

ネットワーク単位の移動通信の研究

01j055 坂本 順一
渡邊研究室

無線 LAN やインターネットの普及により、移動しながら通信を行う要求がある。しかし、移動すると IP アドレスが変わってしまい、通信を継続できずにいったん途切れてしまう。そこで、端末単位の移動透過性を実現しようと研究が盛んに行われている。また電車内や自動車内などにネットワークを構築し、ネットワーク単位の移動透過性を実現する研究も盛んに行われている。本研究では、我々が提案している端末単位の移動透過性を P2P で実現した Mobile Peer to Peer Communication を利用してネットワーク単位の移動透過性を実現する方式について提案する。

Researches on mobility network

01j055 Sakamoto Junichi
Watanabe laboratory

There is requirement that the host corresponds while it moves for the spread of wireless LAN or Internet. However the host can not maintain correspond and once its session snaps because its IP address changes when it moves. Therefore the researches which will realize migration transparency of a host unit have been done extensively. Also the researches which will realize migration transparency of a network unit have been done extensively to the environments which constructed a network in the train or car. In this research, we propose the system which realizes migration transparency of a network unit using Mobile Peer to Peer Communication which realized migration transparency of a host unit, which we are proposing, by P2P.

1. はじめに

無線 LAN やインターネットの急速な普及により、移動しながらどこでも通信ができる環境が要求されている。しかし現状では、通信を行っている端末が移動してしまうとその端末の IP アドレスが変わってしまう。ところが、相手通信端末は変わる前の IP アドレスで通信を行おうとするため、通信が継続できずにいったん通信が途切れ、再度新しく変わった IP アドレスでコネクションを行う必要がある。そこで、移動によって IP アドレスが変わっても通信を継続できる端末単位の移動透過性の研究が盛んに行われている。また、電車内や自動車内にネットワークを構築し、そのネットワークが移動しても、そのネットワーク内の端末の通信が継続できるネットワーク単位の移動透過性の研究が盛んに行われている。

移動透過性を実現する方式にはプロキシ方式とエンド・ツー・エンド方式に、プロキシ方式は相手通信端末からのパケットを移動端末に転送、移動端末からのパケットを相手通信端末に転送を行う方式である。エンド・ツー・エンド方式はプロキシを利用せずにエン

ド端末間で移動透過性を行う方式である。

端末単位の移動透過性を実現させた既存技術にプロキシ方式には Mobile IP^{1), 2)}がある。ネットワーク単位の移動透過性を実現させた技術に Mobile IP を利用した Network Mobility (以下 NEMO)³⁾や NEMO のプロトコルとして Mobile IPv6⁴⁾に基づいて NEMO Basic Support Protocol⁵⁾が RFC で定義されている。

しかし、NEMO には移動ノード (Mobile Node : 以下 MN) の移動先のアドレスを管理するサーバ Home Agent (以下 HA) のような特殊なサーバの設置が必要である。また、NEMO は、HA を介して通信を行うための通信経路の冗長、トンネル化によるヘッダオーバーヘッド、HA による一点障害などの課題がある。

我々は端末単位の移動透過性をエンド・ツー・エンド方式で実現させた Mobile Peer to Peer Communication (以下 Mobile PPC)⁶⁾を提案している。Mobile PPC は移動端末 (MN) の移動前後の情報を記憶しておき、IP 層でアドレス変換することで IP 層より上位層に対してアドレスの変化を隠蔽できてコネクションを維持することができる。

本論文では、IP 層より上位層に対してアドレスの変化を隠蔽できる Mobile PPC と IP 層より上位層で動作する NAPT を組み合わせることにより、特殊なサーバの設置が不要で通信経路の冗長やヘッダオーバーヘッド

