

移動網・固定網間のシームレスな通信トラフィック移行技術

移動網の通信トラフィックを固定網へシームレスに移行するトラフィック分散技術を開発した。本技術により、3GNWを用いて確立したPPPセッションを切断することなく、通信トラフィックを固定網などの異種NWに切り替えることができる。

先進技術研究所

たむら たかゆき まつおか ほうせい
田村 隆幸 松岡 保静たかはた みのる
高畑 実

1. まえがき

携帯電話網（以下、3GNW）の普及により、いつでもどこでもネットワーク（NW）に接続し、望みのコンテンツにアクセスすることが当たり前になりつつある。また、コンテンツはメールやインターネットのブラウジングにとどまらず、大容量のデータ通信を必要とする映像や音声コンテンツの割合が増している。このように3GNW上で送受信されるコンテンツの多様化が進み、大容量のデータ通信の必要性が増すと、3GNW上の通信トラフィックのさらなる増大が見込まれる。通信トラフィックの増大は、通信の輻輳や遅延の原因になり、通信品質へ影響をおよぼす。そこで、3GNWの負荷を低減するために、3GNW上の通信トラフィックを、必要に応じて通信環境のよりよい他のNWへ分散させる手法が考えられる。他のNWとは、例

えば固定網に接続された家庭内無線LAN（Local Area Network）や、移動網の一種で駅や飲食店でスポット的に利用できる公衆無線LANなどが挙げられる。これらの3GNWやその他の異なるNWの利用により、ユーザは高速で快適な通信環境を利用できるようになる。

今後、3GNWのデータ通信の増加、特に大容量のデータ通信を必要とする映像や音声などのマルチメディア通信の増加に対して、通信トラフィック移行技術による移動網と固定網の連携は有効だと考える。

通信トラフィックの移行先として、無線LANが挙げられる。無線LANは前述のとおり家庭内や街中に広く普及しつつある。また、3Gインターフェースと無線LANインターフェースの両方を搭載しているモバイルデバイスも増えており、無線LANの利用機会は多いと考えられる。無線LANは、3GNWと比べるとカバ

ーするエリアは狭いものの、高速大容量の通信を利用できるため、音声や映像などの大容量コンテンツの利用にも適している。

しかし、3GNWと無線LANは互いに独立したNWであるため、3GNWから無線LANへ通信経路を変更し、通信トラフィックを移行する際には、IPアドレスの変更が伴う。映像のストリーミング^{*1}やVoIP（Voice over Internet Protocol）などのリアルタイムアプリケーションにおいては、通信経路の切替えに伴いIPアドレスを変更する際、セッション^{*2}が途絶する。通信を再開するためには、新たにアプリケーションセッションを張り直す必要があり、それにより例えば、ストリーミング映像ではファイルの先頭から再度再生を必要とする場合や、VoIPでは再度発呼が求められる場合など、利便性に影響をおよぼす。そのため3GNW上の通信トラフィックの分散には、ア

*1 ストリーミング：NW上で音声や映像データを送受信するときの通信方法の一種。データを受信しながら、同時に再生を行う。

*2 セッション：データのやり取りを行うための仮想的な通信路、またはそのやり取りそのもの。

アプリケーションセッションを継続したまま通信経路を切り替えることが重要となる。

そこで筆者らは、アプリケーションセッションを保ったまま、3GNW上の通信トラフィックを無線LANをはじめとした異種のNWへ移行する技術を提案する。本提案では、3GNWのデータ通信に用いられているPPP (Point to Point Protocol)^{*3}[1]に着目し、PPPのセッションごと3GNWから異種NWへ移すことにより、IPアドレスの変更を伴わないシームレスな通信トラフィックの移行を実現した。すでに、ホームUのように移動網と固定網を切り替えて利用する環境は広まりつつあるが、本技術では、さらに移動網と固定網をシームレスに切り替えて利用できる。これにより、ユーザは移動網と固定網の切り替わりを意識することなく、よりよい通信環境を利用できる。

本稿では、提案方式のデザインと実装方法、提案手法を実装したプロトタイプシステムの評価について解説する。

2. 通信トラフィック移行技術の効果

本技術の実現により、単に通信トラフィックを分散させるだけではなく、NWをまたぐ移動中でも、動画や音声コンテンツを楽しむことができる。例えば、ユーザが3GNWを利用してストリーミング映像を楽しみながら帰宅している場合、現状の移動網・固定網の切替えでは、NWの切替えによりアプリケ

