

# 車両間通信における適応的なメディア切替え方式

蕨野 貴之<sup>†</sup> 齊藤 研次<sup>†</sup> 杉山 敬三<sup>†</sup>  
篠永 英之<sup>†</sup> 西田 知弘<sup>††</sup>

今後の ITS (Intelligent Transport Systems) における通信形態として、従来の車両からサーバへのアクセスだけでなく、車両間でのピア-ピア型の通信が重要な役割を担うものと考えられる。筆者らは、将来的な車両間通信システムにおいて、異なる特性を有した無線通信メディアから、車両の位置や利用可能メディア、通信状態に応じて、最適なメディアを選択するアプローチの提案を行った。本稿では、上記のアプローチを発展させ、無線リンクの切断前にアドホックネットワークの経路を迅速に切り替える手法および、使用するメディアを切り替えた場合でも継続的な通信を可能とする HTTP (Hyper-Text Transfer Protocol) ベースのセッションレイヤーモビリティ手法を提案する。また、複数の車両を用いたフィールド実験を実施し、提案手法が最適メディアの選択および切替えにおいて有効であり、メディア切替え時でも継続的な通信が可能であること、さらには無線 LAN (アドホックモード) を車車間通信として利用する際に、一定の性能が得られることを確認した。

## Adaptive Media Switching for Future Vehicle-to-vehicle Communication

TAKAYUKI WARABINO,<sup>†</sup> KENJI SAITO,<sup>†</sup> KEIZOU SUGIYAMA,<sup>†</sup>  
HIDEYUKI SHINONAGA<sup>†</sup> and TOMOHIRO NISHIDA<sup>††</sup>

Vehicle-to-vehicle (peer-to-peer) communication is expected to play an important role in ITS (Intelligent Transport Systems). For future vehicle-to-vehicle communication, we have proposed an approach to select the most suitable radio communication media from several possible types (e.g., inter-vehicle, roadside-vehicle and cellular communication) based on the vehicle locations, available media and communication quality. This paper proposes an adaptive media switching method to improve the approach. Based on the proposed method, when the vehicle detects quality degradation of a wireless link in ad-hoc network, it switches a communication route to better one before original route breaks. Also, even if the vehicle switches to another media, our proposed HTTP(Hyper-Text Transfer Protocol)-based session layer mobility avoids any interruption of communication. We conducted field tests using several experimental vehicles. The results verify that our proposed method is effective in selecting the most suitable media and disconnection of communication during the media switching is avoided, and furthermore wireless LAN (ad-hoc mode) has enough capability as inter-vehicle communication.

### 1. はじめに

近年、交通渋滞の緩和や安全性の向上、運転手および同乗者の利便性の向上を目指し、最新のインターネット技術を車両の通信に応用するインターネット ITS (Intelligent Transport Systems) の研究が広く行われている。現在の ITS サービスの多くは、車両からネットワーク内のサーバへアクセスするクライアント-サーバ型のモデルに限定されていたが、昨今、車

両間で通信を行うピア-ピア通信の重要性が認識されつつある<sup>1)</sup>。

ITS にピア-ピア技術を適用することで、車両間での情報共有がリアルタイムで、かつロケーションに則した形で行うことが可能となる。たとえば、緊急車両の接近や事故の発生を近隣の車両にリアルタイムに通知し、安全性を向上させるアプリケーションや、路側局から交通情報や地域情報を配信するシステムにおいて、情報を取得できなかった車両が周囲の車両からデータを取得するアプリケーション、渋滞時に前方車両から映像情報を取得するアプリケーションが提案されている<sup>2),3)</sup>。

その一方、移動端末に複数の無線通信メディアを持

<sup>†</sup> 株式会社 KDDI 研究所  
KDDI R&D Laboratories Inc.

<sup>††</sup> 株式会社 KDDI  
KDDI Corporation

たせ、状況に応じて使用するメディアを選択するシームレス通信技術がモバイルコンピューティングの分野を中心に検討されている。車両は複数の通信装置やアンテナ類を装備するに十分なスペースがあり、かつ携帯電話やノートパソコンと比べて消費電力に対する制約も緩和されており、上記のアプローチは ITS に適している。しかしながら、従来のメディア選択方式は、ITS におけるメディアの多様性や、高速移動によるネットワーク構成の変化および通信品質の変動といった問題に対応できない。また、インターネットアクセスといったサーバへの通信を対象としており、車両間通信のように自局および通信相手の双方が移動する環境を想定していない。

上記の背景をふまえ、筆者らは、車両間通信において、異なる特性を有した無線通信メディアから、車両の位置や利用可能メディア、通信状態に応じて、最適なメディアを選択するアプローチを提案した<sup>4),5)</sup>。本稿では、上記のアプローチを発展させ、無線リンクの切断前にアドホックネットワーク内の経路を迅速に切り替える手法および、使用するメディアを切り替えた場合でも継続的な通信を可能とする HTTP (Hyper-Text Transfer Protocol) ベースのセッションレイヤーモビリティ手法を提案する。また、複数の車両を用いたフィールド実験を実施し、提案方式が最適メディアの選択および切替えにおいて有効であること、メディア切替え時でも継続的な通信が可能であることを確認した。

以下、2章では、将来の車両間通信システムの構成および、先に提案したメディア選択方式とその課題を説明する。3章では従来方式とその問題点を述べ、4章でアドホックネットワーク内の経路再設定手法および、HTTP をベースとしたセッションレイヤーモビリティ手法を提案する。5章でフィールド実験の結果を示し、最後に6章で結論を述べる。

## 2. 車両間通信でのメディア選択方式

### 2.1 車両間通信システム

現在、G-Book<sup>6)</sup>等の商用サービスで用いられている双方向通信メディアは移動通信のみであるが、今後の車両間通信システムでは、直接車両間で通信を行う車両間通信に加えて、様々な通信形態が考えられる。これらのメディアは車車間通信、路車間通信、移動通信に分類できる。表1に各分類の説明を、図1にシステム構成を示す。

車両間通信では車両の位置関係の変動が大きく、表1にあげたメディアを使い分ける必要がある。従来のメ

表1 通信メディアの分類

Table 1 Categories of vehicle-to-vehicle communication media.