†名城大学理工学情報科学科
Faculty of Science and Technology, Meijo University

が発生しないネットワーク単位の移動透過性を実現する方式を提案する。

以下 2 章では、プロシキ方式の代表的な既存技術の Mobile IP の概要と課題、Mobile IP の技術を利用してネットワーク単位の移動透過性を実現する技術として NEMO の概要と課題、我々が提案している端末単位の移動透過性をエンド・ツー・エンド方式で実現させた Mobile PPC について述べる。3 章で Mobile PPC を利用したネットワーク単位の移動透過性を実現させる提案方式を示し、4 章で NEMO と提案方式を評価し、5 章で移動ネットワークの移動による認証方法を述べ、最後に 6 章でまとめる。

2. 既存技術

2.1 Mobile IP の概要と課題

Mobile IP は、端末単位の移動透過性を実現した技術である。Mobile IP の構成を図 1 に示す。HA は MN の移動先などの情報を管理する。MN が移動により得た IP アドレスを気付けアドレス(Care-of-Address : 以下 CoA)と呼ぶ。Foreign Agent (以下 FA) は、MN が移動した場合に HA から FA 宛にトンネル化されたパケットを解除し、MN に送信する処理を行う。トンネルとは、トンネル化の対象となるパケットのデータをすべてペイロードとして新たに IP ヘッダを付加することである。

Mobile IP の通信を図 1 に示す。MN が移動する前は、相手通信端末 (Correspond Node : 以下 CN) は MN のホームアドレス宛で HA にパケット送信する。受信した HA は、保持している情報から MN がホームリンク内に存在するのでそのまま MN にパケットを送信する。MN が移動し、CoA を取得すると MN は、HA が MN のホームアドレス宛のパケットを受信した場合に FA 宛にそのパケットをトンネル化して送信する処理をするための情報を HA に送信する。通知を受けた HA は、その情報を保持する。CN は MN のホームアドレス宛で HA にパケットを送信する (①)。受信した HA は、保持している情報から MN は FA に移動しているので、FA 宛にそのパケットをトンネル化して送信する (②)。トンネル化されたパケットを受信した FA は、トンネルを解除し、そのパケットを MN に送信する (③)。MN が CN にパケットを送信する場合は、そのままパケットを送信する。このようにして、Mobile IP は端末単位の移動透過性を実現している。

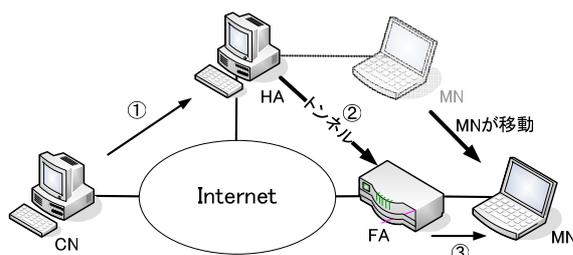


図 1 Mobile IP の構成と通信

また、MN に FA の機能を持たせ、MN 自身で HA に移動で取得した新しいアドレス CoA を通知する。MN のホームアドレス宛で受信した HA は、MN の CoA でトンネル化して送信する。受信した MN はトンネル化を解除し、そのパケットを MN 内で処理する。このように MN に FA の機能を持たせる場合もある。

図 1 から移動後の通信において、HA を介して通信を行うので通信経路の冗長が発生や HA に障害が起これば HA と FA の間で通信できなくなり、CN は MN にパケットを到達させることができず一点障害が発生する。また HA から FA にパケットを送信ときにトンネル化を行うためパケット長が増加し、ヘッダオーバーヘッドが発生する。Mobile IP には通信経路の冗長、ヘッダオーバーヘッド、一点障害という三つの課題がある。

2.2 NEMO の概要と課題

NEMO は、Mobile IP の技術を利用してネットワーク単位の移動透過性を実現する技術である。NEMO の構成を図 2 に示す。移動するネットワークには複数の端末が存在し、その端末は Mobile Router (以下 MR) に接続して MR を介して通信を行う。

