

DSRC 網における IP ハンドオーバー方式の評価

水越 康博[†] 鄒 曉霞[‡] 狩野 秀一[†]

[†] NEC ネットワークス開発研究所 〒108-8557 東京都港区芝浦 2-11-5

[‡] NEC 情報システムズ 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1

E-mail: [†] {mizukosi, karino}@netlab.nec.co.jp, [‡] gyoka@nsk.nis.nec.co.jp

あらまし DSRC(Dedicated Short Range Communication)は自動車のための高速な通信環境として期待されている。DSRC 基地局を連続的に配置し、ネットワークを構築することにより、高速走行中の自動車から連続した高速なデータ通信が可能となる。本稿では、DSRC IP 網における IP ハンドオーバー方式と、屋内評価実験およびフィールド実証実験について述べ、IP ハンドオーバー方式の効果について報告する。

キーワード DSRC, IPv6, IP ハンドオーバー, マイクロモビリティ

Evaluation of IP Handover for DSRC Network

Yasuhiro MIZUKOSHI Xiaoxia ZOU[‡] and Shuichi KARINO[†]

[†] Development Laboratories, NEC Networks, NEC Corporation 2-11-5 Shibaura, Minato-ku, Tokyo, 108-8557 Japan

[‡] NEC Infomatec Systems Ltd. Co. 3-2-1 Sakado, Takatsu-ku, Kawasaki City, Kanagawa, 213-0012 Japan

E-mail: [†] {mizukosi, karino}@netlab.nec.co.jp, [‡] gyoka@nsk.nis.nec.co.jp

Abstract DSRC(Dedicated Short Range Communication) is expected as fast communication environment for automobiles. By deploying base stations of DSRC continuously and building network using these base stations for automobiles, high-speed data communication of fast moving automobiles is possible. In this paper, we mention IP handover for DSRC IP network, report results of indoor simulations and field tests, and show the efficiency of IP handover.

Keyword DSRC, IPv6, IP Handover, Micro Mobility

1. はじめに

近年のカーナビゲーションシステムは通信サービスと融合し、最新の駐車場情報やレストラン情報などが検索できるだけでなく、知人の車両との位置情報交換サービスなどにより、様々な広がりを持っている。しかし、第三世代携帯電話の場合、高速走行時の通信速度は 144kbps であり、動画のダウンロードには画質の面でまだ不十分である。さらに、今後車両間の Peer-to-Peer サービスを発展させる際に、携帯電話の上りチャンネルの通信速度が低いことが課題になると考えられる。

現在、DSRC を応用した ETC システムの一般運用が始まっている。ETC 以外の様々なアプリケーションに適用できるように、2001 年にチャンネル割当の変更やデータ伝送速度の高速化など、DSRC 仕様の変更が行われた[1]。駐車場、ガソリンスタンド、コンビニエンスストア、ドライブスルーなどでの電子決済や、物流運行管理、情報提供、走行支援などの DSRC 応用サービ

スが期待されている。

一方、DSRC ではレイヤ 1, 2, 7 しか規定されておらず、無線ゾーンを跨いだ場合や、広域に渡って移動した場合に連続して通信することができない。また、無線ゾーンが 30m 程度と狭いため、連続的に無線ゾーンを配置した場合に 1 秒に 1 回程度の高頻度な移動管理が必要となる課題がある。

これらの課題を改善し、DSRC を利用した広域かつ高速なインターネット接続環境を実現することで、自動車の情報システムを高度化することが可能となる。連続的に配置した DSRC の無線ゾーン間を移動する車両の高速管理に適した、ホストルーティングによる IP 網の検討や、シミュレーションを行った[2][3]。その結果をもとに、実験装置を開発し、その実用性を実証した。

本稿では、2 節で DSRC IP 網の構成や IP ハンドオーバー方式について述べる。3 節と 4 節はそれぞれ、屋内評価実験と屋外のフィールド実証実験の結果について述べる。

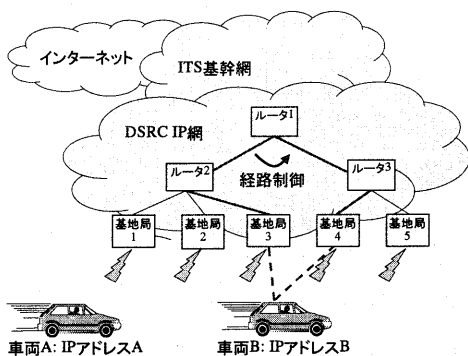


図 1 システム概要図

2. DSRC IP 網

本節では著者らが設計した DSRC IP 網(以下, DSRC 網)について述べる. 本システムの概要を図 1 に示す.