| 分類    | 例                                      | 説明  |
|-------|--|---|
| 車車間通信 | ミリ波、無線 LAN (アドホックモード)                  | 通信インフラを介さず車両間で直接通信を行う方法。アドホックルーティングプロトコルにより、一時的な車両ネットワークの構築が可能。 |
| 路車間通信 | 5.8 GHz 帯 DSRC、無線 LAN (インフラストラクチャーモード) | 道路沿いに設置されたアクセスポイント (AP) を介して通信を行う方法。スポット的に高速通信が可能。              |
| 移動通信  | Cdma2000 1xEV-DO、Wide-band CDMA        | 通信エリアが広い基地局 (BS) を介して通信を行う方法。近年、伝送速度の高速化が進んでいるが、他形態に比べて低速である。   |

DSRC:専用狭域通信 (Dedicated Short Range Communication)。5.8 GHz 帯の電波を使用し、数 m ~ 30 m の限定されたスポットにおいて最大 4 Mbps の双方向通信が可能。

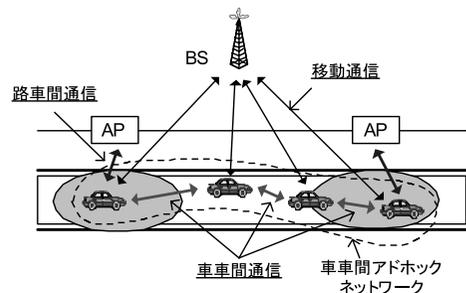


図1 車両間通信システムの構成

Fig. 1 Future system configuration in ITS.

ディア選択方式では、無線 LAN と移動通信間でより通信速度が速いメディアを選択する方式や、ユーザがあらかじめ優先順位を設定するような固定的にメディアを選択する方式がとられてきた<sup>7),8)</sup>。これは、使用するメディアが2種類程度に限定されており、通信速度やカバレッジの広さといった各メディアの優位性が明確であった背景がある。車両間通信では、特性の異なる種々のメディアが使用されることが考えられ、従来方式では以下の問題に対応できない。

- メディアの多様性

今後、メディアの多様化が進んだ場合でも、すべての車両が所望のメディアを有しているとは限らない。また、メディアを有する場合でも、車両が AP のエリア外にいる場合には路車間通信が利用できない等、利用不可の場合がある。

表 2 プロファイル情報  
Table 2 Profile information.

| プロファイル名      | 説明                     |
|--------------|------------------------|
| メディアプロファイル   | 物理的なメディアの有無と利用可否の情報    |
| ロケーションプロファイル | 車両の現在位置や移動速度、移動方向の情報   |
| 通信プロファイル     | 通信を行う車両間での有効帯域や遅延時間の情報 |

### ● ネットワーク構成の変化

車両間で移動速度に差がある場合や移動方向が異なる場合には、車車間通信で継続的に安定した通信を行えない。また、路車間通信では通信途中で車両が AP のエリア外に進入する可能性がある。

### ● 通信品質の変動

車車間通信を用いたアドホックネットワークでは、ネットワーク構成に応じて通信品質が著しく変化する。また、移動通信においても cdma2000 1xEV-DO のように BS からの距離に応じて通信速度が変化するシステムが展開しつつあり、通信品質を固定的に考えることができない。

## 2.2 メディア選択方式

2.1 節での問題点を解決するため、通信開始者と通信相手のメディアプロファイルやロケーションプロファイル、車両間で測定した通信プロファイルを総合的に判断し、最適なメディアを選択する方式の提案を行った<sup>4),5)</sup>。表 2 に各プロファイルの情報を示す。ここでは、通信開始者が自局と通信相手のプロファイルに基づき、メディアの選択を行う。

以降では、通信開始時のメディア選択手順を説明する。ここでは、各車両は GPS (Global Positioning System) 等により自身の位置を検出可能であり、また路車間通信で使用する AP の位置情報、およびエリア範囲を車両側で既知とする。

### 手順 1: プロファイル取得・判定処理

(1a) 通信開始にともない、通信開始者は車車間通信あるいは移動通信を用いて、通信相手からメディアプロファイルとロケーションプロファイルを取得する。

(1b) 自局および通信相手のメディアプロファイルを用いて、両車両で利用可能なメディアを判定する。

(1c) 自局および通信相手のロケーションプロファイル、AP の位置情報を用いて、車車間通信および路車間通信で継続的に通信を行えるか判定する。路車間通信では、ロケーションプロファイルと AP の位置情報およびエリア範囲から、車両がエリア内に在圏する時間 (在圏時間) を推定し、その時間が閾値より小さい場合に通信継続不可と判定する。車車間通信では、車

両間の位置関係や移動方向、速度を比較し、地理的に離れている場合や逆方向等、走行方向が著しく異なる場合、速度差が大きい場合には、通信継続不可と判定する。

### 手順 2: 通信品質測定処理

先の (1b) および (1c) で利用可能と判定された各メディアに対して有効帯域および遅延時間の通信プロファイルを測定する。

(2a) 有効帯域は、電波の受信レベルと伝送速度の関係から推定する。路車間通信や移動通信では、自局および通信相手で測定した受信レベルから伝送速度を導出し、両方の伝送速度で低い値をエンド-エンドの帯域とする。車車間通信では、通信経路上の各車両で測定した受信レベルから伝送速度を導出し、最も低い伝送速度を有効帯域とする。

(2b) 遅延時間の測定では、自局と通信相手間で RTT (Round Trip Time) を計測し、その半分を遅延時間とする。

### 手順 3: メディア選択処理

手順 2 の測定結果から、最も通信品質が良いメディアを選択する。選択基準として、車両間のデータ転送等では有効帯域の大きいメディアを、リアルタイム性が求められる映像伝送では遅延時間の小さいメディアを選択するように、アプリケーションの特性に応じたメディアを選択する。

## 2.3 課題

2.2 節で述べた選択手順に従うことで、先の課題の多くは解決できる。(1b) において双方の車両で使用可能なメディアを選択することでメディアの多様性に対応でき (1c) で接続時間が短いメディアを排除することで、ネットワーク構成が変化する影響を軽減し、通信の安定性を確保する。また、手順 2 において、通信開始時に有効帯域および遅延時間の通信品質を測定することで、最新の通信品質に応じたメディア選択が可能となる。

しかしながら、車両間でサイズの大きなデータを転送する場合や、長時間の映像伝送を行う場合には、通信途中に無線リンクが切断し、通信が中断する問題がある。そのため、目的のデータを最後まで受信する、あるいは継続的に映像伝送を行うには、無線リンクの劣化を事前に検出し、使用するメディアを切り替える必要がある。

