Vol.2012-MBL-61 No.33
Vol.2012-UBI-33 No.33
2012/3/12

NTMobileの経路最適化の検討

納堂博史[†1]　鈴木秀和[†1]
内藤克浩[†2]　渡邊晃[†1]

モバイルネットワークの普及により，どのようなネットワーク環境においても通信の開始が可能な通信接続性と，通信しながら移動が可能な移動透過性が求められている．我々は，通信接続性と移動透過性を同時に実現する NTMobile（Network Traversal with Mobility）を提案している．NTMobile では通信を行う両エンド端末が共に IPv4 の NAT 配下に存在する場合には，リレーサーバを経由する通信経路を構築する．IPv4 ネットワークでは，端末は NAT 配下に存在することが多いため，中継機器の負荷増大，及び冗長な経路によるスループットの低下が生ずる．そこで，本稿では NTMobile において，両エンド端末が NAT 配下に存在していても，端末間で直接通信可能であれば直接通信を行う手法を提案する．提案方式を Linux に実装し，経路の最適化によりスループットが向上することを確認した．

Researches for Route Optimization of NTMobile

Hiroshi Nodo,[†1] Hidekazu Suzuki,[†1]
Katsuhiro Naito[†2] and Akira Watanabe[†1]

With the spread of mobile networks, communication transparency and mobility become quite important matters. We have been proposing NTMobile (Network Traversal with Mobility) that can achieve communication transparency and mobility at the same time. However, in NTMobile, if both end terminals exist behind NATs, they definitely create the route via Relay Server, which impose excessive loads on Relay Servers and networks. In this paper, we propose route optimization method in NTMobile if there exists the optimized route. We have implemented the proposed system and confirmed its effectiveness.

†1 名城大学理工学部
Faculty of Science and Technology, Meijo University
†2 三重大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Mie University

1. はじめに

高速無線技術の発展とスマートフォンをはじめとする携帯端末の普及により，携帯端末からインターネットへの接続が増加している．しかし，IP ネットワークは移動端末を考慮していないため，移動しながら通信を継続することができない．この問題を解決するための技術を移動透過性と呼び，これまでに様々な研究が行われてきた[1)]．一方，IPv4 ネットワークでは，組織のネットワークをプライベートアドレスで実現し，インターネットとの接続に NAT（Network Address Translation）を利用するのが一般的である．NAT を介する通信の場合，NAT の外側から通信を開始できない問題があり，NAT 越え問題と呼ばれている．このため，IPv4 ネットワークの移動透過性の実現には，NAT 越え問題の解決も同時に実現する必要がある．

IPv4 ネットワークで移動透過性を実現する技術として Mobile IPv4[2)]，MATv4[3)]，Mobile PPCv4[4)] などが提案されている．Mobile IPv4 では通信パケットが HA（Home Agent）を常に経由する冗長な経路になるという課題がある．MATv4 は NAT 配下の端末へのパケット到達性を確保できず，NAT 越えができないという課題がある．Mobile PPCv4 はこれらの課題を解決しているものの，NAT 越えのためには特殊な NAT を必要とするといった課題がある．

NAT 越えを実現する技術として STUN[5)]，TURN[6)]，ICE[7),8)]，NAT-f[9)] などが提案されている．STUN，TURN，ICE は NAT に改造を加えずに NAT 越えを実現する技術であるが，アプリケーションがこの技術に対応している必要がある．NAT-f は，外部ノードが NAT とネゴシエーションを行うことにより，NAT にマッピング処理を行わせることで NAT 越えを実現することができる．しかし，通信ノードと NAT が NAT-f に対応している必要がある．これらの技術はいずれも端末の移動を考慮していないため，移動透過性を実現することができない．

移動透過性と NAT 越えを同時に実現する技術として，Mobile IP を拡張した方式[10),11)] や Mobile PPC を拡張した方式[12),13)] などが提案されている．Mobile IP を拡張した方式では，通信パケットが HA を常に経由する冗長な通信となってしまったり，特殊な NAT 配下でしか移動透過性が実現できないといった課題がある．Mobile PPC を拡張した方式では，経路冗長は発生しないものの，やはり特殊な NAT 配下でないと移動透過性が実現でき

© 2012 Information Processing Society of Japan

Vol.2012-MBL-61 No.33
Vol.2012-UBI-33 No.33
2012/3/12

ない．

我々は，あらゆるネットワーク環境での通信接続性と移動透過性を同時に実現する技術として，NTMobile（Network Traversal with Mobility）[14)–16)] を提案している．NTMobile は IPv4/IPv6 を包含した技術であるが，本資料では NTMobile の NAT 越え技術に着目して議論を進める．NTMobile では端末のアプリケーションは仮想 IP アドレスで通信を識別し，実際の通信は実 IP アドレスでカプセル化する．そのため，アプリケーションは NAT の存在や移動に伴う実 IP アドレスの変化を意識する必要がない．

