

ネットワーク単位の移動透過性を実現する Mobile NPC の提案と評価

053432013 坂本順一
渡邊研究室

1. はじめに

無線 LAN やインターネットの急速な普及により、ユビキタス社会を実現するために移動しながらどこでも通信ができる環境が要求されている。しかし、インターネットでは通信を行っている端末が移動すると IP アドレスが変化するために通信が継続できない。そこで、移動によって IP アドレスが変わっても通信を継続できる移動透過性の研究が行われている。また、電車内や自動車内にもネットワークを構築し、そのネットワーク自体が移動しても、ネットワーク内の端末と外部端末との通信が継続できるネットワーク単位の移動透過性の研究も行われている。

ネットワーク単位の移動透過性を実現させた技術として Network Mobility Basic Support Protocol (NEMO) [1]がある。しかし NEMO は Home Agent (HA) のような特殊なサーバの設置が必要で、HA を介して通信を行うために通信経路が冗長になり、トンネル化によるヘッダオーバーヘッドが発生するなどの課題がある。またネットワーク内の全ての端末はグローバルアドレスを保持しなければならず、アドレス管理が面倒である。

我々は、これまで端末単位の移動透過性を実現させる Mobile Peer to Peer Communication (Mobile PPC) [2] と呼ぶプロトコルを研究してきた。またグローバルアドレス空間の端末とプライベートアドレス空間の端末が自由に通信を行える (NAT 越え通信) NAT-free protocol (NAT-f) [3] と呼ぶプロトコルも研究してきた。Mobile PPC は Mobile Node (MN) の移動前後の情報を記憶しておき、IP 層でアドレス変換することにより IP 層より上位層に対してアドレスの変化を隠蔽させてコネクションを維持することができる。NAT-f は端末とルータが協調して NAT テーブルを強制的に生成させ、かつ端末側でポート番号の変換を行うことにより NAT 越えを実現できる。

本稿では Mobile PPC と NAT-f を組み合わせることにより、ネットワーク単位の移動透過性を実現する Mobile Network to Peer Communication (Mobile NPC) を提案する。Mobile NPC は、特殊な装置の設置が不要でアドレス管理が容易という特徴がある。Mobile NPC を実装し、評価した結果、本機能の追加によるオーバーヘッドが十分小さいことを示すことができた。

2. Mobile NPC

2.1 概要

Mobile NPC の移動ネットワークは、Mobile PPC と NAT-f の両機能を実装した Mobile NPC Router (MPR) によりインターネットと接続される。移動ネットワーク

内は IPv4 のプライベートアドレス空間とし、複数の一般端末 Private address Terminal (PT) が存在できる。

Mobile PPC で使用するアドレス変換テーブルと NAT-f で使用するアドレス・ポート変換テーブルを統合して Port Address translation Table (PAT) を定義した。本提案方式では通信を開始する方向により処理と生成される PAT が異なるという特徴がある。PT から Correspondent Node (CN) に向けての通信を開始する場合、MPR は通常の NAT 処理によるアドレス変換を行った後、CN との間で MPPC を実行する。CN から PT に向けて通信を開始する場合、CN は最初のパケットを送信する前、MPR との間で NAT-f によるネゴシエーション処理を行い、通信を開始する。本稿では MNPC 特有の動きとなる後者の動きを中心に説明する。

2.2 DNS 名前解決処理

CN の上位ソフトウェアは MPR の FQDN に通信したい PT のホスト名を付加して Dynamic DNS (DDNS) サーバに名前解決を要求する。DDNS サーバはワイルドカード機能により MPR のグローバルアドレスを CN に応答する。CN は DDNS サーバからの応答を受信すると IP 層で MPR のグローバルアドレスから仮想アドレスに書き換えて上位ソフトウェアに渡し、上位ソフトウェアは仮想アドレスを取得する。仮想アドレスを用いる理由は上位ソフトウェアが MPR 配下のどの PT と通信しているかと区別するためである。

2.3 ネゴシエーション処理

次に CN と MPR 間で通信に先立つネゴシエーション処理を図 1 に示す。CN の上位ソフトウェアは仮想アドレス宛で最初のパケットを送信する。IP 層に渡されるとパケットを退避する。CN は退避させたパケットのコネクション情報と通信したい PT のホスト名を MPR に通知する。MPR は CN からの通知を受信すると、受信した情報から強制的に NAT table を生成する。さらに MPR は NAT table に生成されたポート番号に変換する PAT を生成する。MPR は処理が完了したこ

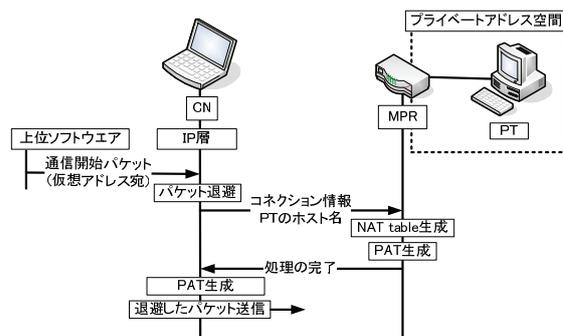


図 1 ネゴシエーション処理

とを CN に通知する。CN は MPR からの通知を受信すると、仮想アドレスから MPR のグローバルアドレスに変換する PAT を生成し、退避したパケットを送信する。

2.4 変換処理

ネゴシエーション処理後 CN から PT にパケットを送信する処理を示す。仮想アドレス宛のパケットが IP 層に渡されると、PAT を参照して宛先アドレスを MPR のグローバルアドレスに変換して送信する。受信した MPR は IP 層で PAT を参照して宛先ポート番号を NAT table に生成されたポート番号に変換して NAT に渡す。NAT は NAT table を参照して宛先アドレスを PT のアドレスに変換して送信する。逆方向のパケットは上記と逆の変換を行う。

2.5 移動時の処理

移動して MPR のグローバルアドレスが変わると、CN と MPR は MPPC のネゴシエーションを実行し、PAT を更新する。更新した PAT には MPR 移動後のグローバルアドレスに変換する情報が書かれる。このとき MPR の NAPT テーブルにはいっさい影響がない。

2.6 移動後の変換処理

移動後 CN から PT にパケットを送信する処理を図 2 に示す。仮想アドレス宛のパケットが IP 層に渡されると PAT を参照して宛先アドレスを MPR 移動後のアドレスに変換して送信する。受信した MPR は IP 層で PAT を参照して宛先アドレスを MPR 移動前のアドレス、宛先ポート番号を NAT table に生成されたポート番号に変換して NAT に渡す。NAT は NAT table を参照して宛先アドレスを PT のアドレスに変換して送信する。逆方向のパケットは上記と逆の変換を行う。

以上のように通信中に移動しても CN の上位ソフトウェアと MPR の NAT はアドレスの変化に気づかず、コネクションを維持することができる。

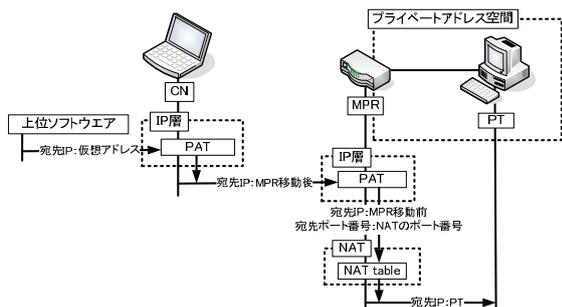


図 2 移動後の変換処理

3. 実装と評価

3.1 実装

Mobile NPC を FreeBSD 上に実装し動作検証を行った。NAPT は FreeBSD に標準にインストールされている natd を利用した。

3.2 評価システムの構成

3 台の CN に Mobile PPC と NAT-f を実装し、MPR に Mobile NPC と NAPT を実装した。3 台の端末 PT を MPR 配下に設置した。MPR の移動は手で LAN ケーブルをつなぎ替えた後に DHCP によるアドレスの取得を行わせた。LAN は 100base-TX とした。

3.3 スループットの測定結果

Mobile NPC を実装した場合に MPR の処理が中継性に与える影響を調査するため PT から CN への通信と CN から PT への通信のスループットを測定した。測定には Iperf を使い 30 秒間の通信を 10 回試行してその平均をとった。

