

路車間・車々間通信統合 MAC プロトコル : I-WarpII

屋代 智之[†] 松下 温^{††}

ITS を実現するためには、移動体である車両が周囲の車両や道路側設備と確実な通信を行うことが必要となる。従来は周囲の車両との通信は車々間通信、路側機器との通信は路車間通信と、それぞれ別個のものとして設計、開発が行われてきたが、車両が安全に走行するためには、両者はともに不可欠な通信手段である。本論文では、CDMA を用いて車々間通信と路車間通信を統合した通信システムを構築するためのプロトコル I-WarpII を提案する。I-WarpII では、車々間通信に DPA と呼ばれる動的に符号系列を割り当てる方式を用い、それを拡張する形で路車間通信も可能とする。路車間、車々間通信が統合されることにより、それぞれの通信システムでの問題点の解決が容易となる。路車間通信では、シャドウイングの解決が最も重要な課題であるが、I-WarpII では、これを解決するために代行登録という手法を導入し、加えて車々間通信を活用することでシャドウイングによる通信断絶を最小限に抑えることを可能とする。車々間通信は通信相手がインフラではなく、別の車両であるため、ある程度車載機器が普及するまでは通信機器が意味をなさないという問題点がある。I-WarpII では、そのような場合でもインフラが整備されれば路車間通信として利用可能であり、初期の普及が大幅に容易になると思われる。

I-WarpII : A MAC Protocol for Integrated Vehicle-to-Vehicle and Roadside Communications

TOMOYUKI YASHIRO[†] and YUTAKA MATSUSHITA^{††}

To realize ITS, it is necessary that each vehicle has a function of reliable communication with surrounding vehicles and roadside equipments. The traditional ways of design and development were realized as a different technique, nevertheless both communications are indispensable to ensure the safety driving. In this paper, we propose a novel protocol I-WarpII to construct the communication system which integrates inter-vehicle communication (IVC) and vehicle-to-roadside communication (VRC). With I-WarpII, VRC is realized by extends of IVC method called DPA (Dynamic PN-code Assignment). A solution of the problem with each communication system becomes easy by integrating. By using I-WarpII, a shadowing problem that causes serious VRC error is solved by the method named registration proxy. In addition, the use of IVC should be made possible to restrain the effects of communication error of VRC caused by the shadowing problem. In IVC, there is a problem that communication equipment doesn't make sense until the equipment comes into wide use because a partner of communication is not an infrastructure but another vehicles. If an infrastructure is prepared even in such a case, it can be used for VRC, and it considers that early diffusion of IVC equipment becomes drastically easier with I-WarpII.

1. はじめに

ITS (Intelligent Transport Systems) に関する研究が活発化しつつあり、また VICS (Vehicle Information and Communication System) や ETC (Electronic Toll Collection) システムなど、すでに実用化あるいは実験段階にきている技術が注目されている。しかし一方で、AHS (Automated Highway

Systems) のように計画は具体化しているものの、実現に向けての課題が多数残されているテーマも多い。

これらの ITS のサービスを実現するには、道路と車、あるいは車と車が情報を交換することが必要となってくる。このための無線による路車間/車々間通信を行う必要があり、これに関連した研究開発が急務であるといえる^{1)~4)}。

路車間通信方式はさまざまな研究が行われているが^{5),6)}、日本の標準として ARIB の STD-T55⁷⁾ がすでに定められ、ETC などに利用されている。また、電気通信技術審議会は DSRC 通信環境について答申し、その中で QPSK 変調方式が DSRC に最も適してい

[†] 千葉工業大学
Chiba Institute of Technology
^{††} 慶應義塾大学
Keio University

るとの結論を出している。現状の周波数帯域、および DSRC で用いられる通信エリアの大きさからくる要求条件から考えるとこの結論は妥当なものである。今後、これに沿った形で ETC が実用化され、路車間通信の標準としての利用が進められると思われるが、その収容車両数の制限や帯域、変調方式からくる通信速度の制限などといった問題から、将来的にそのままの形で AHS-a に利用するのは困難であると思われる。

このため、本論文では、ARIB の標準や電気通信技術審議会の答申にとらわれずに、AHS-a を実現可能とするための効率の良い通信システムを構築することを検討する。

車々間通信では、さまざまな方式が検討されているが、DS-CDMA を用いた車々間通信や FH-CDMA を用いた車々間通信など、特に CDMA 方式を用いた車々間通信の検討がさかんである^{8)~10)}。またそれ以外の方法として、TDMA 方式や Slotted ALOHA 方式をベースにし、位置情報を利用した車々間通信などが考えられている¹¹⁾。

