

NTMobile用プロキシ機能を用いた 一般端末からの通信接続性の開発

杉原 史人^{1,a)} 内藤 克浩² 鈴木 秀和³ 渡邊 晃³ 森 香津夫¹ 小林 英雄¹

概要：Machine to Machine (M2M) 通信は、インターネットにおける新たな通信サービスである。IP アドレスの枯渇は知られており、今後は IPv4 と IPv6 アドレスが M2M デバイスの普及とともに利用されると考えられる。また、IPv4 と IPv6 間には互換性がないことから、M2M 通信における接続性と相互接続性は新たな課題になると考えられる。IP モビリティ技術は接続性と相互接続性の問題を解決する一方式と考えられ、著者らは Network Traversal with Mobility (NTMobile) と呼ばれる移動透過技術の開発を進めてきた。NTMobile では、IPv4 と IPv6 の両ネットワークにおいて、エンド端末間の移動透過性と接続性を提供可能である。しかしながら、NTMobile では専用パケットを用いて通信を行うため、一般端末から NTMobile 端末への通信については対応していなかった。本稿では、新たに NTMobile Proxy Server (NPS) を導入することにより、一般端末から NTMobile 端末への通信への対応を行う。NPS の実装では、Web アプリケーションを想定したプロキシサービスを実現した。そのため、NPS は NTMobile のエンド端末機能と Web サーバー・Web クライアントの機能を持つ。結果として、一般端末は Web アプリケーションを通して NTMobile 端末に接続することが可能になる。

キーワード：接続性, 移動透過性, M2M, プロキシ, Web アプリケーション

Development of connectivity from general node using proxy for NTMobile

FUMIHITO SUGIHARA^{1,a)} KATSUHIRO NAITO² HIDEKAZU SUZUKI³ AKIRA WATANABE³ KAZUO MORI¹
HIDEO KOBAYASHI¹

Abstract: A Machine to Machine (M2M) communication is a new type of services in the internet. IPv4 and IPv6 addresses will be used according to the wide spread of these type of devices due to the lack of address shortages. Accessibility and interconnectivity in M2M communication will be new issues because IPv4 and IPv6 do not have compatibility for intercommunication. IP mobility mechanisms are one of the solutions for these issues because they can support accessibility and interconnectivity. The authors have developed a new IP mobility mechanism called NTMobile (Network Traversal with Mobility). NTMobile supports end-to-end IP mobility and accessibility in IPv4 and IPv6 networks. However, NTMobile does not support a communication from a general node to a NTMobile node because NTMobile requires special packet communication for NTMobile. In this paper, we introduce NTMobile Proxy Server (NPS) to support a communication from a general node to a NTMobile node. In the implementation of NPS, we have developed a proxy services for web applications. Therefore, NPS has functions for NTMobile end-nodes and a web service. As the results, all general nodes can access to a NTMobile end-node by using web applications.

Keywords: Accessibility, IP mobility, M2M, Proxy, Web application

1. はじめに

スマートフォンの爆発的な普及と、様々な通信ネットワーク技術の発展にともない、「いつでも、どこでも、誰でも」をコンセプトとしたユビキタス社会の実現は望まれつつある。ユビキタス社会を支えるネットワークは、現状最も利用されている Internet Protocol (IP) を基盤技術に採用することが予想される。既存の IP ネットワークでは、IPv4 と呼ばれるプロトコルが利用されており、アドレス数の制限とセキュリティ対策から、Network Address Translation (NAT) 機能を導入することにより、プライベートネットワークが頻繁に構築されている。既に IPv4 アドレスは枯渇しており、今後は新たなネットワークに対して IPv6^[1] の割当が行われることも予想されている。IPv4 と IPv6 はアドレス長ならびにアドレス体系が大きく異なることから、互換性はない^[2]。そのため、IPv6 が普及したとしても、既存の IPv4 も利用され続けることが予想される。そのため、IPv4 と IPv6 間で相互接続を実現する各種の変換技術も利用されると考えられる、変換技術を実装した機器はボトルネックとなる可能性も高い^[3], ^[4], ^[5], ^[6], ^[7], ^[8]。

