

NTMobileを用いたネットワークモビリティの提案と実装

133430014 廣瀬 達也
渡邊研究室

1. はじめに

高速無線技術の発展やスマートフォンをはじめとする携帯端末の普及により、端末が通信中に移動できる移動透過性と自由に通信できる通信接続性が求められている。一方、スマートフォンやタブレットと言った移動端末の普及によりユーザが様々な場所でネットワークを利用するシーンが多くなっている。利用するシーンの一つとして、電車内やバスなどの公共交通機関にネットワークを構築し、そのネットワーク自体が移動するという状況でユーザがネットワークを利用する場面が考えられる。このような場面ではネットワークの境界に位置するモバイルルータが、配下の複数の端末に代わって移動透過性を提供しネットワーク内のアドレスをそのまま維持させる方法が提案されている。

我々は、移動透過性と通信接続性を実現する技術としてNTMobile(Network Traversal with Mobility)[1]を提案している。本稿では、NTMobileの機能を実装したNTMR(NTMobile Router)を新たに導入し、NTMR配下にいる一般端末に代わってNTMobileの機能を代行することによりネットワーク単位の移動通信を実現する方法を提案する。

2. NTMobile

図1にNTMobileの構成を示す。NTMobileでは、構成する要素として、NTMobile機能を実装した端末であるNTM端末、NTM端末情報の管理とトンネルの経路指示を出すDC(Direction Coordinator)、NTM端末と一般端末を中継するRS(Relay Server)がある。DCやRSはグローバルネットワーク上に設置し、ネットワークの規模に応じて任意の場所に複数設置することができる。

NTM端末は、DCから移動によって変化しない仮想IPアドレスと、ネットワークから取得する実IPアドレスの2つIPアドレスを保持する。NTM端末のアプリケーションは、仮想IPアドレスを自身および通信相手端末のIPアドレスとして認識する。仮想IPアドレスで生成されたパケットは、NTM端末間で構築されたUDPトンネルによって転送される。このとき、NTM端末間のどちらか一方がグローバルネットワークに接続されていれば必ずエンド端末同士は直接トンネル経路が生成される。NTM端末が通信中に

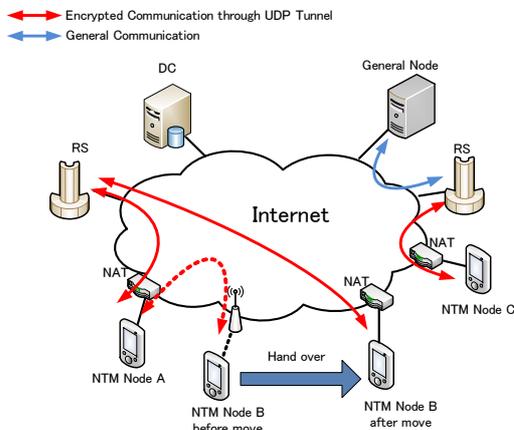


図1: NTMobileの概要

別のネットワークにハンドオーバーしても、仮想IPアドレスは移動によって変化しないため、通信を継続することが出来る。NTM端末は基本的に直接通信を行うが、直接通信が出来ない場合はRSを経由して通信を行う。RSはNTM端末が異なるNAT配下に存在する場合や、NTMobileを実装していない一般端末と行う場合、通信の中継として機能する。

3. 提案方式

提案方式では移動ネットワーク内の一般端末に代わってNTM端末の処理を実行するNTMRを導入する。NTMRは配下の端末が一般端末の場合、NTM端末の機能を代行する。また、NTMRはNATの機能を有しているのでアドレス変換を行う。

一方、NTMRの配下の端末がNTM端末の場合、NTM端末自体が移動透過技術を有するためNTMRは単なるNATとして動作する。このように、NTMRの配下端末が一般端末かNTM端末かにより動作が異なる。以後の説明では、通信開始側の一般端末をGN(General Node)、通信開始側のNTM端末をMN(Mobile Node)、通信相手側の一般端末をCN(Correspondent Node)とする。端末Xの実IPアドレスと仮想IPアドレスをそれぞれ RIP_X 、 VIP_X とする。また、提案方式ではユーザが電車内などで利用するシーンを想定している。このため、ユーザの通信相手は動画サイトなど一般サーバであることが多い。よって、通信相手が一般端末で議論を行う。以下に、それぞれの場合についてトンネル構築手順を述べる。

3.1 トンネル構築手順

(1)NTMRの配下が一般端末の場合

図3にNTMRの配下にいる一般端末GNと外部ネットワーク上の一般端末CN間のトンネル構築手順を示す。NTMRはGNが送信するDNSクエリをトリガとして、CNの名前解決処理およびトンネル構築依頼を行うために DC_{NTMR} にNTM Direction Requestを送信する。 DC_{NTMR}

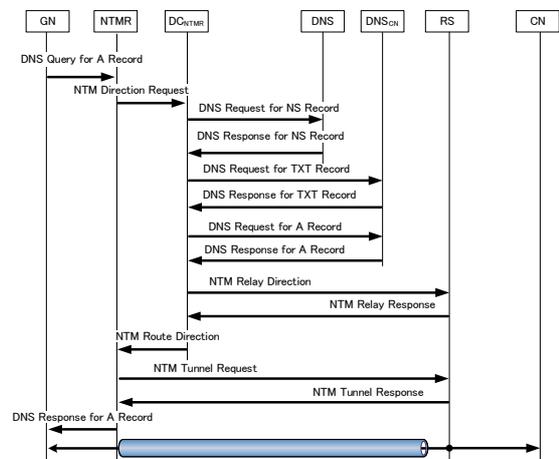


図2: NTMRの配下にいる一般端末GNと外部ネットワーク上の一般端末CN間のトンネル構築手順

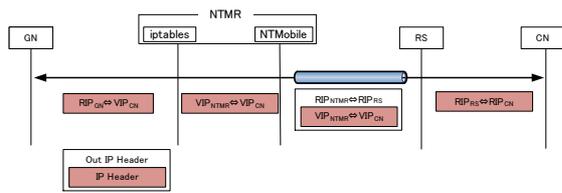


図 3: パケットのアドレス遷移

は名前解決処理を行い CN のアドレス情報を取得する。その後、 DC_{NTMR} は取得したアドレス情報を載せた NTM Relay Direction を RS に対して送信し、中継指示を依頼する。NTM Relay Response を受信した DC_{NTMR} は NTMR に対して NTM Route Direction を送信し、NTMR と RS 間で NTM Tunnel Request/Response を交換することでトンネル構築を完了する。その後、NTMR は DNS クエリの応答として CN の仮想 IP アドレス VIP_{CN} を GN に通知する。これにより、GN は VIP_{CN} を通信相手として認識する。NTMR がネットワークを切り替えた場合は、NTMR がネットワークと RS 間でトンネルを再構築することにより GN は NTMR のアドレスの変化に気がつくことなく通信を継続することが出来る。

図 3 に GN と CN 間のパケットのアドレス遷移を示す。NTMR は GN から送られたパケットを受信すると、送信元を自身の仮想 IP アドレス VIP_{NTMR} に書き換える。その後、NTMR の実 IP アドレスでカプセル化処理を行い、RS に送信する。RS はパケットを受信するとデカプセル化処理を行い、送信元及び宛先をアドレス変換し CN へ送信する。一方、NTMR が RS からパケットを受信すると、デカプセル化処理を行い、宛先を VIP_{NTMR} から GN の実 IP アドレス RIP_{GN} に書き換えてパケットを送信する。