NEMO の通信を図 2 に示す。移動ネットワークが移動する前では、CN が Node 宛で HA にパケットを送信し、受信した HA は、MR はホームリンク内に存在するのでそのままパケットを MR に送信し、受信した MR は、Node にパケットを転送する。移動ネットワークが移動して MR が CoA を取得すると、MR は、HA が MR の下位のネットワークプレフィックスと同じパケットを受信した場合に MR の CoA でそのパケットをトンネル化して送信する処理をするための情報を HA に送信する。通知を受けた HA は、その情報を保持する。CN は Node 宛で HA にパケットを送信する (①)。受信した HA は、そのパケットのネットワークプレフィックスと保持している情報より MR の下位のネットワークプレフィックスと一致すると MR の CoA でパケットをトンネル化してパケットを送信する (②)。受信した MR は、トンネル化されたパケットのトンネル化を解除して Node にパケットを送信する (③)。Node が CN にパケットを送信するとき、Node は、CN 宛のパケットを MR に送信する (④)。受信した MR は、HA 宛にパケットを逆方向でトンネル化して HA に送信する (⑤)。受信した HA は、トンネル化されたパケットのトンネル化を解除して CN にパケットを送信する (⑥)。①～⑥により移動ネットワークが移動しても、CN と移動ネットワーク内の Node と通信を継続することができ、ネットワーク単位の移動透過性を実現している。

NEMO は、Mobile IP の技術を利用しているので、HA を介して通信を行うために発生する通信経路の冗長、HA に障害が起これば通信できなくなる一点障害、HA と MR 間の双方向トンネル化によるヘッダオーバーヘッドという 2.3 節で述べたように Mobile IP と同様の課題がある。

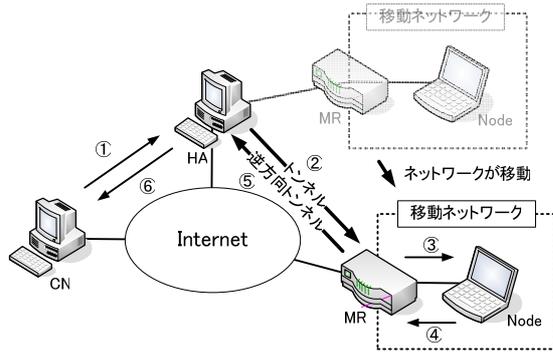


図 2 NEMO の構成と通信

2.3 Mobile PPC の概要

Mobile PPC は、HA や MA のような特別なサーバが不要で、端末の移動透過性を P2P で実現する技術である。Mobile PPC では、移動端末 (MN) の移動前後の情報を記憶しておき、IP 層でアドレス変換することで上位層に影響を与えずにコネクションを維持することができる。

移動端末 MN と CN が通信中に、MN が移動した際の処理を図 3 に示す。MN が移動して、IP アドレスが mIP0 から mIP1 になると MN は自身が保持するアドレス変換テーブルを更新する。MN は CN へ移動の通知 (Binding Update : 以下 BU) を送信する。CN は BU を受信すると IP 層に保持している Mobile PPC 用のアドレス変換テーブルを更新する。

BU の通知・応答は現在開発中の Dynamic Process Resolution Protocol (以下 DPRP) ¹⁰ を拡張する。DPRP は、通信に先立ちエンド端末や中継装置間で情報を交換し、セキュアな通信路を確保する技術である。

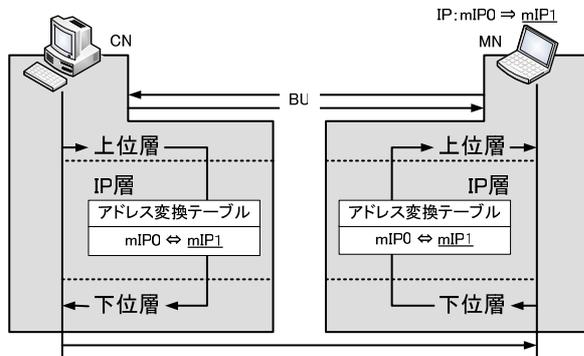


図 3 MN が移動した際の処理

BU 交換後、CN が MN へパケットを送信するときは、IP 層でアドレス変換テーブルを参照して、宛先アドレスを mIP0 から mIP1 に変換して送信する。パケットを受信した MN は IP 層でアドレス変換テーブルを参照して、宛先アドレスを mIP1 から mIP0 に変換して上位層へ渡す。MN が CN にパケットを送信する場合は上記と逆の変換処理を行う。これにより MN が通信中に移動しても、上位ソフトウェアに対してアドレスの変化を隠蔽でき、コネクションを維持することができる。

