

IPv4 移動体通信において携帯電話網と無線 LAN 間をシームレスに移動する方式の提案

福山 陽祐^{†1} 鈴木 秀和^{†1} 渡邊 晃^{†1}

ユビキタスネットワークの環境では、3G や Wi-Fi などさまざまな通信方式が利用できる。しかし、通信中にネットワークを切り替えると IP アドレスの変化が避けられない。そこで、通信中の移動を可能とする移動透過性の技術が必要である。また、IPv4 環境では、NAT 越え問題の解決が必須である。我々は移動透過性と NAT 越え問題の解決を同時に実現する NTMobile を提案している。NTMobile によると、どのようなネットワーク構成への移動にも対応することができる。本論文では、NTMobile を用いて、3G と Wi-Fi 間における、通信切断のないシームレスな通信切り替え方式を提案する。

A proposal of a method to move between wireless LAN and cellular phone network in seamless for IPv4 Mobility Communication system

YOSUKE FUKUYAMA,^{†1} HIDEKAZU SUZUKI^{†1}
and AKIRA WATANABE^{†1}

In Ubiquitous Network, the various communication methods available. While communicating with the network switch, IP address changes are inevitable. Therefore, the terminal IP mobility is required that can maintain communication without any disconnects address changes. Mobility Study of IPv6 Many previous studies have assumed, IPv6 will take some time to spread. Therefore it is important to IPv4 in mobility. The problem with IPv4 environment, NAT Traversal is required. We therefore mobility and NAT traversal problem solving NT-Mobile at the same time doing research. The NT-Mobile, can also support any move. In this paper, NTMobile is not studying handover in 3G and WiFi. NTmobile adds way to 3G and wireless LAN handover. And then, we propose to switch seamlessly communicate no communication break time.

1. はじめに

インターネットの爆発的な普及により、IPv4 のグローバルアドレスが枯渇している。この対策として IPv6 の普及が急務といわれているが、IPv4 と IPv6 の互換性がなく、IPv6 の普及は進んでいない。IPv4 は既に広く普及しており、今後も引き続き使われ続けることが想定される。IPv4 では、インターネットと組織のネットワークの境界に NAT (Network Address Translation) を設置し、組織のネットワークをプライベートアドレスで構成する形態が一般である。しかし、NAT により外部ノードから内部ネットワークが隠蔽されるため内部ノードに向けて通信を開始することができない。この問題を NAT 越え問題と呼び、IPv4 の汎用性を損なう大きな要因となっている。

一方、無線通信インフラが急速に発展し、3G や Wi-Fi、WiMax など様々な無線通信方式が存在している。これらを利用していつでもどこでもネットワークに接続できる環境が整いつつある。たとえば、コーヒESHOPやファーストフード店では Wi-Fi のアクセスポイントが設置されており、ホットスポットとしてインターネットが利用できる。現在の通信端末はこのような通信環境に対応して通信インターフェースを複数搭載していることが多い。スマートフォンでは 3G と Wi-Fi を必ず搭載している。Wi-Fi は 3G 回線に比べて高速に通信ができるものの、利用範囲が限定されている。またルーターを跨って移動すると IP アドレスが変化し、通信を継続することができないという課題がある。一方、3G 回線は通信帯域が狭く、高トラフィックに対応できないという欠点があるものの、多くのエリアをカバーし、さらに移動しながら通信ができるという利点がある。これら 2 つのネットワーク環境から最適な通信方式を常に選択し、シームレスに通信を切り替えることができると有用である。

端末自身が最適な通信方式を選択するという考えは、コグニティブ無線¹⁾²⁾³⁾と呼ばれ近年注目されている。コグニティブ無線は端末が周囲の電波利用環境を認識し、その状況に応じて最適な通信方式を選択する無線技術である。周波数資源の有効活用につながり、様々な通信方式の統合への一歩として注目されている。しかし、コグニティブ無線の研究は、データリンク層 (以下 L2) だけに着目した研究が多い。実際の IP 通信では異種間ネットワークのハンドオーバーでは IP アドレスが必ず変わる。よって IP 層 (以下 L3) において移動透過性を提供する技術と併用する必要がある。このようにコグニティブ無線を実現するには、L2 と L3 の連携が必須である。