(2) NTMR 配下が NTM 端末の場合

NTMR 配下にいる NTM 端末 MN は通常の NTM トンネル構築手順により MN と RS 間でトンネルを構築する。この場合、NTMR は単なる NAT として動作をする。

3.2 ハンドオーバー時の処理

NTMR が移動した場合、移動ネットワーク内の端末は NTMR が移動したかどうかは判断することが出来ない。GN は NTMR がトンネルを構築しているため、GN 自身が NTMR が移動したかどうかは知る必要がない。そのため、NTMR がハンドオーバーしたとき、再度 NTMR がトンネルを再構築することで GN がネットワークの移動を意識することなく通信を継続できる。

一方、MN は自身がトンネルを構築しているため、NTMR が移動した場合に再度トンネルを構築する必要がある。そのため、NTMR が移動を知る必要がある。NTMR は移動後の NTMR の情報を載せた NTMR Address Notification をネットワーク内にブロードキャストする。MN はこのメッセージを受けとることで、トンネルの再構築処理を行う。

3.3 移動ネットワーク内の内外の移動

MN と一般端末 CN は既に通信を開始しているものとする。MN が移動ネットワーク内に移動すると通常の NTM Mobile と同様のトンネル再構築処理を行う。このとき、NTMR は NAT として動作をする。MN が移動ネットワーク内の中から外へ移動した場合においても同様にトンネルの再構築を行うことで通信を継続しながら移動できる。

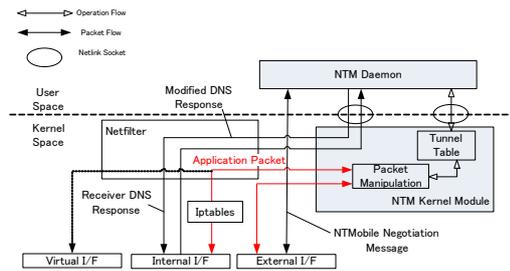


図 4: NTMR のモジュール構成図

4. 実装

4.1 モジュール構成

図 4 に NTMR の配下端末が一般端末の場合の NTMR のモジュール構成図を示す。NTMR は NTM 端末の機能を拡張することで実装を行う。NTM 端末ではトンネル構築処理を行う NTM デーモンとカプセル化およびデカプセル化処理を行う NTM カーネルモジュールに分かれる。また、NTMR は NTM のカーネルモジュールの拡張と Netfilter の仕組みを用いたアドレス変換で実装を行う。

4.2 変更内容

(1) トンネル構築処理トリガーの変更

NTM 端末では端末が通信を開始するときの名前解決処理をトリガーとして、トンネル構築処理を開始している。提案方式では、NTMR は NAT として動作するため、自身が名前解決処理を行わない。そのため、配下のネットワークから名前解決処理を NTMR が受信するとトンネル構築処理を開始するようにトリガーの変更を行った。また、配下端末に名前解決処理をした結果を通知するように改造を加えた。

(2) カプセル化・デカプセル化処理フローの変更

NTM カーネルモジュールではアプリケーションが送信するパケットを Netfilter でフックしてカプセル化処理して通信相手に送信している。

NTMR は、アドレス変換処理を行うため、アドレス変換を行う Netfilter を用いる。NTMR は GN から受信したパケットを Netfilter の仕組みを用いて、送信元アドレスとポート番号が変換する。このとき、受信したパケットの送信元は RIP_{GN} から VIP_{NTMR} に変換する。インタフェースは NTMR の内側インタフェースから NTMR 内の仮想デバイス宛に MASQUERADE のルールを設定する。このアドレス変換されたパケットを Netfilter でフックして NTM カーネルモジュールへ渡してカプセル化処理を実行する。カプセル化パケットを受信した場合、デカプセル化処理後、変換ルールに基づいて RIP_{GN} に変換して GN へ送信する。

5. まとめ

本稿では、NTM Mobile の機能を実装した NTMR を導入することでネットワークモビリティを実現した。また、提案方式の実装を行った。今後はハンドオーバー時の動作検証や、NTMR 配下の端末が NTM 端末の場合の実装を行う予定である。

参考文献

- [1] 鈴木秀和, 上醉尾一真, 水谷智大, 西尾拓也, 内藤克浩, 渡邊 晃: NTM Mobile 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 (2013).

NTMobileを用いたネットワーク モビリティの提案と実装

理工学研究科情報工学専攻

渡邊研究室

133430014 廣瀬達也

はじめに

○ 移動通信の需要増加

- 公衆無線網やスマートフォンの普及
- 通信中にネットワークの切り替え

○ 移動透過性の必要性

- 端末がネットワークを切り替えるとIPアドレスが変化
- 通信を継続することができない

○ ネットワークの利用する場面の多様化

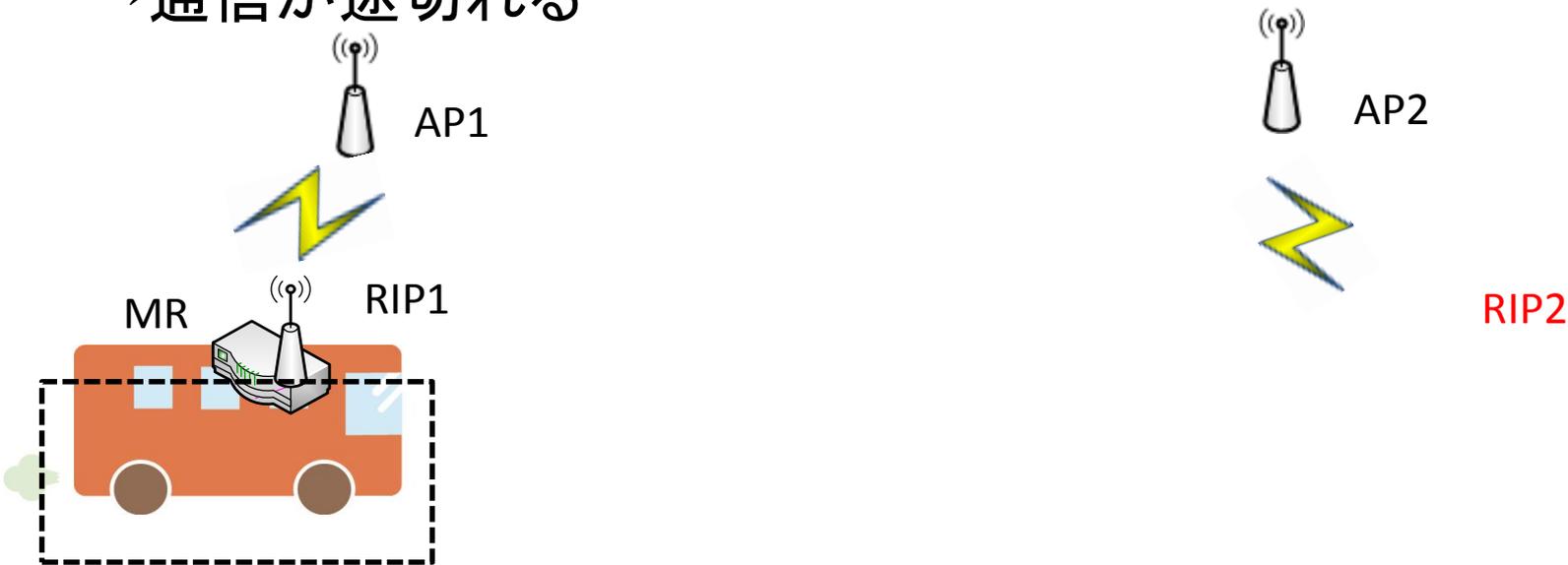
- 電車内やバスといった公共交通機関で公衆無線網の提供
 - つくばエクスプレス, 都営バスのWi-Fiサービス

