

Mobile IPv6 ハンドオーバーにおいて パケット欠落を発生させない機構の設計と実装

名倉 正剛[†] 北村 浩[‡]

E-mail: {nagura, kitamura}@netlab.nec.co.jp

概要

近年、公衆 LAN 接続サービスとして、ホットスポットサービスが展開されている。そして利用者は無線端末を利用することにより、ネットワークに接続したままホットスポット内を移動できる。しかしさらに広範囲で移動できるようにさせるため、ホットスポット外ではエリアの広い移動体通信網などの別のメディアで通信を継続したいという要求がある。このような異なったメディア間でのハンドオーバーは、Mobile IP を用いることで実現できる。しかし通常の Mobile IP では、ハンドオーバー処理の際に通信できない時間ができ、パケットロスの発生が避けられない。本研究ではこの問題を解決し、Mobile IPv6 ハンドオーバー時にパケットロスを発生しない機構を設計し、実装する。

The design and implementation of a mechanism to avoid generating packet loss in Mobile IPv6 handover

Masataka NAGURA[†] Hiroshi KITAMURA[‡]

Abstract

Since hot spot services (as public LAN services) are getting spread recently. By using a radio terminal, a user can move with connection to network inside of a hot spot area. However, since it is can be made to enable it to move in wide range, there is a demand to continue communications out of a hot spot by another media that area is larger than it, such as mobile communications network. The handover between such different media is realizable by using Mobile IP. In Mobile IP, since moving registration is performed after changing communication to the media of a movement place in the time of handover, generating of a packet loss in the meantime is not avoided. In this research, we have designed the mechanism in which packet losses are not generated in Mobile IPv6 handover and we have implemented and evaluated it.

[†] 日本電気株式会社ネットワーク開発研究本部

[‡] Network Development Laboratories, NEC Corp.

1 はじめに

近年、無線 LAN 網や移動体通信網など、公衆網を用いてインターネットに接続できるサービスが普及しつつある。これらは、インターネットの利用者が外出先に小型端末を持ち運び、接続することを可能にしている。

公衆 LAN を用いたインターネット接続サービスとしては、ホットスポットサービスが展開中である。利用者は無線端末を利用することにより、ネットワークに接続したままホットスポット内を移動できる。

利用者が広範囲で移動できるようにするため、ホットスポット外では別のメディアで通信を継続したいという要求がある。具体的には、移動体通信網が広く普及しているので、ホットスポット内では比較的高速な通信メディアである無線 LAN を使い、ホットスポット外ではエリアの広い移動体通信網を用いることにより、通信の継続を実現したい。

この際、通信を継続させるために、Mobile IP を用いることを考える。IETF (The Internet Engineering Task Force) では、Mobile IPv4 [1] や、IPv6 に対応した Mobile IPv6 [2] が標準化されている。

Mobile IP の大きな特長としては、以下の 2 点が挙げられる。

- 通信を継続したままリンクを移動できる
- 通信を継続したまま異なった通信メディアに切り替えることができる

後者の特長によって、無線 LAN と移動体通信網のような、異なったメディア間でのハンドオーバを実現できる。従って、ホットスポットの利用者が別のメディアで通信を継続することを可能にする。

通常の Mobile IPv6 では、ハンドオーバの際に移動先のリンクやメディアに通信を切り替えてから移動登録を行う。従って移動元のリンクから一旦切断して、移動先のリンクに接続し、移動登録を行うまでの間、パケットロスの発生が避けられない。

移動先のリンクに接続してから移動登録を行うまでのパケットロスを軽減するために、ハンドオーバを高速化する方法が標準化されている [4]。しかし、リンクから一旦切断して移動先のリンクに接続するので、依然とし

てネットワークから切断されている状態が存在し、パケットロスが発生する。

本研究では、Mobile IPv6 においてハンドオーバ時にパケットロスが発生しない機構を設計し実装する。複数インタフェースを用いて同時に通信可能な状態で移動を行い、リンクから切断されている状態を作らないことによって実現した。移動が通信メディアに依存しないため、有線 LAN をはじめ無線 LAN や移動体通信でのパケット網など、様々な通信メディアでパケットロスの発生しないハンドオーバを実現できる。

2 Mobile IPv6 とハンドオーバ

本章では、まず IPv6 において移動サポートを行う Mobile IPv6 について述べ、次に通信を行ったままリンクを移動する際に生じる、パケットロスの問題について分析し、これを軽減するための方法を検討する。