^{†1} 名城大学大学院理工学研究科

異種間メディアをハンドオーバーするための規約として、IEEE802.21¹¹⁾がある。IEEE802.21は、L2とL3との間にメディアに依存しないインターフェースとサービスを規定したものである。IEEE802.21の研究としては、IMobile IPv6⁸⁾やFMIPv6⁹⁾との連携したり、Mobile IPのマルチホーム拡張仕様のMCoA(Multiple Care-of Address Registration)と連動¹⁰⁾したものが検証されている。MCoAとの連動においては、パケットロスが発生しないスムーズな切り替えが可能である事が確認されている。しかし、現状のIEEE802.21で定義されているサービスだけでは実現できず、手を加える必要がある。また、Mobile IPは特別な第3装置Home Agent(以下HA)が必要で、経路冗長が発生しスループットが低下するという課題がある。また、パケットの送信元が実際のIPアドレスと異なる経路を通るので、不正パケットとしてルーターでパケットが破棄される可能性があるという、Mobile IPの課題がそのまま残ってしまう。

3GとWi-Fi間のハンドオーバーの新たなアプローチとして、PPP(Point to Point Protocol)を拡張して通信経路を変えてもIPアドレスを変えないようにする方法⁵⁾が提案されている。PPPサーバとPPPクライアント間で3G回線を経由する経路と、インターネットを経由する経路を形成し、その間を1つのIPアドレスで通信をすることにより、IPハンドオーバーなしに経路を変えることができる。しかし、この方式では、PPPサーバを必ず経由して通信を行うことにより、経路が冗長になるという課題がある。

我々は、IPv4環境においてNAT越えと移動透過性を同時に実現するNTMobile¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾の研究を行っている。NTMobileはNATを跨るあらゆるネットワーク構成において、通信の開始を可能にする。また、どのような移動パターンであっても通信中に移動することができ、ユビキタスネットワークを実現するために有効な技術である。そこで本論文では、スマートフォンがNTMobileの機能を搭載し、3GとWi-Fi間をシームレスに移動する方式を提案する。電波強度を指標にして周辺のWi-Fi環境を探し、利用可能であればWi-Fiを優先する。切り替え時に両インターフェースを同時に動作させ、パケットロスを回避する。また、IPアドレスの変化に関しては、NTMobileにより実IPアドレスの変化を隠蔽する。

以下2章では既存技術としてIEEE802.21を用いたスムーズな異種メディア間ハンドオーバーの方法とPPPを拡張したハンドオーバー方式を紹介する。3章で要素技術であるNTMobileを簡単に紹介し、4章で提案方式の移動パターンとハンドオーバー方式を記述する。さらに5章では、実装に向けた設計を記述し、6章でまとめを述べる。

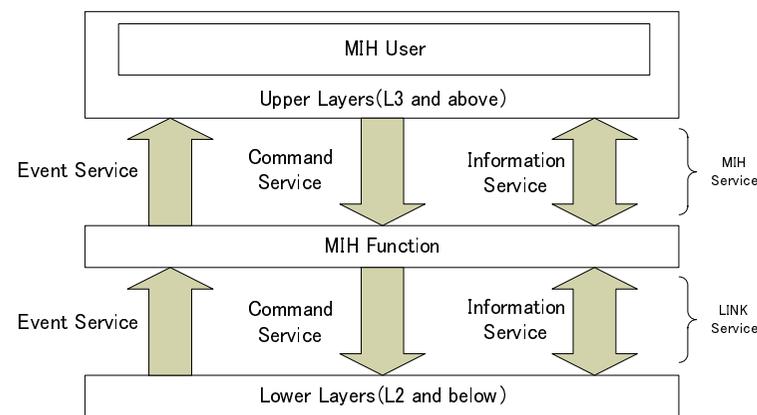


図1 IEEE802.21のサービスモデル

2. 既存技術

2.1 IEEE802.21を用いたスムーズな異種メディア間ハンドオーバー

文献¹⁰⁾では、IEEE802.21のサービスとMCoAとの連動によるハンドオーバーを検証している。MCoAはMobile IPを拡張し、移動ノードの通信インターフェースごとにCare-of Address(CoA)を登録可能にする拡張仕様である。IEEE802.21は、メディア非依存ハンドオーバー(MIH: Media Independent Handover)を実現するために、L2とL3の間でメディアに依存しない統一的なインターフェースを規定している。図1にIEEE802.21のサービスモデルを示す。IEEE802.21では、Event Service、Command Service、Information Serviceという3種類のサービスが定義されており、上位層のスタックはこれらのサービスを利用することで、メディアに依存しない抽象化されたリンク層情報をやり取りすることができる。

