



ユビキタス社会を実現する フレキシブルプライベートネットワークの研究 — Mobile PPC と NAT-f —

● フレキシブルプライベートネットワーク (FPN) とは？

FPN (Flexible Private Network) とはユビキタスネット社会に向けて、柔軟性とセキュリティを両立させたネットワークの概念であり、ネットワークのあるべき姿を示したものです。FPN は以下の 3 種類の透過性を満たすネットワークです。

位置透過性

ノードやネットワークが移動しても、システムが動的にその変化を学習してセキュア通信グループの関係が維持される機能

移動透過性

通信中にノードが移動しても、確立されたコネクションを維持し続けて通信を継続できる機能

アドレス空間透過性

アドレス体系が異なるノード同士でも自由に通信できる機能

当研究室は FPN という統一した概念のもとで研究開発を行ってきました。Mobile PPC と NAT-f は FPN の研究成果の中から産まれました。



「移動透過性」、「NAT 越え問題」とは？

移動透過性

TCP/IP において IP アドレスはノードを識別する情報としての役割だけではなく、位置情報も含んでいます。そのため、ノードがネットワークを移動すると異なる IP アドレスが割り当てられます。また、IP アドレスは通信を識別する情報の一部として用いられています。そのため、通信中に IP アドレスが変わると別の通信と見なされてしまい、通信を継続することができません。

この課題を解決するために、ノードが移動しても通信を継続できる機能を移動透過性と呼びます。移動透過性とは、ノードの位置に依存せずに通信を開始できる移動ノード到達性、ノードが移動しても相手通信ノードとの間に確立したコネクションを維持する通信継続性があり、両者を実現する必要があります。

当研究室では移動透過性を実現する技術として、Mobile PPC (Mobile Peer-to-Peer Communication) を提案しています。



NAT 越え問題

IPv4 アドレス（グローバルアドレス）の枯渇問題を解決するため、企業や家庭等のネットワークに対してプライベートアドレスを導入し、インターネットとの接点にアドレス変換を行う NAT (Network Address Translator) を設置する形態が一般となっています。しかし、NAT のアドレス変換テーブルはプライベートアドレス空間からグローバルアドレス空間へ通信を開始した時にのみ生成されるため、逆方向のアクセス（例えば外出先からホームネットワークにアクセスする等）を開始することができません。

これを NAT 越え問題と呼びます。NAT 越え問題の解決方法は、FPN においてはアドレス空間透過性として定義されています。

ホームネットワークでは情報家電製品の普及に伴い、外出先からホームネットワークに自由にアクセスしたいというユーザの要求が高まっています。アドレス不足を根本的に解決するために IPv6 が存在しますが、ホームネットワークへの導入はほとんど進んでおらず、導入後も IPv4/IPv6 の混在環境が当分続くことが想定されるため、NAT 越え問題を解決することが求められています。

当研究室では NAT 越え問題を解決する技術として、外部動的マッピング方式を提案し、これを実現するプロトコルとして NAT-f (NAT-free protocol) を定義しています。

