

IPv4/IPv6 混在環境で移動透過性を実現する Mobile PPC の検討

寺澤 圭史^{†1} 鈴木 秀和^{†1} 渡邊 晃^{†1}

モバイルコンピューティング環境では, 多くのモバイル端末がインターネットに接続しており, 移動しながらもインターネットに接続したいという要求が高まっている. しかし, 現在の TCP/IP では, 端末が移動して IP アドレスが変化すると, 通信が継続できないという問題がある. そのような問題を解決する機能を移動透過性と呼び, エンドエンドで移動透過性を実現するプロトコルとして Mobile PPC (Mobile Peer-to-Peer Communication) を提案している. また, 近年では IPv6 が普及し始めており, 当分の間 IPv4/IPv6 混在環境が続くと予想される. そこで IPv4/IPv6 環境においても移動透過性を実現できる Mobile PPC の拡張について検討した.

Study of Mobile PPC which realize Mobility in the mixed Environment of IPv4 and IPv6

KEIJI TERAZAWA,^{†1} HIDEKAZU SUZUKI^{†1} and AKIRA WATANABE^{†1}

On the mobile computing environment where countless mobile nodes are connected to the Internet for communications, it is strongly demanded that communication is maintained even when mobile nodes change their locations. However, in TCP/IP, IP addresses change along with the movement of nodes, and communication is inevitably broken. To solve this problem, we have been studying a new technology called Mobile Peer-to-Peer Communication (Mobile PPC) that can achieve "Mobility" only with end nodes. Then, in recent years, IPv6 is beginning to spread, and it is expected for a while that the environment where IPv4 and IPv6 are mixed continues. Extension of Mobile PPC which realizes a Mobility in such environment is studied in this paper.

1. はじめに

モバイル端末や公衆無線環境の普及に伴い, 移動中に通信を行いたいという要求が高まっている. しかし, IP ネットワークでは, 通信中にネットワークを移動すると IP アドレスが変化するため, 通信が継続できないという課題がある. この課題を解決するための機能を移動透過性と呼び, 様々な方式が検討されている. [1][2][3][4] 一方, IPv4 アドレスの枯渇問題の懸念により IPv6 が普及し始めている. しかし, IPv6 へ一挙に移行することは困難であるため, 当分 IPv4/IPv6 混在ネットワーク環境が続くと予想されている. そこで, IPv4/IPv6 混在ネットワーク環境においても, 移動透過性を実現できることが望ましい. 我々は, エンドエンドで移動透過性を実現する通信プロトコルとして Mobile PPC (Mobile Peer to Peer Communication)[6] を提案している. Mobile PPC は, 現在 IPv4

での実装・評価を終え, その有効性が証明されている. IPv6 にもそのままの原理が適応可能である. 本稿では, Mobile PPC の特徴を活かしたまま, IPv4/IPv6 混在ネットワークにおいても移動透過性を実現する方式の検討を行った. 今後のネットワーク環境は, IPv4 のみをサポートしている IPv4 ネットワーク, IPv6 のみをサポートしている IPv6 ネットワーク, IPv4/IPv6 両方をサポートしているデュアルスタックネットワークの3つのネットワークが混在することとなる. 本提案では, Mobile PPC の拡張と IPv6 互換技術を用いることにより, IPv4, IPv6, デュアルスタックネットワーク間を端末が移動した場合でも, 上位アプリケーションより IP ヘッダフォーマットの変化とアドレスの変化を隠蔽して, 通信を維持することができる. 以降, 2. で既存技術とその課題を述べる. 3. で Mobile PPC 概要と提案方式で必要となる IPv4/IPv6 互換技術を説明する. 4. で提案方式の原理と各移動パターンの動作を述べ, 5. でまとめる.

^{†1} 名城大学大学院理工学研究科

Graduate School of Science and Technology, Meijo University

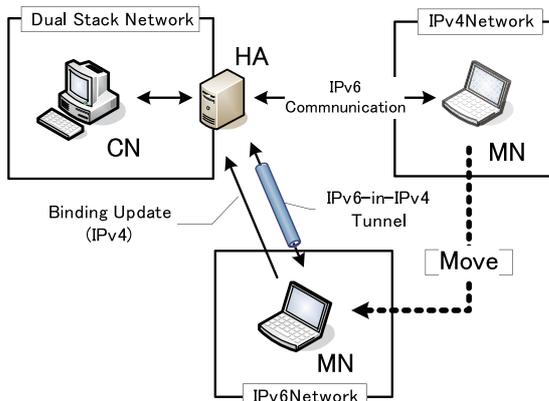


図 1 DSMIPv6
Fig. 1 DSMIPv6.