MIH Functionは、IEEE802.21とそのサービス利用者(MIH User)のインターフェースであり、Event Serviceはリンク層が利用可能になったこと等のリンク層情報を上位層に対して通知するために利用される。Command Serviceは、上位層による能動的なリンク層情報の取得やリンク層を設定するために利用される。Information Serviceは、隣接しているネットワークの情報等、ハンドオーバー決定に必要な様々な情報を取得するために利用される。サービスを受けたMIH Functionは該当するLINKサービスを呼び出し、下位層

(Lower Layers) とやり取りを行う。

IEEE802.21 アーキテクチャでは、IP モビリティスタックは図 1 中の MIH User に当たり、IEEE802.21 サービスを利用して、リンク層情報をやり取りする。MCoA は、500 ミリ秒ごとに MIH Get Status.request で通信インターフェースのリンク状態情報取得を要求し、リンク状態がリンク品質劣化イベント以下であれば、ネットワーク層ハンドオーバを開始する。ネットワーク層ハンドオーバが完了すると、使用していた通信インターフェースの接続を切るために MIH NEWDEF LINK DOWN.request を発行する。それが完了すると MIH NEWDEF LINK DOWN.confirm が発行され、一連の動作が完了する。IEEE802.21 MIH Function は、MIH Get Status.request を受け、該当する通信メディアに対して LINK Get Status.request を発行し、Link Get Status.confirm が MIH Function に返答されたら、MIH User に MIH Get Status.confirm を返答する。リンク層切断要求コマンドもしくはリンク層接続要求コマンドを受け取った場合、IEEE802.21 にはこの目的に使えるコマンドが定義されていないので、新たに定義したコマンド (LINK NEWDEF LINK UP.request, LINK NEWDEF LINK DOWN.request) を用いる。

文献¹⁰⁾による検証の結果、IEEE802.21 は MCoA においてもパケットロスが発生しないスムーズな通信メディアの切り替えが可能である。しかし、現状の IEEE802.21 で定義されているサービスだけでは不十分であり、IEEE802.21 に手を加える必要がある。また、IP ハンドオーバを Mobile IP ベースにしているのが、Mobile IP の課題がそのまま残ってしまうという課題がある。

2.2 PPP 拡張型ハンドオーバ方式

PPP 拡張型ハンドオーバ方式では、3G と無線 LAN 環境を移動しても IP アドレスが変化しない工夫をしている。図 2 にネットワーク構成を示す。この手法では、拡張を施した PPP クライアントと PPP サーバから構成される。3G のデータ通信に広く用いられている PPP(Point-to-Point Protocol)⁶⁾に拡張を施し、3G 上で接続している PPP セッションを切断することなく、通信を無線 LAN などの異種のネットワークへ移行する。PPP クライアントと PPP サーバは複数の通信インターフェースを備え、3G を介した PPP 通信経路とインターネットを介した PPP 通信経路をクライアントとサーバ間に確立する。

無線 LAN は、通常 PPP を用いた通信を想定していない。そこで、L2TP(Layer-2 Tunneling Protocol)⁷⁾を用い、クライアント・サーバ間に L2 トンネルを構築し、無線 LAN 上で PPP 通信経路を確立する。L2 トンネルの上に PPP 接続を行う手法は無線 LAN 以外の異種ネットワークへの適応も見込める。PPP サーバは、通信経路確立時に PPP クライア