MPR に Mobile NPC を実装しなかった場合と実装した場合のスループットを測定した。表 1 は PT 側から通信を開始し、通信端末のペア数を 1 から 3 まで増加させた場合、表 2 は CN 側から通信を開始し、通信端末数を 1 から 3 まで増加させた場合の測定結果である。表 2 における Mobile NPC 未実装時は IP フォワードの設定により CN から PT への通信開始を可能とした。

これらの結果から MPR が Mobile NPC 機能を保持したことによる通信のオーバーヘッドの増加はほとんどないことが分かる。

表 1 スループット (PT ⇒ CN)

通信端末のペア数	未実装	実装
1	94.9Mbits/sec	94.7Mbits/sec
2	47.5Mbits/sec	47.5Mbits/sec
3	31.7Mbits/sec	31.7Mbits/sec

表 2 スループット (CN ⇒ PT)

通信端末数	未実装 (IP フォワード)	実装
1	94.1Mbits/sec	94.1Mbits/sec
2	47.1Mbits/sec	47.1Mbits/sec
3	31.3Mbits/sec	31.4Mbits/sec

4. まとめ

Mobile PPC と NAT-f を組み合わせることによりネットワーク単位の移動透過性を実現する Mobile NPC を提案した。Mobile NPC は特殊なサーバを必要とせず、ネットワーク内をプライベートアドレスとすることができる。FreeBSD に実装して性能を測定した結果、オーバーヘッドが十分小さいことを確認した。

参考文献

- [1] V. Devarapalli, R. Wakikawa, A. Petrescu and P. Thubert: Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol, RFC3963 (2005).
- [2] 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, Dec.2006.
- [3] 鈴木 秀和, 渡邊 晃, “アドレス空間透過性を実現する NAT-f の実装と評価,” マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2006) シンポジウム論文集(I), Vol.2006, No.6, pp.453-456, Jul.2006.



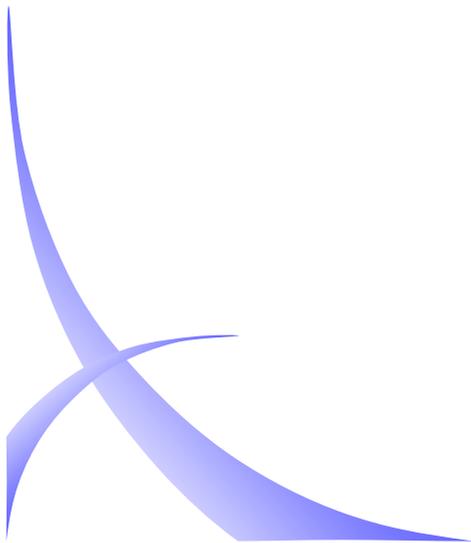
ネットワーク単位の移動透過性を
実現するMobile NPCの提案と評価



A proposal of Mobile NPC realizing
Network Mobility and its evaluation.

渡邊研究室

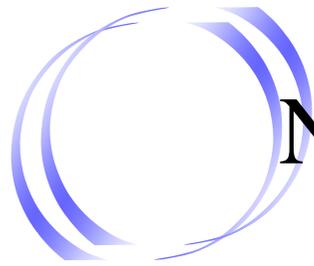
053432013 坂本順一



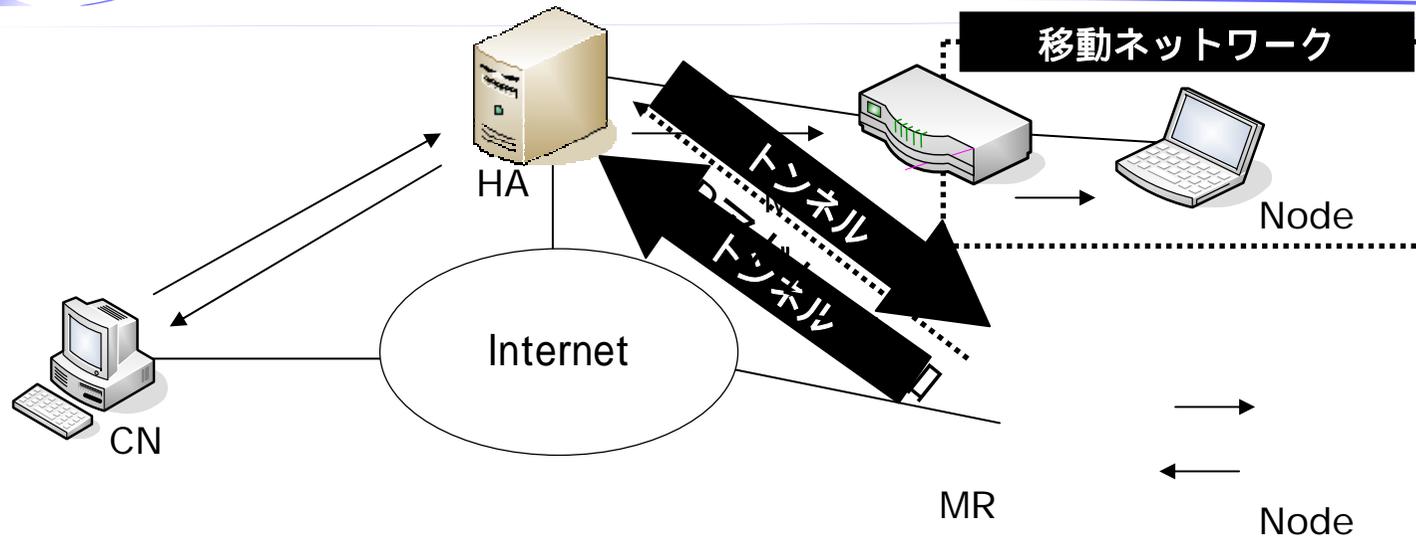


はじめに

- **無線LANやインターネットの普及**
 - 移動しながら通信する環境の要求
- **電車・自動車内にネットワークを構築**
 - そのネットワーク自体が移動しながらネットワーク配下の端末が通信
- **移動すると通信が継続できない**
 - ネットワーク単位の移動透過性の研究



