

車々間通信に適した通信制御プロトコルの検討

Study of Media Access Protocol Suitable for Inter-Vehicle Communications

浅見 重幸 新井 国充
Shigeyuki Asami Kunimitsu Arai

特
集

システム・ソリューション

要 旨

2007年6月27日、情通審答申によりUHF帯の10MHz (715~725MHz) がITS車々間通信システム用に割り当てられることが決まった。車どうしが720MHzの電波により自車の位置を直接知らせあうことで見通しの悪い交差点などにおける出会い頭衝突事故を減らすことが目的であり、2012年7月25日以降使用可能となる。同システムの通信制御プロトコルはCSMA方式が有力であるが、隠れ端末問題による特性の深刻な劣化も懸念されている。この問題に対する技術として新しい通信制御プロトコルを提案、評価する。出会い頭衝突事故の場面での隠れ端末の存在範囲を算出し、その影響の大きさを示すと共に、提案方式と従来方式の packets 到達率をシミュレーションにより評価し、提案方式が有望であることを示す。

Abstract

The assignment of 10 MHz in the UHF band (715 to 725 MHz) for ITS inter-vehicle communication systems was decided in the Japan Telecommunications Council report on June 27, 2007. The purpose of this bandwidth assignment is to avoid head-on collisions in intersections and other areas with reduced visibility by allowing vehicles to inform each other of their locations through 720MHz radio wave transmissions. The bandwidth assignment will take effect on July 25, 2012. CSMA is the dominant protocol in inter-vehicle communication systems, but serious degradation in performance caused by the hidden node problem is a concern. This study proposes and evaluates a new media access protocol designed for dealing with this problem. The study computes the range of occurrence of hidden nodes in a head-on collision scenario. The study indicates the amount of influence that those nodes have while evaluating the simulated packet arrival rates of both the proposed protocol and the conventional protocol. The study concludes that the proposed protocol is superior.

1. まえがき

2007年6月に、情報通信審議会・情報通信技術分科会がUHF帯テレビジョン放送帯域の一部を車々間通信などのITS無線通信に活用することを一部答申⁽¹⁾した。その結果、2012年7月からUHF帯ITS車々間通信システムの利用が可能となった。同帯域の主な利用目的として、車々間通信を利用した安全運転支援システムによる出会い頭事故の削減が挙げられている。これを受けて、第4期ASV推進計画⁽²⁾(ASV-4)に参画の自動車メーカーは実証実験の準備を急ピッチで進めている。また、ITS情報通信システム推進会議⁽³⁾でも実証実験に向けて「700MHz帯を用いた運転支援通信システムの実験用ガイドライン」を作成中である。同システムにおける通信制御方式は自律分散制御が容易であるという点からCSMA方式が有力となっているが車々間通信を利用した運転支援のような一斉同報を中心とした環境でCSMA方式を利用した場合、隠れ端末問題が発生し深刻な特性劣化が懸念されている⁽⁴⁾。また、UHF帯の電波は、回り込みにより見通し外への伝搬が期待できる反面、隠れ端末の影響が拡大する恐れもある。しかし、今日までの所、本問題に対する有効な対策は示されていない。

一方、JRCは車々間通信に適した通信制御プロトコル

“CAV-MAC (CAVIAR Media Access Control)”を提案している⁽⁵⁾。CAV-MACは車両の進行方向により送信タイミングの制御を行い、交差する車両間で送信タイミングが重ならないように制御する。その結果、交差点での出会い頭事故のような建物で遮られた環境において隠れ端末の影響を低減することが期待できる。CAV-MACはOSI参照モデルの第2層、データリンク層に位置するプロトコルであり、論理リンク制御副層とMAC副層の間に配置する。

本稿では、UHF帯ITS車々間通信システム通信端末の仕様を最近の資料を参考にして規定する。またASV推進計画で提案されている事故シナリオから出会い頭衝突事故のシナリオを参考に車両配置を決める。その後、車々間通信における隠れ端末問題の発生要因を説明し、隠れ端末の発生範囲の算出方法を示す。また、提案方式であるCAV-MACを上記で規定したUHF帯ITS車々間通信システムや車両配置の場面に導入した場合の隠れ端末問題に対する改善効果について報告する。

