

## 車車間通信による安全運転支援システムの性能評価

伊藤 健二<sup>†</sup> 田所 幸浩<sup>†</sup> 鈴木 徳祥<sup>†</sup> 原田 知育<sup>†</sup> 尾口 健太郎<sup>†</sup>  
伊藤 修朗<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 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: [titoken@mosk.tytlabs.co.jp](mailto:titoken@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。これまでの検討の多くは、CSMA 方式を対象としており、パケットスループットやパケット誤り率などの通信性能のみが評価されている。また、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も懸念されている。そこで、本報告では、通信品質評価だけではなく、安全アプリケーションの観点から安全運転システムの評価を行う。また、シミュレーション評価結果から、高信頼な車車間通信を実現するためには、隠れ端末問題への対策の重要性を明らかにする。更に、その対策方式として、自律分散型 TDMA プロトコルが有望な方式の一つであることを示す。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, 自律分散型 TDMA プロトコル

## Performance Evaluation of Safety Driving Support System with Inter-Vehicle Communications

Kenji ITO<sup>†</sup>, Yukihiro TADOKORO<sup>†</sup>, Noriyoshi SUZUKI<sup>†</sup>, Tomohisa HARADA<sup>†</sup>,  
Kentaro OGUCHI<sup>†</sup>, and Nobuo ITOH<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Toyota Central R&D Labs., Inc., 41-1 Yokomichi, Nagakute-Cho, Aichi, 480-1192 Japan

E-mail: [titoken@mosk.tytlabs.co.jp](mailto:titoken@mosk.tytlabs.co.jp)

**Abstract** This report investigates MAC protocol for reliable inter-vehicle communications (IVC) in safety driving support system for reducing road traffic accidents. Many papers on performance evaluation of CSMA protocol have been published. However, the great majority of them deal with only communication quality such as packet throughput and packet error rate. Also, the communication quality is degraded seriously by hidden terminal problem in IVC. In this report, we try to assess the safety driving support system by computer simulation from a safety application point of view. The simulation results clarify the importance of countermeasure to hidden terminal problem in order to realize reliable IVC. In addition, we demonstrate the effectiveness of decentralized TDMA protocol as one of the countermeasure methods.

**Key words** ITS, Inter-vehicle communications (IVC), Safety driving support system, Hidden terminal problem, Decentralized TDMA protocol

# 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、衝突回避に繋がる VSC (Vehicle Safety Communications) のようなアクティブな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 で検討されている情報交換型運転支援システムでは、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、このシステムを検討対象とする。

このような予防安全アプリケーションでは、複数の車両が同時に交差点に存在し、互いに情報を交換する必要がある。この通信には、情報のリアルタイム性を保証し、高信頼な通信ができる必要がある。しかしながら、多くの研究では CSMA 方式をベースとする無線 LAN の延長にとどまっており、実際の利用シーンを想定した十分な検討がほとんどなされていない。また、車車間通信では、搭載したアンテナ特性 (指向性、利得など) の違いや建物・大型車両などに遮蔽されている状況が時々刻々と変化する。したがって、車両毎に通信可能エリアが異なり、それぞれの車両が移動するため、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]。

そこで、車車間通信を用いた予防安全アプリケーションを実現するためには、自律的に動作する隠れ端末問題

への対策技術が必要である。

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 [8]~[11]。その中でも、文献 [11] では、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、低遅延で高信頼な無線アクセスを実現する自律分散型 TDMA プロトコル (以下、D-TDMA : Decentralized TDMA と呼ぶ) の有効性が報告されている。

しかし、これらの検討では、シミュレーション評価において、実際の交通環境のような車両の移動はほとんど考慮されていない。また、実際の利用シーンを想定した評価がされておらず、数百台規模の小さな環境での評価にとどまっている。更には、通信の予約成功確率やパケット成功確率など通信品質のみが評価されており、予防安全アプリケーションの成立性など安全サービスという観点の評価が全くされていない。

