

車車間安全システムのための 衝突回避型ブロードキャストMACプロトコルの提案

伊藤 健二[†] 鈴木 徳祥[†] 田所 幸浩[†] 牧戸 知史[†] 林 宏明[†]

[†] 株式会社豊田中央研究所
〒480-1192 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道 41-1
E-mail: †itoken@mosk.tytlabs.co.jp

あらまし 本報告は、交差点事故削減を目的とする安全運転支援システムを想定し、高信頼な車車間通信のためのMACプロトコルの性能評価を行う。これまで、CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 方式が多く検討されてきているが、車車間通信環境では、隠れ端末問題によって、大きく通信品質が劣化することが懸念されている。そこで、NAV (Network Allocation Vector) をブロードキャスト型周期通信に拡張し、パケット衝突回避型の新しいMACプロトコルを提案する。そして、シミュレーションにより、提案プロトコルがTDMA-likeの動作をしていることを示し、隠れ端末対策としての有効性を明らかにする。

キーワード ITS, 車車間通信, 安全運転支援システム, 隠れ端末問題, ブロードキャスト型周期通信

A Proposal of Broadcast MAC Protocol with Collision Avoidance for Inter-Vehicle Safety Communications

Kenji ITO[†], Noriyoshi SUZUKI[†], Yukihiro TADOKORO[†], Satoshi MAKIDO[†], and
Hiroaki HAYASHI[†]

[†] Toyota Central R&D Labs., Inc., 41-1 Yokomichi, Nagakute-Cho, Aichi, 480-1192 Japan
E-mail: †itoken@mosk.tytlabs.co.jp

Abstract This report investigates MAC protocol for reliable inter-vehicle communications (IVC) in safe driving support system for reducing road traffic accidents. Many papers on performance evaluation of CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) protocol have been published. However, the communication quality is degraded seriously by hidden terminal problem in IVC. Therefore, we propose a new broadcast MAC protocol, which can avoid packet collision by enhancing NAV (Network Allocation Vector) to periodic broadcasting. The simulation results show it can resolve hidden terminal problem, moreover behaves like TDMA.

Key words ITS, Inter-vehicle communications (IVC), Safe driving support system, Hidden terminal problem, Periodic broadcasting

1. ま え が き

近年、自動車事故による死傷者数を減らすため、シートベルトやエアバッグなどの、衝突時において被害を軽減するという衝突安全技術が普及してきており、更な

る改良も進められている。しかしながら、今後は、衝突自体を事前に回避することを目的とするVSC (Vehicle Safety Communications) のような予防安全技術が期待され、ASV (Advanced Safety Vehicle) をはじめ、様々な研究がなされている[1]~[6]。これまで、カメラやレー

ダーは、前方障害物衝突防止支援システムなどに使用されているが、見通し外に障害物が存在する環境下では、これらの自律系センサのみでは、システムとして効果を十分に発揮できないことが課題であった。

これに対し、VSCに関する研究分野では、車車間通信(IVC: Inter-Vehicle Communication)を用いた衝突回避警告システムが交差点や見通しの悪い道路などにおいて、交通事故削減を実現するシステムとして大きく期待されている[3]~[6]。特に、図1に示すようなASVで検討されている安全運転支援システム(情報交換型運転支援システム)では、相手の存在有無が分からない状況下においても、全ての車両が自車両の位置・速度情報などを確実に、かつ周期的に周辺車両に伝える必要がある。そのため、通信形態としては、周期的に通信可能な全ての周辺車両に対して固定長のパケットを送信するブロードキャスト通信を前提としている。本報告では、この通信形態を検討対象とする。

このような、車車間通信を用いた安全運転支援システムを実現するためには、周期間隔でのパケット送信を保証し、自律的に高信頼な通信ができる必要がある。

これまでの自律分散環境下における研究例の多くは、無線LANで使用されているCSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)をベースとする検討がなされているが、隠れ端末問題による深刻な特性劣化が懸念されている[7]。