今までのインターネットでは、人が利用する PC やスマートフォンなどが主な端末であるが、ユビキタス社会では、組み込みデバイスなども端末として利用されると考えられる。このような通信は Machine to Machine (M2M) 通信と呼ばれ、監視・制御など様々なサービスを行うデバイスがネットワークを通して相互通信を行うものである^[9]。このような組み込みデバイスは既に存在しているが、その多くは専門家による設定が設置時に必要となる。特に、サービスに応じたセキュリティ対策なども行う場合、一般ユーザが設置を行うことは容易ではない。これは、セキュリティによるフィルタリング処理とデバイスへの接続性を両立して担保するためには、ネットワーク環境に応じた適切な設定が必要になるためである。さらに、今後は IPv4 と IPv6 への対応が必要となることから、今まで以上に導入の難易度は高くなると予想される。

著者らは IPv4/IPv6 の混在環境において、確実な接続性と移動透過性を実現可能な技術として、Network Traversal with Mobility (NTMobile) を提案してきた^[10], ^[11], ^[12], ^[13]。NTMobile では、NTMobile の機能

を実装した端末 (以後 NTMobile 端末) が仮想 IP アドレスを用いて通信を行うことにより、実 IP アドレスが変換した場合にも、接続性と移動透過性を実現可能である。また、仮想 IP アドレスを用いた IP データグラムを User Datagram Protocol (UDP) トンネルを通して交換しているため、NAT などが存在する場合でも、NAT 外部からの接続性も担保可能である。また、NTMobile 端末が直接通信可能な場合には、UDP トンネルを直接構築することにより、冗長な経路を防いでいる。そして、各 NTMobile 端末が利用するプロトコルバージョンが異なるなど、直接通信が不可能な場合には、リレー機能を持つサーバーを経由して UDP トンネルを構築する。関連既存技術としては、Dual Stack Mobile IPv6 (DSMIPv6) が、Internet Engineering Task Force (IETF) により標準化されている^[3]。DSMIPv6 では、IPv4 と IPv6 は独立のプロトコルとして実装されており、上位で動作するアプリケーションは IPv4 と IPv6 の差を意識する必要がある。一方、NTMobile では仮想アドレスを利用してアプリケーションは通信を行っており、アプリケーションは実 IP アドレスのバージョンを考慮する必要がない。そのため、M2M デバイス上のサービス構築を想定した場合、NTMobile を用いることによりアプリケーションは実 IP アドレスのバージョン、接続性の保証、セキュリティ対策などは配慮する必要がなくなり、サービスに関係する実装に注力が可能となる。

NTMobile の既存実装では、NTMobile 端末間の通信に関わる実装はほぼ完了しており、NTMobile 端末から一般端末への通信方式対する検討も進めている^[14]。一方、組み込みデバイスなどの現実的な利用状況を想定した場合、NTMobile の機能を実装していない一般ユーザ端末から NTMobile の機能を実装している NTMobile 端末への接続手法が必要不可欠と考えられる。本稿では、NTMobile の機能とプロキシ機能を実装した NTMobile Proxy Server (NPS) を導入することにより、一般ユーザ端末から NTMobile 端末への接続性を担保する方式を提案する。また、Web アプリケーションを利用した場合の実装例を開発することにより、提案方式の評価を行う。

2. NTMobile

2.1 概要

図 1 に NTMobile のシステム概要を示す。NTMobile は、NTMobile を実装した端末 (NTMobile 端末) のほかに NTMobile 端末を管理する Direction Coordinator (DC)、NTMobile 端末が直接通信を行うことができない場合に通信を中継する Relay Server (RS) から構成される。NTMobile 端末には NTMobile ネットワーク内で一意に識別可能な仮想 IP アドレスを割り当てることにより、アプリケーションは仮想 IP アドレスに基づいた通信を行う。そのため、実 IP アドレスの変化した場合にも、アプリケーション

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, Tsu, Mie 514-8507, Japan

² 愛知工業大学情報科学部
Faculty of Information Science, Aichi Institute of Technology, Toyota, Aichi 470-0392, Japan

