

Mobile PPC を利用したネットワーク単位の移動透過性の提案

坂本 順一 鈴木 秀和 竹内 元規 渡邊 晃

名城大学大学院理工学研究科

A Proposal of Network Mobility using Mobile PPC

Junichi Sakamoto Hidekazu Suzuki Motoki Takeuchi Akira Watanabe

Graduate School of Science and Technology, Meijo University

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、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その端末の 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盛んに行われている。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。

移動透過性を実現する方式はプロキシ方式とエンド・ツー・エンド方式に分類される。プロキシ方式は相手通信端末からのパケットをプロキシサーバが中継し、移動ノード (Mobile Node; 以下 MN) に転送を行う方式である。エンド・ツー・エンド方式はプロキシサーバを利用せずにエンド端末間で移動透過な通信を行う方式である。

端末単位の移動透過性を実現させたプロキシ方式の既存技術として Mobile IP¹⁾ がある。また Mobile IP を利用して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 (以下 NEMO)²⁾ や、Mobile IPv6³⁾ に基づいた NEMO Basic Support Protocol⁴⁾ などが RFC で定義されている。NEMO は Mobile IP の技術を利用しているため、Home Agent (以下 HA) のような特殊なサーバの設置が必要なことや、HA を介して通信を行うための通信経路の冗長、トンネル化によるヘッダオーバーヘッド、HA による一点障害など Mobile IP と同様の課題がある。

我々は端末単位の移動透過性をエンド・ツー・エンド方式で実現させた Mobile Peer to Peer Communication (以下 Mobile PPC)⁵⁾ を提案している。Mobile PPC は 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で 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。

本稿では、Mobile PPC と NATP を組み合わせることにより、特殊なサーバの設置が不要で通信経路の冗長やヘッダオーバーヘッドが発生しないネットワーク単位の移動透過性を実現する方式を提案する。

以下 2 章で NEMO の概要と課題、3 章で Mobile PPC の概要、4 章で提案方式の概要、5 章で提案方式の実装、6 章で NEMO と提案方式を評価し、7 章でまとめる。

2. NEMO の概要と課題

NEMO は、端末単位の移動透過性を実現した Mobile IP を利用してネットワーク単位の移動透過性を実現する技術である。移動するネットワーク内には複数の端末が存在し、その端末は Mobile Router (以下 MR) を介して通信を行う。移動ネットワーク内のアドレスは移動しても変わらない。また HA は、MR の移動ネットワークのネットワークプレフィ

クスを保持する。

NEMO の構成と通信方法を図 1 に示す。移動ネットワークが移動すると、MR は HA に対して新しい IP アドレスを HA に通知する。

ここで、相手通信端末 (以下 CN) と MR 配下の Node が通信中にネットワークが移動したものとす。CN から Node にパケットを送信する場合、CN は Node 宛にパケットを送信すると HA に到達する (①)。HA は、そのパケットの宛先アドレスのネットワークプレフィックスと保持している MR のネットワークプレフィックスが一致すると、MR の新しい IP アドレス宛にパケットをトンネル化して送信する (②)。MR は、トンネル化を解除して Node にパケットを送信する (③)。

逆に Node から CN にパケットを送信する場合、Node は、CN 宛のパケットを送信すると MR に到達する (④)。MR は、HA 宛に逆方向トンネル化して送信する (⑤)。HA は、パケットのトンネル化を解除して CN にパケットを送信する (⑥)。

このようにして移動ネットワークが移動しても、CN と移動ネットワーク内の Node と通信を継続することができ、ネットワーク単位の移動透過性を実現している。

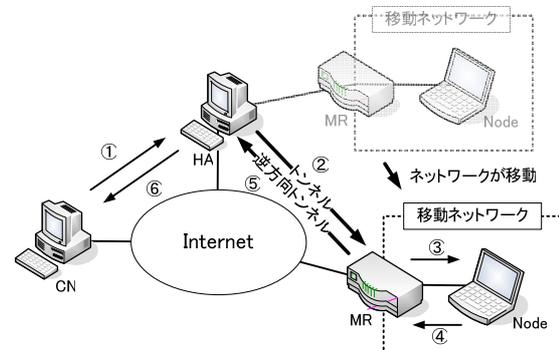


図 1 NEMO の構成と通信方法

NEMO は、Mobile IP の技術を利用しているため、HA を介して通信を行うために発生する通信経路の冗長、HA と MR 間の双方向トンネル化によるヘッダオーバーヘッド、HA に障害が起こると通信できなくなる一点障害など、Mobile IP と同様の課題がある。

3. Mobile PPC

Mobile PPC は、HA のような特別なサーバが不要で、端末の移動透過性をエンド端末間で実現する技術である。Mobile PPC では、移動端末 (MN) の移動前後の情報を両エンド端末が IP 層で記憶しておき、IP 層でアドレス変換することにより上位層に影響を与えないまま移動透過性を実現することができる。

図 2 に Mobile PPC の動作を示す。ここで CN と MN は既に通信を行っているものとする。MN が移動して、IP アドレス

が mIP0 から mIP1 に変わると、MN は自身が IP 層に保持するアドレス変換テーブル(Connection ID Table;以下 CIT)を更新する。CIT とはアドレス変換に必要な移動前後のコネクション情報の対応関係を記したテーブルである。MN はその後 CN に対し、移動の通知(Binding Update : 以下 BU)を送信する。CN は BU を受信すると自らの CIT を更新する。以下に CIT の更新後の動作を示す。

CN が MN へパケットを送信するときは、IP 層でアドレス変換テーブル CIT を参照して、宛先アドレスを mIP0 から mIP1 に変換して送信する。パケットを受信した MN は IP 層でアドレス変換テーブル CIT を参照して、宛先アドレスを mIP1 から mIP0 に変換して上位層へ渡す。MN が CN にパケットを送信する場合は上記と逆の変換処理を行う。

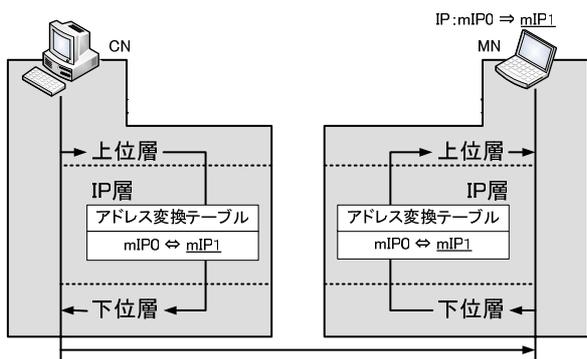


図 2 Mobile PPC の動作

このように MN が通信中に移動しても、IP 層において正しくルーティングされるようにアドレス変換し、上位ソフトウェアに対してはアドレスの変化を隠蔽することにより、コネクションを維持することができる。