2. システム概要

ASV推進計画では安全運転支援システムとして、情報交換型運転支援システムを提案している。情報交換型運転支援

システムは、各車両が自車両の位置、速度などの車両情報を周期的に一齐同報（ブロードキャスト）して周辺車両に自車両の存在を伝えるシステムである（図1）。本稿でも同様のシステムを想定する。

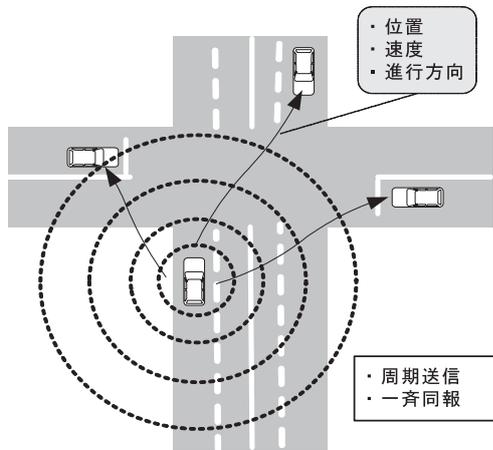


図1 ASV情報交換型運転支援システム

Fig.1 ASV inter-vehicle communication type driving support system

2.1 端末仕様

ITS情報通信システム推進会議の車々間通信システム専門委員会/無線方式検討WGでは、ASV-4のアプリケーション要件に対応した通信規格の検討がなされている。無線方式検討WGの平成19年度活動報告書（以下、活動報告書）を参考にして、本稿で使用するITS通信端末の仕様を定めた（表1）。

表1 ITS通信端末仕様

Table1 Specifications of ITS Communication Terminal

物理層	IEEE802.11p
MAC層	IEEE802.11 DCF
チャンネル数	1
通信速度	12 Mbps
中心周波数	720 MHz
周波数帯域	10 MHz
送信出力	20 dBm
受信感度	-77 dBm
キャリアセンス感度	-77 dBm
受信閾値（DU比）	14dB
通信距離	見通し内：780m 見通し外：125m
伝搬損失	見通し内：式(1) 見通し外：式(2)
パケット送信周期	100 msec
データサイズ	100 byte
パケットバースト長	125 μsec

伝搬損失式

活動報告書に記載されている伝搬損失式を基に以下の伝搬式を定義する。

見通し内通信の場合：

$$L_{Los}(d) = 21.8 + 26 \log(d) \quad (1)$$

見通し外通信の場合：

$$L_{NLos}(d) = \begin{cases} L_{Los}(d) & \text{when } d \leq 23.36 \\ 51.5 \log(d) + 0.0216d - 13.6 & \text{when } d > 23.36 \end{cases} \quad (2)$$

但し、式(1)、式(2)の単位は、デシベル [dB] であり、式(1)、式(2)のdはITS通信端末間の距離 [m] を表す。

3. 道路モデルと動作シナリオ

図2に道路モデルと注目車両の配置を示す。

道路モデルは、ASV-4において検討されている東京銀座市街地のモデルを参考に、50mメッシュの道路配置とした。また、注目車両の車両配置は活動報告書に記載されている動作シナリオ4: 出会い頭衝突防止（一時停止規制あり）に準じた配置を用いる。

