

車載ルータによるシームレスローミングの実現

小佐井 潤 武藤 健二 松ヶ谷 和沖 難波 秀彰

(株)デンソー 基礎研究所 〒470-0111 愛知県日進市米野木町南山 500-1

E-mail: {JUN_KOSAI, KENJI_MUTO, KAZUOKI_MATSUGATANI, HIDEAKI_NANBA}@denso.co.jp

あらまし 移動通信において移動透過性を確保する技術として MobileIP が注目されているが、頻繁に移動をする自動車には適していない。そこで、車にルータを搭載しネットワーク側のルータと連携して動作することで移動透過性を確保するシームレスローミング技術を提案する。本手法は、経路情報の更新に標準プロトコルを使用しているため、既存設備の上で使用可能な特徴をもつ。本稿では、提案手法の基本動作、屋内および屋外での評価実験について述べる。

キーワード シームレスローミング、車載ルータ、ルーティング、IEEE802.11b、PHS、RIP、OSPF

Seamless Roaming Technology by The Mobile Router

Jun KOSAI Kenji MUTO Kazuoki MATSUGATANI and Hideaki NANBA

Research Laboratories, DENSO CORP. 500-1 Minamiyama, Komenoki-cho, Nisshin-shi, Aichi, 470-0111 Japan

E-mail: {JUN_KOSAI, KENJI_MUTO, KAZUOKI_MATSUGATANI, HIDEAKI_NANBA}@denso.co.jp

Abstract The mobile IP is expected as a technology providing host migration transparency. But it is not suitable to automobiles, which move very frequently. So we propose the seamless roaming technology that use a mobile router and cooperate with routers in infrastructure. The characteristic is using standard protocol for routing update. In this paper, we mention the basic operation of proposed method and the evaluation experiments.

Keyword Seamless Roaming, Mobile Router, Routing, IEEE802.11b, PHS, RIP, OSPF

1. はじめに

近年、カーナビゲーションシステムに通信機が搭載され、インターネットや各種サービスプロバイダーから最新の情報を得ることが可能となっている。また車両の位置によって様々なサービスを行うなど、車載通信の必要性は今後ますます高くなると考えられる。しかし、現在車載通信に用いられている通信システムは第3世代携帯電話であり、移動時の最高通信速度は144kbpsと、映像などを使用したサービスを行うには通信速度が不足している状況である。

一方、高速な無線通信システムの開発も行われており、無線通信において数十Mbps~100Mbpsといった高速通信が可能となってきている。しかしながら通信速度を速くするためには高い周波数の電波を使う必要があるため、通信速度が速くなるほど電波の到達距離が短くなるという傾向がある。例えば現在PCの分野で広く普及している無線LAN(IEEE802.11b)では、数十m~100m程度の到達距離である。このためこのような通信システムを用いて、道路上のすべてを通信可能範囲とするには、膨大な時間とコストが掛かり、また完全に実現することは困難である。

このようなことから、自動車における近い将来の通

信環境として、図1のような状況が想定される。これは高速な無線通信が可能な場所と、そうでない場所が混在している環境である。このような環境で移動通信を行う場合、接続先アクセスポイント(以降AP)や通信システムが切り替わった場合にも、ユーザがインターネット上のサービスを継続的に利用できるようなシームレスローミング技術が必要となる。

本稿では、車載ルータとネットワーク側のルータと

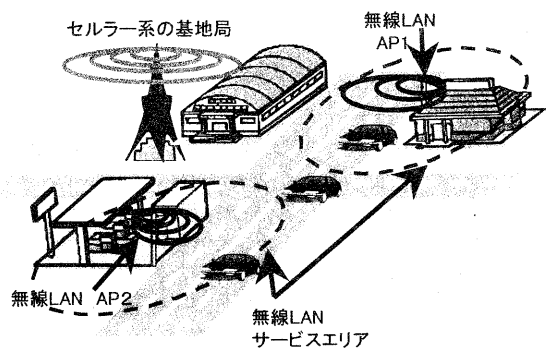


図1 自動車の通信環境

が連携して経路制御することで、シームレスローミングを実現した。同様の技術として IP ハンドオーバー方式が開発されているが、経路制御に用いたプロトコルが不明であり、独自プロトコルの場合には導入時に膨大なコストを要する[1][2]。本稿の提案手法は、経路制御のプロトコルとして OSPF (Open Shortest Path First) と RIP (Routing Information Protocol) という標準プロトコルを用いることで、既存のネットワーク設備を活用できる点が特徴である[3][4]。実験に用いた通信システムは、無線 LAN (IEEE802.11b) と公衆 PHS (AirHTM) の 2 つであり、相互に通信システムを切り替えた場合、および異なるネットワークセグメントに設置した無線 LAN の AP へ切り替えた場合にも、通信を継続できることを、車両を用いた実験で確認した。