4. 提案方式

4.1. 概要

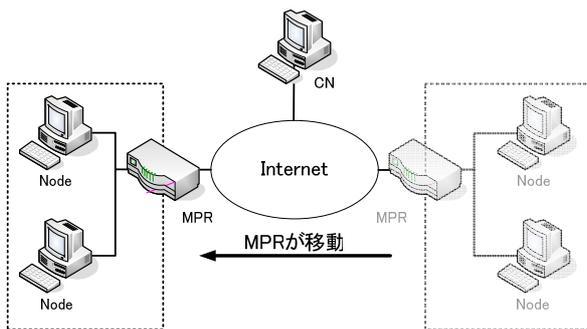


図 3 移動ネットワークの構成図

提案方式の移動ネットワークの構成を図3に示す。移動ネットワークは、Mobile PPCとNAPTを実装したMobile PPC Router(以下 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（以下 Node）が存在するものとする。Node はインターネット上の Mobile PPC を実装した CN と通信することを想定する。移動ネットワーク内のアドレス体系をプライベートアドレス空間としているので、Node と CN が通

信を行うときは、必ず Node 側から通信を開始する必要がある。

4.2. 移動透過性の実現

ネットワーク移動前、移動時、移動後の通信処理を以下に示す。

(1) 移動前の処理

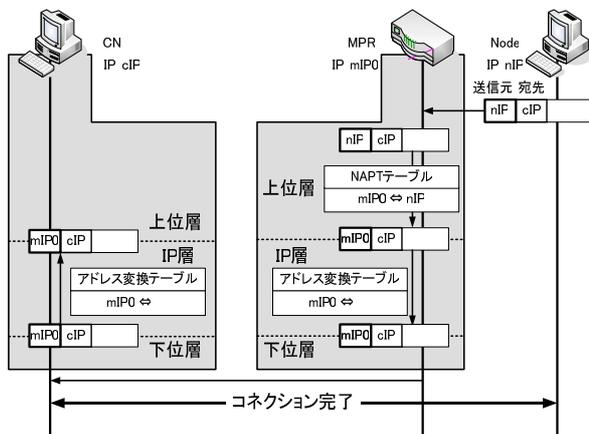


図 4 Node と CN との通信開始処理

Node が CN に通信を開始する場合の処理を図4に示す。CN の cIP と MPR の mIP0 はグローバルアドレス、Node の nIP はプライベートアドレスである。移動ネットワーク内のNode（アドレス：nIP）がCN（アドレス：cIP）に向けて最初のパケットを送信する。そのパケットを受信したMPRは、まず、NAPTテーブルを生成する。NAPTテーブルを生成後、この内容に基づきパケットの送信元アドレスをNodeのアドレスnIPからMPRのアドレスmIP0に変換してIP層に渡す。ここまでは通常のNAPTの処理と同様である。次にMPRのIP層では、Mobile PPCによりCITを作成してからパケットを送信する。

CN は受信したパケットからCITを作成してから上位層へ渡す。この時点で、CITにはアドレス変換情報は書かれておらず、アドレス変換の処理は行われず、以後の通信ではNAPTによるアドレス変換の処理のみが行われ、CNとNodeの通信が行われる。

(2) 移動時の処理

移動ネットワークが移動してMPRのグローバルアドレスがmIP0からmIP1になると、Mobile PPCの手順に従いMPR自身が保持するCITを更新してから、CNへ移動の通知(BU)を送信する。BUを受信したCNはMPRと同様にCITを更新する。このときNAPTテーブルはまったく変更しない。

(3) 移動後の処理

MPRとCNがCITを更新後、NodeがCNへパケットを送信した場合の処理を図5に示す。Nodeからのパケットを受信したMPRはNAPTテーブルを参照して、送信元アドレスをNodeのアドレスnIPからMPRの移動前のアドレスmIP0に変換し、MPRのIP層へ渡す。IP層ではMobile PPCによりCITを参照して、送信元アドレスをMPRの移動前のアドレスmIP0から移動後のアドレスmIP1に変換して、CNへ送信する。CNは受信したパケットをIP層でMobile PPCに

より CIT を参照して、送信元アドレスを MPR の移動後のアドレス mIP1 から移動前のアドレス mIP0 に変換して、上位層へ渡す。

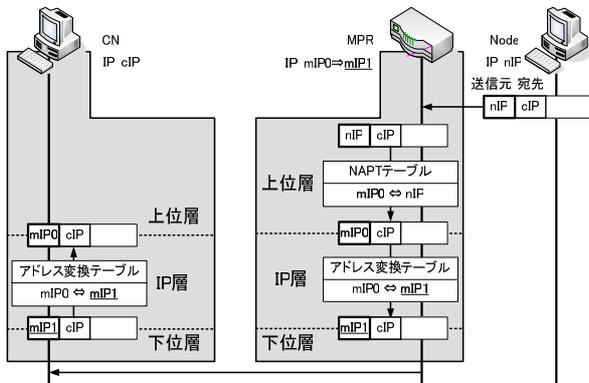


図 5 MPR 移動後の通信処理 (Node ⇒ CN)

逆に CN が Node へパケットを返信する場合の処理を図 6 に示す。CN が Node にパケットを送信するとき、CN の IP 層より上位ソフトウェアは、宛先アドレスを MPR の移動前のアドレス mIP0 としてパケットを送信する。そのパケットが IP 層に渡されると CIT を参照して、宛先アドレスを MPR の移動前のアドレス mIP0 から移動後のアドレス mIP1 に変換して、MPR に送信する。MPR はパケット送信時とは逆の手順で処理を行う。

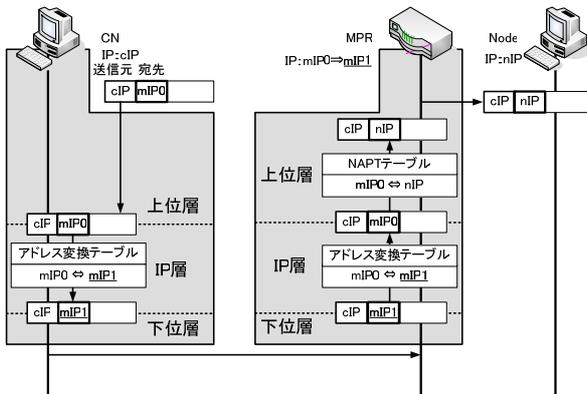


図 6 MPR 移動後の通信処理 (CN ⇒ Node)

