

動的ゾーン制御を用いた連続型路車間通信システム

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

概要

増加する交通事故を防止するために、ドライバーを支援するシステムの早期構築が ITS(Intelligent Transport Systems) において必要とされている。そのシステムの 1 つに早期運用に適した、DSRC(Dedicated Short Range Communication) を用いた連続型路車間通信システムがある。しかしながらこのシステムには変化する交通量に対応できないという問題点がある。そこでこの問題点を解決するために、本稿では動的ゾーン制御を用いた連続型路車間通信システムを提案する。本システムは交通量に応じてゾーン構成を効果的に変化させる。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た。

Road-Vehicle Successive Communication using the Dynamic Zone Control

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

In order to prevent the increasing traffic accident, early construction of the system which supports a driver is needed in ITS(Intelligent Transport Systems). One of the systems is road-to-vehicle successive communication system using DSRC(Dedicated Short Range Communication) which is suitable for applying at an early stage. But it has the problem that it cannot respond to the changing traffic. In this paper, we proposed road-vehicle successive communication using the dynamic zone control to solve the problem. This system changes zone composition effectually according to traffic. We evaluated the validity of this proposal by the computer simulation.

1 はじめに

ITS は安全性、輸送効率、快適性、環境保全などの向上を目的とし、情報通信技術を利用して人、道路、車両を結んだシステムのことである。特に安全支援を目的としたシステムである AHS(Advanced cruise-assist Highway System) は、前方障害物衝突防止システムや車両逸脱防止システムなど盛んに研究が行われている。

これらの安全支援システムにおいて大きく 2

つの通信体系が考えられている。1 つは車両同士が直接通信を行う車車間通信 [1] であり、もう 1 つは車両と道路に設置されたアンテナとが通信を行う路車間通信 [2] 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、早期導入が望まれる安全支援には適さない。これに対して路車間通信は路側のインフラを構築する必要があるが、車載器を搭載した車両からサービスを受けることが可能であることから、早期導入に適している。

その路車間通信の 1 つに、照明灯を用いた路車間通信システム [3] がある。照明灯に DSRC アン

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

テナを設置することによって連続型路車間通信が可能となる上に、シャドウイングの影響を最小限に抑え、インフラ構築のコストも削減することが出来る。

しかしながらこの照明灯を用いた路車間通信システムには以下のような問題点がある。照明灯ごとにアンテナを設置することは小さなセルを連続的に並べることになり、車両の移動とともにハンドオフが頻繁に起こってしまう。この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になり、通信効率が低下してしまう。

またハンドオフ回数を減少させるために ROF (Radio On Fiber) 技術の利用が考えられている [4]。ROF 技術を利用することによって 1 つの基地局によって仮想的に巨大なゾーンを構成することが可能となり、ハンドオフ回数を減少させることができる。しかしながら DSRC 規格 [5] により 1 つの基地局に対する利用可能スロット数に制限があるため、通信車両台数が減少してしまうという欠点がある。

以上のように現在考えられている連続型路車間通信システムはそれぞれ特徴を持ち、変化する交通量に対応することができないという問題点がある。そこで本稿ではこの問題点を解決するために、交通量に応じて柔軟に最適なゾーン構成を行なう動的ゾーン制御を提案する。

2 連続型路車間通信システム

2.1 照明灯を用いた路車間通信

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。マイクロ波は直進性が高いという特徴を持つために、直接波による見通し内通信が重要になってくる。そこで DSRC による連続型路車間通信システムを構成するにあたり、自車両の隣の車両や障害物によるシャドウイングを考慮しなくてはならない。

そこで照明灯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ことに着目し、この基準に合わせて路側アンテナを設置する。これによってマイクロ波も効率よく車載アンテナに到達し、シャドウイングを最小限に抑えることが出来る。また照明灯という既存の路側インフラを