無線リンク劣化の検出方法として、リンクを確立している装置 (隣接ノードや BS, AP) からの受信レベルを測定し、受信レベルが特定の閾値を下回った場合に品質劣化と見なすのが一般的である。フェージング

表 3 車両間相対速度と切断時間の関係  
Table 3 Relation between relative speed and disconnection time.

| 相対速度    | 60 m     | 40 m    | 20 m    |
|---------|----------|---------|---------|
| 20 km/h | 10.8 sec | 7.2 sec | 3.6 sec |
| 40 km/h | 5.4 sec  | 3.6 sec | 1.8 sec |
| 60 km/h | 3.6 sec  | 2.4 sec | 1.2 sec |

等の受信レベルの突発的な変動に対応するため、受信レベルの移動平均や制御信号の誤り判定結果を判定基準に用いることが提案されているが<sup>9)</sup>、詳細なアルゴリズムは使用する無線周波数や通信方式、電波環境に依存するため、本稿では検討対象外とする。

また、メディア切替えの形態として、アドホックネットワークの通信経路や接続先の BS/AP を切り替える同一メディア切替えと、あるメディアから別のメディアに切り替える異種メディア間切替えがある。本稿ではモデルを単純化するため、移動通信および路車間通信の同一メディア切替えを想定しない。移動通信では通常、BS 間のハンドオーバをシステムとしてサポートしており、また、隣接する BS 間でオーバラップするエリアが広く、通信の切断なくハンドオーバすることが可能である。路車間通信はスポット的にエリアを構成するため、各車両は同時に 1 つの AP のみに接続可能とする。以上より、本稿では、同一メディアの切替えとしてアドホックネットワークでの経路切替えと異種メディア間切替えを検討対象とする。

なお、表 3 に車両間の相対速度と切断時間の関係を示した。表中の各列 (60 m, 40 m, 20 m) は車両間通信において、無線リンクの品質劣化を検出する地点と実際に無線リンクが切断する地点間の距離を示しており、距離が長いほど検出から切断までのマージンを大きく設定することを意味する。表 3 内の最も厳しい条件として、相対速度が時速 60 km/h、検出から切断までの車両間距離が 20 m の場合を想定すると、検出から切断までに 1.2 sec の猶予があり、本時間内にメディア切替え処理を終了する必要がある。

### 3. 従来方式

3.1 アドホックネットワークでの経路切替え手法  
代表的なオンデマンド型のプロトコルである AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector)<sup>10)</sup> や DSR (Dynamic Source Routing protocol)<sup>11)</sup> では、実際に無線リンクが切断されるまで、通信経路を維持する特徴がある。具体的には、無線リンクの切断を検出した無線ノードは RERR (Route ERror) と呼ばれる制御メッセージを通信開始者に送信し、RERR を受

信した通信開始者は RREQ (Route REQuest) を送信することで、新規経路の探索を行う。無線リンク切断の検出方法として、文献 10), 11) で以下の 4 つの方法があげられている。

- 無線リンクの ACK や RTS (Request To Send) のレスポンスである CTS (Clear To Send) を利用し、データや RTS を最大再送回数だけ送信しても、ACK や CTS を受信しない場合に、リンクの切断と見なす。
- 隣接ノードへのパケット送信後、隣接ノードがパケットの中継を行ったかモニタリングし、中継していない場合にリンクの切断と見なす (Passive acknowledgement)。
- 各無線ノードは定期的にハローパケットをブロードキャストし、隣接ノードのハローパケットを一定時間受信しない場合、隣接ノードとのリンクが切断したと見なす。
- 隣接ノードに対して RREQ あるいは ICMP (Internet Control Message Protocol) の Echo Request を送信し、そのリプライを受信しない場合にリンクの切断と見なす。

しかしながら、このような break-before-make のアプローチでは、リンク切断時のパケットロスを防ぐことができない。トランスポートプロトコルに TCP を用いる場合には、パケットロスにより TCP の輻輳制御機構が起動し、スループットの低下を招く。また、映像伝送のように UDP を用いる場合には、アプリケーションの動作や通話品質に影響を及ぼす。

#### 3.2 メディア間切替え時のセッション継続手法

通常、メディアごとに異なる IP アドレスを設定するため、異種メディア間の切替え時に端末の IP アドレスが変化することで、通信セッションが途絶える問題がある。本問題の解決策として IP レイヤーでモビリティ制御を行う MobileIP<sup>12)</sup> が IETF (Internet Engineering Task Force) で検討されている。しかしながら、MobileIP では、通信相手からのパケットはすべて HA (Home Agent) を経由するため、HA に通信トラフィックが集中し、かつ通信経路が冗長になる問題があった。さらには、ホームネットワーク内に HA を配置する必要があり、コストおよび運用面の観点から容易に実施できない。

その一方、上位レイヤーでモビリティを実現する、セッションレイヤーモビリティが提案されている<sup>13), 14)</sup>。これらの技術ではサーバクライアント間のエンド-エンドでモビリティを保障するため、HA の配置が不要となる等、MobileIP がかかえる問題点は解決された。

文献 13) では、端末およびサーバの双方に Medlar プロキシを配置し、端末がネットワーク間を移動した場合に通信をシームレスに継続する機能および端末がネットワークから一時的に離脱した場合でも、再接続後にアプリケーションを中断点から再開する機能を実現している。具体的には、セッション確立時にプロキシ間でセッションを一意に識別するためのセッション ID を付与し、メディア切替え時およびネットワークの再接続時に同一のセッション ID を用いて再接続する。他方、文献 14) では、ユーザコンテキストに応じたデバイスや通信リンク、コンテンツ等の動的な切替え手法を提案している。本技術の特徴は、アプリケーションレベルでのインタフェースを IP アドレスと TCP や UDP のポート番号によって決定するのではなく、新たにアプリケーションレベルでの通信識別子を導入することにある。これにより、使用する端末や通信リンクを切り替えることで IP アドレスやポート番号が変更された場合でも、アプリケーションは再接続する必要がない。

しかしながら、これらの技術は独自のプロトコルに基づいており、依然として端末およびサーバ側の対応が不可欠である。文献 13) では端末およびサーバの双方に Medlar プロキシを配置する必要があり、文献 14) でも通信識別子での通信をサポートするミドルウェアを実装する必要がある。