2. 既存技術とその課題

IPv4/IPv6 混在環境において移動透過性を実現する既存技術として Dual Stack Mobile IPv6[1](以後 DSMIPv6)がある。DSMIPv6 は Mobile IP[6] と Mobile IPv6[3] を統合したものである。DSMIPv6 のシステム構成を図 1 に示す。移動ノード (MN) は IPv6 ネットワーク、通信相手ノード (CN) はデュアルスタックネットワークに存在し、IPv6 で通信を行っている。MN が通信中に CN と IPv4 ネットワークに移動した場合、バインディングアップデートと呼ばれる登録要求をホームエージェント (HA) に対して行う。バインディングアップデートには移動前の IPv6 アドレスと移動後の IPv4 アドレスが含まれており、HA に移動後のアドレスを登録する。以後、デュアルスタックネットワークに置かれた HA を介して HA-MN 間に IPv6-in-IPv4 トンネルを形成することにより、通信を継続する。しかし、DSMIPv6 による通信は、必ず HA を経路するため冗長経路となったり、トンネル処理によるヘッダオーバーヘッドが発生するなどの課題がある。また、Mobile IPv6 では冗長経路を解決するために経路最適化という機能が存在したが、DSMIPv6 ではこのような機能はない。

3. Mobile PPC と IPv6 互換技術

3.1 Mobile PPC の概要

本稿で用いる記号を以下のように定義する。

- X_4 ; IPv4 アドレス
- Y_6 ; IPv6 アドレス
- $X \rightarrow Y$; $Y \leftarrow X$; X から Y への通信
- $X \leftrightarrow Y$; X と Y 間の通信
- $X \Rightarrow Y$; X から Y へのアドレス変化

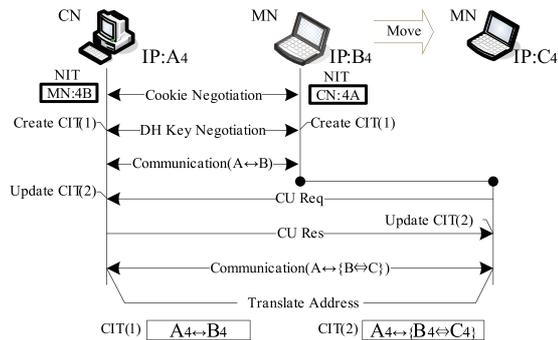


図 2 Mobile PPC のシーケンス
Fig. 2 Sequence of Mobile PPC

- $X \leftrightarrow Y$; X から Y 又は Y から X へのアドレス変換

Mobile PPC は、エンドエンドで移動透過性を実現する通信プロトコルである。通信開始時における通信相手の IP アドレスの解決には DDNS (Dynamic Domain Name Server) を使用する。両エンド端末は IP 層に CIT (Connection ID Table) と呼ぶアドレス変換テーブルを保持している、通信中に一方の IP アドレスが変化した場合、移動後の情報をエンド端末間で直接通知しあい、CIT を更新する。その後、CIT に従って全ての通信パケットのアドレス変換を行うことにより、上位ソフトウェアから IP アドレスの変化を隠蔽し、移動透過性を実現できる。図 2 に Mobile PPC のシーケンスを示す。通信開始に先立ち、Diffie-Hellman (以下 DH) 鍵交換を用いて認証鍵を共有する。ネゴシエーションにより生成されるテーブルを NIT (Node Information Table) と呼ぶ。NIT には、相手の IP アドレス、認証鍵が記録される。CN は MN に対して $4A$ を通知することで、MN 側の NIT へ記録され、MN は CN に B_4 を通知して CN 側の NIT へ記録する。MN が CN との通信中に移動して、IP アドレスが変化すると、CU (CIT UPDATE) Negotiation を開始する。MN は、移動後の IP アドレス $\{ B_4 \Rightarrow C_4 \}$ を通知するために CU Request を CN に送信する。CN は CU の内容を認証後、自らの CIT を

$$CIT : A_4 \leftrightarrow \{ B_4 \leftrightarrow C_4 \} \quad (1)$$

のように更新する。次に、CN は MN に対して CU Response を送信する。MN は CU Response を認証後、(1) と同様に自らの CIT を更新する。以後は、更新された CIT の (1) の内容に従って、全ての通信パケットのアドレス変換を行うことにより、通信を継続することができる。Mobile PPC は IPv4 スタックへの実装と評価を完了しており、その有用性が証明されている。IPv6 スタックにも同様の考え方で適用可能