3. 提案方式

本章で提案方式の構成と移動ネットワークが移動する前に行う処理、移動時に行う処理、移動後の移動ネットワークから CN への通信処理、移動後の CN から移動ネットワークへの通信処理の手順を述べる。

3.1 概要

提案方式の移動ネットワークの構成を図 4 に示す。

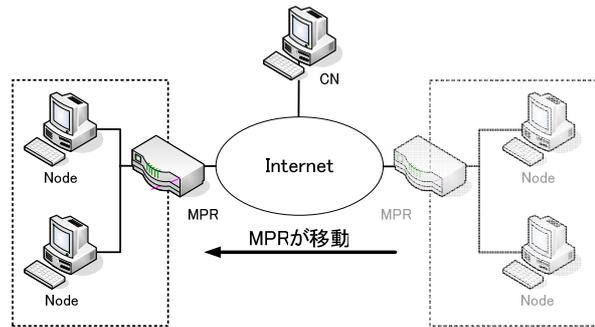


図 4 移動ネットワークの構成図

移動ネットワークは、Mobile PPC と NAPT を実装した Mobile PPC Router (以下 MPR) によりインターネットと接続される。移動ネットワーク内は IPv4 のプライベートアドレス空間とし、複数の一般端末 (以下 Node) が存在する。Node はインターネット上の Mobile PPC を実装した CN と通信することを想定する。移動ネットワーク内のアドレス体系をプライベートアドレス空間に想定しているため、Node と CN が通信を行うときは、必ず通信開始のパケットを Node から送信する。

3.2 移動前の通信開始処理

Node と CN が通信開始に先立って行う処理を図 5 に示す。移動ネットワーク内の Node が宛先アドレスを CN のアドレス cIP、送信元アドレスを Node のアドレス nIP で CN に向けて最初のパケットを送信する。そのパケットを受信した MPR は、MPR がプライベートアドレス空間の Node からパケットを受信した場合に送信元を Node のアドレスから MPR のアドレスに変換し、MPR がプライベートアドレス空間の外からパケットを受信した場合に宛先アドレスを MPR のアドレスからプライベートアドレス空間の Node のアドレスに変換するための NAPT テーブルを生成する。生成した NAPT テーブルよりパケットの送信元アドレスを Node のアドレス nIP から MPR のアドレス mIP0 に変換して IP 層に渡す。MPR の IP 層では、MPR が移動して MPR の次に MPR から CN へ最初のパケットを送信した時点で、CN と MPR に Mobile PPC 用のアドレス変換テーブルが生成される。CN と MPR のコネクションが完了する。