#### 4. 適応的なメディア切替え方式

3 章で述べた課題を解決するため、アドホックネットワークでの迅速な経路再設定手法と、異種メディア間切替えを実現する HTTP を用いたセッションレイヤーモビリティ手法を提案する。

##### 4.1 アドホックネットワークでの経路再設定手法

アドホックネットワークでの迅速な経路切替えを実現するため、本稿では通信品質の劣化を検出した際に、通信を継続しながら新規経路へ切り替える手法を提案する。本手法の実現において (1) 隣接ノードとの通信品質を監視し、品質の劣化を検出する機能 (2) 通信品質の劣化を検出したノードが通信開始者に通知する機能 (3) 従来の通信経路を維持しながら新規経路を確立する機能が必要となる (1) の詳細なアルゴリズムは使用する無線周波数や通信方式、電波環境に依存するため、本稿では検討対象外とする。

本稿では (2) および (3) の実現のため、従来の AODV を拡張し、通信品質の劣化を通信開始者に通知する RERR-QD (Quality Degradation) メッセージを追加するとともに、各ノードで保持するルーティ

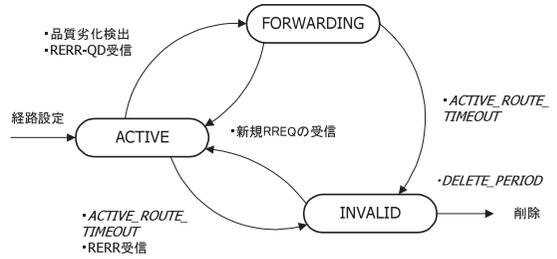


図 2 ルーティングフラグの状態遷移  
Fig. 2 State transition of routing flag.

ングフラグに従来の Active と Invalid の中間状態である Forwarding 状態を新たに設けることを提案する。Forwarding はデータの中継を行うものの (Active の性質)、ルーティングテーブルに登録された宛先への RREQ を受信した場合でも代理応答を行わない (Invalid の性質) 状態である。通常、無線リンクの切断を検出したノードおよび RERR を受信したノードはルーティングフラグを Invalid に設定することで通信経路を無効化するが、品質劣化を検出したノードおよび RERR-QD を受信したノードではフラグを Forwarding 状態に設定し、通信経路を維持する。これにより、RERR-QD を受信した通信開始者は、従来経路上の通信を継続しながら、経路の再設定を行うことが可能となる。また、従来経路上のノードが通信開始者から送信される RREQ に対して代理応答を行わないようにすることで、同一経路が選択されることを防止した。

また、新規経路の探索において、劣化した無線リンクを含む経路が再確立するおそれがある。AODV では、通信相手側は最初に受信した RREQ に対して経路設定を行うため、劣化した無線リンクを含む経路が確立されることで、他の品質の良い経路が確立されない可能性が発生する。そのため、品質劣化を検出したノードでは劣化したリンクの隣接ノードをリストに記録し、当該ノードからの RREQ を破棄することで、劣化リンクを含む経路が確立することを防止する。なお、提案方式では、新規経路が発見されない場合でも、従来の経路は保持されるので、無線リンクが切断されるまでの間、通信を継続することが可能である。

図 2 にルーティングフラグの状態遷移を、図 3 に無線ノード A-B-C-D 間の通信経路確立後の処理手順を示す。なお、図 3 中の斜体文字は各ノードでのルーティングフラグの状態を「宛先ノード名: フラグの状態」の書式で示している。

##### 処理手順

- 通信経路の確立後、各ノードは隣接ノードからの

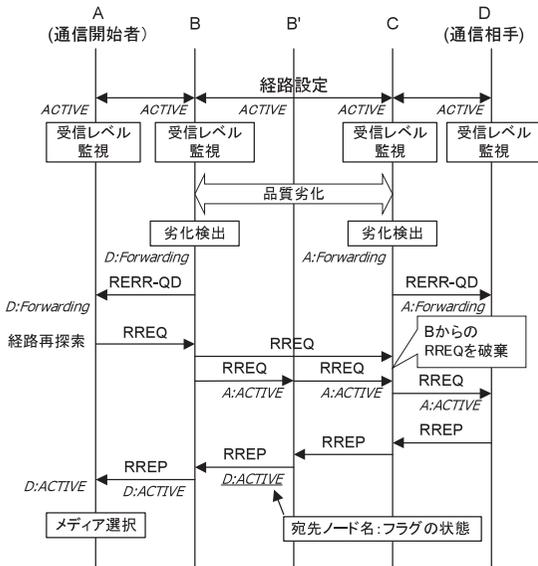


図 3 経路再設定手法の処理手順  
Fig. 3 Route set-up procedure.

受信レベルを監視する。この時点で、各ノードの A および D 宛でのルーティングフラグは Active に設定されている。

- B-C 間の通信品質の劣化を検出した B は D 宛でのフラグを Forwarding に設定するとともに、品質劣化を示す RRR-QD を隣接ノードに送信する。同様に、劣化を検出した C は A 宛でのフラグを Forwarding に設定し、RRR-QD を送信する。B および C は互いをリストに記録する。
- B からの RRR-QD を受信したノードでは、ルーティングテーブル内に通信先が D でありかつ次ホップが B であるエントリが存在する場合、そのルーティングフラグを Forwarding に更新し、RRR-QD を隣接ノードに再送信する。
- RRR-QD を受信した A (通信開始者) は、データの送受信を継続しながら、経路再探索のため RREQ を送信する。C は B からの RREQ を破棄することで、B-C 間の無線リンクを含む経路が選択されることを防止する。
- 代替経路の探索後、A は 2.2 節のメディア選択を行い、同じく車両間通信を用いる場合にはアドホックネットワークの隣接ノードの切替えを、他のメディアを用いる場合にはメディアの切替えを行う。

なお、RRR-QD は設定するルーティングフラグが異なることを除き、RREP と同様の転送処理を行う。たとえば、図 3 において B-C 間の無線リンクを

使用しているノードが 1 組であれば隣接ノードにユニキャストで送信し、通信ノードの組が複数の場合にはブロードキャストで送信する。また、無線リンクのエラーが原因で RRR-QD にロスが生じた場合でも、品質劣化を検出したノードが RRR\_RATELIMIT を超えない範囲で RRR-QD の再送を行う。