しかし、特に AHS-a は究極的には自動車の完全な自動走行を可能にする試みであり、課題が山積している。この中で特に、車両が周辺と安全、確実に通信を行うための検討が数多くなされているが、いまだに自動走行を可能とするだけの信頼性を持った通信方式は確立していない。走行支援道路システムのリクワイアメント案¹⁴⁾では、AHS-i、AHS-c の実現のために、252 台以上の車両との 0.1s ごとの個別通信を求めている。シャドウイングなどが発生すると、この条件を満たすことが困難となる。AHS-a の実現のためにはさらに厳しい条件を満たすことが必要になると考えられる。

このような状況の中で、これらの路車間通信、車々間通信はそれぞれ、必要とされるアプリケーションごとに個別にその方式が検討されているのが現状である。しかし、通信対象こそ異なるものの、路車間通信も車々間通信も必要となるハードウェアに根本的な違いはなく、また、複数の通信機器を搭載するということは、コスト的にも空間的にも、あまり効率的であるとはいえない。そこで、これら 2 つの通信を統合することを考える。

統合されると、個別のシステムでは解決が困難であると考えられるそれぞれの通信がかかえる問題点を解決することも可能となる。たとえば車々間通信においては、自車両が通信機器を搭載していても相手車両が搭載していなければ通信を行えないため、搭載台数の少ない初期段階における普及が困難であるという問題

がある。しかし両方の通信を統合することで、通信機器が 1 台で済めば、たとえ車々間通信には利用できない状況でも路車間通信機器として利用可能であることから、この問題は解決され、ITS の普及促進に効果的であるといえる。

そこで我々は、車々間通信のための方式として考案されている DPA (Dynamic PN-Assignment) 方式¹²⁾ を拡張し、路車間、車々間双方の通信を統合して行うための方式として、I-WarpII (Integrated Vehicle-to-Vehicle and Roadside communication Protocol version.II) を提案する。

I-WarpII を利用することにより、単純に 2 つの通信を統合するだけでなく、路車間通信で問題となるシャドウイングを、車々間通信を用いて回避することが可能になるなど、それぞれの通信を相互に補完することも容易になる。

以下、2 章では DPA 方式について簡単に紹介し、3 章では I-WarpII 方式を説明する。4 章では、I-WarpII 方式をシミュレーションによって評価した結果を紹介し、5 章で全体をまとめる。

2. 車々間通信方式：DPA

DPA 方式は、DS-CDMA 方式を用いた車々間通信を行うための方法である。DS-CDMA 方式を用いた車々間通信では、一般にそれぞれの車両に個別に PN 符号系列を割り当てることによって、他車両の通信と自車両の信号を区別する。しかし CDMA に利用可能な PN 符号系列の数は周期に依存するものの、有限な数しか確保できない。このため、たとえば日本全国のすべての車両 (7000 万台) にそれぞれ異なる PN 符号系列の数を割り当てることは困難である。また、たとえ可能であったとしても、PN 符号系列の周期が非常に長くなってしまい、同期方法など実用上の問題が発生する。

DPA 方式では、有限な PN 符号系列を、1 系列を全車両共通 PN 符号系列として用いて、各車両が使用する個別の PN 符号系列を動的に割り当てることにより、同じ PN 符号系列を使用した車両の接近を予防し、なおかつ必要とする PN 符号系列数を劇的に少なくすることを可能とする方式である。

ここで用いる全車両共通の PN 符号系列を PN_w とする。また、各車両はそれぞれ自車両が情報の送信に用いるための専用の PN 符号系列を持っている。ここではこれらを総称して PN_i と表記する。各車両は PN_w のチャンネルで ALOHA のように自車両の使用する PN_i や車両の識別子 (車両 ID)、既知の周囲の車

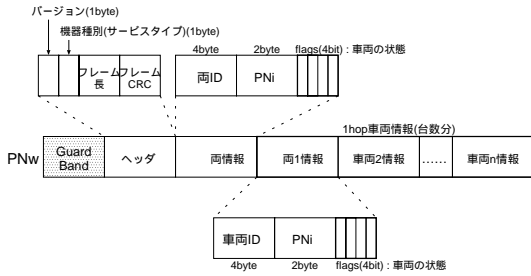


図 1 車々間通信フレーム構造

Fig.1 Vehicle-to-vehicle communication frame structure.