ーションのセッションが途絶し、切替わりのたびにセッションを再確立する必要があるが、本技術により、NWの切替えが何度生じてても、セッションを維持したままコンテンツを楽しむ続けることができる(図1)。この間、ユーザはNWの切替えを意識することはない。

また、本技術を用いて3GNWから公衆無線LANへ通信トラフィックを移行することにより、基地局、携帯端末間の通信に必要なエネルギーを低減できる可能性がある。無線LANは、3GNWに比べセル半径が小さく、ビット当りの送信電力が低いことから、無線LANを積極的に利用することで、同じデータを送信するために必要な消費電力を低減できる。

3. 実現方式

本提案手法では、3GNWのデータ通信に広く使われているPPPに拡張を施し、3GNW上で接続しているPPPセッションを切断することなく、通信トラフィックを3GNWから無線LANをはじめとする異種NW

へ移行することを可能とした。

従来、3GNWから無線LANへ通信経路を切り替える際に、IPアドレスの変更に伴いアプリケーションのセッションが切断されるという課題があった。それに対し、IPレイヤ(レイヤ3^{*4})よりも下位のレイヤで通信経路の変更を行うことで、IPアドレスの変更を生じることなく、アプリケーションのセッションを保ったまま、3GNWから異種NWへの通信トラフィックの移行が可能となる。そこで本提案では、3GNWのデータ通信に用いられているレイヤ2^{*5}プロトコルであるPPPに着目した。PPPの拡張を行い、レイヤ2でのシームレスな通信トラフィックの移行を実現した[3]。

3.1 NW 構成

提案手法のNW構成を図2に示す。提案手法のNWは、拡張を施したPPPクライアントとPPPサーバから構成されている。PPPクライアントとPPPサーバは複数の通信インタフェースを備えており、図に示す3GNWを介したPPP通信経路とイン

