

NTMobileにおける端末アドレスの移動管理と実装

西尾拓也^{†1} 内藤克浩^{†1} 水谷智大^{†2}
鈴木秀和^{†2} 渡邊晃^{†2}
森香津夫^{†1} 小林英雄^{†1}

近年, 携帯端末の移動透過性は重要な機能となっている。既存ネットワークでは, セキュリティ対策と IPv4 アドレスの消費を抑えるため, Network Address Translation (NAT) の利用が一般的である。そのため, 移動透過技術においても, グローバル IP アドレスだけではなく, NAT 配下で利用されるプライベート IP アドレスも対応する必要がある。NTMobile (NAT Traversal with Mobility) は仮想アドレスとトンネル技術を活用することにより, グローバル IP アドレス及びプライベート IP アドレスに関わらず, 移動透過性を実現可能な方式である。本稿では, NTMobile における仮想 IP アドレスと実 IP アドレスの管理方法について述べる。提案方式では, IP アドレスを管理するために NTMobile 用の DNS レコードを新たに実装する。そのため, 携帯端末は Dynamic DNS の機能を活用することで, IP アドレスの登録及び更新が可能となる。実装では, BIND を拡張することにより新たに定義したリソースレコードの実装を行う。また, 提案方式は Linux 上に実装を行う。

Mobility management and implementation of terminal address in NTMobile

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

IP mobility of wireless terminal is important function in recent years. In conventional networks, Network Address Translation (NAT) is usually used to achieve security and to reduce consumed IPv4 global addresses. Therefore, IP mobility also supports not only global IP addresses but also private IP addresses under the NAT. NTMobile (NAT Traversal with Mobility) is the proposed IP mobility scheme to achieve IP mobility in both global IP addresses and private

IP addresses by employing virtual IP addresses and tunnel technologies. In this paper, we propose a management scheme for virtual IP addresses and physical IP addresses in NTMobile. In the proposed scheme, we implement a new DNS record for NTMobile in order to manage IP addresses. Therefore, wireless terminals can register and update their IP addresses by using dynamic DNS schemes. In the implementation, we extend the bind to support our record for NTMobile, and implement the proposed scheme on Linux.

1. はじめに

近年の無線通信技術の発展に伴い, 携帯端末からのインターネット接続に対する需要は増加している。また, 近年の携帯端末は複数の無線インタフェースを実装しており, 異なるネットワークを切り替えて利用することが可能である¹⁾。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, 端末が利用する IP アドレスも変化する。一方, TCP などの上位層プロトコルは IP アドレスをコネクション情報として利用しており, IP アドレスの変化はコネクションの切断につながる²⁾。

ネットワーク切り替え時の IP アドレスの変化を隠蔽する技術を移動透過技術と呼び, 多数の検討が近年行われている³⁾。また, 端末の移動を想定した IPv6 ネットワークを想定した研究^{4),5)} が多数ある一方, 既存ネットワークで利用される IPv4 ネットワークを想定した研究⁶⁾ は少数である。また, 既存の IPv4 を想定した研究では, 既存の NAT ルータなどに対応できない方式, 中継装置を経由した通信を行うため, エンド端末が共に移動する場合にオーバーヘッドが大きいなどの問題がある⁷⁾⁻⁹⁾。

著者らは, 既存の IPv4 ネットワークにおいて, 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(NAT Traversal with Mobile)^{10),11)} の提案を行っている。NTMobile では, NTMobile 端末内に仮想インタフェースを構築し, この仮想インタフェースに仮想 IP アドレスの割当を行う。また, アプリケーションは両 NTMobile 端末に割当てられている仮想 IP アドレスを用いて通信を行うことから, 仮想 IP アドレスは重複なく割当てられることを前提としている。そこで, 本研究では NTMobile で前提とするアドレス管理手法に係る提案を行う。

^{†1} 三重大学 大学院工学研究科 電気電子工学専攻
Department of Electrical and Electronic 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

