

特集 車車間・路車間共用通信システムにおけるPrioritized CSMAプロトコルの通信特性評価*

Performance Evaluation of Prioritized CSMA Protocol in Integrated V2V and R2V Communication Systems

古山 卓宏

Takahiro FURUYAMA

平山 泰弘

Yasuhiro HIRAYAMA

澤田 学

Manabu SAWADA

Recently, Vehicle Safety Communications (VSC) using Vehicle-to-Vehicle (V2V) and Roadside-to-Vehicle (R2V) communications have attracted much attention in the field of Intelligent Transportation Systems. An integrated V2V and R2V communications system as an advanced VSC has been studied intensively. It uses a Carrier-Sense-Multiple-Access (CSMA) based protocol, and the both communications of V2V and R2V shares the same frequency by employing a time division technique. To realize the integrated V2V and R2V communication system, it is necessary that On-board equipment (OBE) shares the communication periods of R2V and V2V communications in the communicable area of R2V, and performs only V2V communications in the non-communicable areas of R2V. Furthermore, in order to reduce the degradation of V2V and R2V communication quality, it is necessary to prevent interference between R2V and V2V communications caused by the hidden terminal problem.

In this paper, we propose a Prioritized CSMA (P-CSMA) protocol. P-CSMA divides time into V2V and R2V communications by distributing an R2V communication period (Slot Information: SI). Moreover, in the case where multiple Roadside units (RSUs) exist, we propose two SI distribution schemes to distribute each R2V communication period of multiple RSUs. The first is All-slot distribution which transmits all R2V slots of nearby RSUs. The second is One-slot distribution which transmits only its own R2V slot. We evaluate the V2V and R2V communication performance using simulation and show that the proposed protocol reduces interference between V2V and R2V communications.

Key words : V2V communication, R2V communication, Integrated V2V and R2V communication systems

1. まえがき

Intelligent Transport System (ITS) において、車車間 (Vehicle-to-Vehicle : V2V) 通信や路車間 (Roadside unit-to-Vehicle : R2V) 通信を用いて安全運転支援を行う Vehicle safety communications (VSC) の研究・開発が行われている¹⁾²⁾³⁾。V2V通信では車両の位置や速度等の車両情報を相互に交換し、R2V通信では路側機 (Roadside unit : RSU) からの信号情報等を車両へ送信し、安全運転支援を行う。VSCの実用化に向けて、V2V通信とR2V通信を時間的に分離する車車間・路車間共用通信システムが検討されている⁴⁾。ここでは、V2V通信とR2V通信の区別なくサービスを受けることができることによるユーザーメリットや、1つの車載機 (On-board equipments : OBE) でV2V通信とR2V通信が利用できるシステム構成の合理化の観点より、V2V通信及びR2V通信の共用可能なシステムが適当と考えられている⁴⁾。また、北米や欧州との共

通性を図るために、無線アクセス方式としてCarrier Sense Multiple Access (CSMA) を前提とした検討が行われている。さらに、V2V通信及びR2V通信ではブロードキャストが想定されており、すべての端末が同一の周波数を利用できることが望ましく、周波数分割より時分割が有利とされている⁴⁾。

車車間・路車間共用通信システムにおいて、周波数を有効利用するために、RSUが通信可能なエリアでは、V2V通信とR2V通信の双方に通信時間を割り当て、RSUの通信可能なエリア外では、V2V通信に全ての通信時間を割り当てる方法を検討する必要がある。また、Fig. 1のように、隠れ端末問題によりV2V通信とR2V通信との間の干渉が発生する可能性があり、この隠れ端末問題による干渉を回避することが必要である。

そこで本稿では、RSUからR2V通信期間情報 (Slot Information : SI) をOBEに通知することでV2V通信とR2V通信を時間的に分離するPrioritized CSMA (P-

* (社) 電子情報通信学会の了解を得て、「2011年 信学技報」Vol. 111, No. 219, ITS2011-15, pp. 31-36より一部加筆して転載