³ 名城大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Technology, Meijo University, Nagoya, Aichi 468-8502, Japan

a) fsugihara@com.elec.mie-u.ac.jp

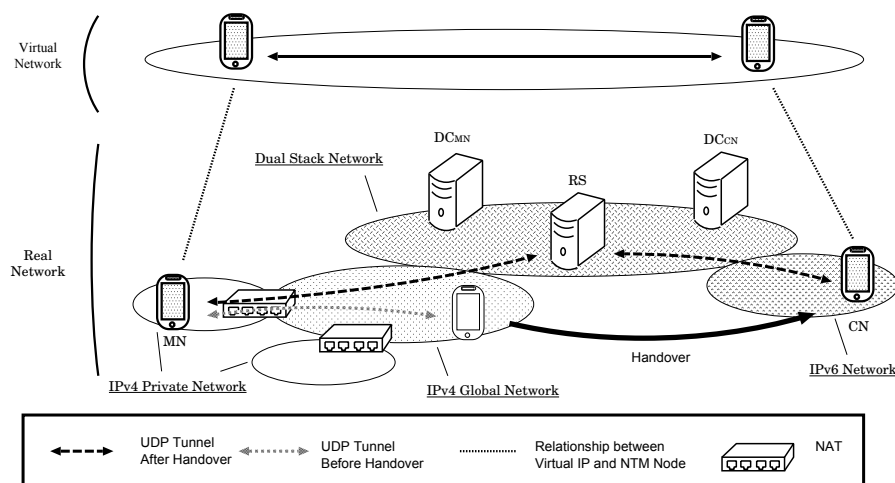


図 1 NTMobile のシステム概要
Fig. 1 Overview of NTMobile network.

は仮想 IP アドレスを利用して通信を継続可能である。仮想 IP アドレスを用いた IP データグラムは NTMobile のカーネルモジュールによりカプセル化され、UDP トンネルを通して交換される。トンネルの通信経路は 2 種類あり、原則としては両端末間で直接トンネルを構築し、プロトコルバージョンが異なる場合などの両端末間で直接通信ができない場合は、RS を経由するトンネルを構築することで通信が可能となる。NTMobile ではアプリケーションは仮想 IP アドレスを利用することから、相手側のネットワークを意識することがなく、相互通信が可能となる。

- Direction Coordinator

NTMobile 端末の位置情報などを管理し、NTMobile 端末にトンネル構築に関わる各種処理の指示を出す装置である。各 DC は自身に割り当てられた仮想 IP アドレス空間を管理し、重複のないように NTMobile 端末に対して仮想 IP アドレスを割り当てる。また、DC は自身のデータベースに NTMobile 端末の Fully Qualified Domain Name (FQDN)、実 IP アドレス、仮想 IP アドレス、NAT の外側の実 IP アドレスとポート番号を記録している。DC は Domain Name System (DNS) の機能をもっており、DC ごとに異なるドメインを管理する。NTMobile では DC を探索するために DNS の機構を利用しているため、分散配置が可能である。NTMobile 端末は IPv4 および IPv6 を利用する可能性があるため、DC はデュアルスタックネットワークに設置されることを想定する。

- Relay Server (RS)

NTMobile 端末が NAT 越え問題や IPv4/IPv6 ネットワークの混在により、直接通信を行うことができない場合に、通信の中継を行う。また、RS は DC により管理されており、DC の指示により中継処理を行うため、多数の RS を用いた分散処理も実現可能である。

DC 同様に、RS は IPv4 および IPv6 間の中継も行うため、RS はデュアルスタックネットワークに設置されることを想定する。

- NTMobile 端末

アプリケーションが利用する仮想インタフェースを持ち、仮想インタフェースには、DC から割り当てられる仮想 IP が設定されることにより、アプリケーションは仮想 IP を用いた通信を行う。また、仮想 IP を用いた IP データグラムは UDP によるカプセル化されることで、実 IP アドレスの変化を隠蔽している。NTMobile 端末は実 IP アドレスが変化した場合には、自身の DC に新たな実 IP アドレスの登録を行うことで、移動透過性と接続性を実現している。