そこで、本報告では、実際の交通環境および利用シーンを想定し、数千台規模の評価を行い、通信品質だけでなく、予防安全システムのための評価指標を提案する。その際、評価対象とする MAC プロトコルとしては、ASV-3 にも使用された CSMA/CA と文献 [11] で提案されている D-TDMA の 2 方式を取り扱う。

以下では、2. で、D-TDMA プロトコルの概要を述べ、3. において、シミュレーションモデルを示す。また、4. では、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を提案する。更に、5. において、シミュレーション評価結果を示す。

## 2. D-TDMA プロトコル概要

本節では、文献 [11] で提案されている MAC プロトコル (D-TDMA) の動作概要を説明する。

D-TDMA プロトコルは、時分割されたスロット単位でのアクセスを行い、図 2 のように所定の周期で繰り返されるフレームを  $N$  スロットに分割する。送信されるパケットは、同期確立などに使用するプリアンブル、フレーム情報、位置情報などのデータから成る。

ここで、フレーム情報とは、送信端末が自身の送信タイミングから遡って過去 1 フレーム時間観測したスロッ

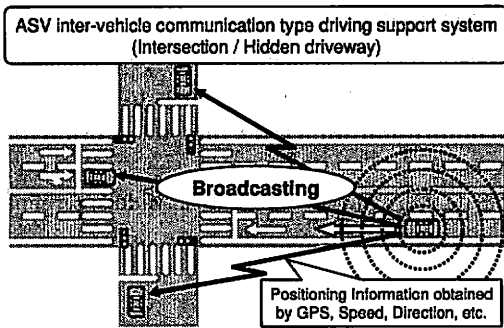


図 1 ASV 情報交換型運転支援システム

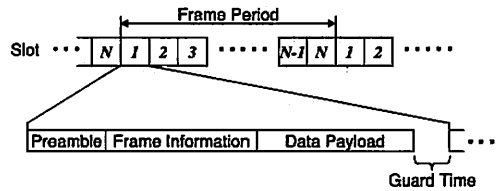


図 2 D-TDMA プロトコルのパケットフォーマット

トの使用状況（以下、スロット情報と呼ぶ）を示した情報である。このスロット情報として、4 値（2 ビット）を用いており、それぞれの値の示す意味を以下に記す。

- 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

各端末がどのスロットのタイミングでパケットを送信するかは、以下の方法によって決める。

（制御 1）自端末が観測したフレーム情報、および、周辺車両から受信した全てのフレーム情報から、スロット情報が FREE となっているスロットの中から任意の 1 スロットを選択する。

（制御 2）自端末が送信したスロットに対して、周辺車両から 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、次のフレームでも同じスロットで送信を行う。一方、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。

これにより、隠れ端末とのパケット衝突を回避し、確実に通信可能な送信タイミング（スロット）の予約機構が実現できる。すなわち、高信頼で、かつ、低遅延を保証することが可能である。

### 3. シミュレーションモデル

本節では、数千台規模の評価シミュレーションで用いる道路・交通流・電波伝搬モデル、およびシミュレーション諸元について概説する。

#### 3.1 道路および交通流モデル

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 3 に示すように、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 3 右側の実線）と片側 2 車線の主要道路（図 3 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 3 右側の点線である。

実際の交通環境を想定した評価を実現するため、文献 [12] の交通流シミュレーション（NETSTREAM）と通信シミュレーションとを連携させた。NETSTREAM には、道路ネットワーク、信号データ、車両の出発地（Origin）/目的地（Destination）を表す OD 交通量データを入力する。道路ネットワークは、前述した道路モデルである。信号データは、幹線道路および主要道路の交差点に信号を配置し、サイクル長は 2 分と設定した。また、車両の出発地、目的地は、道路モデルの外周に存在していると仮定している。

#### 3.2 電波伝搬モデル

低いアンテナ高を想定し交差点での電波伝搬をモデル化した例として、市坪モデルがある [13]。市坪モデルは、実際の市街地（茅場兜地区：7 階建て程度の建物が均一に並び、10~30m の道路幅の道路が碁盤目状に配置されている）において 800MHz と 1400MHz で測定した結果を基に重回帰分析によって求められた近似式である。これは、電波伝搬における電力の距離減衰をブレイクポイント ( $b_p$ ) の前後で二つに分けて直線（対数）で近似している。今回検討対象としている道路モデル（銀座市街地の道路配置）に合致しており、周波数も 800MHz を考えているため、このモデルを使用する。

