

大型車両を用いたマルチホップ VIS に関する一検討

藤村 嘉一[†] 長谷川 孝明[†]

[†] 埼玉大学大学院 理工学研究科 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255

E-mail: [†] {kaichi, takaaki}@hslab.ees.saitama-u.ac.jp

あらまし 本稿では、マルチホップ VIS を導入した車車間・路車間統合通信方式である VRCP 方式について述べられている。本提案方式では、大型車両をホッピング車両とすることにより、最大 3 ホップの通信で近隣車両との VIS を実現する。シミュレーションによる性能評価により、従来の VRCP 方式と比較して、マルチホップ VIS 方式を導入した VRCP 方式は、より低い通信失敗率を達成可能であることが示されている。また、提案方式は大型車両の通信機器搭載率が 0.4 以上において効果があることが示されている。さらに本稿では、安全性に関わるアプリケーションにおける VIS を目的としているが、情報提示系・警告系のアプリケーションなどを想定した通信失敗率 10% を満たす所要周波数帯域幅は 77.4MHz、制御系・自動運転系のアプリケーションを想定した通信失敗率 3% を満たす所要周波数帯域幅は 129.0MHz であることが示されている。

キーワード 車車間通信, 路車間通信, マルチホップ, VIS, 大型車両

A Study on Multi-hop Vehicle Information Sharing Using Heavy Vehicles

Kaichi FUJIMURA[†] Takaaki Hasegawa[†]

[†] Graduate School of Science & Engineering, Saitama University

255 Shimo-okubo, Sakura-ku, Saitama-shi, Saitama, 338-8570 Japan

E-mail: [†] {kaichi, takaaki}@hslab.ees.saitama-u.ac.jp

Abstract This paper describes VRCP that is a protocol integrating inter-vehicle communications with road to vehicle communications including multi-hop vehicle information sharing (multi-hop VIS). The proposed scheme realizes VIS in neighbor vehicles with three hops by hopping heavy vehicles. From the results of simulation, VRCP including multi-hop VIS achieve lower communication failure rate than VRCP. Also, this proposed scheme shows good performance in more than 0.4 of penetration ratio in heavy vehicles. Moreover, for the purpose of realizing VIS in applications related vehicle safety, it is showed that the required frequency bandwidth achieving 10% of communication failure rate is 77.4 MHz, and the required frequency bandwidth achieving 3% of communication failure rate is 129.0 MHz in the proposed scheme.

Keyword Inter-Vehicle Communications, Road to Vehicle Communications, Multi hop, Vehicle Information Sharing, Heavy vehicle.

1. まえがき

現在、ITS では様々なアプリケーションが検討されているが、その中でも車両の安全性に関わるアプリケーションは特に重要とされている。そのようなアプリケーションを実現するためには、各車両が持っている位置情報や速度・加速度情報などのフロントシート情報を近隣車両間において共有する VIS (Vehicle Information Sharing) [1] が必要不可欠である。VIS では、車両⇒インフラ⇒車両や、車両⇒車両のように車車間通信や路車間通信を用いて情報が交換される。

近年では、車車間通信と路車間通信を統合した通信方式に関する研究が盛んに行われている [2]~[4]。これらの方式では、たとえば路車間通信を車車間通信の制御に用いることで、より高性能な車車間通信を実現することや、路車間通信をデータ通信に用いることで、

車車間通信の失敗を補完することなどが考えられている。この中で、著者らはインフラの存在に依存しないシームレスな VIS の実現のための統合通信方式として VRCP 方式を提案している。本方式では、路車間通信を車車間通信の制御とデータ通信の両方に用いている。

一方、車車間通信や路車間通信による VIS の実現のためには、シャドーイングが深刻な問題となる。シャドーイングは大型車両や障害物によって引き起こされるが、特に大型車両の影響が大きく、大型車両の存在が車車間通信や路車間通信の通信遮断に大きな影響を与えることが明らかにされている [5]。また、著者らが検討を進めている統合方式である VRCP 方式の性能評価においても、大型車両によるシャドーイングは通信失敗率に深刻な影響を及ぼすことが示されている [2]。

