

NTMobileにおけるシームレスな IPv4/IPv6 アドレスの管理手法と実装

西尾 拓也^{†1} 内藤 克浩^{†1} 鈴木 秀和^{†2}
渡邊 晃^{†2} 森 香津夫^{†1} 小林 英雄^{†1}

無線端末からのインターネット接続に対する需要は近年増加している。著者らは、ネットワーク切り替え時にも移動透過性を実現でき、NAT(Network Address Translation) 越え問題を解決可能な NTMobile(Network Traversal with Mobility) の提案を行ってきた。既存の NTMobile では、IPv4 ネットワークにおいて上記機能を実現していたが、IPv4 アドレスが枯渇しつつあることは知られており、近い将来 IPv6 ネットワークの導入が必要になると考えられる。本研究では、IPv6 ネットワークに対応するために、既存の NTMobile の基本機能を拡張する。また、IPv4 及び IPv6 ネットワークでの新たな端末管理手法の提案を行う。

Implementation of seamless IPv4/IPv6 address management for NTMobile

TAKUYA NISHIO^{†1}, KATSUHIRO NAITO^{†1},
HIDEKAZU SUZUKI^{†2}, AKIRA WATANABE^{†2},
KAZUO MORI^{†1} and HIDEO KOBAYASHI^{†1}

Demands to accessing to Internet from wireless terminal have increased recently. The authors have proposed NTMobile (Network Traversal with Mobility), that can achieve node mobility in case of switching networks and solve NAT (Network Address Translation) traversal problems. The conventional NTMobile can achieve these functions in IPv4 networks. It is well known that IPv4 addresses have been exhausted, and Internet will involve the introduction of IPv6 networks in the near future. In this paper, we extend the basic functions of NTMobile to support IPv6 networks, and propose the new node management method in both IPv4 and IPv6 networks.

1. はじめに

近年、無線通信網の発展に伴い、携帯端末からインターネットに接続する需要は増加している。また、複数のインターフェースを実装した携帯端末が普及してきており、異なるネットワークを切り替えて通信を継続することが可能である。一般に異なるネットワークでは異なるネットワークアドレスを利用しており、ネットワークを切り替えた場合、端末の IP アドレスも変化する。しかし、TCP などの上位プロトコルでは、IP アドレスをコネクション情報として利用しており、異なるネットワークを越えて移動する場合に生じる IP アドレスの変化はコネクションの切断につながり、通信が継続ができなくなるという課題がある¹⁾。

ネットワークを切り替え時の IP アドレスの変化を隠ぺいする技術を移動透過性と呼び、多くの検討が近年行われている²⁾。また、既存のネットワークでは IPv4 アドレス消費の抑制に利用されている NAT(Network Address Translation) の導入が一般的になりつつあるが、NAT の性質によりグローバルネットワークから NAT 配下のプライベートネットワークが隠蔽されるため、NAT 外部からの通信が開始できない NAT 越え問題がある。NAT 越え問題はインターネットを利用するうえでエンドツーエンドの接続性という本来の理念を損なう要因となっているため、IPv4 アドレスの枯渇を根本から解決するためには IPv6 への移行は必須である。現在、IPv4 アドレスは広く普及したためアドレスの枯渇を迎えており、IPv6 アドレスへの移行が行われているが、IPv4 アドレスと IPv6 アドレスとの間には互換性がないため、IPv4 ネットワークを即座に IPv6 ネットワークへの移行することは困難であると考えられる。したがって、今後も当分の間は IPv4/IPv6 アドレスが混在した環境が想定される。IPv4 ネットワークのみを考慮した研究^{3),4)} や、IPv6 ネットワークのみを考慮した研究⁵⁾⁻⁷⁾ は多いが、今後のネットワークを考慮した上でシームレスな通信を実現するためには、NAT の存在する環境及び IPv4 ネットワークと IPv6 ネットワークの混在環境における相互接続性や移動透過性を実現する必要がある。IPv4 と IPv6 の混在環境において移動透過性を実現する技術として、DSMIP (Dual Stack Mobile IPv6) が提案されている^{8),9)}。DSMIP は移動端末に対して、ホームネットワークで取得する HoA (Home Address) と訪問先ネットワークから取得する CoA (Care of Address) の二種類のアドレスを割り当て、ア