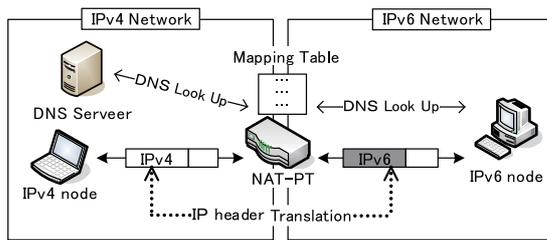


図 3 NAT-PT の動作
Fig. 3 Operation of NAT-PT

であることがわかっている。しかし、MN が IPv4 と IPv6 ネットワーク間をまたいで移動した場合については、現在のままでは通信を継続することができない。

3.2 IPv6 互換技術

IPv4 を基盤としたネットワークに IPv6 を徐々に普及させていくための方式として、デュアルスタック、トンネル、トランスレータの 3 つの技術が検討されている。ここでは、本提案で必要となる、デュアルスタックとトランスレータについて説明する。デュアルスタックとは、ネットワーク機器や端末が IPv4/IPv6 どちらの機能も保持するものである。本稿における Mobile PPC の端末はデュアルスタックの機能を有することを前提としている。トランスレータに分類される技術として NAT-PT (Network Address Translation - Protocol Translation) [7] がある。NAT-PT とは、IPv4 のみサポートした IPv4 ネットワークと IPv6 のみサポートした IPv6 ネットワークの境界に置かれる装置である。NAT-PT は、パケットの IP ヘッダを IPv4/IPv6 相互にヘッダ変換を行うことにより両者間の通信を実現する。図 3 に NAT-PT の動作を示す。ここでは IPv6 ネットワークに存在する端末から IPv4 端末に存在する端末へ通信を開始する動作を示す。IPv6 端末は IPv4 側へ DNS ルックアップを行う。この時、DNS ルックアップを監視・変換している NAT-PT は、マッピングテーブルを生成する。IPv6 側のインターフェースには、IPv4 端末の IPv4 アドレスに、NAT-PT のプレフィックスをつないで IPv4 端末宛ての IPv6 アドレスを生成する。NAT-PT の IPv4 インターフェースの IPv4 アドレスは、予めプールしてあるアドレスの中から一つを選択する。アドレスのマッピングを終えると、以後の通信では、IP ヘッダの変換とアドレスの変換を行うことにより、IPv4 と IPv6 間の通信を実現する。