NTMobile では，端末を管理する Direction Coordinator（DC）が端末に対して端末の位置に応じた UDP トンネルの構築を指示する．しかし，両方の端末が NAT 配下に存在する場合に，DC は NAT 配下のネットワーク構成を把握することができない．また，NAT の種別の判別もできないため，通信の中継を行う Relay Server（RS）を経由する冗長な経路を指示せざるを得ない．IPv4 ネットワークでは端末が NAT 配下に存在することが多いため，RS の負荷増大や冗長な経路によるスループットの低下が生ずる．

本稿では，NTMobile において，通信を行う両端末が NAT 配下に存在する場合に，直接通信可能と判断した場合に経路を最適化する手法を提案する．DC からの指示により RS を経由する通信経路が構築された後，互いに通信相手ノードに制御パケットを投げ合うことで直接通信可能かどうかを判断する．直接通信可能である場合には直接通信経路に経路を最適化する．直接通信が不可能な場合には，RS を経由する通信が継続される．提案方式を Linux に実装し，動作確認及び性能測定を行い，経路最適化の効果を確認した．

以下，2 章でこれまでの NTMobile の概要，3 章で経路最適化の手法，4 章で実装方法とプロトタイプシステムの動作結果を示し，5 章でまとめる．

2. NTMobile

本章では，提案方式の基礎技術となる NTMobile について説明する．

2.1 NTMobile の構成

図 1 に NTMobile の構成を示す．NTMobile では，NTMobile の機能を有する端末（NTM 端末），仮想 IP アドレスの管理や NTM 端末に対して経路構築の指示を出す DC，NTM 端末同士が直接通信できない場合に通信を中継する RS から構成される．DC 同士，DC と RS 間，及び NTM 端末と DC 間は信頼関係があることを前提とする．

各 NTM 端末は起動時に DC に実 IP アドレスを登録するとともに仮想 IP アドレスを割り当てられる．NTM 端末のアプリケーションは仮想 IP アドレスを用いて通信を確立する．

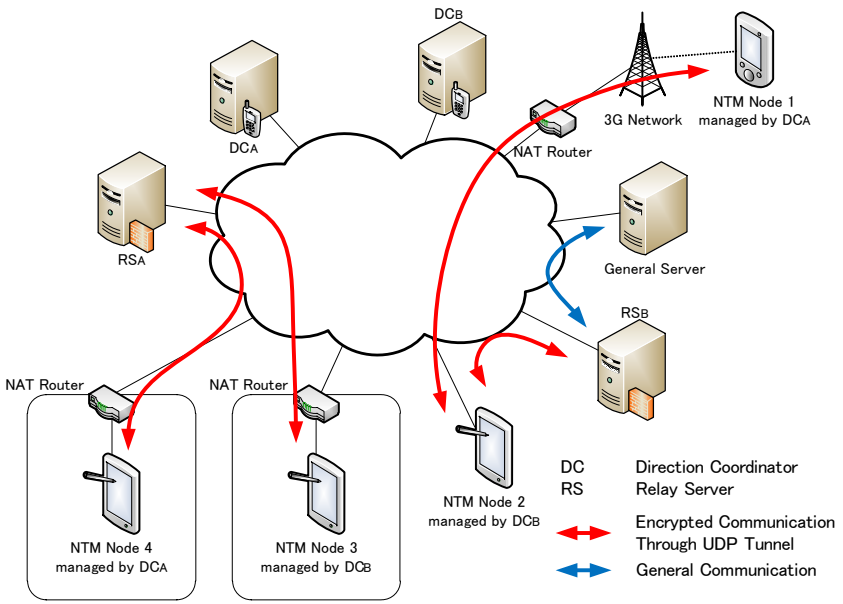


図 1 NTMobile の構成
Fig. 1 Overview of NTMobile system.

また，NTM 端末は仮想 IP アドレスで生成された IP パケットをカーネル空間において実 IP アドレスを用いて UDP でカプセル化する．この方法により，NTM 端末が移動して実 IP アドレスが変化しても仮想 IP アドレスは変化しないため，移動透過性を実現できる．このとき，移動前後の通信経路上に NAT が存在しても構わない．

DC は複数設置可能であり，それぞれの DC には予め異なる仮想 IP アドレス帯域を割り当てる．各 DC は割り当てられた帯域内で，重複しないように自身が管理する NTM 端末に仮想 IP アドレスを割り当てる．また，DC は Dynamic DNS の機能を内包しており，NTM 端末のアドレス情報は Dynamic DNS の A レコード，及び NTMobile 専用レコードとして登録及び更新がなされる．これにより，通信相手の情報は NTM 端末のプライマリ DNS 経由で問い合わせができる．なお，NTMobile 専用レコードには NTM 端末の FQDN[⋆1]，実