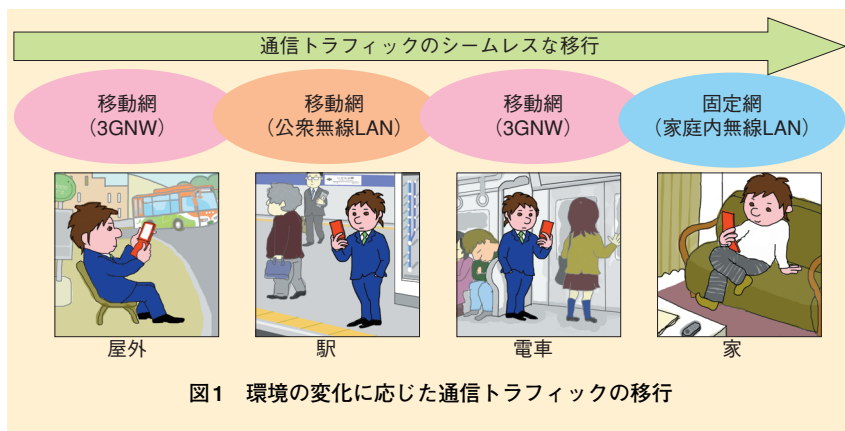


図1 環境の変化に応じた通信トラフィックの移行

*3 PPP：3GNWなどのデータ通信で広く用いられているレイヤ2プロトコル。本プロトコルを用いることでNW上の2点間を結び、データ通信を行うことができる。

*4 レイヤ3：OSI参照モデルの第3層。IP層を指す。

*5 レイヤ2：OSI参照モデルの第2層。データリンク層を指す。

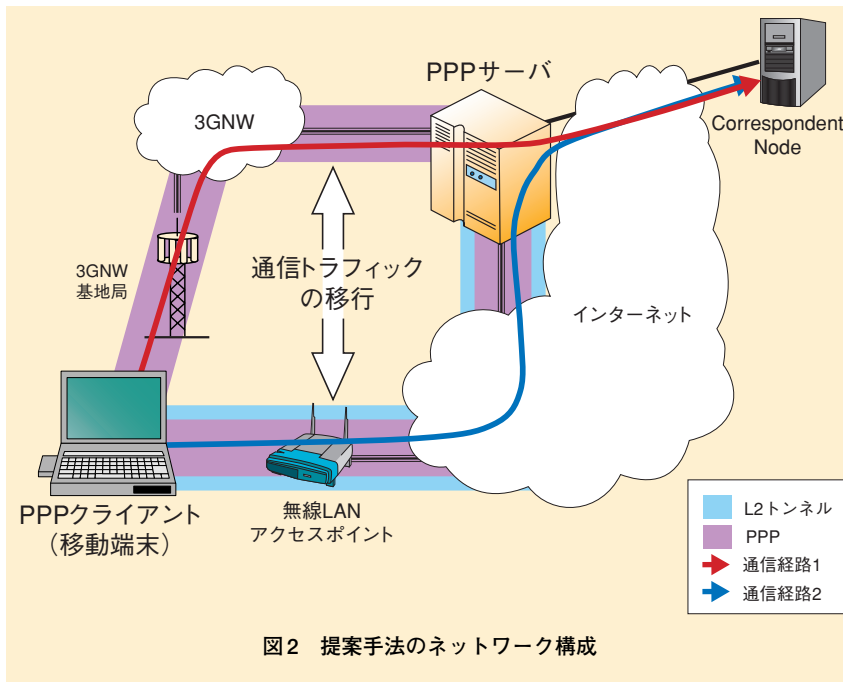


図2 提案手法のネットワーク構成

ターネットを介したPPP通信経路のように、クライアントとサーバとの間に、同時に複数のPPP通信経路を確立でき、複数のPPP通信経路間で通信トラフィックの移行を行う。

PPPサーバは、通信経路の確立時にPPPクライアントにIPアドレスを割り当てる。PPPクライアントは割り当てられたIPアドレスを用い、PPPサーバを介して通信相手（Correspondent Node^{*6}）と通信を行うことができる。このとき、PPPクライアントとPPPサーバ間に確立された複数のPPP通信経路間で、1つのIPアドレスを共有できるように拡張を施した。これにより、通信経路の切替えの際にも、IPアドレスが変更されることなく、アプリケーションセッションを継続できる。

3.2 PPPの拡張

PPPは複数のサブプロトコルから構成されている。本提案手法ではPPPを構成するサブプロトコルに拡張を施し、IPアドレスの共有化とトラフィックの移行を行っている。

通常PPPセッションは、次の3つのサブプロトコルにより確立される。

①LCP（Link Control Protocol）^{*7}

リンクレイヤの設定を行うプロトコル。

②Authentication Protocol

ユーザ認証を行うためのプロトコル。PAP（Permission Authentication Protocol）^{*8}やCHAP（Challenge Handshake Authentication Protocol）^{*9}などの認証プロトコルを用いて行われる。

③NCP（Network Control Proto-

col）^{*10}

NWレイヤの接続設定を行うプロトコル。3GNWではNCPとしてIPCP（Internet Protocol Control Protocol）^{*11}が用いられる。IPCPの中でPPPクライアントにIPアドレスを割り当てる。

これらのサブプロトコルを複数回繰り返すことで、PPPクライアントとPPPサーバとの間に複数のPPP通信経路を構築できる。しかし既存のPPPでは、複数のPPP通信経路を構築する際にNCPを複数回繰り返すため、PPPクライアントのそれぞれの通信インタフェースに、別々のIPアドレスが割り振られてしまう。この場合、1本目のPPP通信経路から2本目のPPP通信経路へ通信トラフィックを移行する際に、通信に用いるIPアドレスが変更されるため、アプリケーションのセッションを維持できない（図3(a)）。

提案手法では2本目のPPP接続時にはNCPは行わず、1つ目のPPP接続時のNCPを2本目のPPP接続で共有し、1本目のPPP接続で割り当てられたIPアドレスを、2本目のPPP通信経路でも共有できるように拡張を施した（図3(b)）。これにより通信トラフィックを移行する際は、移行先のLCPを選択するだけで、通信経路の切替えを行うことができる。LCPが変化してもNCPは同一のものを使用できるため、通信経路が3GNWから無線LANに変わってもIPアドレスの変更が起きず、アプリ

