

リンク層情報を利用した ネットワーク層主導高速ハンドオーバー機構の設計と実装

後郷 和孝[†] 神谷 弘樹[†] 渋谷 理恵[†] 金子 晋丈^{††} 玉 載旭^{††}
小森田賢史^{†††} 藤巻 聡美^{†††} 寺岡 文男[†]

[†] 慶応義塾大学 〒 223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1

^{††} 東京大学 〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1

^{†††} 東邦大学 〒 274-0072 千葉県船橋市三山 2-2-1

E-mail: [†]{gogo,koki,shibrie,satie,tera}@tera.ics.keio.ac.jp, ^{††}{kaneko,okjaeouk,komo}@mlab.t.u-tokyo.ac.jp

あらまし インターネットモビリティにおけるシームレスなハンドオーバーを実現するための手法としてリンク層情報を利用した高速ハンドオーバー手法が提案されている。しかし、それらの手法においてリンク層情報の利用は前提とされており、多種多様なリンク層の情報をどのように抽象化して利用するかについては定められていない。本研究では実際に無線 LAN デバイスドライバの改良を行い、リンク層情報を抽象化し、他レイヤに伝達する機構を設計・実装した。また、抽象化したリンク層情報を用いて、ネットワーク層がリンクの切断の予測やハンドオーバー開始の判断、及びリンク層ハンドオーバー完了の検出を行うことで、ネットワーク層主導の高速ハンドオーバーを実現した。実装を用いた検証では、提案方式を用いることでハンドオーバーに伴う通信切断時間を数十ミリ秒程度に抑えられることが確認できた。キーワード 高速ハンドオーバー, シームレスモビリティ, L2 トリガ, モバイルコンピューティング, 無線 LAN

L3-Driven Fast Handover Using Datalink Layer Information

Kazutaka GOGO[†], Koki MITANI[†], Rie SHIBUI[†], Kunitake KANEKO^{††}, Jaeouk OK^{††}, Satoshi KOMORITA^{††}, Satomi FUJIMAKI^{†††}, and Fumio TERAOKA[†]

[†] Keio University 3-14-1 Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama-shi, Kanagawa, 223-8522 Japan

^{††} Tokyo University 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8656 Japan

^{†††} Toho University 2-2-1 Miyama, Funabashi-shi, Chiba, 274-0072 Japan

E-mail: [†]{gogo,koki,shibrie,satie,tera}@tera.ics.keio.ac.jp, ^{††}{kaneko,okjaeouk,komo}@mlab.t.u-tokyo.ac.jp

Abstract For realizing seamless mobility, some fast handover mechanisms using datalink layer information have been proposed, but most of them don't define how to abstract and utilize datalink layer information. In this paper, we designed and implemented abstractions of datalink layer information and inter-layer information exchange system. Then we proposed L3-driven fast handover mechanism using abstracted datalink layer information and evaluated it. As a results, L3-driven fast handover showed good performance, which reduce handover latency in less than tens of milliseconds.

Key words Fast Handover, Seamless Mobility, L2 Triggers, Mobile Computing, Wireless LAN

1. はじめに

近年、無線 LAN や携帯電話、PHS といった無線によるインターネットへの接続形態の普及が急速に進んでいる。それに伴い、Mobile IPv6 [1] や LIN6 [2], [3] などのモビリティサポートプロトコルが開発され、モバイルコンピューティングを行うための基盤が整いつつある。これらのプロトコルはネット

ワーク層において移動透過な通信を実現するが、移動端末が異なるネットワークへと接続点を切替えるハンドオーバーの際には、パケットの遅延やロスなどの通信品質の低下が生じてしまう。これは異なるネットワークへの移動の検知を行うのに Router Advertisement (RA) や Router Solicitation (RS) といったネットワーク層の機能だけを利用しているためである。ネットワーク層の機能だけを用いてハンドオーバーを行った場合、

ハンドオーバに伴う通信切断時間は数秒以上にもなる。特に IP 電話や動画の配信などのリアルタイム通信においては、この長い通信切断時間が致命的な通信品質の低下を引き起こしてしまう。

