

NTMobileにおける 仮想 IP アドレス管理手法の提案と評価

143430004 加古 将規
渡邊研究室

1. はじめに

モバイルネットワークの普及によって、自由に通信を開始できる通信接続性とネットワークを切り替えても通信を継続できる移動透過性が求められている。IPv4 ネットワークでは、グローバル IP アドレスの枯渇が深刻な問題となっており、NAT 配下にプライベートアドレスのネットワークを構築し、IP アドレスを節約するのが一般的となっている。しかし、グローバルネットワーク側からプライベートネットワークに対して通信を開始することができないという通信接続性の課題が生じている。また、通信中にネットワークを切り替えると IP アドレスが変化してしまい、通信を継続することができない。我々は移動透過性と通信接続性を同時に実現する技術として、NTMobile (Network Traversal with Mobility) を提案している [1]。NTMobile では、NTMobile の機能を実装した端末に対して一意な仮想 IPv4 アドレスを割り当てるが、仮想 IPv4 アドレスとして利用できるアドレス帯域が小さいという課題があった。

そこで、本稿では NTMobile の特徴を利用した仮想 IPv4 アドレス管理手法を提案し、NTMobile の仮想 IP アドレスに係る課題を解決する。

2. NTMobile の概要

NTMobile は、NTMobile を実装した NTM 端末、通信経路を指示する DC (Direction Coordinator)、エンドエンドでの通信が行えない場合にパケットの中継を行う RS (Relay Server) によって構成される。DC および RS は、グローバルネットワークに設置し、ネットワークの規模に応じて複数台設置することができる。

NTMobile は、NAT 配下の NTM 端末は DC に対して定期的に Keep Alive を行うことで DC との通信経路を確保し、NAT が導入されたプライベートネットワークにおいても DC からの経路指示を受けることができ、NAT 越え問題を解決できる。端末どうしが直接通信を行えない場合は、RS 経由の通信を行うが、その場合であっても複数の RS の中から 1 つを選択し、冗長経路の少ない経路を生成できる。また、NTM 端末に対して位置に依存しない仮想 IP アドレスを割り当て、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。仮想 IP アドレスは常に変化しないため、通信中に端末がネットワークを切り替えた場合でも、アプリケーションや通信相手に対して IP アドレスの変化を隠蔽し、移動透過性を実現することができる。

NTMobile の仮想 IP アドレスは、実 IP アドレスと重複することを防ぐために DC が実ネットワークで利用されないアドレス帯域から選択し、NTM 端末に割り当てる。しかし、IPv4 ネットワークにおいて仮想 IP アドレスとして利用できる帯域が小さく、結果的に NTMobile を利用できる端末が少なくなってしまうという課題があった。

3. 提案手法

NTMobile では仮想 IP アドレスを通信識別子として利用しているため、このアドレス帯域が小さいと、NTMobile の端末数を制限してしまう。提案手法では、仮想 IP アドレスから通信識別子の役割を取り除き、Path ID と呼ぶ通

信識別子を用いて NTMobile の通信を一意に識別する。通信中は NTM 端末が Path ID に基づいた仮想 IP アドレスの変換を行うことにより通信を実現する。

上記の手法により、NTMobile 上の通信を Path ID のみで識別できるようになり、端末内で自由に仮想 IPv4 アドレスを利用することが可能となる。また、従来は DC から仮想 IPv4 アドレスの割り当てを行っていたが、提案手法ではそれを行わず、NTM 端末がそれぞれ自律的に仮想 IPv4 アドレスを管理する点が異なる。

3.1 端末起動時

NTM 端末は端末起動時、DC へ自端末の実 IP アドレスの登録を行う。NTM 端末は DC から確認の応答を受信すると、自端末用の仮想 IPv4 アドレスを自律的に生成し、自端末の IPv4 アドレスとしてアプリケーションに認識させる。

3.2 通信開始時

NTM 端末は通信開始時に DC に通信相手の名前解決を依頼し、DC から通信経路の指示を受ける。このとき、通信開始側の NTM 端末は端末内部で通信相手用の仮想 IPv4 アドレスを自律的に生成し、アプリケーションに認識させる。仮想 IPv4 アドレスは、Path ID に関連付けて NTM 端末のトンネルテーブルに登録する。Path ID とは通信開始時に DC から指定される情報で、NTMobile の通信を一意に識別できる通信識別子である。

3.3 トンネル通信時

図 1 に NTM 端末間のトンネル通信による IP アドレスの遷移を示す。MN のアプリケーションは、自身の仮想 IPv4 アドレスを VIP_{4MN} 、CN の仮想 IPv4 アドレスを VIP_{4A} として認識している。また、CN のアプリケーションは、自身の仮想 IPv4 アドレスを VIP_{4CN} 、MN の仮想 IPv4 アドレスを VIP_{4B} として認識している。

MN のアプリケーションは CN へパケットを送信する際、仮想 IPv4 アドレスが記載された仮想 IP パケット (送信元: VIP_{4MN} 、宛先: VIP_{4A}) を生成する。MN は宛先アドレスである VIP_{4A} をキーとしてトンネルテーブルを検索し、該当したエントリにしたがって仮想 IP パケットを実 IP アドレス (送信元: RIP_{4MN} 、宛先: RIP_{4CN}) でカプセル化する。このとき、カプセル化するパケットには NTMobile の情報を記載した NTM ヘッダを付加する。NTM ヘッダには NTMobile の通信識別子である $PathID_{MN-CN}$ が含まれている。その後、MN はカプセル化されたパケットを CN へ送信する。CN はカプセル化パケットを受信すると、パケットのデカプセル化を行い仮想 IP パケットを抽出する。その後、CN はパケット内の $PathID_{MN-CN}$ を元に自身のトンネルテーブルを検索し、MN の仮想 IPv4 アドレス VIP_{4B} を取得する。CN は仮想 IP パケット内の送信元アドレスを VIP_{4MN} から VIP_{4B} へ、宛先アドレスを VIP_{4A} から VIP_{4CN} へ変換し、CN のアプリケーションへ渡す。