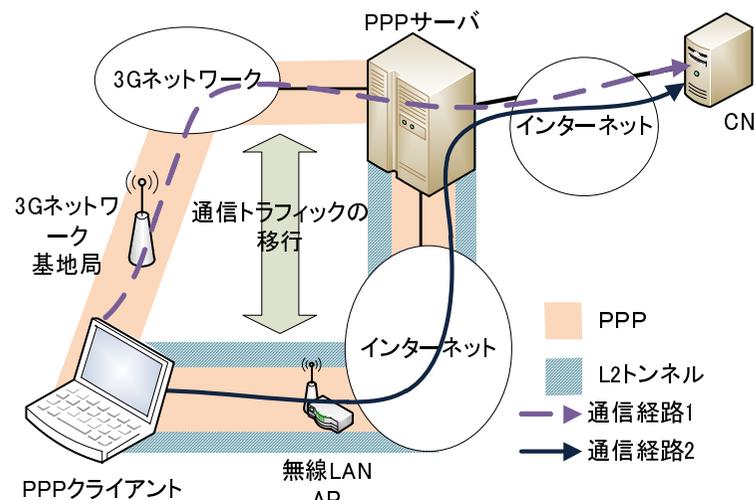


図 2 PPP ネットワーク構成

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 アドレスを用いて PPP サーバを介し通信相手の CN と通信を行う。2つの通信通路で1つの IP アドレスを共有するため、L3 のハンドオーバは不要である。

この方式では、通信には必ず PPP サーバを経由をする必要がある。また、CN は移動しないことを前提にしているのが、移動パターンが限られている。さらに、L2TP を用いるためカプセル化によるオーバーヘッドが発生するなどの課題がある。

3. NTMobile

本提案の要素技術となる NTMobile について簡単に述べる。図 3 にシステム構成を示す。DS (Direction Server) は、UDP トンネル生成方法を両エンドノードに指示するための装置であり、DDNS サーバに機能を追加したものである。NTMobile では、IP アドレスの通信識別情報と位置情報を明確に分離し、通信識別情報としては重複しないことが保障された仮想アドレスを利用する。また位置情報には、接続するネットワークで取得する実 IP アドレスを使用し、実アドレスを UDP トンネルの外側のアドレスとして使用する。上位アプリケーションは通信を仮想アドレスで認識するため、エンドノードが移動先で新しく

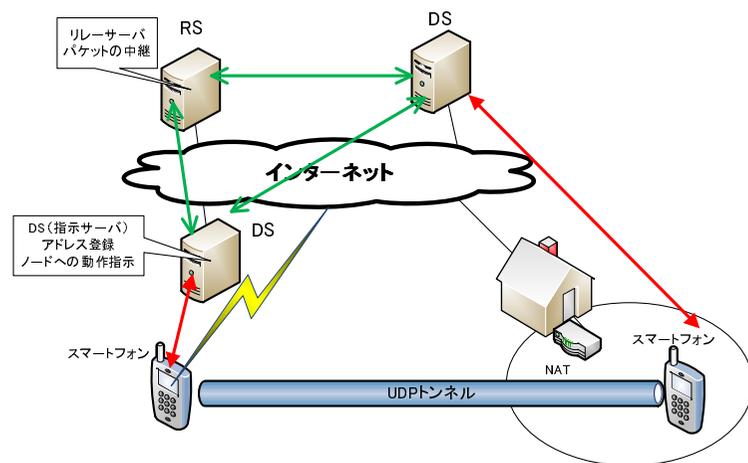


図 3 NTMobile のシステム構成

IP アドレスを取得しても、仮想アドレスは変化することなく通信を継続することができる。UDP トンネルは、通信開始時のネゴシエーションにより生成する。エンドノードのどちらかが NAT 配下に存在する場合には、NAT 配下のエンドノード側から UDP パケットを送信し、トンネル生成を行う。両ノードがそれぞれ異なる NAT 配下に存在する場合には、両エンドノードが中継通信を行うための RS (Relay Server) に対して UDP トンネルを生成し、RS を介した中継通信を行う。CN が NTMobile の機能を搭載していない場合には RS をプロキシサーバとして使用し、MN と RS との間で UDP トンネルを形成する。

4. 提案方式

4.1 想定する移動パターン

図 4 に本論文で想定する移動パターンを示す。移動パターンは以下の 2 通りである。1 つ目は、MN が 3G 回線を用いてインターネットへ接続し通信を行っているとき、無線 LAN が使えるエリアに移動して無線 LAN に切り替える場合である。2 つ目は、MN が無線 LAN を用いて通信中に無線 LAN エリア外に移動し、3G 回線に通信を切り替える場合である。ここでは、3G がグローバルアドレスを割り当てられ、無線 LAN ではプライベートアドレスを割り当てられることを想定する。これはたとえば、通勤中は 3G で通信を行い、自宅で