このようにして Node と CN が通信中にネットワークが移動しても、CN と Node はコネクションを維持することができる。

5. 実装

5.1. 実装の概要

提案方式をオープンソースの FreeBSD に実装する。以下に使用する用語は次のような機能を持つ。ip_input, ip_output, ip_forward は FreeBSD で定義された関数名である。natd はアプリケーション層で動作するアドレス変換デーモンである。ipfw は FreeBSD で動作するファイアウォールである。Divert は natd がパケットの取り出しを行えるようにサポートするソケットである。ipfw と Divert は標準で FreeBSD で利用できる。提案方式は ipfw と Divert を IP 層に導入する。

MPR の IP 層に MPR モジュールを新しく作成する。MPR

はプライベート側からグローバル側へ、またはその逆方向へのパケットを転送できるように Mobile PPC の機能を拡張したものである。BU の処理、CIT の生成・参照・更新、移動後のアドレス変換の処理は、Mobile PPC の処理をそのまま用いる。

5.2. 実装の動作

Mobile PPC Router においてパケットをプライベートアドレス側からグローバルアドレス側、またその逆方向に転送させる場合の動作を以下に示す。

(1) プライベート側からグローバル側への処理

プライベート側から受信したパケットをグローバル側に送信する場合のパケットの流れを図 7 に示す。受信したパケットは IP 層の ip_input から MPR に渡される (①, ②)。この場合、MPR は受信したパケットがプライベート側からであるため何の処理も行わず ipfw に渡す (③)。ipfw を通過したら、ip_forward を経由して ip_output に渡す (④, ⑤)。ip_output 側でもパケットが MPR に渡される (⑥)。この場合も、パケットの送信元アドレスがプライベートアドレスであるために MPR は処理を行わずに ipfw にパケットを渡した後 Divert にパケットを渡す (⑦, ⑧)。natd は、ソケットを介して Divert からパケットを取得して、パケットの送信元アドレスをプライベートからグローバルに変換して Divert に戻す。通信開始パケットの場合はここで NATP テーブルが生成される (⑨, ⑩)。natd により変換されたパケットは Divert から ip_output を通して、再び MPR に渡される (⑪, ⑫)。この時点で MPR は通信開始のパケットの場合は CIT の生成を行い、それ以外のパケットは CIT の参照を行い、アドレス変換などを行って ipfw 経由でパケットを送信する (⑬, ⑭)。

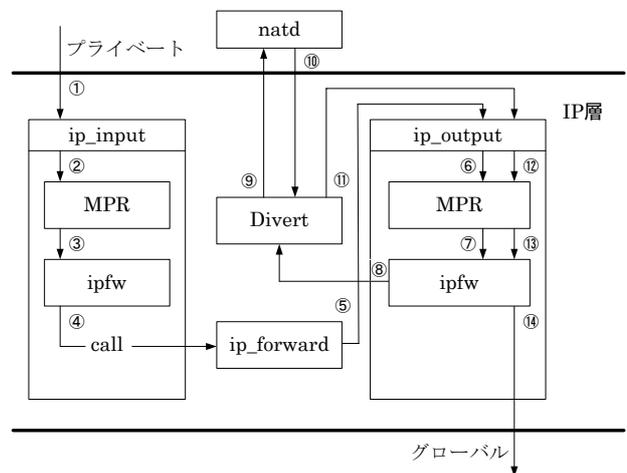


図 7 プライベート側からグローバル側への処理

(2) グローバル側からプライベート側への処理

グローバル側から受信したパケットをローカル側に送信する場合のパケットの流れを図 8 に示す。受信したパケットは ip_input から MPR に渡される (①, ②)。この時点で MPR は CIT の参照を行い、アドレス変換などを行って ipfw にパケットを渡した後、Divert にパケットを渡す (③, ④)。natd は、ソケットを介して Divert からパケットを取得して、パケ

ットの宛先アドレスをグローバルからプライベートに変換して Divert に戻す。(5, 6) natd により変換されたパケットは Divert から ip_output を通して, 再び MPR に渡される(7, 8) この場合は, パケットの宛先アドレスがプライベートアドレスであるために MPR は処理を行わずに ipfw にパケットを渡す(9). ipfw を通過したら, ip_forward を経由して ip_output に渡される(10, 11). ip_output 側でもパケットは MPR に渡される(12). この場合 MPR は送信するパケットがプライベート側であるため何の処理も行わず ipfw 経由でパケットを送信する。(13, 14)

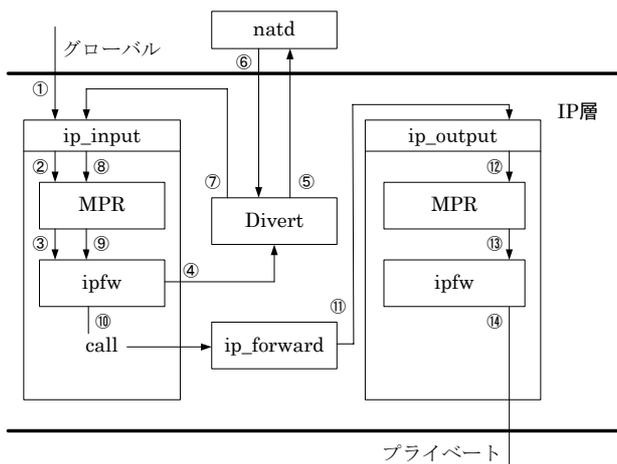


図 8 グローバル側からプライベート側への処理

6. 評価

NEMO と提案方式を比較した結果を表 1 に示す.

特殊なサーバの設置

NEMO は特殊なサーバ HA が必要であり導入の敷居が高い. 提案方式は, エンド端末間での処理が可能であり NEMO に比べて導入しやすいと考えられる.

CN への特別な実装

NEMO では CN に特別な処理を必要としない. 提案方式では, CN に対し Mobile PPC を実装する必要がある. Mobile PPC を実装していない CN と通信を行う場合, 通信することは可能だが移動して IP アドレスが変化すると通信を継続することができない.

通信経路

NEMO では HA と MR を介して通信が行われるため, 通信経路の冗長が発生する. 提案方式は MPR と CN 間で直接通信するため, 通信経路は常に最適な経路で通信が行われる.

ヘッダオーバーヘッド

NEMO は MR と HA 間のすべての通信をトンネル化するため, ヘッダオーバーヘッドが発生する. 提案方式は, パケット長が変化しないので, ヘッダオーバーヘッドが発生しない.

耐障害性

NEMO は CN と MR の間の通信において HA を介して通信を行う. そのため HA に障害が発生すると, すべての通信できなくなる. 提案方式は特別なサーバを介さずに CN と MPR 間で直接通信を行うため, 一点障害が発生しない.