⋆1 Fully Qualitied Domain Name

© 2012 Information Processing Society of Japan

Vol.2012-MBL-61 No.33
Vol.2012-UBI-33 No.33
2012/3/12

IP アドレス，仮想 IP アドレス，NAT の外側の実 IP アドレス，DC の実 IP アドレス，及び NTM 端末を一意に識別する Node ID が格納されている．

RS は，通信を行う NTM 端末がそれぞれ異なる NAT 配下の場合，または通信相手が NTMobile の機能を有さない一般端末の場合に通信の中継を行う．前者の場合，RS はそれぞれの NTM 端末とトンネルを構築し，トンネルを通して送受信されるパケットを中継する．後者の場合，RS と NTM 端末間でトンネルを構築し，RS が自身の IP アドレスを用いて一般端末と通信を確立する．これにより，一般端末は通信相手を RS と認識する．このため，通信相手が一般端末の場合であっても NTM 端末は移動が可能である．

2.2 動作シーケンス

以後の説明では，通信開始側の NTM 端末を MN（Mobile Node），通信相手側の NTM 端末を CN（Correspondent Node），MN を管理する DC を DC_{MN}，CN を管理する DC を DC_{CN} とする．また，MN の Node ID を NID_{MN}，MN の実 IP アドレスと仮想 IP アドレスをそれぞれ RIP_{MN}，VIP_{MN} とする．CN も同様に，Node ID を NID_{CN}，実 IP アドレスを RIP_{CN}，仮想 IP アドレスを VIP_{CN} とする．

2.2.1 位置情報登録

MN は，ネットワークに接続するときに自身の実 IP アドレスなどの情報を DC_{MN} に登録するため，Registration Request を DC_{MN} に送信する[16]．Registration Request には位置情報として NID_{MN}，RIP_{MN}，VIP_{MN}，及び MN の FQDN が含まれる．DC_{MN} は Registration Request を受信したとき，送信元アドレスを確認することで MN が NAT 配下に存在する場合には NAT ルータの IP アドレスを取得する．これらの情報は DC が包含する Dynamic DNS に NTMobile レコードとして登録される．登録終了後，MN に仮想 IP アドレスを通知する Registration Response を返送する．なお，DC_{MN} の IP アドレスは MN が自身の FQDN を用いて NTMobile レコードの問い合わせを行うことで取得できる．これらの処理は端末の移動時にも実行される．

2.2.2 名 前 解 決

MN は CN と通信を開始するとき，CN の名前解決の為にプライマリ DNS に対して A レコードの問い合わせを行う．MN はこれに対する DNS 応答をカーネルでフックして一時的に退避させ，プライマリ DNS 経由で CN の NTMobile 専用レコードを問い合わせる．これにより，MN は CN の NTMobile 専用レコードの情報を取得する．

2.2.3 トンネル構築

図 2 にトンネル構築シーケンスの例を示す．図 2 は，MN と CN がそれぞれ異なる NAT

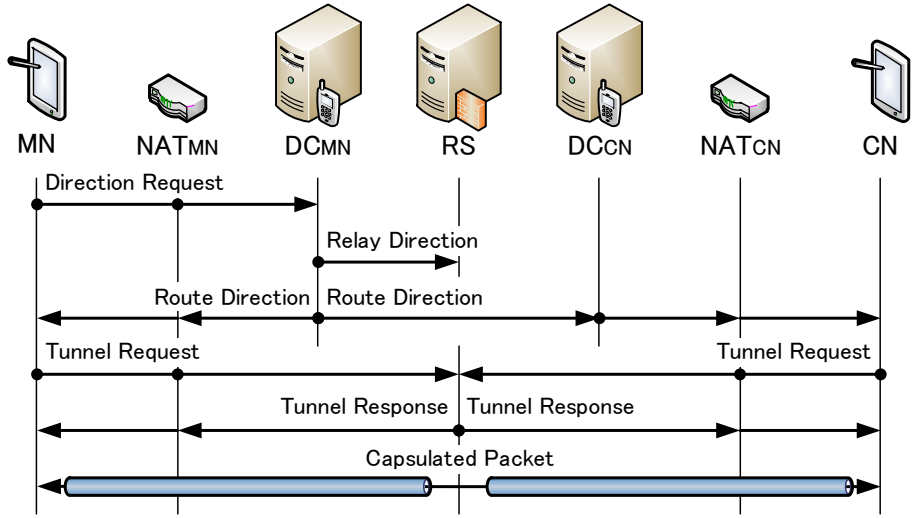


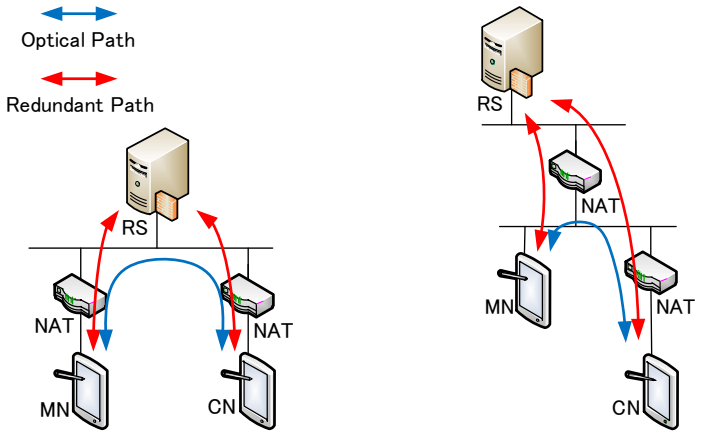
図 2 トンネル構築の動作シーケンス
Fig. 2 Sequence of Tunnel establishment.