4. 提案方式

提案方式では、MN が IPv4 と IPv6 ネットワーク

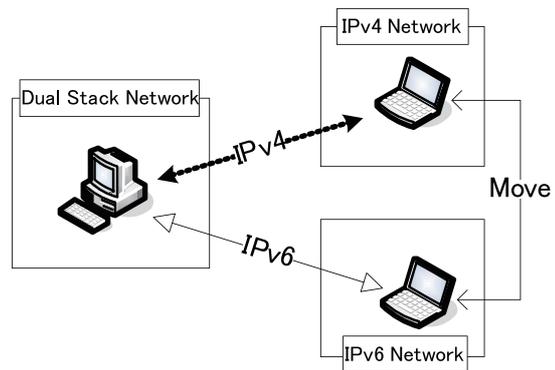


図 4 互換ネットワーク間通信
Fig. 4 Communication between Compatible Networks

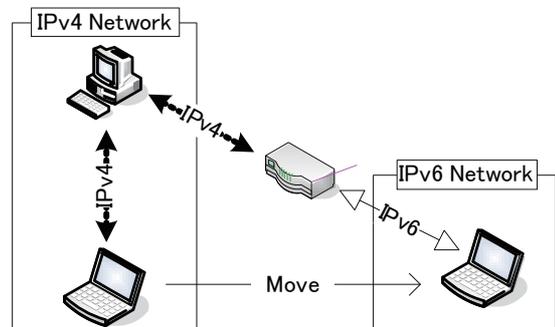


図 5 NAT-PT の動作
Fig. 5 Communication between non-Compatible Networks

をまたいで移動した場合でも、Mobile PPC の特徴をいかしたまま移動透過性を実現する。本提案が対象とする IPv4/IPv6 混在環境での通信を大きく二つに分ける。一つはエンド端末のどちらか一方がデュアルスタックネットワークに存在する場合と、エンド端末が IPv4 ネットワークと IPv6 ネットワークに分かれて通信を行う場合の二つに分ける。以後、前者の移動を互換ネットワーク間移動通信、後者を非互換ネットワーク間移動通信と呼び、それぞれの通信を図 4、図 5 に示す。互換ネットワーク間の移動では、Mobile PPC 自体を拡張す、非互換ネットワーク間の通信では、Mobile PPC の拡張に加え、IPv6 互換技術であるトランスレータを用いる。

4.1 Mobile PPC の拡張

以下に、互換ネットワーク間移動通信における Mobile PPC の拡張機能を示す。

(1) IPv4/v6 トランスレータ機能

IPv4 と IPv6 ネットワーク間を移動した場合、移動前と移動後で、IP ヘッダのフォーマットが異なるために、通信が維持できない。そこで IP 層において IP ヘッダフォーマットの差異を

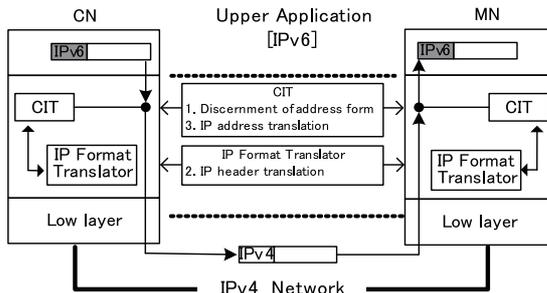


図 6 IPv4/v6 トランスレータ
Fig.6 IPv4/v6 Translator

吸収する必要がある。提案方式では、Mobile PPC モジュールに IP ヘッダを変換するトランスレータ機能を追加する。図 6 に、パケット送受信時のアドレスと IP ヘッダフォーマットの変換処理を示す。

- (2) **IPv4 と IPv6 アドレスを変換する機能**
CIT を拡張し、IPv4, IPv6 どちらでも記録可能とする。送受信パケットの IP ヘッダフォーマットを識別し、適切なアドレス変換を行う機能を追加する。
- (3) **通信開始時に通信相手の IPv4, IPv6 両 IP アドレスを保持する機能**
デュアルスタックネットワークでは、端末が IPv4/IPv6 の両 IP アドレスを持つ。提案方式では、通信開始時のネゴシエーションにより NIT へ IPv4/IPv6 両 IP アドレスを記録しておく。

次に非互換ネットワーク間移動通信における Mobile PPC の拡張機能を示す。

- (1) **マッピングアドレスの追加**
IPv4 と IPv6 ネットワーク間を移動した場合、移動前と移動後で、異なる IP ヘッダフォーマットとなる。そこで IP 層において IP ヘッダフォーマットの差異を吸収する必要がある。提案方式では、Mobile PPC に IP ヘッダを変換するトランスレータ機能を追加する。図 3 に、パケット送受信時のアドレスと IP ヘッダフォーマットの変換処理を示す。
- (2) **マッピングアドレスの管理機能**
端末の移動が移動したネットワークにおいて、NAT-PT を介するかどうかを判断し、マッピングアドレスの取得と変換を管理する機能を追加する。

(3) バインディングネゴシエーション

NAT-PT を経由しなければならない場合、CU ネゴシエーションにより通知する移動後の IP アドレスは、NAT-PT の外側のアドレスを通知しなければならない。そこで、NAT-PT の外側の IP アドレスを取得するために、バインディングネゴシエーションと呼ぶネゴシエーションを追加する。マッピングネゴシエーションには、NAT-PT のアドレスと移動前後の IP アドレスが含まれる。