*6 Correspondent Node：NW上の通信相手。

*7 LCP：データリンク層の通信設定、接続、切断の交渉を行うプロトコル。

*8 PAP：ユーザ認証を行うためのプロトコルの一種。インターネットプロバイダな

どで広く用いられている。

*9 CHAP：ユーザ認証を行うためのプロトコルの一種。認証情報の暗号化により認証時のセキュリティを高めている。

*10 NCP：NW層の通信設定を行うプロトコル。3GNWではNCPとしてIPCP（*11参

照）が用いられている。

*11 IPCP：NCPの一種。IPレイヤの通信設定を行う。IPCPの交渉の中で、IPアドレスの割当てを行う。

セッションセッションを継続することができる。

3.3 複数PPP間での通信トラフィック切替えシーケンス

3GNWで通信経路を確立し、通信を行っている状態から異種NWへ通信トラフィックを移行するまでのシーケンスを図4に示す。

本拡張では、1本目のPPP接続は拡張を施していないPPPと同様の手順で確立できる。通信トラフィックを移行するときは、2本目のPPP通信経路を確立するだけで、自動的に

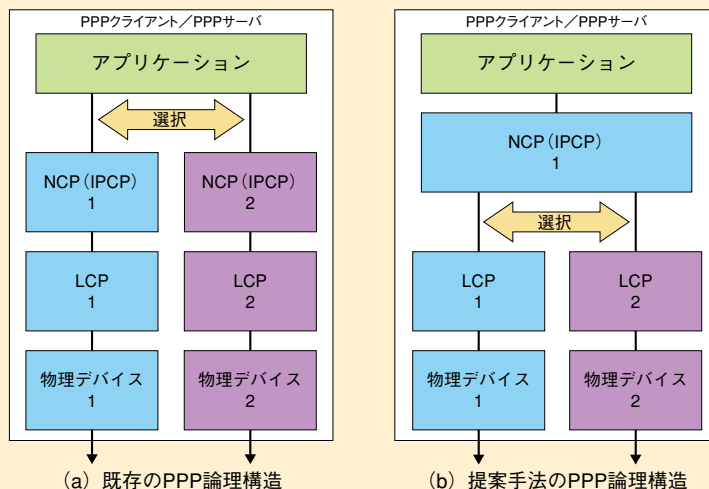


図3 サブプロトコルの関係

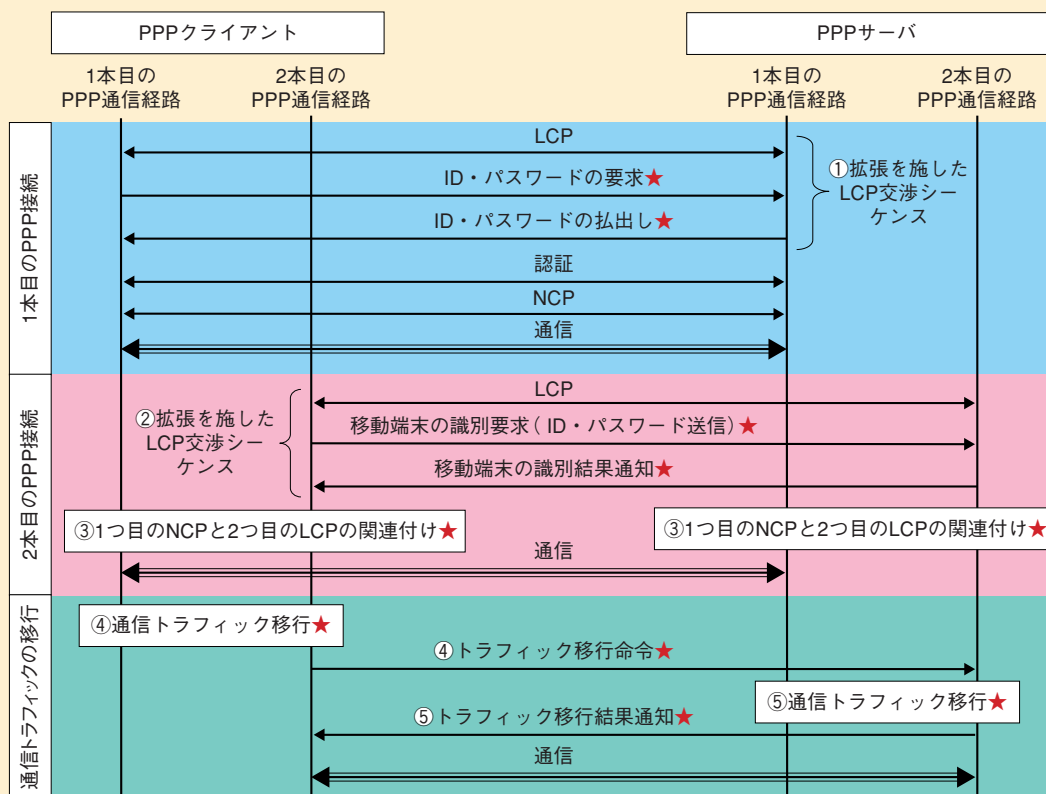


図4 通信トラフィックの移行シーケンス

通信トラフィックを移行できる。

1本目の通信経路確立は、既存のPPPと同様に、LCP、認証、NCPの順に行われる。本拡張ではLCPの交渉シーケンスの中にPPPクライアントを識別するためのシーケンスを加えた(図4①②)。本提案手法では、PPPクライアントとPPPサーバの間に確立された複数のPPP通信経路間で、通信トラフィックの移行を行う。PPPサーバは多数のPPPクライアントからのPPP接続を受け入れるため、通信トラフィックの移行時に誤って別のPPPクライアントのPPP通信経路へ通信トラフィックを移行しないように、各PPPクライアントを識別する必要がある。そこで、IDとパスワードを用いて、PPPクライアントの識別を行った。PPPサーバはPPPクライアントの要求に応じて、IDとパスワードを払い出す(図4①)。

2本目のPPP接続を行う際、LCPにて、PPPクライアントは1本目のPPP接続でPPPサーバから払い出されたIDとパスワードをPPPサーバに送る。PPPサーバはIDとパスワードを照合し、PPPクライアントを識別する(図4②)。識別が完了し、2本目のPPP接続のLCPが完了した時点で、1本目のPPP接続で用いたNCPと、2本目のPPP接続のLCPを関連付ける(図4③)。これにより、2つのPPP通信経路が1つのIPアドレスと関連付けられる。続いてPPPクライアントからPPPサーバへ通信トラフィックの移行リクエストを送ることにより、通信経路の切替処理

