

安全運転支援システムのための 自律分散型 TDMA プロトコル向け送信周期制御方式

田所 幸浩[†] 伊藤 健二[†] 今井 純志[†] 鈴木 徳祥[†] 伊藤 修朗[†]

[†] 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: †tadokoro@mosk.tytlabs.co.jp

あらまし 市街地環境では渋滞等により車両が密集する事で通信容量を超える通信トラヒックが発生すると、車車間通信の MAC プロトコルがうまく機能しない。そこで、このような状況でも破綻なく車車間通信を可能とする送信周期制御手法が提案されている。しかし、この手法だと情報伝達に失敗した場合に次の送信まで時間が空いてしまい、予防安全アプリケーション不成立につながる。そこで本報告では、予防安全アプリケーションの成立を図りつつ、車両密集時でも破綻なく車車間通信が可能な送信周期制御手法を提案する。提案手法は D-TDMA 方式に着目し、通信に失敗した場合に次のパケット送信を早期に行う。このような提案手法は、予防安全アプリケーションの成立性と通信品質の 2 つの観点から有効である事を示す。キーワード ITS, 車車間通信, 安全運転支援システム, 自律分散型 TDMA プロトコル, 送信周期制御

Decentralized TDMA Protocol with Transmission Period Control in Driving Support Systems for Safety

Yukihiro TADOKORO[†], Kenji ITO[†], Junji IMAI[†],

Noriyoshi SUZUKI[†], and Nobuo ITOH[†]

[†] TOYOTA Central R&D Labs., Inc., 41-1 Yokomichi, Nagakute-Cho, Aichi, 480-1192 Japan

E-mail: †tadokoro@mosk.tytlabs.co.jp

Abstract When the volume of traffic on a roadway is so high such as traffic jam, MAC protocols in Inter-Vehicle Communication (IVC) systems do not work well. The primary reason is huge amount of the communication traffic, which might be resolved by traditional Transmission peRiod Control (TRC) schemes. However, in the TRC schemes, the failure of packet transmission causes the extension of communication interval between vehicles, which would result in not working the driving support systems using IVC. This report proposes a novel TRC scheme to realize the driving support systems for safety. In the proposed scheme, taking advantage of the frame-information exchange in the Decentralized TDMA protocol, the next packet is quickly transmitted at the failure of packet transmission. Such a proposed scheme is shown to be valid from the viewpoints of both communication quality and the driving support systems.

Key words ITS, Inter-vehicle communications (IVC), Driving support system for safety, Decentralized TDMA protocol, Transmission period control

1. はじめに

現在、自動車事故による死傷者数を減らす事を目的として、事故低減・衝突回避に繋がる予防安全技術の一つに、通信を用いた安全運転支援システム (VSC: Vehicle Safety Communications) が注目されている [1]~[5]. 第3期先進安全自動車 (ASV: Advanced Safety Vehicle) [2] での検討システムのような車間通信 (IVC: Inter-Vehicle Communication) を用いた情報交換型の VSC では、所定の周期で、車両位置や速度などの情報を不特定多数の周辺車両に、1 ホップで同報通信 (Broadcasting) を行うことを前提としている。本報告では、このようなシステムを検討対象とする。

このようなシステムでは、都市部の市街地環境においても低遅延・高信頼な通信により、複数の車両が互いに情報を交換する必要がある。さらに、事故低減を目的としたアプリケーション (予防安全アプリケーション) が正しく成立するように、車両間で情報交換がなされる必要がある。

多くの VSC に関する検討では、MAC プロトコルとして CSMA 方式が用いられているが、隠れ端末問題により通信の低遅延性・高信頼性が損なわれかねない [6]~[9]. そこで本報告では、隠れ端末問題の回避を目的とした自律分散型 TDMA (Decentralized TDMA: D-TDMA) 方式 [9] に着目する。

市街地では渋滞等により、情報を送信する車両が密集する状況が発生する。これは特定エリアに、通信容量を超える程の通信トラヒックが集中することになり、CSMA 方式や D-TDMA 方式は通信品質が大きく劣化する。対象としている予防安全アプリケーションは、このような渋滞時でも正しく動作することが求められており、通信トラヒックが集中する場面でも所定の通信品質を確保できる通信プロトコルが必要となる。