一般的にシャドーイングを解決するためには、マル

チホップ通信によってシャドーイング経路の代替経路を経由して通信を行うことが有効である[6]。これまで、ITSにおけるマルチホップ通信方式として様々な提案がなされている[7]~[11]。文献[7]は、2ホップ以内の車両間において車群を形成し、その車群情報を利用することにより効率的にブロードキャストを行う方式である。また文献[8][9]は、車車間通信の特徴である車両の走行方向や情報の流れる方向に着目し、その前後情報から中継端末を選択する方式である。しかし、これらの検討ではマルチホップ通信における効率的な経路選択に関する検討が主体であり、大型車両や障害物によるシャドーイングの影響に関する検討が不足している。これに対して、文献[10]ではシャドーイング環境下におけるマルチホップ通信に関する検討が行われている。また文献[11]では大型車両を基点としたマルチホップ通信を行うことでシャドーイングを回避する手法が提案されている。しかし、文献[11]では車線毎に車群が形成されるため、VISの観点からいえば、複数の車線間における車群形成が課題である。

本論文では、文献[11]と同様に大型車両を経由してマルチホップ通信を行うことでシャドーイングを回避し、さらに近隣車両間におけるVISを実現するマルチホップVISを提案する。また、著者らが検討を進めている統合方式であるVRCP方式へのマルチホップVISの適用に関して述べる。

本論文の構成は下記の通りである。2.ではマルチホップVISの適用を行う方式であるVRCP方式の概要を述べる。3.では本論文で提案するマルチホップVISおよびそのVRCP方式への適用に関して述べる。その提案方式の性能評価を4.で示し、5.でむすびとする。

2. VRCP方式

2.1. VRCP方式の概要

VRCP (Vehicle and Road-side Collaborative MAC Protocol) 方式は、基地局の存在有無に依存しないシームレスなVISを実現する方式である。VRCP方式は図1のように2つのチャンネル(CH1, CH2)を用いる。基本的にVISはCH1を通して行われ、CH2は基地局により用いられ、CH1へのアクセスを制御するためや、補完的なデータ通信を行うために用いられる。VRCP方式では2モードの通信が行われる。ひとつは基地局の通信範囲外でのMode-Aであり、Mode-Aの車両は図1(a)のようにCH1をランダムアクセスチャンネルとみなし、non-persistent CSMA方式によるコンテンション型の通信を行う。一方、基地局の通信範囲内ではMode-Iによる通信が行われ、Mode-Iの車両は基地局からFCMS (Frame Control Message Slot) を通して送られる

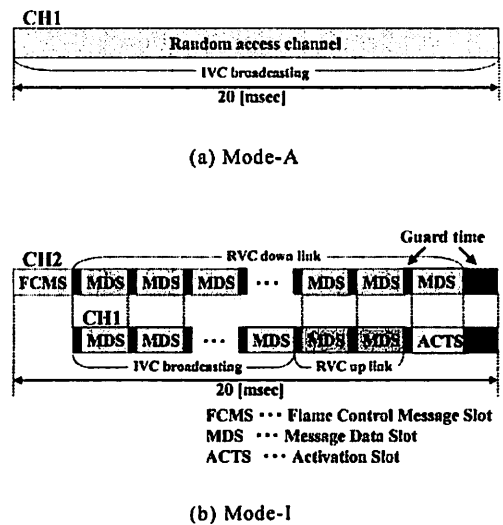


図1 VRCPの各モードにおけるチャンネル構成

制御信号を受信することにより図1(b)のようにCH1とCH2を複数のMDS (Message Data Slot) にスロット化し、基地局からそのMDSを割り当てられることにより、TDMA方式による定期的な通信を行う。この際の車両からのMDSの割り当て要求はフレームの最後尾にあるACTS (Activation Slots) で、slotted-ALOHA方式による競合を介して行われる。またVRCP方式では、基地局が連続的に設置される場合を想定し、各基地局が利用する帯域がTDMによりサブフレーム化され、このサブフレームを4基地局繰り返しで用いることにより、Mode-Iの車両間の通信干渉を回避している。この場合、各車両は常時2つの基地局が見えており、そのうち自車両に近い基地局に属する。