両の PN_i や車両 ID に関する情報を適当な周期で送信する．図 1 にそのフレーム構造を示す．

送信間隔を情報送信時間に比べて十分大きくとることで，ALOHA のように効率の悪い通信方式を用いても，衝突の発生を抑えることが可能となる．さらにこの送信間隔を各車両がそれぞれ乱数を用いて変更することによって，繰り返し衝突が発生することを抑制する．

PN_w を利用することで，各車両は自車両の周囲の車両の車両 ID と使用している PN_i を知ることが可能となる．この情報を PN_{map} と呼ぶテーブルを利用して管理し，周囲の車両どうしまたは周囲の車両と自車両が重複する PN_i を使用していた場合に，片方または双方の PN_i の変更を指示する．

これによって，DPA 方式では限られた数の PN 符号系列を使用しつつ，PN_i の重複が避けられ，通信を確実に行うことが可能となる．

3. 車々間，路車間統合通信方式：I-WarpII

3.1 通信方式

I-WarpII では，路側通信機器がない場合，各車両は DPA 方式を用いて車々間通信を行う．また，路側通信機器がある場合には，車々間，路車間通信を同時に並行して行う．この場合は車々間通信は基本的に DPA 方式を利用するが，PN_i が重複しているかどうかは路側機器が集中的に管理する．このために，路側機器には送信用の専用 PN 符号系列を割り当てる．ここではこれを PN_R と表記する．路側機器はこの PN_R を用いてつねに情報を送出している．

各車両はつねに PN_R で受信を試み，成功すると路側通信機器の通信範囲に入ったことを認識する．認識した車両は，路側機器に登録するための専用の PN 符号系列 (PN_v と表す) を使用して，路側へ自車両の登録処理を行う．

路側機器は，この登録処理で車両データを受信する

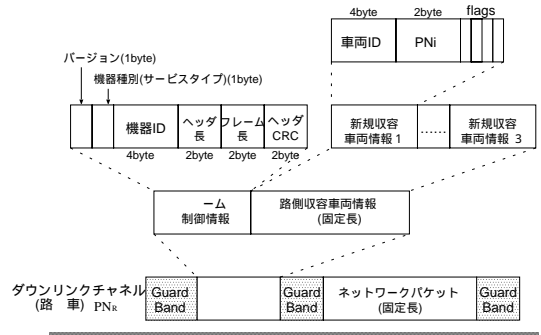


図 2 路車間通信フレーム構造

Fig.2 Vehicle-to-roadside communication frame structure.

ことによって，登録してきた車両の使用する PN 符号系列 PN_i を認識する．

これ以降，ダウンリンク (路側から車両への通信) は PN_R で送信され，アップリンク (車両から路側への通信) はこの PN_i を用いて行われる．双方とも相手側の PN 符号系列を知っているために，それぞれの情報を受信することが可能である．

図 2 にダウンリンクチャンネルと登録チャンネルのチャンネル構造を示す．

以下に路側への車両の具体的な登録処理を述べる．

- (1) 各車両は PN_R をつねに監視し，受信できない間は車々間通信のみを行う．
- (2) PN_R を受信できた場合には，そのヘッダ部分を見る．このヘッダ中の新規収容車両情報にデータがある場合には，同一フレームに関してのみ，それと同じ順番の登録スロットは確認のために用いられるので，予約されていると見なす．たとえば，新規収容車両情報 1, 2 が使われていた場合には，同一フレーム中の登録スロットの 1, 2 は予約されており，3 から n まだが空いていることになる．この空いている登録スロットからランダムに 1 スロットを選択し (図 3 (a))，PN_v を用いてそのスロットで自車両の情報を送信する (図 3 (a) は登録スロット 4 を選択した場合の例)．
- (3) 路側は車両から登録情報が送られてくる PN_v を監視し，登録スロットに新たに送信してきた車両のデータを認識すると，そのデータを記録し，同じデー

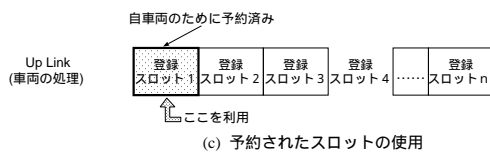
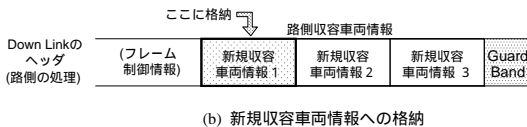
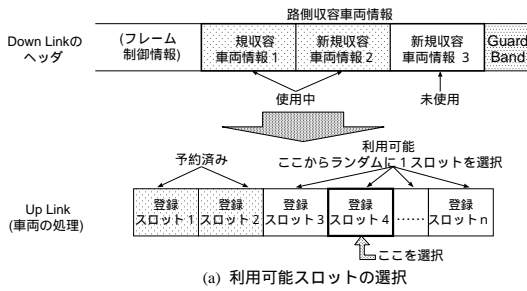


図3 登録処理

Fig. 3 Registration process.