逆方向の通信においては、受信側である MN が仮想 IP パケット内の仮想 IPv4 アドレスの変換を行う。

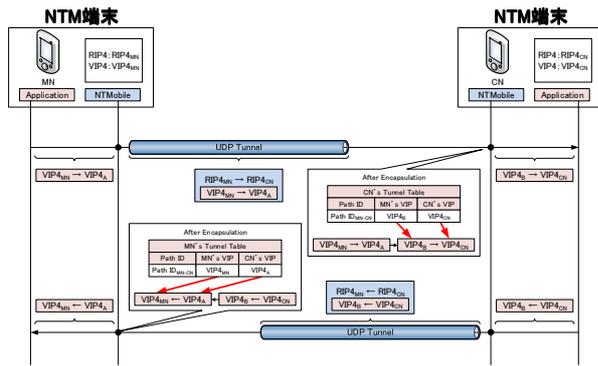


図 1: トンネル通信による IP アドレスの遷移

3.4 通信相手が一般端末の場合

NTM Mobile では NTM 端末と一般端末間の通信は RS-N を利用する [2]。提案手法を適用すると、現状の RS-N では通信が識別できず、一般端末への通信中継が行われなくなる。そのため、RS-N へ Path ID による NTM Mobile の通信を識別する機能を追加し、一般端末との通信を可能にする。

NTM 端末は通信開始時に DC に通信相手の名前解決を依頼する。DC は通信相手が一般端末であると判断すると RS-N にパケット中継を指示するとともに MN へ通信経路の指示を行う。NTM 端末は端末内部で一般端末用の仮想 IPv4 アドレスを自律的に生成し、通信相手の IP アドレスとしてアプリケーションに認識させる。生成した仮想 IPv4 アドレスは、DC より配布された Path ID に関連付けて NTM 端末のトンネルテーブルに登録する。RS-N においても、NTM 端末用の仮想 IPv4 アドレスを自律的に生成し、NTM 端末と同様に Path ID と関連付けて自身のトンネルテーブルに登録する。

図 2 に NTM 端末と一般端末（以下、GN と記述）間のトンネル通信による IP アドレスの遷移を示す。MN のアプリケーションは、自身の仮想 IPv4 アドレスを $VIP4_{MN}$ 、GN の仮想 IPv4 アドレスを $VIP4_A$ として認識している。RS-N は、MN の仮想 IPv4 アドレスを $VIP4_B$ として認識している。

MN のアプリケーションが GN へパケットを送信する際、仮想 IPv4 アドレスが記載された仮想 IP パケット（送信元： $VIP4_{MN}$ 、宛先： $VIP4_A$ ）を生成する。MN は宛先アドレスである $VIP4_A$ をキーとしてトンネルテーブルを検索し、該当したエントリにしたがって仮想 IP パケットを実 IP アドレス（送信元： $RIP4_{MN}$ 、宛先： $RIP4_{RS}$ ）でカプセル化する。NTM ヘッダには NTM Mobile の通信識別子である Path ID_{MN-GN} が含まれている。MN はカプセル化されたパケットを RS-N へ送信する。RS-N はカプセル化パケットを受信すると、パケットのデカプセル化を行い仮想 IP パケットを抽出する。その後、RS-N はパケット内の Path ID_{MN-GN} を元に自身のトンネルテーブルを検索し、MN の仮想 IPv4 アドレス $VIP4_B$ を取得する。RS-N は仮想 IP パケット内の送信元アドレスを $VIP4_{MN}$ から $VIP4_B$ へ、宛先アドレスを $VIP4_A$ から $RIP4_{GN}$ へ変換し、RS-N の Netfilter に渡す。Netfilter では NAT 処理を行い、パケット内の送信元アドレスを $VIP4_B$ から $RIP4_{RS}$ に変換した後、GN へパケットを送信する。GN は RS-N からアクセスがあったものと認識し通信を行う。

逆方向の通信においては、RS-N は GN からパケット（送信元： $RIP4_{GN}$ 、宛先： $RIP4_{RS}$ ）を受信すると、NAT 処理を用いて GN から受信したパケット内の宛先アドレスを $RIP4_{RS}$ から $VIP4_B$ に変換する。その後、パケット内の

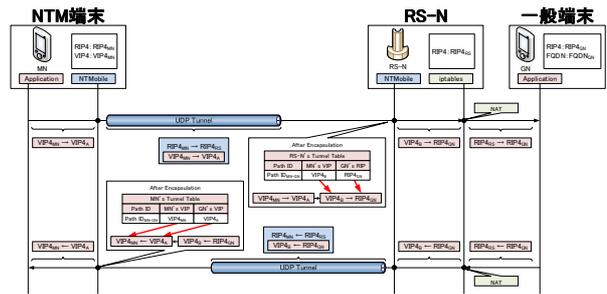


図 2: 一般端末とのトンネル通信のアドレス遷移

$VIP4_B$ と $RIP4_{GN}$ を検索キーに RS-N 内のトンネルテーブルを検索する。該当したトンネルテーブルのエントリにしたがって、仮想 IP パケットを実 IP アドレス（送信元： $RIP4_{RS}$ 、宛先： $RIP4_{MN}$ ）でカプセル化し MN へパケットを送信する。RS-N からカプセル化されたパケットを受信した MN は、デカプセル化後に仮想 IP パケット内の仮想 IPv4 アドレスを Path ID_{MN-GN} に基づく仮想 IPv4 アドレスに変換することで通信を行う。

4. 実装と評価

NTM Mobile の基本動作は Linux において既に動作が検証されている。NTM 端末のモジュールへ、仮想 IPv4 アドレスの自律生成および管理処理、トンネル通信中の Path ID による仮想 IPv4 アドレス変換処理を実装し、Linux 上で動作の確認を行った。

表 1 に提案手法を実装した NTM 端末間のトンネル通信によるスループットの測定結果を示す。従来手法に比べて提案手法のスループットの劣化は 0.5% であった。この結果より、提案手法の通信において、NTM 端末の仮想 IPv4 アドレス変換処理がスループットの低下に与える影響は十分小さいことがわかった。そして、提案手法により今まで 13 万個程度しか利用できなかった仮想 IPv4 アドレスをほぼ無限の規模まで運用できるようになった。

表 1: トンネル通信時のスループット測定結果

	Conventional	Proposal
Throughput(Mbps)	402.5	400.4

5. まとめ

本稿では、NTM 端末が端末内部で自律的に仮想 IPv4 アドレスを管理する手法を提案した。この手法により、NTM Mobile のシステム全体で仮想 IPv4 アドレス領域を共有する必要がなくなるため、限られた仮想 IPv4 アドレス領域で大規模に NTM Mobile を運用することが可能となる。また提案手法の実装を行い、従来手法との比較からトンネル通信中のスループットの劣化がほとんどないことを確認した。

参考文献

- [1] 納堂博史, 杉原史人, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊 晃: NTM Mobile の実用化に向けた統合的枠組の検討, 情処研報, Vol.2015-MBL-77, No.20, pp. 1-8(2015).
- [2] 土井敏樹, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊 晃: NTM Mobile におけるアドレス変換型リレーサーバの実装と動作検証, 情処研報, Vol.2013-MBL-67, No.11, pp. 1-6(2013).