ネットワークの利用場面

MR:Mobile Router
AP:Access Point

○バスなどにMRを設置してネットワーク環境の提供

- MRの上位ネットワークはWi-Fiで接続
 - 3G,LTEでは回線容量が少ない
- 道路沿いにWi-Fiアクセスポイントを設置
- 電車などが移動する度にハンドオーバが発生
→通信が途切れる

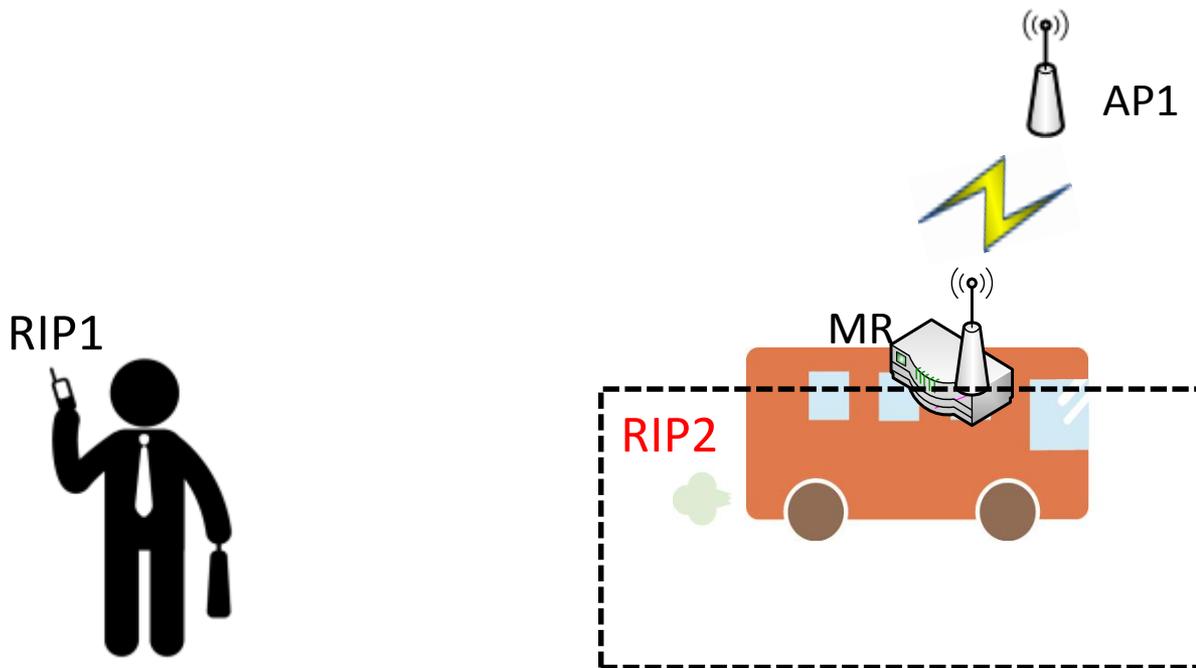


ネットワークの利用場面

MR:Mobile Router
AP:Access Point

○ 端末が移動ネットワーク内外を移動

- ユーザが通信をしながら移動ネットワーク内に移動
- 移動ネットワーク内に入ったときにIPアドレスが変化
→通信が継続できない



本研究の目的

- MRの上位ネットワークがハンドオーバーすると移動ネットワーク内の通信が継続できない
 - ネットワークモビリティ(移動透過性)の必要性
- 端末単位で移動透過性を実現するNTMobile (Network Traversal with Mobility)