4.2 互換ネットワーク間移動通信

本章では、互換ネットワーク間移動通信の動作について説明する。

4.2.1 MN が IPv4 へ移動した場合

図 7 に MN が IPv6 から IPv4 へ移動する場合の動作を示す。IPv6 ネットワークに存在する MN とデュアルスタックネットワークに存在する CN が IPv6 通信をしており、MN が IPv4 ネットワークに移動した場合について述べる。CN はデュアルスタックネットワークに存在するため、IPv4/IPv6 両アドレスを持っている。CN と MN は通信開始時のネゴシエーションによりアドレスの通知と認証鍵の共有を行う。CN は MN へ IPv4/IPv6 の両アドレス $\{A_4, A_6\}$ を通知し、この情報は MN の NIT へ記録される。MN は CN へ IPv6 アドレス $\{B_6\}$ を通知し、同様に CN の NIT へ記録される。MN が IPv6 ネットワークから IPv4 ネットワークへ移動すると、DHCP により IPv4 アドレス $\{C_4\}$ を取得する。Mobile PPC モジュールは IPv4 アドレスの取得を検知し、IPv4 による CU Negotiation を開始する。この時、MN は通信開始時に取得しておいた CN の IPv4 アドレス $\{A_4\}$ を使用する。MN は、IPv4 パケットの CU Request を CN に送信し、アドレスが $\{B_6\}$ から $\{C_4\}$ に変化したことを CN に通知する。CU Request を受け取った CN は、内容を認証後、

$$CIT : \{A_6 \leftrightarrow A_4\} \leftrightarrow \{B_6 \leftrightarrow C_4\} \quad (2)$$

のように自らの CIT を更新する。次に、CN は CU Response を MN に送信する、それを受け取った MN は、CU Response の内容を認証後、(2) と同様に CIT を更新する。(2) のアドレス変換では、移動後と移動前では IP ヘッダフォーマットが異なっている。このような場合、送受信パケットは CIT で IP ヘッダの変換を行うかどうかの判断を行い、必要なら IPv4/v6 トランスレータにパケットを渡す。IPv4/v6 トランスレータで IP ヘッダ変換されたパケットは、CIT の内容に従ってアドレス変換が行われる。以後の通信では、

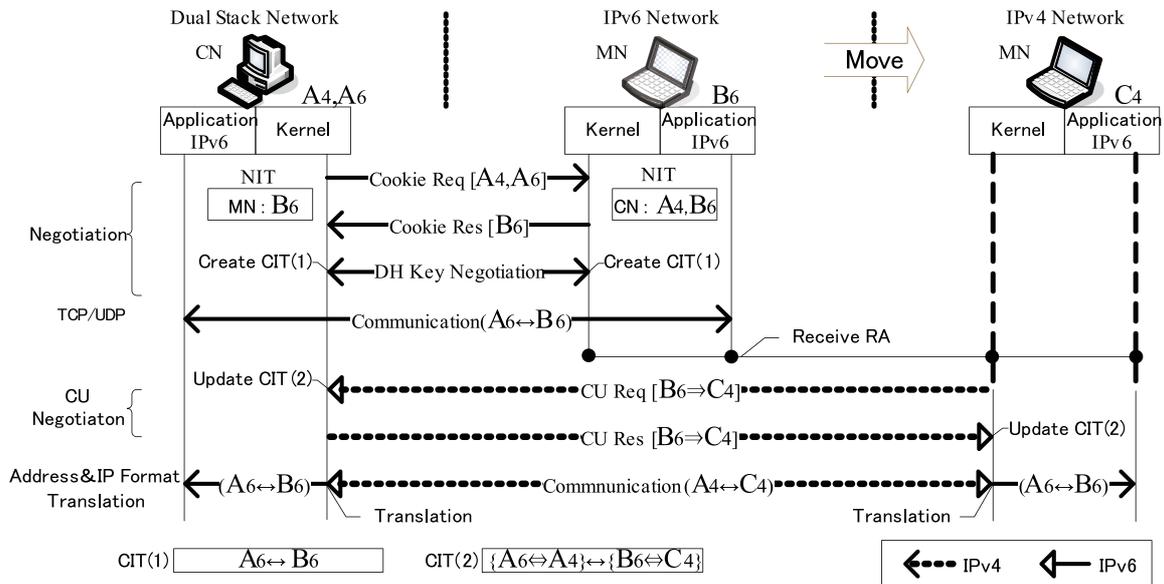


図 7 IPv6 から IPv4 へ移動する場合の動作
Fig. 7 Operation in the case of moving to a IPv4 from IPv6

パケット受信時には IPv4 { $A_4 \leftrightarrow C_4$ } から IPv6 { $A_6 \leftrightarrow B_6$ } へ変換，送信時に IPv6 { $A_6 \leftrightarrow B_6$ } から IPv4 { $A_4 \leftrightarrow C_4$ } へ変換を行う．以上のように IP アドレスの変換と IP ヘッダの変換を Mobile PPC 内部で同時に行うことにより上位層に対して IP ヘッダのフォーマットと IP アドレスの変化を隠蔽し，通信を継続することができる．また，逆のパターンとして，IPv4 ネットワークに存在した MN が IPv6 ネットワークに移動するパターンにおいても，同様の原理で移動透過性を実現することができる．