しかし、市坪モデルは見通し内/外の境界で不連続となり、送受の位置関係を把握するための計算も必要となるため、大規模な通信シミュレーションにそのまま適用することは、現実的ではない。そこで、このような問題を解決するために等電力線を簡易関数で近似する。

一般的な 2 次元空間での電波伝搬を考える場合、等電力線は送信点を中心とした同心円を考えることが多い。しかしながら、車車間通信のように、低アンテナ高での伝搬では道路に沿った建物による遮蔽が発生するため、同心円状ではなく星形状に広がることが知られている [14]。

星型の形状を持つ関数は多数考えられるが、式 (1) の関数を用いて等電力線を近似する。

$$|x|^k + |y|^k = D^k \quad (k < 1) \quad (1)$$

ここで、 $x, y$  は、送信点に対する受信点の相対座標 ( $x, y$ ) を示し、 $D$  は送信点から星型の頂点までの距離を表す。また、ASV で対象としている距離（見通し内 200m, 見通し外 25m）付近において市坪モデルとの良い近似特性を得るためには、 $k = 0.6$  程度と設定すると良いことを確認した。図 4 に、原点を送信点とした場合の受信点 ( $x, y$ ) の等電力線モデルを示す。

受信電力は、送受信点の各座標から、星型モデルの頂点座標 ( $D$ ) を求め、文献 [13] で示される 800MHz での

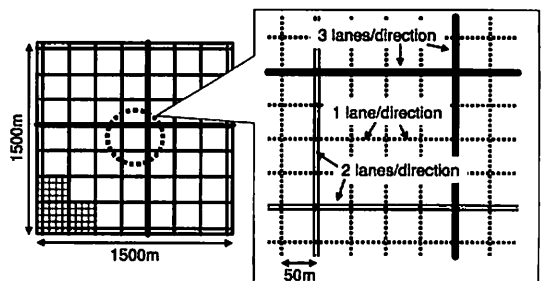


図 3 シミュレーションにおける道路モデル

電力損失 ( $L$ ) の近似式 (2) から (4) を用いて算出する。

$$L = \begin{cases} 20 \log D + K & (D < b_p) \\ 20 \log b_p + 43.3 \log \frac{D}{b_p} + K & (D \geq b_p) \end{cases} \quad (2)$$

$$K = 54.3 - 15.5 \log W \quad (3)$$

$$b_p = \frac{2\pi h_t h_r}{\lambda} \quad (4)$$

ここで、 $\lambda$  は波長、 $h_t$ 、 $h_r$  は、それぞれ送受信のアンテナ高である。また、 $W$  は道路幅であり、今回はシミュレーションの簡易化のため 27m と固定した。

前述した道路ネットワークモデルを用いて、伝搬モデルの検証を行う。図 5 と図 6 に、それぞれ、市坪モデルを基に算出した伝搬損失値の結果と提案する等電力星型近似モデル ( $k = 0.6$ ) を用いた伝搬損失値の結果を示す。また、アンテナ高は、送受信ともに 1.5m と設定した。

これらの図より、市坪モデルで見られる不連続性が星型近似モデルでは解消されていることがわかる。また、送信点からの距離が 300m 程度までのエリアでは両モデルは概ね同様な値となる。一方、更に送信点から離れると