データをヘッダ中の新規収容車両情報の中に格納して送信する(図3(b)).ここで、他車両が同時に登録を行っていない場合には、最初のスロットが利用される。複数の車両が同時に登録を行っている場合には、先頭から台数分のスロットが利用される。

このとき、路側に登録済みの車両の PN_i と、新たにデータを送信してきた車両の PN_i が重複していれば、路側収容車両情報に格納する際に重複フラグを立て、 PN_i のフィールドに重複しない別の PN_i を格納することにより、車両IDで表される車両の PN_i の変更を指示する。

(4) 登録を行った車両は、引き続き路側からの信号 PN_R を監視し、路側収容車両情報に自車両データが含まれていれば、自車両は正しく登録されたものと認識する。

ここで、使用された新規収容車両情報と同じ順番の登録スロットを利用して、もう一度路側に自車両のデータを登録する(図3(c)). 図3(a)では、最初の2スロットが使用中であったが、これによる予約は同一フレーム中の登録スロットだけであり、図3(b)に示すように、本フレームでの予約は現在登録作業中の車両だけとなる。

もしも受信したヘッダ中の、自車両の新規収容車両情報に重複フラグが立っていたら、 PN 符号系列 PN_i を、指示された PN_i に変更して、確認のための登録を行う。

(5) 受信した PN_R のヘッダに自車両情報が現れな

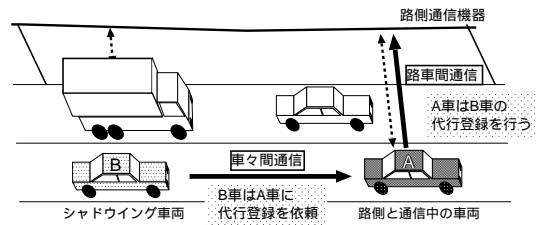


図4 代行登録

Fig. 4 Registration proxy.

かった場合には、通信エラーがあるいは同じスロットを選択した他の車両がいたことが考えられるので、最初から登録処理を再試行する。

(6) 路側はもう一度登録スロットにデータが登録されると、新規収容車両情報からその車両のデータを消去し、収容車両としてその車両を登録する。

(7) 新規収容車両情報に自車両のデータがなくなれば、登録処理終了と見なし、以降自車両の PN 符号系列 PN_i は路側に認識されたものとする。自車両のデータが残っている場合には再度確認のための登録を行う。

このように登録処理を行うことによって、車両から路側への PN_i を用いた通信が可能になる。

3.2 シャドウイングを検出するための代行登録

路車間通信において問題とされているのが、シャドウイングである。図4において、車両Bは大型車両に遮蔽されて、路側通信機器との直接(見通し)通信を行うことができない。今後ITSの通信に利用される準ミリ波、ミリ波は直進性が高いため、このような状況では通信が不可能となってしまう。

このような場合、路側機器は車両との通信が断絶した理由が、車両が通信範囲外に出たためなのか、シャドウイングされているためなのかを区別することはできない。路側機器は通信範囲外に出た車両を収容車両のリストから削除する必要があるが、このようにシャドウイング状態を検出できない場合に、単純にタイムアウトによってその車両を削除してしまうと、通信範囲内にいながら、シャドウイングによって通信が行えない車両を削除してしまう可能性が発生する。このようなシャドウイング車両を削除してしまうと、路側で管理されている PN_i の一意性が損なわれ、通信効率が低下することが考えられる。

そこで、この問題を回避しシャドウイング車両を検出するために、I-WarpIIでは車々間通信を利用し、代行登録という手法を用いる。

図4では、車両Bはシャドウイングのために路側との通信は行えないが、車々間通信を行うことは可能である。このときに、周囲の車両(たとえば車両A)

とデータ通信を行ってれば、車両 A の車両情報を取得することができる。ここには flags として、その車両の状態が記述されているので、その内容から、車両 A が路側と通信していることが認識できる。ここで、車両 B は自車両が路側と通信できないにもかかわらず、車両 A が路側と通信中であることから、自車両はシャドウイングされているものと判断し、車両 A に対して自車両の代行登録を依頼する。

以下にその手順を述べる。

(1) 自車両が PNR を受信していない、すなわち路側機器があると認識できない状態で、周辺車両の車両情報から、周囲に PNR を受信している車両がいた場合、自車両はシャドウイングされているものと見なし、PNw による車々間通信で、路側と通信中の 1hop 車両に路側への代行登録を依頼する。