第3期 ASV (ASV-3) では、各車両が情報を送信する周期を送信車両の速度に応じて制御する送信周期制御手法 (Transmission peRiod Control: TRC) が提案されている [2], [10]. これにより通信トラヒックの抑制が図られるが、送信周期が長い時にパケット衝突等で情報伝達に失敗した場合、次の情報伝達までに送信周期以上の時間がかかる事で周辺車両への情報伝達が遅れ、予防安全アプリケーションの不成立につながる。

そこで本報告では、通信トラヒックの集中時でも予防安全アプリケーションが成立する事を目的とし、D-TDMA 方式に適した送信周期制御手法を提案する。D-TDMA 方式では、自車の送信した情報が周辺車両に正しく伝わったかどうかの情報がフィードバックされることに着目し、情

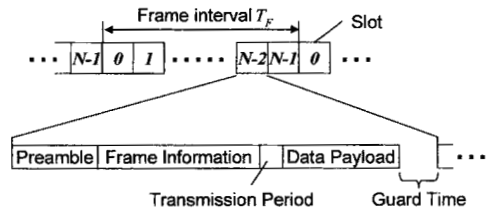


図1 D-TDMA方式のパケットフォーマット

報伝達に失敗した場合には、設定された送信周期に関らず、なるべく短い間隔で次の情報送信を行う。また送信周期の延長が最小限となるように、送信周期を車速から求めるのではなく、発生した通信トラヒック量に基づき決定する。そして以上の提案手法について、[11]で提案されている予防安全アプリケーションの成立性と通信品質の2つの観点から評価を行い、提案手法の有効性を示す。

2. D-TDMA方式概要と通信容量面での課題

本節では、D-TDMA方式 [9] の動作概要を説明し、通信容量の観点から本方式の課題を示す。

D-TDMA方式では、図1の様に所定の周期 T_F で繰り返されるフレームを N 個に分割した、スロットと呼ばれる時間枠を用いて、パケットは送信される。送信されるパケットは、プリアンブル、フレーム情報、位置情報などのペイロードデータ、及び送信周期情報の4つから成る。フレーム情報はスロットの使用状況 (以下、スロット情報と呼ぶ) を表す：

- ACK: パケットが正しく受信できたスロット
- RTC: パケット衝突が検出されたスロット
- NACK: パケット受信に失敗したスロット
- FREE: 上記以外のスロット (空きスロット)

送信車両は、図1の様にフレーム情報が付加されたパケットを送信する事で、受信側にペイロードデータだけでなくスロット情報も伝える。これにより、送信車両の送信したパケットの通信結果が受信車両から送信車両にフィードバックされ、パケット衝突発生等の検知が可能となる。

送信車両がパケット送信の際に行うスロットの決定方法を以下に示す：

(制御1) 送信車両の観測により得たフレーム情報、及び周辺車両から受信したフレーム情報を用いて、 N 個あるスロットの中からスロット情報が "FREE" のスロット (空きスロット) を探し、任意の1つをパケットを送信するスロットとして選択する。

(制御2) 送信車両が送信したスロットに対して、周辺

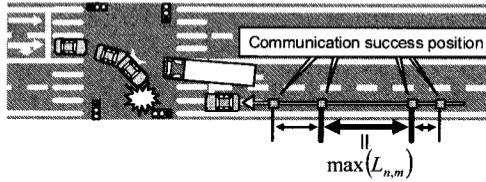


図2 最大情報更新距離の定義

車両から”RTC”を受信しなかった場合、スロットが予約されたものと判断し、次フレームでも同一スロットでパケットの送信を行う。一方、周辺車両から一つでも”RTC”を受信した場合は、パケット衝突が発生したと判断し、(制御1)に従い、次のフレームで空きスロットを選択して、送信を試みる。

以上の操作により、送信車両の通信エリア外に存在する隠れ端末とパケット衝突が発生した場合にもその衝突を検知し、(制御2)のような操作をとることで、パケット衝突が継続して発生することを回避できる。また、一度スロットの予約に成功すると、衝突が発生しない限り同一のスロットを使用してパケット送信を行うため、スロットの繰返し周期 T_F で情報が周辺車両に伝わるのが保証される。