CSMA/CAは、周辺車両との同期を取る必要は無いため、本報告で対象としている自律分散環境下においても、制御が容易に実現できるというメリットがある。しかし、通信トラフィック量が増えてくると、キャリアセンスとバックオフ制御を行っているため、必ずしも一定の周期間隔でのパケット送信は保証されない。これにより、送信遅延が車両挙動の把握に悪影響を及ぼすことが考えられる。また、隠れ端末問題に関しては、一般的に、RTS/CTS(Request To Send / Clear To Send)[8]を用いることに

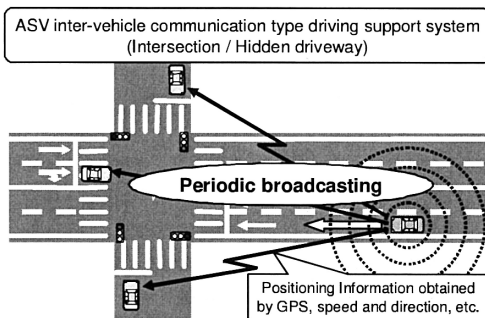


図1 ASV 情報交換型運転支援システム

より、1対1通信において解決することができる通信方式として知られているが、本報告では、1対多のブロードキャスト通信を前提としているため、ブロードキャストパケットに対してRTS/CTSによる隠れ端末問題の回避を行うことはできない。したがって、隠れ端末問題をバックオフ制御のみの確率的にし回避できないため、通信品質が劣化し、周辺車両に情報を確実に伝えられないことが懸念されている。

一方、その他の隠れ端末問題への対策方式としては、様々な検討結果が報告されている[9]~[13]。文献[9]では、基地局がビジートーンを送出することにより、チャンネルの使用状況(隠れ端末が通信中であること)を検出可能なBTMA(Busy Tone Multiple Access)[10]をアドホック環境に適用可能としたDBTMA(Dual BTMA)が提案されている。また、予約型TDMAのアクセスを実現するため、BTMAとR-ALOHAとを融合させたR-BTMA(Reservation BTMA)[11]も検討されている。しかし、これらは周波数領域をデータ通信用のチャンネルとビジートーン用(制御用)のチャンネルに分離する必要があるため、一つの周波数チャンネルでの利用はできない。

更に、一つの周波数チャンネルの予約型TDMAアクセスとしては、RR-ALOHA(Reliable R-ALOHA)[12]やD-TDMA(Decentralized TDMA)[13],[14]が挙げられる。その中でも、D-TDMAは、ブロードキャスト通信を対象とし、エラーの多い無線通信環境下に対応できるようにRR-ALOHAを拡張し、各車両が周辺車両の通信状態を示す情報(FI: Frame Information)を交換することにより隠れ端末問題を回避している。その結果、低遅延で高信頼な無線アクセスを実現し、安全アプリ品質の観点からも有効性が報告されている[14]。

文献[11]~[14]のようなTDMA型のアクセスは、所定の長さのフレームを幾つかのスロットに分割して、スロット単位でのアクセスを行うため、スロットが確保できれば、周期的なパケット送信を保証することができる。また、隠れ端末とのパケット衝突が発生しないように適切にスロットが確保できれば、確実にパケット衝突が発生しないというメリットがある。ただし、自律的なスロット同期の実現方法や、適切なスロットを自律的に確保する手法が大きな課題となる。

そこで、本報告では、これらの課題を解決し、一つの周波数チャンネルで実現可能な新しい衝突回避型ブロードキャストMACプロトコルを提案する。このプロトコルは、CSMA/CAによるアクセスを基本とし、NAV(Network Allocation Vector)をブロードキャスト型の周期通信に拡張することにより、隠れ端末を検出・回避することを可能とし、自律的に送信タイミングを予約することを実

現している。そのため、スロット同期を実現する必要がなく隠れ端末問題を解決し、パケット衝突を回避できることをシミュレーションにより評価する。更に、提案プロトコルが TDMA-like なアクセスを実現していることを示す。