NEMO (Network Mobility)の概要と課題



- **課題**
 - HAの設置
 - 通信経路の冗長
 - パケットのヘッダオーバヘッド

HA : Home Agent

MR : Mobile Router

CN : Correspondent Node



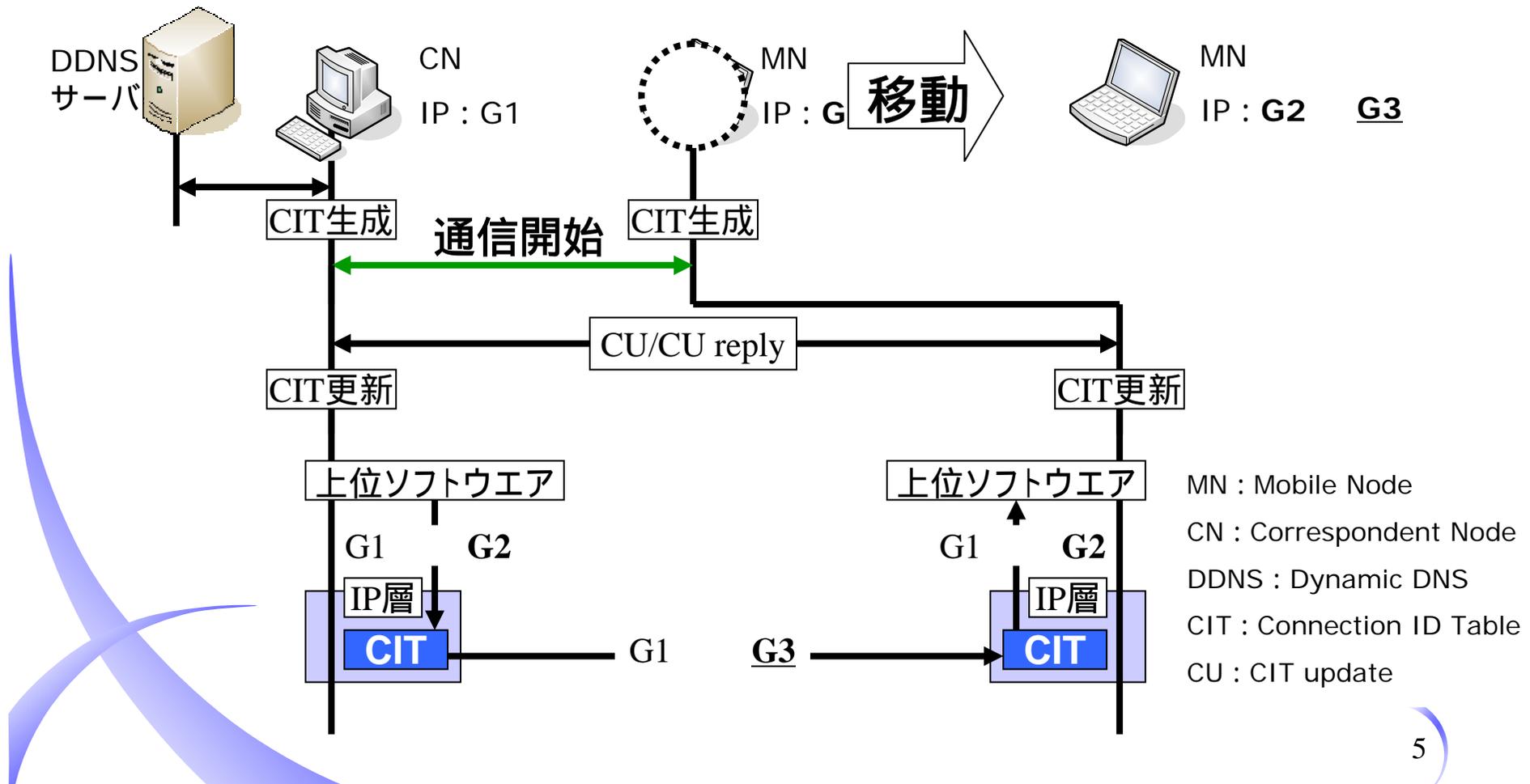
ネットワーク単位の移動透過性の要求条件

- 既存技術 (NEMOを含む) の移動ネットワーク内はグローバルアドレスが前提
 - 移動ネットワーク内はプライベートアドレスが望ましい
- 外部からプライベートアドレス空間の端末が見えないため、通信を開始できない
 - NAT越えを解決する必要あり
- 特殊なサーバ不要



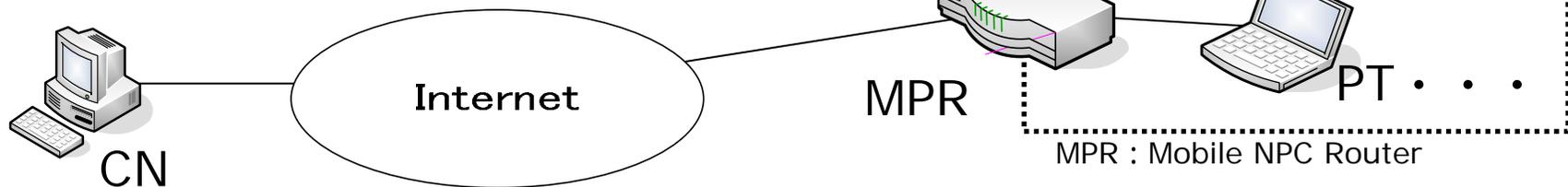
Mobile PPC (Mobile Peer to Peer Communication)

- 特別なサーバ不要、端末の移動透過性をエンド端末のみで実現



Mobile NPC (Mobile Network to Peer Communication) の概要

ネットワーク構成図



概要

- PTは一般端末
- 移動ネットワークはIPv4のプライベートアドレス空間
- NAT越え問題
 - NAT-f(NAT-free)の機能を流用
- 移動透過性
 - Mobile PPCの機能を流用
- Mobile PPCのCITとNAT-fで利用するテーブルを統合し, PAT (Port Address translation Table)を定義
- 通信開始する方向により, 処理と生成されるPATが異なる



通信開始処理 (PT ↔ CN)

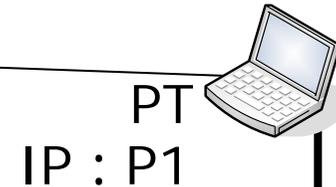
MPR : Mobile NPC Router

PT : Private address Terminal

CN : Correspondent Node

PAT : Port Address translation Table

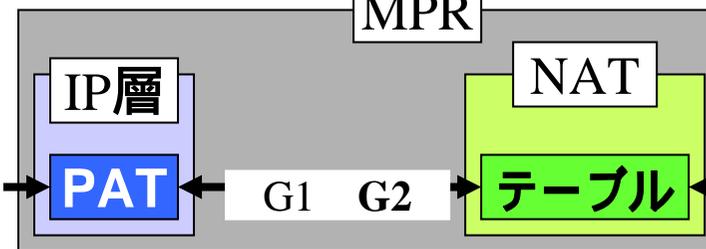
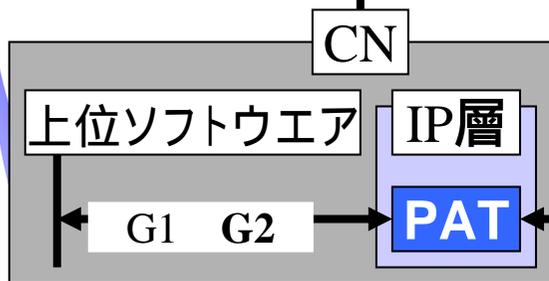
移動ネットワーク



PAT生成

NATテーブル生成

PAT生成





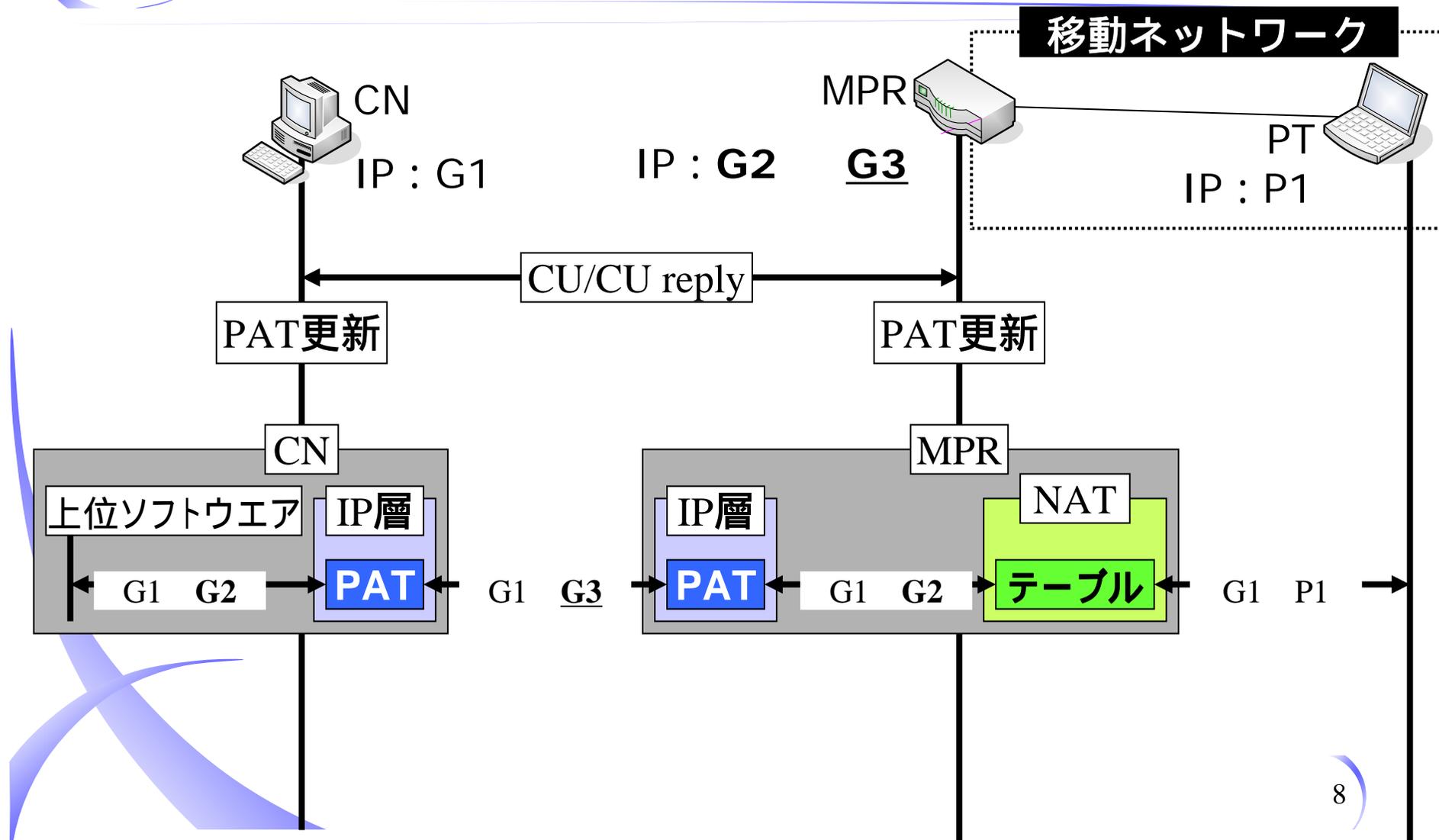
移動時と移動後の変換処理 (PT CN)

