

ネットワーク特性の変化を考慮した シームレスハンドオーバーの実現

上浦 大智[†] 藤田 貴大[‡] 前田 香織^{††}
相原 玲二^{‡‡} 梶原 大輔[‡] 西村 浩二^{‡‡} 岸場 清悟^{‡‡}

A Realization of Seamless Handover Considering Variation of Network Characteristic

Daichi UEURA[†], Takahiro FUJITA[‡], Kaori MAEDA^{††},
Reiji AIBARA^{‡‡}, Daisuke KAJIWARA[‡], Kouji NISHIMURA^{‡‡} and Seigo KISHIBA^{‡‡}

概要 携帯端末や無線インフラの普及によりモビリティ(移動透過性)を実現するための技術開発が進んでいる。特に、シームレスハンドオーバーを実現する技術は重要だが、現在は通信の継続性を維持する事に焦点をあてているものが多く、ハンドオーバー前後で変化する遅延やジッタといったネットワーク特性の変化を考慮していない。今後、無線インフラ上での映像・音声伝送などのストリームアプリケーションの普及を想定すると、ストリーム品質劣化を回避するための対策が必要である。本稿では、我々の提案している移動透過通信アーキテクチャ MAT(Mobile IP with Address Translation) を用いて、ネットワーク特性の変化がアプリケーションに与える影響を小さくするシームレスハンドオーバーメカニズムを提案する。MAT では複数のインタフェースを同時に利用できることを用い、移動先ネットワークの特性を移動前に把握する機構をもつ。本稿では、MAT の複数インタフェースの処理と、それを用いて得られるネットワーク特性のうち遅延変動の取得方法とその情報を利用した変動の吸収について詳述する。

1 はじめに

無線インフラの普及によりラップトップPCやPDAなどの端末を用いて、いつでもどこでも通信が可能になりつつある。そのような環境で、次に求められているのが移動しながら通信を継続するモビリティ(移動透過性)である。モビリティを実現する技術としては、MobileIPv6[1]、LIN6[2]などが提案されている。筆者らは、アドレス変換に基づく移動透過通信アーキテクチャとして、Mobile IP with Address Translation(MAT)[3]を提案している。これらのモビ

リティ技術は、それぞれシームレスなハンドオーバーを実現するために様々な工夫がなされている。例えば、MobileIPv6を対象としたFast Handovers for Mobile IPv6(FMIP)[4]では新しいネットワークに移動する前に予め移動先ネットワークで使用するモバイルアドレスをモバイルノードが取得し、ハンドオーバー中は移動元ネットワークのルータから移動先ネットワークのルータへパケットを転送することで、ハンドオーバーによる遅延やパケットロスを減らそうとしている。一方MATでは、モバイルノードが持つ複数のインタフェースを同時に利用することでそれを実現している。

これらのアーキテクチャにおけるハンドオーバーの工夫は、通信の継続性を確保することに焦点を当てているものが多い。しかし、移動しながらの通信は、ネットワークが変化するたびに通信相手との遅延やジッタといったネットワーク特性の変化が頻繁かつ急激に起こる。このようなネットワーク特性の変化は、

[†]広島市立大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Sciences, Hiroshima City University

[‡]広島大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Hiroshima University

^{††}広島市立大学情報処理センター
Information Processing Center, Hiroshima City University

^{‡‡}広島大学情報メディア教育研究センター
Information Media Center, Hiroshima University

大きなジッタやパケットの順序入れ替えを引き起こし、特にテレビ会議システムや VoIP などの映像・音声ストリームを伝送するアプリケーションの品質に大きな影響を与える。今後、無線インフラの広帯域化を想定すると、ストリームアプリケーションの利用機会は増えてゆくと予想され、品質劣化を回避するための対策が必要となる。

そこで本稿では、MAT が複数インタフェースを利用でき、移動前に移動先ネットワークの特性を把握することが可能という点に着目し、ネットワーク遅延の変化を考慮したシームレスハンドオーバーメカニズムについて提案する。

以降、2 章では MAT の概要と複数インタフェースの処理、3 章でネットワーク特性の変化がストリームに及ぼす問題について述べる。4 章でネットワーク特性の取得方法と、そこから得られた遅延情報の活用例を示し、最後に 5 章でまとめと今後の課題を述べる。

2 MAT

2.1 MAT の概要

MAT は、ネットワーク層より上位、すなわち、TCP や UDP、そしてそれらを利用するアプリケーションプログラムにおける移動透過通信を実現するため、ネットワーク層である IPv6 の機能を拡張する。