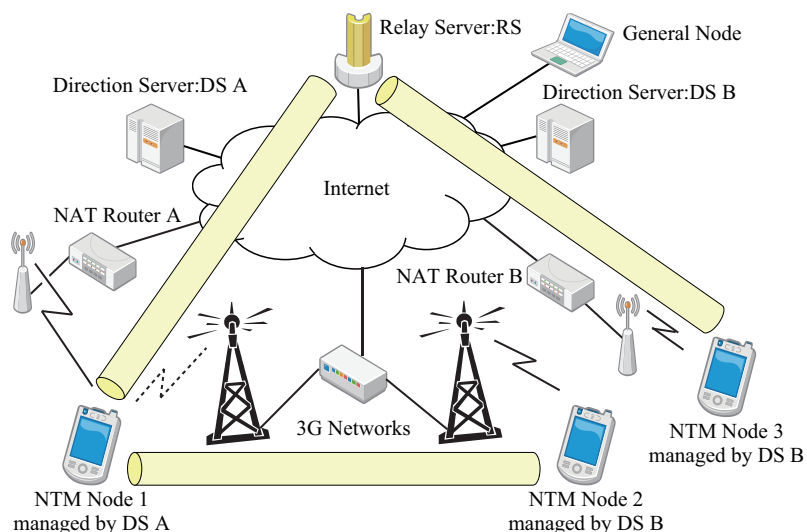


図 1 NTMobile の概要。
Fig. 1 NTMobile network.

2. NTMobile の概要

NTMobile の大きな目標は、既存ネットワークで利用されている IPv4 ネットワークにおいて、NAT が存在する場合にも移動透過性を少ないオーバーヘッドで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 Server (DS), Relay Server (RS), NTMobile 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、DS 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、DS が NTMobile 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、NTMobile 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 データグラムの生成を行うが、カプセル化により実 IP アドレスが割り当てられることにより

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づけるため、移動透過性を実現可能である。

NTMobile 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、NTMobile 端末間で直接トンネルを構築可能である。一方、NTMobile 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。結果として、NTMobile では、グローバル IP アドレス空間、プライベート IP アドレス空間に関わらず、両エンド端末の移動透過性を実現可能である。

なお、NTMobile では、DS 及び RS 間は予め鍵交換などを通して信頼関係が結ばれている状況を想定しており、NTMobile 端末を管理する DS と NTMobile 端末間にも予め信頼関係が結ばれているものとする。そのため、NTMobile 端末間で直接信頼関係が結ばれていない場合にも、DS を経由した通信を行うことで、信頼関係を結ぶことが可能となる。

3. NTMobile のアドレス及び位置管理

3.1 アドレス管理方式

NTMobile では、移動透過性を実現するために、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 NTMobile 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 DS に割り当てるものとする。そして、各 DS は管理する NTMobile 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。図 2 は NTMobile の仮想ネットワークの概要を示したものであり、NTMobile の仮想ネットワークとして、10.0.0.0/8 のアドレス帯域を想定している。また、管理者は DS A に対して 10.1.0.0/16 のアドレス帯域を予め割り当てることにより、DS A が管理するアドレス帯域が他 DS と重複しないようにする。また、DS A は DS A に管理される NTMobile 端末に対して割り当てられているアドレス帯域から仮想 IP アドレスの割り当てるものとする。DS B 及び DS A も同様に異なるアドレス帯域の割り当てが行われており、各 DS に管理される NTMobile 端末に仮想 IP アドレスの割り当てる。結果として、NTMobile ネットワークでは、DS へのアドレス帯域の割り当てのみで仮想 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である。

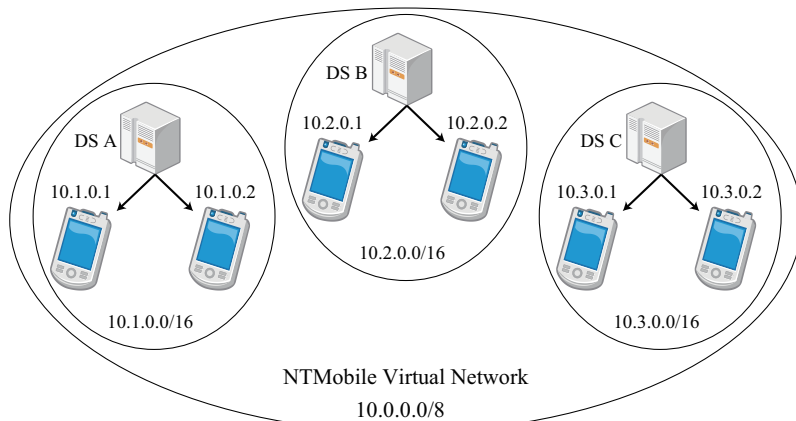


図 2 NTMobile の仮想ネットワーク。
Fig.2 NTMobile virtual networks.