以下では、2. で、提案プロトコルを説明し、3. において、シミュレーションモデルを示す。また、4. で、シミュレーション評価結果を示す。

2. 提案プロトコル

本章では、提案する衝突回避型ブロードキャスト MAC プロトコルを説明する。

2.1 概要

まず、提案プロトコルの基本動作を説明する。提案プロトコルの基本的なアクセス手法は、キャリアセンス機構を用いる CSMA/CA とした。したがって、キャリアセンス可能なエリアについては、他の端末とのパケット衝突をキャリアセンスを用いて回避することが可能である。各端末は、受信したパケットの通信結果（正常受信、もしくは衝突検出）を所定期間 (T_{rep}) 経過後に、キャリアセンスを無視して強制的にブロードキャストする。この通信結果は、他のデータパケットよりも優先的に送信されなければ、どのパケットに対する通信結果なのかを把握することができない。ここで、CSMA/CA で使用している IFS (Inter Frame Space) による優先制御を適用し、 T_{rep} を最も短い SIFS (Short Inter Frame Space) の値とした。通常、CSMA/CA はキャリアセンス後、キャリア未検出であれば、DIFS (Distributed Inter Frame Space) 時間待機してから、バックオフ制御後にデータパケットを送信することになるため、通信結果が常に優先的に送信される。この基本動作概要を図 2 に示す。

ここで、各端末が送信する信号として、以下の 3 種類を定義する。

- **データパケット (DATA)** : プリアンブル、端末の位置や速度などのデータペイロードを含むパケット
- **正常受信信号 (BUSY)** : 受信した DATA が正常に受信できた場合に送信する通信結果信号
- **衝突検出信号 (COLL)** : 受信した DATA に対して衝突を検出した場合に送信する通信結果信号

通信結果信号は、幾つかの端末からほぼ同時に送信され衝突し、通信結果の信号を正常受信することはできないため、復調処理などは行わないことを想定している。二つの通信結果信号 (BUSY, COLL) の判別方法として、信号の時間長で区別することを想定している。BUSY の信号長を L_{BUSY} 、COLL の信号長を L_{COLL} とした場合、 $L_{BUSY} < L_{COLL}$ とする。

本提案プロトコルは、このように通信結果を強制的に衝突させることを特徴とし、通信結果を基にして、NAV を適宜、設定することにより、次の送信タイミングを自律的に制御する。送信禁止期間である NAV が設定されると、キャリアが未検出であっても、データパケットを送信することはできない。したがって、各端末は、キャリア未検出および NAV 期間未設定のときにデータパケットを送信することとなる。つまり、NAV を応用することにより、次の送信タイミングの変更だけでなく、隠れ端末の存在を検出した場合、隠れ端末とのパケット衝突を回避することが可能となる。以下では、通信結果に基づく、NAV の設定に関して説明する。

2.2 パケット衝突検出方法

本提案プロトコルでは、周期的に DATA を送信することを前提としているが、送信した DATA が衝突している場合には、自律的に送信タイミングを変更し、自ら隠れ端末とのパケット衝突を回避する必要がある。

図 3 は、パケット衝突検出時における NAV の設定状況を示している。図では、3 台の端末 (A, B, C) が存在しており、図中の楕円は各車両の通信エリアを示している。したがって、端末 A と端末 C は隠れ端末関係にあることを想定している。端末 A と端末 C のデータパケットが衝突したとき、端末 B は、最後のデータパケット受信後から T_{rep} 時間経過後に COLL をブロードキャストする。端末 A と端末 C は、自端末が DATA を送信