^{†1} 三重大学大学院工学研究科

Graduate School of Engineering, Mie University

^{†2} 名城大学大学院理工学研究科

Graduate School of Science and Technology, Meijo University

アプリケーションが HoA を用いた通信を行うことにより、端末の移動に伴う CoA の変化を隠蔽する。移動端末はホームネットワークに設置した HA (Home Agent) との間にトンネルを構築し、アプリケーションが生成したパケットはトンネルを用いて HA へ送信され、HA から通信相手端末へ転送される。移動端末が NAT 配下に接続している場合には常に HA を経由した冗長な通信を行うか、訪問先のネットワークに特殊な NAT が必要になるなどの課題がある^{10),11)}。

著者らは、プライベート IP アドレス空間とグローバル IP アドレス空間を意識せずに移動透過性を実現可能な NTMobile (Network Traversal with Mobility) の提案を行っている^{12)–15)}。NTMobile は、あらゆるネットワーク環境においても、確実な接続性の確保及び移動透過性の実現を目的としており既存の IPv4 ネットワークを対象に実装を行ってきた。しかし今後も IPv4/IPv6 アドレスの混在環境が想定されるため IPv6 アドレスを対応可能とする実装も必要である。本研究では IPv6 アドレスの対応を実現するために必要となる IPv4 アドレスと IPv6 アドレスのシームレスな利用を可能とするアドレス管理手法に係る提案を行う。

2. NTMobile の概要

NTMobile の目標は、IPv4 ネットワークと IPv6 ネットワークの混在環境において、少ないオーバーヘッドで移動透過性を実現することである。図 1 は NTMobile の概要図であり、システムは Direction Coordinator (DC), Relay Server (RS), NTM 端末により構成される。また、NTMobile では、SPI などを実装する一般的な NAT を想定しており、NAT の実装変更などは必要としない。なお、DC 及び RS は必要に応じて増設することができ、規模拡張性も有した設計となっている。

NTMobile では、DC が NTM 端末に重複なく仮想 IP アドレスを割り振ることを想定しており、アプリケーションは仮想 IP アドレスを用いて通信を行うことにより、移動に伴う実 IP アドレスの変化を隠蔽している。また、NTM 端末間の通信にはトンネル技術を採用しており、通信開始時に送信される DNS の A レコード要求又は AAAA レコード要求を検出することにより、トンネル構築を開始する。実際の通信では、アプリケーションは仮想 IP アドレスを用いて IP データグラムを生成を行うが、カプセル化により実 IP アドレスが割当られることによりトンネルを用いた通信を実現している。また、実 IP が変化した場合にも、カプセル化される IP データグラムは同一の仮想 IP アドレスを利用しつつけるため、移動透過性を実現可能である。