利用することによって、コストを抑えることも出来る。そこで本稿でもこの照明灯一致モデルを用いて連続型路車間通信システムを構成することにする。

2.2 連続セル型構成

連続型路車間通信システムのゾーン構成の 1 つに連続セル型構成がある。これは照明灯ごとにアンテナを設置し、各アンテナに 1 対 1 で基地局を設置するゾーン構成方法である。連続セル型構成では照明灯ごとにアンテナを設置するのでアンテナ間隔が非常に短くなり、小さなセルを連続的に並べることになる。従って車両が移動すると頻繁にハンドオフが起こり、通信効率が低下してしまう。しかしながら DSRC 規格 [5] 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、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最大となるために、スロット獲得車両が最大となる利点がある。このことから連続セル型構成は車両密度が高い場合に適したゾーン構成方法であるといえる。

2.3 ROF ゾーン構成

連続セル型構成の欠点であるハンドオフ回数の増加を解決するために、ROF ゾーン構成というゾーン構成方法が考えられている。

ROF とは無線電波を強度変調することによって光信号に変換し、光ファイバを用いて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。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。この路側アンテナと光 - ミリ波変換機を合わせて局地基地局と呼ぶことにする。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。このように光ファイバを用いることによって、同時に複数の局地基地局に信号を送信することが可能となる。これによって同時に 1 つのゾーンを複数の

局地基地局が構成することになり、仮想的に大きなゾーンを構成することが可能となる。

仮想的に大きなセルを構成することによって、車両の移動に伴うハンドオフ回数は連続セル型構成の場合よりも減少し、効率性の高い連続通信が可能となる。

しかし基地局が複数の局地基地局を制御することから、システム全体に必要な基地局数は連続セル型構成の場合よりも減少する。従って使用できるスロット数も連続セル型構成の場合よりも減少し、それに伴ってスロット獲得車両が減少してしまうという欠点がある。このことから ROF ゾーン構成は車両密度が低い場合に適したゾーン構成方法であるといえる。

尚、本稿において、1つの路側アンテナが構成する通信エリアをセルと呼び、ROFを利用して仮想的に構築した大きな通信エリアをゾーンと呼ぶことにする。

2.4 問題点

前節で述べたように、連続型路車間通信システムのゾーン構成は車両密度によって適切なものが考えられている。しかしながら車両密度というものは時々刻々と変化するものであり、そ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。そこで変化する車両密度に応じて、柔軟にゾーン構成を変化させる必要がある。

3 動的ゾーン制御

上記の問題点を解決するため、動的ゾーン制御を提案する。動的ゾーン制御はゾーンの最適化、車両追跡の2つの制御を行う。

3.1 システムモデル

図1にシステムモデルを示す。

光ファイバを用いて基地局同士、局地基地局同士を結ぶ。この結ばれた基地局群、局地基地局群をスイッチを介して結ぶ。基地局は自身の制御するゾーンの情報、及びそのゾーン内を走行している車両の情報を管理する。またスイッチは基地局

が制御する局地基地局が記録されているマップを管理することとする。車両はGPSなどを搭載し、自身の位置情報を定期的に路側に送信することとする。

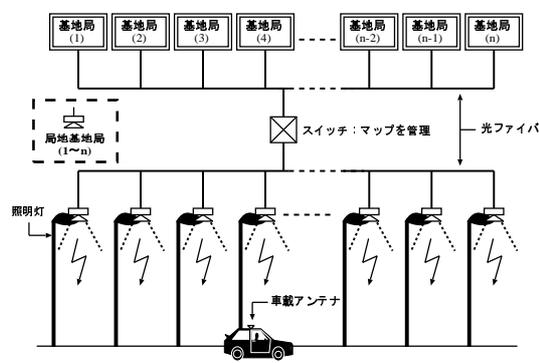


図1: システムモデル

スイッチは自身の管理するマップを参照して、各基地局と局地基地局を接続する。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局地基地局を制御することが可能となる。

3.2 ゾーン最適化

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。これによって車両密度に応じて柔軟に最適なゾーンを構成することが可能となる。

DSRC規格[5]では1つの基地局が使用できる最大スロット数は4スロットに制限されている。従って1つのゾーン内に通信車両台数が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って制御する局地基地局の範囲を変化させるものとする。これ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。その様子を図2に示す。