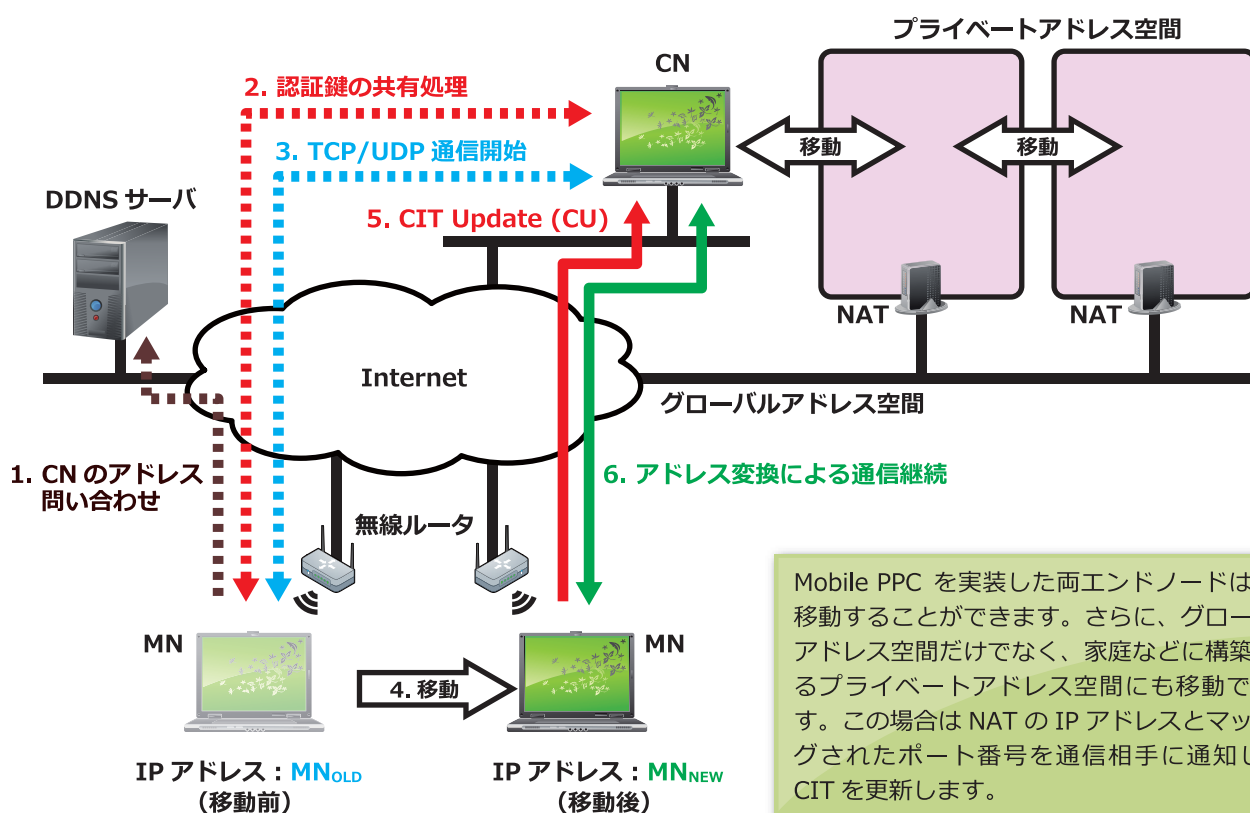


概要と特徴

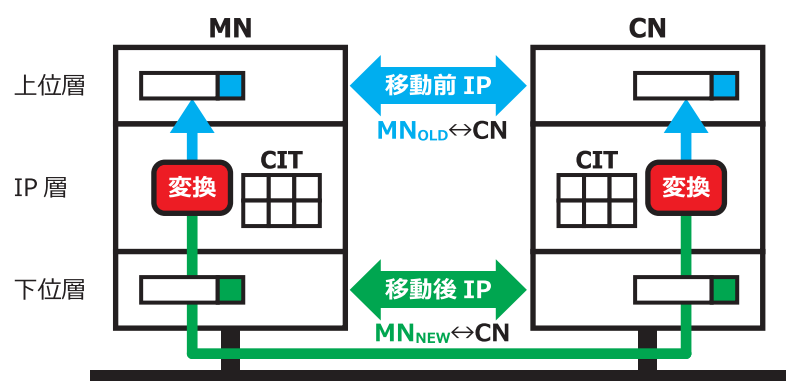
Mobile PPC はエンドノードだけで移動透過性を実現できるプロトコルです。移動ノード MN が移動すると通信相手ノード CN に直接アドレスの変化を通知して、IP 層にアドレス変換テーブル CIT (Connection ID Table) を生成します。移動後は CIT に基づいて通信パケットのアドレス変換処理を行うことにより、通信を継続することができます。

専用装置が必要ないため、単一障害点がありません。通信経路の冗長や通信遅延が発生せず、高スループットを実現できます。また、既存のアドレス体系やアプリケーションをそのまま利用できます。

Mobile PPC は原理的に IPv4 と IPv6 の両者に適用可能であるため、段階的な普及が期待できるユビキタスネット社会に適した技術です。



MN 移動後のアドレス変換による通信継続の仕組み



移動後は両エンドノードの IP 層において、生成・更新された CIT に基づいたアドレス変換処理が行われます。

- パケット送信時 ... $MN_{OLD} \rightarrow MN_{NEW}$
- パケット受信時 ... $MN_{NEW} \rightarrow MN_{OLD}$