アドレスの管理

NEMO の移動ネットワークのアドレス体系はグローバルアドレスを想定しているため, 移動ネットワークのアドレス

は指定されたアドレスしか割り当てることができない. 提案方式の移動ネットワークのアドレス体系はプライベートアドレスを想定しており, 移動ネットワーク内のアドレスを自由に割り当てることができる. またアドレスに制約がないため移動ネットワーク内のアドレス管理が容易である.

外部からのアクセス開始

NEMO の移動ネットワークのアドレス体系はグローバルアドレスを想定しているため, 移動ネットワークの外部と内部で自由に通信できる. 提案方式では, 移動ネットワークのアドレス体系はプライベートアドレスであるため, NAT の制約のため外部から内部の端末にアクセスを開始することができない.

移動ネットワーク内への移動

NEMO は移動ネットワーク内に別の移動ネットワークが移動したり, Node が移動ネットワークの内外を移動しても, コネクションを維持することができる. 提案方式では, まだこのような環境を想定しておらず, 今後の課題である.

表 1 NEMO と提案方式の比較

	NEMO	提案方式
特殊なサーバの設置	×	○
CN への特別な実装	○	×
通信経路	×	○
ヘッダオーバーヘッド	×	○
耐障害性	×	○
アドレスの管理	×	○
外部からのアクセス	○	×
移動ネットワーク内への移動	○	×

以上のことから本提案方式は, 移動ネットワークが構築された電車内やバス内で, 乗客などが自由に端末を接続して外部のサーバや端末などと通信したい場合に適している.

7. むすび

本研究では Mobile PPC と NATP を実装させた MPR を用いることでネットワーク単位の移動透過性を実現できることを示した. 本方式は特殊なサーバを必要とせず, 常に最適な通信経路で通信が行われ, ヘッダオーバーヘッドや一点障害などの問題が発生しない. 今後は FreeBSD に提案方式を実装し検証を行う予定である.

参考文献

- 1) C. Perkins: IP Mobility Support, RFC2002 (1996).
- 2) C. Perkins: IP Mobility Support for IPv4, RFC3344 (2002).
- 3) T. Ernst: Network Mobility Support Goals and Requirements, Internet-Draft (2004).
- 4) D. Jhonson, C. Perkins and J. Arkko: Mobility Support in IPv6, RFC3775 (2004).
- 5) V. Devarapalli, R. Wakikawa, A. Petrescu and P. Thubert: Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol, RFC3963 (2005).
- 6) 竹内元規, 鈴木秀和, 渡邊晃: モバイル端末の移動透過性を実現する Mobile PPC の実装, 情報処理, 2005-MBL-32, pp.29-35 (2005).



Mobile PPCを利用したネットワーク単位の移動透過性の提案
A Proposal of Network Mobility using Mobile PPC

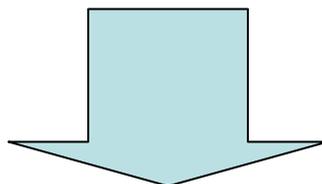
名城大学大学院理工学研究科

坂本順一 鈴木秀和 竹内元規 渡邊晃

はじめに

- 無線LANやインターネットが普及
- 移動しながら通信したい

移動すると通信を継続できない

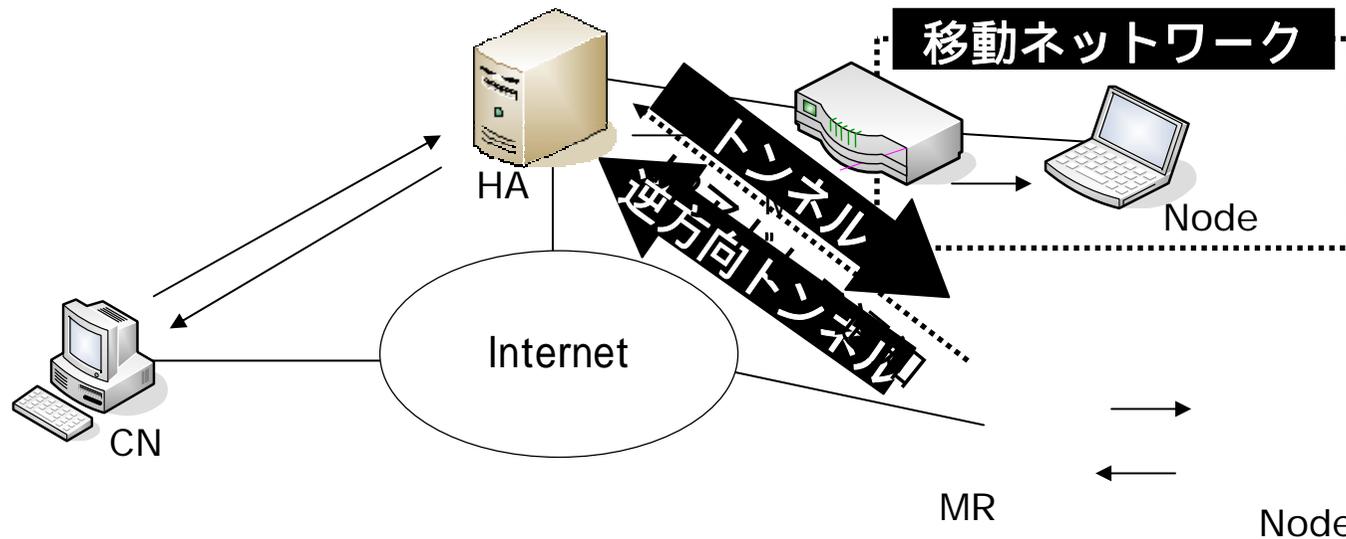


移動透過性

端末単位

ネットワーク単位

Network Mobility (NEMO)