2.1. ネットワーク構成

IP レベルで移動をサポートする技術はインターネット上の移動を管理するマクロモビリティ技術と, 局所的な移動を管理するマイクロモビリティ技術の 2 つに分類される. MobileIP はマクロモビリティ技術に分類され, 移動ノードの位置管理をホームエージェントが行う [4][5][6]. MobileIP では移動の度に移動ノードがホームエージェントに対して移動通知を送信するため, 高頻度な移動処理には適さない. 一方, CellularIP や HAWAII に代表されるマイクロモビリティ技術は, ホストルーティングにより移動ノードの局所的な移動をネットワーク全体で管理し移動管理網の外部に移動を隠蔽する方式である [7]. これは高頻度の移動処理に向いている.

本システムでは, 大量の車両が連続的に配置した DSRC 基地局間を高速に移動する. これらの車両の移動管理を高速に行うため, ホストルーティングをベースにした DSRC 網を開発した. 階層型のトポロジにより, 局所的な経路制御情報の上位層への伝達を抑えた. 移動ノードには同一 DSRC 網内で固定の IP アドレスを割り当て, 無線リンクの切り替えによる移動に追従して同アドレスへの網内での経路を更新することにより, 同アドレスへの IP パケットの到達性を保持する.

大量の車両を管理できるように, DSRC 網内は全て IPv6 アドレスで管理を行っている. 必要に応じて, IPv4 over IPv6 トンネルにより, IPv4 パケットの到達性を確保する.

2.2. IP ハンドオーバー方式

図 2 に本システムの移動管理方式を示す.

(1) 移動ノードは DSRC の無線リンクが確立すると,

あらかじめ割り当てられていた IP アドレスを DSRC 網に登録するために, 位置登録通知を送信する. (2) 移動ノードからの位置登録通知は無線基地局を経由し, ルータに到達する. (3) 位置登録通知を受信したルータは移動ノード宛の経路を新規作成または更新する. (4a) 経路を新規作成したルータは上位ルータに位置登録通知を転送する. (4b) 経路を更新したルータは更新前の下位ルータに経路削除を通知する. 一定時間, 位置登録通知を受けないルータは移動ノード宛の経路を削除する.

外部網宛のパケットはデフォルトで上位ルータに転送され, 車両宛のパケットは各ルータがその時点の経路表に従ってパケットを転送するので, 最適な経路で通信が行われる.

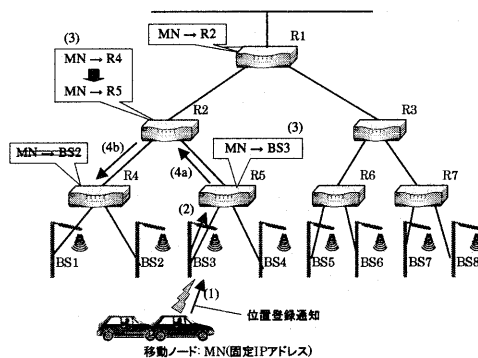


図 2 移動管理方式

2.3. ソフトハンドオーバー方式

経路更新の際のパケットロスによるスループット低下を抑えるために, ソフトハンドオーバーと呼ぶ方式を開発した. DSRC 網では車両が移動する方向が地理的に予測可能なため, 移動先ルータにもパケットのコピーを転送してバッファリングし, 移動後にバッファリングしたパケットを移動ノードに転送する.

パケットを複製するルータの位置により, 図 3 と図 4 に示した 2 つの方式が考えられる. 小制御型は最下位層ルータが基地局側への転送と同時に移動先のルータにパケットの複製を転送する方式である. この方式は複製の負荷が最下層ルータに分散するが, 回線の負荷が増える. 最適制御型は現在のルータへの経路と移動先ルータへの経路との分岐点でパケットを複製する方式である. ソフトウェアシミュレーションの結果, 小制御型よりスループットが高い結果を得ている. しかし, 最上位ルータにもパケットの複製機能が必要となり, DSRC 網全体の安定性を欠く可能性がある.

