

## コンテンション型 MAC を用いた車車間通信・路車間通信について

藤村 嘉一<sup>†</sup> 長谷川 孝明<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 埼玉大学工学部電気電子システム工学科  
〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255  
E-mail: <sup>†</sup> {kaichi, takaaki}@hslab.ees.saitama-u.ac.jp

あらまし 本稿では、コンテンション型 MAC を用いた車車間通信や路車間通信に関する検討が行われている。検討対象の方式は pure-ALOHA 方式, slotted-ALOHA 方式, non-persistent CSMA 方式である。これらの方式を用いて、各通信形態において安全運転支援システムの実現を目的としたブロードキャスト型通信システムを考え、動的な交通流内におけるシミュレーションによりそれらの実装に必要な周波数帯域幅を検討している。これによりコンテンション型 MAC を用いたブロードキャスト型の車車間通信や路車間通信の実現可能性が定量的に示されている。キーワード 車車間通信, 路車間通信, ALOHA 方式, CSMA 方式

## On the Inter-Vehicle and Road to Vehicle Communications Using Contention type of MAC

Kaichi FUJIMURA<sup>†</sup> Takaaki HASEGAWA<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Dept. of Electrical and Electronic Systems Engineering, Saitama University  
255 Shimo-okubo, Sakuraku, Saitama, Saitama, 338-8570 Japan  
E-mail: <sup>†</sup> {kaichi, takaaki}@hslab.ees.saitama-u.ac.jp

**Abstract** This paper describes the investigation about Inter-vehicle and Road to vehicle communications using the contention type medium access control (MAC) schemes. The schemes for investigation are pure-ALOHA scheme, slotted-ALOHA scheme and non-persistent CSMA scheme. A broadcast type Inter-vehicle and Road to vehicle communication systems using their schemes that aim at the safety driving assistance is considered, and the required frequency bandwidth for the systems is investigated in simulation under dynamic traffic flow condition. The simulation result shows the possibility of broadcast type Inter-vehicle and Road to vehicle communications using contention type MAC quantitatively.

**Keyword** Inter-Vehicle Communications, Road to Vehicle Communications, ALOHA schemes, CSMA schemes

### 1. まえがき

ITS における重要なシステムの一つに、車両の道路走行中における危険警告や車両の操作支援を行う安全運転支援システムがある。この安全運転支援システムでは、近隣車両間において速度や加速度等の車両走行情報を共有することが重要である。路車間通信や車車間通信はこの情報共有のために必要不可欠な要素技術であり、近年そのシステムや通信方式、電波伝搬などの幅広い分野において研究が盛んに行われている。

通信方式に関しては、安全運転支援システムを実現するためには、ブロードキャスト型の通信が有力な候補として挙げられる[1-6]。このブロードキャスト型の通信は、無指向性のアンテナを用いて容易に周囲車両

に情報を提供することが可能である反面、周波数利用効率が悪いといった欠点を持っている。よって、周波数利用効率に大きな影響を与える MAC(Medium Access Control)副層に関して十分に検討を行う必要がある。MAC 副層は各車両間におけるアクセス制御を担う部分であるが、その方式は主に ALOHA 方式や CSMA 方式のように各端末間において周波数帯域を競合させランダムにアクセス権を与えるコンテンション型の方式[1-2]と、TDMA 方式や FDMA 方式のような各端末に固定的に周波数を割り当てる方式[3-7]に分類される。

著者らは、各車両間における情報共有の簡便性や柔軟性から、コンテンション型の方式の有用性が高いと考え、これまで車車間通信や路車間通信へのコンテンション型 MAC の導入に関する検討を行ってきた[7][8]。

従来の検討では、自律走行交通流シミュレータ [9][10] を用いた動的なネットワーク内において必要な周波数帯域幅を、路車間通信や車車間通信において別個に検討した。しかし、これらの検討では、路車間通信と車車間通信のシステムの要件を異なるものとしたため、両者間の性能比較が困難であった。

そこで、本稿では、安全運転支援システムにおいて重要である車両間における情報共有の観点から、路車間通信と車車間通信のシステムを共通の条件下のもとで検討し、両者の性能比較を試みる。

本稿の構成は以下の通りである。2.では、コンテンツ型 MAC とその ITS への応用について述べる。3.では本稿で検討を行う路車間通信と車車間通信のシステムとそのシミュレーション条件が述べられている。そして4.ではシミュレーションの結果を示し、最後に5.において結論を示す。