このとき、依頼は依頼先車両の車両情報中に代行登録要求フラグを立てることによって行う。

(2) 代行登録を依頼された車両は、自車両の登録と同様、PNv で路側へ依頼車両のデータを送信することで代行登録を行う。

このとき、通常の自車両の登録時とは異なり、代行登録であるというフラグを車両情報に付加して路側に登録を行う。この情報により、路側では通常の登録と代行登録を区別することができ、代行登録された車両をシャドウイング車両として認識可能である。

(3) 代行登録が終了したら、依頼元車両の車両情報中に代行登録終了フラグを立てることで、代行登録終了を通知する

(4) 代行登録を依頼していた車両は、依頼先車両から受信する自車両情報に代行登録終了フラグが立つまで代行登録要求フラグを立て続ける。代行登録終了フラグが立ったら、代行登録要求フラグを降ろす。

この代行登録によって路側はシャドウイング車両を検出することが可能となる。また、副作用としてこれから路車間通信区間に入ろうとする車両をこの代行登録によって事前に認識することも可能となる。

4. シミュレーションによる評価

I-WarpII の通信性能を評価するためにシミュレーションを行った。シミュレーション条件として、表 1 に示すパラメータを設定した。

また、適当な比率でさまざまな大きさの車両を生成し、それらによる遮蔽の影響を考慮した¹³⁾。

4.1 通信成功確率

図 5 に、道路 1 km、1 レーンあたりの車両台数と、各 PN 符号系列を用いた通信の成功確率の関係を示す。

表 1 シミュレーション条件
Table 1 Simulation conditions.

道路	全長 5 km の 3 車線直線道路
走行速度	車線単位で 120,100,80 km/h
車載機器の通信範囲	100 m
路側機器の通信範囲	道路に沿って 500 m
伝送速度	1 Mbps
チップレート	150 Mcps
拡散率	150
PN 符号系列数	1023
車両 ID, PNid	各 4 byte
データパケットサイズ	2048 bytes
登録スロット数	3

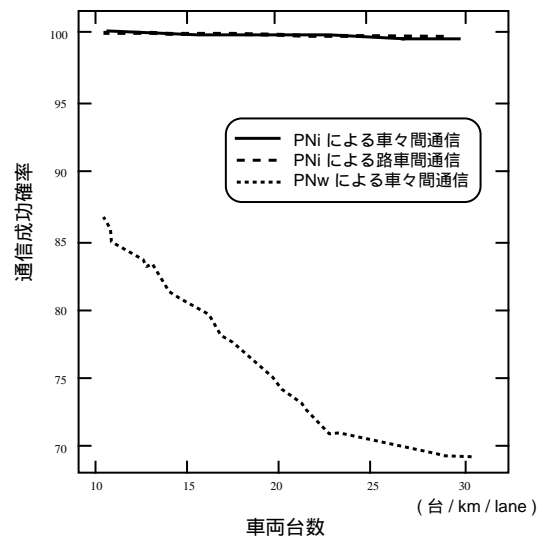


図 5 通信成功確率

Fig. 5 Communication success ratio.

図 5 を見ると、PNw による通信の成功確率は、車両台数の増加とともに低下していることが分かる。PNw はすべての車両がこれを用いて通信を行うため、車両台数が増加すれば、衝突による失敗が頻繁に起こるようになる。この結果はその衝突によって、PNw による通信が 30% 程度の確率で失敗することを示している。

I-WarpII において、PNw による通信は各車両間で車両情報を交換し、各車両に固有の PN 符号系列 PN_i を通信範囲内で重複しないように割り当てるために行う通信である。前述のように、同時に複数の車両が PNw による通信を行うと衝突が発生する。しかし、たとえ衝突が起こっても、周期を乱数で変化させながら周期的にこのデータ送信を行うようにしているため、何回かに 1 回成功すれば、十分その役割を果たせるといえる。

また、道路上の車両台数が増加し、渋滞してくると、一般に各車両の走行速度は低下し、また車両の周囲の状況変化もあまり頻繁には発生しなくなると考えられる。つまり、このような混み合った状況においては、PNwによる通信でつねにリンク状況を確認し、PNiを変更する必要性も低下する。したがって、車両台数がある程度以上多い環境においては、必ずしも高い通信成功確率は必要でないということがいえる。

実際、図5より、このPNwによる通信によって割り当てられたPNiを用いた通信は、ほとんど成功しているということが分かる。これはPNwによる通信によって、PNiが重複しないように正しく割り当て、または変更がなされているということを意味する。これより、PNwによる通信成功確率がこの程度であっても、性能としては必要条件を十分満たしているといえる。