2.2 NTMobile 端末と一般端末の通信

NTMobile 端末と一般端末の通信については、RS を経由することにより、実現する方式を検討してきた [14]。しかし、これらの検討では、NTMobile 端末の移動透過性と接続性を実現するため、NTMobile 端末から一般端末への通信開始を想定していた。一方、NTMobile を組み込み機器などに導入した場合、一般端末から NTMobile 端末への通信開始を想定する必要があるが、その検討は十分には行われていない。そこで、NTMobile 端末の移動透過性と接続性を両立しながら、一般端末からの通信開始を実現する方式として、プロキシ機能を導入する。

2.3 トンネル状態管理手法の課題

NTMobile の既存実装では、トンネル管理の簡易化のため、アプリケーションのコネクション生成ごとにトンネルを新たに生成していた。そのため、連続してコネクションが生成された場合、トンネルの暗号化で利用する鍵の不整合などが発生する可能性があった。そこで、シグナリング

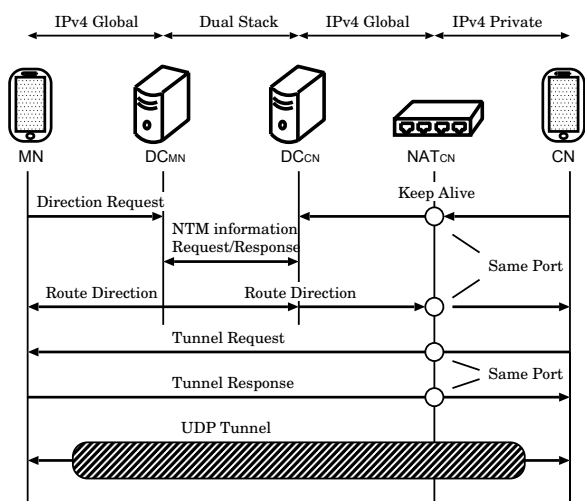


図 2 エンド端末間のトンネル構築手順

Fig. 2 Tunnel construction process between end-nodes.

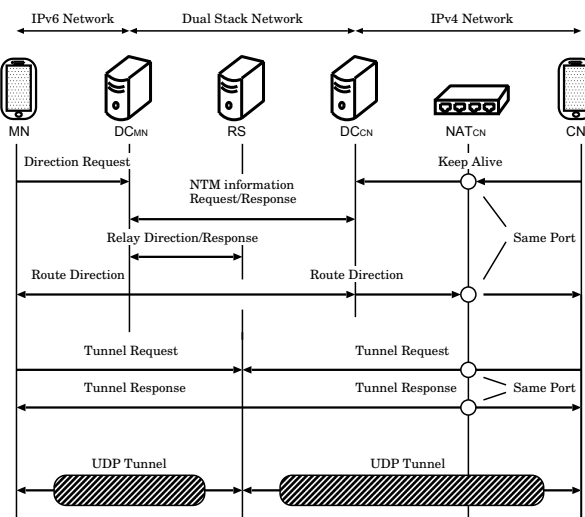


図 3 RS を経由するトンネル構築手順

Fig. 3 Tunnel construction process via RS.

を行うデーモンとパケット処理を行うカーネルモジュールを拡張することにより、多数のアプリケーションが 1 コネクションを共有可能な実装に変更を行う。

3. 提案方式

3.1 概要

本研究では一般端末が NTMobile 端末と通信接続性を確立する方法として NTMobile Proxy Server (NPS) を導入する。一般端末は NPS を介することにより、既存方式では接続できない NTMobile 端末に対して接続が可能となる。なお、NTMobile の実装では、トンネル状態を管理するテーブル(トンネルテーブル)はカーネルモジュールで保持されているが、シグナリング処理などはデーモンプログラムが実現している。また、トンネルが一定時間以上利用されない場合は、リソースを解放するためにトンネルを破棄する。一方、デーモンプログラムが新規のトンネル構

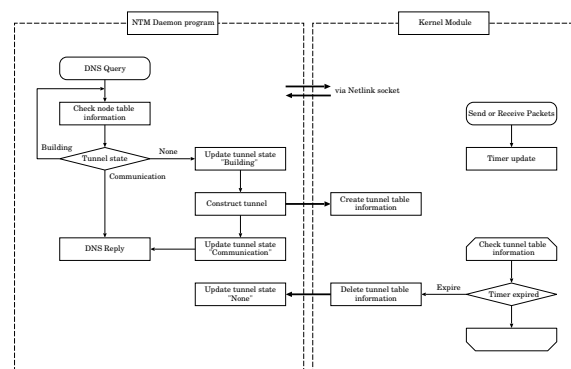


図 4 テーブル情報の同期処理

Fig. 4 Synchronization process of table information.