NTMobileにおける 仮想IPアドレス管理手法の提案と評価

理工学研究科 情報工学専攻

143430004

渡邊研究室 加古将規

■ インターネット利用増加に伴うネットワークの課題の解決

▶ NAT越え問題による課題

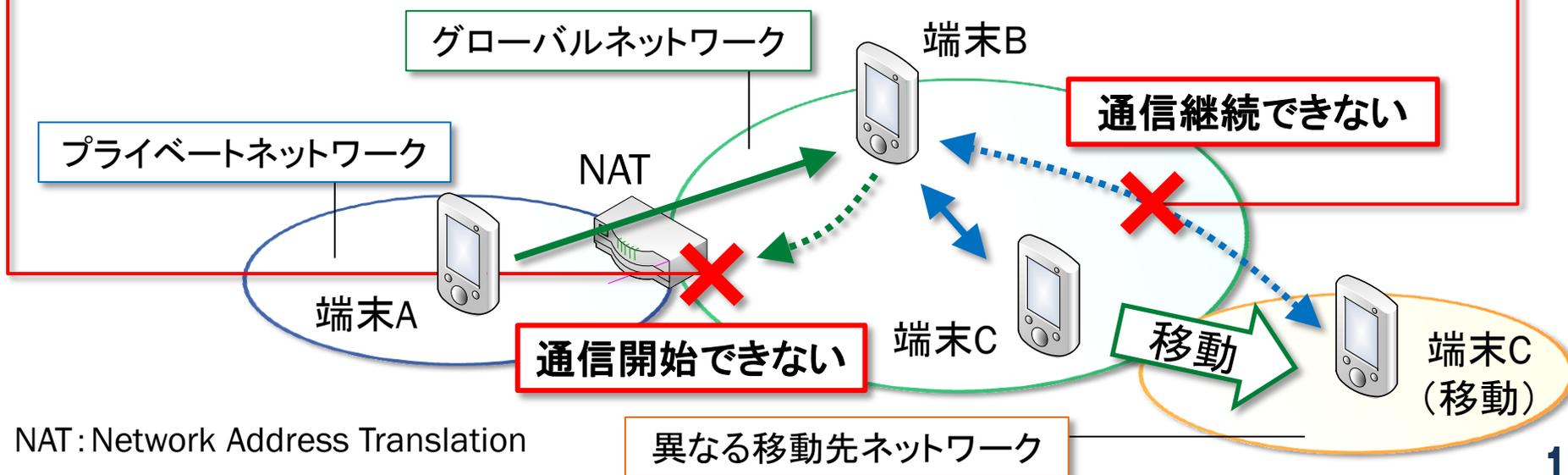
- NATを導入し、プライベートネットワークを構築することが一般的

NATの外側から内側の端末にアクセスできない

▶ 移動透過性の課題

- 移動時などのネットワーク切り替えによって、端末のIPアドレスが変化

移動しながらの通信ができない



■ Mobile IPv4を拡張しNAT越えを実現する技術(RFC3519)[1]

▶ MN(Mobile Node)

- Mobile IPを実装した端末

▶ HA(Home Agent)

- 中継装置
- ホームネットワーク上に設置

▶ HoA(Home Address)