次に、車々間通信・路車間通信におけるPNiによる通信の成功確率について考える。車両は移動体であり、つねに移動しているため、通信中にリンクが切れてしまうことによる通信失敗は避けられない。したがって、これによる通信成功確率の低下を考慮すれば、図5より、車々間通信・路車間通信とも、実質的にはほとんど成功しているといえる。

また、車々間通信・路車間通信において求められる通信の信頼性とは、必ずしも1回の通信の成功確率が高いことではなく、連続した通信の失敗を起こさないということである。

たとえば、車々間通信で各車両の速度・ブレーキ・加速度などの情報を交換することで、車両の挙動制御を行うような場合を考える。車々間通信は連続的に繰り返し行っているため、1回失敗しても次に成功すればその失敗による実害はほとんどないと考えられる。しかし、連続的に失敗してしまうと、その間必要なデータの送受信が行えなくなり、車両の制御に支障が生じてしまう恐れがある。その結果、交通事故などを引き起こしてしまう原因になってしまうということも考えられる。

路車間通信においても、一般的にこれによって送受される情報は、車両の位置情報・道路の交通状況など、緊急度の非常に高い情報ではないため、やはり連続して失敗しなければ、実害はほとんどないものと考えられる。

図5におけるPNiの失敗はそのほとんどが通信中の車両の位置変化による通信失敗であった。このことから考えて、I-WarpIIによって、ITSで必要なサービスを実現するにあたって十分に信頼性の高い通信を提供することができるといえる。

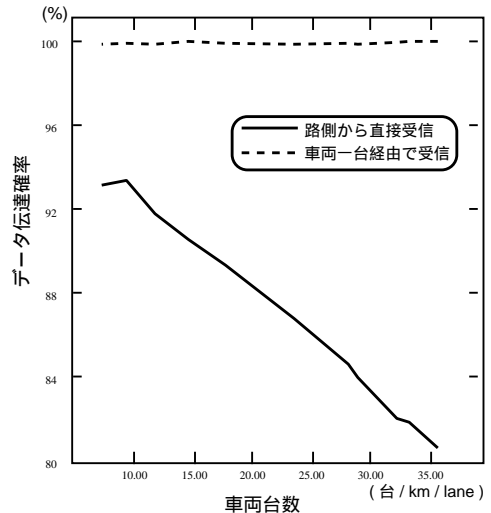


図6 データ伝達確率

Fig. 6 Data propagation ratio.

4.2 データ伝達確率

図6に、道路1km、1車線あたりの車両台数と、路側通信機器からのデータの伝達確率の関係を示す。ここでデータ伝達確率とは、その路側通信機器の範囲内にいるすべての車両のうち、何%の車両にデータが伝わったかを示すものである。

実線は、路側から直接データを受信した車両の割合であり、破線は直接受信した場合だけでなく、間に車両1台を経由して車々間通信で受信した場合まで含めた場合にデータを受信できた車両の割合を示している。車両台数の増加にともない、実線が低下している部分は、本シミュレーション環境におけるシャドウイングの発生確率を示している。1km、1車線あたり35台程度の車両密度では、約20%の通信がシャドウイングにより失敗している。

図6より、路側からのデータを直接受信できた車両の割合は、車両台数の増加にともない低下してきていることが分かる。これは、シャドウイング車両、つまり路側の通信範囲内にいるにもかかわらず、通信が断絶している車両が存在するためである。

しかし、車々間通信を利用して、間に1台の車両を経由して情報を受信できた場合もデータを受け取れた車両として評価すると、ほぼ100%の車両が、路側からのデータを受信できていることが分かる。この結果より、路側との間に車両を1台経由してデータを送ることにより、データ伝達に関するシャドウイングの影響は、ほとんど無視できるようになるといえる。

これより、車々間通信と路車間通信を同時に行う、つまり統合することによって、シャドウイングの影響

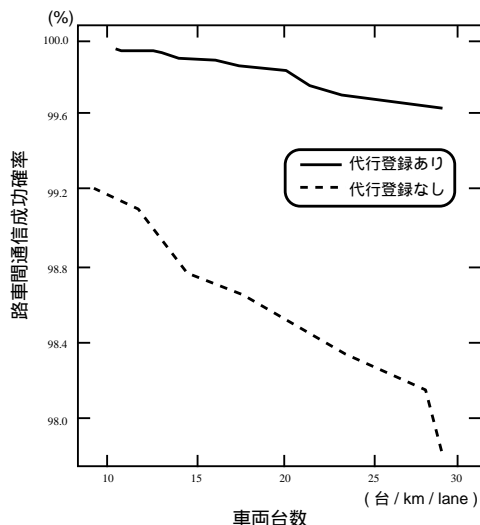


図7 路車間通信成功確率

Fig. 7 Vehicle-to-roadside communication success ratio.