また、車両間で電波の出力が異なる場合、片方向のリンクのみが品質劣化する状況が想定される。そのため、隣接ノードから自身のリンクの品質劣化を示す RRR-QD を受信した場合、当該リンクの品質が劣化したものと見なし、品質劣化時の処理を起動する。

### 4.2 HTTP によるセッションレイヤーモビリティ手法

3.2 節で述べたように、異種メディア間切替え時のセッション継続手法として、既存の Mobile IP やセッションレイヤーモビリティを用いた場合、HA の配置が必要であったり、端末およびサーバに独自のプロトコルを実装する必要があり、容易に実施できない問題があった。

そこで、本稿では、先の技術では困難であった実施の容易性を実現するため、データのダウンロードに広く使用されている HTTP (Hyper-Text Transfer Protocol)<sup>15)</sup> をベースとしたセッションレイヤーモビリティ手法を提案する。具体的には、正常に受信したデータ量を端末内のプロキシで記録し、メディア切替え時に HTTP の range フィールドを利用して、取得済みのデータ以降から再取得を行う。range フィールドは HTTP1.1 から正式にサポートされ、Apache<sup>16)</sup> 等のモジュールで対応が進んでいる。ピア-ピア通信では各端末はサーバントと呼ばれるサーバとクライアント機能の両方を兼ね備えており、サーバントの開発に range フィールドに対応した HTTP モジュールを用いることで、提案方式を容易に実現できる。

図 4 に車両に搭載する通信装置のソフトウェア構成を示す。各通信装置はメディア制御部と、プロキシ、サーバおよびクライアント機能を持つサーバントから構成される。プロキシは HTTP データを自身のクライアントと他車両のサーバとの間で中継し、クライアントに代行して HTTP セッションの制御を行う。メディア制御部はメディア選択を実施するコアエンジンであり、メディア切替え時にプロキシに通知を行う。

従来、range フィールドはデータのプリフェッチに際しデータの先頭部分のみを取得する場合や、ダウンロード途中で切断したセッションを再開するために使用されてきた。ここでは、メディア制御部とプロキシが連携することで、メディア切替えを契機に切替え後

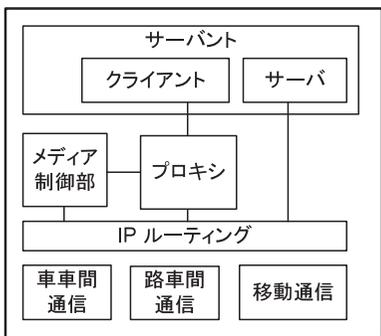


図 4 通信装置のソフトウェア構成

Fig. 4 Software configuration of communication terminal.



図 6 実験車両

Fig. 6 Experimental vehicle.

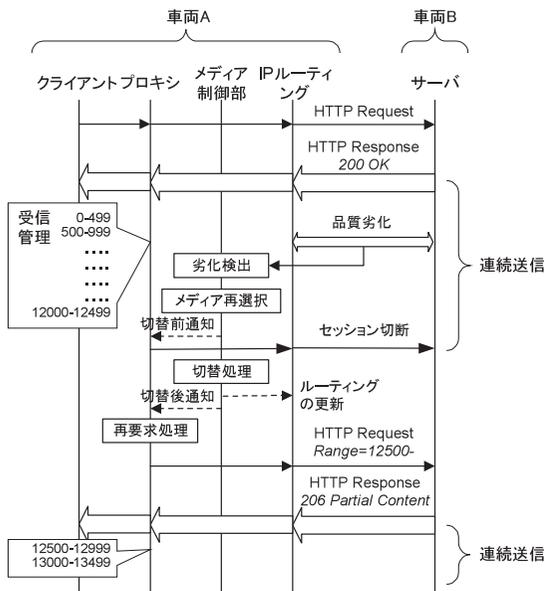


図 5 セッション継続手法の通信シーケンス

Fig. 5 Session continuation method.

のメディアでセッションを再開する。また、セッションの再開処理をプロキシとして実装することで、クライアントに対してメディア切替え処理を隠蔽できる。

図 5 に通信シーケンスを示すとともに、以下で説明を行う。

- クライアントからの HTTP リクエストの受信を機に、プロキシは選択メディアを用いてサーバにリクエストを転送する。その後、プロキシはサーバからのレスポンス (Status code: 200 OK) をクライアントに転送するとともに、以降、正常に受信したデータ量を管理する。
- 車車間通信や路車間通信の通信品質が劣化した場合、メディア制御部がそれを検出し、メディアの再選択処理を起動する。

- メディア選択の結果、異種メディア間切替えを行う場合には、実際の切替えに先立ち、プロキシに切替え前通知を行う。通知を受けたプロキシはサーバとのセッションを切断する。
- その後、メディア制御部はルーティングテーブルを更新し、プロキシに通知する。通知を受けたプロキシは、range フィールドを用いることで、正常に受信したデータ以降をサーバに要求する。サーバからのレスポンス (Status code: 206 Partial Content) を受信後、それに続くデータをアプリケーションに中継する。

上記の手順に従うことで、メディア間切替え時のセッションの継続が可能となる。

また、メディア制御部からプロキシに対し切替え前通知を行うことで、プロキシはサーバとのセッションを確実に切断する。本処理を行わない場合、サーバはセッションを保持してしまい、一定期間、リソースを解放できないという問題がある。なお、プロキシでのセッション切断から再接続までの間、クライアントはデータを受信しないので、クライアントでのタイムアウト値を再接続時間より長く設定する必要がある。

## 5. フィールド実験

### 5.1 実験概要

2章および4章で提案したメディア選択・切替え方式を評価するため、開発した通信装置を車両に搭載し、神奈川県横須賀リサーチパーク (YRP) でフィールド実験を実施した。図 6 に実験車両を示す。各車両には無線 LAN (IEEE802.11b) のアドホックモードおよびインフラストラクチャモード (以降、インフラモード)、PHS の通信メディアと GPS 受信機を搭載した。また、渋滞時に前方車両から映像情報を取得するアプ

表 4 実験諸元 (共通)

Table 4 Experimental parameters.