MPR : Mobile NPC Router

PT : Private address Terminal

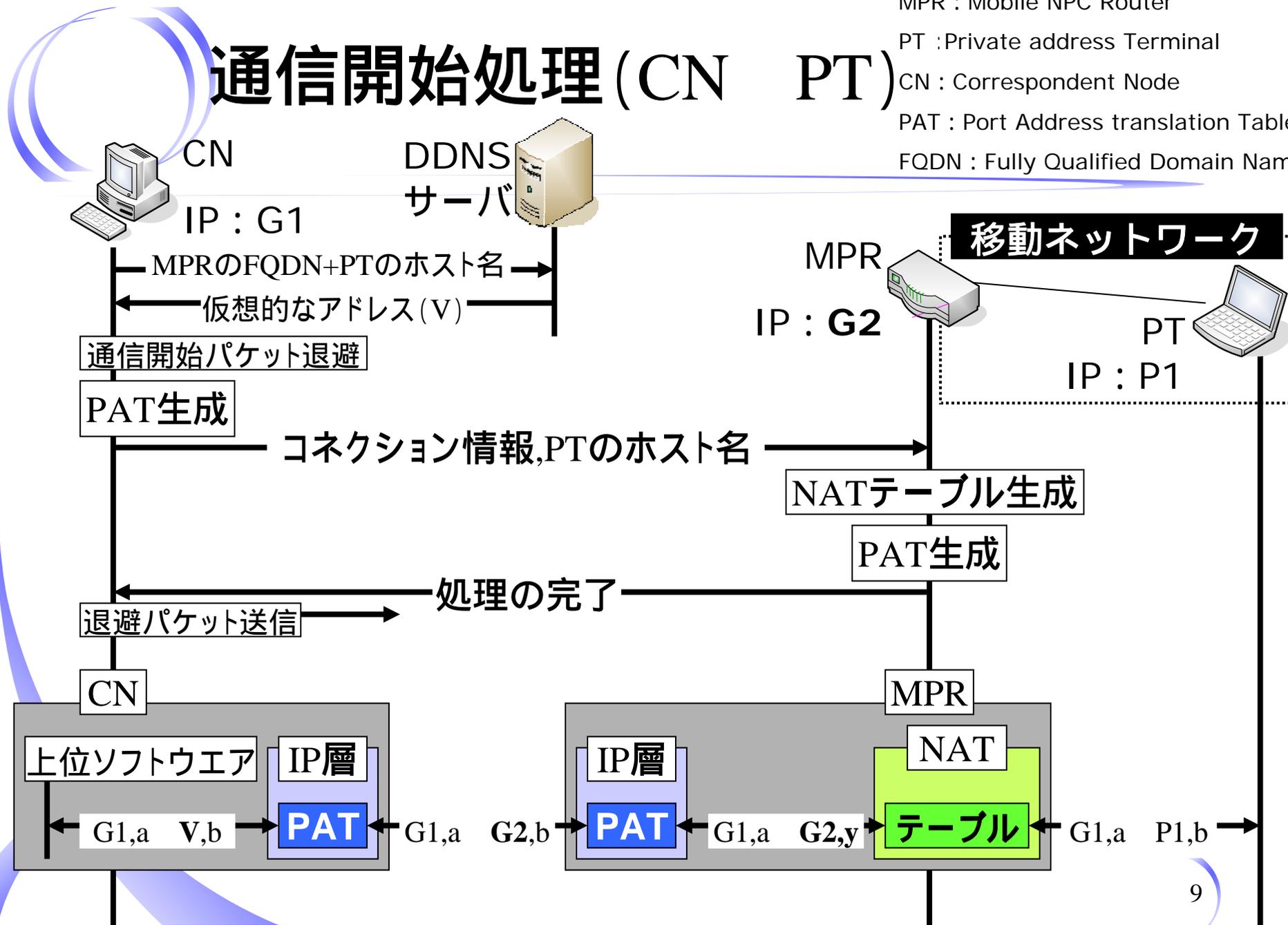
CN : Correspondent Node

PAT : Port Address translation Table



通信開始処理 (CN PT)

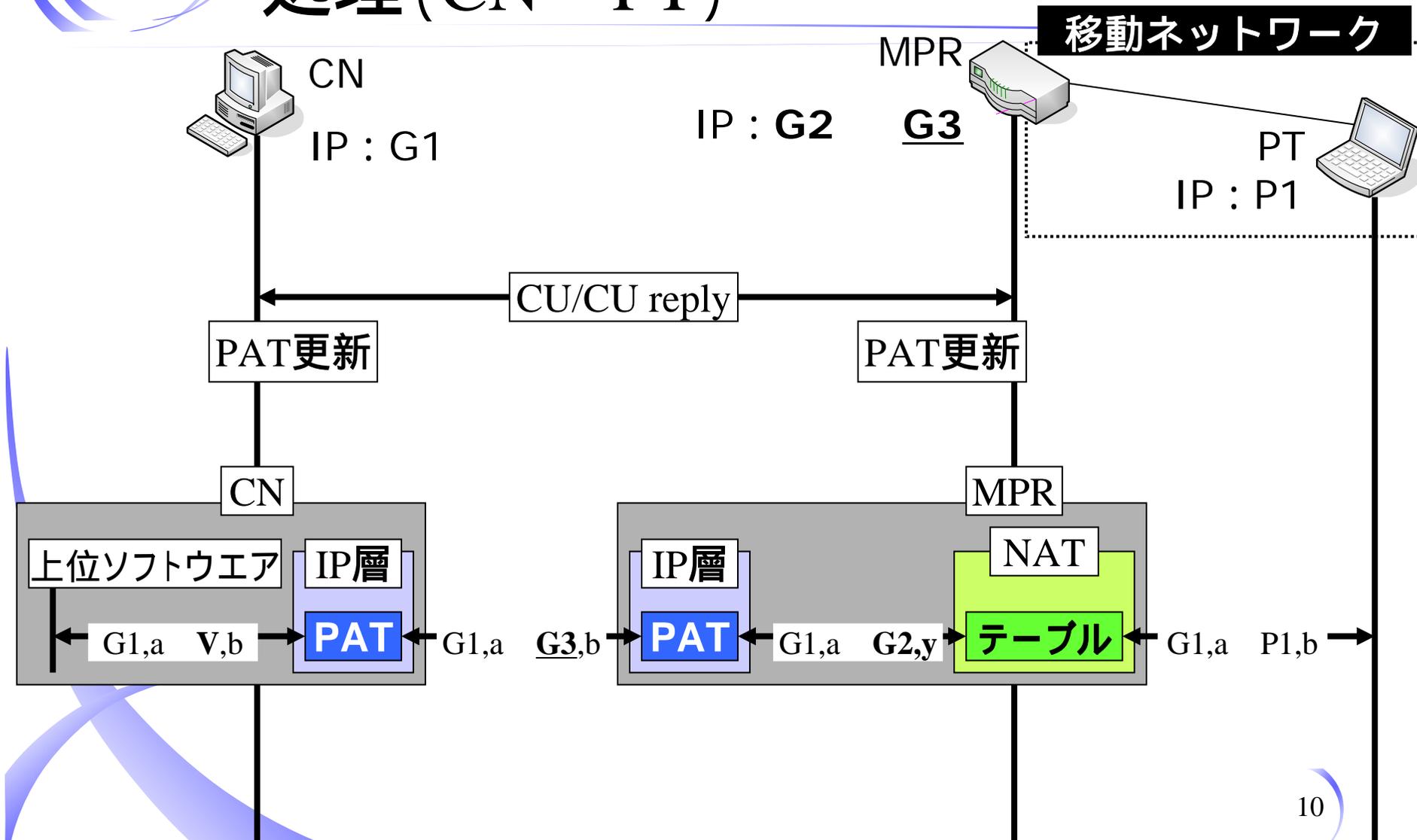
MPR : Mobile NPC Router
 PT : Private address Terminal
 CN : Correspondent Node
 PAT : Port Address translation Table
 FQDN : Fully Qualified Domain Name