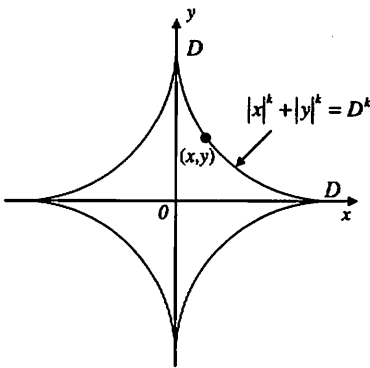


図 4 電波伝搬モデルの等電力線モデル

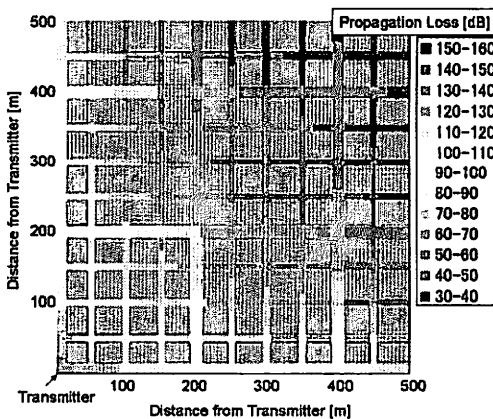


図 5 市坪モデルで算出した伝搬損失

市坪モデルと星型モデルの計算値に違いが生じるが、損失量が多いため、シミュレーション結果に与える影響は少ないと考える。

### 3.3 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、CSMA および D-TDMA プロトコルパラメータをそれぞれ表 1 と表 2 に示す。なお、D-TDMA に関して、シミュレーションでは完全にスロット同期が取れているものと仮定した。

本報告では、物理レイヤとして、米国において車車間・路車間通信を行うための WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments) システムとして標準化が進められている IEEE802.11p 規格を想定し、帯域幅や最低受信感度などを設定した。これは、5.9GHz 帯の DSRC (Dedicated Short Range Communication) がベースと

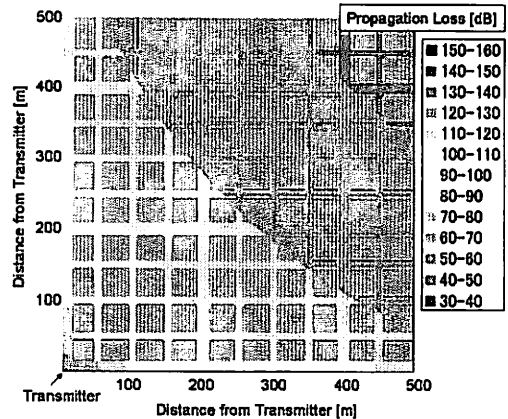


図 6 簡易等電力星型近似モデル ( $k = 0.6$ ) を用いた伝搬損失

表 1 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)
Receive threshold	-77.0 dBm
Capture threshold	8 dB
Data size	100 bytes
Transmission period	100 msec.
Antenna height	$h_t = h_r = 1.5$ m

表 2 CSMA および D-TDMA プロトコルパラメータ

CSMA	Packet length	128 $\mu$ sec.
	Carrier sense threshold	-77.0 dBm
D-TDMA	Packet length	208 $\mu$ sec.
	Frame length	99.84 msec.
	Slot length	240 $\mu$ sec.
	Number of Slot ( $N_s$ )	416
	Frame information ( $2N_s$ )	832 bits

なっており、IEEE802.11aのハーフレートによる通信を行う規格である。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。

更に、検対象とするアプリケーションでは、各車両が周期的に情報を送信することを想定しており、この送信周期を100msと固定した。これは、ASVでは、最大の適用上限速度を高速道路における120km/hとしており、移動中に約5mの分解能で位置を把握することを前提とした場合、様々なマージンを考慮して、送信周期の最小間隔を100msとしているためである[4],[5]。

シミュレーション内の全ての車両は乗用車を想定し、受信のアンテナ高は全て1.5mとした。

#### 4. 性能評価指標

まず、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取り扱う。本節では、更に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、図7に示すコンセプトで、二つの評価指標を提案する。

一つは、図7(a)のように、運転者に対してASVで想定している予防安全サービスを提供開始する地点が間に合っているか否かを示す初回相手車両把握地点である。もう一つは、図7(b)に示すように、通信によって相手車両が正確に把握できるか否かを示す、相手車両の挙動把握頻度を評価するための最大情報更新距離である。図の場合、右折待ち車両が第1当事車両、直進車両が第2当事車両である右折事故を想定している。したがって、右折待ち車両が直進車両を把握できるかを評価することを示している。以下、本報告で評価する右折事故シーンは、すべて同じ当事車両関係とする。これら二つの評価指標についての定義を以下に述べる。