この問題を解決するため、リンク層情報を利用した高速ハンドオーバ手法が提案されている。これらの手法はネットワーク層からリンク層の切断や接続などのリンク層情報を利用し、ネットワーク層とリンク層を連携させることで上記の問題を解決しようとするものである。しかしこれらの手法においても、多種多様なリンク層情報をどのように抽象化して用いるのか、またリンク層情報をどのようにネットワーク層へと伝達するのかについては明確に定められていない。そこで、本研究では高速ハンドオーバの実現に必要なリンク層情報の抽象化を行い、それをを用いたネットワーク層主導の高速ハンドオーバを行う。提案方式は IEEE802.11 無線 LAN のデバイスドライバに実装し、モビリティサポートプロトコル LIN6 を用いたハンドオーバ時の性能評価を行う。

次章以降の構成は次の通りである。まず、2 章では従来のハンドオーバ処理における問題点を示し、3 章では問題解決の手段としてリンク層情報の利用について検討する。4 章ではリンク層情報の抽象化、レイヤ間伝達、それをを用いたネットワーク層主導ハンドオーバの手法を設計し、5 章ではその実装について述べる。6 章では実装を用いて提案方式の性能評価を行う。最後に 7 章では本研究の結論を与え、今後の課題について述べる。

2. 従来のハンドオーバ処理

インターネットにおいて、モビリティサポートプロトコルを用いた移動通信を行う場合の基本的なハンドオーバの流れは図 1 のようになる。

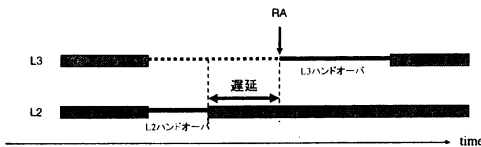


図 1 基本的なハンドオーバの流れ

ハンドオーバの手順は、接続する基地局の切替えなどのリンク層のハンドオーバ (L2 ハンドオーバ) と、IP アドレスの設定などのネットワーク層のハンドオーバ (L3 ハンドオーバ) に分けることができる。L2 ハンドオーバはリンク層の判断で開始される。ネットワーク層は L2 ハンドオーバ開始を指示することが出来ず、L2 ハンドオーバが発生しても直接それを知ることは出来ない。また、L2 ハンドオーバに要する時間はリンク層のプロトコルやデバイスによって異なるため、ネットワーク層は L2 ハンドオーバ完了を直接検出することも出来ない。L3 ハンドオーバは L2 ハンドオーバ完了後に RS を受信することをきっかけとして開始されるため、L2 ハンドオーバが完了してから L3 ハンドオーバが開始されるまでには遅延が生じる。

この遅延の大きさは RA の送信間隔に依存するが、頻繁過ぎる RA はネットワークへの負荷を増大させるため、RA の送信間隔は通常は数秒以上 [4] とする。また、移動端末は定期的に受信する RA を待つだけでなく、RS を用いることで RA を要求することもできる。しかし、この場合でも RA を受信するまでに数百ミリ秒程度の時間が必要となる。L3 ハンドオーバ処理では、新しいグローバルアドレスの生成や、Duplicate Address Detection (DAD) [5]、位置管理サーバへの位置登録が行われる。特に DAD には約 1 秒程度という長い時間が必要となる。

これらの原因により、従来のハンドオーバには数秒程度の通信切断時間を伴う。リアルタイムの音声通信を行ううえで許容できる通信切断時間は数十ミリ秒とされるが、それに対してハンドオーバ時の通信切断時間はあまりにも大きい。

3. リンク層情報を利用したハンドオーバ

高速ハンドオーバを実現するための方式としてリンク層情報を用いる手法がある。例えば、ネットワーク層がリンク層情報を利用し L2 ハンドオーバ完了を動的に検出することが出来れば、L2 ハンドオーバの完了と同時にアクセスルータに対して RS を送信し RA を要求することで、L2 ハンドオーバ完了から L3 ハンドオーバ開始までの遅延を大きく削減することが可能となる。ネットワーク層が L2 ハンドオーバ完了の動的な検出を行った場合のハンドオーバの様子を、図 2 に示す。

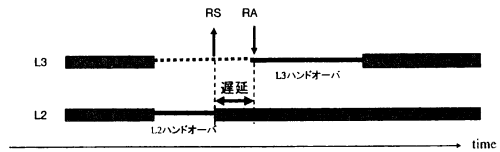


図 2 リンク層情報を用いたハンドオーバ

Mobile IPv6 を拡張した高速ハンドオーバ方式として提案されている Fast Handovers for Mobile IPv6 (FMIPv6) [6] においても、ネットワーク層がリンク層情報を利用することで L2 ハンドオーバ完了の検出を行う。FMIPv6 では、加えてハンドオーバ発生予測を行うことで、移動後の IP アドレスの生成や DAD などの L3 ハンドオーバ処理の一部を L2 ハンドオーバの開始前に行い、高速なハンドオーバを実現する。また、ハンドオーバ中の移動端末へのパケットを移動前のアクセスルータから移動後のアクセスルータへと転送することで、パケットのロスを減少させる。