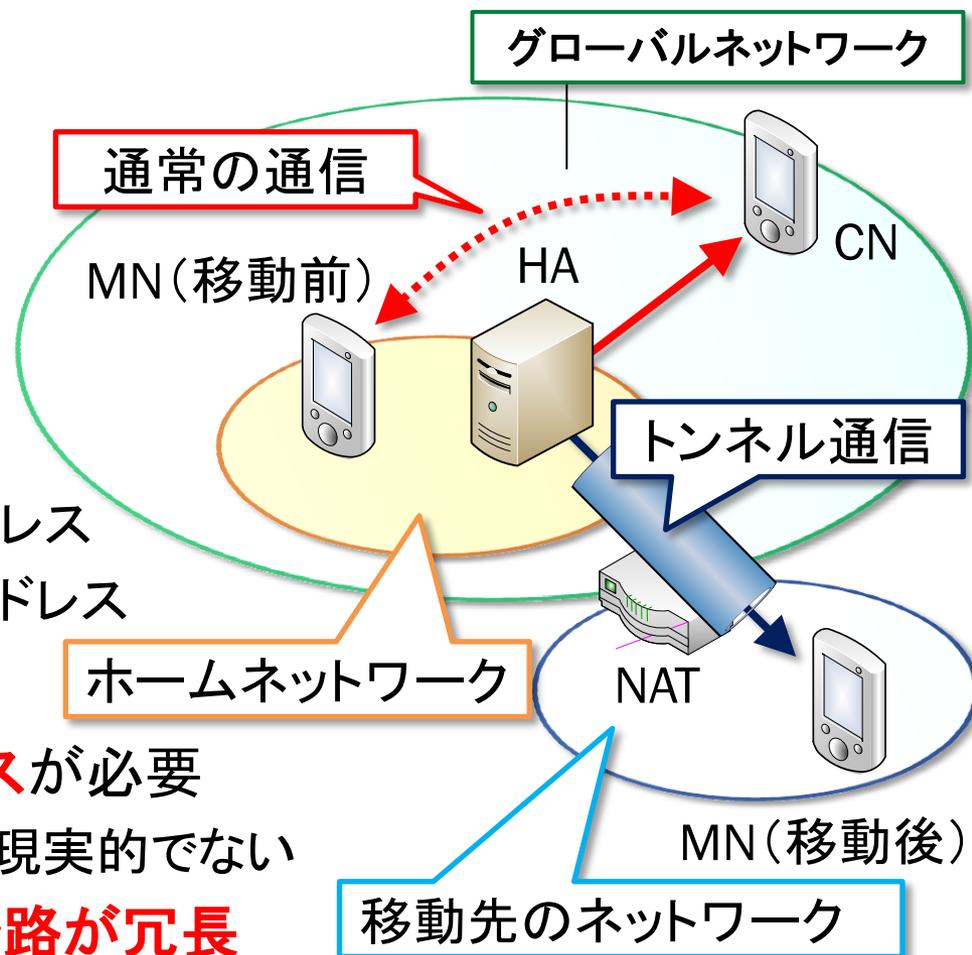
- ホームネットワーク上のIPアドレス
- 端末の位置に依存しないIPアドレス

■ 課題

▶ HoAとして**グローバルIPアドレス**が必要

- IPv4アドレス枯渇問題のため現実的でない

▶ 常にHAを経由するため**通信経路が冗長**

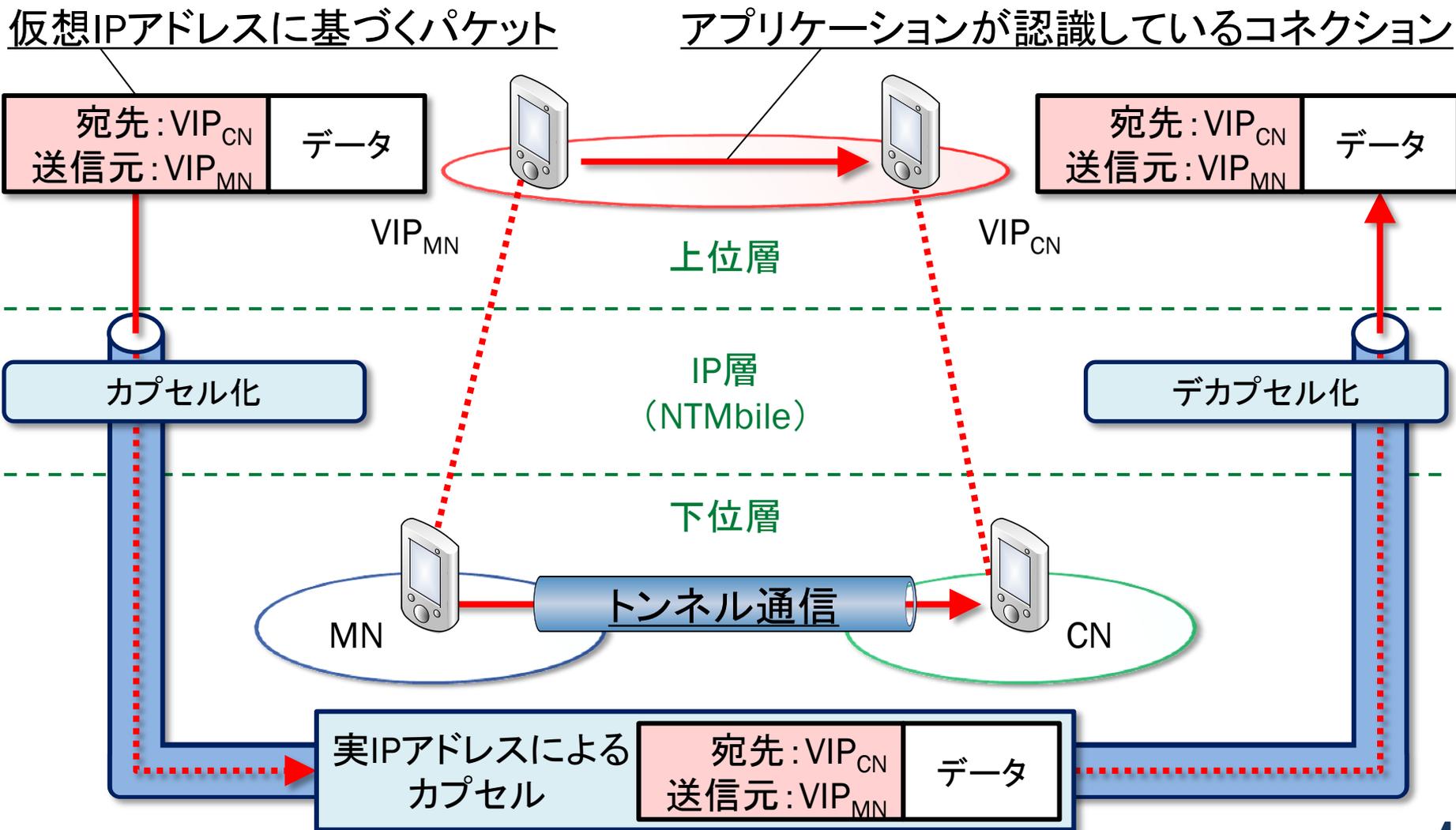


MN (Mobile Node)
CN (Correspondent Node)