2.2. VRCP方式の課題

図2にVRCP方式のシミュレーション結果を示す。本評価は、道路長が2kmの8車線道路(片側4車線)において、車両密度を100Veh./km/laneとし、大型車両混在率を0.5とした大型車両混在環境下において、シャドーイングが発生する条件で行われたものである。評価指標は全送信パケットに関する通信失敗率であり、ここでは送信パケットが通信範囲内のすべての車両において受信に成功した場合以外は失敗とみなして計算される。シミュレーションでは基地局を道路の中央付近から連続的に配置する形で、最終的にはシミュレーションエリア全体が基地局の通信範囲内になる(図2の基地局数15に相当する)まで増加させる。

図2の結果より、シミュレーションエリア全体が基地局の通信範囲内となる基地局数15基の点においても、通信失敗率が0.2程度になることがわかる。この

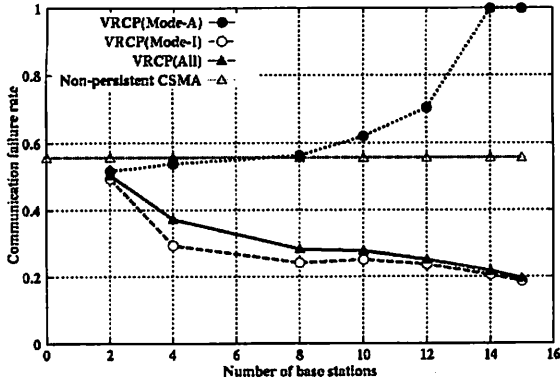


図2 VRCP方式のシミュレーション結果

主原因はシャドーイングによる通信遮断である。VRCP方式では、車車間通信において通信が失敗した場合においても、基地局が見通し通信範囲内に存在すれば、路車間通信により通信失敗データの補完が可能である。しかし、基地局が見通し外である場合、完全にその車両のデータは失われる。VRCP方式において、エリア全体が基地局の通信範囲内である場合、Mode-Aの車両（すなわち大型車両のシャドーイングにより基地局の見通し外となっている車両）がこの状況にあたる。よって、図2における基地局数15の点でのMode-Aの通信失敗率は1.0となる。このような通信失敗は、路車間通信によるデータの補完を用いるだけでは解決不可能であり、通信失敗率0.2程度以上の性能向上を達成するためには、マルチホップ通信によりシャドーイングを回避し、Mode-Aの車両のデータを近隣車両において共有可能な状態にする必要がある。

3. 大型車両を用いたマルチホップVIS

3.1. 大型車両を用いたマルチホップVIS

本節ではまず、シャドーイング環境下におけるVISを可能にするマルチホップ通信を提案する。ここでは、シャドーイング発生条件として、シャドーイングは大型車両⇒普通車両間においてのみ発生し、大型車両⇒大型車両間では発生しないものと仮定する。

提案するマルチホップVISでは、普通車両の近隣に存在する大型車両がホッピングを行う車両として選択される。本稿では、このホッピング情報を発生する普通車両のことをソース車両と呼び、ホッピングを行う大型車両のことをホッピング車両と呼ぶ。図3のような車両の配置例では、ソース車両であるaとbのホッピング車両としては大型車両Aが、ソース車両c、d、eのホッピング車両としては大型車両Bが選択される。また、大型車両Cは近隣にソース車両が存在しないた

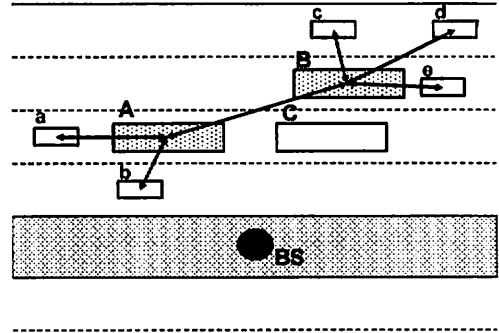


図3 マルチホップVIS方式におけるホッピング車両の選択

め、ホッピング車両として選択されない。このソース車両に対するホッピング車両の選択およびホッピングの制御は、路側の基地局（BS）によって行われる。基地局は、各ソース車両と大型車両の位置情報を把握しているものとし、その各車両の位置情報を基に各ソース車両に対するホッピング車両の選択を行う。