IPv6 において、IP アドレスはノードの識別子と位置情報という 2 つの役割を同時に果たす。MAT ではこれらの役割を分離することでモビリティを実現する。

TCP コネクションやアプリケーションプログラムは通信の際、IP アドレスをノード識別子として用いる。MAT ではこの識別子にホームアドレスと呼ばれる IP アドレスを利用する。ホームアドレスはモバイルノードの識別子で、モバイルノードの位置に関係なく固定のものである。

一方、モバイルノードには、接続しているリンクからルータ広告などの手段によって IP アドレスが割り当てられる。割り当てられた IP アドレスは既存の経路決定機構により、モバイルノードまで到達可能なものである。すなわち、そのアドレスはモバイル

ノードの位置を示すものといえる。このアドレスをモバイルアドレスと呼ぶ。

MAT は、図 1 のようにネットワーク層においてホームアドレスとモバイルアドレスを変換することにより移動透過通信を実現する。

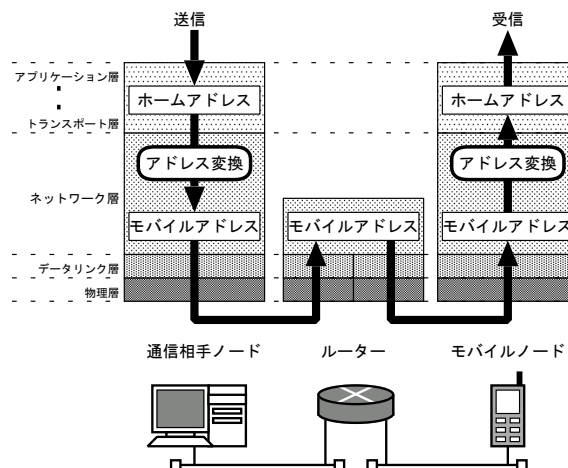


図 1: アドレス変換

2.2 アドレス変換による通信

MAT ではネットワーク層でホームアドレスとモバイルアドレスを変換する。よって、モバイルノード (MN) と通信をしている通信相手ノード (CN) は、モバイルノードのホームアドレスとモバイルアドレスの対応情報 (マッピング情報) が必要となる。

まず、モバイルノードへパケットを送信する場合のマッピング情報取得とアドレス変換方法について説明する。

通信相手ノードのアプリケーションがデータをモバイルノードに対して送信した場合、通信相手ノードが、モバイルノードのマッピング情報を既に持っていれば、そのパケットの宛先アドレスは、ネットワーク層においてホームアドレスからモバイルアドレスに変換され、パケットが送信される。もし、マッピング情報がなければ、通信相手ノードは、マッピング情報を、ホームアドレスを手がかりにして、取得しなければならない。

これを可能にするため、MAT では、IP Address Mapping Server (以下 IMS) と呼ばれるサーバを導入する。IMS はひとつあるいは複数のモバイルノード

を管理するサーバであり、各モバイルノードはあらかじめ最新のマッピング情報を IMS へ通知しておく。

通信相手ノードは通信したいモバイルノードのホームアドレスをクエリとして IMS に問い合わせることで、通信したいモバイルノードのマッピング情報を知る。この時、通信相手ノードは IMS のアドレスを DNS によって知る。MAT では DNS の PTR レコードと同じドメインに、IMS レコードを追加する。ホームアドレスをクエリとして IMS レコードを問い合わせると、IMS の IP アドレスを取得することができる。

次に、通信相手ノードがモバイルノードから初めてパケットを受信した場合について説明する。

モバイルノードからのパケットを受け取ったとき、そのモバイルノードのマッピング情報がなければ、パケットを受け取った通信相手ノードは送信の時と同様に IMS からマッピング情報を所得する必要がある。そこで MAT では、モバイルノードから送信するパケットに、適時ホームアドレスを付加する。ホームアドレスは、マッピングアップデートオプションとして IPv6 拡張ヘッダの宛先オプションヘッダに格納され、それを受け取った通信相手ノードは、送信の時と同様の手順で、ホームアドレスを手がかりとしてマッピング情報を取得する。

マッピング情報は、通信相手ノードにおいてキャッシュされるので、常にマッピングアップデートオプションを付与する必要はない。マッピングアップデートオプションは、ある通信相手ノードへ初めてパケットを送る時、またはモバイルノードのマッピング情報が変化した時のみ付与される。