さらに多くのリンク層情報を活用することで、ネットワーク層主導ハンドオーバを行うことが可能となる。ネットワーク層主導ハンドオーバとは、ハンドオーバ開始のタイミングや移動先の決定などをネットワーク層が判断し制御するハンドオーバを指す。基本的なネットワーク層主導ハンドオーバの流れを図 3 に示す。

ネットワーク層主導ハンドオーバを行うことで、L2 ハンドオーバ開始前の準備処理が容易になる。また、ハンドオーバの

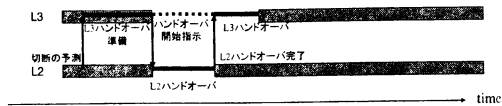


図3 ネットワーク層主導ハンドオーバー

必要性や開始のタイミング、移動先などを柔軟に判断し、最適なハンドオーバー制御をすることが可能となる。

このように、高速ハンドオーバーを行う上でネットワーク層からリンク層情報を利用する利点は大きい。しかし、既存のインターネットプロトコル群は独立した開発を容易にするため、OSIの参照モデルに基づいた階層構造を成しているため、任意のレイヤ間での情報交換は困難である。例としてあげた FMIPv6 においてもリンク層情報を利用できることは前提とされており、具体的にどのようなリンク層情報をどのように伝達するのかについては明確に述べられていない。この問題を解決するためには、各レイヤ内部の情報を他レイヤから利用できる形に抽象化し、任意のレイヤ間で伝達するための手法が必要となる。

本研究では、リンク層情報の抽象化、リンク層情報の他レイヤへの伝達を実現することで、ネットワーク層主導ハンドオーバーを行う。

4. 設計

4.1 レイヤ間での情報伝達

本研究では、ネットワーク層からリンク層内部の情報を利用する手段として inter-Layer Information Exchange System (LIES) [7] を用いる。LIES を用いることで OSI の階層構造を破壊することなく任意のレイヤ間での情報伝達が可能となる。

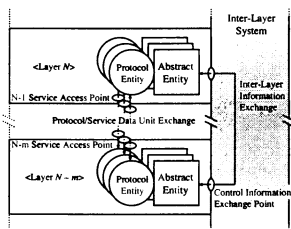


図4 LIESのレイヤ構造

LIES は図4に示すように Abstract Entity (AE)、Inter-Layer System (ISL) を持つ。AE は Protocol Entity (PE) と対になっており、各 PE 依存の情報を PE に独立な情報へと抽象化する。ILS は全レイヤにまたがった形で構成されており、任意のレイヤの AE は抽象化された情報を ILS を通して交換する。

情報の交換を行う際、各 AE は図5に示す request, confirm, indication, response の4種類のプリミティブを用いる。request は他のレイヤの情報を取得したい AE が送るものであり、confirm は request に対して返される応答である。request、confirm を用いることで必要ときに情報を得たり、あるいは動作の指示を行ったりすることができる。indication は AE への動的なイベントの発生通知であり、response は indication に対する確認応答である。indication を用いることで動的に発生するイベントについての情報を即時上位レイヤに伝達することができる。また、通知に対する応答が必要な場合には response を用いる。なお、indication を受け取るためには事前に request を送り indication の要求を登録しておかなければならない。

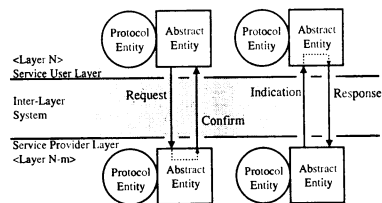


図5 プリミティブ

り、confirm は request に対して返される応答である。request、confirm を用いることで必要ときに情報を得たり、あるいは動作の指示を行ったりすることができる。indication は AE への動的なイベントの発生通知であり、response は indication に対する確認応答である。indication を用いることで動的に発生するイベントについての情報を即時上位レイヤに伝達することができる。また、通知に対する応答が必要な場合には response を用いる。なお、indication を受け取るためには事前に request を送り indication の要求を登録しておかなければならない。