2 節では車載ルータを用いたシームレスローミングの実現手法、3 節では屋内での評価実験、4 節では車両を用いた実験についてそれぞれ述べる。

2. 提案手法

本節では我々が提案するシームレスローミングの実現手法について述べる。

2.1. 車載ルータ

通信システムが切り替わった時、一般的には端末の IP アドレスを変更する必要があるが、そのため連続した通信ができない。これを解決する最も代表的な技術として MobileIP がある[5][6]。しかし MobileIP はもともと端末が頻繁に移動することを考慮して策定されたプロトコルではないため、自動車のような移動体には適していない。MobileIP は、インターネット上の大きなネットワークの移動に対応するマクロモビリティ技術に分類される。

一方、自動車のように頻繁にネットワークの移動をする場合には、局所的な移動に対応するマイクロモビリティ技術が必要となる。マイクロモビリティ技術で重要なことは、通信システムの切り替わり時に発生する通信途絶時間をごく短時間に抑えることである。

今回我々は、車両側にルータを搭載し、車載ルータとネットワーク側のルータが連携して経路制御することでマイクロモビリティを実現した。車両側の構成を図 2 に、車載ルータの写真を図 3 に示す。図 2 において、移動によって IP アドレスが変更されるのは通信モジュールに付与される B1 および B2 である。IP アドレス A1, A2 は、車両が移動しても変わることはない。このように、車両の移動によって発生した IP アドレス変更を車載ルータで吸収することで、車載端末の IP アドレスを固定させておくことができる。そのため、インターネット上の通信相手からは、常に車載端末を一意のアドレスで認識することができ、車両が移動しても移

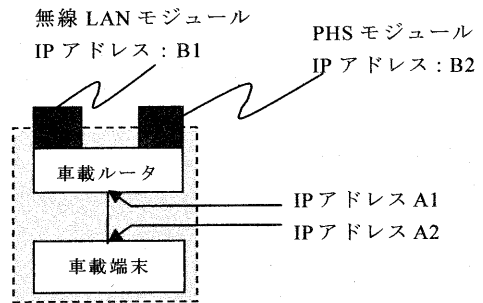


図 2 車両側の構成

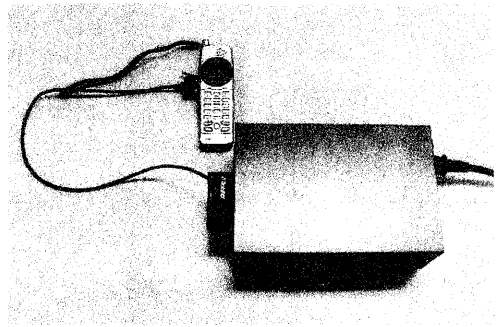


図 3 車載ルータ

動透過性を保つことができる。

また上述のように車載ルータとネットワーク側のルータが連携して経路制御を行うが、局所的な移動を繰り返すことが多いため、関連するルータも局所的となり、高速な経路制御を実現することが可能である。経路制御の方法については 2.2 項で述べる。

2.2. 経路制御

図 4 を用いて経路制御の基本的な方法を述べる。図 4 の左側 (車 A の移動前) では、車 A は AP-X を介してネットワークに接続し、通信相手と通信しているものとする。このときルータ A は、車 A 宛の packets をルータ B に転送するというルーティングテーブルを保持しており、通信相手から車 A 宛の packets はルータ B に転送される。ルータ B は、AP-X の先に車 A が接続されていることをルーティングテーブルに保持しているため、ルータ B へ転送されてきた車 A 宛の packets は、AP-X から無線通信で車 A に届けられる。また、ルータ C も車 A へのルーティングテーブルを保持している。このように通信が確立している状態から、図 5 右側のように、車 A が AP-X のサービスエリアから AP-Y のサービスエリアに移動したときの動作について述べる。