IMS を用いたマッピング情報の伝達の詳細は [3] に委ねる。

2.3 複数インタフェースを用いたハンドオーバー

本節では、ネットワーク特性変化情報の取得に深く関係する、MAT における複数インタフェースを持ったモバイルノードの動作について述べる。MAT では、モバイルノードは複数インタフェースを持つ事を前提としているので、モバイルノードは、複数のモバイルアドレスを持つことができるよう、マッピング情報には、一つのホームアドレスと複数のモバイルアドレスを対応づけることができるようにしている。ま

た、複数のモバイルアドレスが存在する場合は、優先度をつけて順序を決めることができる。これにより、通信相手ノードが変換に利用するモバイルアドレスは、モバイルノード主導でコントロールすることができる。これは、通信相手ノードからパケットが送られるインタフェースを受け取る側のモバイルノードがコントロールできる、と言いかえてよい。このことにより、MAT はデータが途切れることのないハンドオーバーを実現している。

以下に、モバイルノードがインタフェースを 2 つ持っており、その内の 1 つでインターネットと接続している場合を例にとり、複数インタフェースを用いた MAT によるハンドオーバー手順について説明する。ここで、図 2 のように、ホームアドレス HADDR を持つモバイルノード (MN) を仮定する。MN はアクセスポイント (AP1) と接続しており、モバイルアドレス MADDR1 を付与されている。よって、MN のマッピング情報は、ホームアドレスが HADDR、モバイルアドレスが MADDR1 である。このようなマッピング情報を、図 2 中では {HADDR/MADDR1} と記している。

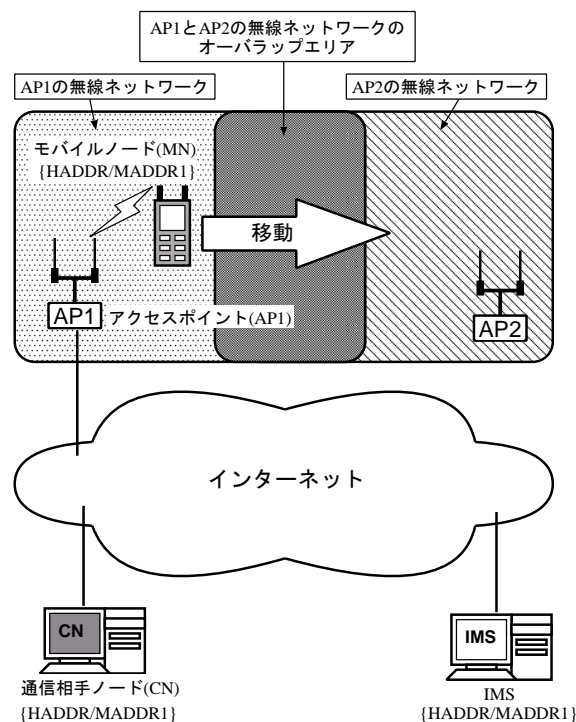


図 2: ネットワーク構成図

図 2 において、MN は、自身のマッピング情報を IMS へ登録済みであり、通信相手ノード (CN) と既に AP1 を介して通信を行っているとする。よって、CN は MN のマッピング情報を既に保持している。また、IMS の IP アドレスも知っている。

MN が、AP1 のみ利用可能なエリアから、AP1 と AP2 の無線ネットワークがオーバーラップするエリアへ移動した場合について、ハンドオーバーの手順は以下の通りである。

- 1) MN は新たに発見した AP2 に接続し、AP2 から、MADDR2 や、デフォルトルータの情報を取得する (図 3①)。この間、MN と CN の通信は、AP1 を介して行われている。
- 2) MN は、マッピング情報に MADDR2 を含め、ホームアドレスを HADDR、モバイルアドレスを MADDR1, MADDR2 とする新しいマッピング情報を IMS へ登録する (図 3②)。ただし図 3 では、MN から見て AP2 よりも AP1 と接続している電波の方が強度が上であると仮定する。この電波強度を根拠に、MADDR1 は MADDR2 より優先度が高いものとする。図 3 中の {HADDR/MADDR1, MADDR2} という表記している、モバイルアドレスの順番がそのまま優先順位を表している。
- 3) MN は、CN と AP1 を介した通信を維持しており、その通信にピギーバックする形で、マッピングアップデートオプションを CN へ渡す (図 3③)。
- 4) マッピングアップデートオプションを受け取った CN は、ただちに IMS へマッピング情報を問い合わせる。
- 5) IMS から応答を受けた CN は、MN の新しいマッピング情報を知る。ただし、優先度により、CN はこれまでと同様に HADDR は MADDR1 へアドレス変換し、AP1 を介した通信を継続する。
- 6) 図 3 において、MN がオーバーラップエリアの中に入っている状態で、さらに、AP2 の対象エリアに近い方へ移動すると、図 4 のように MN から見た AP1 と AP2 の電波強度が逆転したと仮定する。

