

モバイルネットワークにおけるマルチホーム環境の実装評価

今井 尚樹 田坂 和之 磯村 学 堀内 浩規

(株) KDDI 研究所

1. はじめに

筆者らは、モバイルネットワークを対象としたシームレス通信の実現に向けて、図1に示すようなモバイルルータの研究開発を行ってきた[1]。本稿ではモバイルルータをマルチホーム環境に対応させるため、複数の気付アドレスをホームエージェントに登録する機能と、ホームエージェントとモバイルルータにおけるフロー単位のポリシールーティング機能を実装した。さらに、実装したシステムを利用して性能評価を行ったので、その結果を報告する。

2. マルチホームの実現に向けた拡張

筆者らが開発してきたモバイルルータ[1]は、無線 LAN(IEEE 802.11a, 11b)、PHS(Air H⁺)、CDMA 2000 1x、1x EV-DO(800MHz、2GHz)、DSRC などの通信メディアに対応しており、無線環境等に応じてこれらを切替える。しかしながら、モバイルルータはモバイル IP[2]をもとにして標準化が進められているため[3]、ホームエージェントに登録可能な気付アドレスは 1 つのみに制限される。

一方、通信メディア切断時の高速な切替えを実現するためには、モバイル IP を拡張して複数の気付アドレスを登録可能とすることが望ましい[4]。さらに、モバイルルータとホームエージェントにおいてフローごとにポリシーに応じたルーティングを実行することで複数の通信メディアを同時に利用可能となり、限られた無線帯域の有効活用にもつながる。

2.1. 複数気付アドレスの登録

複数の気付アドレスをホームエージェントに登録するためには、登録要求パケットを受信したホームエージェントが、既に登録済みの気付アドレスの更新かあるいは新たな気付アドレスの登録かを判断できなければならない。これを実現するために、文献[4]では BID (Binding Unique Identification Number) を導入し、モバイルルータの通信メディアを一意的に識別している。なお、文献[4]では BID そのものの決定手法は規定されておらず、各通信メディアに異なった BID の数値を設定する必要がある。

この BID はモバイル IP の登録要求パケットにおいて、BID サブオプションとして含まれる。図2に BID サブオプションのフォーマットを示す。BID は 16 ビットの符号なし整数として規定されている。

実際に複数の気付アドレスを登録するモバイルルータは、登録要求パケットの M フラグを 1 に設定し、BID サブオプションを含ませる。一方、BID サブオプションを含む登録要求パケットを受信したホームエージェントは、BID により通信メディアを識別し、その BID による登録が既にあれば登録更新を、なければ新規登録を行う。

また、気付アドレスの登録を解除する場合、一般的にはその通信メディアが使用不可能と判断された段階で登録を解除することが多い。そこで、モバイルルータはその時点で使用可能な他の通信メディアから登録解除要求パケットを送信する。この登録解除要求パケットには代理気付アドレスサブオプションと BID サブオプションが含まれることで、ホームエージェントはどの通信メディアの気付アドレスを登録解除すればよいか判断可能となる。

2.2. ポリシールーティング

使用する通信メディアをフロー単位で選択するポリシーについて、モバイルルータ上の設定でアップリンク(モバイルルータからホームエージェント方向の通信)のポリシーを、ホームエージェント上の設定でダウンリンク(ホームエージェントからモバイルルータ方向の通信)のポリシーを設定することとする。ポリシーの設定に際し、アップリンクとダウンリンクで同一の通信メディアを利用する必要はない。

ポリシーのルールは、利用可能な通信メディアの組合せごとに全て作成され、モバイルルータに設定されるものとする。モバイルルータへの設定は、手動による設定やモバイルネットワーク内の端末から UPnP (Universal Plug and Play)などを用いて設定

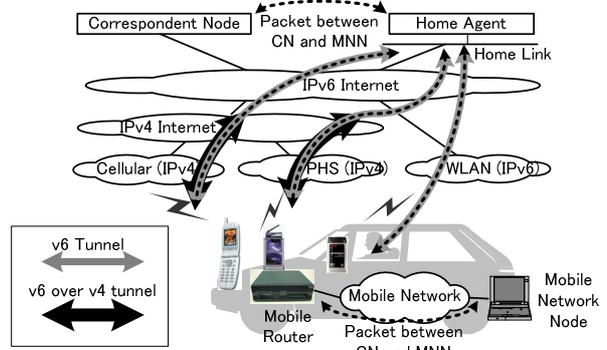


図1: モバイルルータの概要

0	1	2	3
0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,0,1	Type	Length	
Binding Unique ID (BID)	P	Reserved	

図2: BID サブオプションのフォーマット

```
MR 2001:200:xxx:zzz::200
RULE1_START
2001:200:xxx:yyy::/64 2001:200:xxx:zzz::/64 tcp ** 111
2001:200:xxx:yyy::/64 2001:200:xxx:zzz::/64 udp ** 111
* 2001:200:xxx:zzz::/64 udp * 2222 800
* 2001:200:xxx:zzz::/64 udp * 4444 111
* 2001:200:xxx:zzz::/64 udp * 35001 800
RULE1_END

RULE_MAP_START
RULE_NUMBER 1
BID 111
BID 800
RULE_MAP_END
```