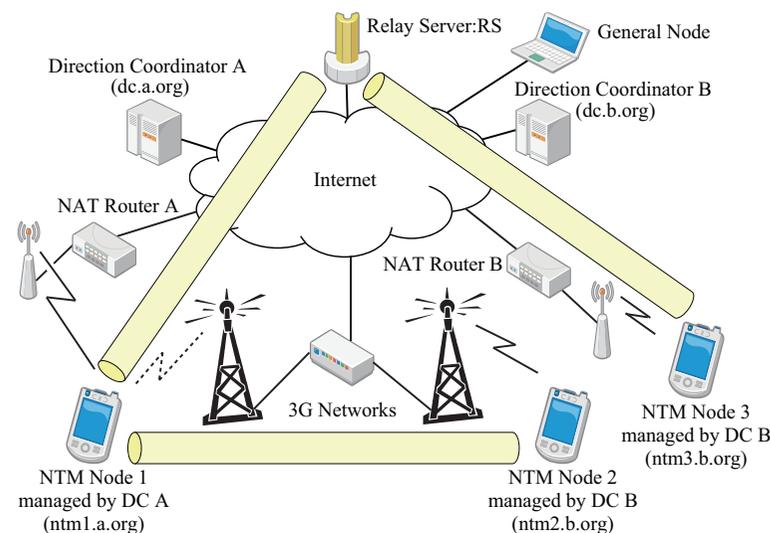


図 1 NTMobile の概要。

Fig.1 Overview of NTMobile network.

IPv4 ネットワークにおいて NTM 端末の双方又は片方がグローバル IP アドレスを利用可能な場合、グローバル IP アドレスを持つ端末に向けて通信を開始することにより、NTM 端末間で直接トンネルを構築可能である。一方、NTM 端末の双方が NAT 配下に存在し、プライベート IP アドレスを利用している場合、各エンド端末は同一 RS に向けてトンネルを構築することにより、RS を経由したトンネル構築を行う。また、IPv4/IPv6 の混在したネットワークにおいて、双方が IPv6 アドレスを利用可能な場合、NTM 端末間で直接トンネルを構築可能であり、片方が IPv6 アドレスのみ利用可能な場合、RS を経由したトンネル構築を行う。結果として、NTM では、IPv4 ネットワーク、IPv6 ネットワークに関わらず、両エンド端末の移動透過性と接続性を実現可能である。

なお、DC と各端末は信頼関係があることを前提としており、NTM で使用されるメッセージは各端末間で共有している暗号鍵を用いて暗号化される。また、NTM 端末間や NTM 端末と RS の間で行われるトンネル通信は、トンネル構築時に DC より配布される共通鍵を用いて暗号化される。

3. NTMobile のアドレス及び位置管理

3.1 アドレス管理

NTMobile では、移動透過性を実現するために、ノード間において一意となる仮想 IP アドレスが割り当てられる必要がある。DC がノードに対して割り当てる仮想 IP アドレスの管理手法について説明する。

NTMobile では、アプリケーションは仮想 IP アドレスを用いて通信を行う。仮想 IP アドレスは通信を行っている NTM 端末間で重複しないように割り当てる必要がある。そこで、管理者は仮想 IP アドレスのアドレス帯域を予め各 DC に割り当てるものとする。そして、各 DC は管理する NTM 端末にアドレスの重複が起きないようにアドレスの割り当てるものとする。結果として、NTMobile ネットワークでは、DC へのアドレス帯域の割り当てるのみで仮想 IP アドレスの重複を防ぐことができるため、簡易なアドレス管理が実現可能としている。また、提案するアドレス管理手法は DNS を拡張することにより実装しており、DNS と同様に規模拡張性を有する。

3.2 位置管理

NTMobile では、各 DC が NTM 端末を管理することから、NTM 端末が自身を管理する DC に関する情報を入手する手段が必要となる。また、NTM 端末間の通信を行う際には、通信相手端末の位置情報に関する情報が必要となる。NTMobile では、情報入手手段として Domain Name System (DNS) を拡張して利用する。DNS ではホスト名から IP アドレスを検索する際に A レコード又は AAAA レコードの探索を行う。

NTMobile では、NTM 端末を管理する DC の IP アドレス及び、NTM 端末に関する情報を DNS の専用レコードとして実装することにより、NTM 端末が移動先ネットワークのプライマリ DNS サーバーを経由して NTMobile 専用レコードの探索を行う。NTMoible の専用レコードは IPv4 ネットワークと IPv6 ネットワークに対応可能とするため、IPv4 ネットワーク用の情報と IPv6 ネットワーク用の情報を DNS の専用レコードとして実装することにより NTM 端末が移動先ネットワークのプライマリ DNS サーバーを経由して NTMobile 専用レコードの探索を行う。表 1 は IPv4 を想定した NTMobile 専用レコード（以下 NTMv4 レコード）の要素であり、NTM 端末を識別するためのノード ID、物理インタフェースの IPv4 アドレス、端末が NAT 配下に存在する場合の NAT ルータの IPv4 アドレス、端末を管理する DC の IPv4 アドレス、仮想インタフェースの IPv4 アドレスが含まれる。なお、物理インタフェースの IPv4 アドレスは NTM 端末から通知されることにより登録される。また、