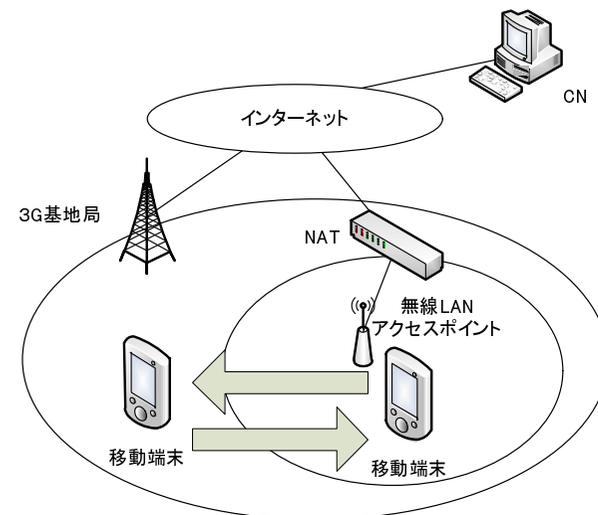


図 4 移動パターン

は無線 LAN を利用する場合などが想定される。このような移動パターンを自由に行き来するためには移動透過性と NAT 越えを同時に実現する必要がある。NTMobile は IP レベルでこれを実現できる技術であるが、リンクレイヤの切り替え方法は考慮されていない。そこで、本論文に示すハンドオーバー方法を用いて、NTMobile と組み合わせることによりシームレスなハンドオーバーを実現する。NTMobile では両エンドノードが移動可能であるが、ここでは通信相手 CN が固定のまま、MN が移動するものとする。

4.2 ハンドオーバー方式

図 5 に 3G から無線 LAN へのハンドオーバーシーケンスを示す。移動端末 MN は携帯電話網 (以下 3G インターフェース) と無線 LAN の通信方式に対応した通信インターフェースを保持している。MN は通信相手 CN とはじめ 3G インターフェースを使い通信を行っている。この状態では、無線 LAN カードはスリープ状態として、パケットの送受信を一切行わない省電力状態としている。MN は 3G インターフェースで通信中に、定期的に無線 LAN カードのスリープを解除し、周囲の無線 LAN アクセスポイント (以下 AP) をチャネルスキャンにより探索する。そこで、AP が見つからなければ、無線 LAN カードをスリープ状態に戻し、次の探索まで省電力モードにする。AP 探索により、AP が発見できた場合、

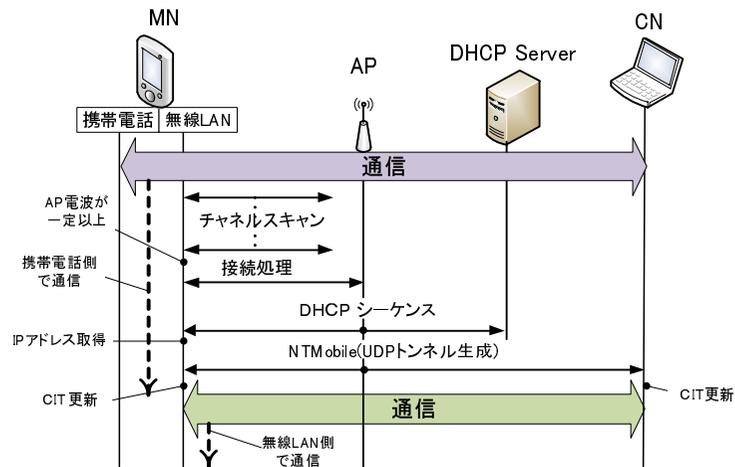


図 5 3G から無線 LAN へのハンドオーバーシーケンス

その電波強度が一定値以上であった場合、3G インターフェースで通信を行いながら、無線 LAN カードで AP との接続処理を行い、DHCP サーバから無線 LAN カードに新しい IP アドレスを取得する。その後、NTMobile により DS の指示に従って CN との間で新たなトンネル経路を生成する。NTMobile 処理後、UDP トンネル経路を変更し、3G から無線 LAN への通信の切り替えができる。