直線道路ではなく, 交差点のように分岐する道路に本方式を適用する場合は, 移動先の候補となる全ての

ルータに対してパケットの複製を転送する。車両が移動して来なかったルータにバッファリングされたパケットは一定時間後に削除される。

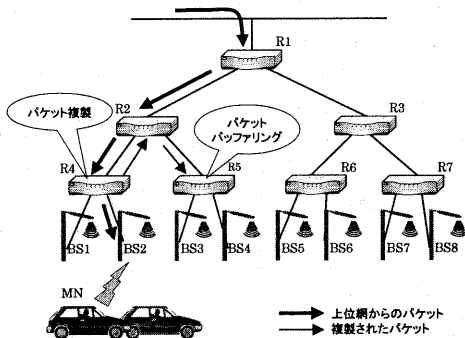


図 3 ソフトハンドオーバー方式 (小制御型)

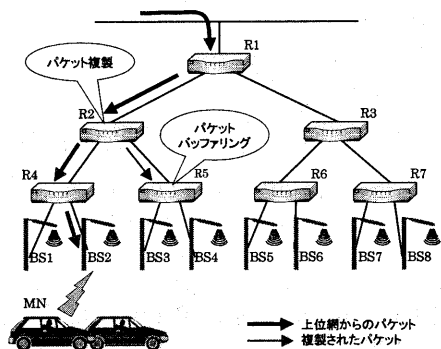


図 4 ソフトハンドオーバー方式 (最適制御型)

3. 屋内評価実験

本節では、DSRC の有効性を検証するために行った屋内評価実験について述べる。

3.1. 屋内評価システム

連続的に配置した DSRC 無線基地局間を高速に車両が移動する環境を屋内で再現するために、図 5 のような屋内評価システムを構築した。

DSRC 部は、ARIB STD-T75 のレイヤ 7 に Ethernet ブリッジを開発して用いた[8]。変調方式は ASK、メッセージデータスロットの構成は 2 スロットとした。5.8GHz 帯の同軸切替機を開発し、16 台の RSU(Road Side Unit)と 1 台の OBE(On Board Equipment)とを同軸ケーブルで接続し、どの RSU を OBE に接続するのかを同軸切替機で制御する。無線リンクの接続時間と切断時間は 100 ミリ秒単位で制御する。DSRC 部のプロ

トコルスタックを図 6 に示す。

DSRC 網は、2 節で説明した IP ハンドオーバー方式およびソフトハンドオーバー方式を NetBSD 1.5 上にユーザアプリケーションとして実装し、Celeron 500MHz, 128MB RAM の PC を用いて構築した。最下位層ルータの PC に 100BASE-TX のネットワークアダプタを 5 枚実装し、4 台の RSU および 1 台の上位ルータに接続した。同様に、中間層ルータおよび最上位ルータを接続し、階層型ネットワークを構築した。

車載ルータも同様に、NetBSD 1.5 + KAME 上にユーザアプリケーションとして実装し、486/66MHz, 32MB RAM の PC を用いた。100BASE-TX のネットワークアダプタを備えている。

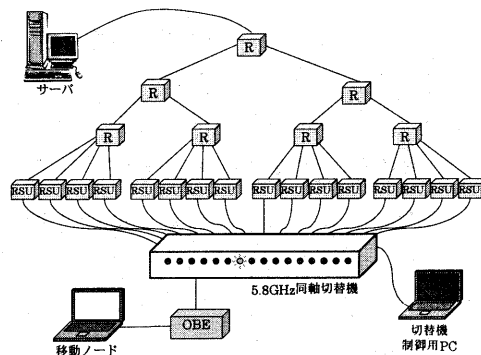


図 5 屋内評価システム

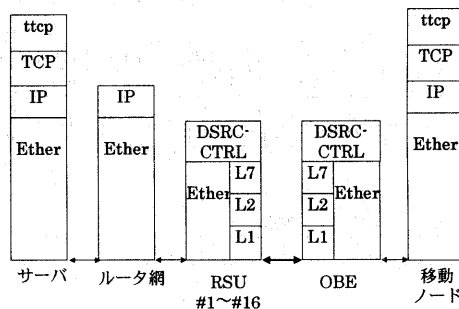


図 6 DSRC 通信評価装置

3.2. 評価方法

通信性能の測定は、最上位ルータが接続している上位網上のサーバと車載ルータとの間でおこなう。測定中は、車両の走行を模擬するために同軸切替機を用いて、連続的に OBE が接続する RSU を切り替える。

フィールド実証実験では実際のコストや設置条件などを考慮し、DSRC 無線基地局の間隔を 50m、無線

ゾーン間の無通信区間が 10m となっていた。また、DSRC の走行支援アプリケーションへの応用も考慮し、複数の DSRC 無線基地局を束ね、リンクレベルのハンドオーバを実現する方式も取り入れられていた。