基地局によって選択されたホッピング車両は、受信したソース車両からの1ホップ目の情報を2ホップ目の情報として通信範囲内に対しブロードキャストする。さらにその2ホップ目の情報を受信したホッピング車両は、その情報を3ホップ目の情報として通信範囲内にブロードキャストする。この3ホップ目のブロードキャストにより、各近隣ソース車両間におけるVISは、大型車両によるシャドーイング環境下においても実現される。よって、3ホップ以上のブロードキャストは行わない。

大型車両における通信はシャドーイングの影響を受けないため、大型車両はホッピング車両として最適であるといえる。また、通信機器搭載率の観点からも、大型車両は安全性の面から比較的早い時期からの搭載が望まれるため、大型車両をホッピング車両として用いることは合理的であるといえる。

3.2. VRCP方式への導入

提案するマルチホップVIS方式では、基地局によるホッピング車両の選択とホッピングの制御が必要である。本稿では、これらの機能を実現する通信基盤としてVRCP方式を用いる。VRCP方式においてマルチホップVISを実現するためのフレーム構成を図4に示す。ここでは、ホッピングを行うためのMDSをCHIのフレームの最初に追加する。また、ACTSでは通常のMDSの要求の他に、ホッピングに用いるためのMDSの要求も行う。

図5に大型車両のホッピング要求からホッピング開始までの流れを示す。ここで、各車両はGPSやマーカ

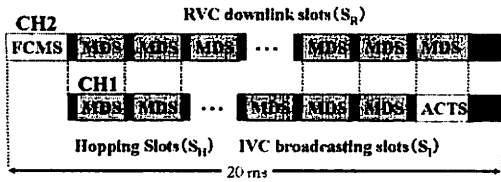


図4 提案方式のフレーム構成

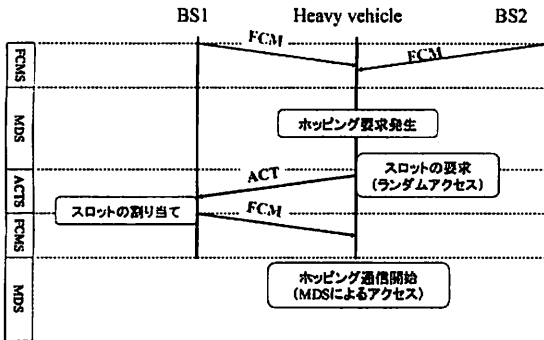


図5 提案方式におけるホッピング要求からホッピング開始までの手順

などにより自車両の正確な位置情報を把握しているものとする。また、大型車両は2つの基地局からのフレーム制御信号を受信していると仮定する。まず、ソース車両からのデータを受信した大型車両は、そのデータをホッピングするためのMDSの要求を基地局に対して行う。これはACTSを通して行われるが、送信する情報にはソース車両のIDと位置情報が含まれている。このときに、基地局としては自車両が一番近いものが選択され(図5におけるBS1)、要求はslotted-ALOHA方式を用いたランダムアクセスによって行われる。その要求が成功した場合、基地局はその要求と全ソース車両と大型車両の位置関係からその大型車両をホッピング車両として選択するかどうかを決定し、その選択情報とホッピング制御情報をブロードキャストする。ホッピング車両として選択された大型車両は、そのホッピング制御情報に従って実際に基地局に指定されたソース車両のデータのホッピングを行う。このような手順で、前節で提案したマルチホップVISがVRCP方式上で動作する。

4. 性能評価

ここでは、マルチホップVISを含んだVRCP方式のシミュレーションによる性能評価を行う。シミュレーションには、ミクロスコピックな自律走行型交通流シ

表1 シミュレーション諸元

(a) 道路諸元

道路長	2 km
車線数	8 車線 (片側4 車線)
車両密度	10, 100 Veh./km/lane
大型車両混在率	0 ~ 1.0

(b) 車両諸元

	長さ	幅	高さ
普通車両	4.0 m	1.7 m	2.0 m
大型車両	7.0 m	2.0 m	4.0 m

(c) 通信諸元

パケット長	70 Oct.	
フレーム長	20 ms	
通信半径	100 m	
周波数帯域幅	CH1	25.6 MHz + 10~80 MHz
	CH2	25.6 MHz + 10~80 MHz
MAC	Mode-A	non-persistent CSMA 方式
	Mode-I	TDMA 方式
大型車両の 通信機器搭載率	0 ~ 1.0	