これにより上位層では IP アドレスの変化に気づくことなく、コネクションを維持したまま通信を継続することができます。

NAT 越え技術

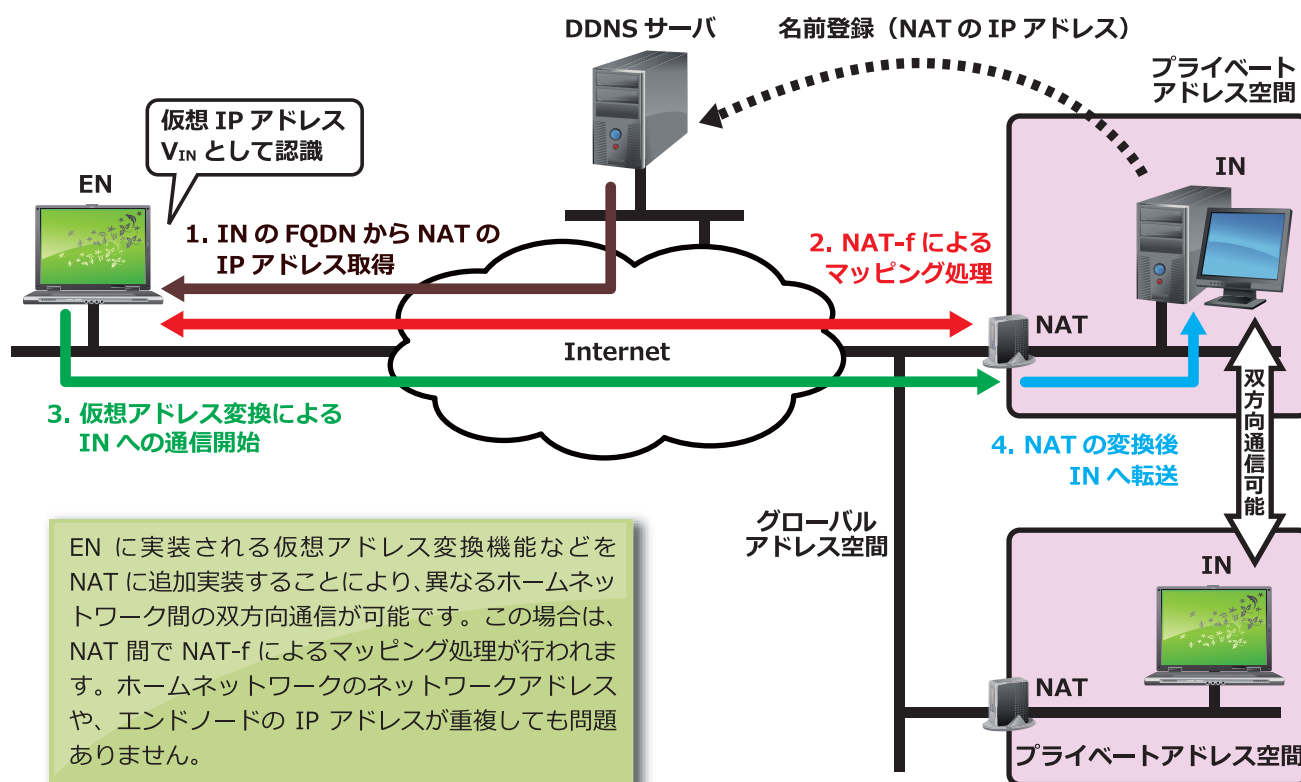
外部動的マッピング方式 (NAT-f : NAT-free protocol)

概要と特徴

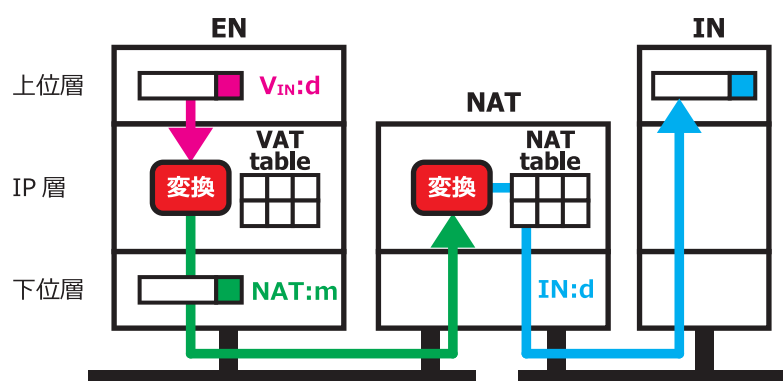
外部動的マッピング方式は外部ノード EN と NAT が連携して NAT-f により NAT テーブルを動的に生成し、NAT 配下の内部ノード IN へ通信を開始できる技術です。EN は IN を仮想的に認識し、通信開始時に IP 層に VAT (Virtual Address Translation) テーブルを生成します。EN は VAT テーブルに従って、通信パケットの宛先を NAT でマッピングされた IP アドレス・ポート番号に変換することにより NAT を通過させることができます。