表 1 NTMv4 レコードフォーマット
Table 1 DNS resource record for IPv4

| Record Name | Record Type |
|--------------------------------------------|-------------|
| Node ID | 128 bit |
| Real IPv4 Address of NTMobile node | 32 bit |
| Real IPv4 Address of NAT router | 32 bit |
| Real IPv4 Address of Direction Coordinator | 32 bit |
| Virtual IPv4 Address of NTMobile node | 32 bit |

表 2 NTMv6 レコードフォーマット
Table 2 DNS resource record for IPv6

| Record Name | Record Type |
|--------------------------------------------|-------------|
| Node ID | 128 bit |
| Real IPv6 Address of NTMobile node | 128 bit |
| Real IPv6 Address of NAT router | 128 bit |
| Real IPv6 Address of Direction Coordinator | 128 bit |
| Virtual IPv6 Address of NTMobile node | 128 bit |

NAT ルータの IPv4 アドレスは NTM 端末からのパケットのソースアドレスを確認することにより DC が登録を行う。2 は IPv6 を想定した NTMobile 専用レコード（以下 NTMv6 レコード）の要素であり、NTM 端末を識別するためのノード ID、物理インタフェースの IPv6 アドレス、端末が NAT 配下に存在する場合の NAT ルータの IPv6 アドレス、端末を管理する DC の IPv6 アドレス、仮想インタフェースの IPv6 アドレスが含まれる。なお、物理インタフェースの IPv6 アドレスは NTM 端末から通知されることにより登録される。また、NAT ルータの IPv6 アドレスは今後利用される可能性を考慮しレコードとして用意されているが、現状では使用しておらず常になが記載される。

3.3 起動時の位置登録処理

NTMobile 端末は以下の手順に従い、DC に自身の位置情報の登録を行う。なお、NTMobile では、NTMobile 端末と管理 DC 間及び DC 間には信頼関係がある。NTM レコードに登録する IP アドレスは、NTM 端末が接続しているネットワークの IP バージョンにより手順が異なるため、NTM 端末が IPv4 アドレスのみを取得している場合、NTM 端末が IPv6 アドレスのみを取得している場合、NTM 端末がデュアルスタックネットワークに接続している場合について説明する。なお、DC の物理インターフェースの IPv4/IPv6 アドレス及び仮想

IPv4/IPv6 アドレスは、原則として固定されているため、常時アドレスが登録されている。また、アドレス登録及び更新では、DC の IPv4 又は IPv6 アドレスが必要となることから、起動時にこれらのアドレスを予め取得するものとする。また、A 及び AAAA レコードには NTM 端末の実 IP アドレス、NTMv4/NTMv6 レコードには、登録用メッセージに記載されている情報を登録する。

- NTM 端末が IPv4 アドレスのみを取得している場合

図 2 は NTM 端末が IPv4 アドレスのみを取得している場合における位置情報の登録処理である。NTMobile では、各 NTM 端末はいずれかの DC により管理されることを想定しており、IPv4 と IPv6 用のそれぞれで DNS Request を送信することにより自身を管理する DC の IPv4 アドレスと IPv6 アドレス、自身に対して割り当てられる仮想 IPv4 アドレスと仮想 IPv6 アドレスを取得する。また、自身を管理する DC に対して IPv4 ネットワーク経由で Registration Request を送信することにより自身の位置情報を登録する。Registration Request には IPv4, IPv6 共通のものを用いており、IPv4 ネットワークと IPv6 ネットワークの両情報が記載される。NTM 端末が IPv4 アドレスのみ取得している場合は、ノード ID AAA, 実 IPv4 アドレス RIP4MN, 仮想 IPv4 アドレス VIP4MN, NAT の実 IPv4 アドレス RIP4NAT, DC の実 IPv4 アドレス RIP4DC, FQDN A. exp の情報が含まれている。また、NTM 端末の実 IPv6 アドレスには::のみ記載している。なお、DC は Registration Request の送信元 IP アドレスを確認することにより、NTMobile 端末が NAT 配下にいる場合には、NAT ルータの IP アドレスも入手可能である。これらの情報は NTM レコードに登録される。登録処理後、DC は Registration Response を NTM 端末に返信を行う。