D-TDMA方式がパケット衝突なく動作するためには、各送信車両は、少なくとも通信エリア内の他の送信車両と重複なくスロットを選択する必要がある。スロット数 N よりも多い送信車両が通信エリア内に存在する場合、送信車両間でスロットを重複して選択してしまう。これは同一のスロットで複数のパケットが送信されることになり、パケット衝突が発生してD-TDMA方式の性能は大幅に低下してしまう。すなわち、D-TDMA方式では、各通信エリア内の通信容量はスロット数の N であるといえ、その数より多い通信トラヒック（送信車両）をエリア内に収容することはできない。予防安全アプリケーションで想定されている市街地環境では、渋滞等により車両が密集することで通信容量以上の通信トラヒックが発生し、このような性能劣化がしばしば発生してしまう。

3. 予防安全アプリケーション成立条件と既存通信トラヒック制御技術の影響

予防安全アプリケーションでは、IVCにより精度良く周辺車両の位置や速度等を常に把握できる必要がある。しかし、例え周期的な通信を試みたとしても、通信に失敗した場合には周辺車両の状況を把握できない。特に連続して通信に失敗した場合、過去に得られた情報を用いて周辺車両の位置等を予測したとしても、その精度は悪くなる。ASV-3では、予防安全アプリケーションの成立

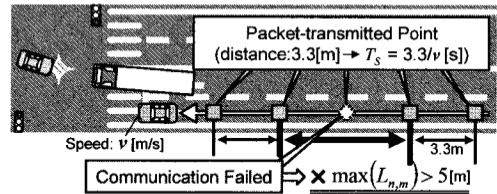


図3 ASV-3提案の送信周期制御の考え方とその問題

条件として、相手車両との距離が約5m変化する毎に相手車両の位置等を更新し、挙動を把握できることを目標としている。

予防安全アプリケーション成立を評価する尺度として、連続して通信に失敗した区間を表す最大情報更新距離が提案されている[11]。例えば右折事故シーンを想定した場合、図2のように情報を受信すべき車両は停車中の右折待ち車両と考え、対向車線を走行中の車両が約5mを走行する間に一度は通信が成功し、走行車両の情報が右折待ち車両に通知される必要がある。ここで、 n 番目のパケット通信が成功し、次に通信に成功したパケットは m 番目であると仮定した場合、これらの時間間隔における送受信端末間の相対距離の変化量を $L_{n,m}$ とすると、最大情報更新距離は $\max(L_{n,m})$ となり、その値が約5m以内を満足していれば、予防安全アプリケーションの成立につながる。

このような予防安全アプリケーションの成立性は、第3期ASVにより提案されている通信トラヒック制御（送信周期制御）手法により悪影響を受ける可能性がある。この手法では、送信周期 T_S をフレーム周期 T_F に固定するのではなく、 T_F 以上の値に変更可にすることにより、発生する通信トラヒックを制御/抑制する[2]。送信周期は図3のように、送信車両が約3.3mの距離を移動する間に一度はパケットが送信される様、送信車両の速度 v に基づき決定される。この場合、一度通信に失敗すると、次の通信が成功したとしても送信車両は送信周期2つ分の距離（約7m程度）を移動することになり、最大情報更新距離5mという予防安全アプリケーションの要件を満たさなくなる。また、車速のみから送信周期を決めようと、車両が密集していない時の一時停止の様な場面など、通信トラヒックが集中していないにも関わらず、不必要に送信周期を延ばしてしまうことにつながる。

