

DSRC を用いた路車間通信における可変無線ゾーン構成の検討

中村 めぐみ¹, 福井 良太郎^{1,2}, 朝倉 啓充¹, 屋代 智之³, 重野 寛¹, 岡田 謙一¹

概要

道路と自動車の協調によりドライバーを支援し走行時の安全性を高める AHS の研究が盛んに行われており、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 [1] はスロット数が少ないため頻繁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動的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。

An Evaluation of the adaptive radio zone configuration in Road-Vehicle communication using DSRC

Megumi Nakamura¹, Ryotaro Fukui^{1,2}, Hiromitsu Asakura¹, Tomoyuki Yashiro³, Hiroshi Shigeno¹, Kenichi Okada¹

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. I 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等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

や地域情報などの提供により生活の利便性を向上させ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 [2] と、路側インフラと車両が通信する路車間通信 [3] があり、盛んに研究が行われている。

道路交通の安全性や利用効率の向上を目指す AHS(Advanced Cruise-Assist Highway Sys-

¹ 慶應義塾大学理工学研究科
Faculty of Science and Technology, 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

tems : 走行支援システム) では、各種センサーにより道路や周辺車両の状況等を把握し、情報提供装置によりドライバーに危険警告・操作支援などを行う。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、それにはドライバーを支援するシステムを構築することが必要である。ITS が普及するための第一段階としては、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 [4] がある。照明灯にアンテナを取り付けることで、コストの低下、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、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。

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、セルを狭い間隔で連続的に並べるのでハンドオフの回数が増加し、通信効率が低下する。また通信に用いる DSRC(Dedicated Short-Range Communication System) 規格 [1] におけるスロット数の制限から、車両が頻繁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てしまう。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なうことは難しい。

本稿ではこれらの問題点を解決するために、可変無線ゾーン構成法、スロット多重方式を提案する。

2 連続無線ゾーン構成

2.1 道路照明灯の利用

DSRC は国際標準として 5.8GHz 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 [4]。

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 [5]。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。

2.2 ROF(Radio On Fiber) の利用

光無線通信技術の一つとして ROF(Radio On Fiber) がある。ROF は無線電波を強度変調することで光信号に変換し、光ファイバを用いて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ミリ波に変調する。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ミリ波を復元して、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一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一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替 (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。

2.3 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頻繁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が必要となり、通信効率の低下を起こす。

2. 通信に用いる DSRC 規格 [1] 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も、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なうことができなくなる。

DSRC 基地局を ROF ゾーンに 1 つずつ設置する。その DSRC 基地局がゾーン内のセルを全て制御する。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を可能とする。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毎に 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。

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。スイッチは制御装置によって作成されたマップに従い、路側アンテナの切り換え操作を行なう。基地局は無線ゾーンの延長・分割・統合といった操作を行なうため、使用周波数や通信車両台数等の情報を隣接基地局と交換し、分割や統合を行なう際にアンテナ構成の変更をスイッチに伝える。

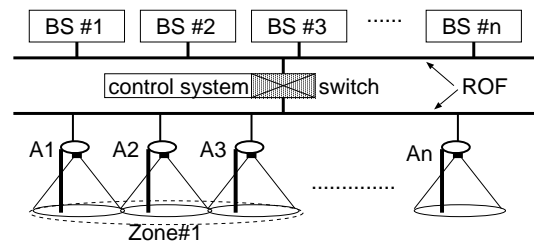


図 1: システム構成

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。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・縮小を行なう。

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わかるとそのゾーンのアンテナまでを管理下におく。

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。通信中の車両はその通信を継続させる必要があるため、あらかじめリンクアドレス等の情報を交換しておき、速やかに切り換える。

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全て使用中の場合に、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。

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構成からもっと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われる。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。

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。

ある時間で4台の車両がスロットを使用し、それ以上の車両は待機フェーズに入る。次の時間では待機フェーズの車両に対して優先的にスロットを割り当てる。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で、全車両が途切れのない通信を行なうことができる。