- **課題**

- HAの設置
- 通信経路の冗長
- パケットのヘッダオーバーヘッド
- HAの一点障害
- 移動ネットワーク内はグローバルアドレス

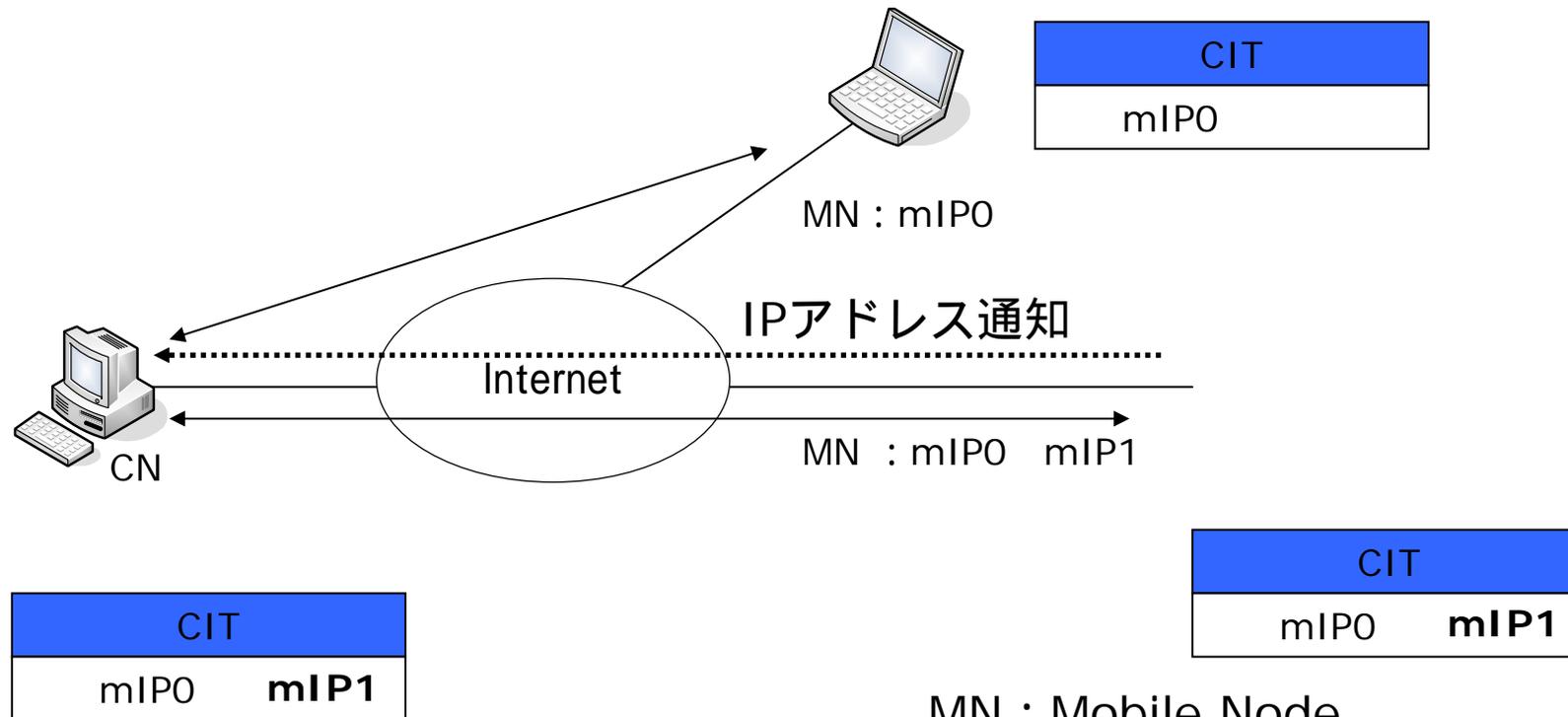
HA : Home Agent

MR : Mobile Router

CN : Correspondent Node

Mobile Peer to Peer Communication

- 端末単位の移動透過性をP2Pで実現



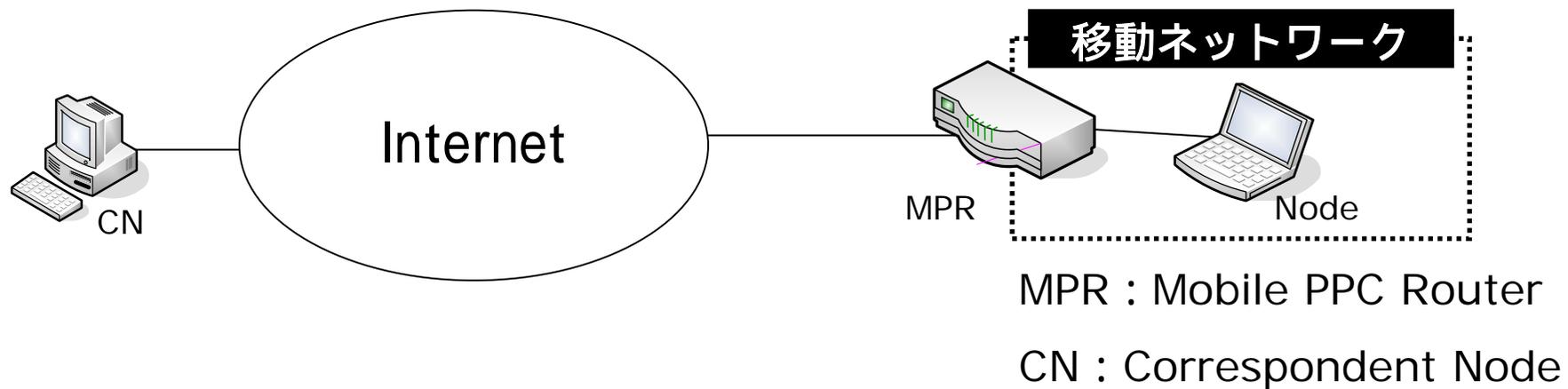