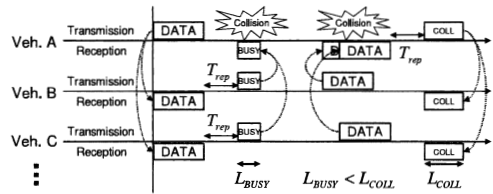


図 2 提案プロトコルの動作概要

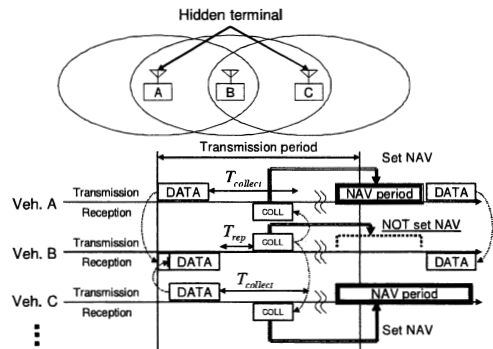


図 3 パケット衝突検出方法

終了後、通信結果収集時間 ($T_{collect}$) 以内に COLL を受信しているため、送信した DATA が衝突したことを検出し、1 送信周期後に該当する期間に NAV を設定する。ただし、同じ期間の NAV を設定すると、NAV 期間終了後に再度パケット衝突を発生させてしまうため、設定する NAV 期間終了時刻を $[T_{next_period}, T_{next_period} + \alpha]$ 区間の一様乱数により、決定することで、再度パケット衝突することを予防している。ここで、 T_{next_period} は 1 送信周期後の時刻であり、 α は 1 送信周期と同じ値とした。図の場合は、端末 C の NAV が端末 A のそれよりも長く設定されている状況を示している。

また、COLL を送信した端末 B は、端末 A と端末 C が必ず次回の送信タイミングを変更するため、該当する 1 送信周期後には、NAV を設定しないことにより、送信できる機会を増やしている。

2.3 隠れ端末検出・回避方法

図 4 は、隠れ端末検出時における NAV の設定状況を示している。3 台の端末の位置関係は図 3 と同じである。ここで、端末 A が DATA をブロードキャストすると、端末 B のみが受信することができることとなる。このとき、DATA を受信した車両 B は、BUSY を周辺にブロードキャストする。端末 A と端末 C の両方が、BUSY を受信することができるため、端末 C はこのタイミングで隠れ端末が存在していることを検出することができる。

ここで、各端末はデータパケットを周期的に送信するという通信形態の特徴を利用する。すなわち、端末 A は、1 送信周期後に次の DATA を送信することが予想されるため、端末 C は、そのパケットとの衝突を回避するように、該当する 1 送信周期後に NAV を設定する。これにより、端末 C は隠れ端末関係にある端末 A とのパケット衝突を回避することができる。

また、BUSY を送信した端末 B も端末 C と同様に NAV を設定し、端末 A が DATA を送信するタイミングを予

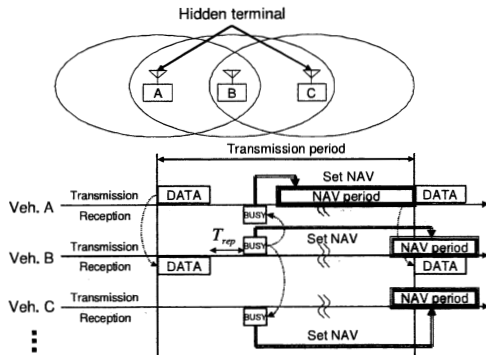


図 4 隠れ端末検出・回避方法

約する。このとき、BUSY を受信した端末 A は、該当する 1 送信周期後が予約されたと判断し、そのタイミングの直前まで、NAV を設定する。これらの動作により、自律的に、送信タイミングの予約機構が確立できることになる。

図 4 では、BUSY によって、隠れ端末を検出した場合を示したが、COLL によって、検出する場合もある。この場合を図 5 に示す。図では、4 台の端末 (A, B, C, D) が存在しており、端末 A, C, D はお互いに隠れ端末関係にある場合である。これは、図 3 に端末 D が追加された場合を示している。端末 B が送信した COLL のみを端末 D が受信しているため、この時間に隠れ端末同士のパケットが衝突していることを検出することができる。しかし、2.2 で説明したように、自端末の送信した DATA が衝突したと判断した場合には、1 送信周期後に NAV を設定することにより、次回の送信タイミングを変更する。図 5 における端末 A と端末 C が、この動作を実施している。したがって、端末 D は、送信機会を増やすことを考慮し、1 送信周期後に該当する時間に NAV を設定しない。