CSMA) プロトコルを検討する⁵⁾。P-CSMAでは、OBEはRSUから通知されたSIに従って、R2V通信期間外で送信を行う。さらに、SIを受信したOBEが、他のOBEにSIを転送することで、隠れ端末による干渉を低減する。また、SIの転送範囲を制限することにより、V2V通信とR2V通信を共用するエリアを制限し、RSUが通信可能なエリア外においてV2V通信のみ行うことができる。この場合、転送範囲の制限が、V2V通信やR2V通信に与える影響を評価する必要がある。

また、P-CSMAにおいて、複数のRSUが存在する場合、全てのRSUのR2V通信を、V2V通信と時間的に分離する必要がある。これを実現するために、本稿では、2つのSI通知方法（全局分通知と自局分通知）を提案する。全局分通知では、各RSUが近隣RSUの全てのR2V通信期間をSIに含めて通知する。自局分通知では、自局のR2V通信期間のみをSIに含めて通知する。この2つのSI通知方法について、転送回数を変化させたときの、V2V通信とR2V通信の特性についてシミュレーションにより評価する。

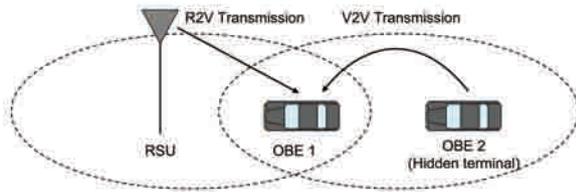


Fig. 1 Hidden terminal problem

2. P-CSMAプロトコル

本節ではP-CSMAプロトコルの詳細について示す。

2.1 V2V通信とR2V通信の通信時間割り当て

P-CSMAでは通信リソースをR2VスロットとV2Vスロットに時間的に分離する。Fig. 2はFig. 1におけるRSUとOBEの、R2VスロットおよびV2Vスロットの通信時間割り当てを示している。通信時間は周期的なフレームに分割されており、フレーム毎にR2VスロットとV2Vスロットが割り当てられる。R2VスロットではRSUのみ送信を行い、OBEは送信を禁止される。V2VスロットではOBEのみCSMAにより送信を行う。また、R2VスロットとV2Vスロットの割り当て情報をOBEに通知するために、P-CSMAではR2V通信期間情報 (SI) を使用する。

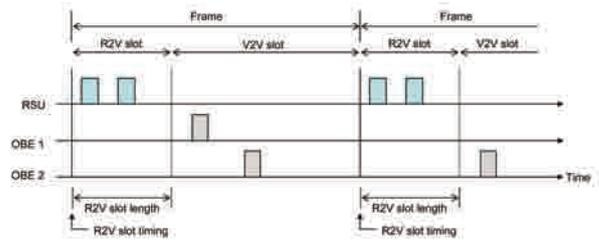


Fig. 2 R2V and V2V slot assignment

2.2 パケットフォーマット

Fig. 3はP-CSMAにおけるパケットフォーマットを示す。SIヘッダはIEEE802.11ヘッダとデータペイロードの間に追加される。SIヘッダは以下のフィールド情報を含んでいる。

- (1) Timer
- (2) Reuse number (RN)
- (3) R2V slot timing
- (4) R2V slot length

ここで、(1)のTimerフィールドは、RSUまたはOBEが持っているタイマーの値を入れるフィールドである。このフィールドは、フレーム開始時刻をRSUとOBEの間で同期するために使用する。(2)のReuse number (RN)はOBEがSIを転送した回数を示す。RNはSIの通知範囲を制限するために使用する。(3)のR2V slot timing (R2Vスロットタイミング) フィールドは、1フレーム中における相対的なR2Vスロットの開始時刻を示す。このフィールドは複数持つことができ、複数の路側機がある場合には、SIヘッダには近隣RSUのR2Vスロットタイミングを含むことができる。(4)のR2V slot length (R2Vスロット長) フィールドはR2Vスロット期間の長さを示す。