4.2.2 IPv4 からデュアルスタックネットワークへの移動

図 8 に，互換ネットワーク間通信における異なる移動についての動作シーケンスを示す．以下に示す移動は，IPv4 ネットワークに存在する MN がデュアルスタックネットワークに存在する CN と通信中に，CN と同じデュアルスタックネットワークに移動した場合について述べる．CN はデュアルスタックネットワークに存在するため，IPv4/IPv6 両アドレスを持っている．CN と MN は通信開始時のネゴシエーションによりアドレスの通知と認証鍵の共有を行う．CN は MN へ IPv4/IPv6 の両アドレス { A_4, A_6 } を通知し，MN の NIT へ記録される．MN は CN へ IPv4 アドレス { C_4 } を通知し，同様に CN の NIT へ記録される．MN が IPv4 ネットワークからデュアルスタックネットワークへ移動すると，IPv4, IPv6 両アドレスの取得を行う．IPv4 アドレスについては DHCP

により { B_4 } を取得し，IPv6 アドレスはルータからの Router Advertisement (RA) を受信して IPv6 アドレス { B_6 } を生成する．この時，IPv4 アドレスの取得時間より IPv6 アドレスの生成時間が短いので，提案方式によりアドレス生成語ただちに IPv6 による通信を開始する．これにより，通信を素早く再開することが可能となる．移動した MN は，IPv6 による CU Negotiation を開始する．この時，MN は通信開始時に取得しておいた CN の IPv6 アドレス { B_6 } を使用する．MN は，IPv6 パケットの CU Request を CN に送信し，移動後の IPv6 アドレス { $C_4 \Rightarrow B_6$ } を CN に通知する．CU Request を受け取った CN は，内容を認証後，

$$CIT : \{A_4 \leftrightarrow A_6\} \longleftrightarrow \{C_4 \leftrightarrow B_6\} \quad (3)$$

のように自らの CIT を更新する．次に，CN は CU Response を MN に送信する，それを受け取った MN は，CU Response の内容を認証後，(3) と同様に CIT を更新する．(3) のアドレス変換では，4.2.1 と同様に移動後と移動前では IP ヘッダのフォーマットが異なる．IP ヘッダの変換を行うかどうかの判断を行い，必要なら IPv4/v6 トランスレータにパケットを渡す．IPv4/v6 トランスレータでヘッダ変換されたパケットは，CIT の内容に従ってアドレス変換が行われる．以後の通信では，パケット受信時に IPv6 6A?6B から IPv4 { $A_4 \leftrightarrow C_4$ } へ変換，送信時には IPv4 { $A_4 \leftrightarrow C_4$ } から IPv6 { $A_6 \leftrightarrow B_6$ } へ変換を行う．4.2.1 と同様の原理で，IP アドレスの変換と IP ヘッダの変