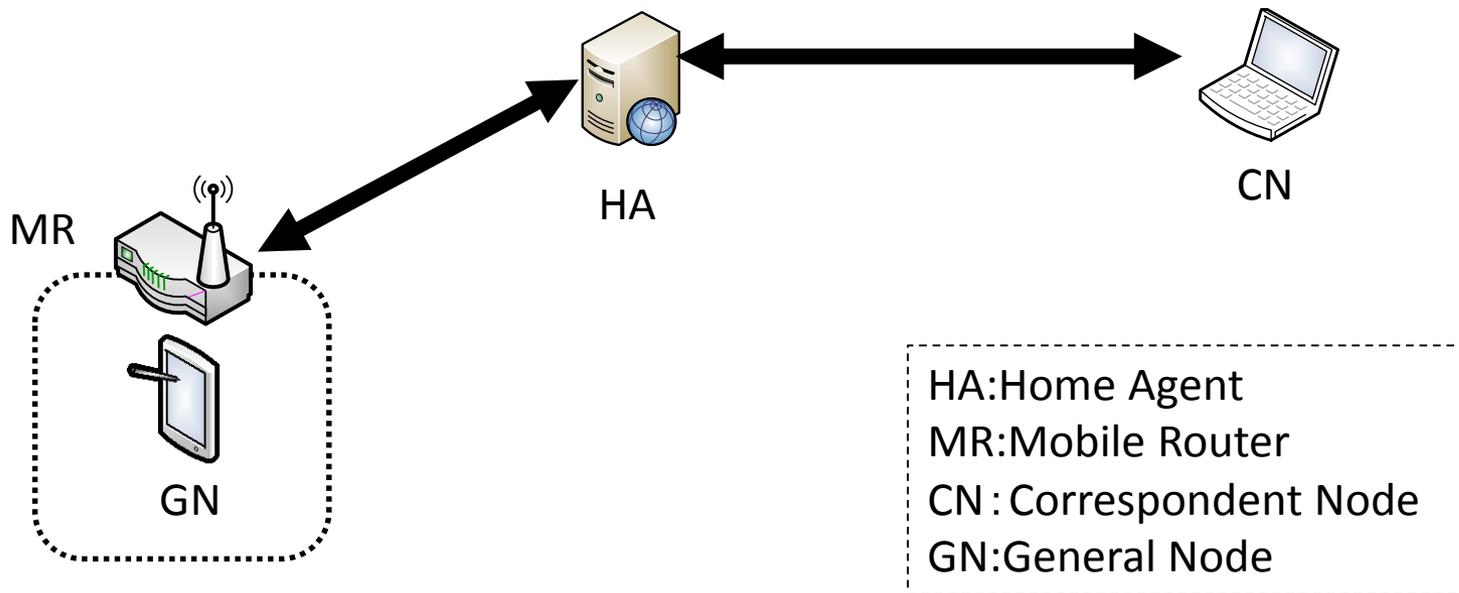
➡ ネットワークモビリティには非対応

本研究の目的

NTMobileを利用して
ネットワークモビリティの実現

既存技術

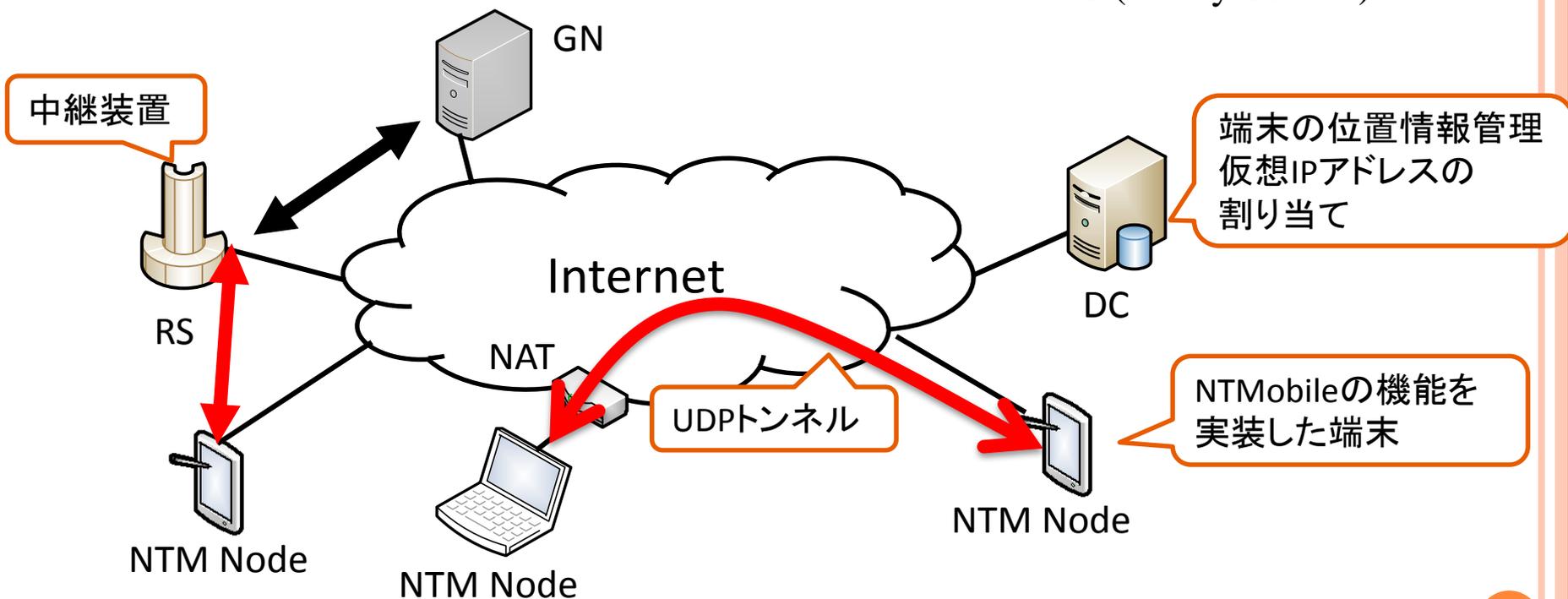
- NEMOv4(Network Mobility Extensions for Mobile IPv4)
 - 端末単位の移動透過性技術であるMobile IPv4を拡張してネットワークモビリティを実現
 - 課題
 - 中継装置であるHAを經由
 - 経路最適化は同一HAに管理された端末の場合のみ
 - ネットワーク内のアドレスはグローバルIP



NTMobileの概要

- 移動によって変化しない仮想IPアドレスを導入
- UDPTunnelでカプセル化
- 一般端末とRSを経由した通信
- DC,RSは複数設置可能

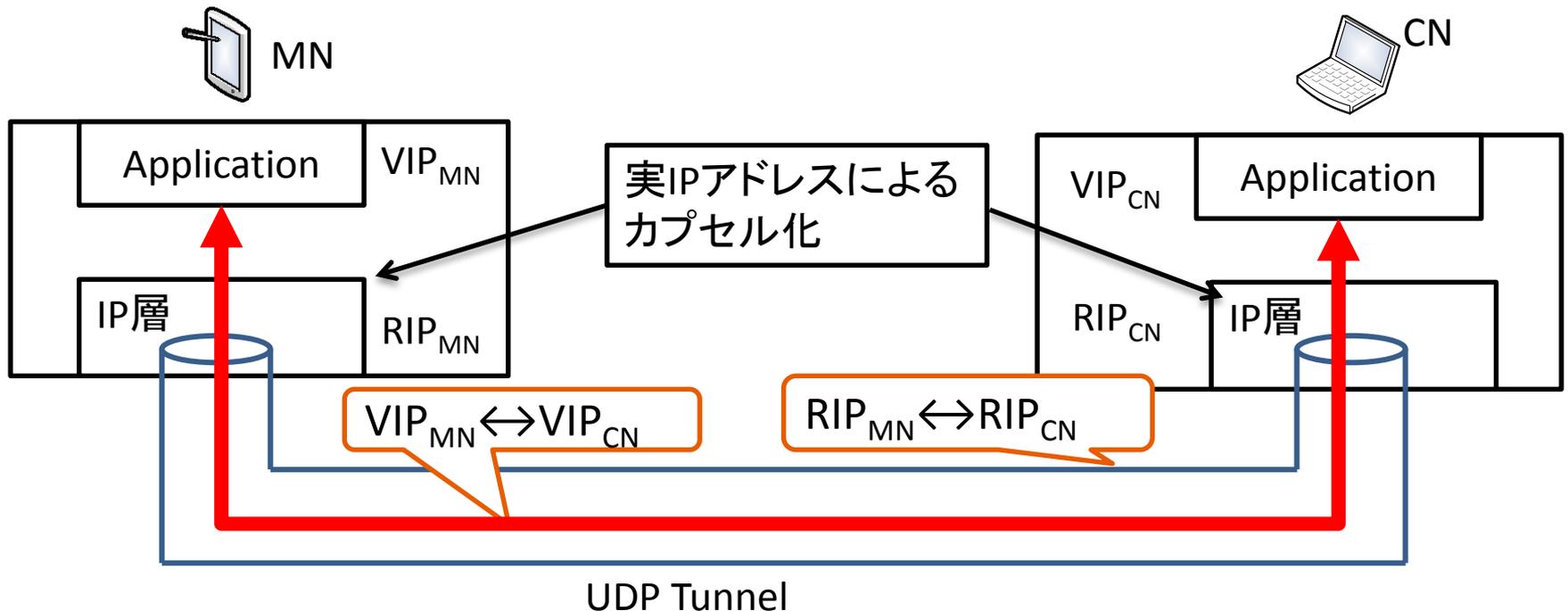
- NTMobileの構成
 - NTM Node
 - DC (Direction Coordinator)
 - RS (Relay Server)