また、NTM 端末が NAT ルータ配下に存在する場合、DC から NTM 端末に向けて通信を開始することができない。しかし、NTMobile では DC から NTM 端末に指示を出す必要があるため通信コネクションを維持する必要がある。そこで、NTM 端末は定期的に Update Request を DC に送信し、DC から Update Response を NTM 端末に返信を行うことにより、NAT テーブルを更新することでコネクションを維持する。

- NTM 端末が IPv6 アドレスのみを取得している場合

図 3 は NTM 端末が IPv6 アドレスのみを取得している場合における位置情報の登録処理である。NTM 端末が IPv6 アドレスのみ取得している場合も IPv4 ネットワークと同様に、IPv4 と IPv6 のそれぞれで DNS Request を送信することにより自身を管理する DC の IPv4 アドレスと IPv6 アドレス、自身に対して割り当てられる仮想 IPv4 ア

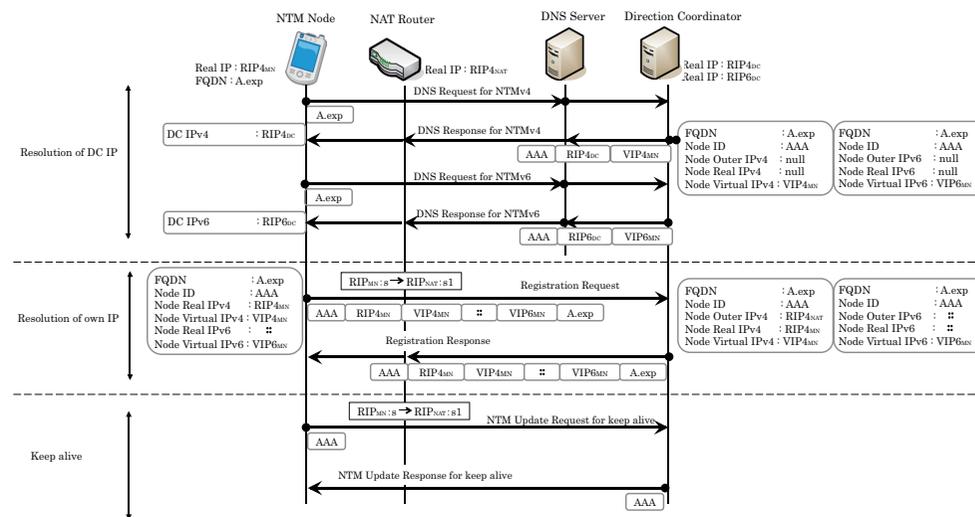


図 2 IPv4 における登録処理。
Fig. 2 Registration process for IPv4.

ドレスと仮想 IPv6 アドレスを取得する。次に自身を管理する DC に対して IPv6 ネットワーク経由で Registration Request を送信することにより自身の位置情報を登録する。IPv4 ネットワークと同様に Registration Request には IPv4, IPv6 共通のものを用いており、IPv4 ネットワークと IPv6 ネットワークの両情報が記載される。この場合、Registration Request にはノード ID BBB, 実 IPv6 アドレス RIP6MN, 仮想 IPv6 アドレス VIP6MN, NAT の実 IPv6 アドレス ::, DC の実 IPv6 アドレス RIP6DC, FQDN B. exp の情報が含まれている。また、NTM 端末の実 IPv4 アドレスには 0. 0. 0. 0 のみ記載している。