図中の1当車両とは、自動車事故において、事故を起こす側の車両である。同じく2当車両は、事故に巻き込まれる側の車両である。

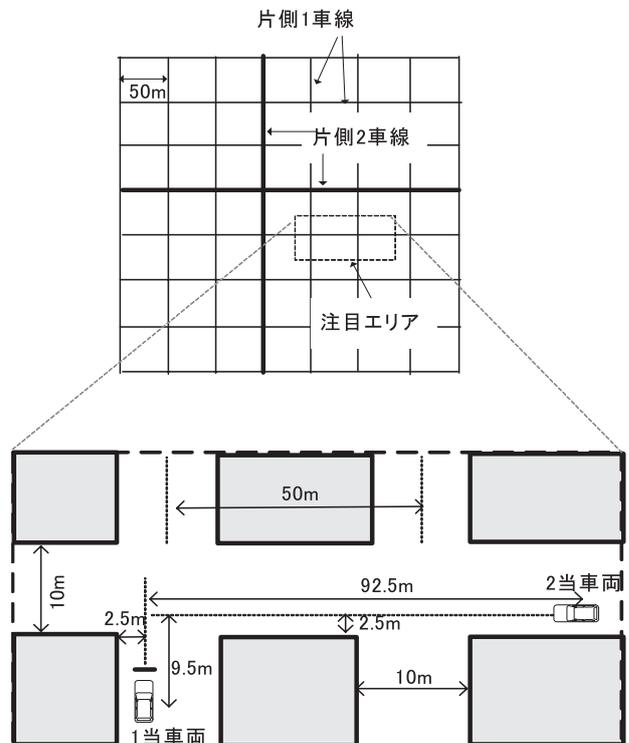


図2 道路モデルと注目車両配置

Fig.2 Road model and location of focused vehicles

4. システム評価指標

活動報告書のシナリオでは、2当車両から1当車両へ情報提供を行い、1当車両側では提供された情報を利用して運転手に事故防止の支援を行なうことを想定している。よって、本稿でも2当車両から1当車両へのパケット到達率をシナリオの評価指標として使う。パケット到達率の基準値を活動報告書に記載されている89%とする。

5. 隠れ端末の存在範囲

隠れ端末問題の発生要因と隠れ端末範囲の算出方法について述べる。

5.1 CSMA方式

CSMA方式では、パケットを送信する際、パケット送信に先立ち、キャリアの検出（キャリアセンス）を行い他の端末がパケット送信中でないか確認する。キャリアを検出できなかった場合は、そのままパケットを送信するが、キャリアを検出した場合は、遅延の後、再度送信を試みる。この機能によりパケット衝突の確率を低減できる。このキャリア検出を判定する受信電力レベルの閾値をキャリアセンス感度という。

5.2 隠れ端末問題

隠れ端末問題は図3のような状況で発生する。このとき、端末Aと端末Bの間ではキャリアセンスに失敗するので相互に任意のタイミングでパケットを送出する。送出時間が重なったとき、その間に存在する端末（被害端末）には、端末Aと端末Bの送信信号が衝突した状態で到来し、正常に受信できなくなる。これを隠れ端末問題と呼ぶ。また端末A（端末B）から見て端末B（端末A）を隠れ端末と呼ぶ。

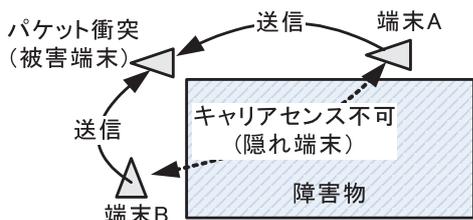


図3 隠れ端末問題
Fig.3 Hidden Terminal Problem

また、被害端末においてパケット衝突が発生した場合でも、隠れ端末からの受信レベル差が大きい場合、捕捉効果により、強い受信レベルのパケットを受信できるようになる。このレベル差をDU比と呼んでいる。

たとえば、本稿の動作シナリオを想定した図4のような端末配置の場合において、1当車両を被害端末、2当車両を1台目の隠れ端末と仮定したときに、第3の車両が2台目の隠れ端末となる範囲を隠れ端末範囲と定義して、その範囲の算出方法を次節で説明する。

5.3 隠れ端末範囲

1当車両と2当車両の位置を固定して考えると、隠れ端末範囲は図4に示すように2当車両のキャリアセンス境界と、1当2当車両間の受信レベルと1当と第2の隠れ端末の受信レベルとの差がDU比になる境界で囲まれた範囲となる。