|                |                                     |
|----------------|-------------------------------------|
| 無線 LAN 規格      | IEEE 802.11b                        |
| アンテナ高          | AP : 4 m, 車両 : 1.5 ~ 1.9 m          |
| アンテナ利得         | AP : 7 dBi, 車両 : 2dBi<br>(無指向性アンテナ) |
| 通信装置 CPU       | Pentium 4 2.2 GHz/3.2 GHz           |
| 通信装置メモリ容量      | 512 MB                              |
| 通信装置 OS        | Turbo Linux 8                       |
| アドホックプロトコル     | AODV                                |
| AODV RREQ 再送間隔 | 3 [sec]                             |
| AODV RREQ 再送回数 | 2 回                                 |

表 5 無線 LAN (アドホックモード) の評価結果

Table 5 Evaluation results of wireless LAN ad-hoc mode.

| AODV 起動の有無 | 通信距離  | 受信レベル [dBm] | パケット損失率 [%] | 遅延時間 [msec] | スループット [Mbps] |
|------------|-------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| 無          | 室内    | -26         | 0           | 1.7         | 4.9           |
|            | 200 m | -71         | 0           | 1.8         | 4.9           |
|            | 400 m | -81         | 0           | 2.7         | 3.4           |
| 有          | 室内    | -27         | 0           | 3.3         | 4.2           |
|            | 200 m | -76         | 0           | 3.5         | 3.9           |
|            | 400 m | -81         | 0           | 4.2         | 3.2           |

リケーションを想定し、車両間で映像伝送を行えるような Web カメラを搭載している。

フィールド実験では、車両間通信としての無線 LAN (アドホックモード) の実用性を評価するため、車両停止環境および走行環境で無線 LAN の通信品質の測定を行い、さらに、車両走行環境で適応的なメディア切替え方式の評価を行った。表 4 に実験諸元を示す。

## 5.2 無線 LAN (アドホックモード) の品質評価

### 5.2.1 車両停止状態

車両 2 台を見通しの良い直線道路に配置し、通信距離 200 m, 400 m の場合と屋内の至近距離の場合とで、受信レベル、パケット損失率、遅延時間、TCP スループットの 4 項目を測定した。受信レベルは iwspy<sup>17)</sup> による測定 (1 回) を、遅延時間およびパケット損失率は ping による測定 (50 回)、TCP スループットは iperf<sup>18)</sup> を用いた測定 (5 秒間 1 回) を 1 セットとして、室内では上記測定を 10 セット、屋外試験では 20 セットずつ行った。表 5 に各測定値の平均値を示す。

実験結果から通信距離が伸びるに従い、遅延時間の増加とスループットの低下が観測された。室内と通信距離 400 m の結果を比較した場合、遅延時間が約 1 msec 増加し、スループットが 1.5 Mbps 低下している。これは受信レベルの低下により無線リンク上でエラーが発生し、再送処理が行われたことが原因と考えられる。しかしながら、通信距離 400 m においても

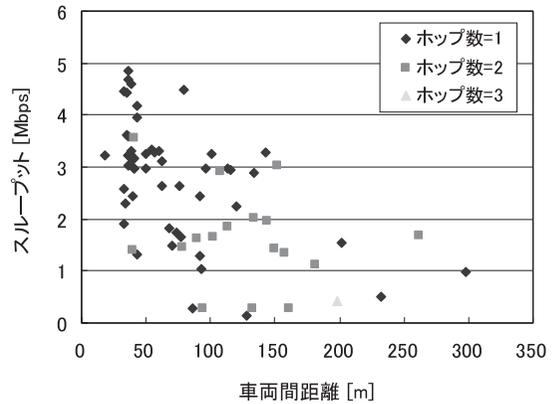


図 7 車両走行環境での TCP スループット評価

Fig. 7 TCP throughput evaluation in vehicle running environment.

パケット損失率は 0% であり、3.4 Mbps の実効スループットを得ることができた。渋滞時に前方車両から映像情報を取得するアプリケーションでは、300 kbps ~ 1 Mbps の伝送レートがあれば状況把握に十分な映像品質を得られる。また、車両間でデータ送信を行う場合でも、現在の移動通信のスループットを大幅に上回っており、移動通信の代替として利用できる。したがって、400 m の通信距離内において、一定の通信性能を得られたものと考えられる。

また、AODV 機能の起動の有無で比較すると、AODV を起動した場合に遅延時間の増加とスループットの低下が観測された。これは通信装置のメディア制御部 (図 4) において、全パケットを対象に新規経路確立の必要性を確認する処理遅延の影響である。しかしながら、遅延時間の増加幅およびスループットの減少幅は微小であり、実用上問題ないものと考えられる。

### 5.2.2 車両走行状態

次に、YRP 周辺の道路で車両 5 台を走行させ、アドホック環境での通信性能の評価を行った。ここでは、通常の交通の流れで車両を走行させ、先頭の車両と最後尾の車両間で TCP スループットを測定した。

図 7 に TCP スループットの測定結果を示す。横軸は先頭車両と最後尾の車両間の距離を示しており、各車両で取得した位置情報から距離を算出した。TCP スループットの計測時間は 1 秒とした。

図 7 より、通信距離が 100 m まではホップ数が 1 (直接通信) で接続され、100 m を超えるとホップ数が 2 となる場面が多く見られたことが分かる。また、実験中、ホップ数が 3 となる場面が 1 回のみ発生した。

全般的に、停止環境での測定結果 (表 6) に比べて、スループットが低下し、また同一距離であってもスルー

表 6 メディア切替え時間 [ msec ]  
Table 6 Media selection time [msec].

| 手順                | T0    | T1  | T2  |
|-------------------|-------|-----|-----|
| 1. プロファイル取得・判定処理  | 603   | 286 | 263 |
| 2. 通信品質測定処理       | 323   | 228 | 273 |
| 3. メディア選択および切替え処理 | 120   | 141 | 163 |
| 合計                | 1,046 | 655 | 699 |

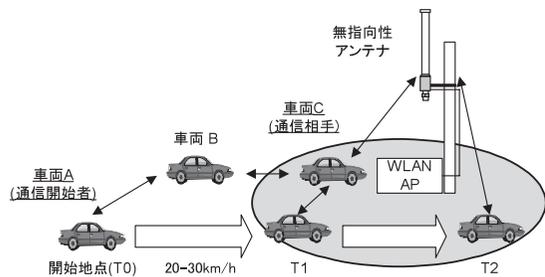


図 8 測定シナリオ  
Fig. 8 Experimental scenario.