MN : Mobile Node

CN : Correspondent Node

CIT : Connection Identifier Table

提案方式の概要

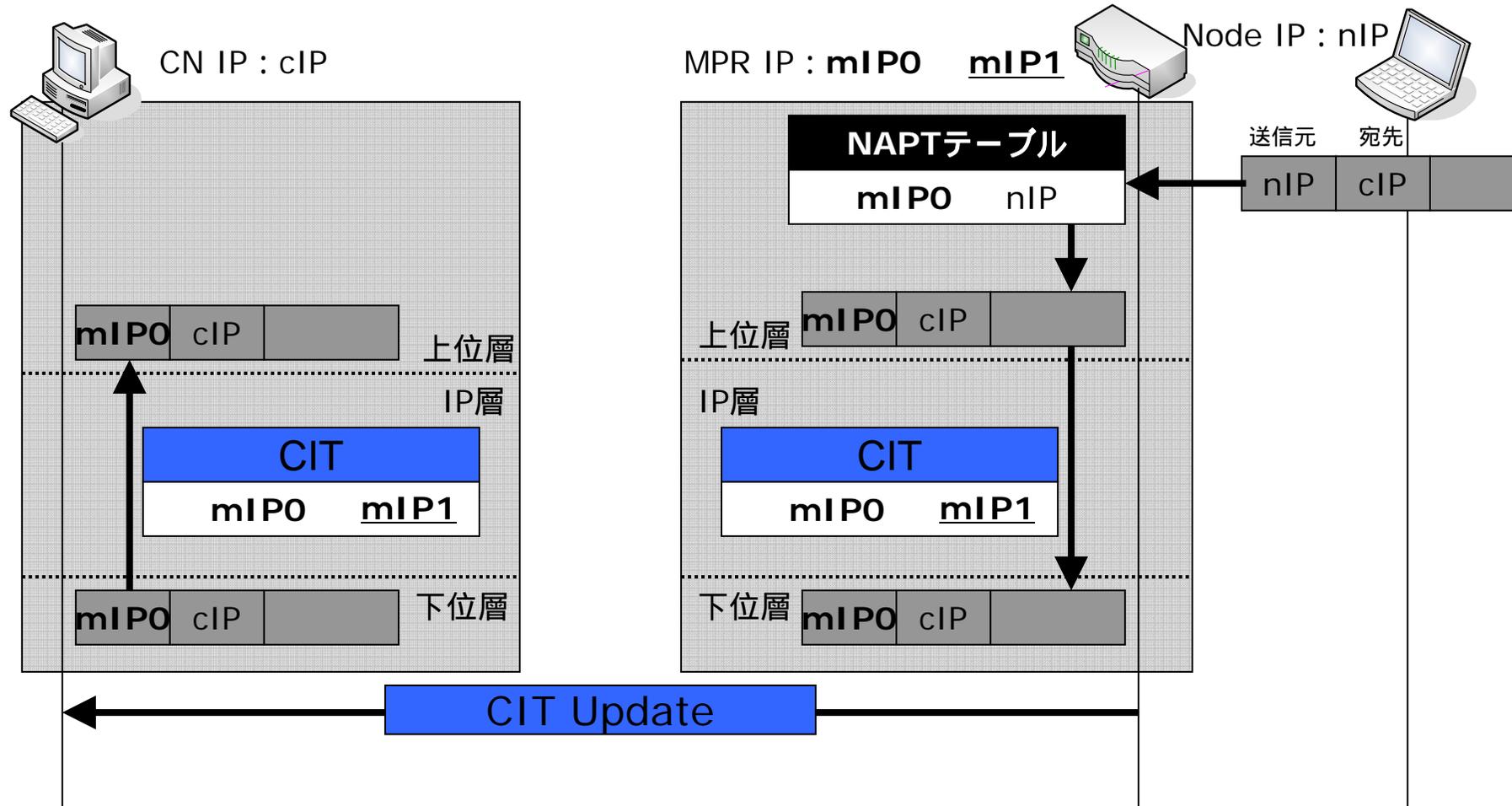
- ネットワーク構成図



- 移動ネットワークはIPv4のプライベートアドレス空間
- Nodeは一般端末
- MPRにMobile PPCのアドレス変換機能
- MPRにNAPTの機能
- NodeはMobile PPCを実装したCNと通信