NAT 越えのための専用サーバが不要なため、通信経路の冗長や通信遅延が発生せず、高スループットを実現できます。また、既存のアプリケーションをそのまま利用できます。

本方式は IN に NAT 越え機能を実装する必要がないため、情報家電機器をそのまま外出先から利用することができます。



アドレス変換によるパケットの宛先の遷移



EN の IP 層において VAT テーブルに基づいたアドレス変換処理、さらに NAT においてマッピング情報に基づいたアドレス・ポート番号の変換処理が行われます。

- EN の上位層～IP 層 … $V_{IN}:d$
- EN の IP 層～NAT … $NAT:m$
- NAT～IN … $IN:d$

V_{IN} … IN の仮想 IP アドレス
 d … 宛先ポート番号
 m … NAT-f によりマッピングされたポート番号

Mobile PPC と NAT-f の融合

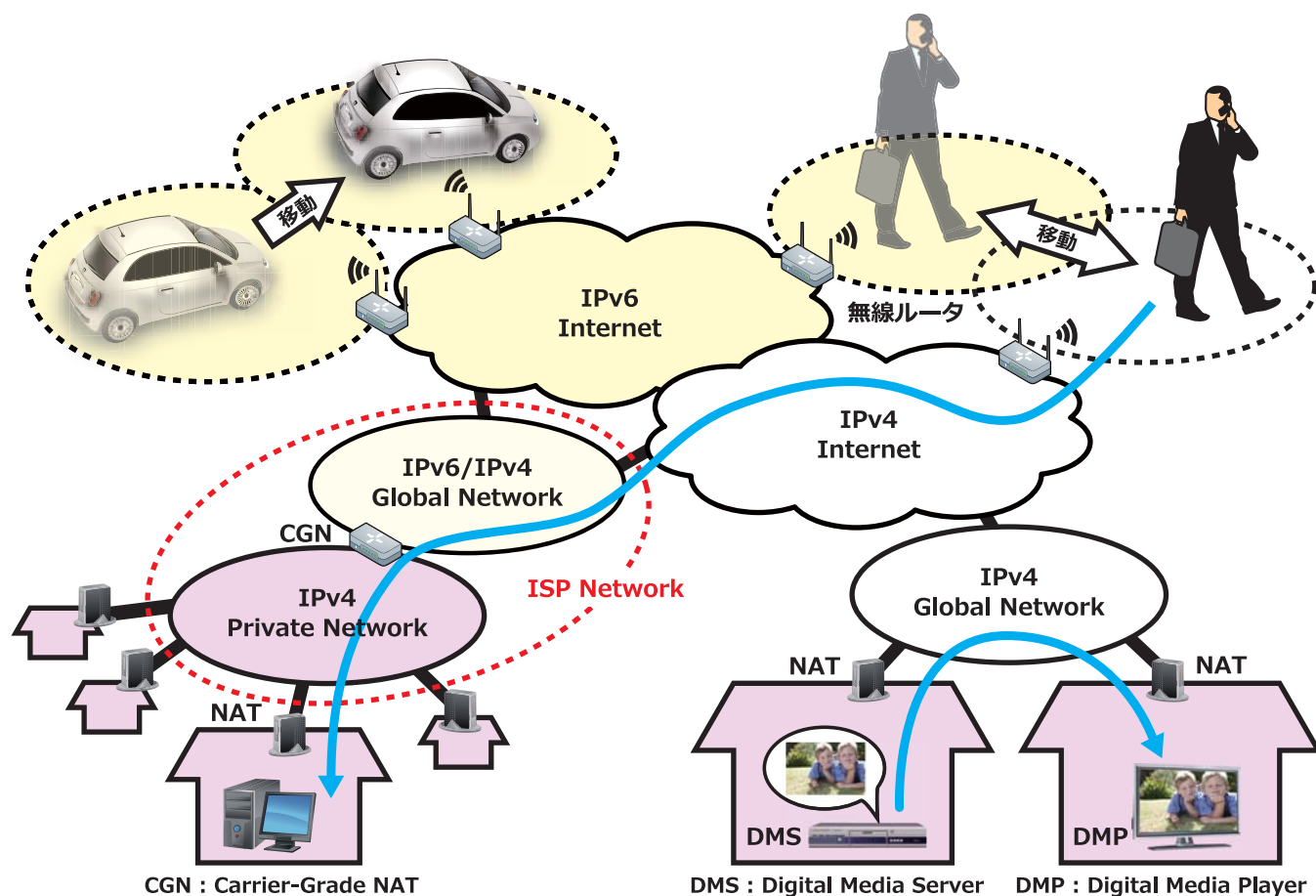
Mobile PPC と NAT-f はいずれも IP 層でアドレス変換を行うため、両技術の親和性は高く、容易に融合することができます。また、NAT-f は通信開始時、Mobile PPC は移動時と異なるタイミングで処理を行うため、高い独立性を保持しており、両技術が単独で動作することもできます。Mobile PPC と NAT-f を組み合わせることにより、様々なシーンで利用することが可能です。