AP-X から AP-Y に切り替わったことの検知は、車載機側で行う。無線通信の接続先が変わったことを検知した車載ルータは、新たな接続先のルータ C に対して

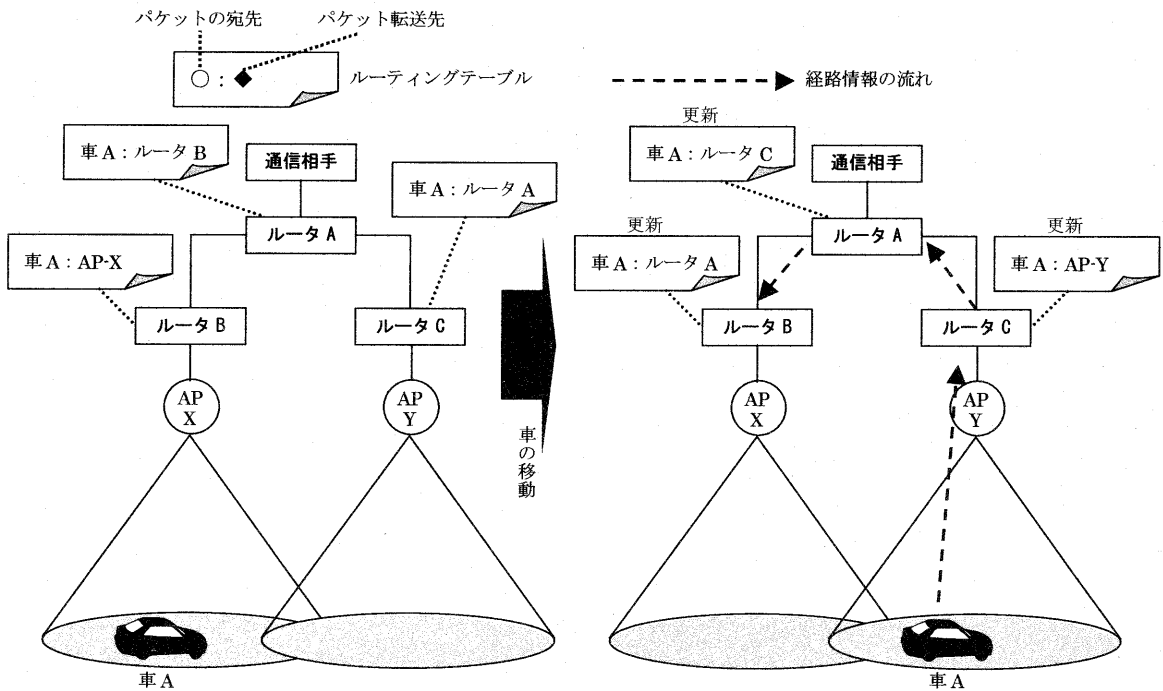


図4 経路制御の概要

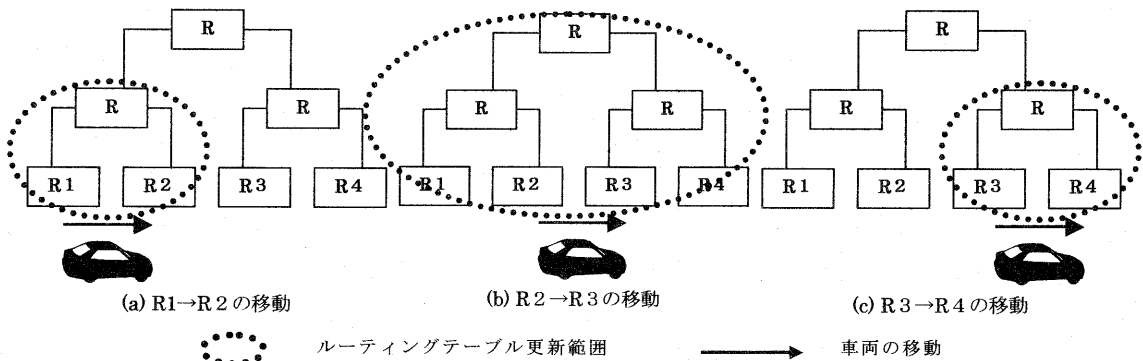


図5 ルーティングテーブルの更新範囲

経路情報の更新要求を送信する。更新要求を受信したルータ C は、自身のルーティングテーブルを更新し、さらにルータ A に対して更新要求を転送する。同様にしてルータ A および B のルーティングテーブルも更新されることになる。以上の一連の流れによって、車 A が移動してもネットワーク側のルータ A, B, C のルーティングテーブルを即座に更新することで、連続した通信を実現する。