移動時と移動後の変換処理 (CN PT)

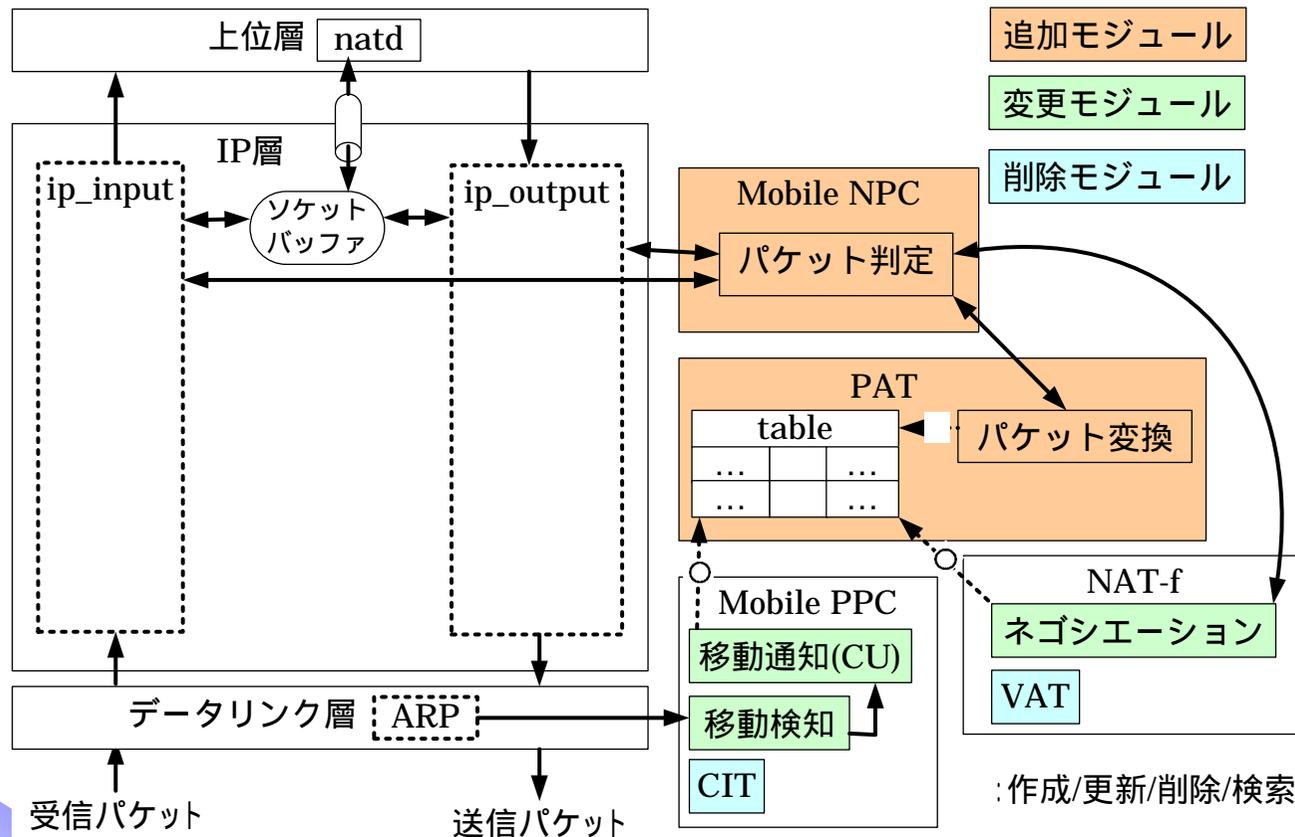
MPR : Mobile NPC Router
PT : Private address Terminal
CN : Correspondent Node
PAT : Port Address translation Table





実装の概要とモジュール構成

- OSはFreeBSD、NATはFreeBSDに標準にインストールされているnatdを使用
- Mobile NPC: グローバル側のインターフェースの場合のみ各モジュール呼び出す
- natd: ソケットバッファを介してアドレス変換





評価環境

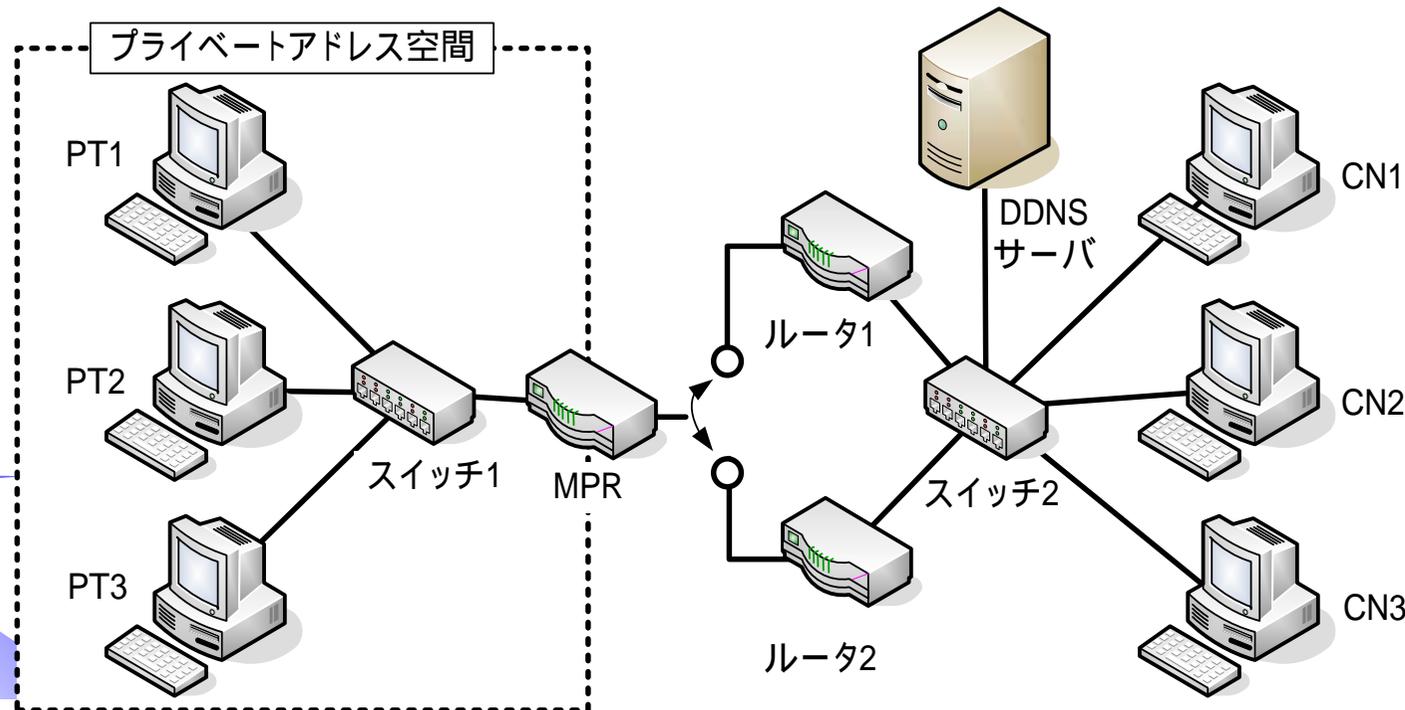
MPR : Mobile NPC Router

PT : Private address Terminal

CN : Correspondent Node

DDNS : Dynamic DNS

- NICはすべて100Base-TX
- 移動方法
 - LANケーブルを手動で抜き差しで切り替え
 - 切り替え後にルータ1、2からアドレス取得



A proposal of Mobile NPC realizing Network Mobility and its evaluation.