を軽減することができ、より確実で信頼性の高い通信が実現されているということが確認できる。

また、I-WarpIIにおいて、シャドウイングされている車両を路側が認識しているため、間にいる車両が中継機能を有していれば、路側からシャドウイング車両に宛先を指定してデータを送ることも可能である。さらに、上位層でデータの伝達経路を設定してやることも可能となるため、ネットワークにかかる無駄な負荷を軽減させることが可能になると考えられる。

4.3 代行登録の効果

図7に、道路1km、1車線あたりの車両台数と、路車間通信アップリンク(車両から路側への通信)の通信成功確率を示す。

破線は代行登録を行わない場合、実線は代行登録を行った場合の結果をそれぞれ示している。

図7をみると、代行登録を行った方が、行わなかった場合に比べて全体的に成功率が高く、また車両台数の増加にともなう通信成功率の低下が小さく抑えられているということが分かる。

路車間通信において通信が失敗してしまう原因としては、路側がその車両のPNiを認識していないことや、路側の通信範囲内でこのPNiが重複してしまうことなどが考えられる。

たとえば、シャドウイングされたまま路側の通信範囲内に入ってしまった車両を考える。この場合、代行登録を行わなければ、路側への登録が行われないまま通信範囲内に入ることになる。したがって、シャドウイング状態から抜けても、登録処理を完了するまでの

間は路側が車両を認識しておらず、通信に失敗してしまう。また、シャドウイングしている間に、車両の通信範囲外の車両とPNiが重複しても路側が検出できないため、やはりシャドウイング状態から抜けた後の路車間通信に失敗してしまう。車両台数が増加するとシャドウイング車両の数も増加するために、通信成功確率が低下してしまうものと考えられる。

これに対して代行登録を行うと、初めからシャドウイング状態にある車両に関する情報も路側に登録されるので、路側はその車両が存在することや車両ID、PNiなどを認識可能である。これにより、シャドウイング状態から抜けた直後の時点ですぐに路側と通信を行うことが可能となる。また、代行登録してあれば、後から路車間通信の範囲に入ってきた車両とPNiが重複しても、路側からどちらかの車両にPNiの変更指示を出せるので、PNiの重複を避けることができる。

図7において代行登録を行った場合に、車両台数が増加し、シャドウイング状態の車両数が増加しても、通信成功率があまり低下しないことから、このプロトコルによって、確かにシャドウイング車両が検出されており、信頼性の高い通信が実現されているということが分かる。

なお、車両はつねに移動しているため、通信中にお互いの距離が変化することにより、リンクが切断されてしまうということは十分考えられる。代行登録を行っても通信確率が100%でないのは、代行登録処理中に、車両移動により代行登録を依頼した車両と代行登録処理を行っている車両の間で直接通信が行えなくなった場合や、代行登録を行える車両が周囲に存在しなかった場合などであると思われる。

5. むすび

本論文では、車々間通信と路車間通信を統合するための方式として、I-WarpIIを提案した。また、コンピュータシミュレーションを用いてI-WarpIIの性能を評価し、その実用性について考察した。

シミュレーション結果より、I-WarpIIを利用することによって、車々間通信と路車間通信を効率的に統合し、特に路車間通信で大きな問題となるシャドウイングの影響を排除し、AHS-aの実現可能性を視野にいった信頼性の高い通信を実現できた。I-WarpIIは、ITSで提供されるさまざまなサービスを実現するにあたって、十分な通信性能を持っているということがいえる。

この方式を用いて、車々間通信と路車間通信を統合することにより、道路側、自動車側とも1台の通信機

器で通信を行うことが可能となり、機器コストの低減、ITS 用車載通信機器の普及の促進などに効果的であるといえる。

また、シャドウイング車両の検出が可能になったことにより、シャドウイング現象による通信の信頼性の低下を回避することが可能となった。さらに、路側機器がシャドウイング車両を認識することが可能になったことにより、経路制御が可能な上位層を導入することによって、路側機器とシャドウイング車両の間で通信を行うことが可能である、これにより、さらに多様なシステムやサービスの実現が可能となるということも考えられる。

本方式の今後の課題として、車両からのアップリンクの通信で路側機器に対する遠近問題が発生してしまう点があげられる。また、より信頼性が高く、実用的なネットワークを構築するためにネットワーク層の構築を考えるべきであろう。