4.2 リンク層情報の抽象化

ネットワーク層主導ハンドオーバーを行う上で、ネットワーク層とリンク層の連携を必要とする機能は、リンクの切断の予測、接続先の選択、L2 ハンドオーバー開始の指示、そして L2 ハンドオーバー完了の検出である。これらを実現するために必要なリンク層情報を、情報の伝達の方法に従って以下の通りに分類した。

- ネットワーク層が必要時に取得する情報
 - 接続可能な基地局のリストとそれぞれの通信品質
 - 現在接続しているリンクの状態
- 動的な通知としてネットワーク層に伝達する情報
 - 接続可能な基地局の検出、消失
 - リンクの接続、切断の検出
 - リンクの切断の予測
- ネットワーク層からリンク層への動作指示
 - リンクの接続指示
 - リンクの切断指示

これらの情報はデバイスやプロトコルに依存しない抽象化した形で上位レイヤに伝達されなければならない。そこで、LIES のリンク層 AE が扱うプリミティブとして表1に示す9つ [8] を定義した。リンク層は内部の情報を抽象化し、これら9つのプリミティブという形でネットワーク層に情報を提供する。ネットワーク層はリンク層のプロトコルやデバイスの詳細を意識することなくこれらの情報を利用することができる。

4.3 ネットワーク層主導ハンドオーバー機構

抽象化したリンク層情報を用いたネットワーク層主導ハンドオーバーの流れを図6に示す。

ネットワーク層主導ハンドオーバーの処理はネットワーク層がハンドオーバーの必要性を判断することから始まる。この判断には LINKTOBEDOWN を用いる。LINKTOBEDOWN はリンクの切断予測を通知するためのプリミティブであり、リンク層での通信品質が低下したときに（例えば電波強度がある閾

表 1 リンク層のプリミティブ

primitive	class	function
PEERLIST	request	接続可能な基地局のリストを要求
	confirm	接続可能な基地局のリスト
LINKSTATUS	request	現在のリンクの状態を要求
	confirm	現在のリストの状態
PEERFOUND	request	indication の要求登録、要求解除
	confirm	要求の受理、拒否
	indication	接続可能な基地局の発見の通知
PEERLOST	request	indication の要求登録、要求解除
	confirm	要求の受理、拒否
	indication	接続可能な基地局の消失の通知
LINKUP	request	indication の要求登録、要求解除
	confirm	要求の受理、拒否
	indication	リンクの接続の通知
LINKDOWN	request	indication の要求登録、要求解除
	confirm	要求の受理、拒否
	indication	リンクの切断の通知
LINKTOBEDOWN	request	indication の要求登録、要求解除
	confirm	要求の受理、拒否
	indication	リンクの切断予測の通知
LINKCONNECT	request	リンクの接続の指示
	confirm	指示の受理、拒否
LINKDISCONNECT	request	リンクの切断の指示
	confirm	指示の受理、拒否

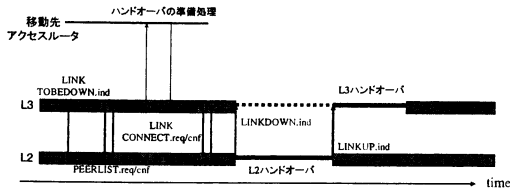


図 6 抽象化したリンク層情報を用いたネットワーク層主導ハンドオーバー

値を下回ったときに) リンク層からネットワーク層に対して動的に通知される。ハンドオーバー処理が開始されると、まずは移動先の基地局の選択を行う。接続可能な基地局のリストは PEERLIST を用いることで得られる。接続可能な基地局が複数存在する場合には、できるだけ同一ネットワーク内にあり通信品質の高いものを選ぶ。移動先の基地局が決定すると、次にハンドオーバーの準備処理を行う。準備処理では従来 L2 ハンドオーバー完了後に行っていた移動後のグローバルアドレスの生成と DAD を行う。これらの処理を行うためには移動先のネットワークに関する情報を得る必要がある。そのため、アクセルルータが送信する RA を拡張し、近隣のアクセルルータのグローバルアドレスや、接続する基地局の識別子などの情報を加えることとする。移動端末はこの拡張 RA の情報を利用して、ハンドオーバー前に移動後のグローバルアドレスを生成し、移動後のアクセルルータに委託する形で DAD を行う。準備処理が完了すると、LINKCONNECT によって選択した基地局への L2 ハンドオーバーの開始を指示する。LINKCONNECT は指定した基地局への接続を指示するためのプリミティブであり、こ