##### 4.1 初回相手車両把握地点

ASVでは、想定事故シーン毎の適用上限車両速度、車両の減速度、情報提供・運転者反応時間などを基にして、事故シーン毎にサービス提供を開始する地点を定めている。車両の減速度は、普通車の場合は0.2g、大型車の場

合は0.1gとしている。ここで、 $g$ は重力加速度を表している。また、情報提供・運転者反応時間は、システムが運転者に対して情報提供を開始する時刻から運転者が反応を開始するまでにかかる時間を表したものであり、ASVでは4秒と設定されている[5]。

これらの数値を用いて以下の式により、サービス提供開始地点を算出している。

$$L = \frac{V^2 - V_t^2}{2\alpha} + (V - V_t)T \quad (5)$$

ここで、 $L$ はサービス提供開始地点(m)であり、 $V$ および $V_t$ は、それぞれ適用上限車両速度(m/s)、目標車両速度(m/s)を示している。また、 $\alpha$ は車両の減速度( $m/s^2$ )である。更に、 $T$ は、情報提供・運転者反応時間(s)を表している。

具体的な数値例として、乗用車の右折事故シーンを取り上げる。右折事故の場合、適用上限車両速度は、直進側は70km/hと設定しており、事故発生地点までに停止することを前提としている。すなわち、目標車両速度 $V_t = 0$ であり、式(5)から算出すると、サービス提供開始地点は172mとなる。しかし、実際の事故発生地点は正確には定義できないため、ASVでは、図8に示すように、交差点中央付近から約170m地点をサービス提供開始地点と定義している。

このサービス提供開始地点に到達するまでに、最低限1回は通信が成立しなければ、システムが運転者に情報を提供することはできない。そこで、右折待ち車両が、初めて直進車両を通信によって把握できた相対位置(初めて通信が成功した相対位置)を評価指標として提案する。これを初回相手車両把握地点と定義する。図9(a)のように、この値がサービス提供開始地点よりも遠方の位置であれば、右折事故シーンを想定した予防安全サービスの提供が可能である。一方、図9(b)のように初回相手車両把握地点がサービス提供開始地点よりも手前であれば、運転者への情報提供が遅れ、右折事故シーンに対応できない車両ということになる。

##### 4.2 最大情報更新距離

予防安全システムでは、通信によって相手車両を常に把握できる必要がある。しかし、周期的な情報送信を試みたとしても、通信に失敗した場合には、相手車両を把

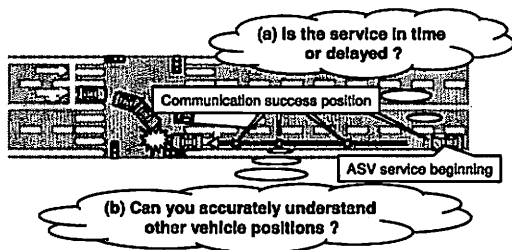


図7 予防安全サービスのための評価指標コンセプト

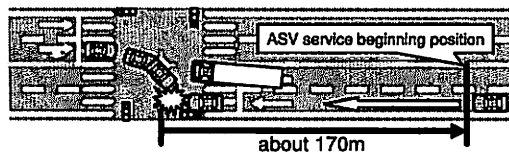


図8 右折事故シーンにおけるASVサービス提供開始地点

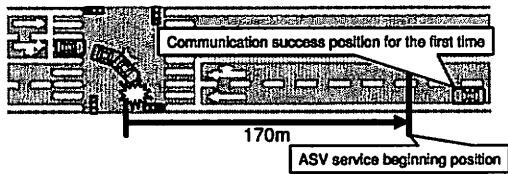
握することができない。特に、連続して通信が失敗した場合、仮に、過去に通信成功した情報を基にして相手車両位置を予測したとしても、精度は悪くなってしまふ。そこで、安全サービスという観点から、連続して情報伝達できなかった区間を検討する。

