

## WAPL を適用した車車間通信の実現

大石 泰大 竹尾 大輔 増田 真也 渡邊 晃  
名城大学

自動車台数の増加に伴い、インターネット技術を用いて自動車の情報化を進めるインターネット ITS に注目が集まっている。特に MANET(Mobile Ad-hock Network)による車車間通信は柔軟性が高く有力な方式として考えられているが、電力の消費が大きかったり、トラフィックが増大したりするなどの課題がある。そこで本稿では、これらの課題を解決するため、無線 LAN のアクセスポイントが無線化する技術として独自に研究を進めている WAPL(Wireless Access Point Link)を車車間通信に適用し、車車間通信特有の課題を解決する方法を提案する。

## A realization of inter-vehicle communications with WAPL

Yasuhiro Ohishi Shinya Masuda Akira Watanabe  
Meijo University

With the increase of car numbers, the internet ITS that promotes car information systems has been paid an attention. Especially, inter-vehicle communication systems using MANET(Mobile Ad-hock Network) technologies are regarded as the most effective method, however, they have some drawbacks such as large consumption of electrical energy in terminals, and large traffic of control packets in the network. To solve the problems, our original technology; WAPL (Wireless Access Point), that can make wireless connections among access points of wireless LANs, is introduced to the system, and the experimental results are shown in this paper.

### 1. はじめに

自動車台数の増加に伴い、自動車を情報化することによって、道路交通の安全化と効率化を目指す ITS の研究が進められている。しかし、従来の自動車を取り巻く多くの通信システムは、統一された規格を持たず、独自の通信方式でシステムを構築していたため、新たなシステムを構築するたびに車内の情報交換ネットワークの煩雑化やコスト高になるなどの問題などが生じていた。

そこで ITS における通信にインターネット技術を用いる、インターネット ITS に注目が集まっている[1]。インターネット ITS では、インターネットで培われた汎用的な通信技術を用い、共通の通信環境やアプリケーション基盤の構築を行っている。当初の研究ではインターネット上のサーバにアクセスしてデータをダウンロードするようなクライアント・サーバモデルに基づくアプリケーションを想定していたが、最近では走行支援システム、ショートメッセージ、VoIP(Voice over Internet Protocol)によるグループコミュニケーションシステムなど、車々間で直接通信を行うシステムへの実現が要求されている。そこで、これらの即時的要求の高い通信を実現するため車々間でアドホックネット

ワークを用いることによって効率的な通信環境を実現する方法が検討されている[2]。この方法は無線端末のみでネットワークを構成できるため、柔軟性が高く有力な方式として考えられているが、車内の全端末が共通のアドホックプロトコルを採用する必要があり、また、消費電力が増加したり、ルーティングにかかわるトラフィックが増大したりするなどの課題がある。

そこで、本研究ではアドホックネットワークを利用し無線 LAN のアクセスポイント間を無線化する技術として独自に研究を進めている WAPL(Wireless Access Point Link)[3]を車車間通信に適用することにより、上記課題の解決を目指す。

本稿では、車車間通信に WAPL を適用するに当たって必要となる IP アドレスの取得と名前解決の方法についての検討結果と、WAPL による実道路上での実験結果について報告する。

以下、2 章では MANET による車車間通信の課題について、3 章で提案方式の概要を述べ、4 章で実験と考察、5 章でまとめと今後の課題を述べる。

### 2. 全アドホック型車車間通信の課題

無線 LAN には各端末がアクセスポイントを介して

通信を行うインフラストラクチャモードと端末同士が直接通信を行うアドホックモードという二つの通信モードがある。図1にアドホックネットワークのトポロジ概念を示す。アドホックネットワークとは、アドホックモードを用いてマルチホップ通信を可能にしたネットワークのことで、無線端末のみで構成されている。マルチホップ通信に必要なルーティングプロトコルはMANET(Mobile Ad-hock Network)で標準化されており、各端末がルーティング機能を持つことから柔軟なネットワークを形成することが出来るため、車車間通信の特徴であるトポロジの頻繁な変化に適している。

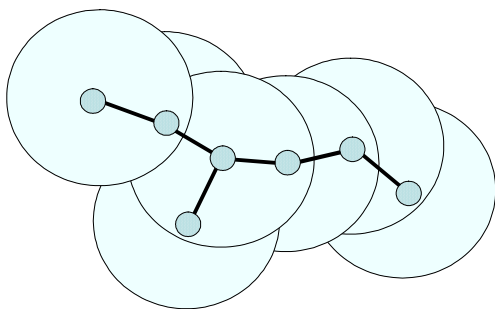


図1 アドホックネットワークのトポロジ概念

全ての車載端末にMANETのルーティングプロトコルを実装することにより、現状の技術でも容易に車車間通信を実現することができる。これをここでは全アドホック型車車間通信と呼ぶ。しかし、この方式には以下に述べるような課題がある。