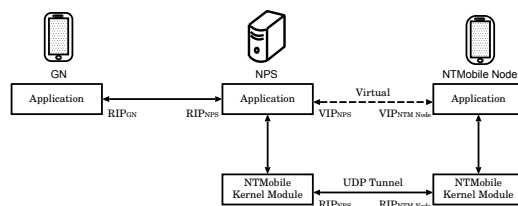


図 5 利用 IP アドレスの種類

Fig. 5 Type of used IP addresses.

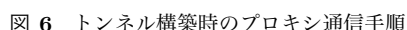
築が必要であるのかを判断するためには、トンネル状態の確認が必要となる。そのため、カーネルモジュールとデーモンプログラム間で、トンネル状態の共有が必要となる。この共有処理により、一定時間内にアプリケーションが同一トンネルを利用する場合は、新たなトンネル構築処理を行う必要がなく、通信開始の遅延も低減可能となる。

3.2 想定サービス

一般端末を想定した場合、NTMobile 端末への簡易なアクセス手段として、HTTP に基づいた通信を想定する。これは、多くの環境において Web ブラウザは標準で実装されており、多数の API が用意されているためである。そのため、NTMobile 端末上では Web サーバー機能が動作している状況を想定しており、センシングデータの確認・機器の操作などは Web サーバー上で動作する Web アプリケーションを利用することを想定する。なお、NPS は Web サーバーと Web クライアントの機能を併せ持つことにより、一般端末からの要求を NTMobile 端末に伝達する。

3.3 カーネルモジュールとデーモンプログラム間のテーブル情報の同期

図 4 にカーネルモジュールのトンネルテーブルとデーモンプログラムのノードテーブルの様子を示す。ノードテーブルの通信状態には“トンネル構築済み”、“構築中”、“無し”の 3 つの状態が定義されている。通信中であればトンネルを利用して直ちに通信を開始し、トンネル構築中の場合は一定時間待機後に再度通信状態を確認する。また、構



The diagram illustrates the network architecture of the proposed system, divided into three main sections: Any IP Network, Dual Stack Network, and IPv4 Network.

- Any IP Network:** Contains a GN (General Network) and an NPS (Network Policy Server).
- Dual Stack Network:** Contains a DCHTMS (Dual Stack Network) and a DCHTMM (Dual Stack Network) node.
- IPv4 Network:** Contains a NAT (Network Address Translation) node and an NTMobile Node.

The architecture is further divided into layers and components:

- Application Layer:** Shows the flow of requests and responses between the GN and the NPS.
- UDP Tunnel:** Connects the DCHTMS and the DCHTMM node.
- NTMobile Network:** A shaded area containing a stack of protocols: RIP, UDP, NTM, VIP, TCP, HTTP, DATA, and MAC.

図 7 トンネル再利用時のプロキシ通信手順

Fig. 7 Proxy communication process with a reused tunnel.

なお、トンネル構築後に通信の要求が新たに発生すると、ノードテーブルのトンネル状態を確認することで、利用可能な通信相手とのトンネルの有無を確認する。トンネルが構築済みの場合には直ちに通信を開始すると同時に、トンネルテーブルの保持時間を更新する。構築されていない場合にはトンネルを構築し、ノードテーブルの通信状態の更新とトンネルテーブルの保持時間の更新をする。トンネルの保持時間経過後には、トンネルテーブルを破棄すると同時にあらかじめ作成しておいた netlink ソケットを用いてデーモンプログラムにトンネルの破棄を送信し、デーモンプログラムはノードテーブルの通信状況の更新をする。

3.4 一般端末からの NTMobile 端末の探索

NTMobile では、通信相手の NTMobile 端末を探索するために DNS の枠組みを利用しているが、通信相手を管理する DC を探索後は、NTMobile 専用のメッセージを利用して、通信相手に関する情報を交換している。そのため、

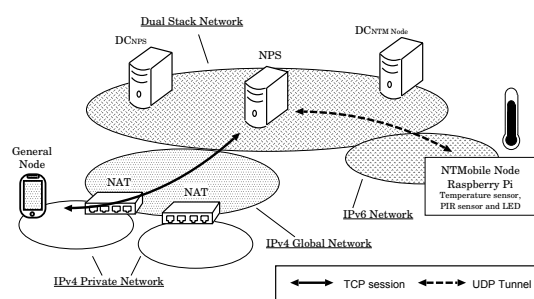


図 8 実験環境

Fig. 8 Experiment environment.