4. 予防安全アプリケーションに適した提案送信周期制御手法

予防安全アプリケーション成立を図りつつ通信トラヒック制御を目的とした、D-TDMA方式のための提案送信周期制御手法を示す。

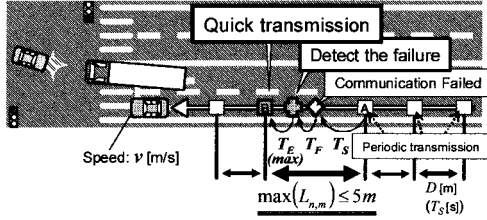


図4 最大情報更新距離 5m を満たすための D-TDMA/TRC でのパケット送信動作

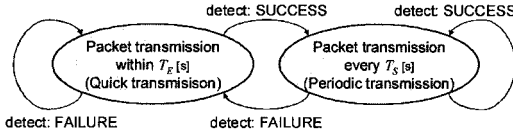


図5 D-TDMA/TRC でのパケット送信状態の遷移

提案の送信周期制御機能を付加した D-TDMA 方式 (以下 D-TDMA/TRC と呼ぶ) では、D-TDMA 方式の特徴である、フレーム情報交換による通信結果の通知機能を利用する。フレーム情報交換により周辺車両との通信失敗が検知された場合、図4の様に、送信周期 T_S より小さい時間間隔 T_E で次のパケットを送信する。これにより、通信失敗を検知した時には次のパケット送信を出来るだけ短い時間内に行うことが可能となり、そのパケットが送信成功となることで一度通信に失敗しても最大情報更新距離が 5m を超えることを防ぐ。また通信に成功した場合、1 送信周期 T_S だけ時間が経過した後に次のパケットを送信する事で、送信周期 T_S でのパケット送信を実現する。

以上より、D-TDMA/TRC では図5の様に、送信周期 T_S で周期的にパケットを送信する状態 (Periodic transmission) と、時間 T_E 内でパケットを送信する状態 (Quick transmission) の2つのパケット送信状態が存在する。ここで、スロット情報として "NACK" 又は "RTC" がスロット情報として周辺車両から返された場合、パケットの送信に失敗したと判断する。パケットを送信してから1フレーム時間 T_F が経過した後に通信の成否がわかるため [9]、図5の状態遷移は、パケット送信の T_F 後に発生する。

図5の2つの送信状態におけるパケット送信処理フロー (図6) を説明する。通信成功を検知した図6-a) では、まず送信周期 $T_S (\geq T_F)$ を計算する。具体的な計算方法は4.1節に示すが、通信エリア内で発生した通信トラフィック量を基準にしてその計算を行う。次に、求めた送信周期でパケットが送信される様、送信スロット $S_{j,s}$ を決定し、パケットの送信を実行する。逆に、通信失敗

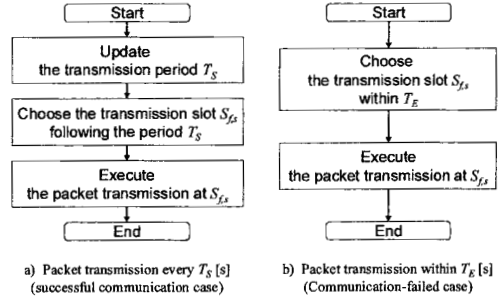


図6 各パケット送信状態での処理フロー

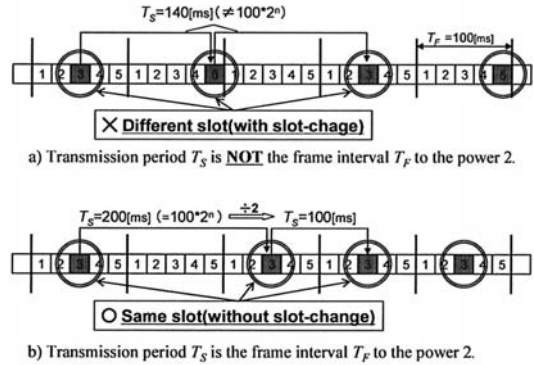


図7 2のべき乗に設定された送信周期とその利点

が検知された場合、図6-b)の処理が実行され、時間 T_E 内に次のパケットを送信できる様、送信スロットを決定する (4.2節参照)。

4.1 送信周期の決め方

D-TDMA/TRC においては、以下の要件を満たすように送信周期 T_S を決定する：

- (1) 一度通信に失敗しても最大情報更新距離 5m 以下を実現
- (2) 通信トラフィックが集中した場合のみに送信周期を延ばし、通信トラフィックを抑制

まず要件 (1) について、図4で示したように、通信に失敗した場合、パケット送信から通信失敗検知に1フレーム時間 T_F がかかる事、その後の次パケット送信に最大 T_E 秒かかる事で、次のパケット送信までに時間 $(T_F + T_E)$ が必要となる。この時間に1送信周期分の時間を加えた時間 $(T_S + T_F + T_E)$ が、周期的なパケット送信に成功してから一度その通信に失敗した後、次のパケットを送信するまでにかかる時間である (図4の地点 AB 間を移動する時間に相当)。この時間内に移動する距離が 5m を超えなければ、一度通信に失敗しても最大情報更新距離 5m