2.3. ネットワーク規模

上述のように、本技術は各ルータのルーティングテーブルを、車両が移動することに更新することでシ-

ムレスローミングを実現している。そのためネットワーク側のルータ数が多くなればなるほど、ネットワーク全体に新しい経路が伝わるのに時間が掛かってしまうことが懸念される。しかし実際にはネットワーク内全体のルーティングテーブルを更新することはあまり発生しないため、ある程度大規模なネットワークに対応することが可能である。この様子を図5を用いて説明する。(a)および(c)のような車両の移動の場合には、ルーティングテーブルの更新を行うのはごく限られた範囲になる。(b)のように車両が移動した場合にはネットワーク全体の更新を行う必要があるが、ネットワ-

クが大規模になればなるほど、この頻度は低くなるため大きな問題にはならない。ただし経路が更新されるまでの時間を小さくするために、車両の移動方向に隣り合ったルータを配置するなどの設計段階での工夫はするべきである。

2.4. ルーティングプロトコル

本手法は、車載ルータからの経路更新要求にตอบสนองして、ネットワーク側のルータが経路情報を伝播させながら経路を更新することで実現している。ネットワーク側のすべてのルータが本手法に対応する必要がある。このため独自プロトコルによって経路を制御した場合、ルータすべてを独自仕様とすることとなり、コストの面などで非常に導入しにくいものになってしまう。そこでルーティングプロトコルとして、標準プロトコルを使用することとした。具体的には、RIP と OSPF を併用することによって、2.2 項で述べた経路制御を実現している。ここで2つのプロトコルを併用したのは、単一のプロトコルのみでは端末の移動時に経路の多重化が起ってしまったため、これを解消するためである。

3. 基礎評価実験

本節では最もシンプルなネットワーク構成において、本手法の基本的な性能を検証する実験について述べる。また、この評価実験では同種の通信システム（無線 LAN）間での実験のみを行う。異種の通信システムとのローミングについては4節で実験を行う。

3.1. 機器およびネットワーク構成

ネットワーク側のルータとしては、Cisco 社の Catalyst3550 を2台、Linux 上で zebra（フリーのルーティングソフトウェア）を動作させた PC を1台の計3台を使用した[7]。これらのルータ上では初期設定とルーティングプロトコルを動作させたのみで、独自ソフトウェアなどは一切動作していない。

ネットワーク構成を図6に示す。3台のルータで計5個のネットワークセグメントに分割された小規模なネットワークである。ルータ2,3にはそれぞれ無線 LAN の AP が接続されており、ESSID は同一のものを設定した。

端末側は車載ルータと車載端末の2台で構成している。車載ルータには無線 LAN のカードが挿入されており、AP と同じ ESSID が設定されている。

3.2. 実験方法

測定項目は以下の2つである。

- (1) AP 切り替わり時のパケット途絶時間
- (2) ネットワークの経路更新時間

測定方法は、サーバから定期的に車載端末へ向けてパケットを送信し、車載端末でこのパケットを受信し

表1 送信パケット

送信間隔	50ms
種類	UDP
パケット長	60byte

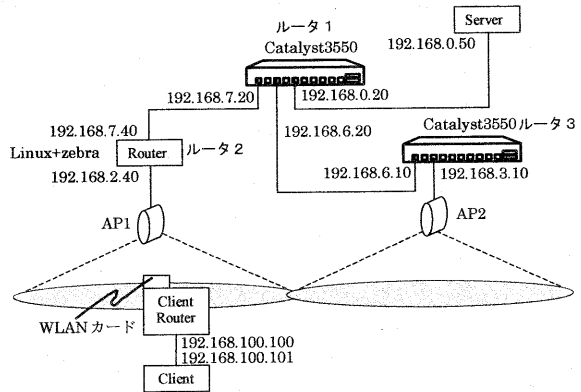


図6 ネットワーク構成

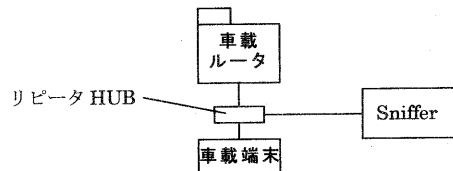


図7 端末側の構成

ながら AP1,2 間を数回移り、サーバからのパケットの途絶時間を計測した。また(2)に関しては、車載ルータからネットワーク側へ経路更新要求を送信してから、サーバからのパケットが到達するまでの時間を計測した。サーバから送信したパケットの概要を表1に示す。また端末側では図7に示すように、車載ルータと車載端末の間にリピータ HUB を挿入し、Sniffer でパケットキャプチャリングを行った。