参 考 文 献

- 1) Liu, T.-K., Silvester, J.A. and Polydoros, A.: Performance Evaluation of R-ALOHA in Distributed Packet Radio Networks with Hard Real-time Communications, CENG Technical Report 94-31, University of Southern California, pp.554-558 (1994).
- 2) Sheen, W.-H. and Shih, C.-T.: On the Performance Evaluation, Selection, and Design of Unique-Words for Time-Division Multiple Access Systems, *IEEE Trans. Vehicular Technology*, Vol.44, pp.111-120 (1994).
- 3) Tank, T., Yee, N. and Linnarts, J.-P.: Vehicle-to-vehicle Communication For AVCS Platooning, *IEEE Trans. Vehicular Technology*, Vol.44, pp.448-451 (1994).
- 4) Hoff, S., Hübner, D. and Reichert, F.: Protocols for mobile short range communication based on transponders, *IEEE 41st Vehicular Technology*, pp.636-641 (1991).
- 5) 鶴井省三, 藤本卓也, 黒川正幸: 512 kbit/s tdm/tdma 方式による路車間通信装置の開発, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.49 (1990).
- 6) Wietfeld, C. and Rokitansky, C.H.: Performance of Vehicle-Roadside Communication Systems supporting Multiple RTI-Applications, *IEEE Vehicle Navigation and Information Systems Conference*, pp.133-138 (1994).
- 7) 有料道路自動料金収受システム標準規格 ARIB STD-T55 1.2 版, 電波産業会 (1999).
- 8) 臼井 健, 平野載倫, 河野隆二: 直交マッチドフィルタを用いた路車間通信・測距他局間干渉除去システムの一検討, 信学技報 ITS-2000, Vol.100,

No.284, pp.55-60 (2000).

- 9) 上田 篤, 水井 潔, 中川正雄: 高速コードホッピング・スペクトル拡散方式を用いた車両間通信・測距統合システム, 信学技報 ITS-2000, Vol.100, No.284, pp.61-66 (2000).
- 10) 井上保彦, 中川正雄: スペクトル拡散による車両間通信ネットワークのための MAC プロトコル, 信学論(B-II), Vol.J77-B-II, No.11, pp.718-725 (1994).
- 11) 永長知孝, 長谷川孝明: V-PEACE 方式の一検討, 信学技報 ITS-99, Vol.99 No.662, pp.7-12 (2000).
- 12) 屋代智之, 松下 温: 動的に PN 符号を割り当てる車両間通信プロトコル: DPA, 信学論(A), Vol.J81-A, No.4, pp.496-504 (1998).
- 13) 斉藤 孟, 佐藤 武: 自動車工学全書 別冊自動車に関する法規, 規格, 統計, 山海堂 (1980).
- 14) <http://www.netpark.or.jp/ahs/jpn/c04j/japan.htm>

(平成 12 年 12 月 18 日受付)

(平成 13 年 5 月 10 日採録)



屋代 智之(正会員)

昭和 42 年生。平成 4 年 3 月慶應義塾大学理工学部計測工学専攻修士課程修了。平成 10 年 3 月慶應義塾大学理工学部計測工学専攻後期博士課程単位取得退学。同年より千葉工业大学工学部情報ネットワーク学科講師。博士(工学)。マルチメディアネットワーク、高度道路交通システム (ITS) 等の研究に従事。情報処理学会高度交通システム研究会幹事。著書「コンピュータネットワーク」(オーム社)等。電子情報通信学会, IEEE 各会員。



松下 温 (正会員)

1963 年慶應義塾大学工学部電気
工学科卒業．1968 年イリノイ大学
大学院コンピュータサイエンス専攻
修了．1989 年より慶應義塾大学理
工学部計測工学科教授．工学博士．

マルチメディア通信および処理に関するコンピュータ
ネットワーク、分散処理、グループウェア、ヒューマ
ンインタフェース等の研究に従事．情報処理学会学
誌編集担当理事，マルチメディア通信と分散処理研
究会委員長，グループウェア研究会委員長，電子情報通
信学会情報システムグループ運営副委員長，情報ネッ
トワーク研究会委員長，マルチメディアインフラストラ
クチャ& サービス研究会委員長，バーチャルリア
リティ学会仮想都市研究会委員長を歴任．現在，情報
処理学会副会長「やさしい LAN の知識」(オーム社)
等著書多数．1993 年度情報処理学会よりベストオー
サー賞，1995 年度情報処理学会より論文賞受賞．電子
情報通信学会，人工知能学会，ファジィ学会，IEEE，
ACM 各会員．
