーン変更制御遅延などを考慮していないモデルで評価を行った．しかしこれらの遅延を考慮することによって、ゾーンの再構成が車両の移動に間に合わない場合が生じると考えられる．

したがって、今後は路側ネットワークの具体的なモデル化を行い、ゾーン変更制御遅延などを考慮した評価を行いたいと考えている．

## 参考文献

- 1) Yamada, S.: The Strategy and Deployment Plan for VICS, *IEEE Communications*, Vol.34, No.10, pp.94–97 (1997).
- 2) 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).
- 3) Verdone, R.: Multihop R-ALOHA for Inter-vehicle Communications at Millimeter Waves, *IEEE Trans. Vehicular Technology*, Vol.46, No.4, pp.992–10058 (1997).
- 4) Fukui, R., Koike, H. and Okada, H.: Dynamic Integrated TRANsmission Control (DITRAC) over Inter-Vehicle Communications in ITS, *IEEE Vehicular Technology Conference*, Vol.1, pp.483–487 (2002).
- 5) 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).
- 6) 服部 元, 小野智弘, 西山 智, 堀内浩規, 小花貞夫: DSRC ネットワークを利用する ITS アプリケーションのためのモドルウェアの設計と実装, *情報処理学会論文誌*, Vol.44, No.12, pp.3060–3070 (2003).
- 7) 平岩賢志, 志村明俊, 相蘭岳生: 自律分散による高度道路交通システム (ITS) のためのモバイルネットワーク・プラットフォームの実装と評価, *情報処理学会論文誌*, Vol.44, No.12, pp.2947–2957 (2003).
- 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.43, No.12, pp.3931–3938 (2002).
- 9) Fujise, M., Sato, K., Harada, H. and Kojima, F.: Millimeter-wave ROF Multiple Service Road-Vehicle Communication Experiments, *ITST-2000*, pp.71–76 (2000).
- 10) 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, *情報処理学会研究報告*, Vol.2002, No.115, pp.179–186 (2002).
- 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, *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* (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* (2001).
- 15) 福井良太郎, 中村めぐみ, 柿田法之, 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可変無線ゾーンの構成と動的スロット多重, 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.12, pp.3050-3059 (2003).
- 16) 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).
- 17) 走行支援道路システム第一次リクワイアメント.  
<http://www.ahsra.or.jp/>

(平成 16 年 7 月 26 日受付)

(平成 17 年 6 月 9 日採録)

## 推薦文

本論文は, DSRC を用いた連続型路車間通システムにおいて, 交通量に応じたゾーンの動的制御手法を提案し, シミュレーションにより評価している. 本手法は, 車両密度に応じてゾーンサイズを変更して基地局の通信スロットを効率的に割り当てるとともに, 車両追跡に基づきゾーンを拡大・縮小することでハンドオフ回数を削減する. 本研究の適応的な手法は, 無線リソースの有効利用と通信の継続を両立する点で実用性が高く, ITS 通信サービス品質の向上を図るものとして高く評価でき, 今後ますますの研究発展が期待される.

(MBL 研究会主査 高橋 修)



朝倉 啓充 (学生会員)

平成 15 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.



成田 干城 (学生会員)

平成 16 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.



中村めぐみ (正会員)

平成 16 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. 同年日本アイ・ピー・エム株式会社入社.



屋代 智之 (正会員)

平成 4 年 3 月慶應義塾大学理工学部計測工学専攻修士課程修了. 平成 10 年 3 月慶應義塾大学大学院理工学研究科後期博士課程修了. 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). 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運営委員, 情報処理学会論文誌編集委員会ネットワークグループ副査. 著書『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）

慶應義塾大学工学部情報工学科  
教授・博士（工学）．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．ECSEW2001 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．

---