そこで屋内評価実験でも走行のシミュレーションパラメータをこれらのフィールド実証実験の条件に合わせた。フィールド実証実験では図 7 のような構成になるため、リンクレベルのハンドオーバがない場合は、通信エリアが 40m、無通信エリアが 10m というパターンを繰り返し、リンクレベルのハンドオーバがある場合は、通信エリアが 90m、無通信エリアが 10m というパターンを繰り返すこととした。それぞれの場合、同軸切替機の接続および切断時間を表 1 に示す。

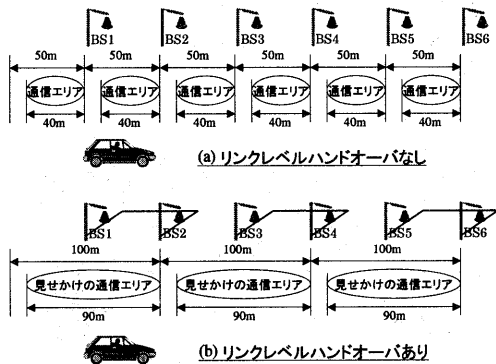


図 7 DSRC 通信エリア

表 1 40m-10m の接続時間および切断時間

走行速度(km/h)	通信時間(ミリ秒)		無通信時間(ミリ秒)
	40m	90m	10m
20	7200	16200	1800
40	3600	8100	900
80	1800	4100	500
100	1500	3300	400
120	1200	2700	300
180	800	1800	200

ソフトハンドオーバー方式の効果を調べるために、移動先ルータがバッファリングするパケット数を変えて測定を行った。無通信区間でロスするパケット数は無線リンクの通信速度と、無通信区間の距離に関係しているため、計算した値の前後および、バッファリングなし、を測定した。バッファリング制御を簡易にするため、パケットバッファはあらかじめ設定されたパケット数を超えると先に到達したパケットから破棄する構造になっている。なお、今回の評価実験では小制御型のソフトハンドオーバー方式を用いた。小制御型はルータ間でパケットのトンネリングをおこなうため、測

定用端末の MTU は 1460 に設定した。

性能測定用のアプリケーションには tcp を使い、同軸切替機が動作を開始してから TCP のスループットを測定し、3 回の平均を取った。

3.3. 実験の結果と考察

まず、停止状態でのスループットの測定を行った結果、174.76kbps であった。

次に、ソフトハンドオーバーによる効果の実験結果を示す。通信エリア-無通信エリアが 40m-10m のときの実験結果を図 8 に示す。

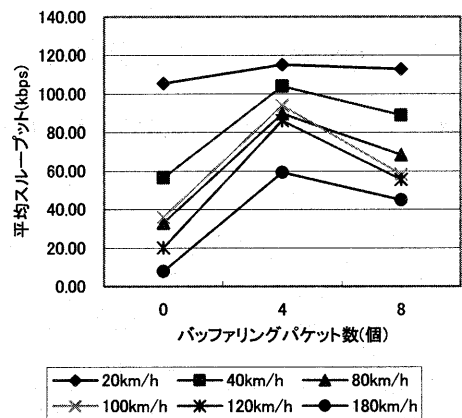


図 8 40m-10m の走行速度毎のスループット

走行速度が速いと、リンク確立にかかる時間は短縮できないために全体的に通信可能な時間が減り、同時にパケットロスの機会が増えるため、平均スループットの低下は避けられない。しかし、実験の結果、ソフトハンドオーバーの効果により平均スループットの低下が緩やかになった。また、どの速度でもバッファリング数が 4 の場合が良い結果であり、バッファリング数が大きくなっても少なくともスループットが上がらない。

バッファリング数がロス数と同じ場合が最適な状態である。バッファリング数 B がロス数 L よりも大きい場合、図 9 のように B-L 個の TCP セグメントが重複することにより、スループットが低下する。逆に、バッファリング数がロス数よりも小さい場合は図 10 のようにパケットが到達するため、TCP の再送処理を引き起こし、スループットが低下する。

高速走行時におけるバッファリング数が 4 と 8 の違いを分析するために、TCP の ACK から、同一 ACK が 3 回以上重複した回数と、3 回以上重複した ACK の総和を重複した回数で割った平均同一 ACK 送信数とを求め、表 2 と表 3 に示した。バッファリング数が 8 の