ットにばらつきが見られる．先の測定は車両 2 台を見通しの良い直線道路上に配置した理想的な環境であったが、実際の走行環境ではカーブや交差点等の道路形状や、他車両によって見通しが遮られる等、電波環境の影響でスループットが大きく変動したものと考えられる．

5.3 適応的なメディア切替え方式の評価

提案の適応的なメディア切替え方式に関して、車両 3 台構成でメディア切替え時のスループットおよび切替え時間の測定を行った．実験は以下のシナリオに基づき実施した ( 図 8 ) ．

シナリオ

T0: 車両 A が車両 C からデータを取得するため、通信を開始する．この時点で両車両で利用可能なメディアは、車両 B を中継する無線 LAN ( アドホックモード ) とセルラーのみである．2 章のメディア選択手順に従い、車両 A は無線 LAN ( アドホックモード ) を選択し、車両 C に接続する．

T1: 車両 A が車両 B を追い越した後、車両 A-B 間の受信レベルが徐々に低下する．受信レベルが閾値  $Th_1$  を下回ったことを契機に、車両 A はメディア再選択処理を起動する．この場合、両車両で無線 LAN ( インフラモード ) が利用可能であるが、通信速度は無線 LAN ( アドホックモード ) の方が大きいため、無線 LAN ( アドホックモード ) を選択する．

T2: さらに、車両 A の移動により、車両 A と車両 C

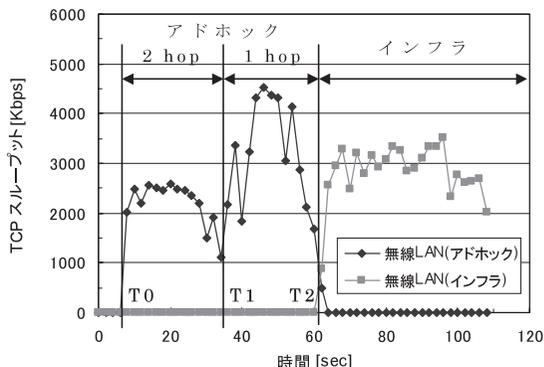


図 9 TCP スループット  
Fig. 9 TCP throughput

間の受信レベルが  $Th_1$  を下回ったことを契機に、車両 A はメディア再選択処理を起動する．この場合、無線 LAN ( インフラモード ) の通信速度が無線 LAN ( アドホックモード ) より大きく、無線 LAN ( インフラモード ) を選択する．

なお、PHS の遅延時間は無線 LAN の遅延時間に比べて十分に大きいため、本実験では手順 ( 2b ) で PHS の遅延時間の測定を省略している．また、無線 LAN の突発的な受信レベルの変動に対応するため、各車両で隣接車両および AP からの受信レベルを 1 秒間隔で測定し、受信レベルが閾値  $Th_1$  (  $-80$  dBm ) を連続 3 回下回った場合に品質劣化と判定するようにした．

図 9 に車両 A で測定した TCP スループットの結果を示す．グラフから、使用するメディアに応じてスループットが変動するものの、上述のシナリオどおりに最適なメディアを選択していることが分かる．

また、T1 時点で無線 LAN ( アドホックモード ) の品質劣化を検出し、4.1 節の手法によりアドホックネットワークの経路再設定を実施している．この場合、各車両のルーティングフラグをデータの中継を許容する Forwarding 状態に設定することで、旧経路から新規経路への切替えが通信の中断なく実施されていることが確認できる．同様に、T2 時点で無線 LAN ( アドホックモード ) の通信品質の劣化を検出する．T2 では使用メディアが無線 LAN ( インフラモード ) に変化するため、4.2 節でのセッションレイヤーモビリティ手法により車両 A のプロキシが車両 C のサーバに再接続を行うことで、継続した通信が実現されていることが分かる．なお、本フィールド実験では無線 LAN ( アドホックモード ) から無線 LAN ( インフラモード ) への切替えのみを行ったが、屋内検証において PHS を含めた全 6 パターンで問題なく切替えが行われることを確認した．

表 6 にメディア選択・切替え時の処理時間を示した。表中の手順は 2.2 節の手順に対応しており, 1. プロファイル取得・判定処理はアドホックネットワークの経路確立を含んでいる。表から無線 LAN (アドホックモード) 2 ホップでの選択および切替え時間が約 1 sec であること, また無線 LAN (アドホックモード) 1 ホップおよび無線 LAN (インフラモード) への切替え時間が約 700 msec であることが分かる。表 3 の最も厳しい条件として, 車両間の相対速度が時速 60 km/h, 検出から切断までのエリア距離が 20 m の場合を想定すると, 検出から切断までに 1.2 sec の猶予があり, 本時間内にメディア切替え処理を終了する必要がある。本フィールド実験での切替え処理は約 700 msec であり, 当初の目標値を満たすことを確認できた。

なお, メディア切替え処理に 700 msec 要するのは, 手順 1 および手順 3 において, 通信装置の経路設定処理が最適化されておらず, 各装置の経路設定処理に約 100 msec 要するからである。具体的には, 経路設定処理を行うメディア制御部 (図 4) でルーティング情報をファイル形式で保持しており, 本ルーティング情報の参照および更新に際し, 複数の外部コマンドが起動されることに起因する。そのため, メディア制御部でのルーティング情報をメモリ上で管理するとともに, ルーティング情報の参照および更新処理を内部関数化することで, 処理時間を改善することが可能であり, それに応じてメディア切替え時間も短縮することが考えられる。

## 6. む す び

本稿では, 筆者らが従来から提案する車両間通信でのメディア選択手順を発展させた適応的なメディア切替え方式の提案を行った。本方式では, 無線リンクの切断前にアドホックネットワーク内の経路を迅速に切り替え, また HTTP ベースでのセッションレイヤモビリティ機能によりメディア切替え時の途切れのない通信を可能としている。

また, 複数車両を用いたフィールド実験を実施し, 車車間通信としての無線 LAN (アドホックモード) の実用性および, 適応的なメディア切替え方式の評価を行った。無線 LAN (アドホックモード) の試験では車両間の距離が 400 m の場合でもパケット損失は発生することなく, スループットとしても一定の性能が得られた。しかしながら, 車両走行環境ではスループットが低下するとともに, 同一距離であってもスループットにばらつきが見られた。これは, カーブや交差点等の道路形状や, 他車両によって見通しが遮られる等,