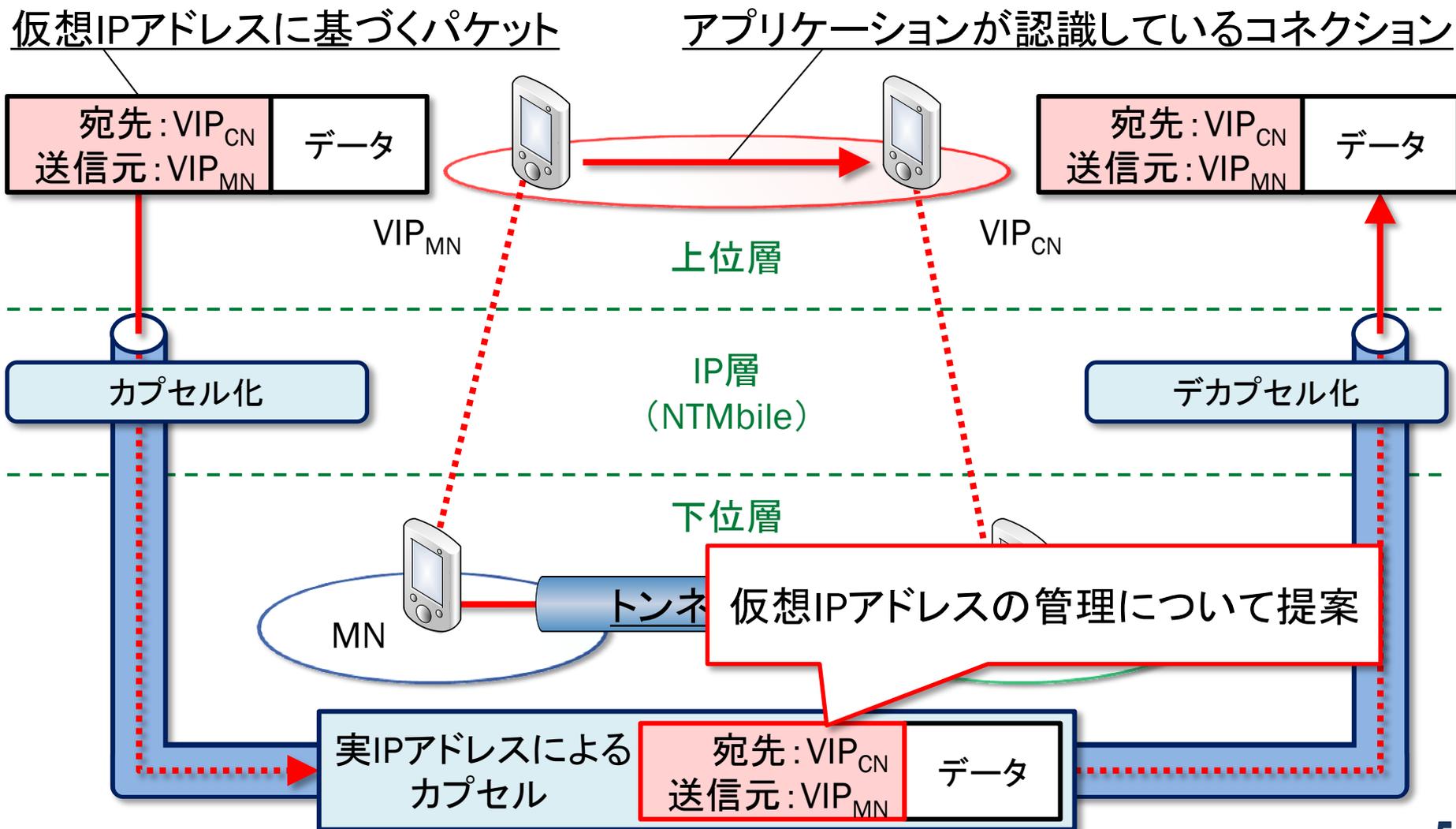
[1] H. Levkowitz and S. Vaarala.:

Mobile IP Traversal of Network Address Translation (NAT) Devices, RFC3519, IETF(2003).

- アプリケーションは**仮想IPアドレス**を通信相手とのIPアドレスと認識
 - ▶ 実IPアドレスの変化をアプリケーションから隠蔽



- アプリケーションは**仮想IPアドレス**を通信相手とのIPアドレスと認識
 - ▶ 実IPアドレスの変化をアプリケーションから隠蔽



■ 仮想IPアドレス

▶ **実ネットワーク上で利用されない**アドレス帯域から生成

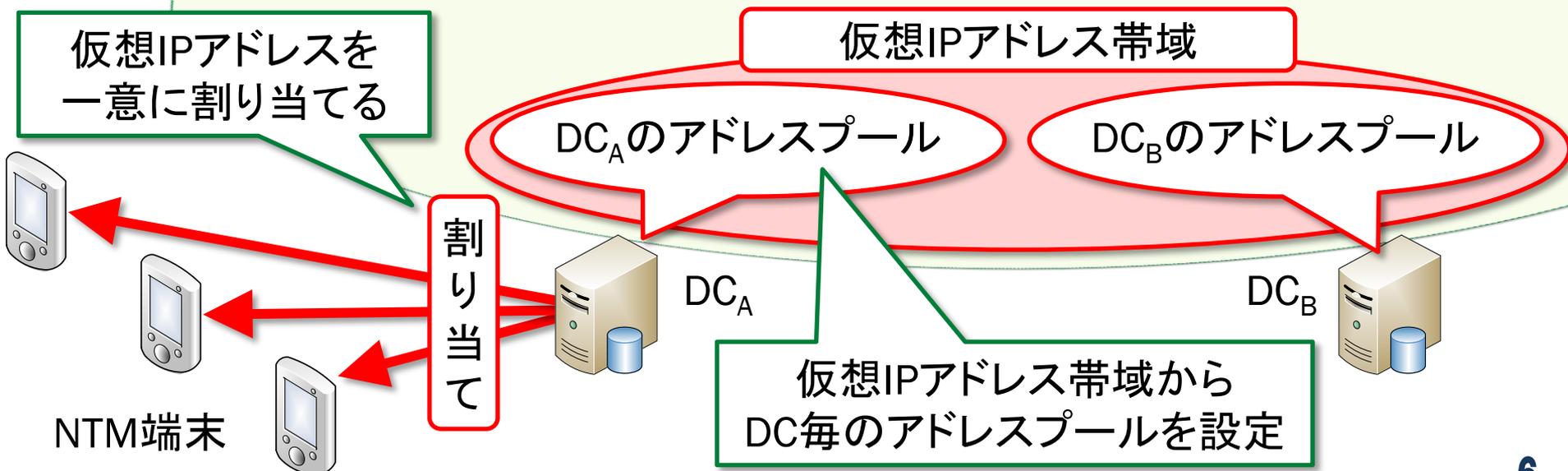
⇒NTM端末がアドレス帯域からNTMobileの通信と一般の通信を判断

IPアドレス全体

■ 従来の仮想IPアドレス管理手法

▶ DC毎に仮想IPアドレスプールを設定

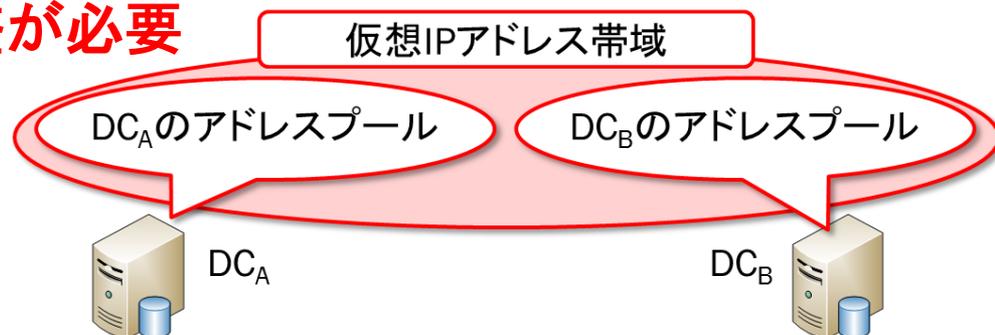
⇒DCがNTM端末に対して仮想IPv4アドレスを一意に割り当てる



■ アドレスプール調整による課題

▶ 従来の管理手法では、DC毎に仮想IPアドレスプールを設定する

⇒ **DC毎に**アドレスプールの**調整が必要**



■ 仮想IPv4アドレスの個数による課題

▶ 利用できる**仮想IPv4アドレス数が少ない**(13万個ほど)