2.4 通信結果信号混在時の判断

通信結果の信号は、BUSY のみ、あるいは COLL のみ受信するというのではなく、図 6 のように、両方の信号が混在して受信されることがある。このとき、どちらの信号を受信したとするのか、判断基準が必要となる。図では、端末 A と端末 C が送信した DATA が、端末 B ではパケット衝突、端末 D では正常受信となっている。したがって、端末 C では、端末 B からの COLL と端末 D からの BUSY が混在して受信されることとなる。しかし、この通信結果信号は、強制的に同じタイミングで送

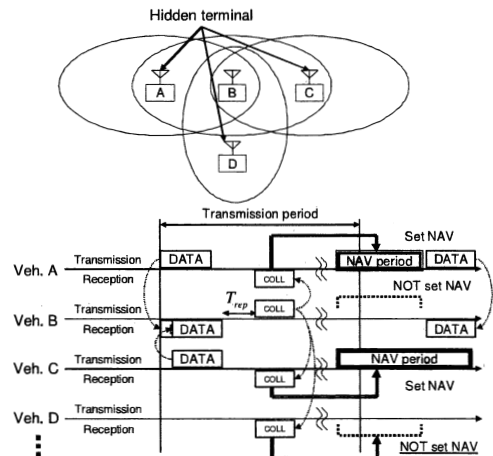


図 5 COLL による隠れ端末検出時の NAV 設定状況

信しているため衝突が発生する。つまり、本提案方式は、DATA 送信完了後の $T_{collect}$ 時間以内に DATA 以外の信号を復調せず検出のみ行うこととしている。したがって、実際には、混在しているということを把握することは困難である。今回は、BUSY と COLL は信号長で区別していることから、一つでも長い信号長である COLL が受信された場合は、COLL を受信したと判断する処理とした。すなわち、COLL を優先的に扱う処理となる。

3. シミュレーションモデル

本節では、シミュレーション評価で用いる道路、およびシミュレーション諸元について概説する。

3.1 道路・車両配置モデル

道路モデルは、ASV において検討されている東京都銀座市街地の道路配置と車線数を参考にしたモデル [4] を用いた。この道路モデルは、図 7 に示すように、400m 四方で 50m 方形メッシュの道路配置となっており、片側 3 車線の幹線道路（実線）と片側 2 車線の主要道路（二重線）、片側 1 車線の細街路（点線）から成り立っている。

本報告では、提案するプロトコルの基本動作検証及び有効性を示すために、車両の移動を考慮せず、道路上に一樣乱数によりランダムに配置したモデルを用いた。このとき、車両密度と 1 車線 1km 当たり 5 台から 30 台まで変化させた。

3.2 通信シミュレーション諸元

通信シミュレーションは、ネットワークシミュレータである ns-2 [15] を用いて構築した。

評価におけるシミュレーション諸元を表 1 に示す。各車両が周期的に情報をブロードキャストする周期を 25msec. とし、通信エリア及びキャリアセンスエリアを 100m と設定した。捕捉効果については考慮せず、キャリアセンスエリア内のパケット同士の衝突は、全てパケット衝突

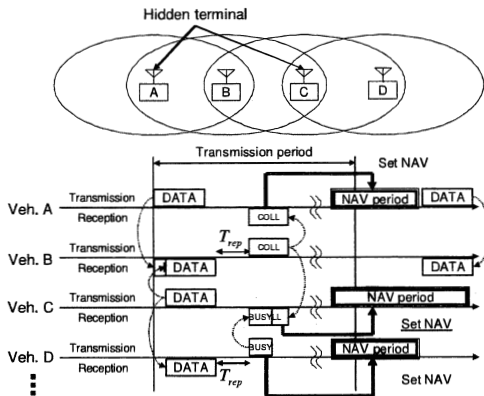


図 6 BUSY と COLL 混在時の処理

したものとする。

また、今回は、MAC プロトコルの性能比較という観点から、物理レイヤにおけるパケット誤りは無いものとした。

4. シミュレーション結果

まず、提案するプロトコルの基礎動作検証を行い、次に CSMA/CA との比較評価を行う。

4.1 基礎動作評価

評価対象の車両は、シミュレーションにおける道路ネットワークの中央 200m 四方に存在する全車両とした。提案するプロトコルは CSMA/CA によるアクセスを基本としている。したがって、IFS による通信結果信号の優先制御を行っている。ただし、バックオフ制御による衝突回避機能については、通信品質と動作状況を検討する必要がある。ここで、コンテンツンションウィンドウ（以下、CW と略す）を変化させることにより、バックオフ制御の影響について評価した。