表 1 NTMobile 専用レコードフォーマット
Table 1 DNS Resource record for NTMobile

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

3.2 位置管理方式

NTMobile では、各 DS が NTMobile 端末を管理することから、NTMobile 端末が自身を管理する DS に関する情報を入手する手段が必要となる。また、NTMobile 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。情報入手手段は様々な手段が考えられるが、Domain Name System (DNS) を NTMobile では拡張して利用する。DNS ではホスト名から IP アドレスを検索する際に A レコードの探索を行う。また、DNS で取り扱うレコードは独自に追加することができ、未知のレコードに関する問い合わせと応答を受信した DNS サーバーは、未知のレコード情報を修正することなく転送することとなっている¹²⁾。

NTMobile では、NTMobile 端末を管理する DS の IP アドレス及び、NTMobile 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、NTMobile 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 専用レコードの要素であり、NTMobile 端末を識別するためのノード ID、物理インタフェースの IP アドレス、端末が NAT 配下に存在する場合の NAT ルータの IP アドレス、端末を管理する DS の IP アドレス、仮想インタフェースの IP アドレスが含まれる。なお、物理インタフェースの IP アドレスは NTM 対応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 IP アドレスは NTM 対応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 DS が登録を行う。

3.3 起動時の位置登録処理

図 3 は NTMobile 端末の起動時の位置登録処理である。NTMobile 端末は以下の手順に従い、DS 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 DS 間及び DS 間には信頼関係があるものと仮定している。

- 自身を管理する DS の IP アドレス取得

NTMobile では、各 NTMobile 端末はいずれかの DS により管理されることを想定している。また、NTMobile 端末と DS の関係は変更される可能性もあり、動的な関係付けが必要となる。NTMobile では、NTMobile 端末が自身の FQDN に対する NTMobile 専用レコードを検索することにより、登録されている自身の位置情報だけでなく、管理される DS の情報も入手するものとする。なお、図 3 での DS の IP アドレスは、RIPDs とする。

- 位置情報の登録

管理される DS の IP アドレス取得後、NTMobile 端末は Registration Request を該当 DS に送信することにより、自身の位置情報を登録する。なお、Registration Request にはノード ID AAA、物理 IP アドレス RIPMN、FQDN A.exp の情報が含まれている。また、DS 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 NTMobile 専用レコードに登録される。登録処理終了後、DS は Registration Response を NTMobile 端末に返信を行う。

- DS とのコネクション維持

NTMobile 端末が NAT ルータ配下に存在する場合、DS から NTMobile 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、DS から NTMobile 端末に指示

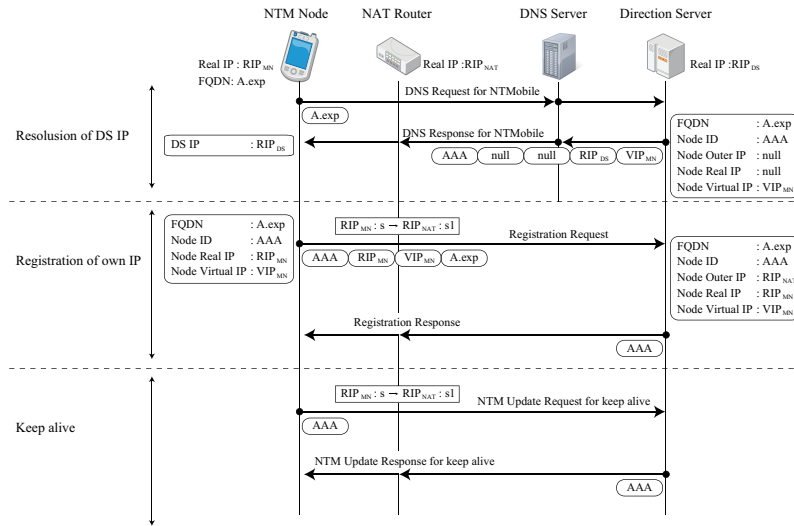


図 3 登録処理.