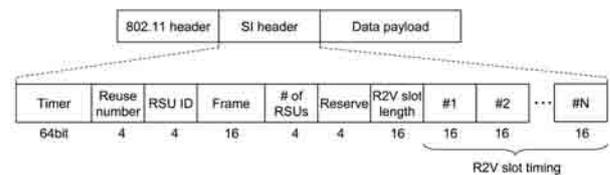


Fig. 3 Packet format of SI header

2.3 RSUからOBEへのSIの通知

Fig. 4を用いてSIを使用したアクセス手順を説明する。

RSUはR2Vスロット情報 (R2VスロットタイミングとR2Vスロット長) をSIにセット後、SIをペイロードに付加したパケットを生成し、R2Vスロット内でパケ

ットをブロードキャスト送信する。ここで、Timerフィールドにはパケット送信時のRSUのタイマー値を付加する。RSUから直接SIを受信したOBE 1は、Timerフィールドの値に、自身のタイマーを合わせる。さらに、OBE 1はSIに含まれるR2VスロットタイミングとR2Vスロット長からR2Vスロット期間を算出し、その間はチャンネルがビジーであると判断し、通信を行わないようにする。

ここで、RSUはRSUから隠れ端末となるOBE 2に対してSIを通知できない。そのため、OBE 1はRSUから受信したSIよりR2Vスロット情報をコピーして、新規にSIを生成する。さらに、生成したSIをパケットに付加してV2Vスロット内で転送することで、隠れ端末へのSI通知を実現する。Timerフィールドには、OBE 1が送信するときのタイマー値を付加する。

2.4 SIの通知範囲制限と破棄

R2V通信に干渉しないOBEに対してのSI通知や、OBEがR2V通信可能エリアから出た後もSIを保持し続けると、R2V通信可能エリア外においても、OBEの送信が禁止されるため、V2V通信に全ての通信時間を割り当てることができない。そこで、RNフィールドを使用してSIの通知範囲を制限する。Fig. 4のようにOBEはSIを転送するとき、RNの値に1を加算する。SIを受信したOBEは、そのSIに含まれるRNの値が、予め設定した最大転送回数に達した場合、転送しないようにすることで、SIの通知範囲を制限する。さらに、Fig. 5のように、OBEがRSUの通信エリアから出るなどして、SIを受信できない状況が一定時間経過すると、RNに1を加算する。RNが最大転送回数に達した場合、SIを破棄しR2V通信時間を解放する。

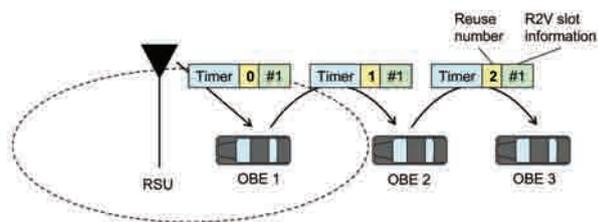


Fig. 4 Access procedure

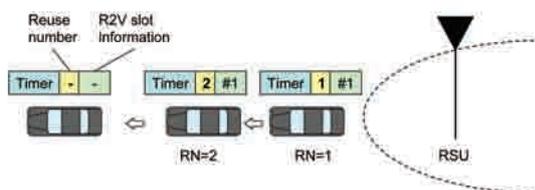


Fig. 5 Restricting SI distributions

2.5 複数RSUがある場合のSI通知方法

本節では複数のRSUがある場合のSI通知方法について示す。RSUが複数ある場合、R2V通信とV2V通信との干渉を回避するために、全てのRSUのR2Vスロット期間、OBEの送信を禁止する必要がある。Fig. 6はRSUが2つある場合の、V2V通信とR2V通信間の干渉発生の様子を示す。RSU 1およびRSU 2がパケットを送信中に、OBE 2がパケットを送信すると、OBE 1においてパケットの衝突が発生する。そのため、Fig. 7のように、RSU 1とRSU 2のR2Vスロット期間、OBEの送信を禁止する必要がある。そこで、SIの通知方法として全局分通知（All-slot distribution : ASD）と自局分通知（One-slot distribution : OSD）の2通りを提案する。