ネットワークモビリティへの応用

Mobile PPC はホスト単位だけでなく、ネットワークの移動にも応用可能です。車内に設置したモバイルルータに Mobile PPC を実装することにより、車内の携帯端末は移動透過性プロトコルを実装していなくても、通信を継続することができます。

IPv4/IPv6 をまたがった移動透過通信

当分の間、IPv4 と IPv6 が混在する環境が想定されています。Mobile PPC を拡張して、IPv4 と IPv6 のヘッダ変換処理を追加することにより、IPv4 ネットワークと IPv6 ネットワークを相互に移動することができます。



Carrier-Grade NAT における NAT 越え

IPv4 アドレス枯渇に対して、ISP のネットワークに Carrier-Grade NAT の導入が検討されています。さらに深刻化する NAT 越え問題に対して NAT-f を応用することにより、できる限り透過な双方向通信を実現することが期待できます。

遠隔から自宅の DLNA 準拠機器に接続

NAT-f を拡張することにより、ホームネットワーク内に設置された DLNA 準拠機器のコンテンツを異なるホームネットワークや外出先の携帯端末から利用可能です。携帯端末は Mobile PPC による移動透過性を保持します。

研究成果

● 本研究に関する助成制度

- 独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究 (C) (2007/2008 年度)
- 独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 特別研究員奨励費 (2008/2009 年度)
- 財団法人栢森情報科学振興財団 (2003/2004 年度)

● FPN に関する主な論文

- 鈴木秀和、渡邊晃、“フレキシブルプライベートネットワークにおける動的処理解決プロトコル DPRP の実装と評価”、情報処理学会論文誌、Vol.47、No.11、pp.2976–2991、2006 年 11 月。
- 増田真也、鈴木秀和、岡崎直宣、渡邊晃、“NAT やファイアウォールと共存できる暗号通信方式 PCCOM の提案と実装”、情報処理学会論文誌、Vol.47、No.7、pp.2258–2266、2006 年 7 月。

● Mobile PPC に関する主な論文

- 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 年 12 月。
- 金本綾子、鈴木秀和、伊藤将志、渡邊晃、“IPv4 移動体通信システムにおけるパケットロスレスハンドオーバの提案”、情報処理学会論文誌 (条件付採録)

● NAT-f に関する主な論文

- 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 年 12 月。
- 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 (条件付採録)

上記主要論文の他、関連する文献は研究室ホームページからダウンロードできます。

<http://www.wata-lab.meijo-u.ac.jp/result.php>



名城大学 理工学部 情報工学科
教授 渡邊 晃

〒468-8502 愛知県名古屋市天白区塩釜口 1-501
名城大学 2 号館 414-2
TEL.052-838-2406 FAX.052-838-2406
URL: <http://www.wata-lab.meijo-u.ac.jp/>
E-mail: wtnbakr@ccmfs.meijo-u.ac.jp

交通アクセス

地下鉄鶴舞線「塩釜口駅」より徒歩 10 分