3.3. 実験結果と考察

パケット途絶時間を表2に、ネットワークの経路更新時間を表3に示す。表3の中段は、AP2⇒AP1 の切り替わり時、下段は AP1⇒AP2 の切り替わり時を示している。

パケットの途絶時間は平均で約 1.3sec であった。一方、ネットワークの経路更新時間は、パケット途絶時間に比べて非常に短いものとなった。表3を見る上で注意する点は、送信パケットの間隔が 50ms であることを考慮し、平均時間から 25ms を引いた値が経路更新時間の平均値となることである。これを考慮すると、AP1 に移った場合には経路更新時間はほぼ 0 であり、AP2 の場合は 33.5ms となる。今回は試行回数が 10 回

表 2 パケット途絶時間 (sec)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
1.21	1.32	1.25	1.269	1.42	1.35	1.5	1.339	1.375	1.31	1.334

表 3 ネットワークの経路更新時間 (ms)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均	最小	最大
AP1	4	19	52	9	14	32	12	52	8	54	25.6	4	54
AP2	81	59	42	58	38	38	80	73	41	75	58.5	38	81

とあまり多くないこともあり、誤差の影響と最小・最大の時間を考慮し、経路更新時間は以下に示すものとする。

AP1・・・5ms以下

AP2・・・40ms以下

アクセスポイントによってローミング時間に違いが出たが、これはルータ2とルータ3でRIPパケットを受信してからOSPFへ転送するまでの時間に違いがあるためだと考えられる。この辺りは、機器に依存するところとなる。

以上2つの実験結果から、パケット途絶時間が大きいものの、本システムがシームレスローミングとして動作していることを確認した。特にルーティングの変更は非常に高速に行われ、ネットワーク側が原因となってパケットが途絶する時間はほとんど発生していない。パケット途絶時間は約1.3secであるが、ルーティングの変更に掛かった時間はこの内の2%ほどである。残りの98%は、無線LANのLayer2リンク確立時間と、車載ルータの制御プログラムが無線LANの切り替わりを検知する部分の時間である。これらのことから、ルーティングを制御することでシームレスローミングを実現するシステムは、非常に高速に経路を切り替えることができ、十分高速移動にも使用可能であることを示した。ただし今回用いた無線LAN (IEEE802.11b) では、Layer2リンク確立に大きな時間が掛かってしまうため、Layer2の改良や他の無線アクセスシステムの使用を検討する必要がある。

4. 実証実験

提案手法を実際の車両に適用した実証実験について述べる。前節の実験では、使用した通信システムは無線LANのみであったが、シームレスローミングの大きな目的の一つである異種の通信システムとの移動透過性を確認するため、本実験では無線LANと公衆PHS (AirH⁺) という2つの通信システムを用いてのシームレスローミングを実験した。

4.1. 全体構成

図8に実験したコースと無線LANのAP配置、およ

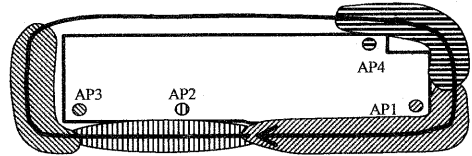


図 8 実験コース

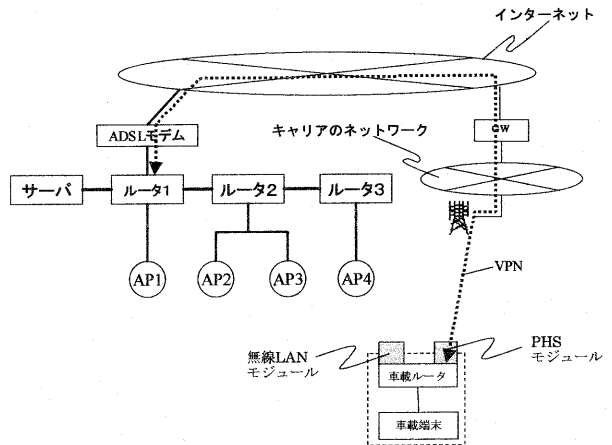


図 9 ネットワーク構成

びサービスエリアを示す。4階建ての建物の周りに高さ約12mで無線LANのAPを4基配置した。周回コースの3分の1ほどは無線LANのサービスエリアでカバーされていないが、車両がこのエリアに差し掛かったときには、PHSを使って通信を継続する。