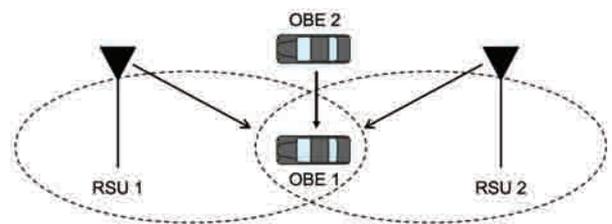


Fig. 6 Interference to two R2V communications

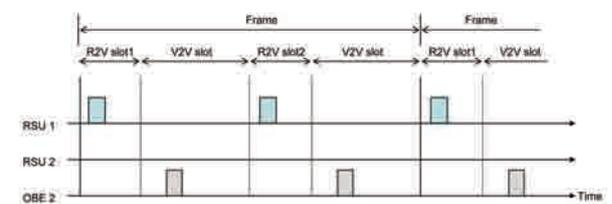


Fig. 7 R2V slot assignment

2.5.1 全局分通知

全局分通知ではRSUが近隣RSUの全R2Vスロット情報をSIに含めてOBEに通知する。Fig. 8 (a)に全局分通知のSI通知方法を示す。RSU 1は、RSU 1のR2Vスロット情報（図中の#1）とRSU 2のR2Vスロット情報（図中の#2）を、SIに含めて送信する。同様にRSU 2は、R2Vスロット情報#1と#2を送信する。SIには両方のR2Vスロット情報が含まれている。そのため、OBE 1は受信した最新のSIに含まれるR2Vスロット期間を、送信禁止期間とする。さらに、受信したSIのR2Vスロット期間を、そのまま転送することで隠れ端末に全R2Vスロット期間を通知することができる。

全局分通知はRSUが他のR2Vスロット情報も送信するため、R2Vスロット情報を受信できるOBEが増加し、R2V通信品質の向上が期待できる。一方で、RSU送信

データ量の増加によるV2V通信期間の減少が顕著になり、V2V通信品質が低下する可能性がある。

2.5.2 自局分通知

自局分通知では、RSUは自局のR2VスロットタイミングのみをSIに含めてOBEに通知する。Fig. 8 (b) に自局分通知のSI通知方法を示す。RSU 1とRSU 2は、自局のR2Vスロット情報のみをSIに含めて送信する。全局分通知と異なり、OBE 1が受信した最新のSIは、1つのR2Vスロット情報 (#1もしくは#2) しか含まれていない。そのため、OBE 1は受信したR2Vスロット情報を保持しておき、新しく受信したR2Vスロット情報を追加・統合することで、全てのR2Vスロット期間、送信を禁止する。

自局分通知では全局分通知と異なり、複数のRSUから異なるRNを含むSIを受信する可能性がある。この場合、どのR2Vスロット情報を統合し、転送するかを判断する必要がある。自局分通知では、最小のRNを持つSIのR2Vスロット情報を統合・転送する。Fig. 9を用いて、R2Vスロット情報の統合手順を説明する。Fig. 9では、まずOBE 1がRSU 1から転送されたSIを受信すると、OBE 1は自身のデータベースに、受信SI中のRNとR2Vスロット情報を追加する。同様に、RSU 2、RSU 3からSIを受信した場合、RNとR2Vスロット情報を追加する。このとき、OBE 1のデータベースには受信した3つのRNとR2Vスロット情報が保持されている。このうち2つのRNの値は1、残りのRNの値は2である。ここで、OBE 1は、データベースから最小のRN (RN=1) であるR2Vスロット情報 (#2と#3) を選択し、この2つのR2Vスロット期間を統合して、送信禁止期間とする。さらに、SIを転送する場合、R2Vスロット情報#2と#3をコピーして新規SIを生成し、RNを増加 (RN=2) して他のOBEへ転送する。

また、自局分通知では全局分通知と異なり、OBEはRSUから直接受信した、または他車両から転送されたSIに含まれるR2Vスロット期間のみ、送信を禁止する。そのため、全局分通知と比較して、RSU送信データ量の増加によるR2V通信期間の長さの増加を抑え、V2V通信の通信期間が増加し、V2V通信品質が向上する可能性がある。一方で、R2Vスロット情報を受信できるOBEが減少し、R2V通信品質が劣化する恐れがある。