### (1) 消費電力

MANETではマルチホップ通信を行うため、その端末自体が通信を行わない場合においてもパケットを中継することがある。そのため、端末はネットワークを形成するために常に電源を入れておく必要がある。また、端末が中継に係わるとその分余分に電力を消費する。

### (2) トラフィックの増大

MANETの課題として、ルーティングテーブル生成に係わる制御パケットによるトラフィックの増大が挙げられる。端末の数が増加すると共に制御パケットによるトラフィックが増えるため、通常の通信を圧迫してしまう可能性がある。

### (3) 通信相手の識別

通信相手を識別するためにはIPアドレスが必要であるが、車車間通信では端末が無線メディアを利用して集団移動するため、ネットワークリンクの状態が常に変化しており、サーバと常にリンクを保つことが保証できない。従って、DHCPサーバのようにサーバが集中管理する方法によるIPアドレスの取得は難しい。また、ホスト名からIPアドレスを求めるときも同様に

DNSサーバを用いるような名前解決手法は利用することが出来ないため、端末が自律的に解決できるような手段を検討する必要がある。

## 3. WAPLによる車車間通信の実現

提案方式では車車間通信にWAPLを適用することによって、全アドホック型車車間通信における課題であった消費電力の問題とトラフィックの改善を行う。さらにIPアドレスの取得と名前解決については車車間通信特有の機能をWAPLに追加する。

### 3.1 WAPLの概要

図2にWAPLの構成を示す。WAPLに対応したAPを以後WAP(Wireless Access Point)と呼ぶ。WAPはWAP同士の通信とWAP配下の端末との通信に用いる2種類の無線LANインターフェースを持つ。WAP間の無線通信はアドホックモードで、WAPと端末間の通信はインフラストラクチャモードで行う。WAP間はMANETのルーティングプロトコルによりルーティングテーブルを自動的に生成する。各WAPでは通信相手の端末がどのWAPの配下に存在するかを示すリンクテーブルを保持する。リンクテーブルは必要に応じてオンデマンドで生成する。

端末間で通信を行う場合、通信パケットはまず最寄りのWAPに送られる。上記パケットを受信したWAPではリンクテーブルを元に宛先の端末が所属するWAPを確認し、カプセル化を行い宛先WAPに送信する。このパケットはルーティングテーブルに従って宛先WAPまで送られる。このパケットを受信した宛先WAPはカプセル化を解除して、宛先端末へと送信する。WAPL全体はLANのような働きをするため、端末はWAPL内を自由に移動することが出来る。また端末は、インフラストラクチャモードで動作することができる。

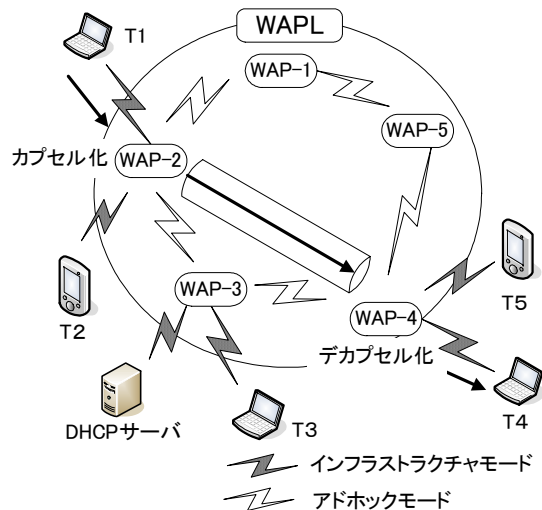


図2 WAPLの構成例

車車間通信の構成を図3に示す。本提案では車内にWAPを一台搭載する。車内には複数の乗客が携帯端末を持ち込み、相互に通信を行う。WAPは車両に常時設置されており、車両から電力の供給を行う。MANETによるルーティングプロトコルはWAP間でのみ実行されるため、アドホックネットワークに係わる制御情報のやり取りが端末のトラヒックに与える影響は少ない。一方、端末はインフラストラクチャモードで通信を行うため、他端末の packets の中継を行うことはなく、自端末が通信を行うときにだけ電源を投入すればよい。