配下に存在する場合の例である．MN は DC_{MN} に対して経路指示要求として Direction Request を送信する．Direction Request には MN と CN の NTMobile 専用レコードが含まれている．DC_{MN} はこれら情報を元に MN と CN の位置を判断し，トンネル構築の指示内容を決定する．図 2 の例では，MN と CN が NAT 配下に存在するので，RS を経由する通信を行うべきと判断する．DC_{MN} は MN と CN に RS とのトンネル構築を指示する Route Direction を送信する．また，RS に対してパケットの中継を指示する Relay Direction を送信する．CN に送信する Route Direction は DC_{CN} を経由させる．CN は DC_{CN} と常に経路を確立しているため Route Direction の中継が可能である．

MN と CN は Route Direction を受信すると，RS とのトンネルを構築するため，それぞれ RS に対して Tunnel Request を送信する．Tunnel Request によって NAT_{MN} 及び NAT_{CN} の NAT テーブルにそれぞれ RS との通信用のエントリが生成される．Tunnel Request を受信した RS は Tunnel Response を返信し，トンネル構築が完了する．MN は Tunnel Response を受信すると，退避させていた DNS 応答に記載されている RIP_{CN} の値を VIP_{CN} に書き換え，DNS リゾルバに渡す．これにより，MN のアプリケーションは CN の IP ア

© 2012 Information Processing Society of Japan

Vol.2012-MBL-61 No.33
Vol.2012-UBI-33 No.33
2012/3/12



(a) 構成 1　　(b) 構成 2

図 3　冗長な通信経路となるネットワーク構成
Fig. 3　Network configuration of redundant communication paths.

ドレスを VIP_{CN} と認識して通信を開始する．

なお，NTMobile を構成する機器間で送受信される制御メッセージ及びカプセル化されるアプリケーションパケットには暗号化と認証が施され，第 3 者による盗聴の防止や改竄の検出が可能である．

2.3　通信経路の冗長問題

通信経路が冗長となるケースとして，以下の 2 通りがある．**図 3(a)** に構成 1 として MN と CN がそれぞれ異なる NAT 配下に存在する場合，**図 3(b)** に構成 2 として MN と CN が同一 NAT 配下に存在する場合の例を示す．

(1)　構成 1 の場合

MN と CN がそれぞれ異なる NAT 配下に存在する場合，DC は確実に経路を生成するため，RS 経由の通信経路を指示する．しかし，NAT の種類によっては青色で示すように RS を経由せずに通信できる場合がある．

(2)　構成 2 の場合

MN と CN が同一 NAT 配下に存在する場合，図 3(b) のように多段 NAT を考慮すると，DC は NAT 配下の構成がわからないため，正しい経路指示を行うことができない．そこで，