Fig. 3 Registration Process.

を出す必要があり、通信コネクションを維持する必要がある。そこで、NTMobile 端末は定期的に Update Request を DS に送信し、DS から Update Response を NTMobile 端末に返信を行うことにより、コネクションを維持する。

3.4 移動時の位置更新処理

図 4 は NTMobile 端末の移動時の位置更新処理である。図 3 との大きな違いは、NTMobile 端末が既に DS に関する情報を持っているため、位置情報の更新を即座に行う点である。

● 位置情報の更新

NTMobile 端末は Update Request に新たな位置情報を記録し、自身を管理する DS に向けて送信を行う。なお、Update Request に含まれる情報は起動時の位置登録で利用される Registration Request と同様である。DS は位置情報の更新後、NTMobile 端末に向けて Update Response を返信する。

● DS とのコネクション維持

起動時の位置登録処理と同様に、DS と NTMobile 端末間のコネクションを維持するために、NTMobile 端末は定期的に Update Request を DS に送信し、DS から Update

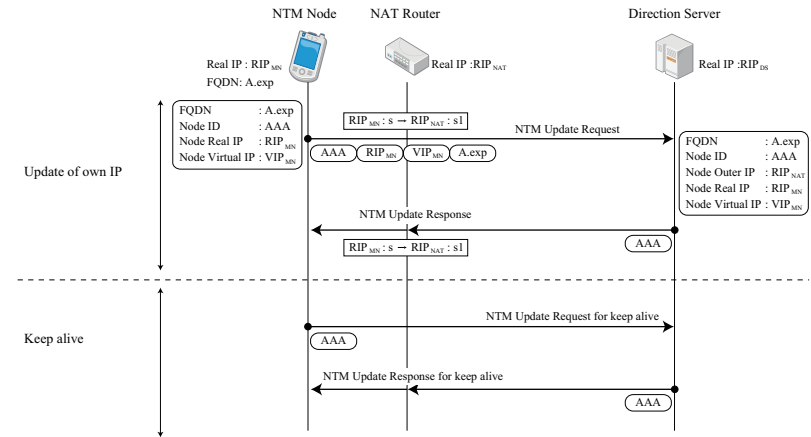


図 4 更新処理.

Fig. 4 Update Process.

Response を NTMobile 端末に返信を行う。

4. 実 装

4.1 DS の実装

図 5 は NTMobile の DS のモジュール構成図を示す。NTMobile の DS 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、NTMobile 端末の位置情報を DNS の NTMobile 専用レコードとして管理を行っている。実装では、Bind-9.7.1 に NTM 専用レコードを追加することにより、NTMobile 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。

● DS の通知

NTMobile 端末は起動の時点では自身を管理する DS の情報を持たない。DS は各 NTMobile 端末の NTM 専用レコード内に自身の IP アドレスの情報を含ませる。次に、NTMobile 端末は自身の FQDN を探索することにより、自身を管理する DS を発見可能としている。

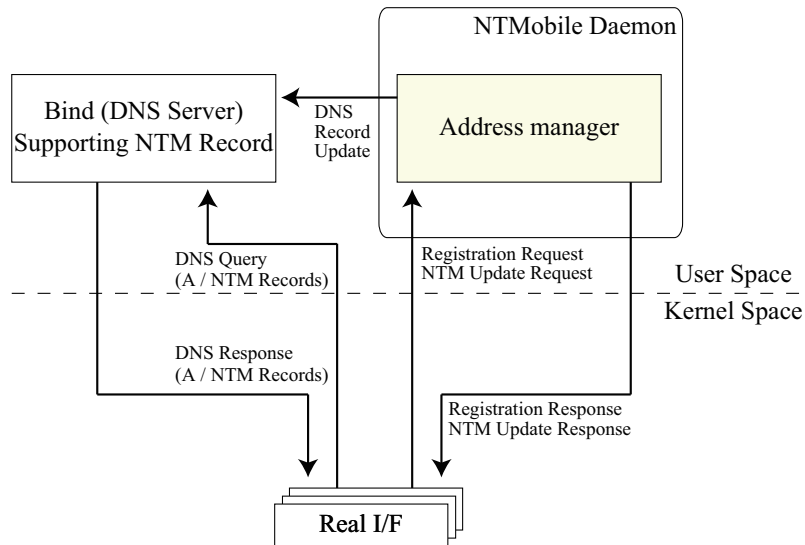


図 5 DS のモジュール構成.