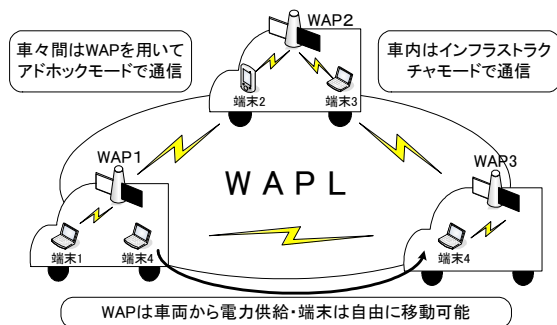


図3 車々間通信の構成例

### 3.2 IPアドレスの取得

本項では、端末の立ち上げ時にIPアドレスを取得可能とするため、全てのWAPに対してDHCPサーバの機能を搭載した分散DHCPを用いる。もともとDHCPサーバは多重化が可能な仕様であり、DHCPの技術をそのまま適用することができる。

WAPL内はプライベート空間とし、端末にはプライベートアドレスを割り当てる。WAPL全体に対してひとつのアドレス空間を保持させ、端末の立ち上げ時にユニークなアドレスを割り当てる。

端末立ち上げ時からIPアドレスを取得するまでの動作を図4に示す。

- ① 端末は立ち上げ時に、IPアドレスを要求するDISCOVERメッセージをブロードキャストする。
- ② DISCOVERメッセージを受け取ったWAPはこのパケットを全WAPに対してフラッディングする。またDISCOVERメッセージを受け取った全てのWAPは割り当て可能なIPアドレスを示したOFFERメッセージを端末に送り返す。
- ③ 端末は最初に届いたOFFERメッセージに付加されているIPアドレスを自身のIPアドレスとして設定し、そのアドレスを使用することを知らせるREQUESTメッセージをブロードキャストする。
- ④ REQUESTメッセージを受け取った全WAPは内容を見て、どのアドレスが選択されたか確認を行

う。選択されたアドレスを送信したWAPはそのアドレスが使用可能であるか判断を行い、使用可能であればPACKメッセージを端末に返信する。そうでなければ、NACKメッセージを端末に返信する。

- ⑤ PACKメッセージを受け取った端末はOFFERメッセージで指定されたIPアドレスを正式に自分のアドレスとして使用を開始する。NACKメッセージを受け取った場合は、再度①～④までの処理を繰り返す。

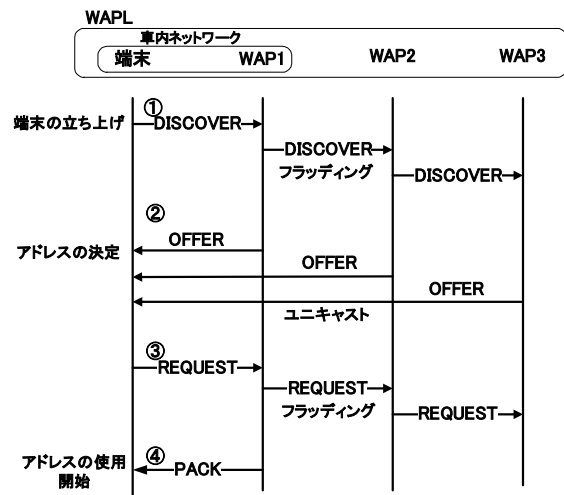


図4 IPアドレス取得動作

分散DHCPでは自動的にアドレスの取得を行うため、車両の移動時に起こるネットワークパーティションの分断・再結合によってアドレス重複が起こる可能性がある。そこで、あらかじめDHCPサーバから配布されるアドレスの範囲を工夫することでアドレス重複の回避を図る。

提案方式では、クラスAプライベートアドレス空間10.0.0.0~10.255.255.255を用いる。アドレスの重複を防ぐため、ホストアドレス部の先頭16bitには、WAPのMACアドレスからハッシュを取って得た固有の値を入れる。各WAPが配布可能な端末の数は126個になる。基本的にアドレスの配布は同車両に属するWAPから行なわれるため、この値は十分なものであるといえる。

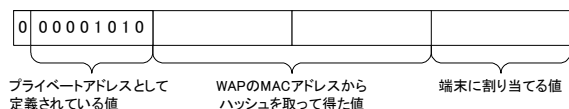


図5 アドレス体系

上記のようなアドレス体系を定義することによりアドレスの重複確率は限りなく下げることが出来るが、重複する可能性は残される。仮にアドレスが重複してしまった場合は通常の gratuitous ARP や ICMP によるアドレス重複チェックによりこのことを検出し、再度アドレス取得動作を実行する。これらの機能は一般の DHCP サーバや端末に標準で実装されている。従って、本課題解決のために端末に手を加える必要は無い。