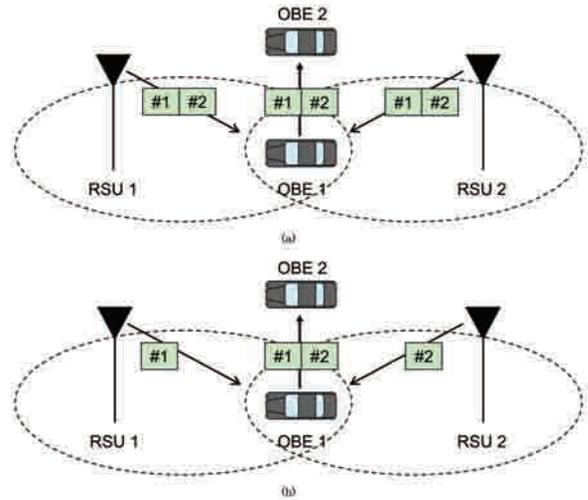


Fig. 8 SI distribution scheme

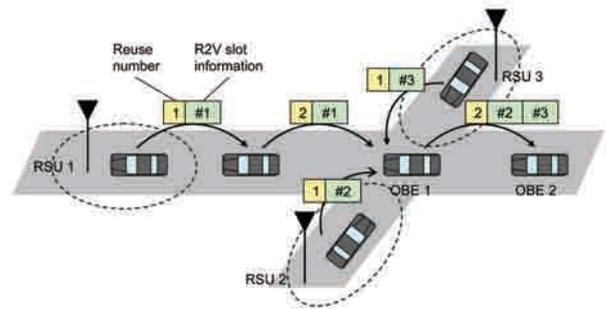


Fig. 9 SI integration procedure

3. R2V通信およびV2V通信品質の評価

本節では、転送回数およびRSU送信データ量を変化させた場合の、P-CSMA方式のR2V通信とV2V通信の通信品質をシミュレーションにより評価する。

3.1 シミュレーションモデル

Fig. 10 (a) に道路モデルとRSU配置を示す。本道路モデルでは、片側3車線の幹線道路と片側2車線の主要道路を300m毎に配置する。また、片側1車線の細街路を50m間隔で配置する。幹線道路と主要道路の交差点にはRSUを9台配置する。Fig. 10 (a) 中の数字は1フレーム内での、R2Vスロット割り当て位置を示しており、それをFig. 10 (b) に示す。ここでは、9つの異なるR2Vスロットを割り当てている。そのため、全局分通知では、各RSUは、9つのR2Vスロット情報をSIに含めて送信する。Fig. 11は、シミュレーションで評価するRSUとOBEの配置を示す。R2V通信は237.4m離れたRSU 5とOBE 1の間で評価する⁶⁾。V2V通信は

84.7m離れたOBE 2（送信車両）とOBE 3（受信車両）の間で評価する⁶⁾。OBE 2とOBE 3は各々片道3車線と、片道1車線にそれぞれ配置した。Table 1にシミュレーション諸元を示す。伝搬損失モデルはITU-R P.1411-5⁷⁾を用いた。RSU送信データ量は1000, 4000, 7000bytesとし、1000bytes以上のときは、RSUは送信データを複数のデータに分割して、分割したデータにそれぞれに同じSIを付加して送信する。なお、最大転送回数は1または2に設定した。

物理層における伝送方式は、文献⁸⁾に規定されるOFDM-PHY・10MHzチャンネル間隔の規格に従う。また、MAC層は、OBEでは文献⁸⁾に規定されるDistributed Coordination Function (DCF)に従い、送信禁止期間外でブロードキャスト送信を行う。RSUではキャリアセンスを行わず、Short interframe space (SIFS) 間隔でパケットを連続送信する。