ASVでは、約5mの移動毎に相手車両を把握できることを目標としている。これをどの程度の車両が満たしているかを評価するための評価指標が最大情報更新距離である。まず、 $n$ 番目のパケット通信が成功し、次に通信成功したパケットは $m$ 番目であると仮定する。 $n$ 番目のパケット通信時の送受信車両の位置をそれぞれ、 $(x_n^t, y_n^t)$ 、 $(x_m^r, y_m^r)$ とすると、パケット通信が成功した時間間隔における送受信端末間の相対距離の変化量 $L_{n,m}$ は、

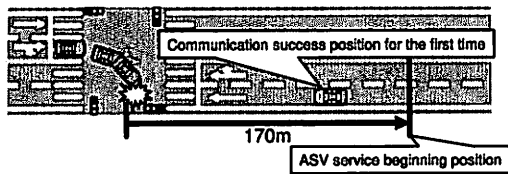
$$L_{n,m} = \left| \sqrt{(x_n^t - x_n^r)^2 + (y_n^t - y_n^r)^2} - \sqrt{(x_m^t - x_m^r)^2 + (y_m^t - y_m^r)^2} \right| \quad (6)$$

である。この値が、常に約5m以内を満たしていれば、ASVの示しているサービスを満足できる。

図10に最大情報更新距離の定義を示す。右折事故シー



(a) ASV service beginning is in time.



(b) ASV service beginning is delayed.

図9 初回相手車両把握地点とサービス提供開始地点との関係

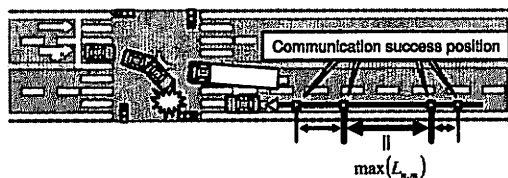


図10 最大情報更新距離の定義

ンを想定した場合、情報を受信すべき車両は右折待ち車両と考え、評価時間内において、各直進車両と右折待ち車両間の $L_{n,m}$ の最大値 $\max(L_{n,m})$ を最大情報更新距離と定義し、この値が約5m以内を満足している車両台数割合を評価する。

## 5. シミュレーション結果

これまでに述べたシミュレーション評価環境を用いて、CSMAとD-TDMAの通信品質評価および予防安全品質評価を行う。

### 5.1 通信品質評価

まず、通信トラフィックに対する統計的な特性評価を行う。シミュレーションにおける道路ネットワークの中央600m四方に存在する全車両についてのパケット成功確率を評価する。ここでは、通信トラフィック量を可変させるため、シミュレーションにおける総車両台数を約2000台から約5500台まで変化させた。

図11に通信トラフィックに対するパケット成功確率を示す。ここで、通信トラフィックは、各車両が1秒間で観測した平均パケット数と定義する。図より、今回評価対象とした、通信トラフィックの範囲内では、D-TDMAのパケット成功確率が、CSMA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、D-TDMAでは、FIを用いた隠れ端末問題への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。また、通信トラフィックが1500[packets/sec.]を超えると、D-TDMAの通信品質も徐々に劣化していることが確認できる。これは、車両の移動に伴い送信スロットが重なった車両とのパケット衝突が生じ、送信スロットの変更が多数発生するようになるためである。

次に、右折事故シーンに限定した通信品質の評価を行う。ここでは、シミュレーションにおける総車両台数が約4300台(図11の通信トラフィックが約1500[packets/sec.]