れを用いることで任意の基地局へのハンドオーバーの指示が可能となる。L2 ハンドオーバーの完了はリンク層からネットワーク層へ LINKUP を用いることで通知される。この通知を受けてネットワーク層は直ちに L3 ハンドオーバーを開始するが、準備処理でグローバルアドレスの生成および DAD は済んでいるため、残る処理はモビリティサポートプロトコルにおける位置管理サーバへの位置登録だけとなる。

この方式では従来のハンドオーバーにおける通信切断時間の大半を占めていた L2 ハンドオーバー完了から L3 ハンドオーバー開始までの遅延と DAD に要する時間を無くし、また移動先やタイミングの柔軟な判断が可能となっている。

5. 実装

本方式を FreeBSD 5.3-RELEASE 上に実装した。

まず、リンク層情報の抽象化機構については、Atheros の無線 LAN デバイスドライバを改良し、リンク層内部の情報を抽象化し先に定義した 9 つのプリミティブの形で提供する機能を付け加えた。デバイスドライバ内の実装の概要を図 7 に示す。

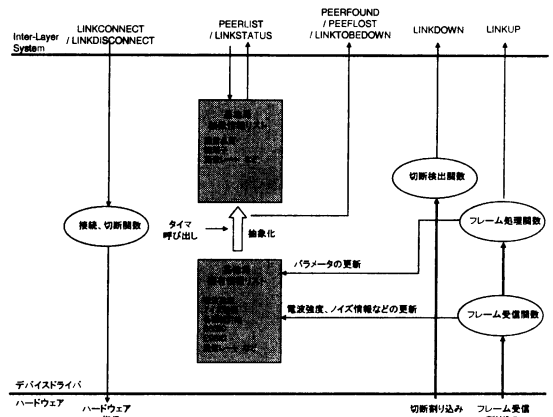


図 7 デバイスドライバでの情報抽象化

デバイスドライバ内には 2 種類の基地局情報リストを保持する。1 つ目は基地局の電波強度や各種統計値などのデバイス依存の情報を保持する固有情報リストである。2 つ目は他レイヤで利用できるように抽象化した情報を保持するための抽象情報リストである。固有情報リストはフレームを受信する度に受信信号の電波強度やフレームに含まれるパラメータなどの情報を利用して更新される。抽象情報リストは一定時間毎に固有情報リストの内容を利用して更新される。このとき、例えば電波強度の履歴やフレームの再送回数などの情報から、リンク層共通の通信品質の指標への変換などが行われる。PEERLIST や LINKSTATUS といった情報を取得するためのプリミティブの実現には、この抽象情報リストを利用する。また、抽象情報リストの更新時に通信品質がある一定の閾値を上回った、あるいは下回った場合には PEERFOUND や PEERLOST といったプリミティブにより接続可能な基地局の発見あるいは消失をイベ

ントとして通知する。もしも通信品質が閾値を下回った基地局が現在接続している基地局であったならば、LINKTOBEDOWN による切断予測の通知を行う。

また、LINKUP や LINKDOWN というプリミティブを実現するために、接続や切断を検出する機能を実装した。基地局へのアソシエーションが確立されたときには LINKUP を用いて該当する基地局の抽象情報とともに基地局への接続の通知が行われ、アソシエーションが解除されたときや一定時間フレームを受信しなかった場合などには LINKDOWN による切断の通知が行われる。

リンク層の制御を行う LINKCONNECT や LINKDISCONNECT を実現するために、指定した基地局への接続や切断を行う機能を実装した。この機能においては、基地局の指定には抽象情報のみを必要とする。ネットワーク層は接続や切断を行う際のデバイスドライバ内での具体的な処理について知る必要はなく、単に対象となる基地局の抽象情報を格納してプリミティブを送信すれば良い。デバイスドライバ内では受信したプリミティブに含まれる対象基地局の抽象情報を固有情報へと変換し、その情報を利用して実際の接続や切断の処理を行う。

ネットワーク層主導ハンドオーバー機構については主にユーザランドのデーモンプロセスとして実装した。このデーモンは LIES を用いることで無線 LAN デバイスドライバから抽象化したリンク層の情報を取得し、それを利用してモビリティサポートプロトコルを支援することで、先に述べたネットワーク層主導ハンドオーバーを行う。LIES の実装については [7] の通りである。