### 3.3 名前解決

WAPL による車車間通信はグループコミュニケーションのようなアプリケーションを想定する。各端末の名前は特定のルールに従って決められており(たとえば SIP アドレス/ホスト名など)、お互いの名前は事前に知っているものとする。

本稿では通信相手の IP アドレスを取得するため、各端末は NetBIOS over TCP/IP を搭載し、端末が自律的に名前解決を行う。NetBIOS over TCP/IP は Window の NetBIOS を TCP/IP 上で実行できるように定義したもので、端末が Windows マシンでなくても利用することが出来る。図 6 に名前解決の動作を示す。

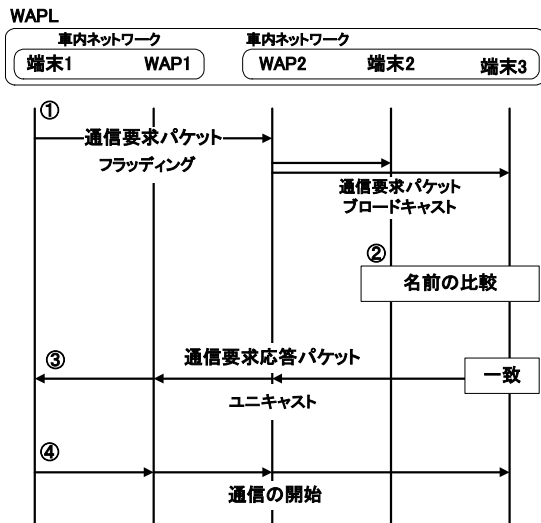


図 6 名前解決の動作

- ① 端末は通信相手の IP アドレスを取得するため、通信相手の名前を付加した通信要求パケットを車内ネットワークにブロードキャストする。通信要求パケットを受け取った WAP は全ての WAP に対してこのパケットをフラッディングする。このパケットを受信した WAP は配下の端末に対してブロードキャストする。
- ② 通信要求パケットを受け取ったネットワーク内の全端末は、自身の名前とパケットに付加されている名前を比較する。

- ③ 名前が一致していれば、名前と IP アドレスを対応付けた情報をパケットに付加し、通信要求応答パケットとして送信元の端末に送り返す。
- ④ 通信要求応答パケットを受け取った送信元端末は通信相手の IP アドレスを特定し、通信を開始する。

この方法によって、DNS サーバが利用することが出来ない環境下においても、端末は自律的に名前解決を行なうことができる。

## 4. 実験

### 4.1 実験概要

WAPL を用いて実際に車々間での通信を行い、ping によるラウンドトリップタイム(RTT)の計測と、トラヒック計測ソフト iperf による TCP・UDP のスループットの計測を行なった。また、NetMeeting による音声通信の確認も行った。今回の実験では 1hop (WAP が 2 台) の場合と 2hop (WAP が 3 台) の場合での計測を試みたが 2hop では安定した通信を行えなかったため、1hop での結果のみ報告する。

実験環境を図 7 に、WAP・端末に使用した PC と AP の仕様を表 1 に示す。車両間はおおよそ 100m 離れており、同一車線上を 30km/h で並走した。WAP は市販の AP とカプセル化機能を実装した PC を Ethernet で接続することにより実現した。PC 側の機能は FreeBSD5.4 を改造することにより実現した。WAP 間のルーティングプロトコルは Proactive 型の OLSR を使用し、IEEE802.11b による見通し通信を行なった。

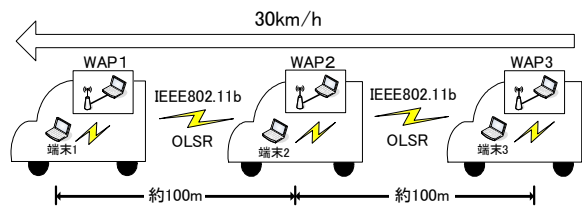


図 7 実験環境

PC	
CPU	Pentium M 1.7GHz
RAM	512MB
Wireless Interface	IEEE802.11b
OS	FreeBSD 5.4RELEASE

AP	
WLA-G54(BUFFALO)	
IEEE802.11b	

表 1 AP・端末の性能

## 4.2 実験結果

Ping の RTT の計測結果を表 2 に示す。Ping のパケットサイズは 80・300・1500byte とし、各 50 回送信した。これらのパケットサイズは、それぞれ DIF ブロックサイズ、音声通信で考えられる最大パケット長、MTU パケットの最大値に相当する。