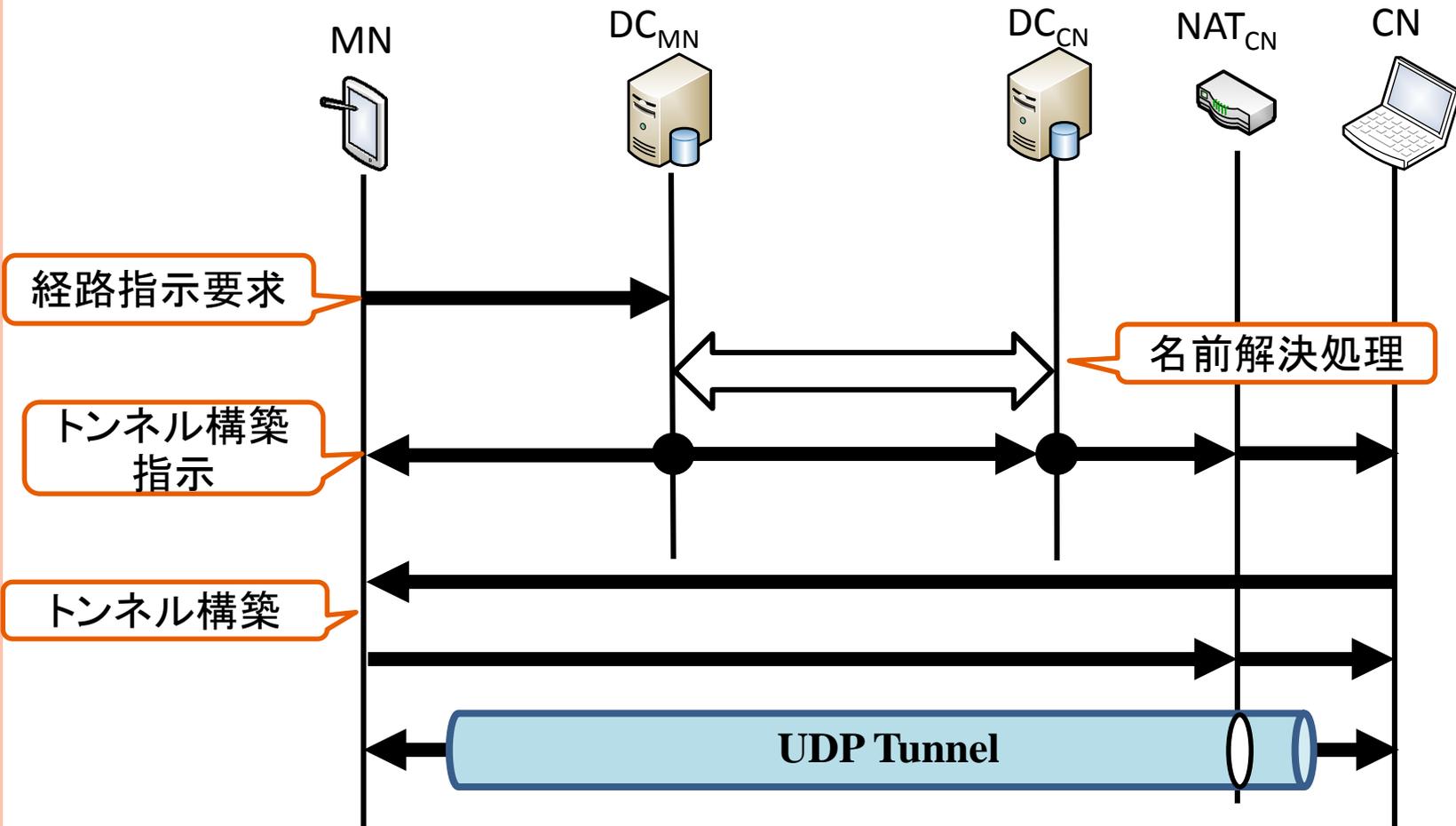
通信の原理

MN : Mobile Node
CN : Correspondent Node

- Applicationは仮想IPアドレスを使用して通信
- IP層でパケットをカプセル化
- 端末移動時は外側ヘッダだけが変化



NTMobileのトンネル構築シーケンス



提案方式

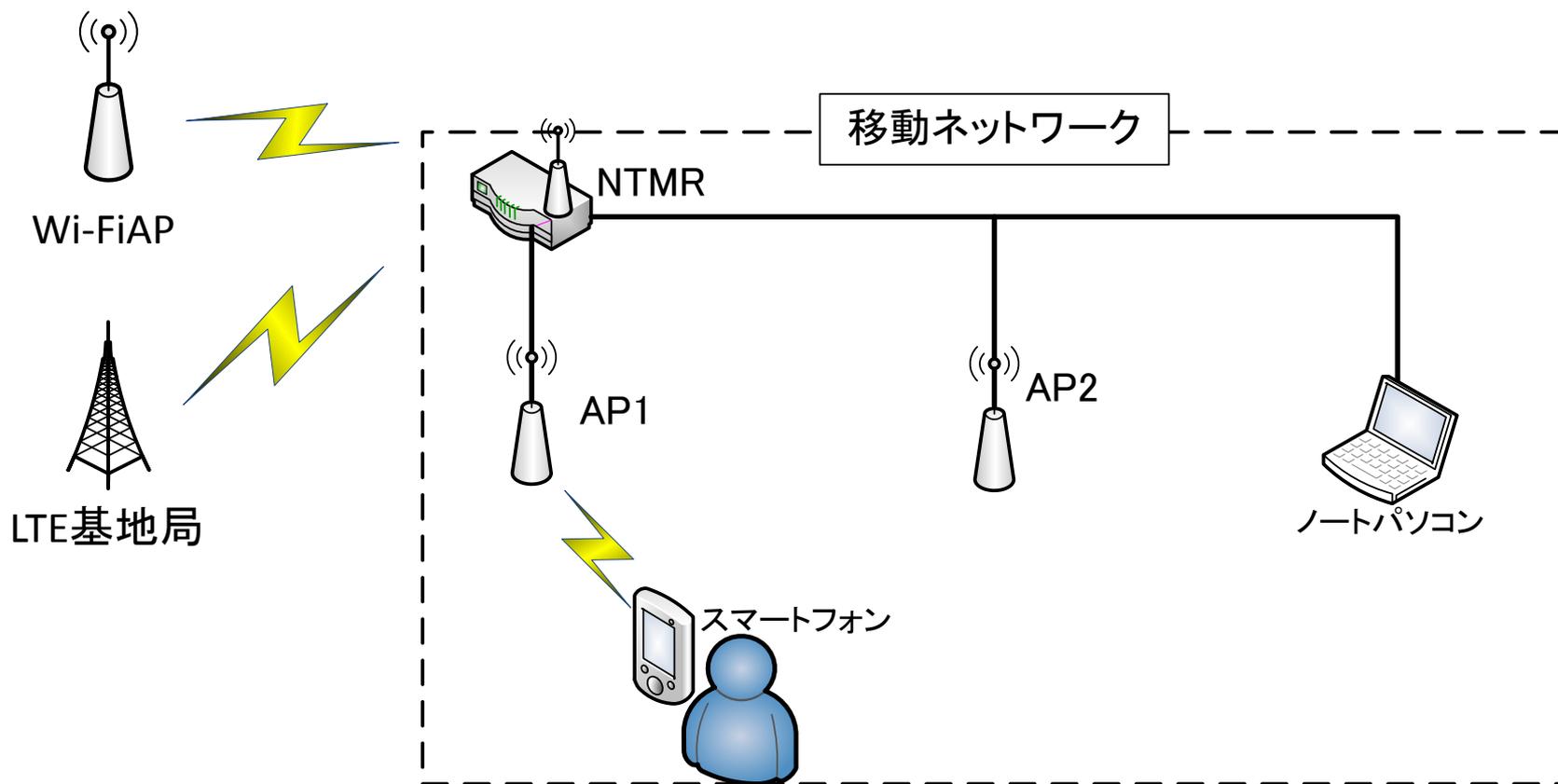
提案方式

- 移動ネットワークを管理する
NTMR(NTMobile Router)を導入
 - ネットワーク内のアドレスはプライベートアドレス
- ケース1: 移動ネットワーク内が一般端末の場合
- ケース2: 移動ネットワーク内がNTM端末の場合