⇒ NTMobileの普及を想定した場合、すべてのNTM端末に仮想IPv4アドレスが割り振ることができない

アドレス帯域	RFC	利用用途	アドレスの数
198.18.0.0/15	RFC2544	ネットワーク性能試験	131,070個

研究の目的

仮想IPアドレスの管理手法を再検討し、仮想IPアドレスの課題を解決する

■ 「通信の識別」と「アドレス変換」による通信処理の拡張

▶ 通信の識別

- NTMobile独自の通信識別子(Path ID)を用いてNTMobileの通信を識別
- 仮想IPv4アドレスから通信識別子の役割を取り除く

▶ アドレス変換

- Path IDに対応したアドレス変換処理

■ 一般端末との通信

▶ 中継サーバであるRS-Nの改造

以上の手法により

「アドレスプール調整による課題」,
「仮想IPv4アドレスの個数による課題」を解決する

- NTM端末がNTMobileの通信を通信識別子**Path ID**で識別する

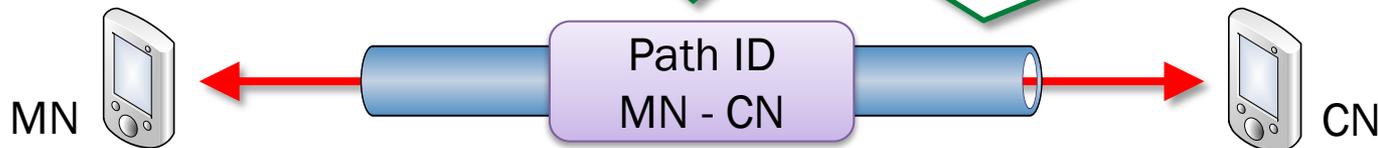
仮想IPv4アドレスから通信を識別

従来手法



Path IDから通信を識別

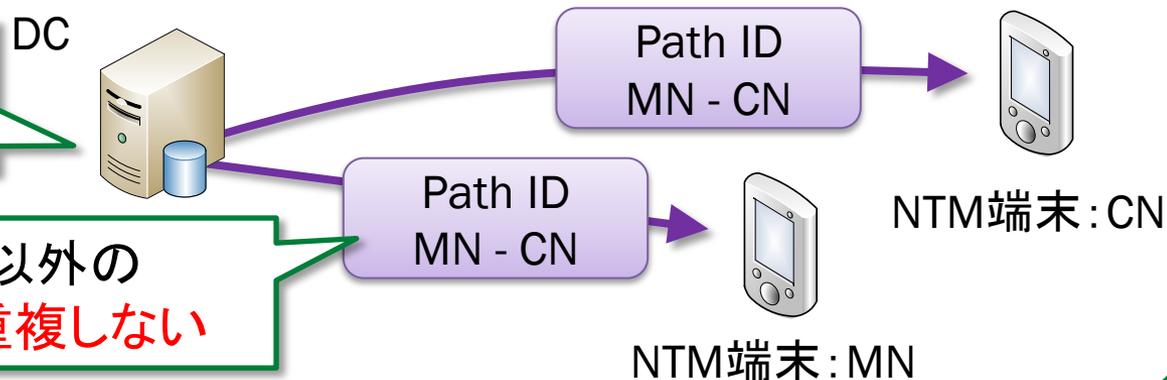
提案手法



Path ID

NTMobileの通信を**一意**に識別する通信識別子(128bit)