表 1 (最大) 送信周期の設定例

送信車両の速度 v [km/h]	D-TDMA/TRCでの最大送信周期 [ms]	ASVでの送信周期 [ms]
100~	100	100
80~		120
60~		150
45~	200	200
40~		300
30~		600
20~	400	400
18~		600
10~	800	800
10未満		1200

以下が達成できる。すなわち、 v を送信車両の速度 [m/s] として、

$$(T_S + T_F + T_E) \times v \leq 5$$

$$\therefore T_S \leq 5/v - (T_E + T_F) = \check{T}_S \quad (1)$$

のように、時間 \check{T}_S 以下となる様に送信周期 T_S を設定すればよい。

D-TDMA/TRC では、スロットがフレーム周期 T_F 毎に繰り返されるため、設定可能な送信周期の値を T_F の 2 のべき乗とすると、スロットの変更がなくなり制御が簡単になる。例えば図 7-a) のように、 $T_F = 100$ [ms] の場合に送信周期 $T_S = 140$ [ms] とすると、フレーム毎に使用するスロットを変更しなければならない。しかし図 7-b) のように、 T_F の 2 倍数である送信周期 $T_S = 200$ [ms] とすると、フレーム毎にスロットを変更する必要がなくなる。また、図 7-b) の様に、同じスロットを使用して送信周期を変更することも可能である。表 1 に、式 (1) から得られる D-TDMA/TRC での送信周期の最大値を示す。ここで、 $T_F = 100$ [ms] とし、参考のために ASV-3 で示されている送信周期の値も示した。

次に、要件 (2) を達成するため、発生する通信トラフィック量に応じて送信周期を決定する。まず、通信トラフィックを測る尺度として、スロット使用率 R_S を用いる。スロット使用率とは、1 フレーム中の N 個のスロットのうち、周辺車両でどれだけ使用されているかを表す。これは、1 フレームの中で送信されたパケット数とほぼ等価であり、以下の様に書ける：

$$R_S = \frac{N - N_{free}}{N} \quad (2)$$

ここで、 N_{free} は 1 フレームの中で“FREE”と判断されたスロット (空きスロット) の数を表す。次に、送信周期制御により許される通信トラフィック量の上限 ξ_H と下限 ξ_L を設定する。通信トラフィック量 R_S が両者の範囲内に含まれる場合、送信周期は変更されない。通信トラヒッ

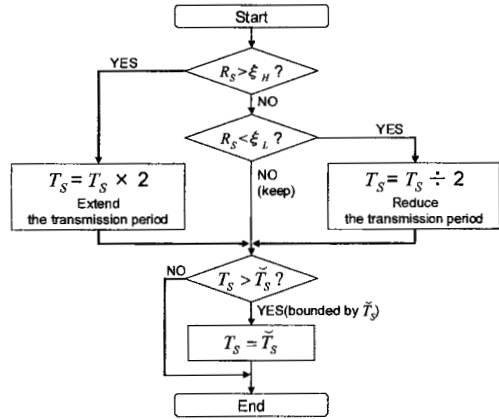


図 8 D-TDMA/TRC における送信周期 T_S の決定処理

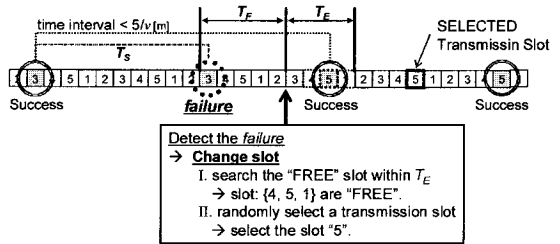


図 9 通信失敗時の送信スロットの決定例

クが上限値を上回れば、通信トラフィックに余裕がなく通信容量に近づいていると判断し、送信周期を 2 倍にして延長する。逆に下限値を下回れば通信トラフィックに余裕があると判断し、送信周期を半分にして短縮する。

以上より、提案の D-TDMA/TRC では、式 (1) の \check{T}_S を超えない様に、発生した通信トラフィックに応じて送信周期 T_S を決定する。この操作をまとめると、図 8 のようになる。