本稿ではR2V通信およびV2V通信品質を積算パケット到達率（積算PAR：積算Packet arrival rate）により評価する。積算PARは受信車両が5m移動する間に少なくとも1回パケットを受信する確率とする。本シミュレーションでは以下の計算式より算出する。

$$PAR = 1 - (1 - P)^{N_x} \quad (1)$$

P は受信車両におけるパケット到達率、 N_x は受信車両が x [m] 移動する間に受信車両が受信するパケット数の期待値を示す。本シミュレーションでは車両が70[km/h]で移動し、RSUとOBEが100ms間隔で送信すると仮定し N_5 を2.6とした。 P は送信車両が100パケット以上送信したときの、受信車両におけるパケット到達率を示す。

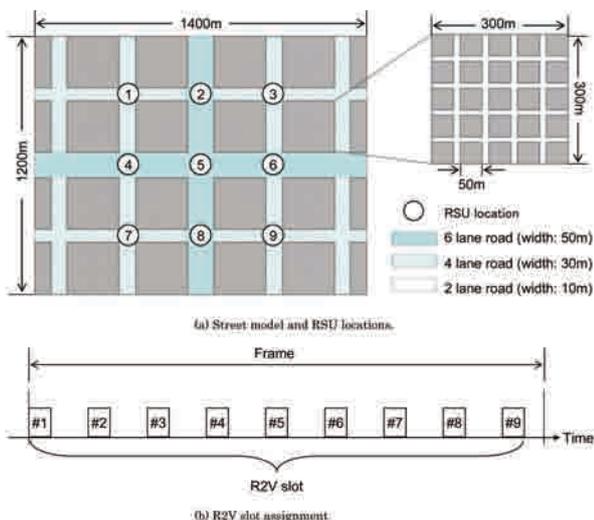


Fig. 10 Simulation model

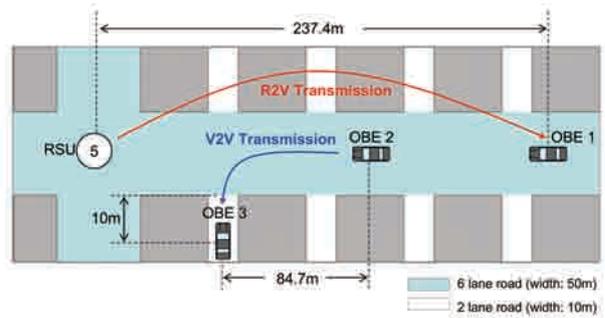


Fig. 11 RSU and OBE positions

Table 1 Simulation Parameters

	RSU	OBE
Transmission power [dBm]	19	
Modulation	16QAM	QPSK
Packet size [bytes]	1000	100
RSU data size [bytes]/ RSU slot length [ms]	1000 / 0.792 4000 / 3.168 7000 / 5.554	-
Frame length [ms]	100	
Antenna height [m]	6.0	1.5
Antenna directionality	Omni directional	
Antenna gain [dBi]	0	
Feeder loss [dB]	0	3
Minimum detectable sensitivity [dBm]	-	-77 (16QAM) -82 (QPSK)
Desirable to Undesirable signal Ratio[dB]	-	14 (16QAM) 9 (QPSK)
Carrier sense threshold [dBm]	-	-85
Contention window size	-	63
Propagation model	ITU-R P.1411-5	
Vehicle density [vehicle/km/lane]	43	
Simulation time [s]	1.2	

3.2 シミュレーション結果

3.2.1 R2V通信の積算パケット到達率

Fig. 12はRSU送信データ量を1000, 4000, 7000bytesとした場合に、R2V通信の積算PARを全局分通知と自局分通知で比較したものである。最大転送回数が1 (Fig. 12 (a)) の場合、RSU送信データ量が1000bytesのとき、全局分通知および自局分通知の積算PARが低下している。これは、1フレーム中にRSUがSIを送信する回数が減少するためである。RSU送信データ量が7000bytesの場合、RSUは1000bytesずつ7つのパケットに分割して7回送信する。一方、RSU送信データ量が1000bytesの場合では、1フレーム中でRSUがSIを送信する機会は1回となるため、SIを受信できる車両が減少し、R2V通信の積算PARが減少したと考えられる。一方、最大転送回数が2 (Fig. 12 (b)) の場合、両通知方法において積算PARがほぼ100%となっている。これは、SIを2回まで転送することで、