を行うことができる(図4④⑤)。このように、複数のPPP通信経路が確立されていれば、PPP通信経路間で随時通信トラフィックの移行が可能である。

前述のシーケンスでは、通信トラフィックの移行はPPPクライアント主導で行われる。しかし、サーバからの命令により通信トラフィックの移行を行うことも可能である。例えば、NWの混雑状況をPPPサーバでモニタリングし、状況に応じて無線LANが利用できるPPPクライアントに対して、3GNWから無線LANへ通信トラフィックを移行するように指示を行うことなどが考えられる。これにより、NW状況に合わせた効率のよい通信トラフィックの分散が図られる。

3.4 異種NWへのPPPの適用

本提案手法では、PPPを介して通信トラフィックの移行を行っている。さらにL2トンネルを用いることで、無線LANのように通常PPPを用いないNWへも通信トラフィックを移行できる。

無線LANは、通常PPPを用いた通信は行わないため、PPPを介した通信トラフィックの移行を行うことができない。そこでレイヤ2のトンネリングプロトコルを用いることで、無線LAN上でのPPP通信を可能とした。レイヤ2のトンネリングプロトコルはNW上の任意の2点間に仮想的なトンネルを構築し、任意の2点間でのPPPの利用を可能に

する。

提案手法のプロトコルスタックを図5に示す。提案手法では、トンネリングプロトコルとして、L2TP(Layer-2 Tunneling Protocol)^{*12}[2]を用いた。初めに無線LANがアクセスポイントから取得したIPアドレスを用いて、PPPクライアントとPPPサーバ間にL2トンネルを構築する。構築されたL2トンネル上でPPP接続を行うことで、無線LAN上でPPP通信経路を確立できる。このようにL2トンネルを用いることで、IPアドレスさえ取得可能な通信経路であれば、通信トラフィックを移行させることが可能である。

4. プロトタイプシステムの実装

提案手法の実装を示す。実装は、FreeBSD^{*13}-4.11のPPPデバイスドライバとPPPd-2.3を用いて行った。

4.1 PPPデーモンの拡張

PPPデーモン(PPPd)はLCP、認証、NCPなどのPPP通信確立シーケンスを管理するユーザデーモンである。PPPdはあらかじめ定められた交渉メッセージを用いて、PPP通信の通信パラメータの交渉や接続・切断処理を行う。交渉メッセージには固有のID番号が割り振られており、そのID番号によってメッセージの内容が識別される。本提案の実装では、交渉メッセージを新たに追加し、PPP通信トラフィックの移行のための処理を行った。