表 1 DC, NPS, Raspberry Pi の性能諸元

Table 1 Spec of DC, NPS and Raspberry Pi

	DC, NPS	Raspberry Pi
OS	Linux	Linux
Distribution	Ubuntu 12.04	Raspbian
Kernel version	kernel 3.2.0	Linux kernel 3.2.27
CPU	Pentium 4	ARM1176JZF-S
Clock	2.4 GHz	700 MHz
Memory	512 MB, 1 GB	512 MB

一般端末からの通信開始を想定した場合、NTMobile 端末を探索する手法が必要となる。

提案方式では、一般端末は直接 NTMobile 端末に通信を行う必要はなく、NTMobile 端末への中継に責任を持つ NPS への通信を行う必要がある。そこで、NPS を利用する NTMobile 端末の DC は NPS の IP アドレスを DNS の A および AAAA レコードとして登録を行う。上記情報が DNS 機能を持つ DC に登録されることにより、一般端末は通信先 NTMobile 端末の NPS を FQDN を用いて探索することが可能となる。

また、NPS では、各 FQDN に対応したサービスと呼び出すことにより、FQDN に対応した NTMobile 端末へのトンネルを確立し、一般端末からのメッセージの中継が可能となる。

4. 実装・評価

提案方式の有効性を評価するため、組み込みボード上に NTMobile の機能とセンサを実装し、一般端末からセンシングデータを確認するウェブアプリケーションを開発した。また、HTTP セッションにおける応答時間を測定した。応答時間の測定には、httping^{*1} を使用した。

4.1 實驗環境

図 8 にネットワーク構成を示す。また、表 1 に各装置の仕様を示す。実験では、通常の NTMobile と同様に、NT-Mobile 端末と NTMobile 端末を管理する DC および提案方式である NPS と NPS を管理する DC を実機上に構築

*1 <http://www.vanheusden.com/httping/>

表 2 端末間の RTT
Table 2 RTT of end-to-end

通信ペア	RTT [ms]		
	min	avg	max
GN - NPS	1.18	1.45	2.97
NPS - RPi	1.73	2.47	3.05
NPS - DCnps	0.60	0.81	1.98
RPi - DCrpi	1.345	2.19	2.67

表 3 実験結果
Table 3 Experimental result

通信ペア	トンネル	Response time [ms]		
		min	avg	max
GN → NPS		3.9	4.7	11.5
NPS → RPi		10.0	11.4	19.4
GN → NPS → RPi	無	136.1	154.5	206.3
GN → NPS → RPi	有	23.5	28.5	41.6

表 4 移動体通信の RTT
Table 4 RTT of mobile communication

通信ペア	RTT [ms]		
	min	avg	max
GN - VirtualServer(LTE)	38	70	207
GN - VirtualServer(3G)	88	115	342
GN - Yahoo(LTE)	30	69	210
GN - Yahoo(3G)	70	100	262

し、それぞれに IPv4 グローバルアドレスと IPv6 アドレスを割り当てた。NPS でプロキシするプロトコルとしては、HTTP を想定しており、NPS には NTMobile 端末の機能と Apache による Web サーバ機能を実装した。また、NPS 上に PHP を用いた一般端末向けの Web アプリケーションを準備した。なお、NPS は多数の NTMobile 端末のプロキシ機能を実現するため、一般端末からの通信を識別する必要がある。そこで、Apache の仮想サーバ機能を用いて、各一般端末からの通信を FQDN を用いて識別可能とした。

測定環境の特性を明らかにするために、各端末間の Round-Trip Time (RTT) を測定した。RTT の測定には ping を使用し、1 秒間隔で 64 バイトのパケットを 100 回送受信した。表 2 に測定した端末間の RTT を示す。