- NTM 端末がデュアルスタックネットワークに接続している場合

NTM 端末がデュアルスタックネットワークに接続している場合、自身を管理する DC に対して IPv4 ネットワーク経由で Registration Request を送信することにより自身の位置情報を登録する。これは NAT の有無を調べるため IPv4 ネットワーク経由で送信を行う。Registration Request には IPv4, IPv6 共通のものを用いており、IPv4 ネットワークと IPv6 ネットワークの両情報が記載される。

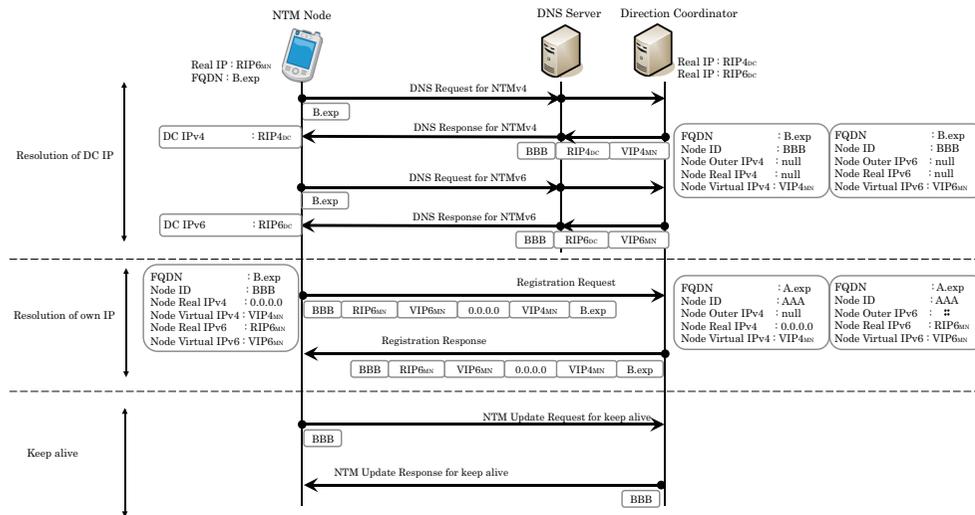


図 3 IPv6 における登録処理.
Fig. 3 Registration process for IPv6.

3.4 移動時の位置更新処理

図??に IPv4 ネットワークと IPv6 ネットワークにおける NTM 端末が移動後に行う処理を示す。

- NTM 端末が IPv4 アドレスのみを取得している場合
NTM 端末が移動により変化した位置情報を DC に対して通知するために、Registration Request に新たな位置情報として変化した実 IPv4 アドレスを含めて記録し自身を管理する DC に向けて送信を行う。DC は位置情報の更新後、NTM 端末に向けて Registration Response を返信する。起動時の位置登録処理と同様に、DC と NTM 端末間の接続を維持するために、NTMobile 端末は定期的に Update Request を DC に送信し、DC からは Update Response を NTM 端末に向けて返信する。
- NTM 端末が IPv6 アドレスのみ取得している場合
NTM 端末が移動により変化した位置情報を DC に対して通知するために、Registration Request に新たな位置情報として変化した実 IPv6 アドレスを含めて記録し自身を管理する DC に向けて送信を行う。DC は位置情報の更新後、NTM 端末に向けて Registration