最大転送回数が1の場合と比較して、SIを受信できる隠れ端末が増加し、R2V通信とV2V通信の干渉が減少したためと考えられる。なお、2.5.2節で述べたように、自局分通知は全局分通知と比較してR2V通信品質が劣化する可能性があると考えられるが、今回のシミュレーション条件の下ではR2V通信品質の劣化は見られなかった。

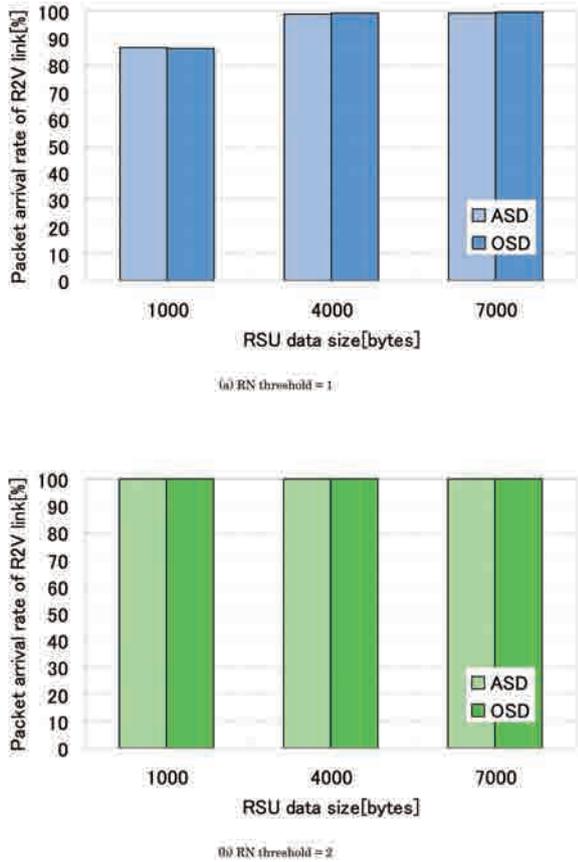


Fig. 12 The packet arrival rate of the R2V link

3.2.2 V2V通信の積算パケット到達率

Fig. 13 (a) は、最大転送回数を1とした場合のV2V通信の積算PARを、全局分通知と自局分通知とで比較した結果である。RSU送信データ量が増加すると、自局分通知では全局分通知と比較して積算PARが高くなっていることがわかる。これは、自局分通知では全局分通知に比べて、RSU送信データ量の増加によるR2V通信期間の長さの増加を抑え、V2V通信期間が増加したためと考えられる。Fig. 13 (b) は最大転送回数を2とした場合のV2V通信の積算PARを示す。Fig. 13 (a)と同様にRSU送信データ量が増加すると、自局分通知の積算PARが高くなっているのがわかる。これらの結果より自局分通知は全局分通知と比較して、V2V通信