2.1 Mobile IPv6

Mobile IPv6 は IETF Mobile IP ワーキンググループで検討中のプロトコルである [2]。

移動ノード (Mobile Node : MN) は、通信を行う際にホームアドレス (Home Address : HoA) と呼ばれる固定の IP アドレスを用いる。そして移動管理のためにホームエージェント (Home Agent : HA) と呼ばれる装置を用意し、移動管理のためのテーブル (Binding Cache : BC) に、HoA と滞在先のリンクで有効なアドレス (Care-of Address : CoA) との対応 (Mobility Binding) を保持する。MN は他のリンクへ移動すると、HA に移動登録 (Binding Update : BU) を送信する。HA は BC の対応するエントリを更新し、登録応答 (Binding Acknowledgement : BA) を返す。通信相手のノード (Correspondent Node : CN) は、HA を経由してパケットを送受信することによって、MN が移動しても通信を継続できる (図 1)。

また HA と同様に CN に移動管理を行うことのできる機構を用意すると、CN と MN の間に HA を経由せずに直接通信が可能になる (経路最適化)。

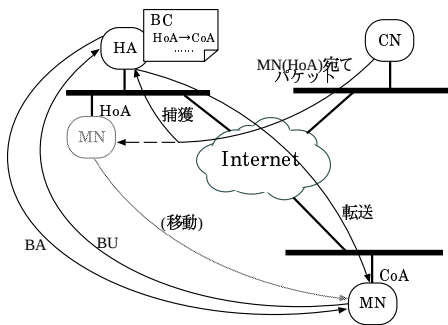


図 1: Mobile IPv6 による移動サポート

2.2 ハンドオーバの方法

MN が新しいリンクに移動して移動登録を行う手順として、以下の 2 通りを考える。

- make after break 方式 (图 2)
- make before break 方式 (图 3)

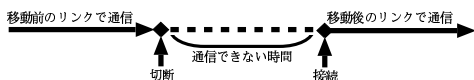


図 2: make after break 方式

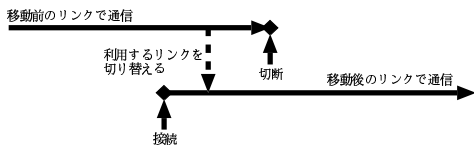


図 3: make before break 方式

make after break 方式は、移動の際に一旦リンクから切断して、移動先に接続を行ってから移動登録を行う手順である。移動先のリンクに接続するまでの間、MN がネットワークに接続していない時間が存在する。そして移動先のリンクに接続後、移動登録を行う。

make before break 方式は、移動を行う前に移動登録を行い、移動登録が完了してからリンクを移動する手順である。移動時には MN がネットワークから切断されている状態を作らずに、移動元と移動先と両方のリンクに接続されている共存状態を作る。

通常の Mobile IPv6 では単一インタフェースを用いてハンドオーバー処理を行うことを規定しており、make after break 方式によって移動登録を行うことが一般的である。この方式では、MN がリンクから切断されてから、移動先のリンクに接続し移動登録を行うまでの間は、通信を行うことができない。従ってこの間にパケットロスが発生する。2.3 節でハンドオーバー時の処理を分析し、2.4 節でパケットロスの回避方法として標準化されている方法を述べる。そして、本研究で実現する機構について検討する。

2.3 ハンドオーバー処理

MN があるリンクから別のリンクに移動したときに、移動登録を行う手順を述べる。

まず MN を、移動元のリンクから切断し、移動先のリンクに接続する。MN は移動を検知し、HA や今までに BU を送信したことのある CN に対して、移動登録を行う。

MN の移動検知の方法としては，以下の 2 種類が定義されている．

1. 近隣探索によって、デフォルトルータへ到達できないと判断したとき。
2. 新しい RA を受信した際に、今までのデフォルトルータを発見できないとき。

1 の場合は, [5] の Neighbor Unreachability Detection を用いる. これは, 15 秒から 45 秒の間のランダムな時間にパケットのやり取りが行われなかった近隣ノードに対し, 5 秒間待ったのち行われる. 近隣要請 (Neighbor Solicitation : NS) を 1 秒間隔で最大 3 回送信し, 近隣通知 (Neighbor Advertisement : NA) が得られなかった場合, 非到達であることを判断する. デフォルトルータが非到達な場合 MN は移動を検知し, 新しいリンクでルータを探索する. MN がルータ要請 (Router Solicitation : RS) を送信し, ルータは, 0.5 秒以内にルータ通知 (Router Advertisement : RA) を応答する. そして MN は [6] の方法で, RA を用いて CoA を自動生成できる. 生成した CoA を含む NS をリンク内に送信し, 1 秒以内に応答がない場合, 生成した CoA を設定する.

それぞれの処理の手順を図 4 に示す.