図 8 は、CW を 0 から 15 まで変化させた場合のパケット成功確率を示している。CW が 15 というのは、IEEE802.11a の CW 最小値のデフォルトであり、ブロードキャスト型の通信形態に適用した場合、パケット衝突

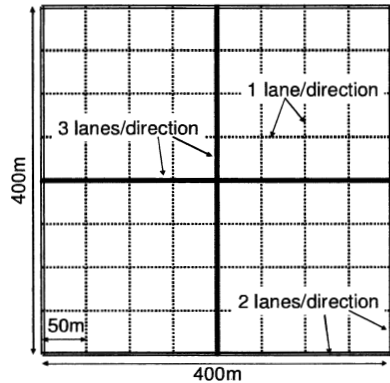


図 7 シミュレーションにおける道路モデル

表 1 シミュレーション諸元

Transmission period	25 msec.
Communication area	100 m
Carrier sense area	100 m
DATA length (L_{DATA})	128 μ sec.
BUSY length (L_{BUSY})	16 μ sec.
COLL length (L_{COLL})	32 μ sec.
T_{rep}	SIFS (32 μ sec.)
DIFS	64 μ sec.
$T_{collect}$	64 μ sec.

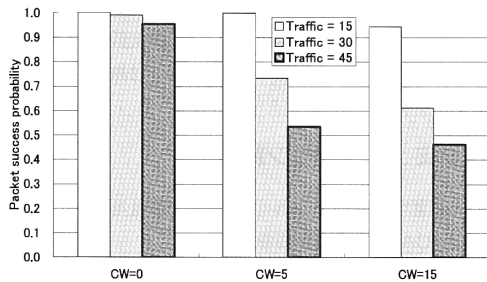


図 8 提案プロトコルの CW に対するパケット成功確率

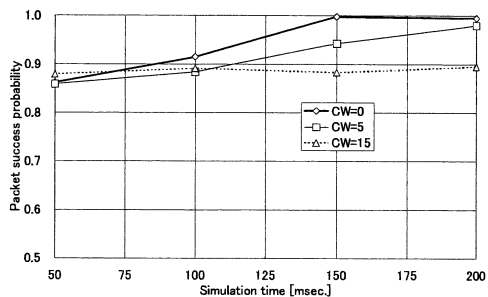


図 10 シミュレーション経過時間に対するパケット成功確率

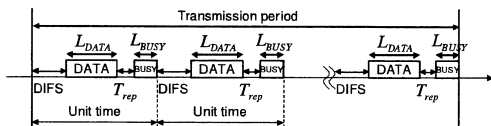


図 9 提案プロトコルの最大収容台数

を検出しなため、CW の値は最小値の値が常に用いられるため、15 までを評価対象とした。また、0 は、バックオフ制御をしないことを意味している。すなわち、全ての端末は、キャリア未検出、かつ、NAV 期間でない場合は、DIFS 時間 (64 μ sec.) 経過後にパケットを送出する。図より、CW を大きくすると提案プロトコルの特性が劣化している。また、トラフィック量が多くなるに従って、パケット成功確率の劣化が顕著である。

これは、CW が大きい場合、図 4 に示したように、NAV により、次の送信タイミングを制御しても、NAV 期間終了後から DATA を送信するまでに、バックオフ制御が働き、意図したタイミングで DATA が送信されないことにより、パケット衝突が生じてしまうためである。