Fig. 5 Module configuration of direction server.

- NTMobile 端末の位置管理

NTMobile 端末は起動後は Registration Request を用いて自身の位置情報を DS に送信する。また、移動後は NTM Update Request を用いて自身の位置情報を DS に送信する。DS は受信した位置情報に応じて、Dynamic DNS の機能を用いて DNS の NTM 専用レコードの情報を更新する。

4.2 NTMobile 端末の実装

図 6 は NTMobile 端末のモジュール構成図を示す。NTMobile の実装はユーザ空間とカーネル空間に大別されるが、アドレス管理に関する実装はユーザ空間で行われている。ユーザ空間では、IP アドレス変化の検知機能、DNS 情報の更新機能、DNS の NTMobile 専用レコードの問い合わせ機能などを実装することにより、NTMobile 端末の移動管理とアドレス管理を実現している。なお、ユーザ空間で動作する NTMobile Daemon とカーネル空間で操作する NTMobile Kernel Module 間は Linux の Netlink ソケットを用いて接続する。

- IP アドレス変化の検知

NTMobile では、ユーザデーモンがインタフェース状態を監視することにより、インタ

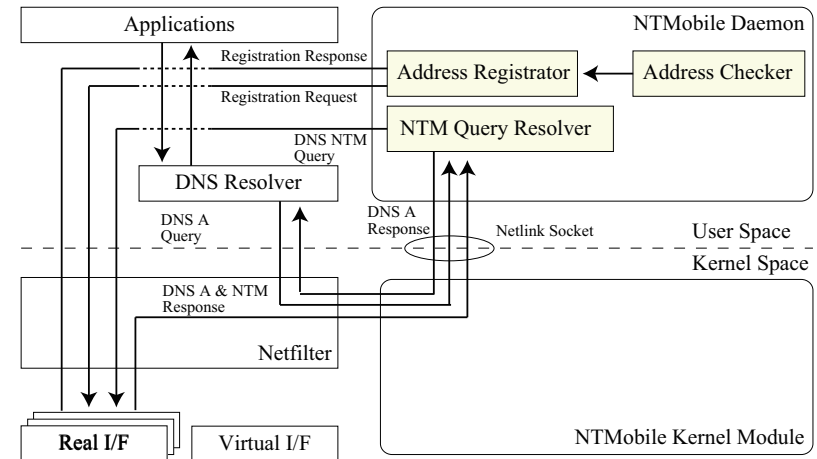


図 6 NTMobile 端末のモジュール構成.

Fig. 6 Module configuration of NTMobile node.

フェースの割当 IP アドレスの変化を検出する。また、IP アドレスの変化を検出した場合には、IP アドレスの更新処理を行う。

- NTMobile 専用レコードの登録と仮想 IP アドレスの取得

NTMobile Daemon は自身の NTMobile 専用レコードの問い合わせを行うことにより、仮想インタフェースで利用する仮想 IP アドレスを DS から取得する。また、NTMobile Daemon は起動時にインタフェースの実 IP アドレスを確認し、DS に Registration Request を用いて登録を行う。

- 位置情報の更新

NTMobile Daemon は IP アドレス変更時 NTM Update Request を用いて自身の仮想 IP アドレス、実 IP アドレスなどを DS に通知することで、位置情報の更新を行う。

4.3 動作確認

実装実験では、NTMobile 専用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、NTMobile 専用レコードを新たに定義することにより、NTMobile 専用レコードを DNS サーバーの機能を用いて問い合わせが可能状況とした。なお、一般の DNS サーバーは NTMobile 専用レコードをサポートしていないが、RFC3597 では未知のリソースレコードは圧縮せずに中継することが規定されているため、RFC3597¹²⁾ に準拠

表 2 評価諸元.
Table 2 Evaluation parameters.

| | |
|----------------|-------------------------|
| OS | Linux |
| Distribution | Ubuntu 10.04 |
| Kernel version | linux-2.6.32-24-generic |
| CPU | Intel Pentium 4 2.40GHz |
| Memory | 512 MBytes |
| BIND | bind-9.7.1 |

した DNS サーバーが利用されている場合には, NTMobile 専用レコードの問い合わせで支障は発生しない. 実験諸元を表 2 に示す.