3.3 車両追跡

ゾーンの最適化に加えて車両追跡を行うことによって、ハンドオフ回数をより減少させる。車両追跡とは車両の移動を追跡するようにゾーン

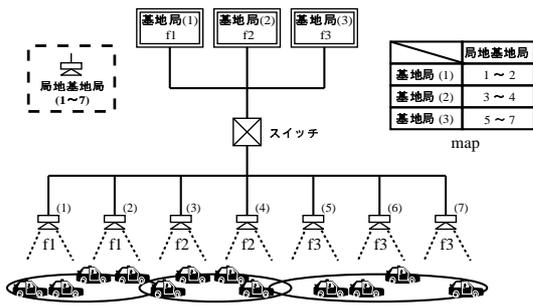


図 2: ゾーンの最適化

を移動させることである。

車両追跡はゾーンの拡大、ゾーンの縮小という手順を繰り返すことによって行う。

● ゾーンの拡大

基地局は自身の制御するゾーン内を走行している車群の先頭車両が、前方の他の基地局が制御するゾーン内に進入しようとしているとき、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。

まず基地局はゾーンを前方に拡大することによって他の通信車両に影響を与えないかどうか、基地局間同士の路路間通信によって調べる。そして影響がないようであれば、基地局はスイッチの持つマップの書き換えを行って、ゾーンの拡大を行う。これによって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出来る。

● ゾーンの縮小

基地局は自身の制御するゾーン内を走行中の最後尾の車両が移動によってゾーンの後方が必要なくなった場合、ゾーンの縮小を行なう。基地局はスイッチの持つマップの書き換えを行って制御する局地基地局数を減らす。そして今まで制御していた局地基地局の制御を、他の新しい基地局に路路間通信によって依頼する。これによって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は、通信車両台数が 0 台のゾーンを構成することになり、通信車両が進入してくるまで待機することとする。

またゾーンの移動によって、ゾーンが前方の異なるゾーンに追いついてしまった場合はゾーンを拡大することが出来ない。この場合、車両は通常のハンドオフを行なって前方の異なるゾーン内で通信を維持しようとする。しかしゾーンの最適化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。このような場合は路路間通信を用いて基地局同士で情報交換を行い、新しい基地局を利用してゾーンの分割を行なう。すなわち今まで 1 つの基地局で制御していた局地基地局の範囲を、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のである。ゾーン分割を必要とする例を図 3 に示す。この図の場合は車両 A が空きスロットのない基地局 (2) の制御するゾーンに進入する直前であるため、基地局 (2) は新しい基地局 (3) 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なって、通信を維持することが可能となる。

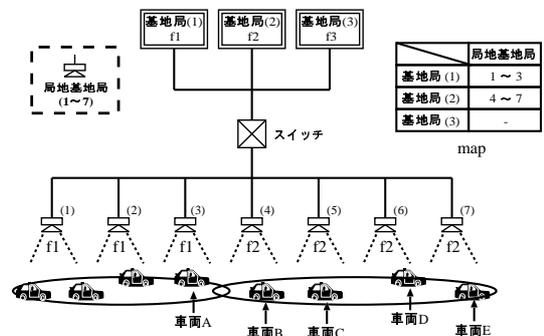


図 3: ゾーンの分割が必要な場合

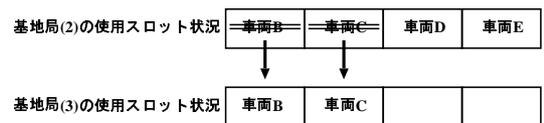


図 4: ゾーン分割時のスロット状況

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。

表 1: シミュレーション条件

道路	直線 2000m、片側 2 車線
アンテナ	間隔 36m、高さ 12m
平均車両速度	通常走行車線 80km/h 追い越し車線 100km/h
スロット数	4
変調方式	/4 シフト QPSK
伝送速度	4Mbps
最大ゾーン長	600m

本稿では照明灯と局地基地局の設置位置を一致させ、照明灯の高さと間隔は文献 [6] 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。局地基地局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。また無線区間のインタフェースは DSRC 規格 [5] を前提とする。