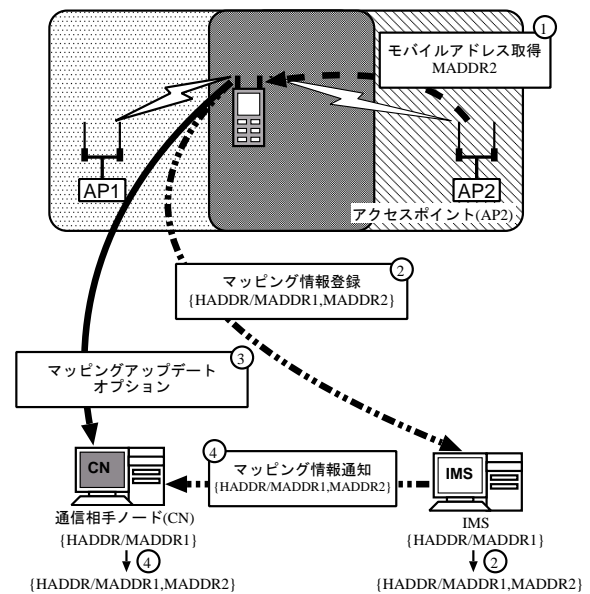


図 3: モバイルノードが新しいネットワークへ接続

- 7) MADDR1 と MADDR2 の優先度は電波強度を根拠にしているため、MN はマッピング情報の優先順位を変更する (図 4①)。
- 8) MN は、IMS へ優先順位を入れ換えたマッピング情報の登録を行う (図 4②)。
- 9) IMS への変更が終わり次第、MN は、通信に用いるアクセスポイントを AP1 から AP2 に切替える。当然、パケットを送信する時は HADDR から MADDR2 へアドレス変換する。これにより、CN との通信も AP2 経由のものとなる。ただし、AP2 に切り替わった時、CN 宛のパケットにはマッピングアップデートオプションが付与され、MN のマッピング情報が変更されたことを CN へ伝える (図 4③)。
- 10) MN から AP2 経由のパケットを受け取った CN は、既に MADDR2 が MN のマッピング情報に含まれていることを知っているため、そのパケットをただちに受け入れアドレス変換する。また、CN はマッピング情報には含まれているが優先度が低いモバイルアドレスからパケットが届いた場合、ただちに優先順位を入れ換える (図 4④)。よって、CN が持つ MN のマッピング情報は、ホームアドレスが HADDR で、モバイルアドレスが MADDR2, MADDR1 である。また、

MADDR2 は MADDR1 より優先度が高い．図 4 中では {HADDR/MADDR2,MADDR1} と表記している．

- 11) CN が持つマッピング情報が更新されたため，MN と CN は AP2 を介した通信が行える．この時，MN から CN へのパケットにはマッピングアップデートオプションが含まれているので，CN は IMS からマッピング情報を取得する処理も同時に行っている (図 4⑤)．

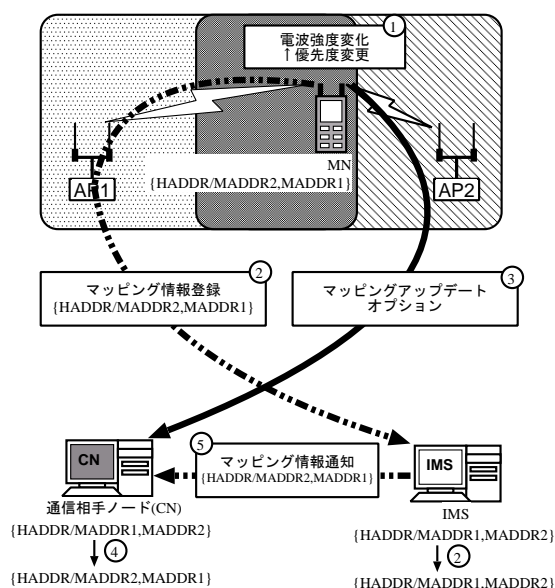


図 4: モバイルアドレスの優先度変更

上記手順の 1) から 6) で，MN は AP2 へ接続しモバイルアドレスの取得などを行っているが，この間，AP2 と接続するのは別のインタフェースを用いることで，AP1 を介し CN と継続して通信を行っている．