実装技術の動作確認を行うにあたり, 以下の手順の動作を確認した.

- 位置情報の通知
NTMobile 端末上の NTMobile デーモンから位置情報を DS に向けて送信した.
- 位置情報の受信
DS 上の NTMobile デーモンは NTMobile 端末からの位置情報を受信した.
- DNS への登録
DS 上の NTMobile デーモンは受信した位置情報に応じて, 拡張した DNS サーバーに NTMobile 専用レコードの追加及び更新を行った.
- NTMobile 専用レコードの探索
DS 上の BIND で管理されている NTMobile 専用レコードを別の DNS サーバー経由で問い合わせ, NTMobile 専用レコードの情報を取得した.

また, DS 上のデーモンは多数の NTMobile 端末からの要求を処理する必要があるため, 処理性能も重要と考えられる. そこで, DS 上のデーモンが NTMobile 端末からの位置情報を受信し, DNS への登録及び更新処理が終了するまでの処理時間を測定した. 測定は 10 回実施し, 平均処理時間は約 22.35[ms] であった. 本結果より, DS 上のデーモンは既存の Dynamic DNS を利用しているが, 大きなオーバーヘッドは発生しておらず, 規模拡張性なども有するものと考えられる.

5. ま と め

本研究では, グローバル IP アドレス空間及びプライベート IP アドレス空間によらずに移動透過性を少ないオーバーヘッドで実現する NTMobile 用のアドレス管理方式の提案を行っ

た. 提案方式の端末管理方式では, NTMobile 端末と DS 間の信頼関係が結ばれていれば, 予め DS の情報を NTMobile 端末が知る必要はなく, 柔軟な運用が可能である. さらに, アドレス管理を行う DS は複数設置することができるため, ネットワークの規模拡大に対しても柔軟に機器の追加で対応可能である. 実装では, BIND を拡張することにより, NTMobile 専用レコードの実装を行い, アドレス登録デーモンを経由して NTMobile 専用レコードの内容を更新可能であることを確認した.

謝 辞

提案方式の実装にあたり様々な協力をして頂いた東京システムハウス株式会社の関係各位に深謝する.

参 考 文 献

- 1) M. Buddhikot, G. Chandranmenon, S. Han, Y. W. Lee, S. Miller and L. Salgarelli, "Integration of 802.11 and third-generation wireless data networks," Proceedings of the IEEE INFOCOM 2003, Vol. 1, Page(s): 503-512, 2003.
- 2) 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.
- 3) D. Le, X. Fu and D. Hogrefe, "A Review of Mobility Support Paradigms for the Internet," IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol.8, No.1, pp.38 -51, 2006.
- 4) 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.
- 5) H. Miyajima, L. Zhang, H. Hayashi and T. Fujii, "An Implementation of Enhanced All-SIP Mobility," in Proc. of IEEE PIMRC2008, 2008.
- 6) 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.
- 7) C. Perkins, "IP Mobility Support for IPv4, Revised," RFC 5944, IETF (2010).
- 8) M. Bonola, S. Salsano and A. Polidoro, "UPMT: universal per-application mobility management using tunnels," In Proc. of the 28th IEEE conference on Global telecommunications (GLOBECOM'09) 2009.
- 9) M. Bonola and S. Salsano, "S-UPMT: a secure Vertical Handover solution based on IP in UDP tunneling and IPsec," GTTI Riunione Annuale 2010, (online),

http://www.gtti.it/GTTI10/papers/gtti10_submission_29.pdf, 2010.

- 10) 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,” DICO MO 2011, Jul. 2011.
- 11) 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,” DICO MO 2011, Jul. 2011.
- 12) A. Gustafsson, “Handling of Unknown DNS Resource Record (RR) Types,” RFC 3597, September 2003.