方が同一 ACK の重複回数および同一 ACK の送信回数が多い。これはパケットロスの発生回数が多いのと同時に、無駄に送信された TCP セグメント数が多いことを示す。TCP は通信中に輻輳制御により送信パケット数を変化させるため、バッファリング数とロス数の関係が常に入れ替わる。このため、リンクの通信速度に比べてバッファリング数が大きすぎると、TCP の送信パケット数が増えてルータのバッファが溢れたときに、バッファリングされたパケットが再送処理時のオーバーヘッドとなり、性能が低下すると考えられる。

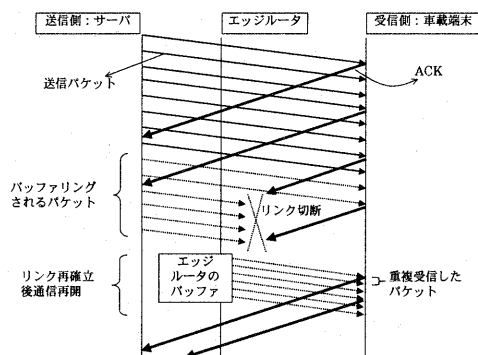


図 9 バッファリング数 > ロス数

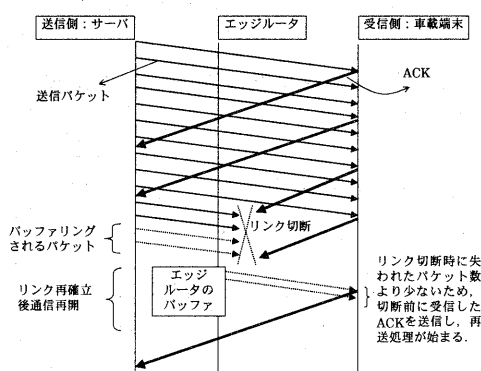


図 10 バッファリング数 < ロス数

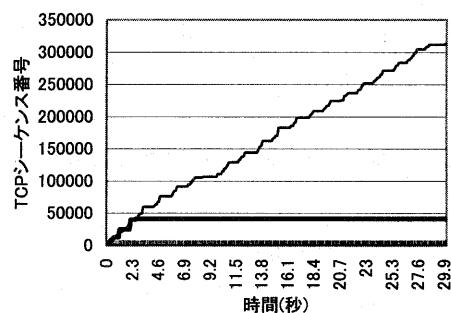
図 11 に、120km/h と 180km/h で走行したときの TCP シーケンス番号の遷移をグラフに示した。ソフトハンドオーバーありの場合のバッファリング数は 4 個である。ソフトハンドオーバーなしの場合、走行を開始してからすぐに通信できない状態となり、しばらくすると TCP コネクションが再送タイムアウトにより切断する。ソフトハンドオーバーありの場合、高速走行時に高頻度の移動処理が発生している状況下でも、連続的にデータ通信が行えた。このように、実験結果からソフトハンドオーバーの有効性を確認できた。

表 2 同一 ACK の重複回数

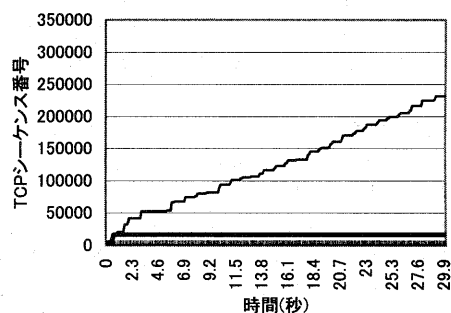
バッファリング数	走行速度(km/h)			
	80	100	120	180
4	25	34	42	81
8	41	53	68	83

表 3 重複時の同一 ACK の平均送信回数

バッファリング数	走行速度(km/h)				
	80	100	120	180	
4	3.58	3.06	2.98	3.18	
8	6.06	7.06	5.84	3.08	



(a) 120km/h 走行時



(b) 180km/h 走行時

図 11 高速時の TCP シーケンス番号の遷移

次に、通信エリア-無通信エリアが 90m-10m のときの実験結果を図 12 に示す。実験の結果、バッファリング数の違いによる差が小さいものの、バッファリング数が 40m-10m のときと同じく、4 パケットのときがもっとも高いスループットという結果であった。これは、無線リンクの速度と無通信エリアのサイズが同じであ