図 6 に無線 LAN から 3G へのハンドオーバーシーケンスを示す。無線 LAN は通信中に AP の電波強度を常に測定する。電波強度は AP から送信されるビーコンや、データパケットを受信したときに測定できる。3G 側は常時接続状態にしておき、NTMobile の処理をすぐに行える状態しておく。電波強度が低下して通信状態が不安定になる前にハンドオーバーできるように、電波強度の閾値を設定しておき、電波強度が閾値を下回ったら無線 LAN での通信を維持しながら 3G インターフェースにおいて NTMobile の処理を行い、新たなトンネル経路を生成する。3G 側の IP アドレスはどこに移動しても変化しないため、IP アドレス取得のシーケンスは不要である。NTMobile の処理が完了後、通信を 3G インターフェースに切り替える。その後、無線 LAN カードのアソシエーションを切断し、無線 LAN カードをスリープ状態にする。

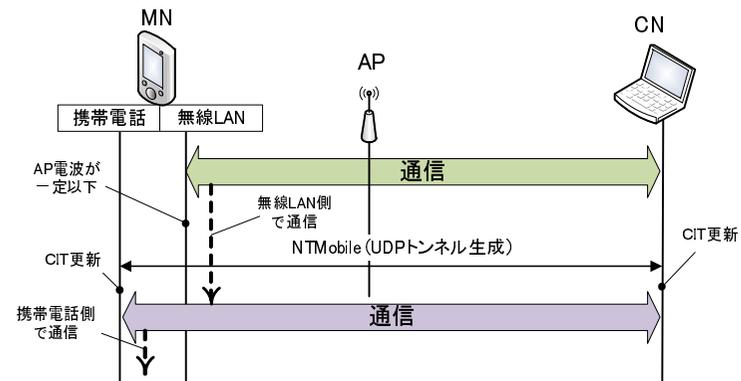


図 6 無線 LAN から 3G へのハンドオーバーシーケンス

5. 実 装

図 7 に提案方式のモジュール構成を示す。NTMobile はスマートフォンへの実装を目的としており、Android を実装対象とする。NTMobile のモジュールは、エンドノードの Linux カーネルに実装するモジュール（以下 NTM カーネルモジュール）とアプリケーションに実装するデーモン（以下 NTM デーモン）からなる。

NTM カーネルモジュールは上位アプリケーションから送信される仮想アドレスのパケットを Netfilter でフックする。その後このパケットに対して実アドレスで UDP によるカプセル化を行う。受信時も同様に、Netfilter によりフックしデカプセル処理を行う。NTM デーモンは UDP トンネルの生成ネゴシエーションを行う際に使用するメッセージを送受信する。

本提案を実行するハンドオーバーモジュールをアプリケーションデーモンとして実装する。ハンドオーバーモジュールは、無線 LAN カードのスリープとその解除のタイミングを判断する機能、電波強度の測定/判定機能、AP の選択、および ESS-ID を判定し IP アドレス取得を指示する。また、新たな物理的経路を生成後、NTM デーモンを呼び出して新たなトンネル経路を生成する。ハンドオーバーモジュールは、Linux のシステムコール (ifconfig, dhclient など) を呼び出して上記の処理を実行する。呼び出しの手順は以下のとおりである。無線 LAN デバイスのスリープを解除し、ifconfig でチャンネルスキャンの実行指示を行う。AP が見つからなければ無線 LAN デバイスをスリープにし、次のチャンネルスキャンま