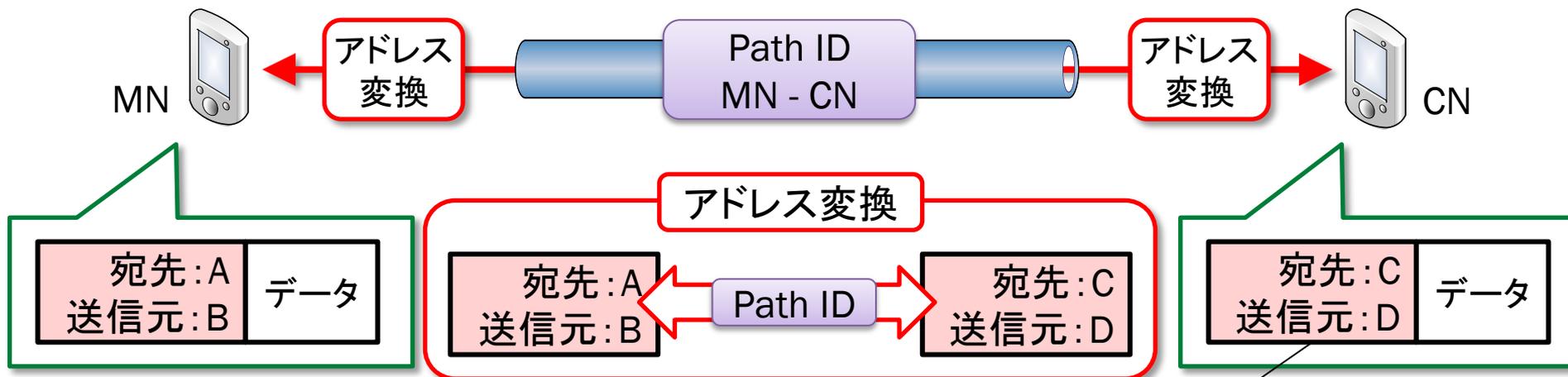
通信開始時
DCが通信端末に対して配布



通信相手以外の
Path IDとは**重複しない**

■ NTM端末毎にパケット内の仮想IPアドレスが異なる

▶ Path IDをもとに仮想IPv4アドレスの**変換**を行う



仮想IPアドレスに基づくパケット

以上の手法により

通信をPath IDによって識別することで、

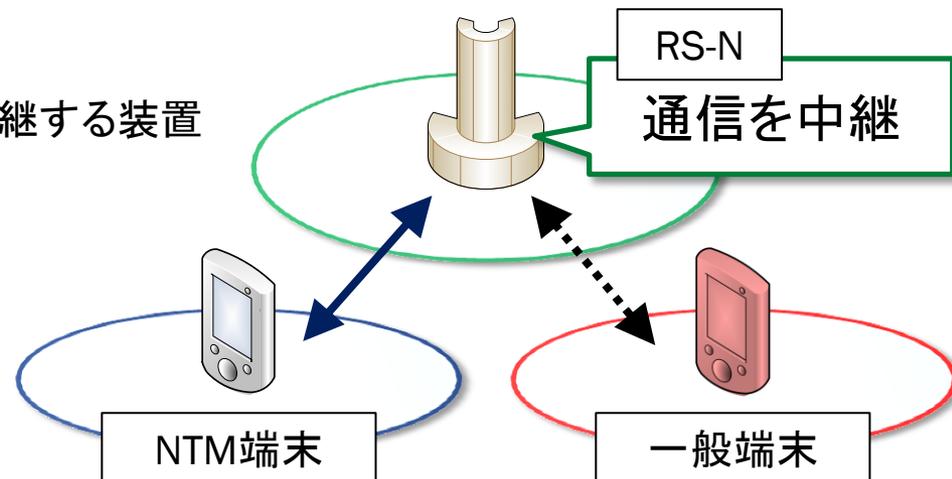
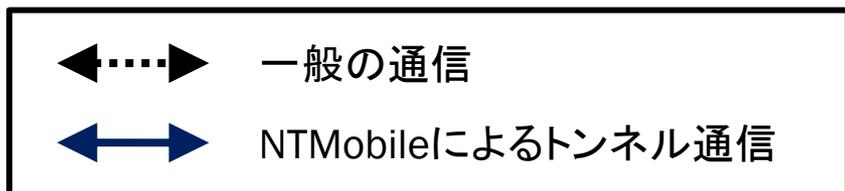
NTM端末内部で自由に仮想IPv4アドレス帯域を利用することができる

次の検討

NTM端末が一般端末と通信をする場合の通信手法を検討

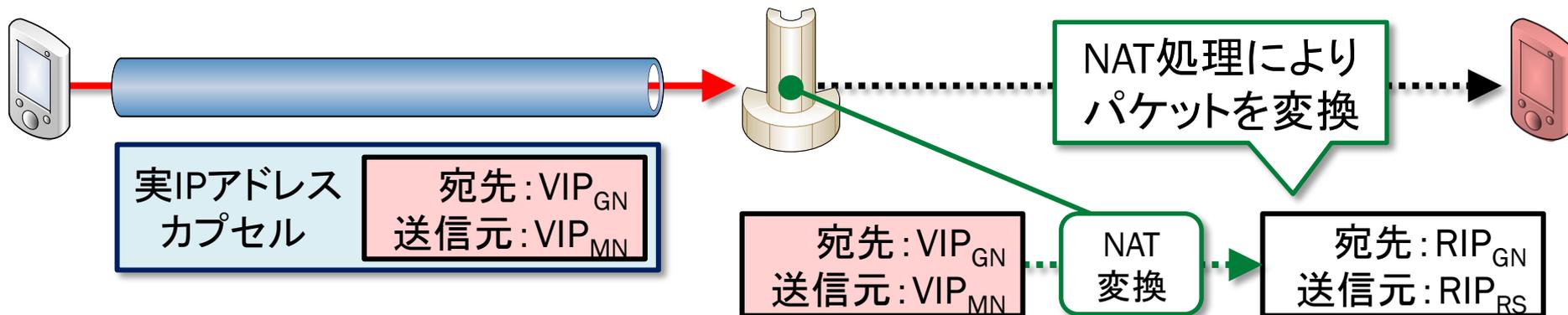
■ NTM端末と一般端末の通信ではRS-Nを用いて通信を行う[2]

RS-N(Relay Server type NAT) :
NTM端末が一般端末と通信する場合に通信を中継する装置



■ RS-Nの動作(従来手法)

- ▶ NTM端末~RS-N間はNTMobileによるトンネル通信
- ▶ RS-N上でデカプセル化, NAT処理を行いGNへパケットを中継

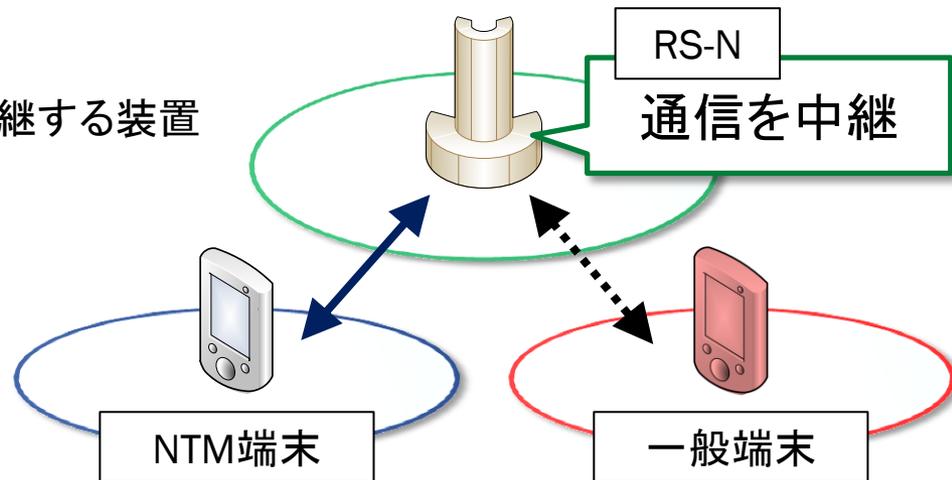


[3] 土井敏樹, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊晃:
NTMobileにおけるアドレス変換型リレーサーバの実装と動作検証,
情報処理学会研究報告MBL研究会, Vol.2013-MBL-67, No.11, pp.1-6, 2013年9月.