り、パケットのロス数が同等であるからと考えられる。

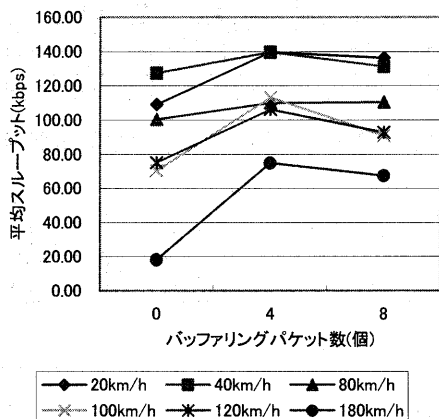


図 12 90m-10m の走行速度毎のスループット

4. フィールド実証実験

本節では、DSRC の実用性を評価するために実施したフィールド実証実験について述べる。

4.1. 実証実験システム

実証実験システムの概要図を図 13に示す。図のように、スマートゲートウェイコンソーシアム[9]の参加者が各機能を分担し、屋外に実証実験システムを構築し、実際に車両を用いて走行試験をおこなった。筆者は実証実験の DSRC ルータ網の構築を担当し、ルータ網の性能評価をおこなった。

7 基の DSRC 基地局のアンテナをテストコース上に 50m 間隔で 8m の高さに設置した。1 基の DSRC 基地局がカバーする通信エリアは 40m とした。

DSRC 部は ARIB STD-T75 のレイヤ 7 に、IPv4 パケットの転送機能を実装したものを用いた。変調方式は QPSK、メッセージデータスロットの構成は 2 スロットとした。各 DSRC 基地局はリンクレベルハンドオーバのためのネットワークに接続している。このネットワークは 1 台のゲートウェイ装置で管理されている。

図 14 に実験に用いた DSRC ルータ網の構成を示す。ゲートウェイと DSRC ルータ網の最下位層ルータを接続した。DSRC ルータ網の最上位ルータは ITS センタの ITS 応用サーバと接続した。ここでは最下位層のルータをエッジルータ、最上位のルータをトップルータ、中間層ルータをエリアルータと呼ぶ。

DSRC ルータ網は Pentium III 1GHz、256MB RAM の PC に 100BASE-TX のネットワークアダプタを追加実

装して構築した。OS は、PC に実装されているデバイスの関係で、エッジルータは NetBSD 1.5 + KAME を、それ以外は FreeBSD 4.5 + KAME を用いた。

本システムでは、車両の端末にあらかじめ固定の IPv4 アドレスを割り当て、ゲートウェイが切り替わっても同一のアドレスを使う構成とした。車両が、あるゲートウェイが管理するネットワークに接続すると、認証処理後、ゲートウェイからエッジルータに位置登録通知が送信される。この位置登録通知により DSRC ルータ網内の経路変更がおこなわれる。

DSRC 網内では全て IPv6 アドレスで管理されており、IPv4 パケットはトンネリングにより DSRC ルータ網を転送される。トンネリングの機能はエッジルータおよびトップルータに実装した。

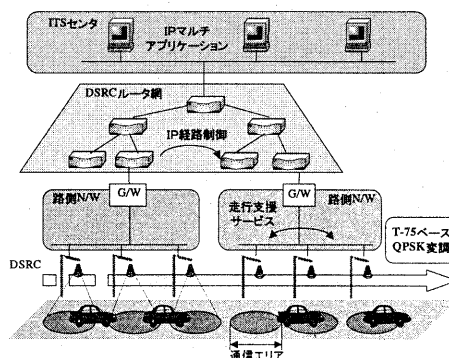


図 13 実証実験システムの概要図

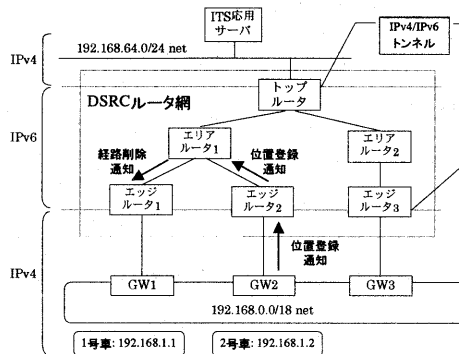


図 14 DSRC ルータ網の構成図

4.2. 評価方法

実験時のネットワーク構成を図 15 に示す。

移動端末には Celeron 333MHz の Windows98 端末を、サーバには Pentium 4 1.8GHz の Windows2000 Server 端末を用い、全て IPv4 アプリケーションで測定をおこなった。