通信トラフィック量は、評価対象の各車両が 1 送信周期で観測した平均 DATA 数である。ここで、提案プロトコルの 1 送信周期内の最大収容台数を試算する。時間軸上に発生しているパケットを描くと、パケット衝突が発生しない環境では、図 9 のような状態が最大である。このとき、図中の 1 ユニット時間 (DIFS + L_{DATA} + T_{rep} + L_{BUSY}) は、240 μ sec. となり、1 送信周期 (25msec.) 以内に、DATA は 104 パケット入ることとなる。これが、提案プロトコルの最大収容台数となる。したがって、図 8 のトラフィック量が 45 の場合というのは、約 43% のトラフィックが発生していることとなる。

次に、各 CW に関して、シミュレーション経過時間に対するパケット成功確率を図 10 に示す。また、各 CW に対する DATA 送出タイミングを図 11 に示す。図 11 は、送信周期である 25msec. 毎に DATA が MAC レイヤから送出された時刻にプロットしたものである。ただし、こ

れらの図は、トラフィック量を 15 の場合のみとした。

図 10 より、CW が 0 の場合は、時間が経過するに従って、パケット到達率が高くなり、パケット衝突が少なくなっていることがわかる。更に、図 11 より、CW が 0 の場合、すなわち、バックオフ制御を行わない場合は、最初の数周期は、NAV により送出タイミングが変更されているが、時間が経過すると、常に同じタイミングで送出されていることが確認できる。一方、CW を大きくすると、バックオフ制御により、送出タイミングが遅れる方向にずれてしまっている。

これらの結果より、CW が 0 の場合、パケット衝突を回避し、常に同じタイミングで DATA を送信できていることから、自律的にパケット衝突を回避する送信タイミングを予約する TDMA-like なアクセスをしているといえる。

4.2 通信品質評価

次に、通信トラフィック量を変化させ、CSMA/CA とのパケット到達率の比較を行う。CSMA/CA のプロトコルパラメータとして、CW の値を 15 と設定した。

図 12 に通信トラフィックに対するパケット成功確率を示す。図より、提案プロトコルのパケット成功確率が CSMA/CA のそれよりも大きな値となっていることがわかる。これは、CSMA/CA では、隠れ端末問題により通信品質が大きく劣化するのに対し、提案プロトコルでは、ブロードキャスト通信に対応した隠れ端末対策を行うことにより、品質劣化を防いでいるためである。

5. むすび

本論文では、安全運転支援システムを想定し、高信頼なブロードキャスト型車車間通信を実現するための MAC プロトコルを提案した。提案プロトコルは、CSMA/CA を基本アクセスとするが、隠れ端末問題を解決するため、NAV をブロードキャスト型周期通信に拡張した。