この範囲を、見通し内、見通し外の伝搬損失とキャリアセンス感度を考慮することにより、隠れ端末範囲が計算可能である。

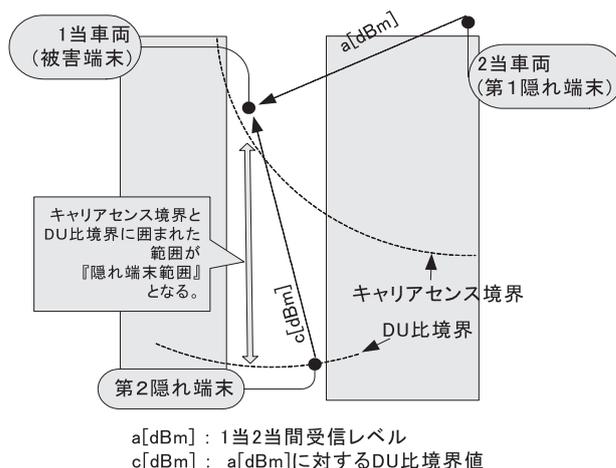


図4 隠れ端末の存在範囲
Fig.4 Explanation of Existing Area of Hidden Terminals

6. 提案方式

提案方式であるCAV-MACについて説明する。CAV-MACは自転車の進行方向に従って送信タイミングの制御を行なう。すなわち、すべての車両で時刻同期がとれているものとして、各車両で送信周期を一致させる。また、送信周期の中で、進行方向を基準として、送信可能な時間範囲を決めておく。具体的には、道路は基本的に直交していることを利用して、以下のような処理に従う。

- ・送信周期に、 0° から 180° までを割り付ける。
- ・進行方向を基準に送信周期の半分を送信許可範囲に設定する。
- ・送信許可範囲の中からランダムに送信タイミングを選択する。
- ・選択した送信タイミングで、パケット送信処理（CSMA）を行う。

なお進行方向は、 0° から 360° の値をとるが、 180° 以上は、その値から 180° を引くことで、 0° から 180° の範囲になるように調節する。

例えば、道路が東西南北に伸びているとき、東西方向（ 0° ）を走行する車両と南北方向を走行する車両（ 90° ）は、図5のような送信許可範囲をとり、お互いの送信パケットは衝突しない。車々間通信環境での隠れ端末は、図3のように

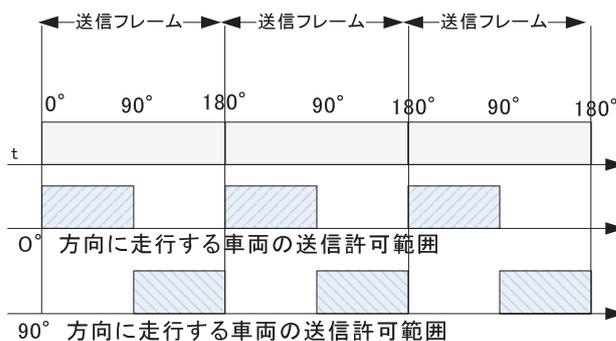


図5 進行方位送信タイミング制御
Fig.5 Transmitting timing control by vehicular direction

交差する道路を走行する車両が隠れ端末となり、その間に位置する車両が被害端末となる確率が高い。よって提案方式により、交差する車両間で送信タイミングを分離でき、パケット衝突の確率を減らすことが期待できる。

なお、CAV-MACプロトコルの詳細な説明は、文献(4)にも記載している。

7. 計算

3章で説明した出合い頭衝突のシナリオでの、隠れ端末の存在範囲とパケット到達率を計算する。通信パラメータは、表1に示したのものを使い、時刻や進行方位などの各測定値に誤差はないものとした。

7.1 隠れ端末の存在範囲

5章で説明した方法により、出合い頭事故のシナリオにおける隠れ端末の存在範囲を計算すると図6のような形状になる。

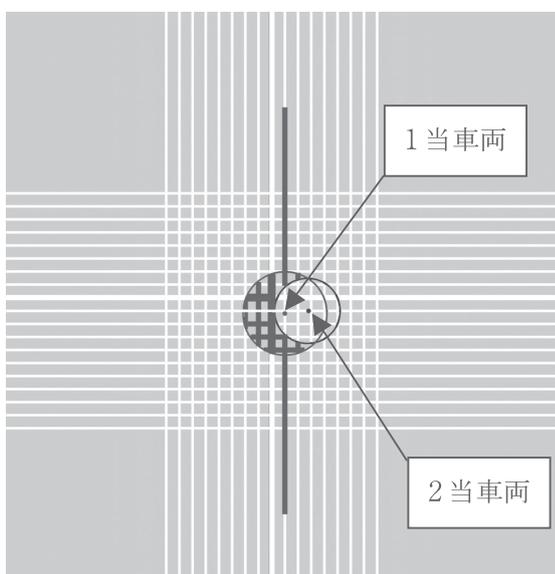


図6 隠れ端末範囲

Fig.6 Hidden Terminal Area

隠れ端末範囲は、道路長で9000m程度まで及ぶ。隠れ端末の存在範囲が非常に大きいことが分かる。

7.2 ネットワークシミュレーション

前節で計算した隠れ端末範囲に、車両を配置して、2当車両から1当車両へのパケット到達率を計算機シミュレーションにより算出する。シミュレーションにおいて、時刻同期誤差や進行方位などの測定誤差は無いものとした。