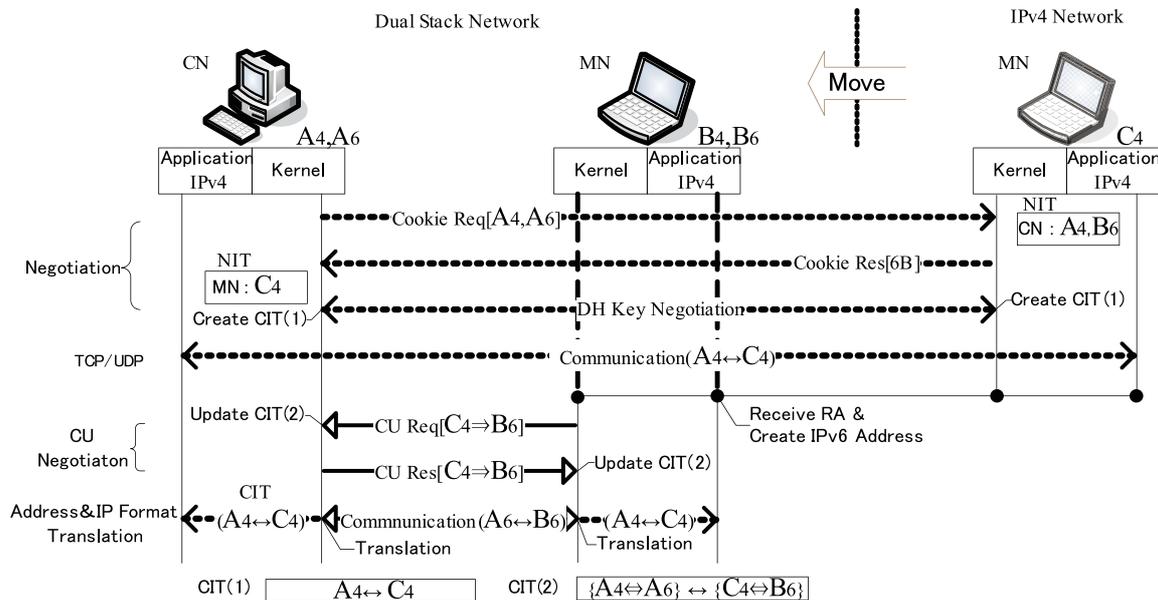


図 8 IPv4 からデュアルスタックへ移動する場合の動作
Fig. 8 Operation in the case of moving to a dual stack from IPv4

換を Mobile PPC 内部で同時に行うことにより上位層に対して IP ヘッダフォーマットと IP アドレスの変化を隠蔽することで、素早い通信の再開と継続をすることができる。

4.3 非互換ネットワーク間移動通信

図 4 に非互換ネットワーク間における Mobile PPC の動作シーケンスを示す。IPv4 ネットワークに存在する MN と CN が IPv4 で通信中に、MN が IPv6 ネットワークに移動した場合について述べる。CN は IPv4 アドレス $\{C_6\}$ 、MN は IPv4 アドレス $\{B_4\}$ を持っている。CN と MN は通信開始時のネゴシエーションによりアドレスの通知と認証鍵の共有を行う。CN は MN へ IPv4 $\{A_4\}$ を通知し、これが、MN の NIT へ記録される。MN は CN へ IPv4 アドレス $\{B_4\}$ を通知し、同様に CN の NIT へ記録される。MN が IPv4 ネットワークから IPv6 ネットワークへ移動すると、ルータ広告 RA を受信する。NAT-PT 配下には、RA により NAT-PT のプレフィックスが配布されており、プレフィックスと CN の IPv4 アドレスより NAT-PT の IPv6 アドレス $\{X_6\}$ を生成する。次に、MN は NAT-PT の IPv4 アドレスを取得するために、Binding Negotiation を開始する。Binding Request に NAT-PT の IPv6 アドレス $6X$ に乗せて NAT-PT に送信する。それを受け取った NAT-PT はプールしてある IPv4 アドレスの一つを割り当て、NAT-PT の IPv6 アドレス $\{X_6\}$ から CN の IPv4 アドレス $\{A_4\}$

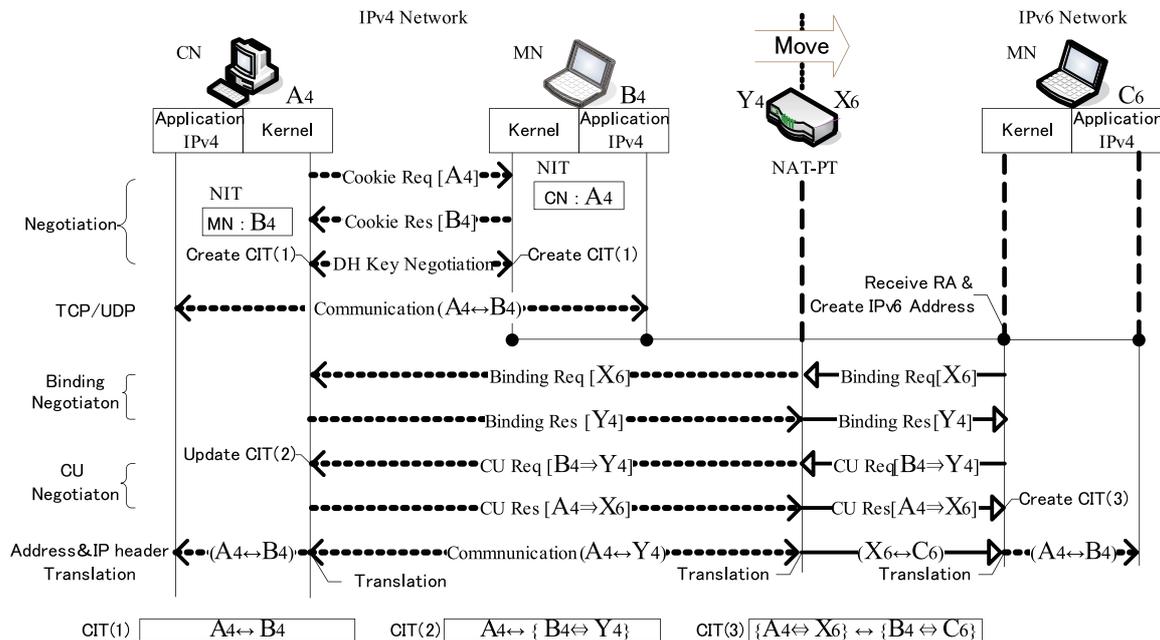
を取り出し、マッピングテーブルを生成する。また、マッピングテーブルを生成後、IP ヘッダフォーマットを変換して CN に転送する。以後、MN と CN の通信は、NAT-PT 宛てにパケットを送信することで、通信可能となる。Binding Request を受けとった CN は、Binding Request の送信元アドレス $\{Y_4\}$ をデータ部分に乗せて Binding Response を返す。Binding Response を受け取った MN は、CU Negotiation を開始する。CU Request により移動後の IPv4 アドレス $\{B_4 \Rightarrow Y_4\}$ を CN に通知する。CU Request を受け取った CN は、内容を認証後、