図3: ホームエージェントにおけるポリシー記述例

するアプローチが考えられる。一方、ホームエージェントへの設定も、手動での設定以外に、モバイルルータを介して自動的にホームエージェントに設定を伝えるアプローチが考えられる。

ポリシールーティングの目的は、フロー単位で通信メディアを選択可能とすることである。したがって、これを満たすためには、ルール中に定義可能な項目として、送信元アドレス、送信先アドレス、プロトコルタイプ、送信元ポート番号、送信先ポート番号の5項目が最低限必要となる。

なお、利用可能な通信メディアの数が0あるいは1のときは、ポリシーは適用されない。ポリシー適用中に、登録解除により利用可能な通信メディアの数が1に減少した場合は、それまで適用していたポリシーは解除される。

また、登録要求パケットと登録解除要求パケットは、代理気付アドレスサブオプション使用時以外は、登録要求を行う通信メディアから送信されるためポリシーは適用されない。

3. 実装の概要

これまでに開発したモバイルルータは Linux カーネル 2.4.21 上で動作し、モバイルルータデーモンと通信メディア切替えデーモンから構成される。これらに対して複数気付アドレス登録機能を追加するとともに、ポリシールーティングを実行するためのポリシールーティングデーモンを構築した。

3.1. 気付アドレスの登録

EV-DO は 800MHz、2GHz とともに IPv4 を用いた通信となる。こ

これらの通信メディアを IPv6 での通信に対応させるために、本実装では固定の IPv6 over IPv4 トンネルを利用した。トンネルデバイスに割り当てられるモバイルルータ側の IPv6 アドレスと、インターネット側のトンネルを端末するルータの IPv4 アドレスは予め設定ファイルに記述しておくものとした。EV-DO により登録要求パケットを送信する手順は以下のとおりである。①libwvstreamによりダイヤルアップを行い、PPP 接続する。②IPCP により IPv4 アドレスと IPv4 のデフォルトルートを取得する。③設定ファイルを参照し、トンネルデバイスに割り当てるモバイルルータ側の IPv6 アドレス、インターネット側のトンネル端末ルータの IPv4 アドレスを読み出す。④IPv6-IPv4 トンネルを作成して経路を設定する。⑤IPv6-IPv4 トンネルのモバイルルータ側 IPv6 アドレスを気付アドレスとして登録パケットを送信する。

実装で使用した BID は、無線 LAN を 0x0111、800MHz EV-DO を 0x0800、2GHz EV-DO を 0x2000 とした。また、登録解除の際には代理気付アドレスによる登録解除要求を行うが、登録解除要求パケットを送信する通信メディアは、利用可能な通信メディアのうち BID が最小であるものを利用するという方針とした。

3.2. ポリシーの記述

モバイルルータとホームエージェントのポリシー設定ファイル中に、通信メディアの組合せごとに適用するルールが記述される。例えば、今回のように3種類の通信メディアを使用する場合には、BID 0x0111、0x0800、0x2000 の全てが利用可能な場合に適用するルール(ルール 1)、BID 0x0111 と 0x0800、BID 0x0111 と 0x2000、BID 0x0800 と 0x2000 のように2種類が利用可能な場合に適用するルール(ルール 2、3、4)の最大4つのルールが設定可能となる。

ポリシーの記述例を図3に示す。(1)はルールセットを示し、その各行がフローごとに適用されるポリシーである。上位の行からマッチング処理が行われ、最初に合致したポリシーが適用される。各行は左から順に、“送信元 IP アドレス”(あるいはネットワークプレフィクス)、“宛先 IP アドレス”(あるいはネットワークプレフィクス)、“プロトコルタイプ”、“送信元ポート番号”、“宛先ポート番号”、“BID の値”がタブあるいはスペースにより区切られて記述される。アドレスとポート番号はワイルドカードとして“*”を利用可能である。また、ポート番号は連続する範囲を、例えば20から80であれば“20:80”のように記述可能とする。

上記のポリシーは RULE_n_START と RULE_n_END の間に記述される。これに続く RULE_MAP_START と RULE_MAP_END の間に BID の組合せとルール番号が記述される。これをルールセットごとに定義することにより、利用可能な通信メディアの組合せと適用するルールセットが対応付けられる。

なお、ホームエージェント上に設定されるポリシーは、適用対象のモバイルルータを識別することができるように、先頭にモバイルルータのアドレスを記述する。

3.3. ポリシールーティング

図4はモバイルルータとホームエージェントでポリシーが適用される際の処理を、概念的に示したものである。図4左側はアップリンクの通信を、図4右側はダウンリンクの通信を表している。アップリンクの通信において、モバイルネットワーク内のパケットがモバイルルータに到達すると(あるいはモバイルルータから直接送信されるパケットでもよい)、ポリシーのマッチング処理が行われる。その結果を受け、ip6tables の POSTROUTING 処理により、適切な出力デバイスに送信される。その後、必要に応じて IPv4 トンネルの処理を行い、各通信メディアからパケットが出力される。