電波環境の影響でスループットが大きく変動したものと考えられる。

メディア切替え方式に関して, 車両走行環境で最適メディアの選択が可能であることおよび, 提案のセッションレイヤモビリティ機能によりメディア切替え時でも通信の途切れが発生しないことを確認した。現在の実装では, メディア切替え時間に 700 msec から 1 sec 程度を要するため, 経路設定処理を最適化し, メディア切替え時間を短縮することが今後の課題である。

謝辞 最後に, 日頃ご指導いただき, KDDI 研究所浅見所長に感謝いたします。

## 参 考 文 献

- 1) 水 井 潔, 長谷川孝明, 永長知孝, 加藤 晋, 津川定之, 羽瀨裕真, 村田英一, 高橋常夫, 徳田清仁, 堀松哲夫, 関 馨, 藤井治樹, 中川正雄: 車車間通信コンセプトモデルに関する一検討, 情報処理学会研究報告, Vol.2003, No.25 (2003).
- 2) Nishida, T., Mizuno, M., Sugiyama, K., Saito, K., Warabino, T. and Shinonaga, H.: Peer-to-peer communications for Internet ITS, *Proc. 10th World congress on intelligent transport systems* (2003).
- 3) Bogenberger, R. and Kosch, T.: Ad-hoc peer-to-peer communication-web on the street, *Proc. 9th World congress on intelligent transport systems* (2002).
- 4) Warabino, T., Saito, K., Sugiyama, K., Shinonaga, H. and Nishida, T.: Proposal of a media selecting method for vehicle-to-vehicle communication, *Proc. 10th World congress on intelligent transport systems* (2003).
- 5) 藤野貴之, 齊藤研次, 杉山敬三, 篠永英之, 西田知弘: 車両間通信におけるメディア選択方式, *FIT2003*, LO-006 (2003).
- 6) トヨタ自動車: G-BOOK.  
[http://www.toyota.co.jp/jp/tech/its/program/function/g\\_book.html](http://www.toyota.co.jp/jp/tech/its/program/function/g_book.html)
- 7) Wu, G., Mizuno, M. and Havinga, P.J.M.: MIRAI architecture for Heterogeneous Network, *IEEE Communications Magazine*, Vol.40, No.2, pp.126-134 (2002).
- 8) 柴山大樹, 大槻信也, 鈴木康夫, 相川 聡: AWA と他システムを利用した無線ローミングの一検討, 2002 信学会ソサイエティ大会, B-5-198 (2002).
- 9) 米澤健也, 石川博康, 杉山敬三, 篠永英之: 路車間通信システムにおけるリンク接続・切断手法の提案, 2002 信学会総合大会, A-17-37 (2002).
- 10) Perkins, C., Belding-Royer, E. and Das, S.: Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing, IETF RFC 3561 (2002).
- 11) Johnson, D.B., Maltz, D.A. and Hu, Y.-C.:

The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks, IETF Internet Draft draft-ietf-manet-dsr-10 (2004).

- 12) Perkins, C.: IP Mobility Support for IPv4, IETF RFC 3344 (2002).
- 13) 片山 穰, 高杉耕一, 久保田稔, 小菊一三: 異種ネットワーク間におけるサービスの連続性の実現方式, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol.J84-B, No.3, pp.452-460 (2001).
- 14) Kaneko, K., Morikawa, H. and Aoyama, T.: Session layer mobility support for 3C everywhere environments, *Proc. 6th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC 2003)* (2003).
- 15) Fielding, R., Gettys, J., Mogul, J., Frystyk, H., Masinter, L., Leach, P. and Berners-Lee, T.: Hypertext Transfer Protocol — HTTP/1.1, IETF RFC 2616 (1999).
- 16) Apache Software Foundation.  
<http://www.apache.org/>
- 17) Wireless LAN resources for Linux.  
[http://www.hpl.hp.com/personal/Jean\\_Tourrilhes/Linux/Tools.html](http://www.hpl.hp.com/personal/Jean_Tourrilhes/Linux/Tools.html)
- 18) Iperf — The TCP/UDP Bandwidth Measurement Tool.  
<http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf/>

(平成 17 年 3 月 30 日受付)

(平成 17 年 10 月 11 日採録)



麻野 貴之

昭和 51 年生。平成 10 年東京大学工学部電子工学科卒業。同年国際電信電話(株)(現 KDDI)入社。現在、(株) KDDI 研究所無線ネットワークアーキテクチャグループ・

研究員。この間、モバイルマルチメディア、無線 LAN, ITS, シームレス通信技術、オーバレイネットワークに関する研究に従事。平成 17 年米国カリフォルニア大パークレイ校客員研究員。電子情報通信学会会員。



齊藤 研次

昭和 46 年生。平成 6 年電気通信大学電子情報工学科卒業。同年第二電電(株)(現 KDDI)入社。現在、(株) KDDI 研究所無線ネットワークアーキテクチャグループ・研究

主査。平成 14 年より ITS, 無線 LAN 等の研究に従事。平成 15 年度電子情報通信学会学術奨励賞受賞。電子情報通信学会会員。



杉山 敬三(正会員)

昭和 37 年生。昭和 60 年京都大学工学部情報工学科卒業。昭和 62 年同大学大学院工学研究科情報工学専攻修士課程修了。同年国際電信電話(株)(現 KDDI)入社。現在、(株)

KDDI 研究所無線ネットワークアーキテクチャグループ・グループリーダー。工学博士。この間、OSI 応用プロトコルや EDI, ネットワーク管理, ITS, 無線 LAN の研究に従事。平成 6 年度電子情報通信学会学術奨励賞受賞。電子情報通信学会会員。



篠永 英之

昭和 31 年生。昭和 54 年大阪大学工学部通信工学科卒業。昭和 56 年同大学大学院修士課程修了。同年国際電信電話(株)(現 KDDI)入社。現在、(株) KDDI 研究所執行

役員。工学博士。この間、デジタル衛星通信方式, SS/FDMA 方式, SAW 応用技術, スペクトル拡散多元接続方式, 低軌道衛星通信システムに関する研究に従事。電子情報通信学会会員。



西田 知弘

昭和 31 年生。昭和 55 年電気通信大学電波通信学科卒業。同年国際電信電話(株)(現 KDDI)入社。現在、(株) KDDI メディア技術開発部 ITS 推進室長。平成 14 年より通信・

放送機構横須賀 ITS リサーチセンターにおいて ITS の研究に従事。電子情報通信学会会員。