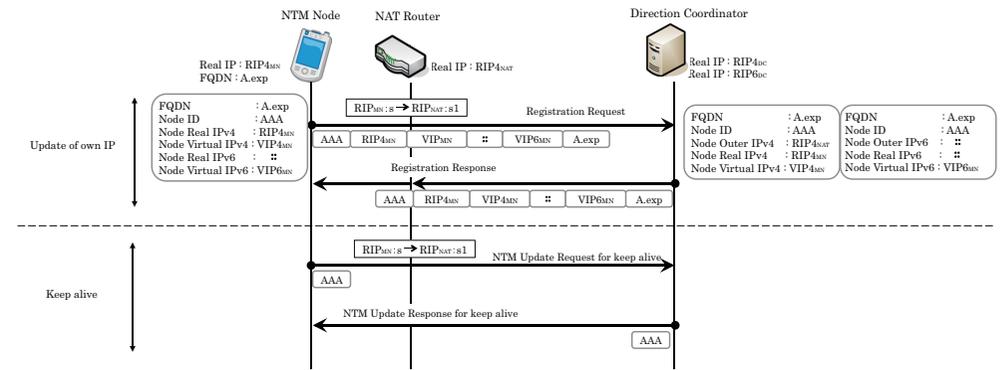


図 4 IPv4 における更新処理.
Fig. 4 Update process for IPv4.

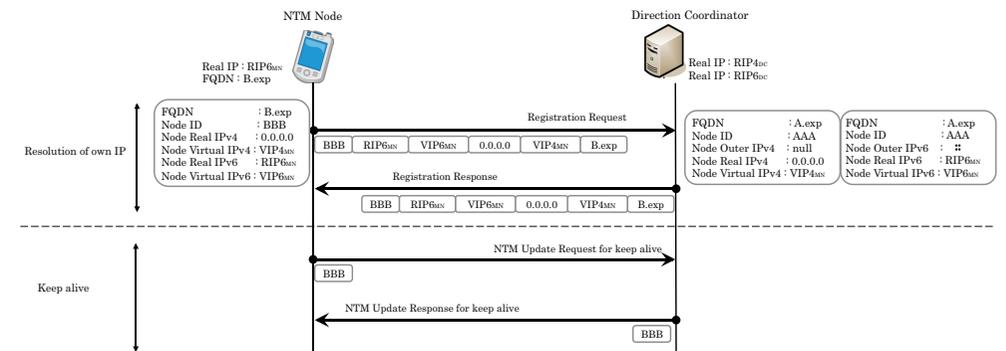


図 5 IPv6 における更新処理.
Fig. 5 Update process for IPv6.

Response を返信する。起動時の位置登録処理と同様に、DC と NTM 端末間の接続を維持するために、NTMobile 端末は定期的に Update Request を DC に送信し、DC からは Update Response を NTM 端末に向けて返信する。

4. 実装

4.1 DCの実装

NTMobileのDC機能はユーザ空間に実装されており、DNSサーバーとアドレス管理を行うNTMobileデーモンに大別される。

- DNSサーバー機能

NTMobileでは、NTM端末の位置情報をDNSのNTMの専用レコードとして管理を行なっている。実装では、Bind-9. 7. 1にIPv4アドレス用のNTMv4レコードに加え、IPv6アドレス用のNTMv6レコードを追加することにより、NTM専用のDNSレコードの実装を行った。なお、DNSサーバーはDynamic DNSに対応しており、NTMobileデーモンからの通知により情報の更新を行うものとする。

- DCの通知

NTM端末は最初の起動の時点では自身を管理するDCの情報をもたない。DCは各NTM端末のNTMレコード内に自身のIPアドレスの情報を含ませる。NTM端末は自身のFQDNを探索することにより、自身を管理するDCを発見可能としている。

- NTM端末の位置管理

NTM端末は起動後及び移動後はRegistration Requestを用いて自身の位置情報をDCに送信する。DCは受診した位置情報に応じて、Dynamic DNSの機能を用いてDNSのNTMレコードの情報を更新する。

4.2 動作確認

実装実験では、NTMレコードを実装するにあたり、DNSサーバーであるBINDを拡張した。具体的には、NTMv6レコードを追加して定義することにより、IPv6ネットワークにおいてもDNSサーバー機能を利用して専用レコードを問い合わせ可能とした。動作確認に関して、以下の手順の動作を確認した。