*12 L2TP：NW上の任意の2点間にL2トンネルを構築するためのプロトコル。トンネルで結ばれた2点間は仮想的に1ホップとみなせる。

*13 FreeBSD：OSの一種で、UNIX系のOS。

4.2 PPPドライバの拡張

多くのオペレーティングシステム(OS)では、PPP通信経路を確立する際に仮想デバイスを作成し、物理デバイスと関連付ける。仮想デバイスは1つのIPアドレスを管理しており、携帯端末はこの仮想デバイスを通して通信を行うことができる。既存のPPPと本実装におけるPPPの仮想デバイスと物理デバイスの関係を図6に示す。既存のPPPでは、それぞれの物理デバイスに対し仮想デバイスが作成される。そのため、それぞれの仮想デバイスに対してIPアドレスが割り振られ、通信経路の切替え時に、IPアドレスの変更に伴うアプリケーションセッションの瞬断が生じる。これに対して本実装では、複数の物理デバイスと1つの仮想デバイスを関連付けた。仮想デバイスが管理する1つのIPアドレスを複数の物理デバイスで共有できるため、通信経路の切替えの際にIPアドレスの変更は起こらず、アプリケーションセッションを維持できる。

5. プロトタイプシステムの評価

提案手法の有効性を検証するために、プロトタイプシステムを構築し、提案手法の評価を行った。

5.1 システム構成

プロトタイプシステムは、拡張を施したPPPクライアントとPPPサーバからなる。PPPクライアントは、FOMAデータ通信カード(FOMA P2402)と無線LAN通信カード

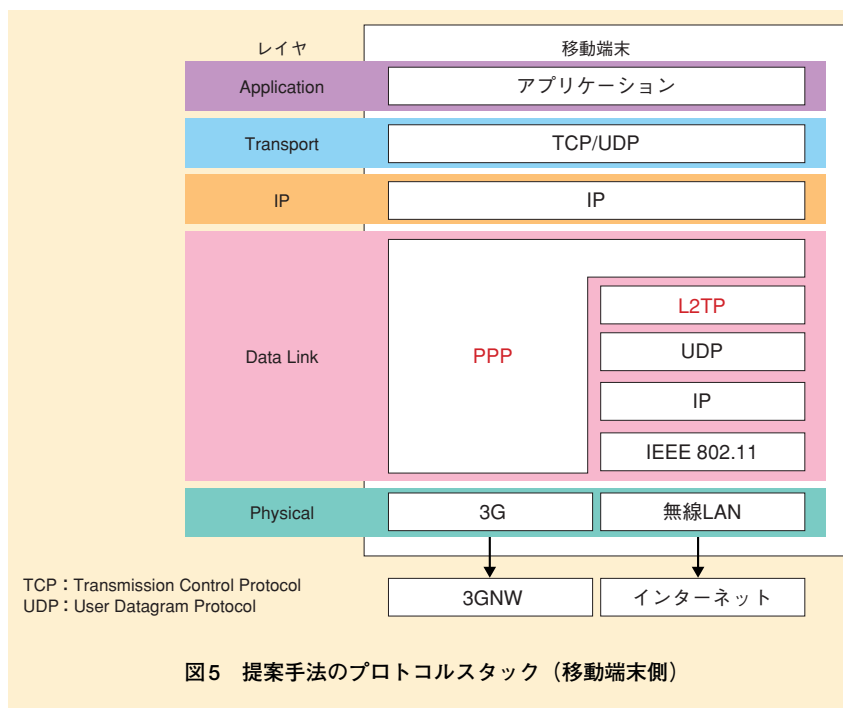


図5 提案手法のプロトコルスタック(移動端末側)