ゲートウェイ 1 および 2 には 2 基ずつの DSRC 無線基地局を接続し、ゲートウェイ 3 には 3 基の DSRC 無線基地局を接続した。車両は DSRC 基地局 1 から 7 に向かって走行し、ゲートウェイ 1 から 2 への移動と、ゲートウェイ 2 から 3 への移動の、2 回の IP ハンドオーバーの機会を設けた。DSRC ルータ網からは、ゲートウェイ配下での車両の移動が隠蔽されるため、通信エリア-無通信エリアが 90m-10m として観測される。

実証実験では、DSRC ルータ網の性能を評価するために、IP ハンドオーバーにかかる時間、パケットロス数、ソフトハンドオーバーによる効果を測定した。また、測定は車両の走行速度を 20km/h と 40km/h で行った。

IP ハンドオーバー時間は、ゲートウェイからの位置登録通知をエッジルータが受信してから、最後に経路変更が行われるルータの処理が完了するまでとした。各ルータからのログを測定専用のネットワーク経由で 1 台のサーバに収集して差を計算して求めた。

パケットロス数の測定は、シーケンス番号を付けた 256 バイトの UDP パケットを 50 ミリ秒間隔で送信し、受信できなかったパケットを調べた。

ソフトハンドオーバーの測定では小制御型と最適制御型を用い、ftp コマンドを使って TCP のスループットを測定した。実験では DSRC 基地局 1 の下で車両を停車し、車両側からファイルのダウンロードを開始した直後に、走行を開始する方法をとった。

また、IPv4 over IPv6 トンネルおよび小制御型ソフトハンドオーバー方式を使うため、測定用端末の MTU を 1420 とし、TCP セグメントのフラグメントが発生しないように設定した。

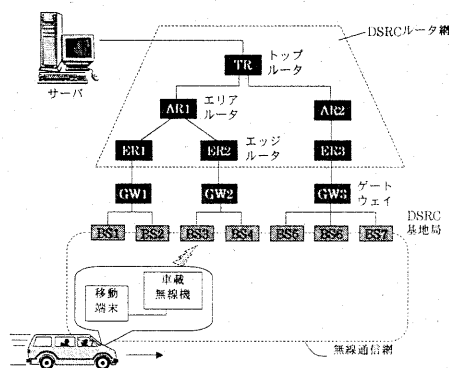


図 15 実験中のネットワーク構成

4.3. 実験の結果と考察

停止状態でのスループットの測定結果は 435.81kbps であった。

次に、IP ハンドオーバー時間を表 4 に示す。エッジルータ 1 から 2 への移動のときは、エッジルータ 1 を介

すだけなので処理が高速に行われる。エッジルータ 2 から 3 への移動のときはトップルータを介するので時間がかかる。表 5 と表 6 に各ルータ間のメッセージ処理時間を示す。経路数が 1 つ増えると約 1 ミリ秒ずつ IP ハンドオーバー処理時間が増加することが確認できた。

表 4 IP ハンドオーバー時間

場所	IP ハンドオーバー時間(ミリ秒)
ER1 → ER2	1.86
ER2 → ER3	4.22

表 5 経路更新要求の処理時間

ルート	伝播時間(ミリ秒)
ER1 → AR1	1.10
ER2 → AR1	1.04
ER3 → AR2	1.22
AR1 → TR	1.10
AR2 → TR	1.22

表 6 経路削除通知の処理時間

ルート	伝播時間(ミリ秒)
AR1 → ER1	0.82
AR1 → ER2	0.95
TR → AR1	0.83

表 7 パケットロス数

場所	パケットロス数	
	20km/h	40km/h
ER1 → ER2	26	27
ER2 → ER3	29	29

次に、パケットロス数の測定結果を表 7 に示す。今回のパケットロス数の測定では、走行速度による違いがあまり見られなかった。パラメータを変えても結果は同様であった。これは、無線リンクの確立に一定時間がかかるため、測定した走行速度の場合は電波状況などの影響の方が大きいと考えられる。

また、パケットロス数の結果から、エッジルータ間には約 1.5 秒の無通信エリアがあることが分かった。

次にソフトハンドオーバー方式の効果を測定した結果を示す。図 16 に小制御型の場合の、バッファリング数とスループットの関係を示す。

測定の結果、バッファリング数が 20 個のときが最もスループットが高かった。屋内評価実験と同様に、最適なバッファリング数が存在し、走行速度が変化してもそのパケット数が同じという結果を得た。