ミュレータを用いている。このシミュレータの交通流部に関するモデルは[11][12]を基本としている。

4.1. シミュレーション

シミュレーションにおける交通流と通信に関する諸元を表1に示す。シミュレーションでは大型車両によるシャドーイングを考慮する。シャドーイングは、大型車両と普通車両の間で発生し、普通車両の送信アンテナが、基地局や受信アンテナに対して幾何学的に大型車両の陰に隠れる場合に生じるものとする。なお、普通車両のアンテナは屋根の中央に設置されているものとしている。また、シャドーイング以外の電波伝搬に関するモデルは考慮しない。VRCP方式に用いる周波数帯域幅は基本的にCH1, CH2ともに25.6 MHzとし、これにマルチホップVIS方式のために用いるMDS用の周波数帯域幅を10~100 MHzの範囲で加算する。また、本稿ではVRCPの通信準備段階にあたるアクティベーションが済んでいると仮定している。

4.2. 通信失敗率

ここでは、通信失敗率に関する検討を行う。通信失敗率は、シミュレーションエリア内の全送信パケット数に対する通信失敗パケット数の割合と定義する。通信の失敗に関して、本稿では安全性に関わるアプリケ

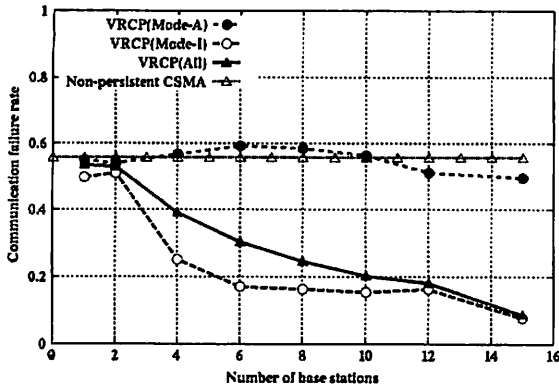


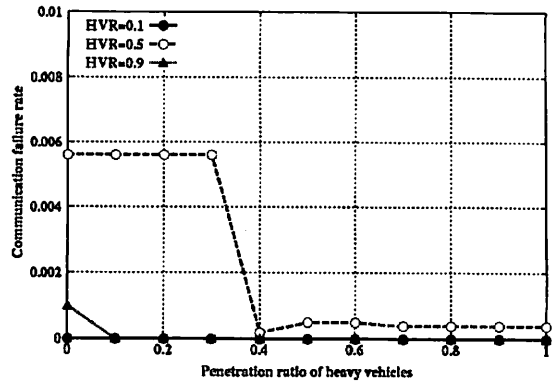
図6 提案方式の通信失敗率

ーションにおけるVISを目的としているため、送信パケットが通信範囲内のすべての車両において受信に成功した場合以外は失敗とみなして計算を行った。シミュレーションにおける条件は、2.2節において示した結果と同様の条件とした。ただし、提案方式では基本的な周波数帯域幅 25.6MHzに加えて、マルチホップVISのための周波数帯域幅を30MHzとしている。

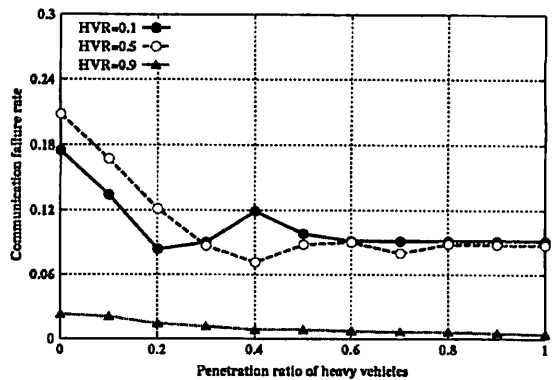
シミュレーションの結果を図6に示す。図6より、基地局数が15基(すなわちネットワーク全体が基地局の通信範囲内となる)の点において、マルチホップVISを用いない従来のVRCP方式の通信失敗率が0.2程度であるのに対して、提案するマルチホップ方式を用いたVRCP方式の通信失敗率は0.1程度まで改善されていることがわかる。これは、シャドーイングにより遮断されていた通信がマルチホップ通信により補完されたためである。特に図6におけるMode-Aの通信失敗率を見てもわかる通り、従来方式では共有できていなかった基地局の見通し外に存在する車両のデータが、提案方式ではマルチホップ通信を行うことにより共有できていることがわかる。以上より、マルチホップVIS方式は、シャドーイングによる通信失敗に対して有効であるといえる。