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。

本論文では照明灯と路側アンテナの設置位置を一致させ、車両の高さと間隔は文献[5]より路車間での見通しが最もよくなる高さ12m、間隔36m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。車両は軽自動車、乗用車、普通貨物、大型貨物、大型トレーラーの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。車両速度は通常走行車線を80km/h、中央車線を100km/h、追い越し車線を120km/hとする。

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2.1節で示したように連続無線ゾーンを構成する。

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。

表 1: シミュレーション条件

| | |
|------------------|---|
| 道路 | 3車線、直線 1080m(路側アンテナ 30個) |
| 路側アンテナ高 | 12m |
| 路側アンテナ間距離 | 36m |
| 車両の流れ | ポアソン分布 |
| 車両速度 | 通常走行車線：80km/h 中央車線：100km/h 追い越し車線：120km/h |
| シミュレーション 終了条件 | 車両 3000 台の処理終了 |

表 2: 車両の大きさと車両の出現確率

| | 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 |

4.2 評価項目

車両密度を変化させたときの平均ハンドオフ回数、連続受信バイト数、ハンドオフ成功確率に

について評価する。車両密度とは1車線1kmに存在する車両台数である。

4.3 ハンドオフ回数

図2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わかる。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、複数のセルに跨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。

4.4 連続受信バイト数

図3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、一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。

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。

4.5 ハンドオフ成功確率

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常に1となっている。

方式Aと方式Bで、図2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、図3における連続受信バイト数の極度の低下は、

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理由である。

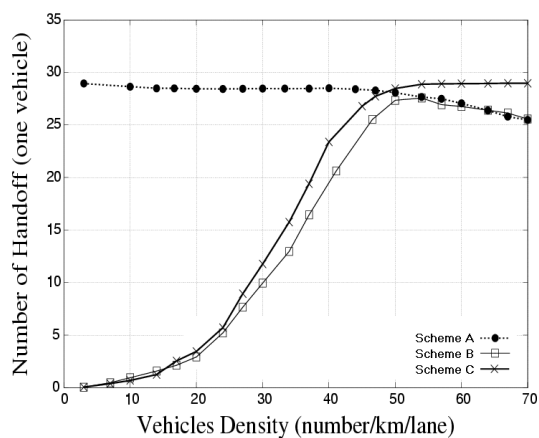


図 2: 車両密度とハンドオフ回数の関係

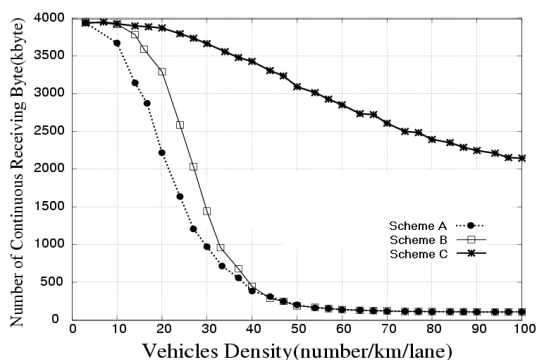


図 3: 車両密度と連続受信バイト数の関係

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、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可変無線ゾーン構成法、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方式を提案した。

可変無線ゾーン構成法により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させ、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なっ

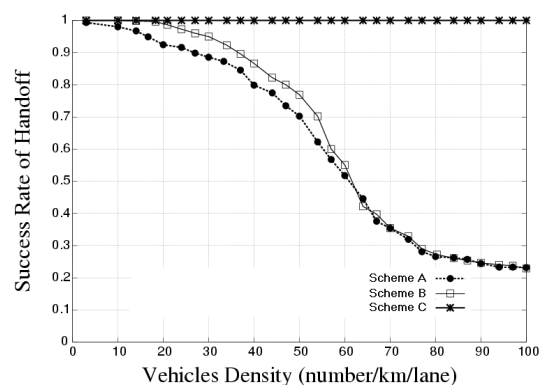


図 4: 車両密度とハンドオフ成功確率の関係

た。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] Roberto Verdone: Multihop R-ALOHA for Intervehicle Communications at Millimeter Waves, IEEE Transaction on Vehicular Technology, Vol.46, No.4, pp.992-10058 (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] 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)
- [5] 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).