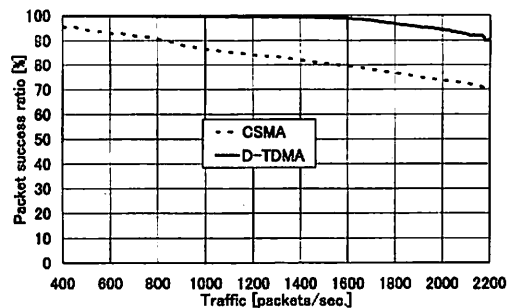


図11 通信トラフィックに対するパケット成功確率

の場合について評価する。シミュレーションでは、全ての車両が送受信を行っているが、右折事故シーンに限定するため、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を評価している。

図 12 に右折事故における送受信間の相対距離に対する送受信間距離 30m 毎の平均パケット成功確率を示す。図より、CSMA は送受信間の距離が離れるに従って、パケット成功確率が低下しているが、D-TDMA はほとんど 100% に近い値であることがわかる。これは、送受信間距離が離れるにつれて、隠れ端末の割合が多くなり、CSMA では、隠れ端末問題を回避できないため、特性が劣化する。一方、D-TDMA は、隠れ端末問題への対策を行っているため、パケット衝突を防ぎ、送受信間の距離には依存しない高品質な特性が得られるためである。

このように、通信品質評価では、安全サービスの成立性は把握できない。そこで、次に安全品質を評価する。

### 5.2 予防安全品質評価

ここでは、右折事故シーンを取り上げ、前節で提案した予防安全アプリケーション成立性評価のための二つの評価指標を用いる。ここでは、シミュレーションにおける総車両台数が約 4300 台の場合を用いる。

まず、初回相手車両把握地点の評価を行うため、幹線道路を走行する車両から無作為に 20 台を抽出し、右折事故シーンを想定して、対向車線の車両と初めて通信が成功した位置を評価する。ただし、抽出した車両は、周辺車両からの干渉の影響を考慮するため、シミュレーション道路モデルの中央 600m 四方に存在している車両から選択している。なお、本報告で提案している電波伝搬モデルおよび、シミュレーションの最低受信感度の設定より、通信可能な距離は、交差点中央から約 210m である。

図 13 に交差点中央からの距離に対する初回相手車両把握地点を示す。縦軸は、幹線道路の対向車線の各車線を表している。図 13(a) より、CSMA の場合は、通信可能な距離である 210m よりも手前で、初めて通信が成功

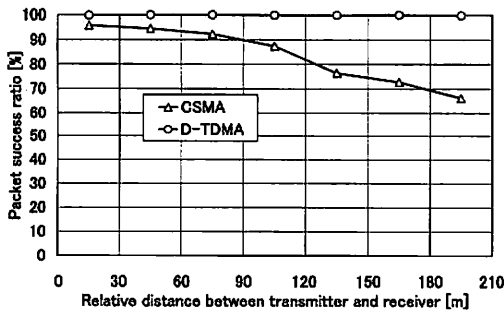


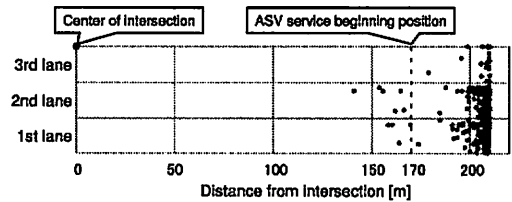
図 12 右折事故における相対距離に対するパケット成功確率

する車両が多数存在することがわかる。これは、図 12 の送受信間の距離が離れるに従って、隠れ端末問題の影響が大きくなり、パケット成功確率が低下するためである。更には、右折事故における ASV サービス提供開始地点である 170m よりも手前で初めて把握できた車両も何台が存在することが確認できる。したがって、CSMA では、隠れ端末問題によって、連続して通信に失敗し、初めて通信に成功する位置が ASV のサービス提供開始地点より手前になることが発生するため、ASV の右折事故サービスには対応できない場合が存在するといえる。

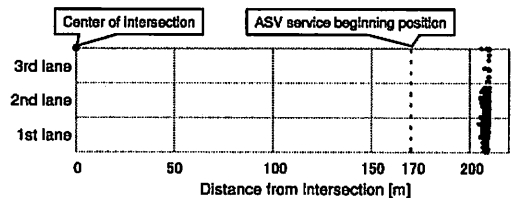
一方、図 13(b) より、D-TDMA の場合は、全ての車両が、通信可能距離である 210m 付近で最初の通信が成立していることが確認できる。したがって、D-TDMA は隠れ端末問題への対策によって、全車両が ASV の右折事故サービスの開始が間に合うといえる。