4.2 通信失敗時の送信スロットの決め方

周辺車両との通信失敗が検知された場合、2 節の (制御 2) の様に、送信車両ではパケットを送信するスロットを変更する。提案の D-TDMA/TRC 方式では、予防安全アプリケーション成立のために、通信失敗が検知された後の時間 T_E 内に次のパケットを送信する。そこで、この時間 T_E に含まれるスロットから、送信スロットを選択することを考える。

通信失敗時の送信スロットの決め方は以下の 2 つの処理により行われる：

- I. T_E 時間内に含まれるスロットのうち、周辺車両で使用されていない空きスロットを探索
- II. 得られた空きスロットの中から、ランダムに送信スロットを選択

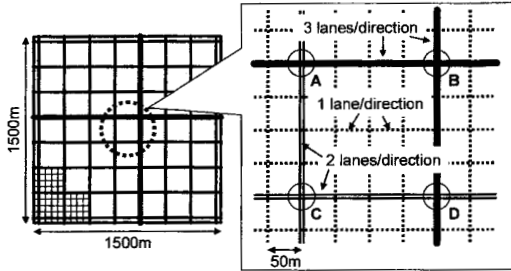


図 10 シミュレーションにおける道路モデル

この様子を図 9 に示す。以上のような処理により、通信失敗となった場合でも次のパケットが最大 ($T_F + T_E$) 秒内で送信されることが保証され、予防安全アプリケーションの成立が図られる。

5. 計算機シミュレーションによる性能評価

提案の送信周期制御手法を、通信品質と予防安全アプリケーションの成立性という 2 つの観点から性能評価を行う。通信品質を評価するための評価指標としてはパケット成功確率を、また予防安全アプリケーションの成立性を評価するための評価指標として 3. 節の最大情報更新距離を用い、計算機シミュレーションにより数値を求めた。

5.1 シミュレーションモデルと諸元

本シミュレーションでは実際の交通環境を想定した評価を実現するために、交通流シミュレータ (NETSTREAM) [12] と通信シミュレータ (ns2) [13] とを連携させた評価を行う [11]。本報告では、送信周期制御による通信トラフィック制御について検討している為、トラフィック制御が必要な程通信トラフィックが発生する様な、車両が密集する交通環境を想定する。

本シミュレーションで使用する道路モデルは、ASV-3 で検討されている、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 [2] である。この道路モデルでは、図 10 の様に、1500m 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 (図 10 右側の実線) と片側 2 車線の主要道路 (図 10 右側の二重線) を 200m 毎に配置している。また、片側 1 車線の細街路は図 10 右側の点線である。

シミュレーション方法は以下の通りである。まず前述の道路モデルについて、交通流シミュレータにより、車両の座標や速度等の移動データを作成する。次に、得られた車両の座標や速度データを用いて、4. 節の提案 D-TDMA/TRC を用いた車車間通信を、通信シミュレータ上で模擬する。通信シミュレータで使用する電波伝搬モデルは、文献 [11], [14] で提案されている、市街地環

表 2 シミュレーション諸元 (共通項目)

Physical layer	IEEE802.11p
Bandwidth	10 MHz
Radio frequency	800 MHz
Transmission power	20 dBm (100 mW)
Reception sensitivity	-77.0 dBm
Capture threshold	8.0 dB
Data size	100 bytes
Antenna height	$h_t = h_r = 1.5$ m

表 3 CSMA および D-TDMA プロトコルパラメータ (送信周期制御含む)

CSMA (ASV-3)	Packet length	128 μ s
	Carrier sense threshold	-77.0 dBm
D-TDMA	Packet length	208 μ s
	Slot length	240 μ s
	Number of Slot (N)	416
	Frame interval (T_F)	100 ms
	Frame information ($2N$)	832 bits
	Minimum traffic (ξ_L)	0.10
	Maximum traffic (ξ_H)	0.30
T_E		$4T_F$ ms