## 2. コンテンション型 MAC とその ITS への応用

### 2.1. コンテンション型 MAC

コンテンツ型 MAC では、通信範囲内の全端末で周波数すなわちチャンネルを共有し、ある一定の範囲内に存在する車両とアクセス権を競合しながら通信を行う。この場合、競合による複数パケットの衝突が通信品質の劣化を引き起こす。通信品質を維持するためには、チャンネルの周波数帯域幅を大きくし、各パケットの占有時間を短くすることにより衝突確率を減少させることが考えられるが、この周波数帯域幅と通信品質のトレードオフが問題となる。ここで導入を検討するコンテンツ型 MAC は、ALOHA 系の方式と CSMA 系の方式とする。以下にこれらの MAC 方式の概要を述べる。

#### 2.1.1. ALOHA 系方式

ALOHA 方式では、各車両から通信が要求された場合に周囲の通信状況によらずチャンネルにパケットを送信する。そのため、もし各端末からのパケットがチャンネル上に多重送信された場合、それらのパケットは無条件に衝突し、棄却される。

ALOHA 方式には、通信要求に応じて単純にパケットを送信する pure-ALOHA 方式と、送信時間をスロット化することでパケットの部分的な衝突を回避して周波数利用効率を高める方式である slotted-ALOHA 方式がある。図 1 に Pure-ALOHA 方式の、図 2 に Slotted-ALOHA 方式の概念図を示す。

#### 2.1.2. CSMA 系方式

CSMA 系の方式では、各車両から通信が要求された場合に、パケットを送信する前に、まずキャリアのセンスを行う。CSMA 系の方式は、この電波状況から周囲端末の送信状況を確認するキャリアセンス後の動作

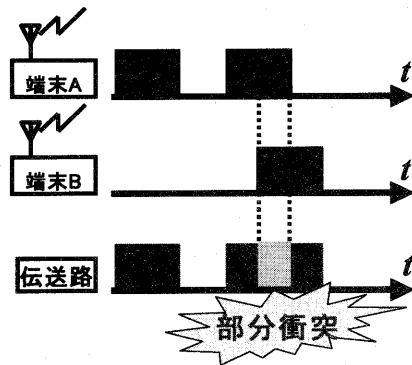


図 1 Pure-ALOHA 方式

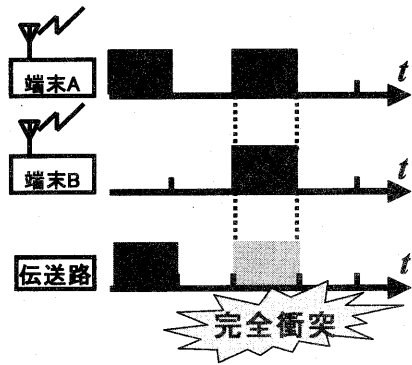


図 2 Slotted-ALOHA 方式

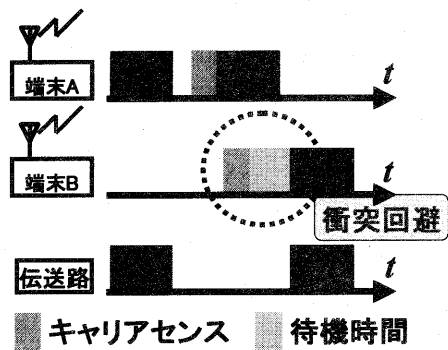


図 3 Non-persistent CSMA 方式

によって分類されるが、ここでは non-persistent CSMA 方式を考える。図 3 に non-persistent CSMA 方式の概念図を示す。本方式では、キャリアセンスの結果もし他端末からの送信が検出されない場合にはパケットの送信を行う。一方、他端末の送信が検出される場合は、ランダムなスロット時間だけ待機した後に、再度キャリアセンスの動作を繰り返し行う。この動作により、各送信パケットの衝突回避が行われる。

一般的に、本方式の性能はキャリアセンス時の伝播遅延や隠れ端末問題によって悪化する。特に隠れ端末問題に関しては、各端末のキャリアセンス範囲をパケ

ット送信範囲より大きくすることで回避可能である [5].

## 2.2. コンテンション型 MAC の ITS への応用

### 2.2.1. 車車間通信への応用

車車間通信においては, JSK (現在は JARI として統合) による ITS のフィールド実験 (Demo2000[11]) で用いられた DOLPHIN プロトコルにおいて, non-persistent CSMA 方式が採用されている. この実験では, 無指向性ブロードキャスト型の車車間通信が 5 台の車両間で行われ, 隊列走行が実現されている.