4.2 実験結果と考察

表 3 に httping を用いて測定した応答時間を示す。表 3 より、初回のトンネル構築処理には 120[ms] ほどの時間を要していることが確認できる。今回の実験では、遅延が小さい有線ネットワークで実施したが、現実のネットワークではより大きな遅延が有線ネットワークでも発生する。また、一般端末としてスマートフォンなどを想定した場合、3G や LTE などの無線ネットワークを経由することにな

る。表 4 はインターネット上の仮想サーバ、検索エンジンに対する RTT を示す。結果より、3G の場合で 100[ms] 程度、LTE の場合でも 50[ms] 程度と、有線ネットワーク以上に大きな遅延が発生する。そのため、NTMobile のトンネル構築に関わる遅延は、実環境を想定した場合には、大きなオーバーヘッドにはならないと考えられる。

5. まとめ

本稿では、NTMobile の新たな機能として、NTMobile Proxy Server を導入した。NPS は NTMobile の機能とプロキシ機能を実装しており、一般端末からの NTMobile 端末への中継を行うことが可能となる。実験では、HTTP を想定したウェブアプリケーションを開発することにより、HTTP ベースの通信を中継する機能を実装した。また、評価より、NPS 導入による通信オーバーヘッドは実環境においては大きな影響がないことを確認した。

謝辞 本研究の一部は科研費 (23700075, 26330103) の助成を受けたものである。記して謝意を表する。

参考文献

- [1] Centre, A. -P. N. I.: IPv4 exhaustion details. <http://www.apnic.net/community/ipv4-exhaustion/ipv4-exhaustion-details>.
- [2] Society, I.: IP Addressing Issues. <http://www.internetsociety.org/ip-addressing>.
- [3] Soliman, H.: Mobile IPv6 Support for Dual Stack Hosts and Routers, RFC 5555, IETF(2009).
- [4] Templin, F., Gleeson, T. and Thaler, D.: Intra-Site Automatic Tunnel Addressing Protocol (ISATAP). RFC 5214, IETF(2008).
- [5] Huitema, C.: Teredo : Tunneling IPv6 over UDP through Network Address Translations (NATs), RFC 4380, IETF(2006).
- [6] Townsley, W. and Troan, O.: IPv6 Rapid Deployment on IPv4 Infrastructures (6rd), RFC 5969, IETF(2010).
- [7] Tsirtsis, G. and Srisuresh, P.: Network Address Translation - Protocol Translation (NAT-PT), RFC 2766, IETF(2000).
- [8] Bangnulo, M., Matthews, P. and van Beijnum, I.: Stateful NAT64: Network Address and Protocol Translation from IPv6 Clients to IPv4 Servers, RFC 6146, IETF(2011).
- [9] 辻秀一, 澤本潤, 清尾克彦, 北上真二: M2M (Machine to Machine) 技術の動向, 電気学会論文誌 C, Vol. 133, No. 3, pp. 520-531, 2013.
- [10] 鈴木秀和, 上醉尾一真, 水谷智大, 西尾拓也, 内藤克浩, 渡邊晃: NTMobile における通信接続性の確立手法と実装, 情報処理学会論文誌, Vol. 54, No. 1, pp. 367-379, Jan.2013.
- [11] 内藤克浩, 上醉尾一真, 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, 情報処理学会論文誌, Vol. 54, No. 1, pp. 380-393, Jan.2013.
- [12] 鈴木秀和, 上醉尾一真, 納堂博史, 西尾拓也, 内藤克浩, 渡邊晃: IPv4/IPv6 混在ネットワークにおいて通信接続性と移動透過性を実現する NTMobile の研究, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2012) シンポジウム論文集, pp. 2391-2401, Jul.2012.
- [13] 上醉尾一真, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊晃: IPv4/IPv6 混

在環境で移動透過性を実現する NTMobile の実装と評価, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICO2012) シンポジウム論文集, pp. 1169–1179, Jul.2012.

- [14] 土井敏樹, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊晃: NTMobile におけるアドレス変換方リレーサーバの実装と動作検証, 情報処理学会研究報告, 2013-MBL-67, No. 11, pp. 1–6, Sep.2013.