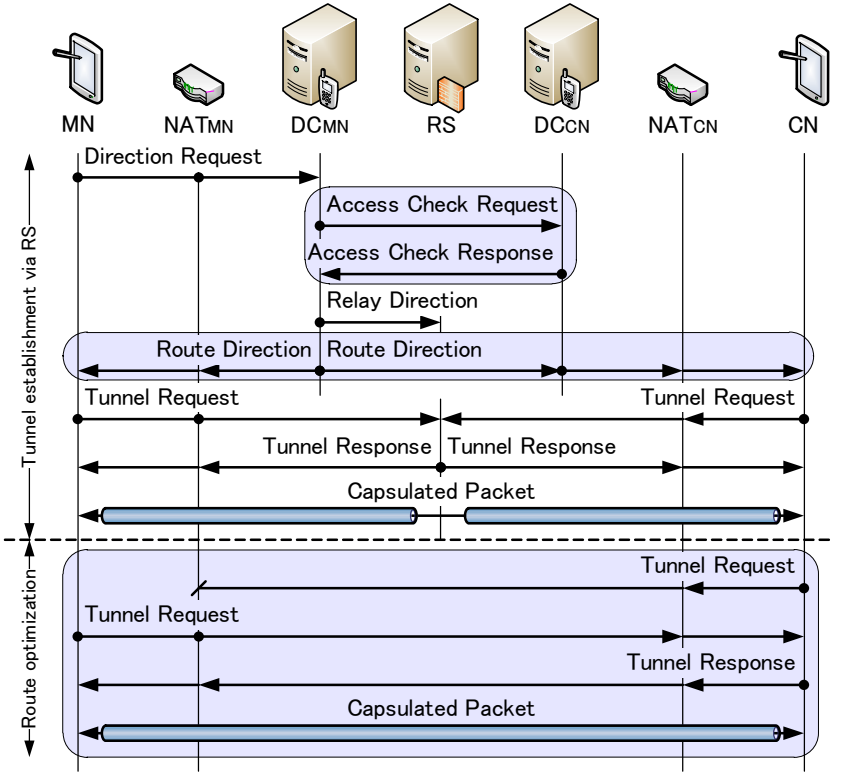


図 4　経路最適化の動作シーケンス
Fig. 4　Sequence of Route Optimization for NTMobile.

確実に経路を生成するため，RS 経由の通信経路を指示せざるを得ない．しかし，実際には青色で示すような最適経路が存在する．

3.　NTMobile の経路最適化

本提案では最初に DC の指示通りに RS 経由の通信経路を構築し，RS 経由の通信を行いながら最適経路が存在するかどうかを判断し，存在すればトンネル経路を切り替える．最適経路の有無の判断には MN と CN が互いに制御パケットを投げ合うことで判断し，このパケットを受信できた時点で経路を更新する．仮に制御パケットに到達性がない場合でも，

© 2012 Information Processing Society of Japan

Vol.2012-MBL-61 No.33
Vol.2012-UBI-33 No.33
2012/3/12

既に RS 経由の経路が構築されているため，そのまま通信は継続される．

図 4 に経路最適化の動作シーケンスを示す．経路最適化の動作は，NTMobile の基本動作に追加処理を行わせることにより実現する．図 4 は，構成 1 の場合のシーケンスであるが，構成 2 においても全く同様の方法を適用できる．網掛け部分が経路最適化のために追加・修正されたシーケンスである．Access Check Request/Access Check Response は NTMobile にアクセス制御を適用する場合に追加されるシーケンスである．DC_{CN} は Access Check Request を受信すると，CN に対してのアクセス可否を Access Check Response に格納して DC_{MN} に返送する．このとき，DC_{CN} は CN と常に通信を行っているため，NAT_{CN} のポート番号情報を保持している．また，DC_{MN} は同様に NAT_{MN} のポート番号情報を保持しているため，Access Check Response を受信することで NAT_{MN} と NAT_{CN} の両方のポート番号を取得することができる．そこで，DC_{MN} は MN 宛ての Route Direction に NAT_{CN} のポート番号を，CN 宛ての Route Direction には NAT_{MN} のポート番号を追加情報として格納して送信する．Route Direction を受信した MN と CN は，これまで通り指示に従って RS との経路を構築し，カプセル化通信を開始する．ここで，MN と CN は互いに Tunnel Request を通信相手の NAT の外側のアドレスに向けて送信を試みる．NAT が Cone 型 NAT[⋆1]であればパケットはそのまま NAT を通過してエンド端末に届くので，経路最適化が可能であることがわかる．ここで，構成 2 に示すような MN と CN が互いに同一 NAT 配下に存在する場合には，Tunnel Request は相手 NTM 端末の実 IP アドレスの 4330 番ポート[⋆2]宛てに送信を試みる．

NTMobile は移動時にも同様のトンネル構築シーケンスが実行されるため，移動後にも経路最適化処理が実行される．

4. 実装と評価

NTMobile は Linux において動作が検証されている．そこで，検証済みのモジュールに以下に示す改造を施した．

4.1 各機器のモジュール構成

図 5 に NTMobile を構成する各機器のモジュール構成を示す．

- Direction Coordinator

DC はユーザ空間で動作する NTMobile デーモンと NTMobile 専用レコードを扱うことのできる DNS サーバ（BIND）で構成される．NTMobile デーモンには NTM 端末を管理するノードテーブル[⋆3]があり，自身の管理する端末の情報が格納されている．このテーブルには経路最適化で用いる NAT のポート番号情報が格納されており，アクセス管理モジュールを実装し，テーブルを参照してポート番号を取得するよう実装を行った．アクセス管理モジュールは Access Check Request によりアクセスチェックを行い，同時にノードテーブルから NAT のポート番号情報を取得し Access Check Response に格納する．

- Relay Server

RS はユーザ空間で動作する NTMobile デーモンで構成される．NTMobile デーモンは DC からの中継指示の処理や NTM 端末とのトンネル構築を行う．RS はパケットの転送に必要な情報をリレーテーブルに保持している．このテーブルには 2 つの NTM 端末の情報が格納されており，カプセル化されたパケットを受信するとテーブルを参照して対となる端末に転送する．