品質を向上させる可能性があることがわかる。

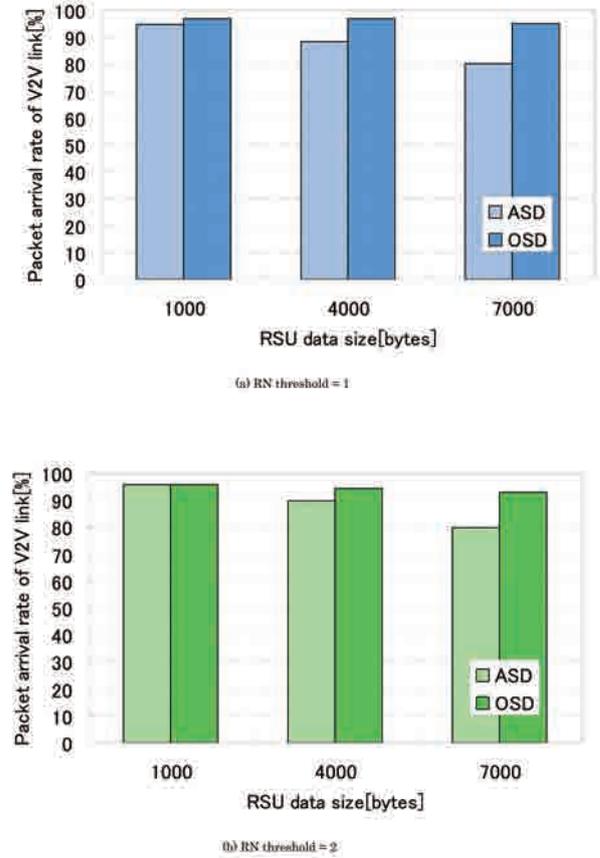


Fig. 13 The packet arrival rate of the V2V link

4. むすび

本稿では、R2V通信期間情報 (SI) の通知により、V2V通信とR2V通信を時間的に分離するP-CSMAプロトコルにおいて、近隣R2V通信期間を全て通知する全局分通知と、自局のR2V通信期間のみ通知する自局分通知の2つのSI通知方法を提案し、R2VとV2V通信のパケット到達率をシミュレーションにより評価した。結果、RSU送信データ量が小さい場合でも、SIの最大転送回数を増加することで、両通知方法においてR2V通信のパケット到達率が向上することを示した。これより、隠れ端末問題によるR2V通信とV2V通信間の干渉が低減できることを確認した。また、RSU送信データ量が増加したとき、自局分通知においてV2V通信のパケット到達率が向上することを示した。これより、自局分通知は全局分通知と比較してV2V通信特性を向上させる可能性があることを示した。さらに、SIの最大転送回数を1および2とした評価を行い、最大転送回数の増加によるR2V通信のパケット到達率の向上を示

した。一方で、最大転送回数を増加させると、V2V通信が劣化するエリアが拡大すると考えられるため、最大転送回数は、R2VとV2V通信に要求される品質に応じて、適切に設定する必要がある。

<参考文献>

- 1) 石其俊明, 長谷川孝明: マルチクラスゾーンITS情報通信方式における干渉の評価, 信学技報, ITS2009, Vol. 109, No. 459, pp. 13-18, March 2010.
- 2) 山里敬也, 岡田啓, 片山正昭: ASVアプリケーションにおけるマルチバンド車車間通信システムの性能評価, 信学技報, ITS2008, Vol. 108, No. 171, pp. 1-6, July 2008.
- 3) O. Maeshima, S. Cai, T. Honda, and H. Urayama: A roadside to vehicle communication system for vehicle safety using dual frequency channels, presented at IEEE ITSC 2007, pp. 349-354, 2007.
- 4) 総務省: ITS無線システムの高度化に関する研究会報告, 2009.
- 5) J. Kosai, S. Kato, T. Saito, K. Matsugatani, and H. Nanba: Prioritized CSMA Protocol for Roadside-to-Vehicle, SAE Paper, No. 2009-01-0166.
- 6) 松ヶ谷和沖: 車車・路車共用方式のシミュレーションおよびフィールド実験結果の紹介, IEEE Vehicular Technology Society 日本支部 ITS講演会, <http://www.ieee-jp.org/japancouncil/chapter/VT-06/vt.htm>, June 2010.
- 7) Recommendation ITU-R P. 1411-5, Propagation data and prediction methods for the planning of short-range outdoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 300MHz to 100GHz, International Telecommunication Union, Dec. 2009.
- 8) IEEE Standard for Information technology--Telecommunications and information exchange between systems--Local and metropolitan area networks--Specific requirements Part11:Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, IEEE Std 802. 11-2007, 2007.

<著 者>



古山 卓宏
(ふるやま たかひろ)
研究開発3部 修士 (工学)
無線通信システムの研究開発に
従事



平山 泰弘
(ひらやま やすひろ)
研究開発3部 博士 (工学)
無線通信システムの研究開発に
従事



澤田 学
(さわだ まなぶ)
研究開発3部 博士 (工学)
無線通信システムの研究開発に
従事