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。それぞれのパラメータを表 2 に示す。

評価対象は連続セル型構成、ROF ゾーン構成 (ゾーン長 240m, 420m, 600m の 3 パターン)、提案方式である。ゾーン長は AHS の Requirement に従って、最大 600m とした。また通信環境として、常時接続を想定した場合と、データ受信を想定した場合を評価した。常時接続の場合は車両は常に接続要求を送信している環境である。データ受信の場合は車両は接続要求を出し、連続して 2000 スロット獲得すると一旦接続要求の送信をやめ、ランダムな時間待った後に再び接続要求の送信を行なうものとする。また連続で 2000 スロット獲得する前に通信が切断された場合は、通

信要求を送信し続けるものとする。

表 2: 車種ごとのパラメータ

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

4.2 評価項目

常時接続を想定した場合は、平均車間距離を変化させたときの平均ハンドオフ回数、平均ハンドオフ成功確率について評価する。またデータ受信を想定した場合は、平均車間距離を変化させたときの平均ハンドオフ回数、データ受信成功確率を評価することとする。

4.3 常時接続を想定した場合

4.3.1 ハンドオフ回数

図 5 に車間距離とハンドオフ回数の関係を示す。横軸は車間距離、縦軸は車両 1 台あたりの平均ハンドオフ回数である。

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ことが確認できる。その理由は、これらのゾーン制御方式は固定的なもののため、車両が移動によってゾーンを跨ぐ回数は車間距離に依存しないためであると考えられる。従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。しかし注意しなくてはならないのは、このハンドオフ回数は成功回数と失敗回数を加えた値であるという点である。つまりゾーン長が長いときにハンドオフ回数が少なくなっているからといって一概に通信効率が高いと言う事は出来ない。これに関しては次のハンドオフ成功確率の項で考察する。

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

ン構成を変化させるためである。車間距離が短い場合はそのゾーン構成は連続セル型構成に限りなく近づくため、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、最終的には最大ゾーン長である ROF ゾーン 600m の場合よりも少ないハンドオフ回数を示している。これは車両追跡を行なったためにハンドオフ回数を減少させることが出来たためだと考えられる。

4.3.2 ハンドオフ成功率

図 6 に車間距離とハンドオフ成功率の関係を示す。横軸は車間距離、縦軸は車両 1 台の全体のハンドオフ回数に対する成功ハンドオフ回数の割合である。

ROF ゾーン構成の場合は車間距離が短い場合にハンドオフがほとんど成功していないことがわかる。これは ROF ゾーン構成の場合はシステム全体で利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、ハンドオフの際に前方のゾーンのスロットに空きがなく、通信が切断されてしまうためだと考えられる。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、ハンドオフ成功率も減少してしまっているため、連続型通信が行なえていないことがわかる。

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率を示していることがわかる。このことから図 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。

4.4 データ受信を想定した場合

4.4.1 ハンドオフ回数

図 7 に車間距離とハンドオフ回数の関係を示す。横軸は車間距離、縦軸は車両 1 台あたりの平均ハンドオフ回数である。常時接続を想定した場合と比較すると、全体的にハンドオフ回数が減少していることがわかる。これはデータ受信を想定

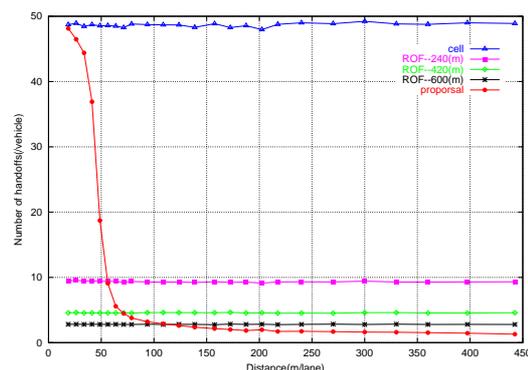


図 5: 車間距離とハンドオフ回数の関係 (常時接続)

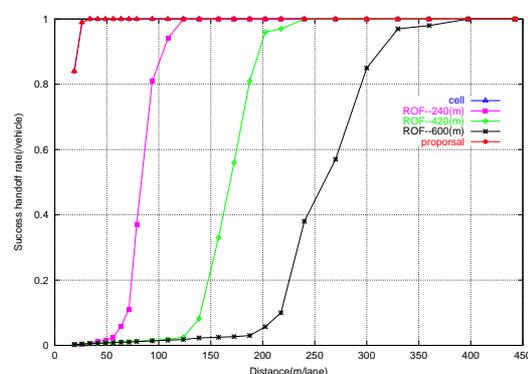


図 6: 車間距離とハンドオフ成功率の関係 (常時接続)