4.3. 大型車両の通信機器搭載率の影響

本稿で提案しているような、大型車両をホッピング車両として用いる方式では、性能が大型車両の通信機器搭載率に大きく依存する。そこで、提案方式の大型車両通信機器搭載率に関する検討を行った。図7にそれぞれ車両密度が10, 100Veh./km/laneのときに、大型車両混在率(HVR)を0.1, 0.5, 0.9とし、大型車両の通信機器搭載率を変化させた場合における通信失敗率を示す。結果より、大型車両の通信機器搭載率が増加するにしたがって方式の性能が向上していくことがわかる。また、その性能の向上は搭載率が0.4程度で十分であることがわかる。よって、以降の検討において



(a) 10 Veh./km/lane



(b) 100 Veh./km/lane

図7 提案方式の大型車両通信機器搭載率特性

は、大型車両の通信機器搭載率を0.4として検討を進める。

4.4. 所要周波数帯域幅

本節では、マルチホップVIS方式を用いたVRCP方式に必要な周波数帯域幅に関する検討を行う。本稿では、安全性に関わるアプリケーションにおけるVISを目的としているが、ここではそのようなアプリケーションにおける評価指標として、通信失敗率10%、3%未満を満たす周波数帯域幅である、失敗率10%所要周波数帯域幅、失敗率3%所要周波数帯域幅を用いる。なお、失敗率10%所要周波数帯域幅は、情報提示系・警告系のアプリケーションに必要な周波数帯域幅を示している。一方、失敗率3%所要周波数帯域幅は、通信失敗率に関してより厳しい条件が必要とされる制御系・自動運転系のアプリケーションに必要な周波数帯域幅を示している。

図8に提案方式の周波数帯域幅特性を示す。これは、車両密度が100Veh./km/laneであり、大型車両混在率は0.5、大型車両の通信機器搭載率が0.4のときの結果である。また、ここでの周波数帯域幅は、VRCPの基本

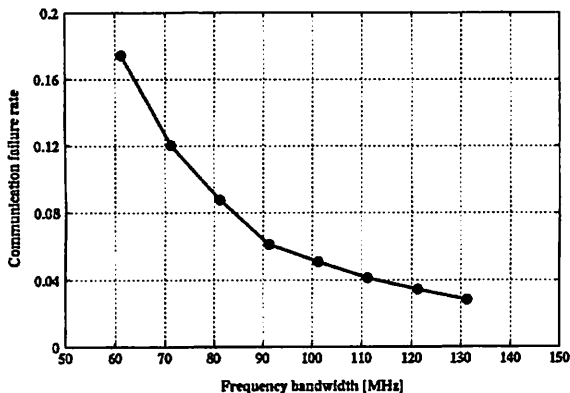


図8 提案方式の周波数帯域幅特性

的な周波数帯域幅 51.2MHz にマルチホップ VIS 方式に用いる周波数帯域幅を加算したものである。図8の結果より、それぞれ所要周波数帯域幅を算出すると、失敗率 10% 所要周波数帯域幅は 77.4MHz となり、失敗率 3% 所要周波数帯域幅は 129.0MHz となる。

ここで、車車間通信や路車間通信、またはそれらの統合通信方式では、シャドワーイング環境化において通信失敗率 10% 未満を達成することはできない。通信失敗率 10% 以下を達成するためには、シャドワーイング問題を解決する必要がある、そのためにはマルチホップ通信は重要な要素技術のひとつであるといえる。

5. むすび

本稿では、大型車両によるシャドワーイングを解決するために、大型車両を用いたマルチホップ VIS 方式を提案し、著者らが検討を進めている車車間・路車間統合通信方式である VRCP 方式に導入した。本提案方式では、大型車両をホッピング車両とすることにより、最大 3 ホップの通信で、近隣車両との VIS を実現する。