ダウンリンク方向の通信においても、ホームエージェント内で同様の処理が行われる。ただし、ホームエージェントの場合は有線 LAN のインタフェースのみ存在する。

4. 実験による性能評価

性能評価に用いたネットワークの構成を図5に示す。実験では800MHz EV-DO(以下、EV-DOとのみ表示)と IEEE 802.11b(以下、802.11bとのみ表示)の2つの通信メディアを使用した。

EV-DO で通信中の状態から、802.11b を追加登録した場合、その後、802.11b を登録解除した場合の切替え時間を測定した。以下では、モバイルルータが登録要求パケット送信後、登録応答パケットを受信するまでの時間を切替え時間と定義する。切替え時間には、登録要求/応答パケットがモバイルルータとホームエージェント間で往復する時間と、ホームエージェントでの登録処理時間が含まれる。

まず、802.11b が利用可能な通信メディアとして追加登録された場合の結果について示す。切替え時間は約 10 ms であった。切

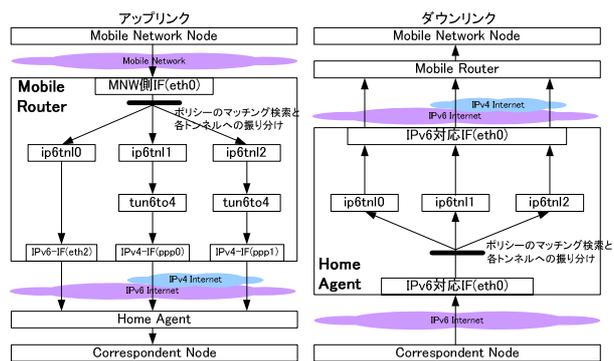


図4: ポリシールーティング

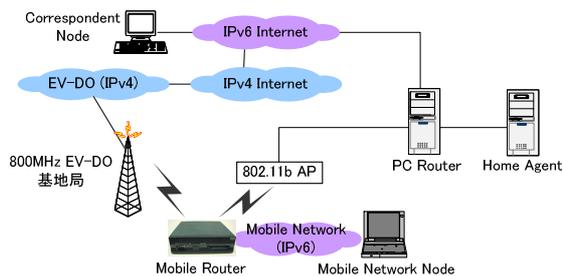


図5: ネットワーク構成

替え完了後、利用可能な通信メディアが2種類になるため、ポリシーの適用が開始される。切替え後、約 30 ms 経過すると 802.11b 経由でパケットを受信開始した。EV-DO で通信するようにポリシー設定されたフローのパケットも含めて、パケットロスは発生しなかった。ただし、802.11b と EV-DO の間でネットワーク遅延に大きな差があるため、切替え前後でパケットの逆転が発生することが確認された。

次に、802.11b が登録解除され、EV-DO のみ利用可能な状態となる場合の結果について示す。切替え時間は 215 ms であり、切替え終了後約 35 ms 経過した時点で、それまで 802.11b 経由で受信していたパケットを EV-DO 経由で受信し始めた。ホームエージェントにおける登録と登録解除の処理時間はいずれも約 4 ms と変わらないものの、802.11b の登録解除要求パケットを送信する EV-DO のネットワーク遅延により、登録要求時と比較して切替え時間が大きくなる。登録解除が行われる前に 802.11b を利用するようポリシーが設定されたフローは、切替え時のポリシー適用終了処理や切替え後の EV-DO 経由での通信のネットワーク遅延により、約 250 ms の通信切断が発生した。一方、常に EV-DO を使用するよう設定されたフローは登録解除の影響を受けないため、パケットロスが発生しなかった。

測定実験では、ストリーミング等のアプリケーションの動作確認も行ったが、上記の切替え時間においては問題なく利用可能であることが分かった。

5. おわりに

本稿では、モバイルネットワーク環境における複数気付アドレスの登録や、フロー単位のポリシールーティングの実現に向けた実装と性能評価を報告した。最後に、日頃ご指導頂く(株)KDDI 研究所浅見所長および長谷川執行役員に感謝する。

参考文献

- [1]磯村他，“ネットワーク単位の移動性を提供するモバイルルータのための経路制御方式の提案”，情処学論，vol.45，No. 2，Feb. 2004.
- [2]D. Johnson, et al. “Mobility Support in IPv6”, IETF RFC 3775, June 2004.
- [3]V. Devarapalli, et al. “Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol”, IETF Internet Draft, draft-ietf-nemo-basic-support-03.txt, June 2004.
- [4]R. Wakikawa, et al. “Multiple Care-of Address Registration”, IETF Internet Draft, draft-wakikawa-mobileip-multiplecoa-03.txt, Jun. 2004.