■ NTM端末と一般端末の通信ではRS-Nを用いて通信を行う[2]

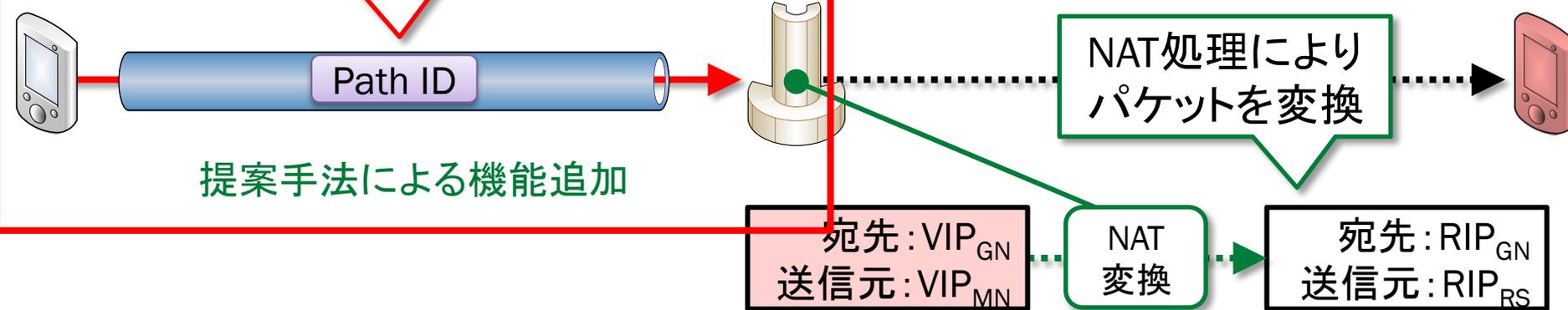
RS-N(Relay Server type NAT):

NTM端末が一般端末と通信する場合に通信を中継する装置



■ RS-Nの動作(従来手法)

- ▶ Path IDによる通信識別 (Communication identification by Path ID)
- ▶ 間にはNTMobileによるトンネル通信 (Tunnel communication by NTMobile in between)
- ▶ セル化, NAT処理を行いGNへパケットを中継 (Cellularization, NAT processing, and relaying packets to GN)



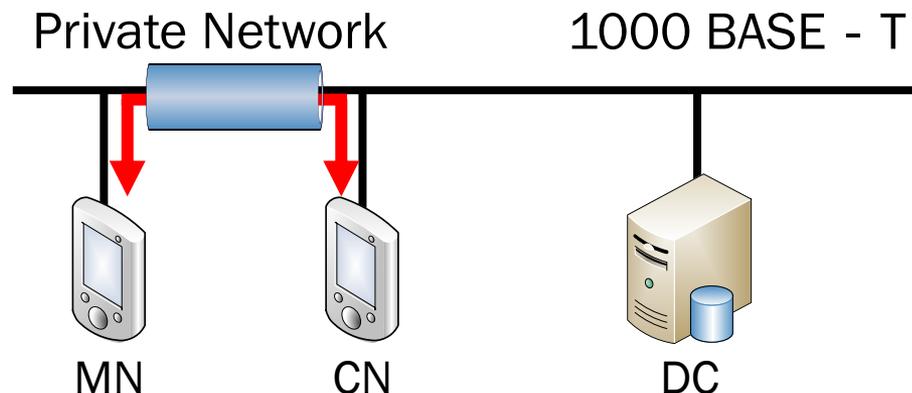
[3] 土井敏樹, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊晃:
NTMobileにおけるアドレス変換型リレーサーバの実装と動作検証,
情報処理学会研究報告MBL研究会, Vol.2013-MBL-67, No.11, pp.1-6, 2013年9月.

■ 提案方式をLinuxPC上に実装

- ▶ NTM端末間のトンネル通信の動作を確認

■ 検証環境

- ▶ Linux PC上にMN, CNを実装
- ▶ 1000 BASE-Tの有線接続

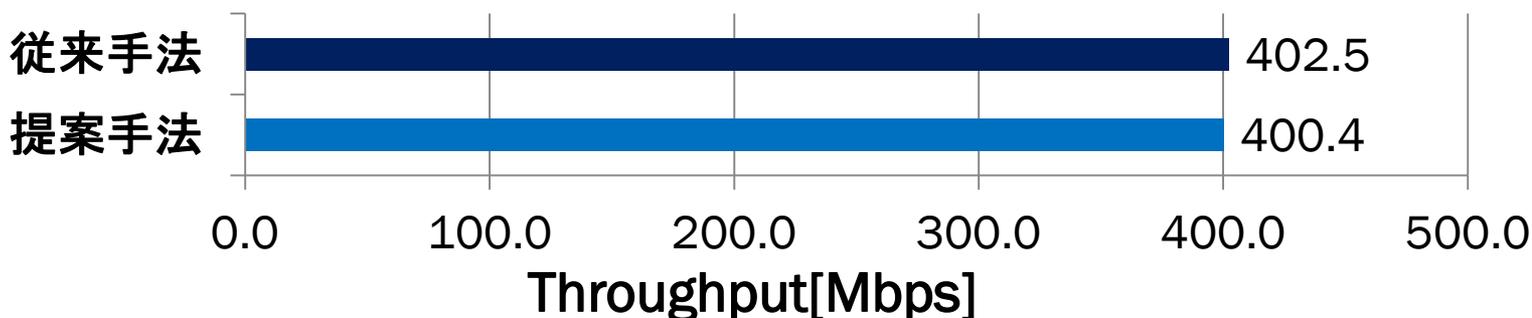


	MN	CN	DC
OS	Ubuntu 10.04	Ubuntu 10.04	Ubuntu 10.04
CPU	Intel Core i7-860(2.80GHz)	Intel Core i7-930(2.80GHz)	Intel Core i7-2600(3.40GHz)
Memory	3GB	3GB	1GB

■ トンネル通信におけるスループットの比較

▶ iperf※¹を用いたTCP通信による測定:スループットの低下率は**0.5%**

- アドレス変換による影響は小さいことを確認



※¹: ネットワークスループットを測定するためのソフトウェア

■ 仮想IPv4アドレス利用に関わる比較

(単位:台)

	Conventional	Proposal
仮想IPv4アドレスを利用できる端末	131,070※ ²	∞※ ²
1台のNTM端末が識別できる端末数	131,069	131,069

仮想IPv4アドレス数:131,070個

※²:NTMobileによる通信は**2¹²⁸**個までが上限(Path ID)

■ 仮想IPアドレス管理手法の提案

- ▶ 「**通信の識別**」と「**アドレス変換**」による通信処理の拡張
 - ⇒ 「アドレスプール調整による課題」「仮想IPv4アドレスの個数による課題」を解決
- ▶ 一般端末との通信手法を提案
 - RS-Nを改造することで通信を実現

■ 実装と性能評価

- ▶ 仮想IPv4アドレスの管理手法の実装を行い、トンネル通信中のスループットを測定
 - ⇒ アドレス変換の影響はほとんどないことを確認
- ▶ 従来手法とのアドレス資源の利用に関して比較