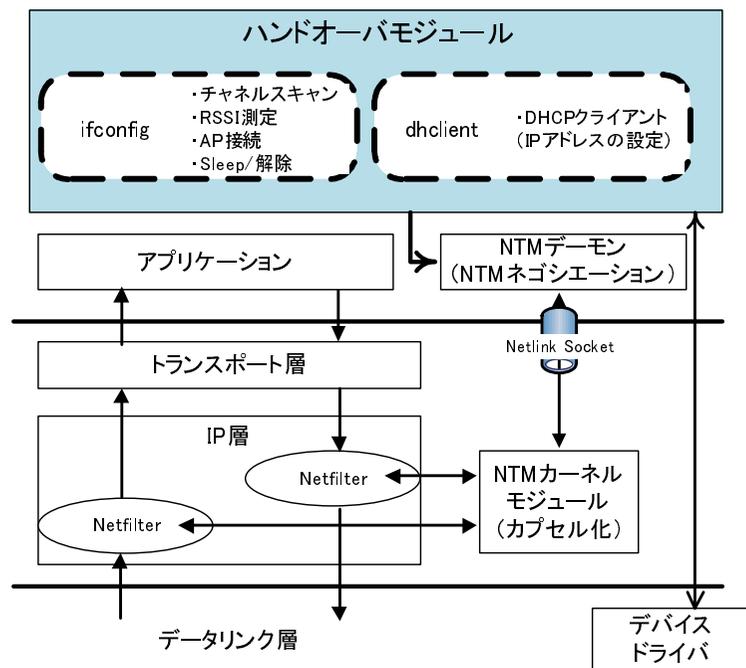


図 7 モジュール構成

で待機する。無線 LAN デバイスのスリープやその解除は `ifconfig down/ifconfig up` で実行できる。AP への接続処理は、AP の ESS-ID を引数として `iwconfig essid` により指示する。これにより、端末と AP 間では自動的に接続に必要なシーケンスが実行される。IP アドレスの取得には `dhclient` を実行して、DHCP サーバからアドレスを取得する。実アドレスが変更された後、NTM デーモンを呼び出す。

6. まとめ

本論文では、IPv4 環境において、携帯電話網と無線 LAN 間をシームレスに移動する方式を提案した。3G と無線 LAN を一時的に同時起動させることで通信断絶時間をなくし、NTMobile で IP ハンドオーバーを行うことにより 3G と無線 LAN 間をシームレスにハンドオーバーできる。ハンドオーバー機能をアプリケーションモジュールとして実装することで、ネッ

トワークやユーザーの手間を最小限に抑えている。また、移動透過性技術として、NTMobile の方式を用いたが、原理上他の移動透過性技術との併用が可能である。今後は、切り替えモジュールの実装を完了させ、動作の検証や性能測定を行う。

参考文献

- 1) 原田博司; コグニティブ無線を利用した通信システムに関する基礎検討, 電子情報通信学会技術研究報告. SR, ソフトウェア無線 105(36), 117-124, 2005-05-04
- 2) 花岡誠之, 矢野正; コグニティブ無線通信技術に関する研究開発, 電子情報通信学会技術研究報告. SR, ソフトウェア無線 107(162), 9-12, 2007-07-19
- 3) 村上誉, 佐々木重信, 吉野仁; コグニティブ無線の標準化動向, 電子情報通信学会誌 94(1), 43-46, 2011-01-01
- 4) Perkins, C; IP Mobility Support for IPv4, RFC3344, IETF(2002)
- 5) 田村 隆幸, 高畑 実, 松岡 保静; 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, NTT DoCoMo テクニカル・ジャーナル 17(1), 33-39, 2009-04
- 6) W.Simpson ; The Point-to-Point Protocol(PPP), IETF, Request for Comments 1661, Jul, 1994.
- 7) W.Townsley, A.Valencia, A.Rubens, G.Pall, G.Zorn and B.Palmer ; Layer Two Tunneling Protocol "L2TP", IETF, RFC 2661, Aug, 1999.
- 8) MUSSABBIR Q. B., Optimized FMIPv6 handover using IEEE802.21 MIH services, ACM, Mobiarch, San Francisco CA, pp.43-48, 2006,
- 9) Dutta, A., et al., Seamless Handover Across Heterogeneous Network - An IEEE802.21 Centric Approach(May 2006)
- 10) 三屋 光史朗, 北地 三浩, 長澤 知津子, 守田 空悟, 横田 知好, 湧川 隆次, 村井 純, IEEE802.21 を用いたスムーズな異種メディア間ハンドオーバーシステムの実現, 情報処理学会論文誌 49(1), 335-349, 2008-01-15
- 11) Media Independent Handover Services, IEEE, P802.21/D01.00, 2006
- 12) 鈴木秀和, 水谷智大, 西尾拓也, 内藤克浩, 渡邊晃, NTMobile における相互接続性の確立手法と実装, DICO2011 掲載予定
- 13) 内藤克浩, 西尾拓也, 水谷智大, 鈴木秀和, 渡邊晃, 森香津夫, 小林英雄, NTMobile における移動透過性の実現と実装, DICO2011 掲載予定
- 14) 西尾拓也, 内藤克浩, 水谷智大, 鈴木秀和, 渡邊晃, 森香津夫, 小林英雄, NTMobile における端末アドレスの移動管理と実装, DICO2011 掲載予定