スループット(Iperfで30秒間10回試行の平均)

- PTとCN間のスループット

PT : Private address Terminal

CN : Correspondent Node

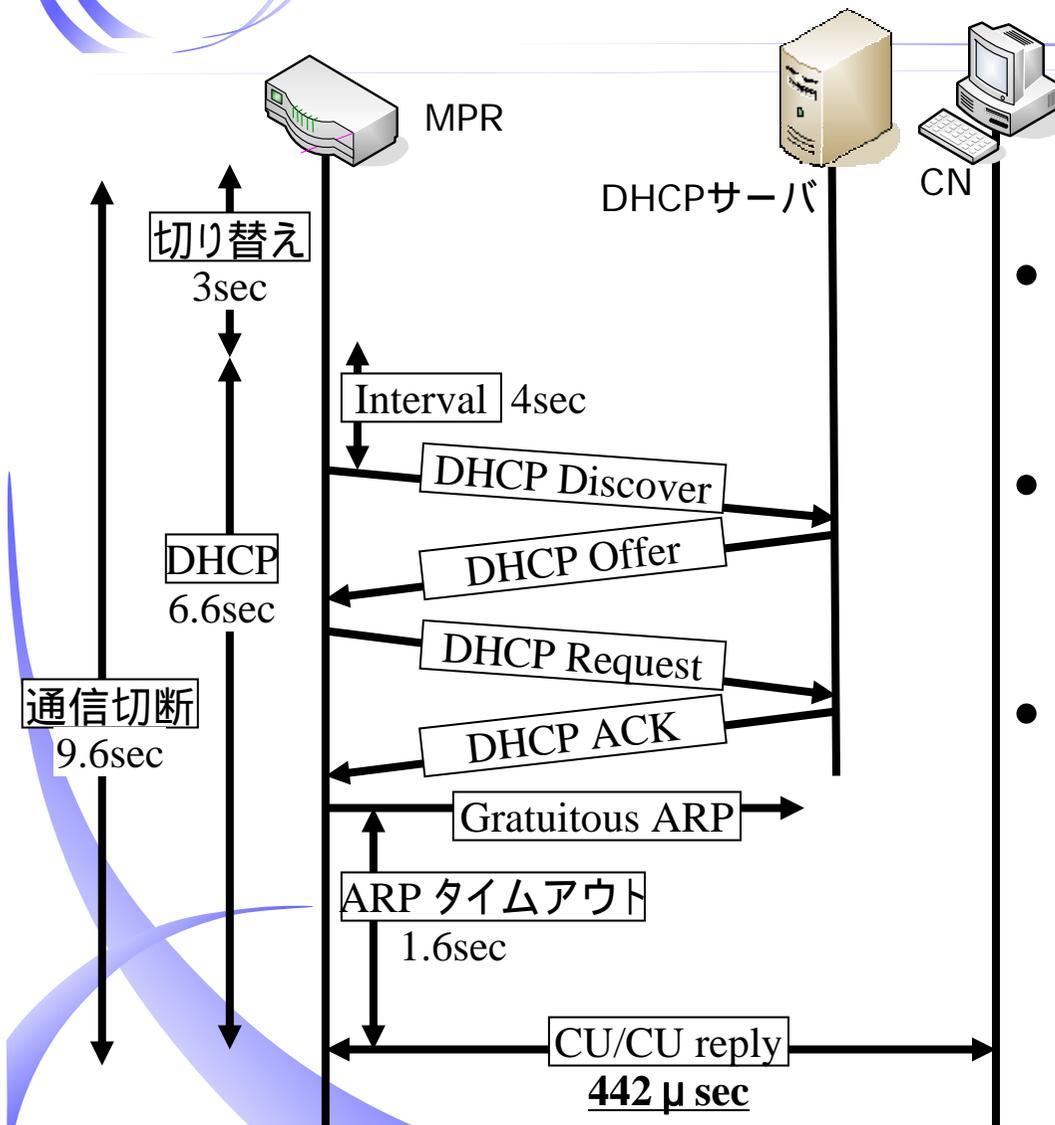
通信端末数	未実装	実装
1	94.9	94.7
2	47.5	47.5
3	31.7	31.7

単位 : Mbits/sec

- 未実装 : NATのみ
- 実装 : NAT、Mobile NPC



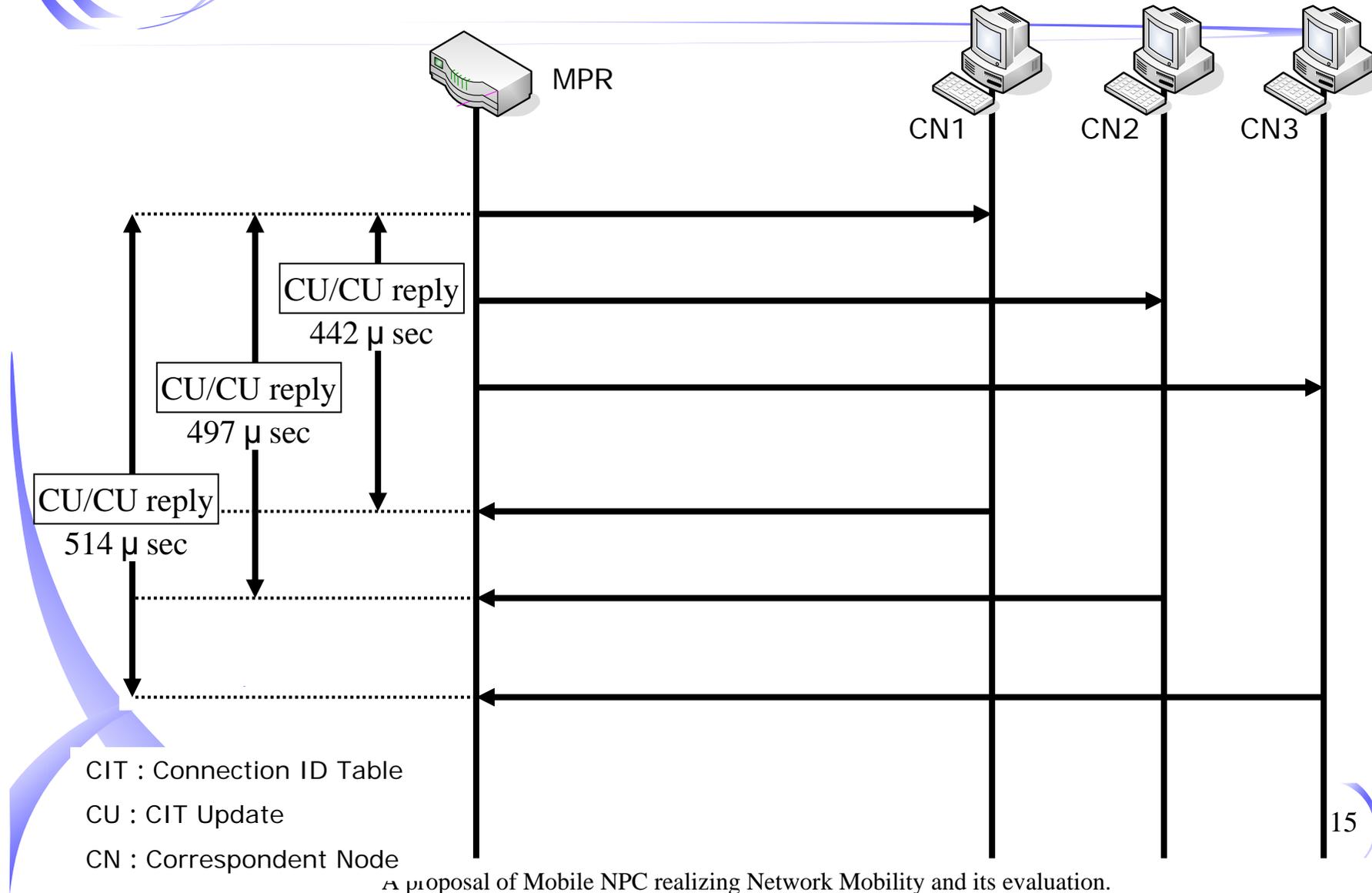
通信切断時間(10回試行の平均)



- 切り替えは手動
 - 無線LANのL2ハンドオーバ (50 ~ 400msec)
- DHCPは、すぐにメッセージを送信せず、Intervalが発生
 - Intervalは不要な時間
- 通信切断時間
 - 9.6sec 2.6 ~ 3.0sec



CU処理時間(10回試行の平均)





既存技術の比較

	NEMO	Mobile NPC
通信経路		
ヘッダオーバーヘッド		
CNへの実装		×
特殊サーバ設置	×	
アドレス管理・制限	×	



まとめと今後

- Mobile NPC
 - 概要と動作
 - Mobile PPCとNAT-fを組み合わせ
 - 実装方法
 - 評価
 - 中継性能の影響
 - 移動をネットワークにした効果
- 今後
 - DDNS登録の実装