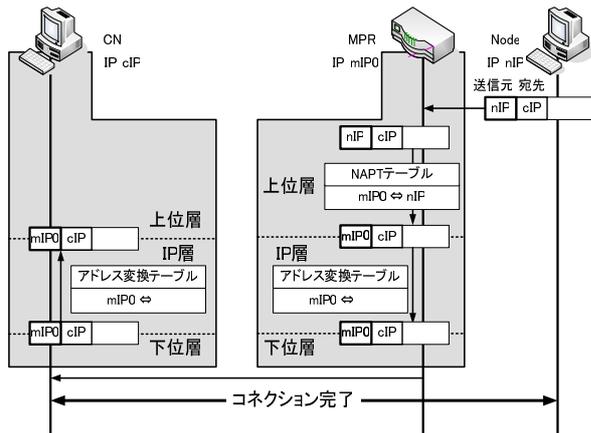


図 5 Node と CN との通信開始処理

3.3 移動時の通信処理

ここで、通信中に MPR の移動時に行う処理を図.6 に示す. MPR のアドレスが miP_0 から miP_1 になると、Mobile PPC の手順に従い MPR 自身が保持するアドレス変換テーブルを上位層から渡されたパケットの送信元アドレスを MPR の移動前のアドレス miP_0 から MPR の移動後のアドレス miP_1 に変換して下位層に渡し、下位層から渡された更新する. MPR は CN へ移動の通知(BU)を送信する. BU を受信した CN は MPR のアドレス変換テーブルと同様の交換を行うようにアドレス変換テーブルを更新する. このとき、4.3 節で生成した NAPT テーブルは変更しない.

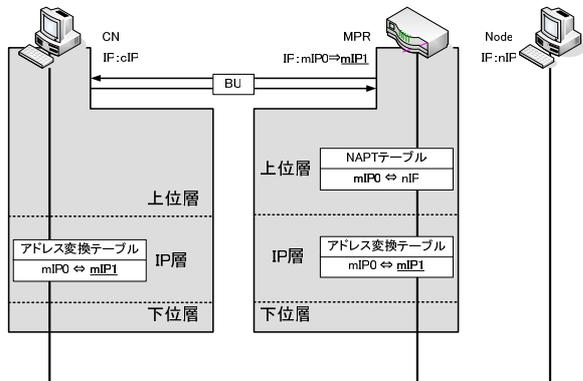


図 6 MPR 移動時の通信処理

3.4 移動後の Node から CN への通信処理

次に、アドレス変換テーブル更新後に Node が CN へパケットを送信する際に行われる処理を図.7 に示す. Node が、宛先アドレスを CN のアドレス ciP 、送信元アドレスを Node のアドレス niP で CN にパケットを送信すると、そのパケットを受信した MPR が NAPT テーブルを参照して、送信元アドレスを Node のアドレス niP から MPR の移動前のアドレス miP_0 に変換し、MPR の IP 層へ渡す. IP 層では Mobile PPC のアドレス変換テーブルを参照して、送信元アドレスを MPR の移動前のアドレス miP_0 から MPR の移動後のアドレス miP_1 に変換し、CN に送信する. 受信した CN は IP 層で Mobile PPC のアドレス変換テーブルを参照し

て、送信元アドレスを MPR の移動後のアドレス miP_1 から MPR の移動前のアドレス miP_0 に変換し、上位層へ渡す.

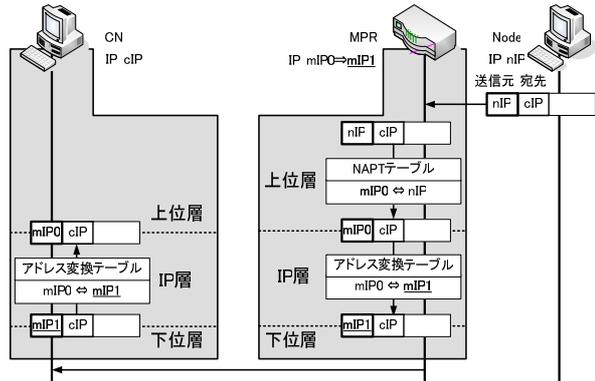


図 7 MPR 移動後の通信処理 (Node ⇒ CN)

3.5 移動後の CN から Node への通信処理

逆に CN が Node にパケットを送信する際に行われる処理を図.8 に示す. CN が Node にパケットを送信するとき、CN の IP 層より上位ソフトウェアは、宛先アドレスを MPR の移動前のアドレス miP_0 、送信元アドレスを CN のアドレス ciP でパケットを送信する. そのパケットが IP 層に渡されると Mobile PPC のアドレス変換テーブルを参照して、宛先アドレスを MPR の移動前のアドレス miP_0 から MPR の移動後のアドレス miP_1 に変換し、MPR に送信する. 受信した MPR は IP 層で Mobile PPC のアドレス変換テーブルを参照して、宛先アドレスを MPR の移動後のアドレス miP_1 から MPR の移動前のアドレス miP_0 に変換し、上位層へ渡す. 受け取った上位層では 4.2 節で生成した NAPT テーブルを参照して、宛先アドレスを MPR の移動前のアドレス miP_0 から Node のアドレス niP に変換し、Node に送信する.