$$CIT : A_4 \leftrightarrow \{B_4 \leftrightarrow Y_4\} \quad (4)$$

のように自らの CIT を更新する。次に、CN は CU Response により移動後の IP アドレス $\{B_4 \Rightarrow X_6\}$ MN に送信する、それを受け取った MN は、CU Response の内容を認証後、

$$CIT : \{A_4 \leftrightarrow X_6\} \leftrightarrow \{B_4 \leftrightarrow C_6\} \quad (5)$$

のように CIT を更新する。CN の (4) のアドレス変換では、移動後と移動前では IP ヘッダのフォーマットが同じであるが、MN の (5) のアドレス変換では IP ヘッダのフォーマットが異なっている。以後の通信では、CN では IPv4 アドレス変換のみが行われ、MN ではパケット受信時には IPv6 $\{X_6 \leftrightarrow C_6\}$ から IPv4 $\{A_4 \leftrightarrow B_4\}$ へ変換、送信時には IPv6 $\{A_6 \leftrightarrow B_6\}$ から IPv4 $\{A_4 \leftrightarrow B_4\}$ へ変換を行う。以上のような原理で、IPv4 と IPv6 ネットワークを跨った移動



CIT

図 9 非互換ネットワーク通信の動作

Fig. 9 Operation of Communication between non-compatible networks

通信においても移動透過性を実現することができる。

また、IPv6 ネットワークで通信中に MN が IPv4 ネットワークに移動する逆のパターンについてもほぼ同様の原理で通信を継続することができる。ただし、IPv4 ネットワークに移動した場合、RA がないので、DNS の問い合わせを行わなければならない。

5. むすび本稿では、IPv4/IPv6 混在環境における移動透過性を Mobile PPC を用いて実現する方法について提案した。提案方式は今後変化していくネットワーク環境においても柔軟に対応可能な移動透過性通信を実現できる。今後は本システムを実装し、有用性を確認する。

参 考 文 献

- [1] 岡文男, “インターネットにおけるノード移動透過性プロトコル,” 電子情報通信学会論文誌, vol.J87-D1, no.3, pp.308?328,2004.
- [2] . Perkins, “Ip mobility support for ipv4”, RFC 3220, IETF, 2002.
- [3] . Levkowitz, and S. Vaarala, “Mobile ip traversal of network address translation (nat) devices,” RFC 3519, IETF, 2003.
- [4] . Montenegro, “Reverse tunneling for mobile ip, revised,” RFC 3024, IETF, 2001.

- [4] 竹内元規, 鈴木秀和, 渡邊晃, “エンドエンドで移動透過性を実現する mobile ppc の提案と実装,” 情報処理学会論文誌, vol.47,

- [6] Hesham Soliman: “Mobile IPv6 support for dual stack Hosts and Routers (DSMIPv6),” INTERNET-DRAFT, draft-ietf-mip6-nemo-v4traversal-06.txt

- [7] . Tsirtsis, “Network Address Translation - Protocol Translation (NAT-PT),” IETF, RFC2766,2000