また，7) から 12) までのアクセスポイント切替えの一連の手順の中で，CN が IMS からマッピング情報を取得するまでパケットのアドレス変換ができないなどといったような処理待ちの状態になることはない．

これらのことから，モバイルノードが複数のインタフェースを持っている場合，MAT では，通信の中断させるような処理を含めずにハンドオーバーできることがわかる．

しかし，本節の手順説明では，ネットワーク特性

が一切考慮されていない．例えば，AP1 と AP2 が異なる ISP によって提供されているならば，AP1-CN 間，AP2-CN 間の通信遅延が大きく異なることも予想される．もしそのような状況があった場合，本節で説明した手順だけでは，ストリームアプリケーションなどを利用する場合，通信の中断が無いと言えるだけの十分は品質が保てない事がわかった．

次節では，ネットワーク特性を考慮に含めた場合ハンドオーバーにどのような影響が出るかについて解析を行う．

3 ネットワークの変化が及ぼす影響

MAT では複数インタフェースを用いたハンドオーバーを行うため通信ノード間でやりとりされるパケットがハンドオーバー処理において欠落することはない．このことを示すために，図 5 に示す実験構成で，Iperf[5] を使い，ペイロード長 1360byte，帯域 10Mbps の UDP ストリームを CN から MN 方向へ流し，MN が 2 つのインタフェースを用いてハンドオーバーした場合のパケットのシーケンス番号を測定した．ただし，遅延発生ノードは使用していない．

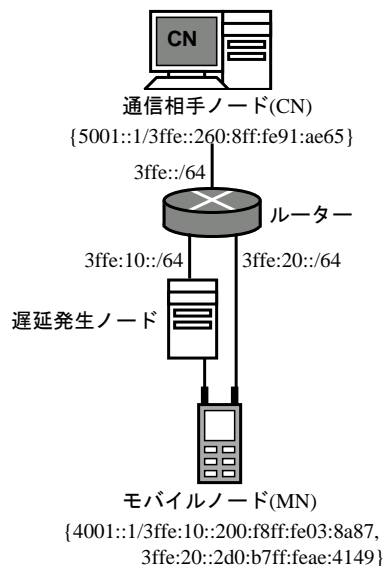


図 5: 実験構成

図 6 に 10 回の測定のうち，ハンドオーバー時に揺らぎの見られたものの 1 つを示す．縦軸は RTP パケットのシーケンスナンバー，横軸は時間，図中の横線は

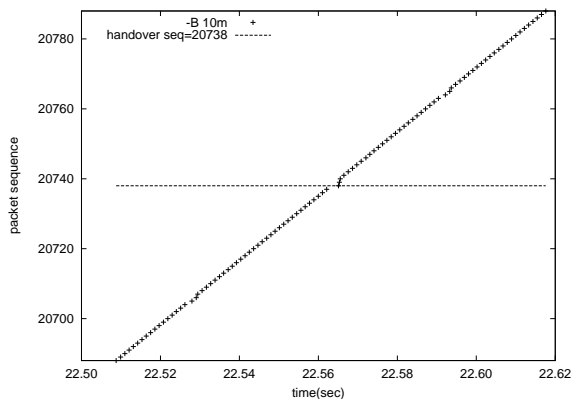


図 6: ハンドオーバー時のパケットシーケンス

ハンドオーバーのタイミングを示している。測定で用いた PC は、MN/CN とも CPU PentiumIII 800MHz、Memory 128MByte である。

ハンドオーバー前後においてパケットの欠落はしていない。1.9ms 程度のジッタが見られるが、ストリーム帯域を小さくすると発生しないことから、ハンドオーバー処理における CPU 負荷の問題と考えられる。このことから、複数インタフェースを用いることでシームレスにハンドオーバー出来ることがわかる。

しかし、ネットワークが移動することで通信相手までの経路が変化し、ネットワーク遅延が大きく変わることがある。この遅延変動によりパケットが遅く到着したり、早く到着することで順序入れ替え等が発生しストリームアプリケーションに音飛びや映像の乱れといった品質の劣化が発生する。