### 2.2.2. 路車間通信への応用

路車間通信システムへの応用としては, 無線 LAN を用いたシステムが挙げられる. 無線 LAN の標準規格である IEEE802.11 では, MAC 副層にコンテンション型の MAC である CSMA/CA 方式を採用している. このシステムは実際にフィールド実験によりその実用の可能性が示されている [12]. また米国における次世代 DSRC のプロトコルとしても無線 LAN 系の IEEE802.11a/RA が当面の技術標準として検討されている.

## 3. シミュレーション条件

### 3.1. 通信諸元

シミュレーションにおける通信諸元を表 1 に示す. 通信周期, 通信半径, パケット長に関しては, 安全運転支援システムを想定している DOLPHIN プロトコル [2] の仕様と同様とした. ここで, non-persistent CSMA 方式においてキャリアセンスの性能に影響する伝播遅延は  $0.1[\mu\text{s}]$  とする. また, 通信におけるキャプチャ効果を考慮する. キャプチャ効果とは, 複数のパケットが多重受信された場合に, 最も受信電力の高いパケットが生き残ることであり, 本稿ではこの効果が現れる割合を 0.4 として性能評価を行う.

表 1 通信諸元

通信周期	20 [msec]
通信半径	100 [m]
キャリアセンス半径 (Non-persistent CSMA)	100, 200 [m]
パケット長 (情報量)	70 Oct (40 Oct)
平均パケット棄却率	10 [%]
伝播遅延	0.1 [ $\mu\text{s}$ ]
キャプチャレシオ	0.4

### 3.2. 交通流諸元

シミュレーションにおける交通流諸元を表 2 に示す.

ここで交通流は自律走行交通流シミュレータによって発生するものである. このシミュレータはミクロスコピックシミュレータであり, それぞれ異なった特性を与えられた車両が, 周囲車両の情報を基に自律的に状況判断を行い, 高速道路を走行するものである. 車両の追従動作や車線変更におけるパラメータは [10] に示されているものを基本とする. また, 交通流に関しては比較的空いている状態と, 渋滞時を想定した.

表 2 交通流諸元

シミュレータ	自律走行型交通流シミュレータ
車両密度	10, 100 [Veh./km/lane]
車両平均速度	10, 100 [km/h]
交通流形態	8 車線 (4 車線毎逆方向)
道路長	2 [km]

### 3.3. 通信形態

ここでの通信は, 安全運転支援システムの実現を目的としたものである. すなわち, 通信は近隣車両間における情報共有を実現するための手段として位置づけられる. この場合, 通信形態としては無指向性のアンテナを用いたブロードキャスト型のものが有力であると考え, 車車間通信と路車間通信システムの形態を以下のように構成する.

#### 3.3.1. 車車間通信

本稿ではコンテンション型 MAC を用いた車車間通信システムを図 4 のように構成する. 各車両は一定範囲内の車両に対して定期的に自車両の情報を直接ブロードキャストすることにより, 各車両間における情報共有を実現する.

シミュレーションでは, 2[km]の道路に長さ 1[km]の通信区間を設け, その区間内においてアクセスの競合が行われるものとする.

#### 3.3.2. 路車間通信

DSRC をはじめとする従来の路車間通信システムは, 指向性を有した車載アンテナとアクセスポイント間の路車直接通信であるものがほとんどである. この場合, 考えられるシステムは ETC や交通情報提供, IP 接続サービスなどのシステムである. 一方, 本稿で目的とする安全運転支援システムを路車間通信によって実現しようとする場合, 無指向性のアンテナを用いたブロードキャスト型通信により車路車間通信を行う形態が, 比較的単純かつ容易に構築可能であると考えられる. この場合, 前者のような路車直接通信によって実現可能なサービスは後者の車路車間通信によって包括される. また, ここでこのような形態を考慮するのは, 前