次に、図 14 に、右折事故における最大情報更新距離を評価する。図は、最大情報更新距離の確率分布と累積確率についての車両台数割合を示している。

図より、CSMA の確率分布は、最大情報更新距離 40m まで広がっているのに対し、D-TDMA のそれは、ほとんどの車両が 8m 以内となっていることがわかる。これは、CSMA では、隠れ端末問題により、連続して通信に失敗する車両が多数存在するためである。ASV の約 5m 以内を満たしている車両台数の割合について累積確率を比較すると、CSMA は 29% の車両だけが満足するのに対し、D-TDMA は 84% の車両が満足する。また、D-TDMA プ



(a) CSMA



(b) D-TDMA

図 13 右折事故における初回相手車両把握地点

ロトコルについて、90%以上の車両が満足する最大情報更新距離の値は、5.5mであるため、更なる品質向上を目指し、方式改良などの検討が必要であるといえる。

以上の結果より、隠れ端末問題への対策は、初回の通信成立を通信可能エリアの境界付近で実現できるだけでなく、連続して通信に失敗することを防ぐことも可能である。すなわち、車車間通信を用いた安全運転支援システムにおいて、高信頼な通信を実現し、安全サービスの成立を実現するためには、隠れ端末問題への対策は必要不可欠であるといえよう。

## 6. むすび

本報告では、交差点事故削減を目的とする予防安全運転支援システムを想定し、高信頼な車車間通信を実現するためのMACプロトコルの性能評価を行った。また、これまでの検討の多くは、パケットスループットや誤り率など通信品質のみが評価されてきたが、本報告では、安全アプリケーションという観点から、通信品質だけではなく、予防安全サービスの成立性について評価した。特に、安全サービスを評価するための評価指標として、初回相手車両把握地点と最大情報更新距離という二つの新しい指標を提案し、サービスを開始できるタイミングや相手車両の挙動を把握できる頻度を評価することを実現した。

その結果、車車間通信を用いた安全運転支援システムにおいて、サービスの成立を実現するためには、隠れ端末問題への対策は必要不可欠であり、その対策方式の一つとして、D-TDMAは有望なプロトコルであるといえる。

今後の課題として、今回検討したCSMA、D-TDMA以外のMACプロトコルの性能評価を行い、右折事故シーンだけでなく、出会い頭事故などの他の事故シーンを想定し評価することが必要である。また、文献[5]で提案されているような車両速度に伴いパケットを送信する周期を変更する送信周期制御を適用した場合の効果検証を行

うことが考えられる。更には、今回の評価に用いたASVで検討されている銀座道路モデルだけではなく、実際の道路・建物モデルを考慮した評価などが挙げられる。

## 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] 関馨, "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/anzen/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] 小野良司, 撫中達司, 渡辺尚, "アドホックルーティングプロトコルの制御メッセージによる無線LANリンクスループットへの影響の分析", 信学論A, vol. J88-A, no. 12, pp. 1422-1431, Dec. 2005.
- [9] 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.
- [10] 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", 情処論, vol. 45, no. 3, pp. 824-837, Mar. 2004.
- [11] 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. -, July 2007.
- [12] 棚橋誠, 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, June 2002.
- [13] 市坪信一, 今井哲朗, "低アンテナ基地局におけるマイクロセル伝搬損測定", 信学論, vol. J75B-II, no. 8, pp. 596-598, Aug. 1992.
- [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, Sept. 1993.
- [15] The network simulator- ns2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>

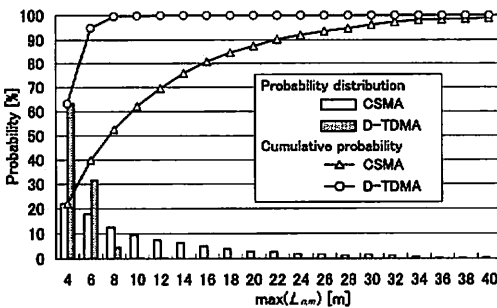


図 14 最大情報更新距離の確率分布と累積確率