- NTM 端末

NTM 端末はユーザ空間で動作する NTMobile デーモンとカーネル空間で動作する NTMobile カーネルモジュールで構成される．NTMobile デーモンは NTM 端末のアドレス確認及びトンネル構築を行い，カーネルモジュールでパケットのカプセル化/デカプセル化及び暗号化処理を行う．NTMobile デーモンには新たに経路最適化モジュールを実装し，経路最適化のパケットの送受信やトンネルテーブルの操作を行うようにした．トンネル構築モジュールには RS との経路構築後経路最適化モジュールを呼び出すように処理を追加した．通信開始側端末の場合，経路最適化モジュールが呼び出されると即座に処理をトンネル構築モジュールに戻し，DNS リゾルバに仮想 IP アドレスを通知する．この後，トンネル構築モジュールは経路最適化モジュールの終了を待つ．経路最適化処理はアプリケーションの通信と並行して実行され，経路最適化が終了するか，Tunnel Request を 3 回送信しても応答がない場合に最適化ができなかったものと判断して処理を終了する．なお，通信を受ける側の端末の場合，DNS リゾルバに仮想 IP アドレスを通知する必要がないので，経路最適化モジュールは経路最適化処理が終了するまでトンネル構築モジュールに処理を返さない．

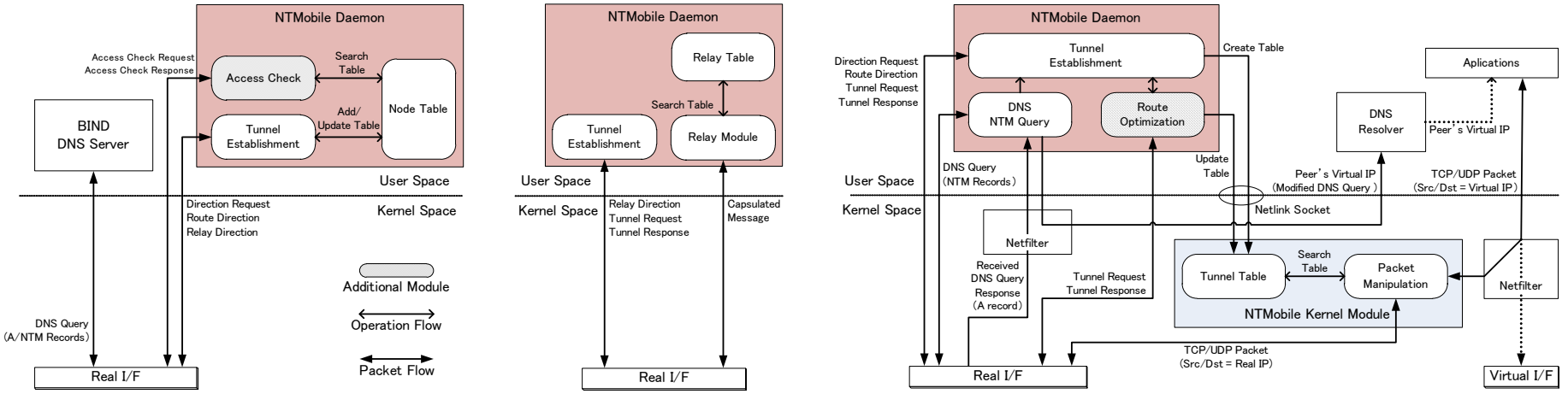
4.2 性 能 評 価

経路を最適化することによる通信性能の向上を評価するため，構成 1，構成 2 にてプロト

⋆1 LAN 内の端末と NAT のポートが 1 対 1 でマッピングされる NAT
⋆2 NTMobile で利用するポート番号
⋆3 DC が保持する NTM 端末の情報が格納されたテーブル

© 2012 Information Processing Society of Japan

Vol.2012-MBL-61 No.33
Vol.2012-UBI-33 No.33
2012/3/12



(a) Direction Coordinator　(b) Relay Server　(c) NTMobile Node

図 5　NTMobile のモジュール構成
Fig. 5　Module configuration of NTMobile system.

タイプシステムによる動作テストを行った．**図 6** に試験ネットワーク構成を，**表 1** に各装置の仕様を示す．試験ネットワークは構成 2 で NAT が 1 つだけのケースとした．本評価では，有線 LAN を用いて FTP のバルク転送を実施した．測定は MN から CN に転送を 10 回行い，その平均値を取得した．スループットは 1GB のダミーデータの転送に要した時間より算出し，経路最適化に要した時間は経路最適化モジュールが呼び出されてから終了するまでの時間とする．なお，制御メッセージ及びアプリケーションパケットの暗号化及び認証アルゴリズムは AEC-CBC，HMAC-MD5 とし，DC-NTM 端末間で用いられる共通鍵（鍵長 128bit）を事前にそれぞれ MN と DC_{MN}，CN と DC_{CN} に設定した．