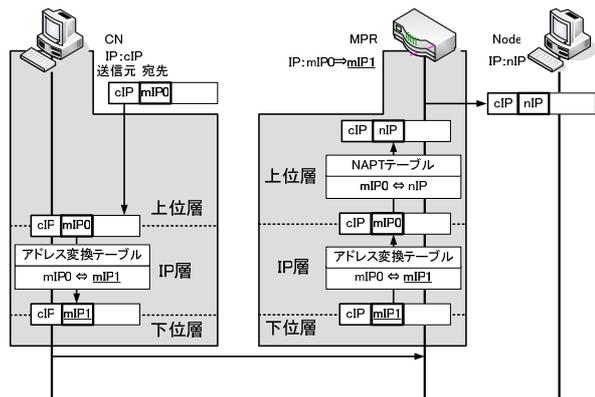


図 8 MPR 移動後の通信処理 (CN ⇒ Node)

このようにして CN が、移動ネットワーク内に存在する Node と通信中に移動ネットワークが移動しても、CN は Node にパケットを送信できる.

4. 評価

NEMO と提案方式の比較を表 1 に示す. 特殊なサーバの設置、CN への特別な実装、移動ネットワークと

CN 間の通信経路, 通信パケットのヘッダオーバーヘッド, 耐障害性, 移動ネットワーク内のアドレスの管理, 外部から移動ネットワークへのアクセス, 移動ネットワーク内への移動について既存技術と提案方式で評価を行う。

4.1 特殊なサーバの設置

NEMO は特殊なサーバである HA を設置しなければいので導入時のコストがネックになる。提案方式は特殊なサーバ設置が不要であるため NEMO に比べて導入しやすいと考えられる。

4.2 CN への特別な実装

提案方式では, ネットワーク単位の移動透過性を実現するためには CN に対し Mobile PPC を実装する必要がある。Mobile PPC を実装していない CN と通信を行う場合, 通信することは可能だが移動して IP アドレスが変わるとセッションが切れてしまい, 通信を継続することができない。しかし, NEMO では, CN はいつもパケットを送信するときホームアドレスを使うので CN は特別な処理をしない。これにより, NEMO では CN に対し特別な実装をする必要がない。

4.3 通信経路

NEMO では, 移動ネットワーク内に存在する端末が, CN と通信するとき, 送受信パケットとも HA と MR を介して通信が行われるので通信経路の冗長が発生する。しかし, 提案方式は MPR と CN 間で直接通信するので通信経路は常に最適な経路で通信が行われる。

4.4 ヘッダオーバーヘッド

NEMO は, MR と HA 間のすべての通信がトンネル化して行うので, パケット長が増加し, ヘッダオーバーヘッドが発生する。提案方式は, MPR と CN 間で直接通信するためにパケット長は増加せず, ヘッダオーバーヘッドは発生しない。

4.5 耐障害性

NEMO は, CN と MR の間の通信では HA を介して通信を行う。このため, HA に障害が発生すると CN は移動ネットワークと通信できなくなり, 一点障害が発生する。提案方式は, 特別なサーバを介さずに CN と MPR 間で直接通信を行うため, 一点障害が発生しない。

4.6 アドレスの管理

提案方式の移動ネットワークのアドレス体系はプライベート想定しているので移動ネットワーク内のアドレスを自由にいくつでも割り当てることができて, アドレスに制約がないので移動ネットワーク内のアドレスの管理がしやすい。NEMO の移動ネットワークの