ネットワーク構成を図9に示す。サーバから車載端末への通信は、無線LANかPHSのどちらかを經由して行われる。PHSを經由する通信は、ルータ1から車載ルータまでのVPNを通すことで実現した。図8に示すコースで車両を動かすため、通信の切り替わり方としては次のようになる。

AP1 ⇒ AP2 ⇒ AP3 ⇒ PHS ⇒ AP4 ⇒ AP1

この内、AP1⇒AP2とAP4⇒AP1は無線LAN同士での異なるネットワークへのハンドオーバが行われる。

AP2⇒AP3ではリンクレベルのハンドオーバ。AP3⇒

PHS と PHS⇒AP4 では、異なる通信システムへのローミングを行う。

4.2. 実験方法

実験方法は3節の実験と同様である。ただし PHS の通信速度を考慮して、サーバから定期的に送信するパケットの送信間隔を 100ms とした。

4.3. 実験結果と考察

表 4 に、パケット途絶時間と経路更新時間を通信切り替えの種類毎に示す。この実験では送信パケットの間隔が 100ms であるため、この表から 50ms を引いた時間がおよその平均時間となる。

無線 LAN 同士でのハンドオーバーではパケット途絶時間が 300ms となり、3 節で行った実験での 1.3sec から大幅に短縮された。この理由は、実験に利用した AP の機種の違いによるものである。屋外の実験で使用した AP は、無線 LAN のリンク確立時間が前節の屋内での基礎評価実験時に使用した AP に比べ大幅に短かった。このリンク確立時間の短縮が、パケット途絶時間の短縮に寄与している。

この無線 LAN 同士のハンドオーバーでの時間を基準にして見てみると、無線 LAN⇒PHS では 50ms ほどパケット途絶時間が長いものの、それほどパケット途絶時間に違いなくローミングを終えている。また PHS⇒無線 LAN の場合には、無線 LAN 同士に比べて 100ms ほど短い時間でローミングを終えるという結果となった。

異種間のローミングが同種間のハンドオーバーに比較して短時間で終わることができる理由としては、次のことが考えられる。無線 LAN 同士のハンドオーバーでは、無線 LAN は同時に 1 つの AP にしか接続できないため、必ず接続中の AP との接続を切断してから、次の AP を探索する必要がある。しかし、異種の通信システムに切り替える場合、同時に両方の通信システムを使用可能にすることができるため、ハンドオーバー時間の短縮が可能となる。これが、PHS⇒無線 LAN のローミングが無線 LAN 同士に比較して短時間で完了した理由である。逆の無線 LAN⇒PHS の場合には、PHS の通信速度が低いため、送信した経路更新要求が届くまでの時間が長くなり、時間が掛かっていると考えられる。

5. まとめ

同種、異種の通信システムを切り替えても、継続的に通信を可能にするシームレスローミング技術を開発した。本手法の特徴は、車載ルータを用いることでマイクロモビリティに対応し、さらに導入のし易さという観点から標準プロトコルを用いて実現した点である。また、実際の車両に適用しての実験では、どのような

表 4 測定結果 (平均値)

	パケット途絶時間(ms)	経路更新時間(ms)
無線LAN間	350	122
無線LAN⇒PHS	405	161
PHS⇒無線LAN	247	96

通信システムの切り替えにおいても、短時間のパケット途絶時間で安定した通信が可能であることを確認した。今後の課題としては、MobileIP などのマクロモビリティ技術との融合があげられる。

文 献

- [1] 鄒, 狩野, 須亮, 水越: “DSRC 網における IP ハンドオーバーのソフトウェアシミュレーション”, IPSJ MBL, vol.2001, No.3, pp.55-62, Feb.2001
- [2] 水越, 鄒, 狩野: “DSRC 網における IP ハンドオーバー方式の評価”, IEICE ITS, vol.125, No.695, pp.69-76, March 2003
- [3] J. Moy: “OSPF Version 2”, RFC2328, April 1998
- [4] C. Hedrick: “Routing Information Protocol”, RFC1058, June 1988
- [5] C. Perkins: “IP Mobility Support for Ipv4”, RFC3344, Aug. 2002
- [6] D. Johnson, C. Perkins and J. Arkko: “IP Mobility Support in IPv6”, Internet Draft, work in progress, draft-ietf-mobileip-ipv6-24.txt, June 2003
- [7] <http://www.zebra.org>