- 位置情報の登録

DC内で、拡張したDNSサーバーに対してNTMv6レコードの追加及び更新を行った。

- IPv6用のNTMレコードの探索

DC上のBINDで管理されているNTMv6レコードをDC内から問い合わせ、IPv6アドレス用の専用レコードの情報を取得した。

5. まとめ

本研究では、IPv4/IPv6混在ネットワーク環境において移動透過性と接続性を実現可能なNTMobile用のアドレス管理手法を提案した。提案方式はDNS用の専用レコードを新たに定義するものであり、DNSと同様の規模拡張性を有する方式である。また、BINDを拡張することにより、提案方式の実装を行い、提案アドレス管理手法が実現可能であることを確認した。

参考文献

- 1) L. A. Magagula and H. A. Chan, "IEEE802. 21-Assisted Cross-Layer Design and PMIPv6 Mobility Management Framework for Next Generation Wireless Networks," Proc. IEEE WIMOB '08, pp. 159–164, Oct. 2008.
- 2) Le, D., Fu, X. and Hogrefe, D. "A Review of Mobility Support Paradigms for the Internet, IEEE Communications Surveys," Vol. 8, No. 1, pp. 38–51, 2006.
- 3) H. Suzuki, K. Terazawa and A. Watanabe, "Implementation of NAT Traversal for Mobile PPC with the Principle of Hole Punching," in Proc. of the IEEE International Region 10 Conference 2009 (TENCON2009), Nov. 2009.
- 4) C. Perkins, "IP Mobility Support for IPv4, Revised," RFC 5944, IETF, 2010.
- 5) Johnson, D., Perkins, C. and Arkko, J. "Mobility Support in IPv6," RFC 3775, IETF, 2004.
- 6) N. Seta, H. Miyajima, L. Zhang, H. Hayashi and T. Fujii, "All-SIP Mobility: Session Continuity on Handover in Heterogeneous Access Environment," in Proc. of IEEE VTC2007-Spring, pp. 1121–1126, 2007.
- 7) H. Miyajima, L. Zhang, H. Hayashi and T. Fujii, "An Implementation of Enhanced All-SIP Mobility," in Proc. of IEEE PIMRC2008, 2008.
- 8) Soliman, H. "Mobile IPv6 Support for Dual Stack Hosts and Routers," RFC 5555, IETF, 2009.
- 9) Kuntz, R. and Lorchat, J. "Versatile IPv6 Mobility Deployment with Dual Stack Mobile IPv6," pp. 49–54, 2008.
- 10) Levkowitz, H. and Vaarala, S. "Mobile IP Traversal of Network Address Translation (NAT) Devices," RFC3519, IETF, 2003.
- 11) Wakikawa, R., Kuntz, R., Zhu, Z. and Zhang, L. "Global HA to HA Protocol Specification," draft-wakikawa-mext-global-haha-spec-02, IETF, 2011.
- 12) 鈴木秀和, 水谷智大, 西尾拓也, 内藤克浩, 渡邊 晃, "NTMobileにおける相互接続性の確立手法と実装," マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2011) シンポジウム論文集, Vol. 2011, No. 1, pp. 1339–1348, 2011.

- 13) 内藤克浩, 西尾拓也, 水谷智大, 鈴木秀和, 渡邊 晃, 森香津夫, 小林英雄, “NTMobileにおける移動透過性の実現と実装,” DICO2011 論文集, Vol. 2011, No. 1, pp. 1349–1359, 2011.
- 14) 西尾拓也, 内藤克浩, 水谷智大, 鈴木秀和, 渡邊 晃, 森香津夫, 小林英雄, “NTMobileにおける端末アドレスの移動管理と実装,” マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICO2011) シンポジウム論文集, Vol. 2011, No. 1, pp. 1139–1145, 2011.
- 15) 上醉尾一真, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊 晃, “IPv6 ネットワークにおける NTMobile の検討,” 情報処理学会研究報告, Vol. 2011-MBL-59, No. 9, pp. 1–7, 2011.