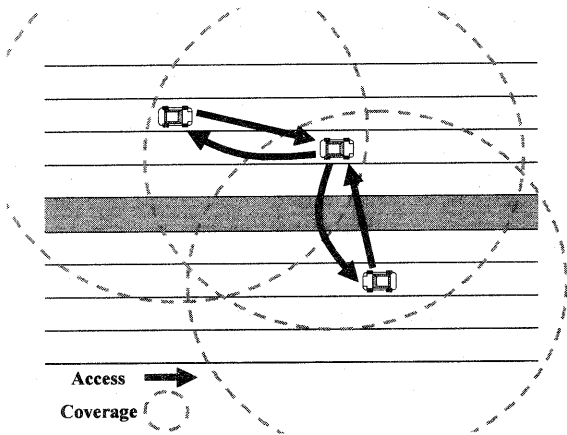


図4 車車間通信の形態

述の車車間通信システムとの性能比較を同等の条件で行うためでもある。

ここで検討を行う路車間通信システムを図5に示す。各車両は車車間通信の場合と同様の通信範囲、通信周期で自車両の情報を無指向性のアンテナからアップリンクにおいてアクセスポイント(AP)へ送信する。車車間通信との相違点は、受信する端末が車両ではなくAPであるということである。車両の情報を受信したAPは、その情報をダウンリンクにおいて一定範囲内の車両にブロードキャストすることにより、近隣車両間での情報共有を実現する。

シミュレーションにおいては、車車間通信と条件を同等のものとするために、通信範囲100[m]のAPを多少の重なりを持たせた形態で連続的に5基設置し、総長1[km]の通信区間を形成するものとする。

#### 4. 性能評価

##### 4.1. 評価指標

安全運転支援システムにおいては、周囲の車両に定期的に誤りなく情報が提供されることが重要である。コンテンション型MACの場合、周波数帯域幅が大きいほどパケット棄却率が減少し、通信品質が向上する。そこで評価指標として所要周波数帯域幅を考える。図6に所要周波数帯域幅の決定法を示す。ここでは所要周波数帯域幅をパケット棄却率10[%]を満たす最小の周波数帯域幅と定義する。

車車間通信においては、ある車両の送信パケットに対して、通信範囲内のすべての車両で受信に成功した場合にパケットの送信成功とし、それ以外のパケットは棄却されたものとみなす。これに対して路車間通信の場合は、車両情報をAPに送信するアップリンクにおいて、通信範囲内のAPで受信に成功した場合にパ

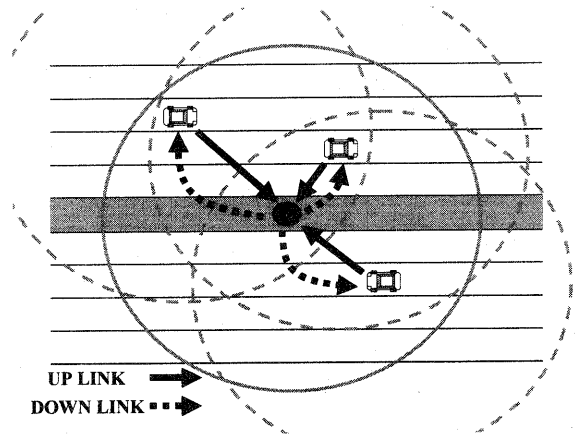


図5 路車間通信の形態

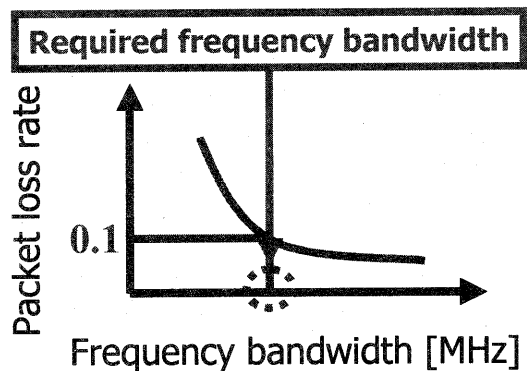


図6 所要周波数帯域幅の決定法

ケットの送信成功とする。ただし、路車間通信の場合、アップリンクにおける所要周波数帯域幅を求め、その情報を周囲車両にブロードキャストするダウンリンクに関しては、アップリンクと同等の周波数帯域幅を使用して、誤りなく周囲車両に情報が伝わるものとする。

##### 4.2. シミュレーション結果

シミュレーションの結果を表3に示す。

ITSにコンテンション型のMACを導入する場合、本検討における条件下においては、車車間通信システムの所要周波数帯域幅が小さいことがわかる。また、この傾向は、効率が高いと考えられる方式ほど顕著に表れている。つまり、純粋に車両の情報共有を行うことのみを想定する場合は、車車間通信を用いたシステムの方が有利であることが示されている。ただし、本検討における路車間通信システムは単純なシステムを想定しているため、性能改善の余地はあると考えられる。さらに路車間通信の場合は、車両の情報共有のみではなく、有線の特徴を生かした他のシステムと共存させることができる可能性があるため、一概に車車間通信