表 2 に実際に経路最適化を動作させたときのスループット，経路最適化に要した時間，及び経路最適化を動作させなかったときのスループットを示す．表 2 より，経路最適化によりスループットが約 2 倍となっており，その効果は明らかである．試験ネットワークは閉じたネットワークであるため，ネットワーク遅延はほとんど発生しない．このため，スループットの差は RS の処理時間が大きく関与している．プロトタイプシステムの RS は全ての処理をユーザ空間に実装しており，余分なメモリコピーなどの処理が発生している．RS の転送処理はカーネルモジュールとして実装することを想定しており，経路最適化を動作させなかったときのスループットは今回の結果よりも高いことが期待できる．

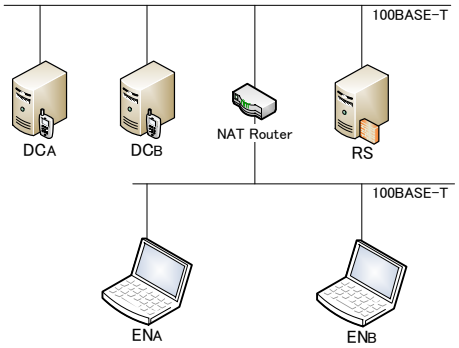


図 6　試験ネットワーク構成
Fig. 6　Test network configuration.

経路最適化に要する時間はプロトタイプシステムにおいて平均 3.94ms であった．NTMobile がトンネルを構築するのに要する時間は約 20ms[15] であるので，経路最適化に要する

© 2012 Information Processing Society of Japan

Vol.2012-MBL-61 No.33
Vol.2012-UBI-33 No.33
2012/3/12

表 1 試験装置の仕様
Table 1 Specifition of test devices.

Device	OS	CPU	Memory
DCA	Ubuntu 10.04	Core 2 Duo P9400(2.4GHz)	1.9GB
DCB	Ubuntu 10.04	Core 2 Duo P9400(2.4GHz)	1.9GB
RS	Ubuntu 10.04	Core 2 Duo E6600(2.4GHz)	2.0GB
ENA	Ubuntu 10.04	Core 2 Duo U9400(1.4GHz)	1.8GB
ENB	Ubuntu 10.04	Core 2 Duo U9400(1.4GHz)	1.8GB

表 2 経路最適化に要する時間とスループット測定結果
Table 2 The time required for the route optimization and throughput measurements.

経路最適化に要する時間	経路最適化時のスループット	RS 経由時のスループット
3.94ms	10.83MB/s	5.02MB/s

時間は十分短いと言える．

CN が MN に対して FTP リクエストを要求する際のパケットフローを MN 及び CN にて観測した結果を**図 7** に示す．MN と CN が RS とのトンネルを構築した後，MN が CN から Tunnel Request を受信した．CN は Tunnel Request を受信するとトンネル経路を更新するが，SYN はトンネル経路の更新処理が完了する前に RS 経由で送信された．これと並行して，CN は MN に対して Tunnel Request を送信した．また，トンネル経路を更新後，受信した Tunnel Request に対する Tunnel Response の返送を行った．MN は SYN を受信する前に CN から Tunnel Request を受信し，Tunnel Response を返送した．この時点でトンネル経路が更新されるため，RS 経由で受信した SYN に対して，SYN/ACK は最適経路で送信された．MN と CN で経路が最適化されているため，以降のパケットは全て直接送受信された．これは，経路最適化が 3 ウェイハンドシェイク中に完了していることを示している．3 ウェイハンドシェイクは通信端末間で 1 ステップずつ実行されるので，パケット追い越しは発生しない．これより，FTP データは全て最適経路で送受信され，パケット追い越しによるスループットの低下も発生していないことがわかる．

5. ま と め

本稿では，通信を行う両 NTM 端末が NAT 配下に存在する場合に RS を経由しない最適経路を生成する方式について提案を行った．提案方式では，両 NTM 端末が互いにパケットを送信し合うことでパケット到達性を調べ，パケット到達性がある場合には RS を経由しない最適な通信経路を構築できることを示した．本提案では，必ず中継通信経路を構築してから経路の最適化を行うため，経路の最適化ができない場合においても通信を継続可能である．提案方式のプロトタイプシステムにおいて，経路を最適化することによりスループットが向上することを確認した．