ネットワーク構成

○ バスや電車内にNTMRを設置

- NTMRに直接ノートパソコンなどが接続
- NTMRにアクセスポイントが接続してWi-Fi環境の提供



ケース1

移動ネットワーク内が一般端末の場合

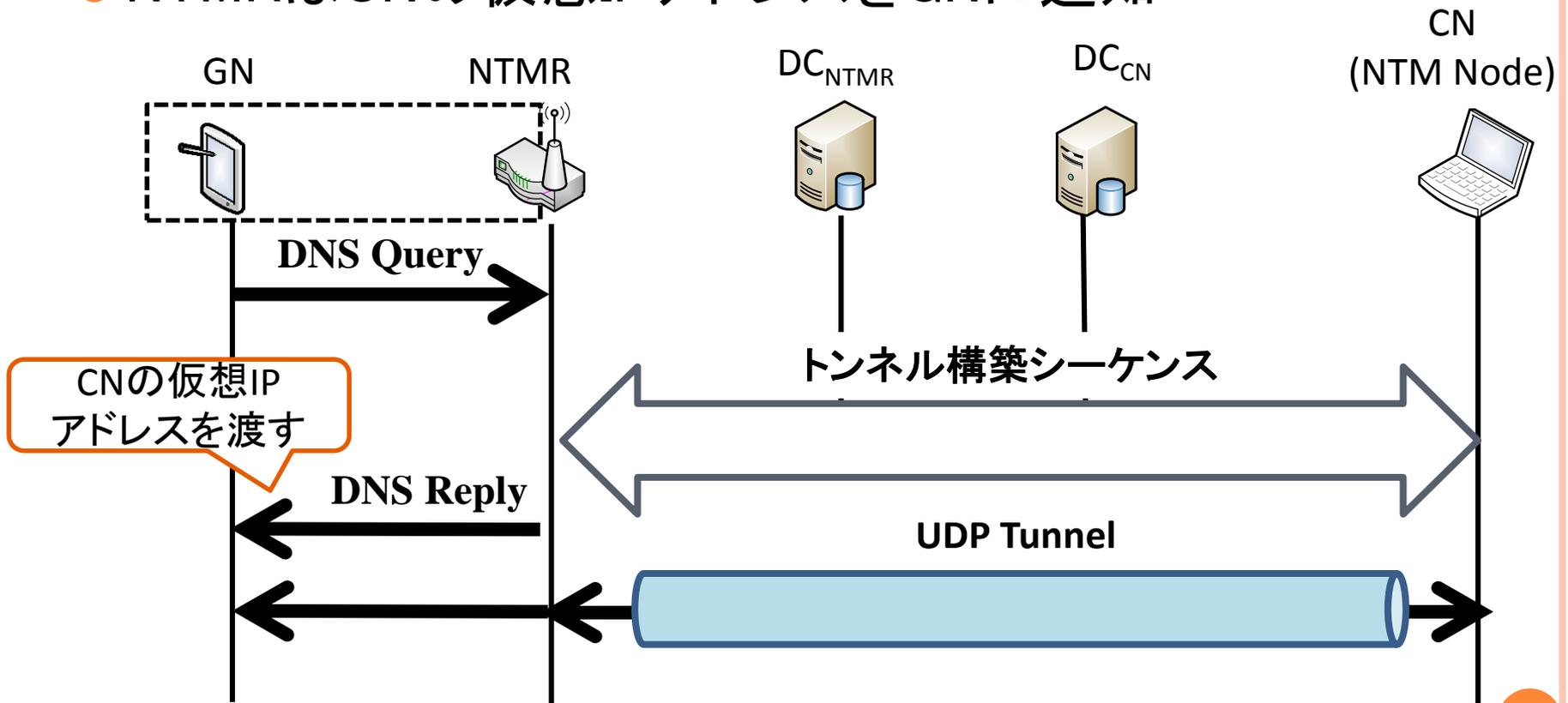
- 一般端末は移動透過性技術を持たない



- NTMRが一般端末に代わってNTM端末の機能を実行
 - トンネル構築処理とカプセル化処理を代行

通信シーケンス

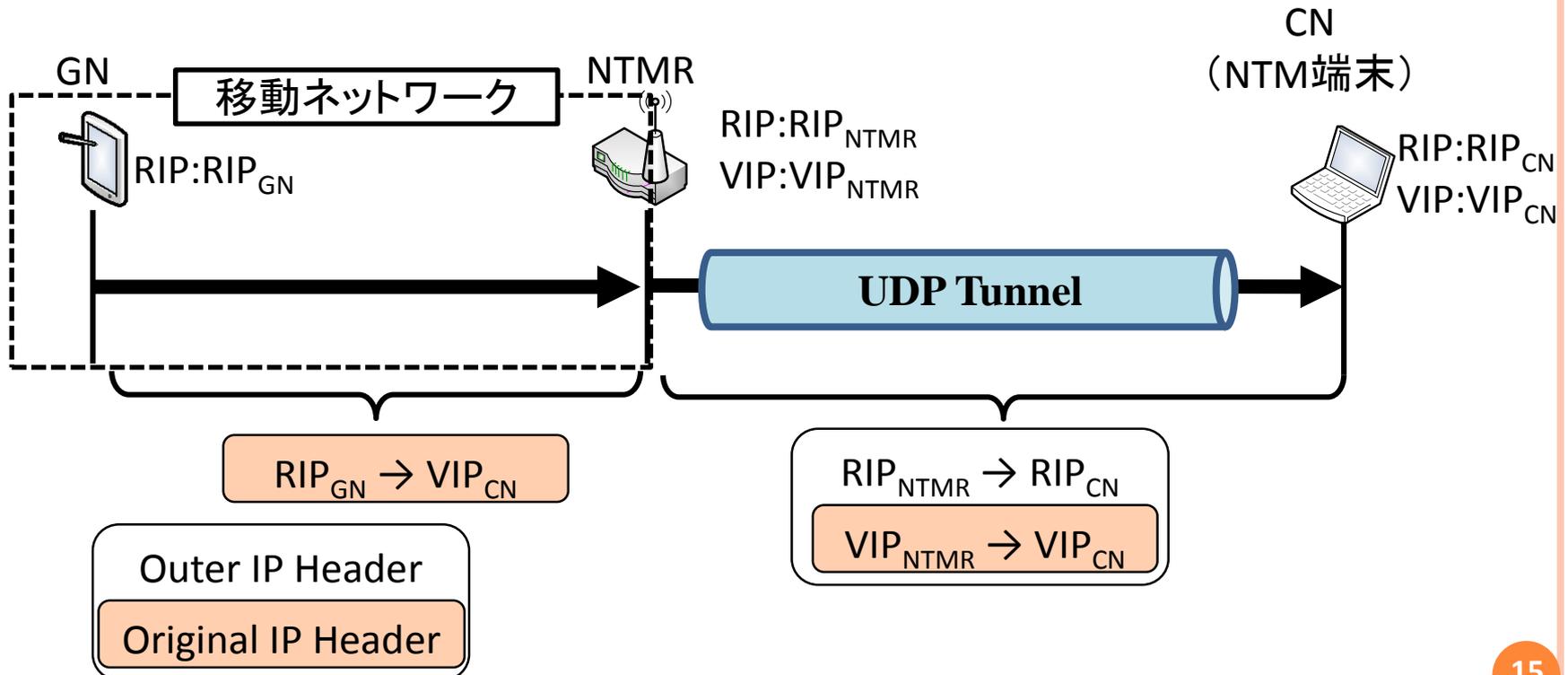
- GNのDNS Query受信をトリガーとしてNTM処理を実行
- トンネル構築シーケンスはNTMobileに基づく
 - NTMR～CN間でトンネルを構築
- NTMRはCNの仮想IPアドレスをGNに通知