その結果、提案プロトコルは車車間通信における隠れ端末問題を解決できることを示した。更に、端末間の同

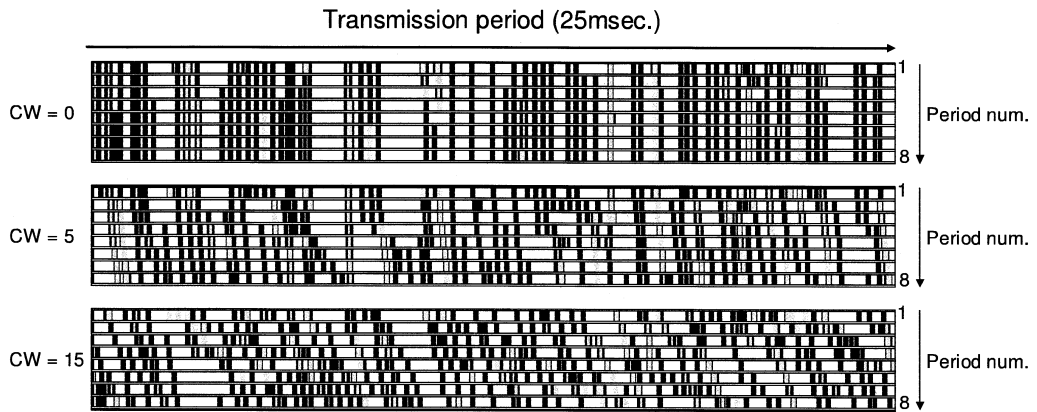


図 11 送信周期毎の DATA 送出タイミング

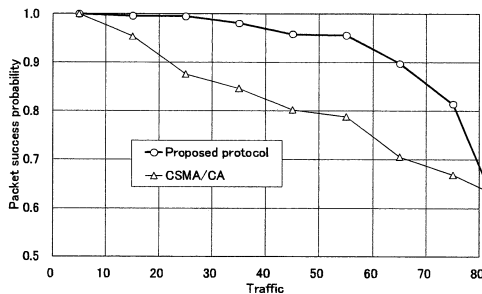


図 12 通信トラフィックに対するパケット成功確率

期を行わずに、TDMA-like なアクセスを実現できていることを確認した。

今後の課題として、通信結果信号である BUSY と COLL の信号形式を考慮した信号長による特性評価を行う必要がある。また、文献[14]のように、アプリ品質を考慮した評価や実際の道路環境を考慮した評価、他方式との特性比較などが挙げられる。更には、実際の通信機では、信号レベルが時々刻々と変化するため、BUSY と COLL 混在時に、信号長の違いだけでは、COLL が存在していることを判断できない場合も考えられる。このような判断誤りなどを考慮した評価も必要である。

謝辞 本研究の一部は、総務省の委託研究「電波資源拡大のための研究開発」プロジェクトの成果である。

文 献

- [1] W. Chen and S. Cai, "Ad hoc peer-to-peer network architecture for vehicle safety communications," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 43, no. 4, pp. 100-107, Apr. 2005.
- [2] 関肇, "ITS における VSC (Vehicular Safety Communication) の動向", vol. 2005, no. 113, pp. 165-172, Nov. 2005.
- [3] 国土交通省, 情報交換型運転支援システムシンポジウム, Oct. 2005.
- [4] ASV (Advanced Safety Vehicle), <http://www.mlit.go.jp/jidosha/enzen/01asv/>
- [5] 金光寛幸, "ASV 情報交換型運転支援システム システムコンセプトと技術的検討", 信学技報, ITS2005-44, pp. 29-34, Dec. 2005.
- [6] 秋山由和, "インフラ協調システムのための新メディア通信システム", ユビキタス ITS シンポジウム, Mar. 2007.
- [7] K. Seki, "Data relay performance of 5.8 GHz inter-vehicle communications (The Second Report)", ITS World Congress, 2006.
- [8] P. Karn, "MACA - A new channel access method for packet radio," Proc. ARRL/CRRL Amateur Radio 9th Comp. Networking Conf., pp. 134-140, 1990.
- [9] Z. J. Haas and J. Deng, "Dual busy tone multiple access (DBTMA) - A multiple access control scheme for adhoc networks," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 50, no. 6, pp. 975-984, June 2002.
- [10] F. A. Tobagi and L. Kleinrock, "Packet switching in radio channels: Part II - The hidden terminal problem in carrier sense multiple access and the busy-tone solution," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-23, pp. 1417-1433, Dec. 1975.
- [11] S. Tabbane and p. Godlewski, "Performance evaluation of the R-BTMA protocol in a distributed mobile radio network context," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 41, no. 1, pp. 24-34, Feb. 1992.
- [12] F. Borgonovo, A. Capone, M. Cesana and L. Fratta, "ADHOC MAC : New mac architecture for ad hoc networks providing efficient and reliable point-to-point and broadcast services," *Wireless Networks* 10, pp. 359-366, 2004.
- [13] 牧戸知史, 鈴木徳祥, 原田知育, 村松潤哉, "リアルタイム車車間通信のための自律分散型 TDMA プロトコル", 情処論, vol. 48, no. 7, pp. 2257-2266, July 2007.
- [14] 伊藤健二, 田所幸浩, 鈴木徳祥, 原田知育, 尾口健太郎, 伊藤修朗, "車車間通信による安全運転支援システムの性能評価", 信学技報, ITS2007-26, Sept. 2007.
- [15] The network simulator- ns2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>