スループット(Iperfで30秒間10回試行の平均)

- PTからCNへの通信

- PTとCNの通信ペア数を3まで増加

PT : Private address Terminal

CN : Correspondent Node

通信端末のペア数	未実装	実装
1	94.9Mbits/sec	94.7Mbits/sec
2	47.5Mbits/sec	47.5Mbits/sec
3	31.7Mbits/sec	31.7Mbits/sec

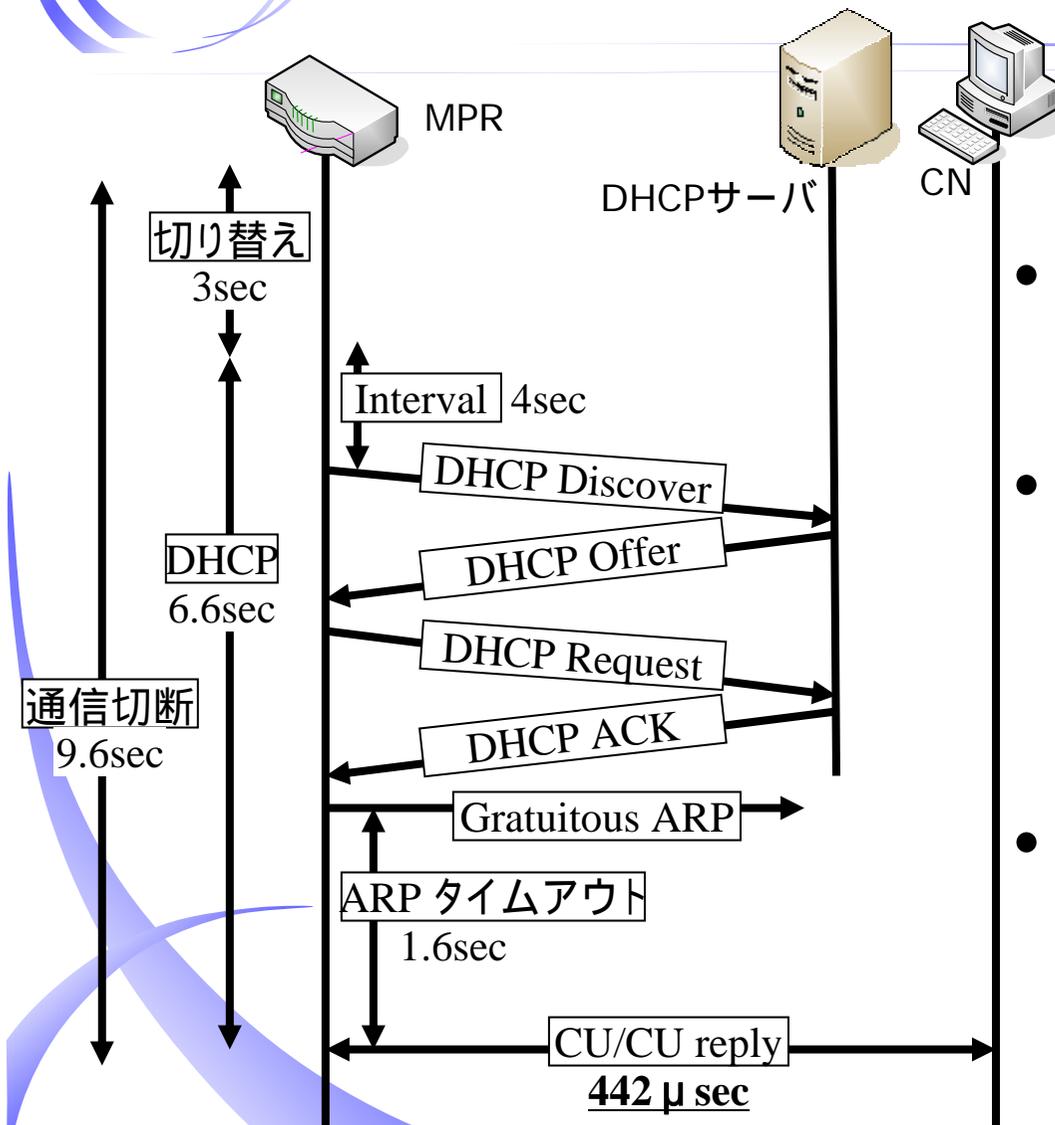
- CNからPTへの通信

- PTに通信するCNを3台まで増加
- 未実装はIPフォワードの設定でCNからPTの通信可能

通信端末数	未実装 (IPフォワード)	実装
1	94.1Mbits/sec	94.1Mbits/sec
2	47.1Mbits/sec	47.1Mbits/sec
3	31.3Mbits/sec	31.4Mbits/sec



通信切断時間(10回試行の平均)



- 切り替えは手動
 - 無線LANのL2ハンドオーバ(50 ~ 400msec)
- Intervalは複数端末の同時アドレス要求のロックを防ぐ
 - 移動をネットワークにしたことでアドレス取得はMPRの1回
 - Intervalは不要な時間
- 通信切断時間
 - 9.6sec 2.6 ~ 3.0sec

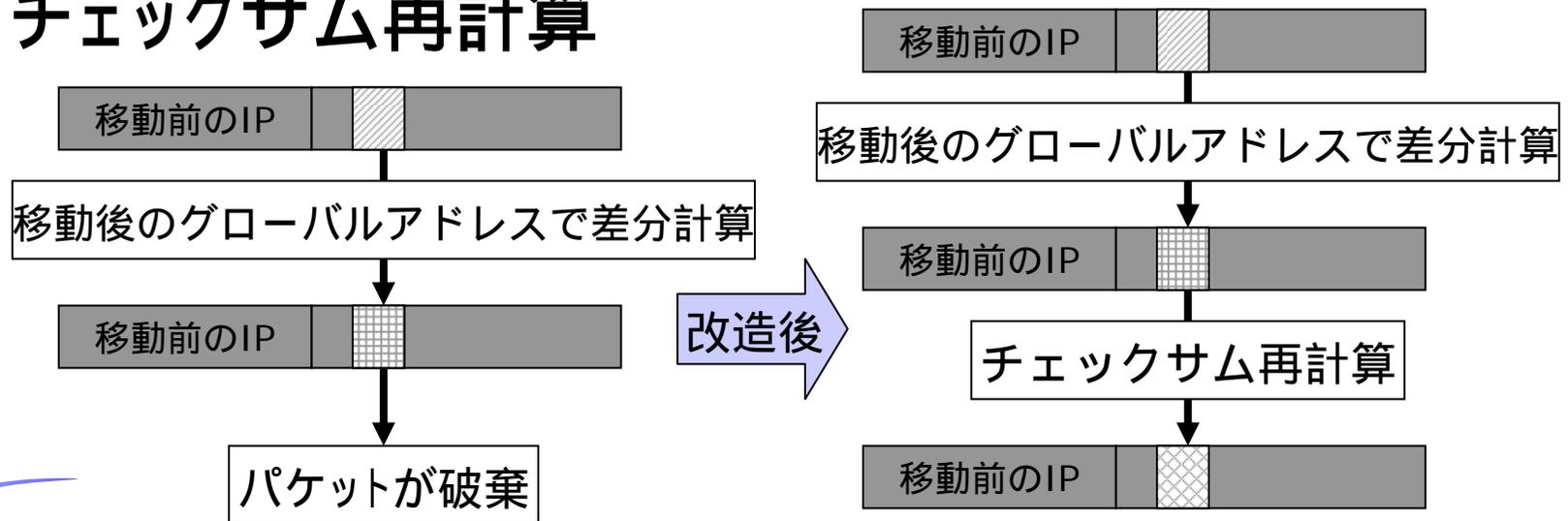


DDNS登録

- 認証方式は既存の技術を利用
 - TSIG
 - 共有秘密鍵で認証
 - 鍵の更新 (TKEY)
- 登録はアプリケーションで実行
 - 初期立ち上げ時
 - アドレス変化の検知
 - DDNSサーバへ登録
 - nsupdateコマンドの実行