6. 評価

無線 LAN におけるリンク層情報抽象化機構、ならびにそれを用いたネットワーク層主導ハンドオーバー機構の評価を行った。評価には表 2 で示すマシンを用いた。

表 2 評価環境

CPU	Pentium M 1.2GHz
Memory	1GB
Wireless LAN	Atheros AR5002X

6.1 基本性能の評価

まず、リンク層情報の抽象化とレイヤ間情報伝達に伴うオーバーヘッドを測定した。その結果、ユーザランドのプロセスが request を送信してから応答の confirm を受け取るまでの時間は約 5 マイクロ秒程度であった。また、デバイスドライバ内でイベントが発生してからユーザランドが indication を受信するまでの時間は約 35 マイクロ秒程度であった。これはどちらも高速ハンドオーバーを目的として利用するには十分小さな値である。

次に、モビリティサポートプロトコル LIN6 を用いた場合のハンドオーバーに伴う通信切断時間を測定した。通常のハンドオーバーに対するネットワーク層主導ハンドオーバーの優位性を示すため、ハンドオーバーの準備処理を行うネットワーク層主導ハ

ンドオーバーと、L2 ハンドオーバー完了の検出だけを利用したハンドオーバーについて比較を行った。測定においては以下の 3 点について時刻を測定し、各区間に要する時間を算出した。

- L2 ハンドオーバー開始
- L2 ハンドオーバー完了
- アドレス設定の完了

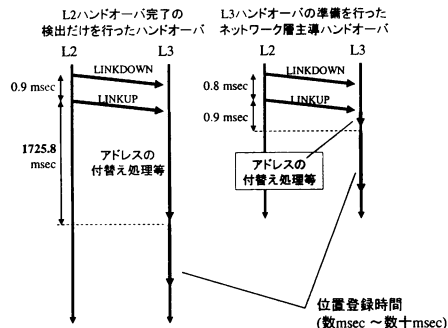


図 8 ハンドオーバーに伴う通信切断時間

測定結果は図 8 の通りであった。実際の通信切断時間は、この値に移動端末が位置管理サーバへの位置登録に要する時間を加えたものとなる。位置登録にかかる時間は、移動端末と位置管理サーバとの間のネットワーク的な距離に依存し、通常は数ミリ秒から数十ミリ秒程度である。

これらの測定結果から、ネットワーク層主導ハンドオーバーは L2 ハンドオーバー完了の検出だけを行った場合のハンドオーバーと比較して、大幅に通信切断時間が短いことが分かる。これはハンドオーバー時の通信切断時間の大半が、L2 ハンドオーバーを完了してから RA を受け取るまでの遅延と、DAD に要する時間だからである。測定においては、L2 ハンドオーバーの検出を行ったが、これさえも行わないハンドオーバーにおいては、RA を受信するまでにさらに数秒程度の時間が必要となると考えられる。

6.2 実環境における実験

基本性能の評価より、ネットワーク層主導ハンドオーバーを行った場合の通信切断時間が十分に小さいことを確認した。そこで、この手法が実際に音声や動画といったリアルタイム通信に耐え得るかどうかを調べるため、移動端末からの動画配信を行いながらのハンドオーバー実験を行った。実験の構成を図 9 に示す。

実験には基本性能の評価と同じ実装を用いた。リンク層のプロトコルは IEEE802.11a を利用し、約 100m 間隔で配置した 8 台の基地局を全て同じチャネルで動作させた。基地局を同じチャネルで動作させることにより、接続する基地局以外の基地局が発信する電波も受信することができる。モビリティサポートプロトコルとしても同様に LIN6 を用いた。LIN6 における L3 ハンドオーバーでは位置管理サーバへの位置登録の処理が必要であるが、実験環境においては LIN6 の位置登録に要する時間は数ミリ秒程度であった。実験において、移動端末は車載カメラの映像をインターネットを介して配信しながら、時速