TCP・UDP のスループット測定結果を表 3 に示す。TCP・UDP とともに 10 秒間パケットを送信した時のスループットで、10 回試行の平均を取った。

RTT はパケットサイズによる大きな変動がなく、静止時・車車間通信時ともに 60~70ms になった。

一方、スループットでは UDP で約 50%、TCP で約 30%の性能劣化が見られた。

	移動時	静止時
80byte	58.080	61.382
300byte	64.163	55.018
1500byte	69.065	60.068

単位(msec)

表 2 RTT の計測結果

	移動時	静止時
UDP	184.34	375.71
TCP	564.80	810.06

単位(kbit/sec)

表 3 スループットの計測結果

## 4.3 実験結果の考察

RTT が音声通信の許容遅延時間の 200ms 以内であることから、1hop での音声のやり取りはある程度の質を保持して行うことが出来ることがわかり、実際に NetMeeting による通信で確認することが出来た。

スループットにおいては TCP・UDP とともにかなりの性能の劣化がみられた。これは無線通信におけるパケットロスの影響だと思われる。パケットロスに関しては WAP 間の距離も関係してくると思われるので、移動時・静止時ともに距離を変化させてデータを取り、詳しく解析する必要がある。また、TCP ではウィンドウサイズをデフォルト値 (8000byte) でのみ計測したがこの値の変動による影響もデータを取って行く必要がある。

2hop による通信が不安定であった理由は、アドホックルーティングプロトコルの特性が大きく関係していると考えられる。今回使用した OLSR は定期的にメッセージをやり取りすることで事前にルーティングテーブルを作成する Proactive 型プロトコルである。OLSR は通信以前にテーブルが作成されるため、即時に通信を開始できる利点があるが、一度経路情報が変化する

と、経路を確定するまでに時間がかかるという問題がある。

今回の実験では、車車間通信というトポロジ変化が大きい環境下で、経路確立の安定性が保てなかったことが不安定な通信になった原因だと思われる。今後は通信の都度経路を生成する Reactive 型プロトコル (AODV 等) を利用して、再度検証を行う必要がある。

## 5. 結び

本稿では、車車間通信に WAPL を適用することにより効率的な通信を実現する方式を提案し、その通信形態に適した IP アドレスの割り当て方法と名前解決について検討した。また、WAPL を用いた実験から得られた結果よりルーティングプロトコルの問題点や WAPL の性能などについて考察を行った。

今後は WAPL に AODV を実装し、再度性能の評価を行なうと共に、インターネットとの接続の検討を行う。

### 参考文献

- [1] インターネット ITS 協議会, "http://www.internetits.org"
- [2] 西田他, "インターネット ITS における車両間通信のアプリケーションと評価システムの開発", 電気学会 ITS 研究会, 2005.3
- [3] 市川祥平, 渡邊晃, "アクセスポイントの無線化を実現するシステム"WAPL"の提案", 第 30 回 MBL 研究報告会, 2004.9
- [4] 小島他, "無線アクセスポイント環境 WAPL の実現"情報処理学会 dicomo2005j, 2005.6
- [5] 植原他, "自動車情報化のためのインターネットを用いた通信システムの構築", 情報処理学会論文誌, vol.42 ,No.2, pp286-296,2001.2
- [6] 湧川他, "Basic Network Mobility Support for Internet ITS", 情報処理学会論文誌, vol.44 ,No.12, pp2925-2935,2003.12
- [7]Andress Festag,"FLEETNET : BRINGINGCAR-TO-CAR COMMUNICATION INTO THE REAL WORLD", 第 11 回 ITS 世界会議 愛知・名古屋,2004.10
- [8]J.P.JEONG, "Ad Hoc IP Address Autoconfiguration", INTERNET DRAFT 2004.2
- [9] R.Droms, "Dynamic Host Congiguration Protocol", RFC2131.1997.3
- [10] S.Alexander,and R.Droms, " DHCP Options and

BOOTP Vendor Extensions”, RFC2132,1997.3

[11] “PROTOCOL STANDARD FOR A NetBIOS SERVICE ON A TCP/UDP TRANSPORT : CONCEPTS AND METHODS”,RFC1001 1987,3

[12] “PROTOCOL STANDARD FOR A NetBIOS SERVICE ON A TCP/UDP TRANSPORT : DETAILED SPECIFICATIONS”,RFC1002 1987,3

[13]C. Perkins S . Das , “Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing”,RFC3561, 2003.7

[14] T.Clausen P.Jacquet, “Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)”,RFC3626, 2003.10

[15] R.Ogier M.Lewis, “Topology Dissemination Based on Reverse-Path Forwarding (TBRPF)”, RFC3684, 2004.2

[16]”The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR)”, draft-ietf-manet-dsr-09.txt, 2003.4