アドレス体系はグローバルアドレスを想定しているので移動ネットワークのアドレスは指定されたアドレスしか割り当てることができない。

4.7 移動ネットワークのセキュリティ

NEMO の移動ネットワークのアドレス体系は, グローバルアドレスを想定しているので外部からの不正アクセスに対して Firewall の設置やパケットフィルタリングなどの複雑な設定を行う必要がある。しかし, 提案方式の移動ネットワークのアドレス体系は, プライベートアドレスを想定しているので外部からの不正アクセスを防ぐことができる。また Firewall の設置やパケットフィルタリングなどの複雑な設定を行う必要がない。

4.8 外部からのアクセス

NEMO の移動ネットワークのアドレス体系は, グローバルアドレスを想定しているので移動ネットワークの外部から移動ネットワーク内の端末にアクセスすることができる。しかし, 提案方式の移動ネットワークのアドレス体系は, プライベートアドレスを想定しているので移動ネットワークの外部から移動ネットワーク内の端末にアクセスすることができない。

4.9 移動ネットワーク内への移動

NEMO は, 移動ネットワークに別の移動ネットワークが移動や MN が移動ネットワークに移動しても移動ネットワークと HA 間で双方向トンネルを利用しているために, 移動端末や移動ネットワーク内の端末はコネクションを維持することができる。しかし, 提案方式ではこのような環境を想定していない。

表 1 NEMO と提案方式の比較

	NEMO	提案方式
特殊なサーバの設置	必要	不要
CN への特別な実装	不要	必要
通信経路	増加する	変化なし
パケットオーバーヘッド	増加する	変化なし
耐障害性	弱い	強い
アドレスの管理	難しい	易しい
移動ネットワークのセキュリティ	弱い	強い
外部からのアクセス	可能	不可能
移動ネットワーク内への移動	可能	不可能

5. 移動による認証

本研究では, 移動ネットワークの移動による認証を考慮していない。しかし, 我々は, Mobile PPC における認証機構の提案を行っている⁸⁾。

そこで, 提案方式は Mobile PPC を利用してネットワーク単位の移動透過性を実現しているため, この方式をそのまま MPR と CN に適応すれば, 移動ネットワークの移動による認証を行うことができる。

6. むすび

本研究では Mobile PPC と NAPT を実装させた MPR を用いることで、特殊なサーバを必要とせず、常に最適な通信経路で通信が行われ、ヘッダオーバーヘッドや一点障害などの問題が発生せずにネットワーク単位の移動透過性を実現した。今後は、FreeBSD に提案方式を実装し検証を行う。

さらに、移動ネットワーク内に移動端末や別の移動ネットワークが存在する場合などの環境においても移動透過性を実現できる方式を検討する。

謝辞

本研究は柏森財団の助成により実施したものである。

参考文献

- 1) Perkins, C. : IP Mobility Support, Internet RFC2002, IETF (Oct.1996)
- 2) Perkins, C. : IP Mobility Support for IPv4, Internet RFC3344, IETF (Aug.2002)
- 3) Thierry Ernst : Network Mobility Support Goals and Requirements, Internet-Drafts, IETF (Oct.2004) .
- 4) Jhonson, D., Perkins, C. and Arkko, J. : Mobility Support in IPv6, Internet RFC3775, IETF (2004) .
- 5) Devarapalli, V., Wakikawa, R., Petrescu, A. and Thubert, P. : Network Mobility(NEMO) Basic Support Protocol, Internet RFC3963, IETF (2005) .
- 6) 竹内元規, 渡邊晃 : モバイル端末の移動透過性を実現する Mobile PPC の提案, 情報処理学会研究報告, 2004-MBL-30 (September 2004) .
- 7) 鈴木秀和, 渡邊晃 : フレキシブルプライベートネットワークにおける動的処理解決プロトコル DPRP の仕組み, 情報処理学会研究報告, 2004-CSEC-26, (July 2004) .
- 8) 瀬下正樹, 竹内元規, 渡邊晃 : Mobile PPC における認証方式の提案, 平成 16 年度 電気関係学会東海支部連合大会, (2004)