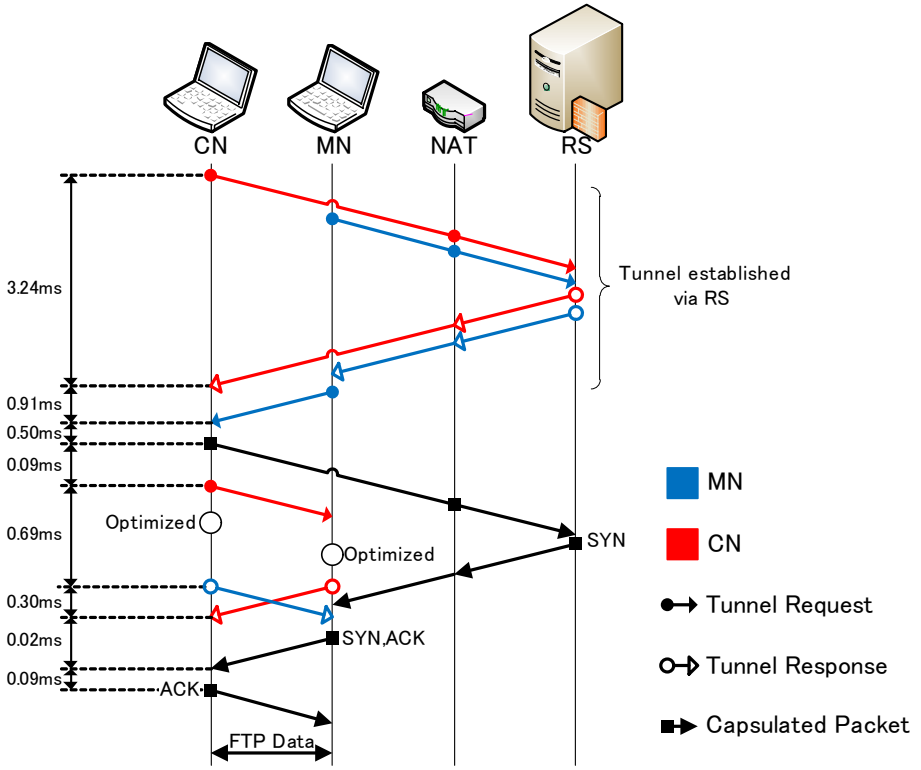


図 7 経路最適化のパケットフロー
Fig. 7 Packet flow of Route Optimization.

今後は，移動時の経路最適化に用いるポート番号情報交換の仕様策定を行う．また，RS の転送処理をカーネル空間に実装した場合や，通信を行う NTM 端末がそれぞれ異なる NAT 配下に存在する場合の経路最適化の性能評価を行う予定である．

© 2012 Information Processing Society of Japan

Vol.2012-MBL-61 No.33
Vol.2012-UBI-33 No.33
2012/3/12

参 考 文 献

1) Le, D., Fu, X. and Hogrefe, D.: A review of mobility support paradigms for the internet, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol.8, No.1, pp.38–51 (2006).
2) Perkins, C.: IP Mobility Support for IPv4, Revised, RFC 5944, IETF (2010).
3) 関 顕生，岩田裕貴，森廣勇人，前田香織， 近堂徹，岸場清悟，西村浩二，相原玲二：IPv4 拡張した移動透過通信アーキテクチャMAT の設計と性能評価，情報処理学会論文誌，Vol.52, No.3, pp.1323–1333 (2011).
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, No.12, pp.3244–3257 (2006).
5) Rosenberg, J., Mahy, R., Matthews, P. and Wing, D.: Session Traversal Utilities for NAT (STUN), RFC 5389, IETF (2008).
6) Mahy, R., Matthews, P. and Rosenberg, J.: Traversal Using Relays around NAT (TURN): Relay Extensions to Session Traversal Utilities for NAT (STUN), RFC 5766, IETF (2010).
7) Rosenberg, J.: Interactive Connectivity Establishment (ICE): A Protocol for Network Address Translator (NAT) Traversal for Offer/Answer Protocols, RFC 5245, IETF (2010).
8) Westerlund, M. and Perkins, C.: IANA Registry for Interactive Connectivity Establishment (ICE) Options, RFC 6336, IETF (2011).
9) 鈴木秀和，宇佐見庄五，渡邊 晃：外部動的マッピングにより NAT 越え通信を実現する NAT-f の提案と実装，情報処理学会論文誌，Vol.48, No.12, pp.3949–3961 (2007).
10) Montenegro, G.: Reverse Tunneling for Mobile IP, revised, RFC 3024, IETF (2001).
11) Levkowetz, H. and Vaarala, S.: Mobile IP Traversal of Network Address Translation (NAT) Devices, RFC 3519, IETF (2003).
12) 鈴木秀和，渡邊 晃：プライベートネットワーク内のノードを通信相手とした移動透過性の実現方式，電子情報通信学会論文誌. B， Vol.J92-B, No.1, pp.109–121 (2009).
13) 水谷智大，鈴木秀和，渡邊 晃：移動透過性を考慮した NAT 越え通信の提案，情報処理学会研究報告，Vol.2009-MBL-51, No.3, pp.1–6 (2009).
14) 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，DICOMO2011 論文集，Vol.2011, pp.1349–1359 (2011).
15) 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，DICOMO2011 論文集，Vol.2011, pp.1339–1348 (2011).
16) 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，DICOMO2011 論文集，Vol.2011, pp.1139–1145 (2011).

© 2012 Information Processing Society of Japan