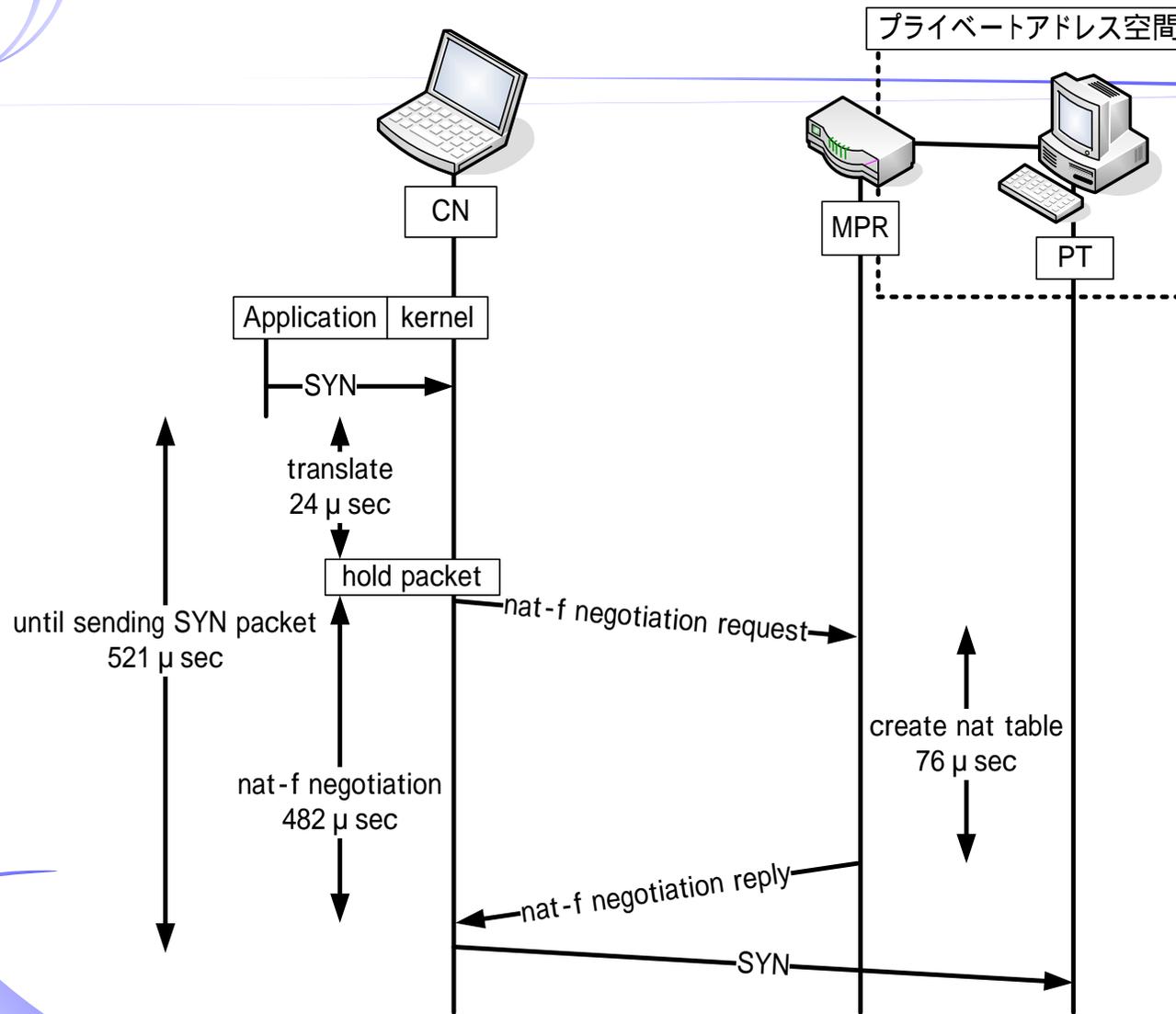
natdの改造

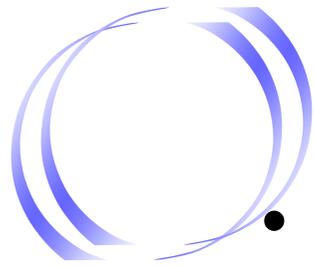
- アドレス変換テーブル
 - アドレスが変わると保持しているアドレス変換テーブルを全て削除
- チェックサム再計算





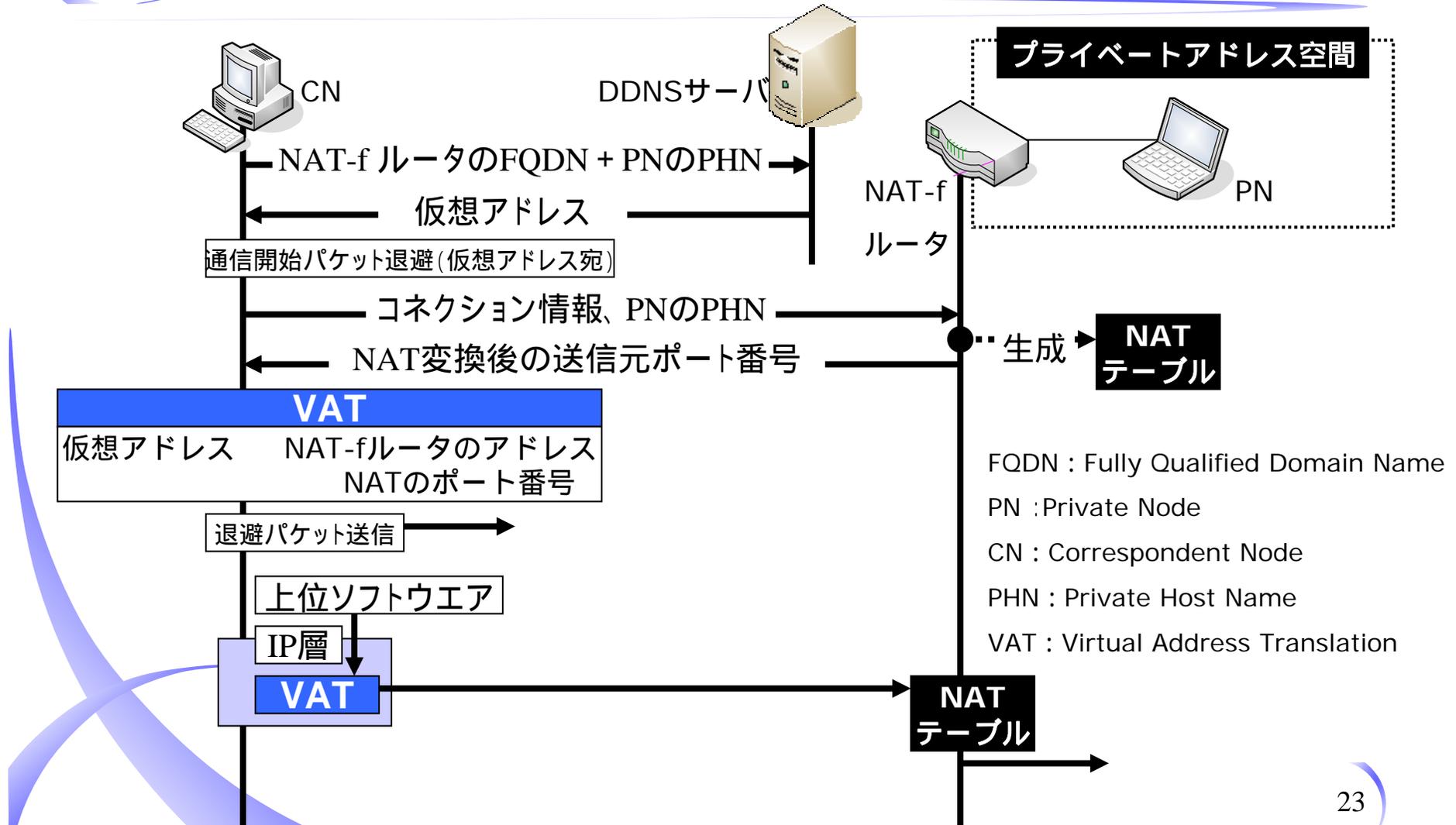
NAT-fネゴシエーションのオーバヘッド





NAT-f (NAT-free)

- 特別なサーバ不要でNAT越えを実現





移動透過性の実現方法

- 移動透過性を実現するには以下の条件を満たす必要がある
 - 通信継続性
 - 通信中に移動しても通信を継続する
 - 移動ノード到達性
 - 相手端末がどこに移動しても、通信開始することができる