表3 車車間通信と路車間通信における所要周波数帯域幅の比較

① 車両密度 10 [Veh./km/lane]

	Pure-ALOHA	Slotted-ALOHA	Non-persistent CSMA	
			100m sense	200m sense
車車間通信	6.1	3.9	2.6	0.6
路車間通信	10.8	5.8	6.1	5.3

② 車両密度 100 [Veh./km/lane]

	Pure-ALOHA	Slotted-ALOHA	Non-persistent CSMA	
			100m sense	200m sense
車車間通信	87.0	44.8	29.9	5.7
路車間通信	96.0	82.7	59.7	51.2

単位 [MHz]

が有利であるとはいえない。本検討では、車車間通信や路車間通信におけるコンテンション型 MAC の導入の可能性を示したことに意義がある。

将来的には、安全運転支援システムとその他のシステムを組み合わせ実現可能な、車車間通信と路車間通信の枠組みにとらわれない通信システムの形態が最善であると考えられる。

5. むすび

本稿では、コンテンション型 MAC の車車間通信や路車間通信への導入に関する検討を行った。各通信形態において、安全運転支援システムの実現を目的としたブロードキャスト型通信システムを考え、動的な交通流内におけるシミュレーションによりそれらの実装に必要な周波数帯域幅を検討し、コンテンション型 MAC の車車間通信や路車間通信への導入の可能性を定量的に示した。

ただし本稿の結果は、車車間通信や路車間通信のシステムを単純な形で構成した場合の結果である。ITS においては、さまざまなサービスが共存可能な通信システムが必要となることが予想されるため、車車間通信や路車間通信の枠組みにとらわれない、より柔軟なシステムの検討が必要であると考えている。今後は、このような観点からの通信システムの構築とその性能評価を行いたい。

文 献

[1] T. Nagaosa and T. Hasegawa, "Code Assignment and The Multicode Sense Scheme In an Inter-Vehicle CDMA Communication Network," IEICE Trans. on Fundamentals, VOL.E81-A, No.11, pp.2327-2333, Nov 1998.  
 [2] K. Tokuda, M. Akiyama, H. Fujii, "DOLPHIN for Inter-Vehicle Communications System," Proc. of the

IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2000, pp. 504-509, 2000.

[3] A. Mann and J. Ruckert, "A New Concurrent Slot Assignment Protocol for Traffic Information Exchange," Proc.IEEE Vehi.Tech.Conf. pp.503-508, 1998.  
 [4] W. Zhu, T. Hellmich and B. Walke, "DCAP, A decentral channel accessprotocol: performance analysis," Proc.IEEE Vehi.Tech.Conf., pp.463-468, 1991.  
 [5] S. Tabbane and P. Godlewski, "Performance evaluation of the R-BTMA protocol in a distributed mobile radio network context," IEEE Trans. Vehi.Tech., vol.41, no.1, pp.24-34, Feb,1992.  
 [6] T. Hatakeyama and S. Takaba, "A network architecture of the inter-vehicle packet communication system," Proc.1994 Vehicle Navigation and Information Systems Conf., pp.159-164, 1994.  
 [7] Kaichi FUJIMURA, Takaaki HASEGAWA, "Performance Comparisons of Contention Schemes for Inter-Vehicle Communications," Proc. of The IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Systems, pp342-346, 2002.  
 [8] 藤村嘉一, 長谷川孝明, "コンテンション型アクセス方式を用いた路車間通信の帯域幅に関する一検討," 信学技報, ITS2002-181, pp.123-128, Mar. 2003  
 [9] アリ・ウィドド, 長谷川孝明, "車々間通信ネットワークを含めた高度交通システムの評価のための自律走行交通流シミュレータ," 電子情報通信学会論文誌, vol.J82-B, no.11, pp.2002-2009.  
 [10] Makoto ADACHI, Yosuke MORITA, Kaichi FUJIMURA, Yusuke TAKATORI, Takaaki HASEGAWA, "On an Autonomous Cruising Traffic Flow Simulator including Inter-Vehicle and Road-to-Vehicle Communication networks," Proc. of The IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation, pp640-650, 2002.  
 [11] S. Tsugawa, S. Kato, K. Tokuda, T. Matsui, H. Fujii, "An Overview on Demo 2000 Cooperative Driving," Proc. of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2001, pp. 327-332, 2001.  
 [12] 和田浩, 岩田武夫, 鈴木英弘, "高速道路上におけるSS無線通信実験," 信学技報, ITS2002-1, pp.1-6, May 2002.