そこで、モバイルノードが通信相手ノードからストリームを受信している時にインタフェースを切り替えた状況を想定し、移動前後のネットワーク遅延の変化がストリームに及ぼす影響について調べるため、図 5 の構成で、遅延発生ノードにネットワークエミュレータ Lenet[6] を用い、Iperf により測定を行った。Iperf のパラメータは VoIP でよく用いられるコーデックとサンプリング周波数である G.711 u-Law 8kHz Mono を想定し、ペイロード長 172byte、帯域 64kbps の UDP ストリームを CN から MN 方向へ流す。遅延発生ノード (Lenet) を用いて MN の片側リンク (3ffe:10::/64) に 200ms の遅延を発生させる。そして、高遅延から低遅延方向 (200ms->0ms) と低遅延から高遅延方向 (0ms->200ms) へのハンドオーバーを行う。

図 7 に高遅延から低遅延のネットワークに移動した場合、図 8 に低遅延から高遅延のネットワークに移動した場合のパケットの流れを示す。縦軸に Iperf が送信する RTP パケットのシーケンスナンバー、横軸は時間を表している。

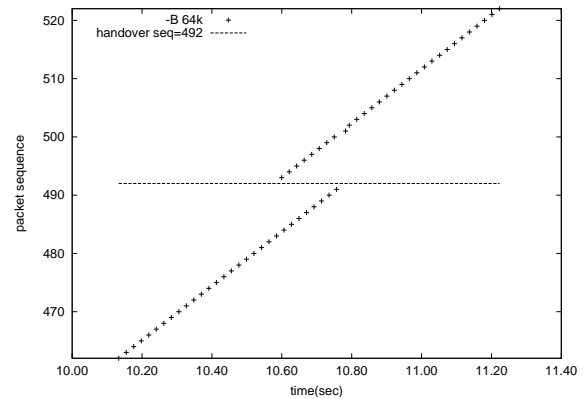


図 7: 高遅延から低遅延ネットワークへの移動

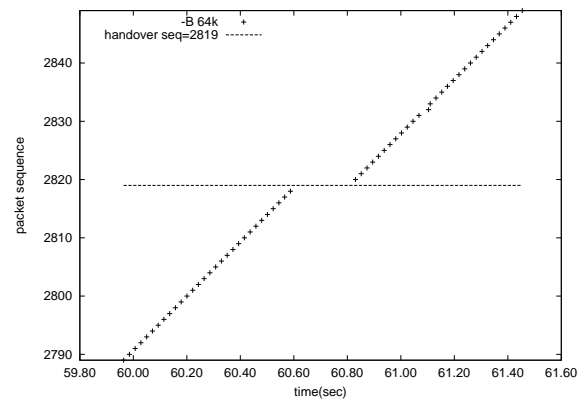


図 8: 低遅延から高遅延ネットワークへの移動

高遅延から低遅延へと変化すると順序入れ替えが生じ、また低遅延のネットワークから高遅延へと変化すると大きな未到着区間が発生していることがわかる。

この測定ではネットワーク遅延の変化が引き起こす影響について示したが、その他にも移動前後でジッタが大きく異なるネットワークである場合に問題が発生することも考えられる。

4 ネットワーク特性の事前取得

4.1 情報取得

移動によるネットワーク特性の変化が引き起こす問題に対処するため、ハンドオーバー後に使用するネットワークの特性をハンドオーバー前に取得しアプリケーションに通知する手法を提案する。

2章で述べたように、MATの複数インタフェースを用いてハンドオーバーを行うプロセスは、モバイルアドレスの取得から始まり、IMSへマッピング情報登録、通信相手ノードへマッピング変化の通知を行うことで新しいモバイルアドレスが使用可能となる。その後、電波強度などから算出されたインタフェースの優先度に基づいて通信に用いるモバイルアドレスが決定されハンドオーバーを行う。新たなインタフェースのIPv6アドレスが使用可能になった直後からハンドオーバーを行うまでの間に(2.3節の手順1)~(6))、通信相手ノード間のネットワーク特性を測定しておく。ここでいうネットワーク特性とは、例えばネットワーク遅延やジッタを示している。

測定はMATのハンドオーバー等を制御するuserland側デーモンが行い、この情報を必要とするアプリケーションに提供する。そして、アプリケーションはその情報を用いて必要に応じてハンドオーバーで発生するネットワーク特性の変化に備える処理をする。

4.2 MATを用いた遅延変動の吸収

ネットワーク特性の先読みを行う手法を用いて、ハンドオーバー時の遅延変動によるストリーム品質の劣化を防ぐ方法について述べる。

一般のストリームアプリケーションは再生バッファをもっており、ネットワークで発生するジッタを吸収している。その中でも特にテレビ会議や音声通話といったリアルタイム性の要求されるアプリケーションの場合、再生遅延を最小にするために可能な限り再生バッファのサイズを押さえようとする。再生バッファサイズは定期的にネットワークの情報に応じて再計算される。しかし、ハンドオーバーによる通信相手ノード間の経路の変化に伴う遅延変動はアプリケーション単体では予測することはできない。遅延の変化量が大きければ3章で示した大きなジッタや順序