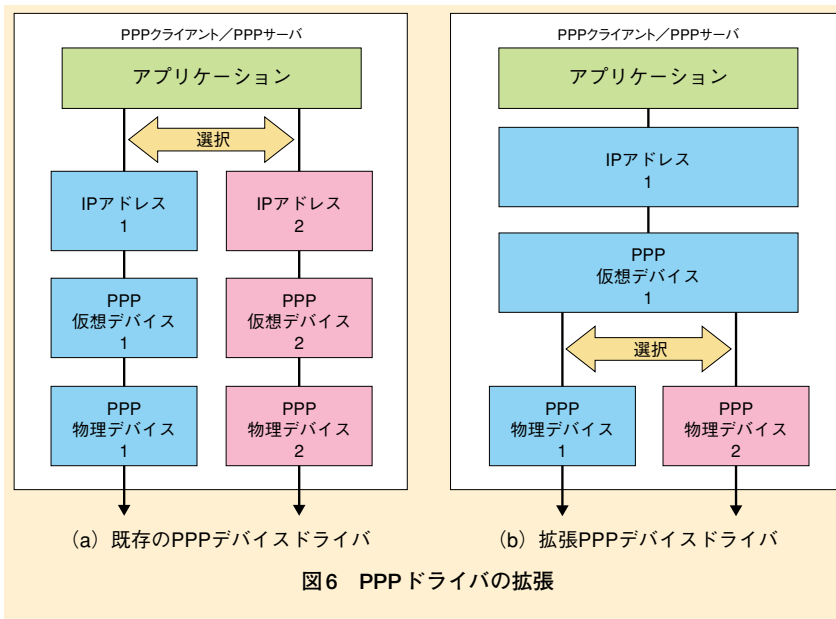


図6 PPPドライバの拡張

(IEEE 802.11b: Institute of Electrical and Electronics Engineers 802.11b)を備えている。PPPサーバは電話回線に接続されたISDNモデムとイーサネットインタフェースを備えてい

る。PPPクライアントは、PPPサーバを通してCorrespondent Nodeと通信を行うことができる。

5.2 システムの検証

プロトタイプシステムを用いて、提案手法の基本的な動作について検証を行った。

通信品質の異なるNW間で通信トラフィックを移行する際、どのような影響があるのか検証するため、通信トラフィック移行時のパケットの挙動を確認した。

PPPクライアントとCorrespondent Node間でVoIP通信を行い、VoIPのパケットの挙動を調べた。パケットにはシーケンス番号を振り、Correspondent Nodeでの各パケットの受信時刻を記録した。通信経路の変更はFOMAから無線LANに変更するものとする。計測結果より、通信トラフィックの移行後すぐに十数個のパケットの順序入替えが起きていることが分かった。また、パケットの受信時刻より本プロトタイプシステムにおけるPPPクライアントとCorrespondent Node間の片方向の遅延時間は、FOMAで通信を行っているときは数百ms程度、また無線LANでの通信時は、数十ms程度であることが分かった。このことより、パケットの順序入替えが生じた原因は、FOMA回線で送られたパケットを無線LAN経路で送られたパケットが追い越したためと考えられる。

5.3 考察

提案手法の検証結果から、通信トラフィックの移行時に、NWの遅延時間の差によるパケットの追越しが生じることが分かった。パケットの追越しにより、音声や映像が乱れるなどアプリケーションの動作に影響をおよぼす可能性がある。この問題の解決方法の1つとして、通信トラフィックの移行先のNWに応じて、アプリケーションのバッファを変更するなどの方法が考えられる。

一方、2つのNW間の通信品質の違いを利用し、通信トラフィック移行により通信品質が向上する場合は、音声や映像の品質を自動的に向上させることなども考えられる。

6. あとがき

本稿では、移動網と固定網をシームレスに利用するための新たな手法を示した。

本稿で提案した通信トラフィック移行技術を用いることで、アプリケーションセッションを維持したまま、3GNWの通信トラフィックを無線LANをはじめとした異種のNWへ移行できる。また、本技術はPPPの利用により、既存の3GNWでのデータ通信と高い互換性を保ちながら、固定網との融合を実現できる。

本技術の有効性をさらに高めるためには、前述のアプリケーションとの連携以外に、利用可能なNWの探索と、通信トラフィックの移行タイミングの決定が重要と考え、現在無線LANの電波強度を指標とした手法の実装を行っている。ユーザが移動網、固定網の切替えを意識することなく、いつでもどこでもよりよい通信環境を享受できるよう、今後さらにモバイルデバイスが利用できるNWの中から、より通信条件のよい通信経路を自律的に選択する仕組みや、アプリケーションにとって最適なタイミングでの通信トラフィックの移行、不要な通信経路の切断などを行う仕組みについて研究開発を進めていく。

文 献

- [1] W. Simpson : "The Point-to-Point Protocol (PPP)," IETF, Request for Comments 1661, Jul. 1994.
- [2] W. Townsley, A. Valencia, A. Rubens, G. Pall, G. Zorn and B. Palter : "Layer Two Tunneling Protocol "L2TP"," IETF, RFC 2661, Aug. 1999.
- [3] T. Tamura, H. Matsuoka and M. Takahata : "Seamless PPP Migration between Disparate Wireless Networks," インターネットコンファレンス 2008論文集, pp.25-31, Oct. 2008.