通信の様子

RIP_X: 端末Xの実IPアドレス
VIP_X: 端末Xの仮想IPアドレス

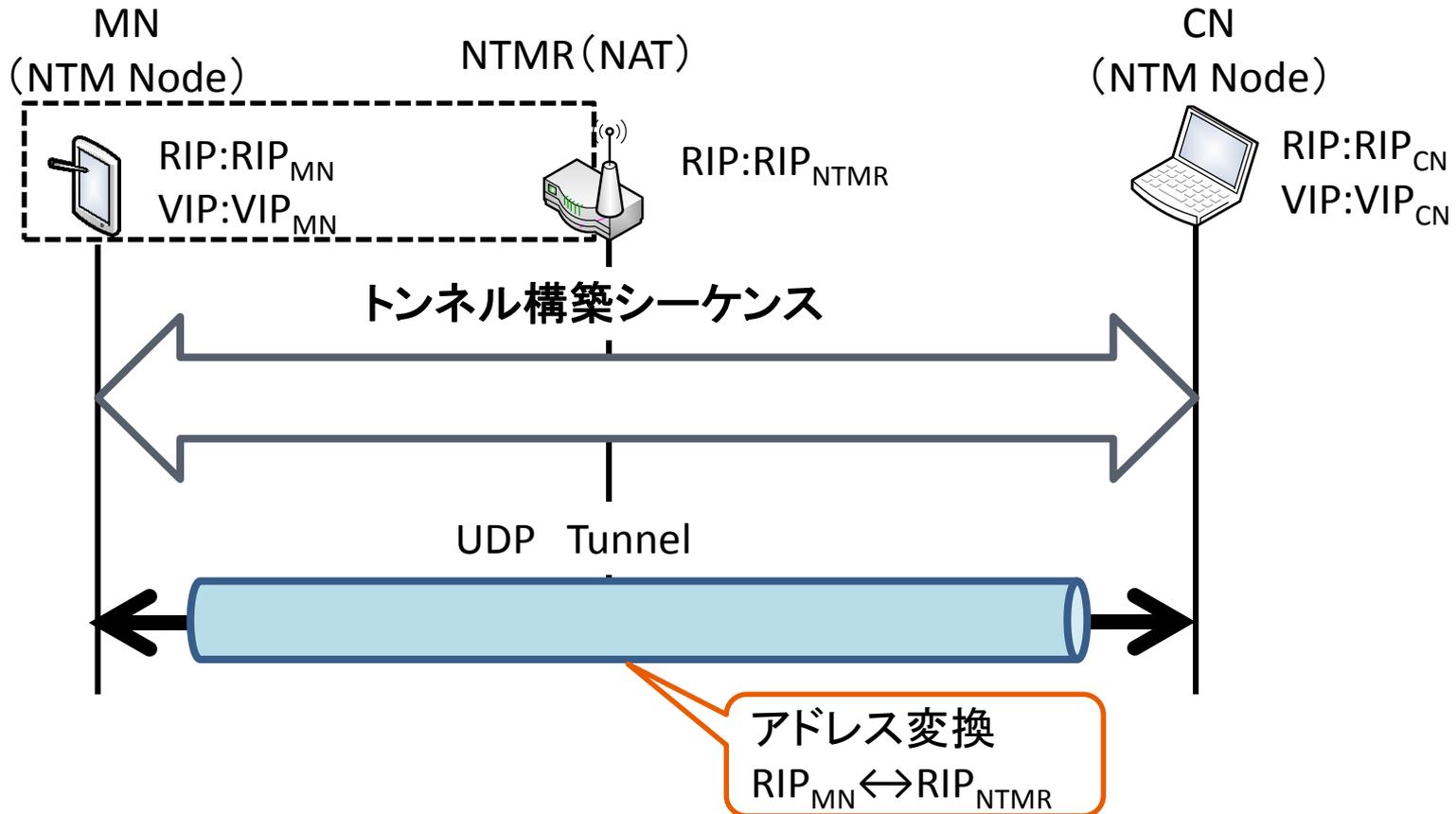
- NTMRとCN間はNTMに基づくトンネルを構築
 - GNは通信相手をVIP_{CN}と認識
- NTMRの移動時、NTMRとCN間の外側のIPヘッダのみ変化