入れ替えが発生しアプリケーションの再生バッファでは許容できずに品質の劣化を招くこととなる。

そこで、ネットワーク特性の先読みを行う手法でハンドオーバー前に移動先ネットワークの遅延情報を取得し、現在の遅延とハンドオーバー後の遅延の変化量から再生バッファと再生タイミングを調整する。つまり、アプリケーション単体では得られない情報をMAT側が提供するアプローチとなる。

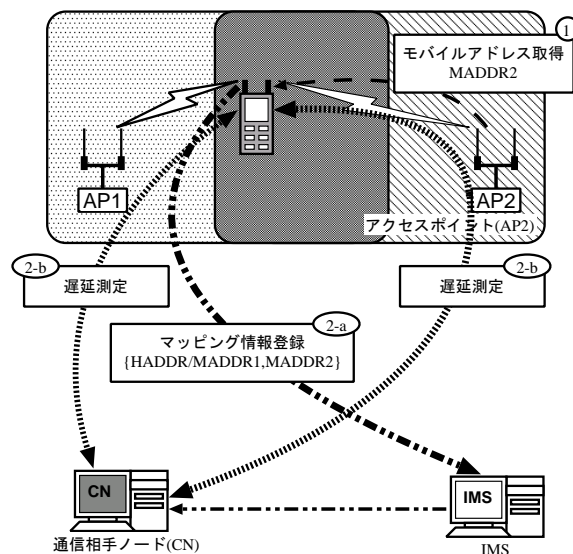


図 9: RTT 測定のシーケンス

図 9 は遅延の変化量を予測するため、インタフェースが新しいモバイルアドレス (MADDR2) を取得する毎に通信相手ノードとの遅延時間を測定する MAT の動作シーケンスを示す。マッピング情報登録処理 (図 9②-a) と同時に遅延の測定が行われる (図 9②-b)。測定は、現在使用しているモバイルアドレス (MADDR1) と新しく取得したモバイルアドレス (MADDR2) を用いて同時に行うことでそれぞれの遅延を求め、変化量を予測する。

ここで測定された値は遅延変動を吸収するために、MATへ遅延情報の要求を出したアプリケーションに渡され、吸収のためのバッファリング等の処理は、エンドアプリケーションが行う。

MAT から遅延情報を取得したアプリケーションの対応例を図 10, 11 に示す。図中の矢印はパケットの流れを、破線はアプリケーションによってバッファリングされ送信レートが変更されたパケットを意味している。また、Overlap Section と記された範囲は

移動前後のネットワークがオーバーラップしていかなくてはならないタイミングを示している。

図 10 は CN からのストリームを受信している MN が高遅延から低遅延ネットワークへの移動を行う際に、MN のアプリケーションが遅延変動を吸収する様子を表している。MAT 側からハンドオーバー通知を受け取ると、低遅延ネットワークから送られてくるパケットを最初は遅延変動時間だけバッファリングし徐々に実際の送信レートに近づけていく。エンドアプリケーションは再生タイミングを早める。この動作によりパケットの入れ替わりによる影響を防いでいる。