シミュレーションによる性能評価により、従来の VRCP 方式と比較して、提案方式を導入した VRCP 方式はより低い通信失敗率を達成可能であることが示された。また、提案方式は大型車両の通信機器搭載率が 0.4 以上において効果があることがわかった。さらに本稿では、安全性に関わるアプリケーションにおける VIS を目的としているが、情報提示系・警告系のアプリケーションなどを想定した通信失敗率 10% を満たす所要周波数帯域幅は 77.4MHz、制御系・自動運転系のアプリケーションを想定した通信失敗率 3% を満たす所要周波数帯域幅は 129.0MHz であることを示した。

なお、本検討における結果は、通信の準備段階に相当するアクティベーションが済んでいるという仮定に基づいた結果であるが、現在はアクティベーションに

必要な周波数帯域幅に関する検討も含めた検討を行っている。また、本提案方式におけるマルチホップ VIS 方式では、路車間通信をマルチホップの制御にのみ用いているが、これをデータ通信に用いることによって、より効率的な車車間通信・路車間通信統合型のマルチホップ VIS 方式を検討する予定である。

文 献

- [1] 水井深, 長谷川孝明, 永長知孝, 加藤晋, 高橋常夫, 堀松哲夫, 関馨, 藤井治樹, "ITS 通信コンセプトリファレンスモデルに関する検討 ~ 車両情報共有の観点から ~," 信学技報, ITS2006-6, pp. 29-34, 2006.
- [2] Kaichi FUJIMURA, Takaaki HASEGAWA, "VRCP: A MAC Protocol for Integrated Inter-Vehicle and Road to Vehicle Communications," International Journal of ITS Research, Vol.3 No.1, pp39-47, 2005.
- [3] 屋代智之, 松下温, "路車間・車車間通信統合 MAC プロトコル: I-Warp II," 情処学論, vol.42, no.7, pp.1781-1789, 2001.
- [4] 水戸浩之, 岩橋努, 渡辺尚, "車車間通信と路車間通信を統合する MAC プロトコルの評価について," 信学技報, ITS2003-114, pp.27-33, 2004.
- [5] 森田洋介, 長谷川孝明, "シャドワーイング回避のための路車間・車々間統合通信について," 信学技報, ITS2002-32, pp.19-25, 2002.
- [6] R. Verdone, "Multihop R-ALOHA for intervehicle communications at millimeter waves," IEEE Trans. Veh. Tech., vol.46, no.4, pp.992-1005, Nov. 1997.
- [7] 屋代智之, 松下温, "車車間通信を用いた車両ネットワークの構築に関する提案," 信学論(A), Vol.J82-B No.1, pp.9-18, 1999.
- [8] 塚本晃司, 藤井雅弘, 伊丹誠, 伊藤紘二, "車々間・路車間統合システムを用いた単一方向巡回ネットワークの提案と評価," 信学論(A), Vol.J87-A No.9, pp.1236-1244, 2004.
- [9] 新宮将久, 増淵友裕, 上原秀幸, 横山光雄, "車々間マルチホップ無線ネットワークにおける方向指定ルーチング," 信学論(B), Vol.J88-A No.2, pp.175-185, 2005.
- [10] 島津義嗣, 村田英一, 吉田進, "ITS 車々間通信における自律的パケット中継制御法," 信学論(B), Vol.J82-B No.11, pp.2018-2025, 1999.
- [11] 牛谷善哉, 今尾勝崇, 東野武史, 塚本勝俊, 小牧省三, "大型車両を基点とした車車間・路車間融合通信システムにおけるリンクブロッキング率の改善効果に関する検討," 信学論(B), Vol.J89-B No.6, pp.909-919, 2006.
- [12] アリ・ウィドド, 長谷川孝明, "車々間通信ネットワークを含めた高度交通システムの評価のための自律走行交通シミュレータ," 信学論(B), vol.82-B, no.11, pp. 2002-2009, 1999.
- [13] M. ADACHI, Y. MORITA, K. FUJIMURA, Y. TA-KATORI, T. HASEGAWA, "On an Autonomous Cruising Traffic Flow Simulator including Inter-Vehicle and Road to Vehicle Communication Networks," Proc. of The IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Systems, Singapore, pp640-645, 2002.