境を想定した星型モデルである。また、今回は 20 秒間の車両移動及び通信のシミュレーションを行った。

シミュレーション諸元と、CSMA 方式及び D-TDMA 方式のパラメータをそれぞれ表 2 と表 3 に示す。取り扱う全ての車両は乗用車を想定し、送受信のアンテナ高は全て 1.5m とした。これらの車両は平均速度約 18[km/h] で移動し、車両密度はおおよそ 60[台/km/lane](総車両台数は約 8000 台) という、かなり混雑した交通状況である。また物理レイヤ方式として、米国において車車間・路車間通信用規格として標準化が進められている IEEE802.11p を想定し、帯域幅や最低受信感度などを設定した。この設定より、通信可能な距離は交差点中央から約 210m となる。また本報告では、MAC プロトコルの提案という観点から、物理レイヤにおけるパケット誤りは無く、D-TDMA 方式では完全にスロット同期が取れているものと仮定した。

5.2 通信品質からの評価

まず、通信品質の観点から提案手法の特性評価を行う。ここでは右折事故シーンを取り上げるために、直進車両が情報を送信し、右折待ち車両が受信に成功した確率 (パケット成功確率) を評価する。シミュレーションでは、右折待ち車両を模擬した車両を、4 つの交差点 (図 10 の A/B/C/D) の中心に 1 台ずつ、計 4 台を配置し、これら 4 台における受信したパケットのパケット成功確率の平均値を用いる。また、D-TDMA/TRC と比較する方式として、ASV-3 で検討されている送信周期制御手法を用いた CSMA 方式 (CSMA/TRC) [2] を取り上げる。さらに参考のために送信周期制御を用いない D-TDMA 及び

表 4 発生した平均通信トラフィック量 [packets/ T_F]

	w/ TRC	w/o TRC
D-TDMA	85.9	673.9
CSMA	66.6	469.5

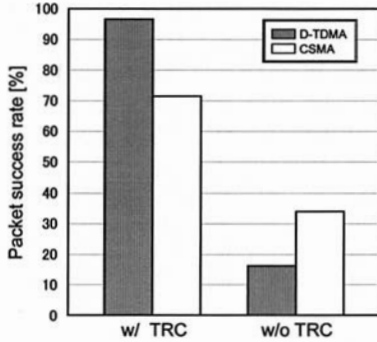


図 11 パケット成功確率の数値例

CSMA 方式の特性を示す。

パケット成功確率を示す前に、送信周期制御手法による通信トラフィックの削減効果を示す。表 4 に通信トラフィックの数値例を示す。ここでは、通信トラフィックとして、1 フレーム時間 T_F において送信されたパケット数の平均値を用いた。今回、D-TDMA 方式における 1 フレーム当りのスロット数 N を 416 と設定している為、この数値が D-TDMA 方式の通信容量といえるが、表 4 より送信周期制御を用いないと通信容量以上の通信トラフィックが発生している。また、CSMA 方式についても同程度の通信容量となり、通信容量以上の通信トラフィックとなっている。しかし送信周期制御手法を用いると、通信トラフィックは減り、通信容量以下に収まる事がわかる。

次に、図 11 に、パケット成功確率の数値例を示す。まず、送信周期制御手法を用いない場合、D-TDMA 方式、CSMA 方式ともにパケット成功確率は悪く、ASV-3 の目安である 80% を達成できない。これは表 4 に示すように、車両の密集によって通信プロトコルが許容できる以上の通信トラフィックが発生しているためである。特に D-TDMA 方式では、送信車両間でスロットを重複して選択してしまうため、通信トラフィックの許容量を超えたときの性能劣化が大きい。しかし、送信周期制御手法を用いると、D-TDMA 方式の性能改善は著しく、良好な性能が得られる。

5.3 予防安全品質からの評価

予防安全アプリケーション成立性の観点から、提案の送信周期制御手法を評価する。用いる評価指標は、3. 節で示した最大情報更新距離である。図 10 に示される 4 つ