計算結果を図7に示す。パケット到達率89%維持を基準とすると、CAV-MACは150台、従来方式は37台程度であり、従来方式に比べて4倍の隠れ端末(車両)台数に耐えられる結果となっている。これを平均車間距離で表現すると、CAV-MACは、60m、従来方式は、241mである。

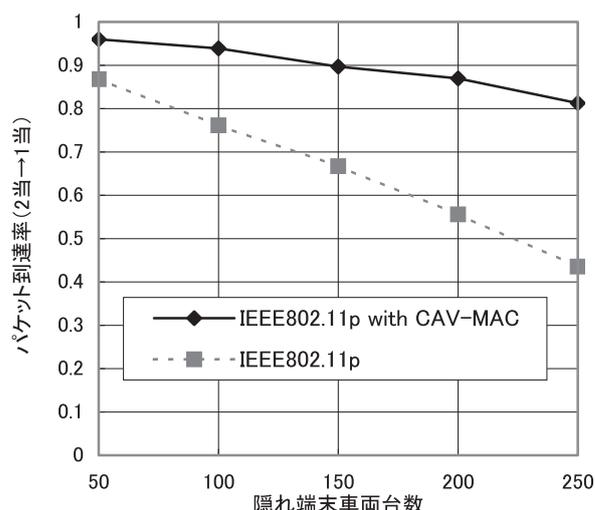


図7 2当→1当車両パケット到達率

Fig.7 Packet Arrival Rate of focused vehicles

8. あとがき

本稿では、提案方式であるCAV-MACをUHF帯ITS 車々間通信システムに適用した場合の効果について報告した。出合い頭事故のシナリオにおいて、隠れ端末の存在範囲を算出し、その範囲が極めて大きいことを示した。CAV-MACの動作原理を説明し、CAV-MACにより隠れ端末の影響を低減できる可能性を示した。また、CAV-MACと従来方式のパケット到達率を計算した結果、パケット到達率89%を確保するには、従来方式では平均車間距離を241m以上にする必要があるが、提案方式では60m以上で良いことを示した。

今後は、より多くの事故シナリオにおいてCAV-MACの検証を進めると共に、シミュレーションにおけるパラメータを精査して、シミュレーションをより信頼のできるものを作り上げる必要がある。また、CAV-MACをハードウェアに実装して、実験・検証・改良を進める予定である。

参考文献

- (1) 総務省 報道資料, 「VHF/UHF帯における電波の有効利用のための技術的条件」に関する情報通信審議会からの一部答申及び意見募集の結果, http://www.soumu.go.jp/s-news/2007/070627_4.html
- (2) 国土交通省自動車総合安全情報, <http://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/01asv/>
- (3) ITS情報通信システム推進会議, <http://www.itsforum.gr.jp/>
- (4) K. Seki, "Data relay performance of 5.8GHz inter-vehicle communications (The Second Report)", ITS World Congress, 2006.
- (5) 新井, 浅見, "見通し外の車群間で送信タイミング制御を行なう車両安全のためのCSMA MACプロトコル", 信学技報 ITS2007-80 (2008-03)

用語一覧

UHF: Ultra High Frequency (極超短波)

ITS: Intelligent Transport Systems (高度道路交通システム)

車々間通信システム専門委員会: 2008年7月より『運転支援通信システム
専門委員会』に名称変更

ASV: Advanced Safety Vehicle (先進安全自動車)

CSMA: Carrier Sense Multiple Access

CAVIAR: Collision Avoidance Vehicle Information Anchored Relay

OSI: Open Systems Interconnection

車々間通信: 車と車の間で直接情報をやり取りする通信形態

ASV推進計画: ASVの開発・実用化・普及を促進するプロジェクト

一斉同報: 不特定多数の宛先に向けた通信 (ブロードキャスト)