ケース2

移動ネットワーク内がNTM端末の場合

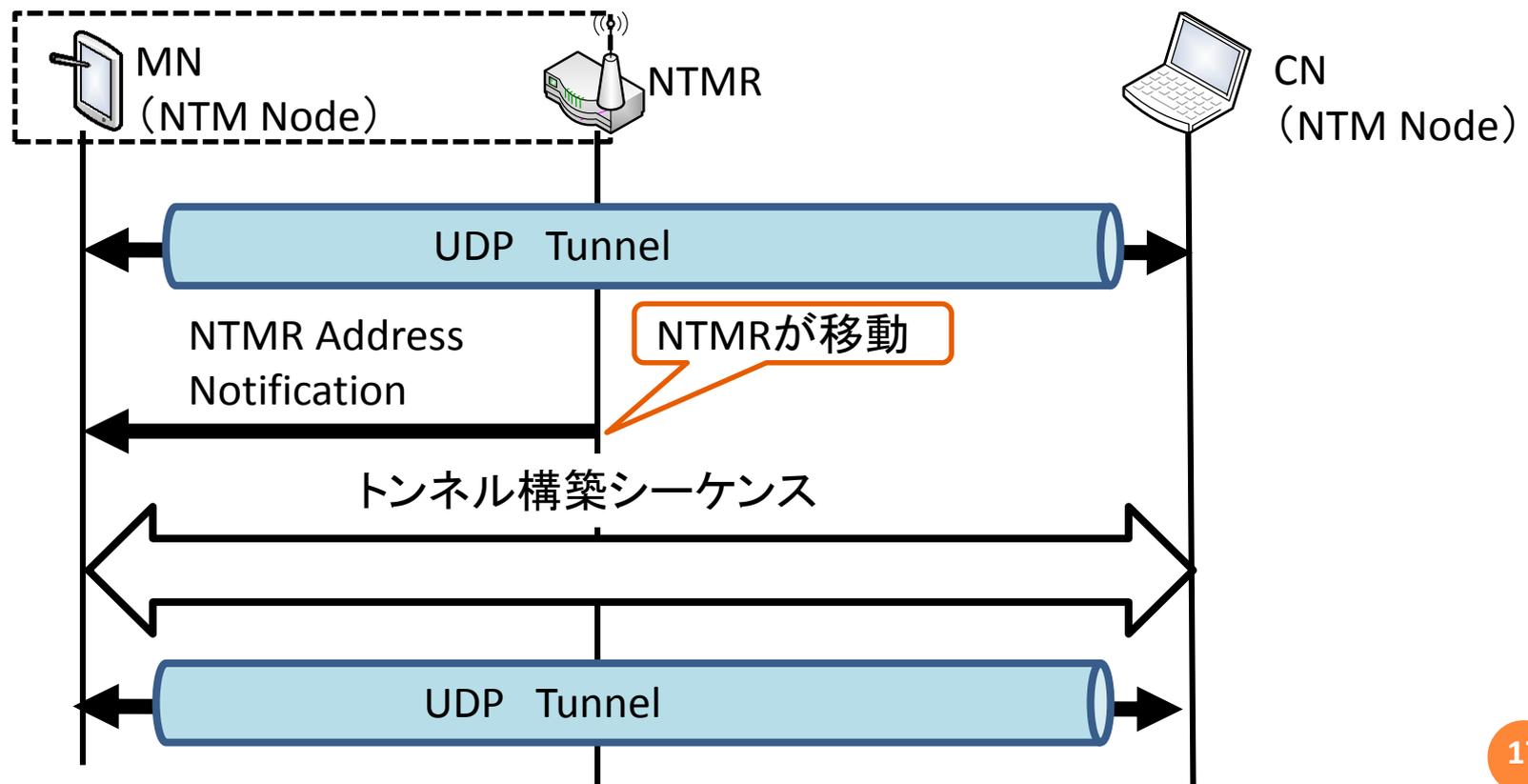
- NTMRは単なるNATとして動作
 - MN自身が移動透過性を有する



ネットワーク移動時のNTMRの処理

○ 移動後の情報を配下の端末に通知

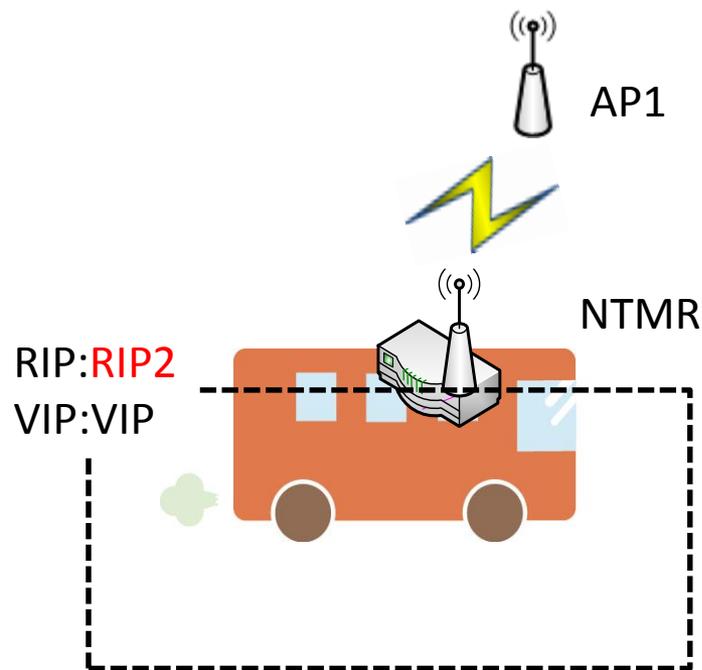
- 新たにNTMR Address NotificationにNTMRの移動後のアドレス情報を載せる
- MNは通知受信後に再度トンネル構築を行う



ネットワークの内外の移動

- NTM端末がNTM Mobileの機能を実行
 - 仮想IPアドレスに基づく通信により移動を隠蔽

RIP:RIP1
VIP:VIP



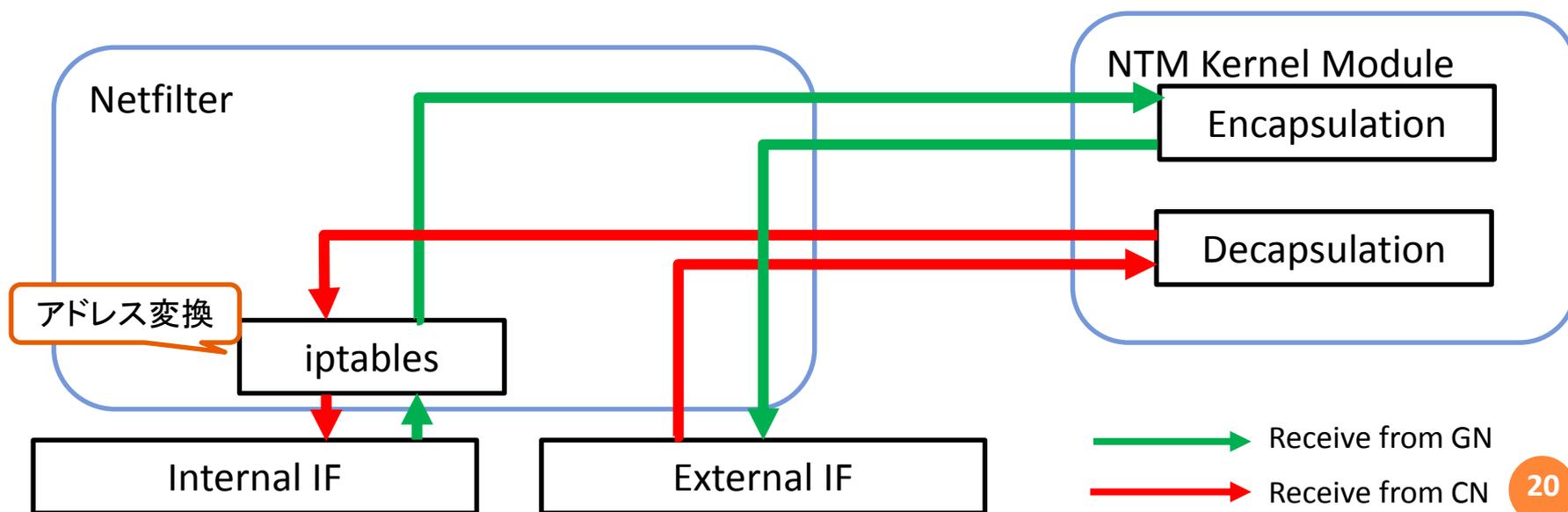
NTMRの実装

- NTMRはNTM端末の実装を拡張
- NTM端末の構成
 - NTM Daemon
 - 制御メッセージの送受信処理
 - NTM Kernel Module
 - パケットをフックしてカプセル化/デカプセル化

NTMR実装

○ NTMRの実装

- アドレス変換の追加とカーネルモジュールの変更
 - GNからのパケット受信時
 - 送信元をVIP_{NTMR}に変換した後、カプセル化モジュール処理
 - CNからのパケット受信時
 - デカプセル化モジュール処理後、宛先をRIP_{GN} 変換



定性評価

	NEMOv4	提案方式
移動ネットワーク内アドレス	× グローバルアドレスでなければならない	○ プライベートアドレス
一点障害	×	○ DC,RS複数設置可能
ネットワーク内外の移動	△※1	○

※1:ネットワーク内外の移動は出来るが, 二重トンネルになるため経路が冗長

まとめ

- NTMobileの機能を拡張してネットワーク単位の移動をサポート
 - NTMの機能を持ったNTMRを導入
 - 移動ネットワークの内部と外部を自由に移動
- NTMRの実装
 - NTM Kernel Moduleを拡張して実現
 - iptablesを利用してアドレス変換を実現
- 今度の予定
 - NTMR配下が一般端末の場合の残りの実装
 - LTE,Wi-Fiのハンドオーバー時の評価