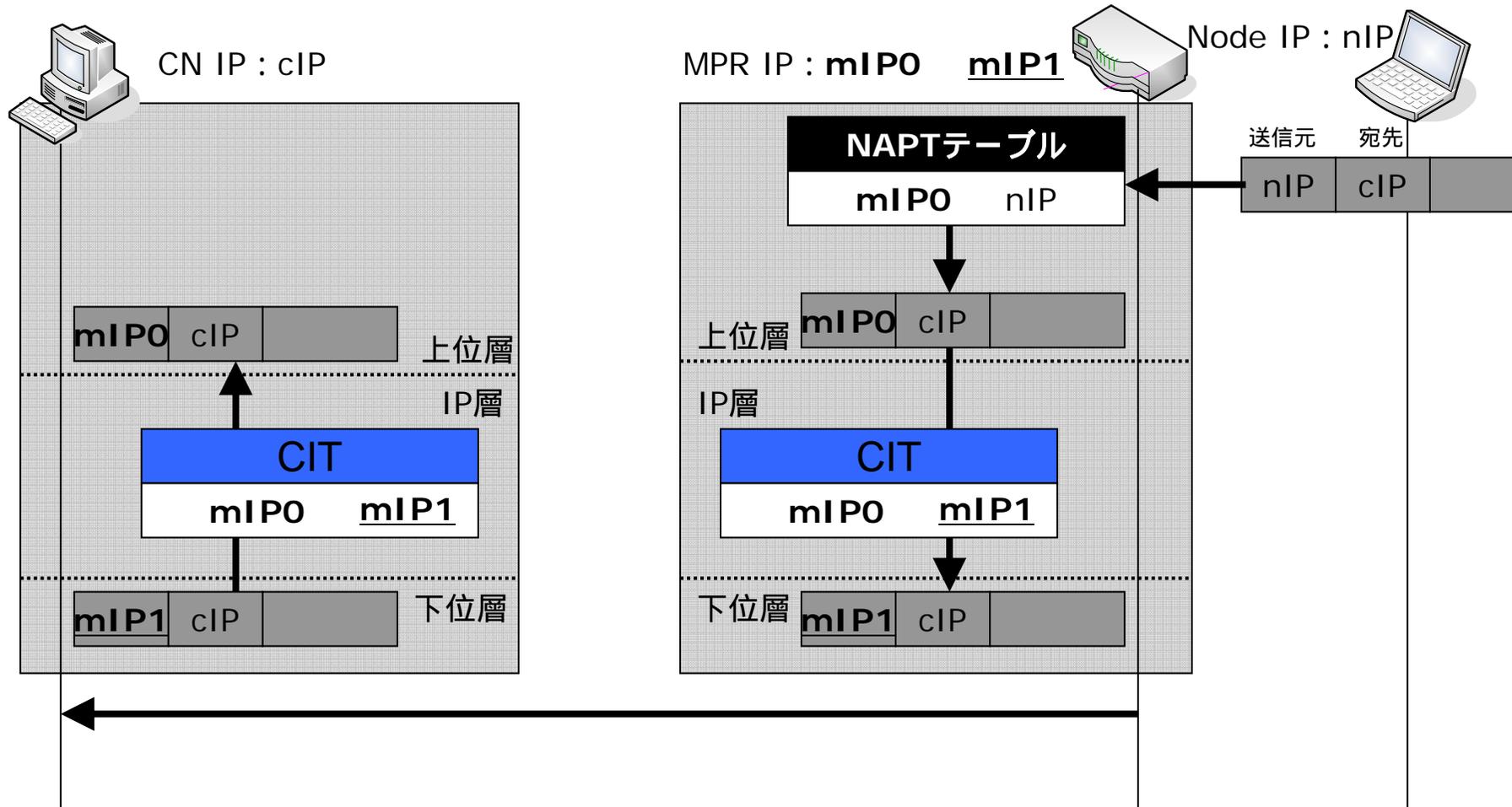
提案方式の動作

- 移動前と移動時の通信



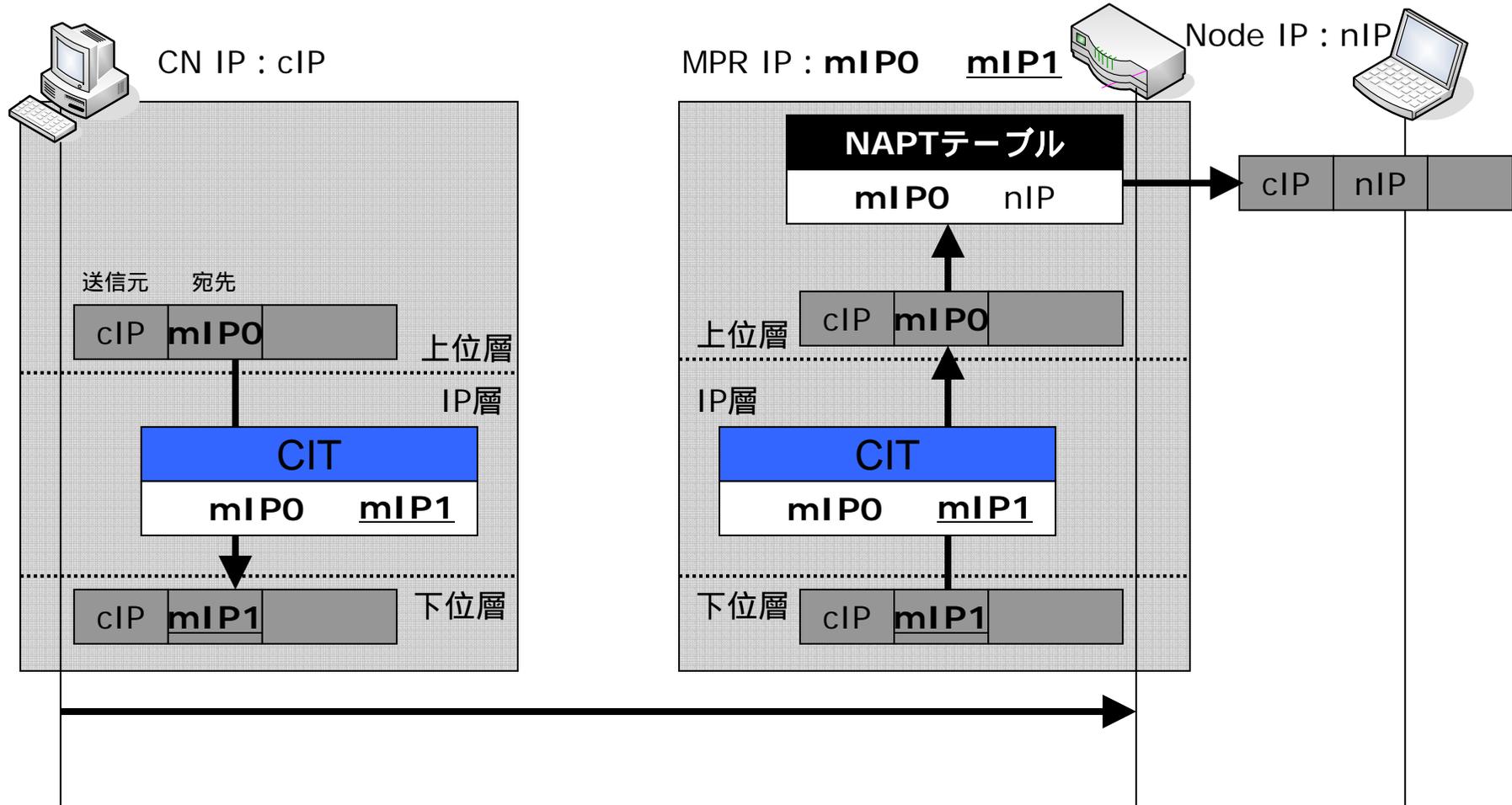
提案方式の動作

- MPR移動後の通信 (NodeからCN)



提案方式の動作

- MPR移動後の通信 (CNからNode)