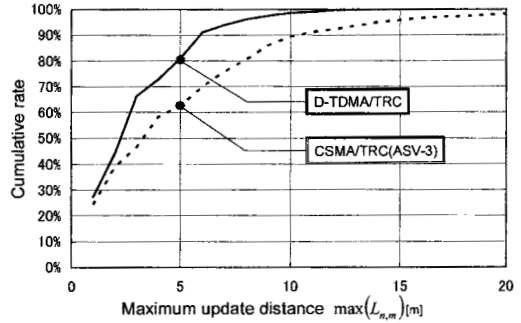


図 12 最大情報更新距離の数値例

の交差点 A/B/C/D の中央に一台ずつ配置された受信車両について、直進する各送信車両との最大情報更新距離を求め、その車両台数の累積割合を図 12 に示した。

図 12 より、D-TDMA/TRC の方が、ASV-3 提案の CSMA/TRC よりも、最大情報更新距離の短い車両が多く存在することがわかる。特に、最大情報更新距離が 5m 以下を満たす車両台数で比較すると、D-TDMA/TRC では約 80%、CSMA/TRC では約 63% となり、予防安全アプリケーションが成立する車両の割合という意味でも、D-TDMA/TRC は有効である。D-TDMA/TRC では、車両の移動等によってパケット衝突が発生し、パケット成功確率は図 11 のように 100% とはならず、確実に周辺車両に情報の伝わらない場合がある。しかし D-TDMA/TRC では、通信失敗時に次のパケットを即時に送信するため、最大情報更新距離を短く維持することが可能である。また、D-TDMA/TRC では、D-TDMA 方式自体の隠れ端末問題を回避する機能により、通信失敗発生が CSMA/TRC よりも減少しているという効果もある。

しかしながら、D-TDMA/TRC でも最大情報更新距離が 5m 以上となる車両は存在する。これは、2 回以上連続してパケット衝突が発生しているためであると考えられる。D-TDMA/TRC では、1 回のパケット衝突発生については、最大情報更新距離を短く維持できるような制御を施している。2 回以上連続したパケット衝突については、パケットの衝突発生すること自体を減らすような、別の制御が必要であろう。

6. むすび

本報告では、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、通信トラフィックの集中時でも予防安全アプリケーションが成立する事を目的として、D-TDMA 方式に適した送信周期制御手法を提案した。この提案手法では、情報伝達に失敗した場合、設定された送信周期

に関らずなるべく短い間隔で次の情報送信を行うことで、予防安全アプリケーションの成立を図る。このような考え方に従う提案手法は、予防安全アプリケーションの成立性と通信品質の2つの観点から評価を行った結果、優れた性能を持つことが示された。ただ、予防安全アプリケーションが確実に成立するというわけではなく、パケット衝突発生を抑える工夫など、今後、更なる改善が必要であらう。

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] 第3期 ASV (Advanced Safety Vehicle), <http://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/01asv/>
- [3] 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).
- [4] 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 (2007).
- [5] J. Yin, T. Elbatt and S. Habermas, "Performance Evaluation of Safety Applications over DSRC Vehicular Ad Hoc Networks," *Proc. 2nd ACM Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET)*, pp. 1-9 (Oct. 2004).
- [6] K. Seki, "Data relay performance of 5.8 GHz inter-vehicle communications (The Second Report)", *Proc. 13th ITS World Congress* (Oct. 2006).
- [7] 村松潤哉, 田所幸浩, 牧戸知史, 鈴木徳祥, "車車間通信環境における隠れ端末問題発生エリアの評価", 電子情報通信学会総合大会, B-1-1 (Mar. 2007).
- [8] 神崎映光, 上向俊晃, 原隆浩, 西尾章治郎, "アドホックネットワークにおける端末数の変化に応じた TDMA スロット割り当て手法", 情報処理学会論文誌, vol. 45, no. 3, pp. 824-837 (Mar. 2004).
- [9] 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", 情報処理学会論文誌, Vol. 48, No. 7, pp. 2257-2266 (Jul. 2007).
- [10] T. ElBatt, S. K. Goel, G. Holland, H. Krishnan, and J. Parikh, "Cooperative Collision Warning using Dedicated Short Range Wireless Communications", *Proc. 3rd ACM Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET)*, pp.1-9 (Sep. 2006).
- [11] 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", 情報処理学会研究報告, ITS2007-24, pp.13-20 (Sep. 2007).
- [12] 棚橋巖, 北岡広宣, 馬場美也子, 森博子, 寺田重雄, 寺本英二, "広域交通流シミュレータ NETSTREAM", 豊田中央研究所 R&D レビュー, Vol. 37, No. 2, pp. 42-53 (2002).
- [13] The network simulator- ns2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [14] Andrea J. Goldsmith and Larry J. Greenstein, "A measurement-based model for predicting coverage areas of urban microcells," *IEEE J. Sel. Areas in Commun.*, vol. 11, no. 7, pp. 1013-1023 (Sep. 1993).