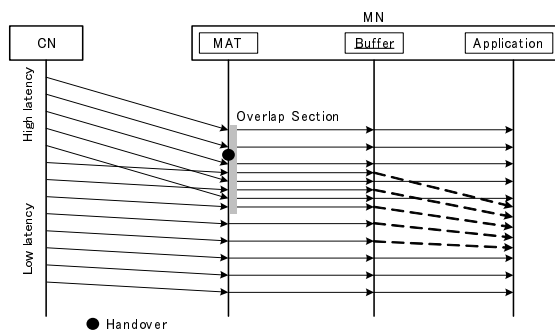


図 10: 高遅延から低遅延ネットワークへの移動

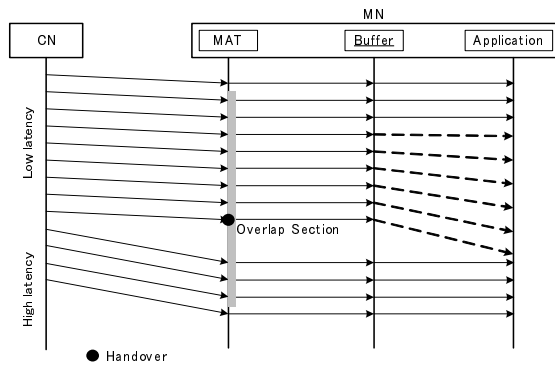


図 11: 低遅延から高遅延ネットワークへの移動

逆に図 11 は MN が低遅延から高遅延ネットワークへの移動する際の吸収動作を表している。低遅延ネットワークから送られてくるパケットをハンドオーバー前にアプリケーションがバッファリングし遅延変動時間を埋めるように送信レートを遅らせる。エンドアプリケーションは再生タイミングを遅らせる。この動作によりハンドオーバー時に発生する大きなジッタによる影響を防いでいる。

低遅延から高遅延ネットワークへ移動する状況では、ハンドオーバーを行う前から移動後のネットワークにあわせたバッファリングを行う必要がある。したがって、2つのネットワークがオーバーラップする時間は高遅延から低遅延ネットワークへの移動と比べて長いことが求められる。

なお、本稿の説明ではタイミング調整機能をストリームアプリケーションが持っていることを想定しているが、ストリームアプリケーションとは別にタイミング調整専用のアプリケーションゲートウェイを用意し、その出力をストリームアプリケーションへ入力する方法も有用であろう。

5 まとめ

本稿では、MAT が複数インタフェースを同時に利用できることを活かし、移動先ネットワークの特性を移動前に把握することで、通信相手ノード間のネットワーク特性の変化がストリームアプリケーションに及ぼす影響を小さくするシームレスハンドオーバーメカニズムを提案した。

このような複数インタフェースを用いたネットワーク特性の取得とアプリケーションへの情報配布メカニズムは、ホスト単位のモビリティを実現する MAT だけでなく、移動するネットワークを実現するネットワーク単位のモビリティアーキテクチャ MAT-MONET[7] にも適用可能である。

NEMO[8] を応用したサイトマルチホームの実現として Multiple CoA[9] がある。複数気付アドレスを使うことで移動ルータとホームエージェント間で複数の ISP を切り替え、または同時に利用することができる。本稿で提案した遅延測定の機構は移動ルータからホームエージェントまでの遅延測定にも活用できると考えている。今後、Multiple CoA との組み合わせも検討していきたい。

謝辞

本研究に関して御助言を頂きました、ネットワンシステムズ株式会社 杉本康則氏、赤座正樹氏、広島市立大学情報処理センター 河野英太郎助手に深く感謝致します。本研究の一部は広島市立大学平成 17 年度特定研究費 (5115)、日本学術振興会科学研究費補助金 (17300019,17500037) の支援を受けて実施している。ここに記して感謝の意を示す。

参考文献

- [1] Johnson, D., Perkins, C. and Arkko, J.: Mobility Support in IPv6, RFC 3775 (Proposed Standard) (2004).
- [2] Ishiyama, M., Kunishi, M., Uehara, K., Esaki, H. and Teraoka, F.: LINA: A New Approach to Mobility Support in Wide Area Networks, *IEICE Transaction on Communication*, Vol. E84-B, No. 8, pp. 2076–2086 (2001).
- [3] 相原玲二, 藤田貴大, 前田香織, 野村嘉洋: アドレス変換方式による移動透過性インターネットアーキテクチャ, *情報処理学会論文誌*, Vol. 43, No. 12, pp. 3889–3897 (2002).
- [4] Koodli, R.: Fast Handovers for Mobile IPv6, RFC 4068 (Experimental) (2005).
- [5] A.Tirumala, F.Qin, J.Dugan, J.Ferguson, and L.Gibbs: 'Iperf' The TCP/UDP bandwidth measurement tool, <http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf/> (1999).
- [6] 石野正英, 前田香織, 河野英太郎, 岸田崇志: パケットロスパターン再現可能なネットワークエミュレータの開発, *信学技報*, Vol. 105, No. 219, pp. 13–18 (2005).
- [7] 藤田貴大, 野村嘉洋, 西村浩二, 前田香織, 相原玲二: MATによるモバイルネットワークの実現, *DICOMO2003*, pp. 105–108 (2003).
- [8] Devarapalli, V., Wakikawa, R., Petrescu, A. and Thubert, P.: Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol, RFC 3963 (Proposed Standard) (2005).
- [9] Wakikawa, R., Uehara, K., Ernst, T. and Nagami, K.: Multiple Care-of Addresses Registration, Internet-draft (2005).