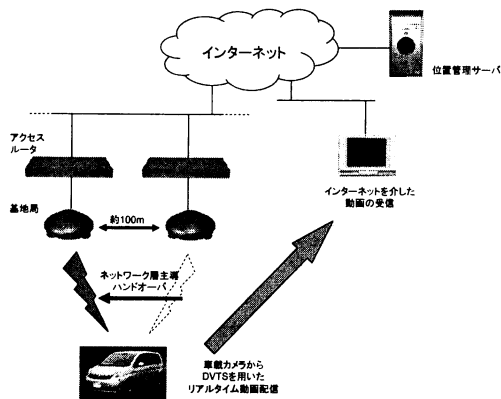


図9 リアルタイム動画配信を用いたハンドオーバー実験

約 30km~40km 程度で基地局間を移動しハンドオーバーを行った。動画配信には DVTS を用いたが、DVTS はフルレート時で約 30Mbps という非常に大きな帯域を使用するため、実験ではハーフレートを用了。

実際の環境においては、最適なハンドオーバーを行うためには切断の予測に用いる電波強度などの閾値の設定に工夫が必要であった。閾値が低過ぎるとネットワーク層がハンドオーバーの開始を指示する前に通信品質が低下したり接続が切れたりしてしまう。また閾値が高過ぎると、本来は必要のない無駄なハンドオーバーを行ってしまい、結果として通信品質の低下を招く。さらに、静止した状態であっても電波強度は必ずしも安定しているとは限らないため、これらの対処も必要となる。しかしながら、切断の予測に用いる電波強度の閾値などを適切に設定した場合には、ハンドオーバーに伴う画像の乱れは人が見て気付かない程度であるか、あるいは許容できる程度のものであった。

7. 結 論

本研究では、リンク層情報を抽象化してレイヤ間伝達を行うことで、OSI の階層構造を破壊することなくネットワーク層からリンク層情報利用することを可能とし、それをを用いてネットワーク層主導ハンドオーバーを行うことで、ハンドオーバーに伴う通信切断時間の削減を実現した。提案手法を用いたハンドオーバーにおける通信切断時間は、リンク層のデバイスとして無線 LAN を利用した場合、位置管理サーバへの位置登録に要する時間を除いて約 2 ミリ秒であった。また DVTS での動画配信実験から、ハンドオーバー時の通信品質の低下は音声や動画といったリアルタイム通信に耐え得る程度のものであることが確認できた。

今後の課題としては、無線 LAN 以外における情報抽象化に関する考察やその他の技術との組み合わせなどがあげられる。リンク層の他のプロトコルやデバイスについても内部の情報を抽象化することで他レイヤから統一的に情報を利用することが可能になると考えられるが、リンク層には他のレイヤと比較して多くのプロトコルやデバイスが存在するため、必要十分な情

報抽象化を行うためにはさらなる考察が必要と考えられる。

また、本研究においては L2 ハンドオーバーに要する時間や、モビリティサポートプロトコルの位置登録に要する時間については言及しなかった。それらの時間を削減するための提案も多数あり、それらと組み合わせることでさらに高品質な移動通信が可能になると考えられる。

文 献

- [1] C. Perkins, D. Johnson and J. Arkko: "Mobility Support in IPv6", RFC 3775.
- [2] M. Ishiyama, M. Kunishi, K. Uehara, H. Esaki and F. Teraoka: "Lina: A new approach to mobility support in wide area networks", IEICE Transactions on Communication, E84-B, 8, pp. 2076-2086 (2001).
- [3] M. Kunishi, M. Ishiyama, K. Uehara, H. Esaki and F. Teraoka: "Lin6: A new approach to mobility support in ipv6", Proceedings of the Third International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (2000).
- [4] T. Narten, E. Nordmark and W. Simpson: "Neighbor Discovery for IP Version 6 (IPv6)", Internet RFC2461.
- [5] S. Thomson and T. Narten: "IPv6 Stateless Address Auto-configuration", Internet RFC2462.
- [6] R. Koodli, G. Dommetry, K. El-Malki, M. Khalil, C. Perkins, G. Tsirtsis, A. Yegin and H. Soliman: "Fast Handovers for Mobile IPv6", Internet Draft, IETF (2003). work in progress.
- [7] 渋谷理恵, 神谷弘樹, 寺岡文男: "レイヤ間情報伝達機構 LIES", 日本ソフトウェア科学会 インターネットテクノロジー研究会第 6 回インターネットテクノロジーワークショップ (WIT2004) 論文集 (2004).
- [8] K. Mitani, R. Shibui, K. Gogo and F. Teraoka: "Unified L2 Abstractions for L3-Driven Fast Handover", Internet Draft, IETF (2005). work in progress.