最適なバッファリング数が屋内評価実験と比べて

大きいのは、無線リンクの通信速度が速くなったことと、無通信時間が長かったことによると考えられる。屋内評価実験と実証実験との間で、時速 40km/h で走行したときの、スループットと無通信時間を掛け合わせた値の比率が約 4.7 倍であるという結果に一致する。

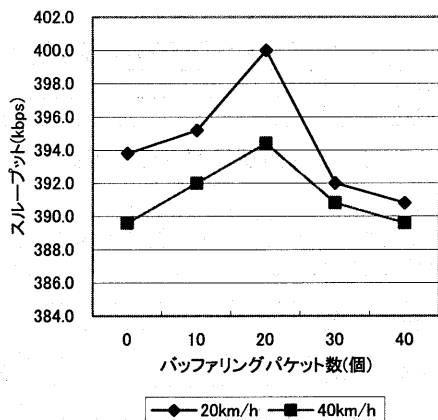


図 16 小制御型の測定結果

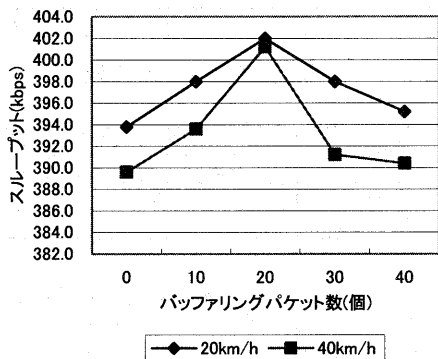


図 17 最適制御型の測定結果

次に最適制御型の測定結果を図 17に示す。

グラフからも分かるように、最適制御型でも小制御型と同様に、走行速度に依存しない最適なバッファリング数があった。そのパケット数は小制御型と同じ 20 個であった。しかし、全体的に最適制御型の方が小制御型よりもスループットが高かった。この結果は、ルータ間のトンネルによる遅延の影響が少ないためだと考えられる。

4.4. 一般アプリケーションの利用

最後に、実証実験システムで一般に使われるアプリケーションを利用した状況を報告する。

Internet Explorer によるファイルダウンロードでは FTP と同様に、問題なく動作することを確認した。

サーバに Windows Media Server を置き、Windows Media Player によるストリーミング再生のテストを行った。動画コンテンツは 320kbps で、UDP で転送をおこなった。通常は 320kbps の再生に問題はなかった。しかし、電波状況などにより無通信時間が長くなると、アプリケーションが独自にパケットロスの測定を行っているため、320kbps のスループットを維持できないことがあった。

5. まとめ

DSRC 基地局を連続的に配置し、高速移動中の車両の通信を安定して維持するために、IP ハンドオーバー方式を開発し、その実用性について報告した。移動中の車両が高速に通信できる環境を構築することが ITS だけでなく、ユビキタスネットワークの発展に欠かせない。今後は、さらに高速に移動する実環境での性能評価を行いたい。

謝辞

本研究は、「走行支援システム実現のためのスマートゲートウェイ技術の研究開発」の成果の一部です。通信・放送機構のご支援および、スマートゲートウェイコンソーシアムの方々のご協力に感謝します。

文 献

- [1] ARIB: “狭域通信 (DSRC) システム”, ARIB STD-T75, 2001
- [2] 水越, 守屋: “DSRC IPv6 網による車輛位置追跡機構の実現”, IPSJ ITS&MBL, Vol.2000, No.112, pp.105-112, Nov.2000
- [3] 郷, 狩野, 須丸, 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
- [4] C. Perkins: “IP Mobility Support for IPv4”, RFC 3344, Aug. 2002
- [5] D. Johnson and C. Perkins: “IP Mobility Support in IPv6”, Internet Draft, work in progress, draft-ietf-mobileip-ipv6-20.txt, Jan. 2003
- [6] H. Soliman, et al.: “Hierarchical Mobile IPv6 mobility management”, Internet Draft, work in progress, draft-ietf-mobileip-hmip-v6-07.txt, Oct. 2002
- [7] CellularIP, <http://comet.ctr.columbia.edu/cellularip/>
- [8] Internet ITS: “インターネット ITS 基盤仕様”, <http://www.internetits.org/ja/spec.pdf>, pp.166-190, Oct. 2002
- [9] 通信・放送機構: “走行支援システム実現のためのスマートゲートウェイ技術の研究開発”, <http://www.shiba.tao.go.jp/kenkyu/itakua/1427.htm>