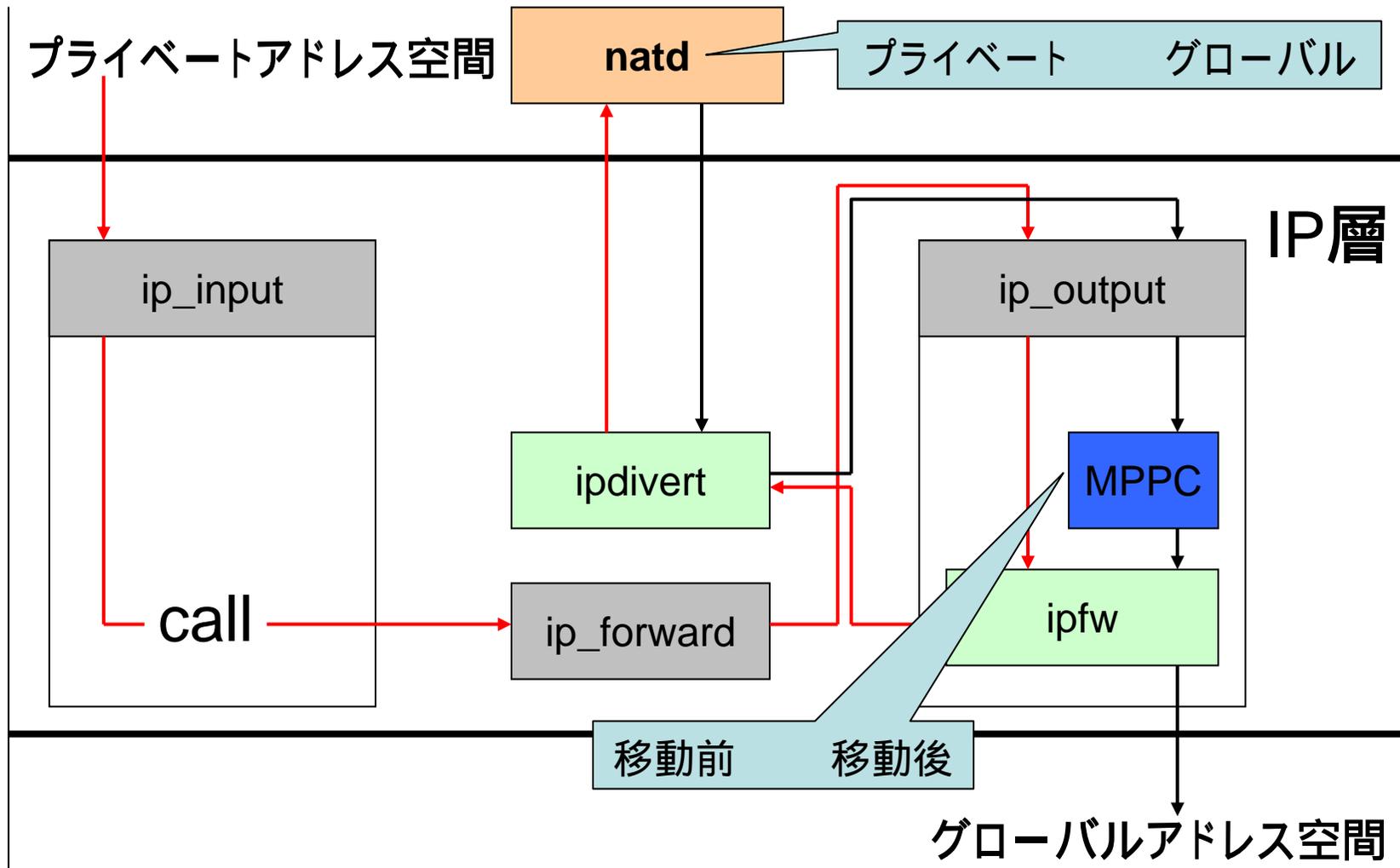


MPRの実装の概要

- OSはFreeBSD5.3に実装
- NAPTは、natdを使用
 - MPRのアドレスが変わってもnatdの変換テーブルが削除されないよう修正
- 既存のMobile PPCの呼び出し場所を変更
 - グローバル側へ送信する直前
 - グローバル側から受信した直後

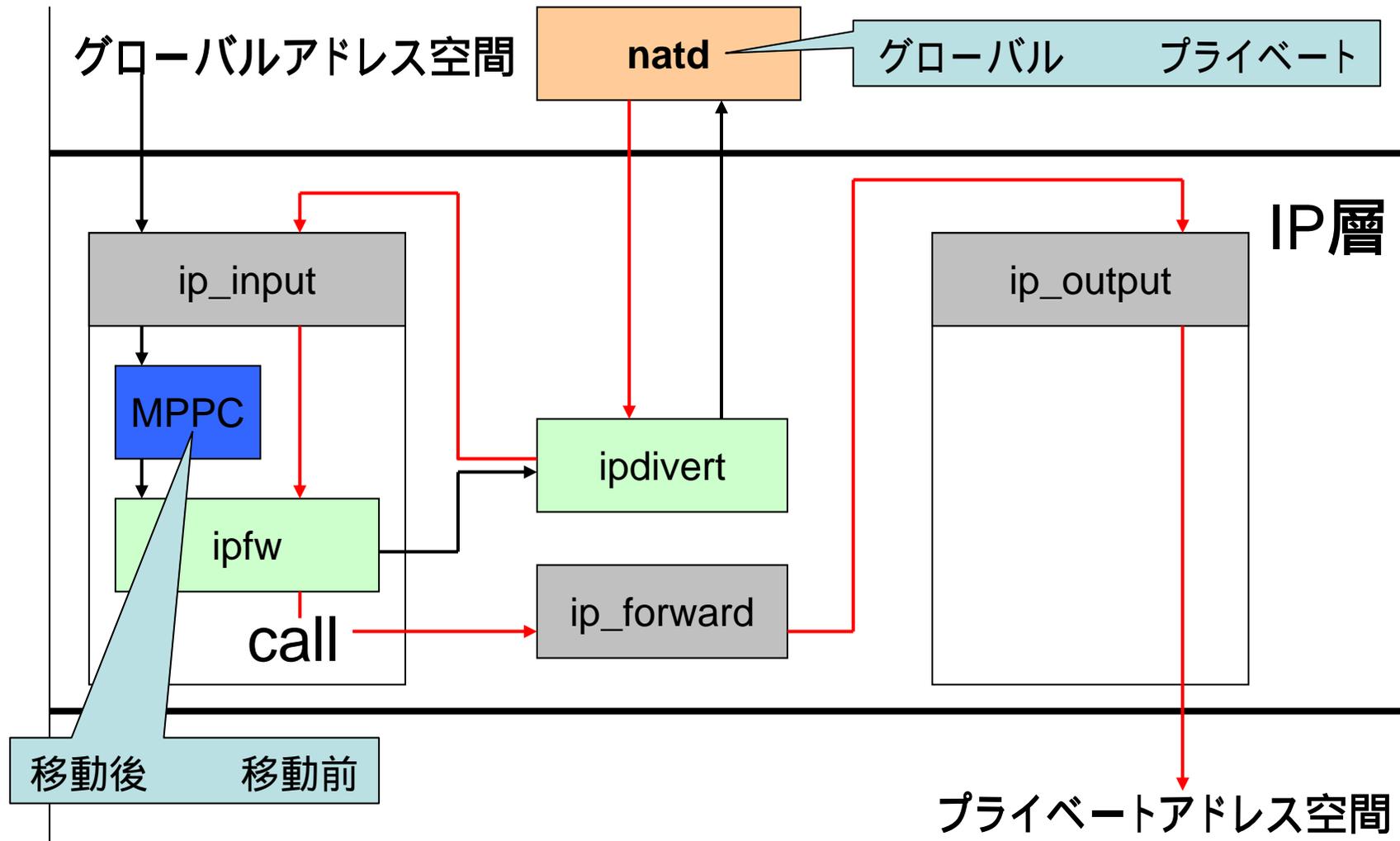
MPRの実装動作

- プライベートからグローバルへの処理



MPRの実装動作

- グローバルからプライベートへの処理



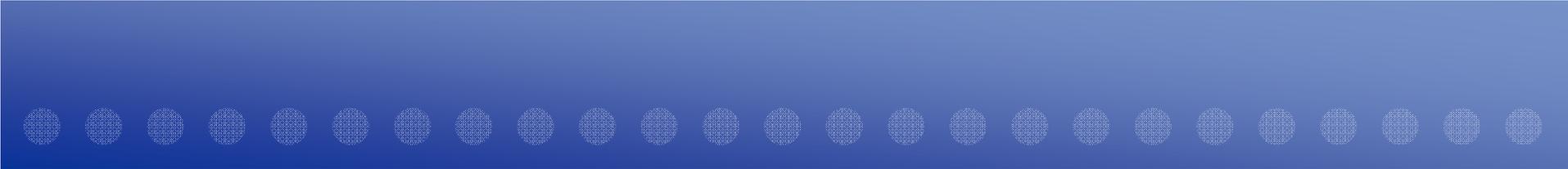
評価

	NEMO	提案方式
特殊なサーバの設置	×	
CNへの特別な実装		×
通信経路	×	
ヘッダオーバーヘッド	×	
耐障害性	×	
アドレスの管理	×	
外部からアクセス		×
移動ネットワーク内へ移動		×

移動ネットワークが構築された電車内やバス内で、乗客などが自由に端末を接続して外部のサーバや端末などと通信したい場合

むすび

- 提案方式について
 - 提案方式の概要と動作
 - MPRの実装の概要と動作
 - 評価
- 今後の予定
 - 提案方式の性能評価



おわり