した場合、連続で 2000 スロット獲得した後、ランダムな時間待ち、再び接続要求を行なうため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。

また車間距離が短いときにどのゾーン構成においてもハンドオフ回数が増加している点も異なる。これはデータ受信を想定したシミュレーション条件が関係している。すなわちデータ受信を想定した場合は、連続で 2000 スロット獲得するまで車両は接続要求を行なう。車間距離が短い場合、ハンドオフの成功率は低いことが考えられ、連続で 2000 スロット獲得することが難しくなる。これによりシステム全体で接続要求を行っている車両台数は、円滑に連続で 2000 スロット獲得できる状態よりも多くなり、結果ハンドオフ

回数が増加するのだと考えられる。

データ受信を想定した場合も、提案方法は車間距離が短い場合はハンドオフ回数が多いが、車間距離が長い場合は最もハンドオフ回数が少ないことが確認できる。これは常時接続を想定した場合と同様に、高いハンドオフ成功確率を維持するために必要最小限のハンドオフを行なっているためだと考えられる。

4.4.2 データ受信成功確率

図 8 に車間距離とデータ受信成功確率の関係を示す。横軸は車間距離、縦軸は車両 1 台が連続で 2000 スロット獲得できた確率である。

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 の時にデータ受信成功確率がほぼ一定になっている。2000 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 2000 スロット獲得することが出来る。従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がある限界値であると考えられる。

これに対して連続セル型構成と提案方式は、車間距離が短い場合でも高いハンドオフ成功確率を維持できるので、データ受信成功確率も高い値を示していることが確認できる。

5 おわりに

AHS への利用などを想定して、本稿では照明灯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なう動的ゾーン制御を提案した。

本提案の有効性を計算機シミュレーションによって評価した。提案方法は常時接続を想定した場合、データ受信を想定した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

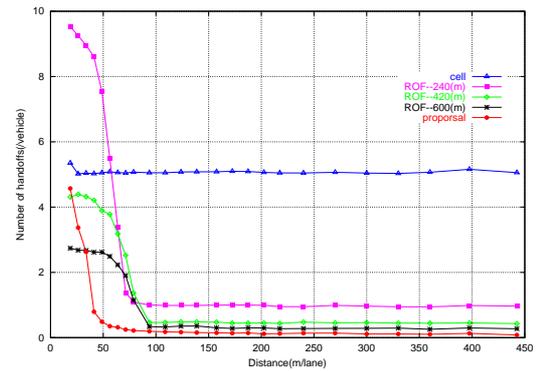


図 7: 車間距離とハンドオフ回数の関係 (データ受信)

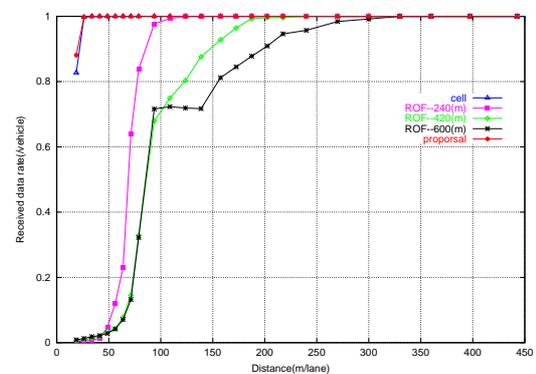


図 8: 車間距離とデータ受信成功確率の関係

ま必要最低限のハンドオフ回数によって連続型通信が可能であることを示した。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うことが出来る。

参考文献

- [1] Roberto Verdone: Multihop R-ALOHA for Intervehicle Communications at Millimeter Waves, IEEE Transaction on Vehicular Technology, Vol.46, No.4, pp.992-10058 (1997)
- [2] 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)
- [3] 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)
- [4] 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)
- [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] 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).