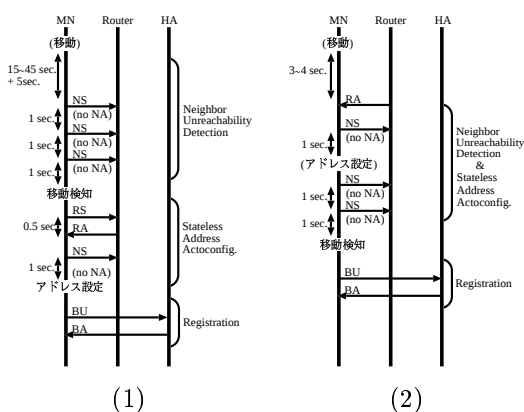


図 4: ハンドオーバー処理手順

前節ではハンドオーバの手順を述べ、移動検知のために要する時間を分析した。この結果、MN が新しいリンクに接続を行ってから 6 秒程度は、HA や CN の移動登録を更新できず、移動前のリンクにパケットが配送されるため、通信を行うことができないことがわかる。

そこで、移動先に接続してから移動登録を行うまでの間のバケットロスを回避して、ハンドオーバを高速化する方法が、IETF Mobile IP ワーキンググループで仕様検討中である [4]。移動前のリンクに配送されたパケットを、移動先のリンクに転送することによって、移動登録を更新する前でも MN にパケットを配送できるようにする。

この機構では、MN は移動前に移動先のアドレスを予め設定し、移動前のリンクのアクセスルータに登録する。MN が移動してから HA に登録が行われるまでの間、移動前

移動登録を行うまでのパケットの流れ

(1) (2) (3) (4)移動 (5)Binding Update

図 5: Mobile IPv6 高速ハンドオーバー

前節で述べた機構を用いると、MN を移動先のリンクに接続することによって即時に通信を再開できるようになる。したがって、ハンドオーバー時におけるパケットロスを軽減することができる。

しかし make after break 方式では、ハンドオーバは MN を移動元のリンクから切断し、移動先のリンクに接続することによって行われる。すなわち、移動先のリンクに接続するまでの間、MN がネットワークに接続していない時間が存在する。この間は物理的にパケットを配送できないので、通信を継続したまま移動を行う際に、パケットロスの発生を完全に回避することはできない。通常の Mobile IPv6 で定義されているように、一つの通信インタフェースを用いてハンドオーバを行うことができる機構では、物理的にネットワークから切断されている状態が必ず発生するので、パケットロスを回避するための方法の実現には限界がある。

移動先のリンクに接続するまでの間に発生

するパケットロスを回避するためには、MNがネットワークから切断されている状態を作らないようにすれば良い。このために本研究では make before break 方式を基本に、ハンドオーバー時にパケットロスを全く起こさない機構についての設計を行う。移動時に移動元と移動先と両方のリンクに接続されている共存状態を作り、移動登録を行った後で、移動元のリンクから切断すれば良い。

このような考えを、移動体通信に対して実現したものが、ソフトハンドオーバー技術である。次節ではこのソフトハンドオーバー技術についてを述べる。

2.6 ソフトハンドオーバー

移動体通信においてハンドオーバーをスムーズに行うための技術として、ソフトハンドオーバー技術が CDMA 方式の無線通信で考案されている [7]。

ソフトハンドオーバー技術は、移動体通信において基地局切り替えの際の通話の途切れを無くすための技術である。

CDMA 方式では、複数の受信波を合成して単一受信機で受信できる。ソフトハンドオーバーではこの手法を利用してハンドオーバーを行う。

ある基地局を用いて通信を行っているユーザが基地局の切り替わる領域に移動した場合、他の基地局からの受信波も合成して受信する。すなわち、移動端末の周辺の複数の基地局から同じデータを受信する。さらに移動し、別の基地局のエリアに入り、移動元のエリアの基地局からの電波強度が弱くなると通信を終了し、移動先のエリアの基地局のみと通信を継続する(図 6)。

このように、ハンドオーバー時に複数の基地局と同時に通信を行うことによってネットワークから切り離されている時間がなくなり、ハンドオーバー時に通信の途切れを無くすことを可能にしている。

3 パケットロスを発生させない機構

前述のように、Mobile IPv6 においてハンドオーバーを行う際には、MN がネットワークに接続していない時間が存在することによって、パケットロスが生じる。本章ではこの問

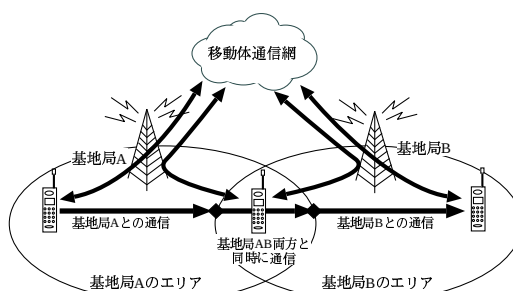


図 6: ソフトハンドオーバー

題を解決するための機構を設計する。

2.6 節で述べたソフトハンドオーバーでは、複数の基地局からの電波を合成して受信することにより、ハンドオーバー時にネットワークから切断しない機構を実現している。

Mobile IPv6 の特長としては、移動中でもコネクションが切れないことと、コネクションを維持したまま異なった通信インタフェースに切り替え可能であることが挙げられる。よって、Mobile IPv6 でも複数の通信インタフェース間でのハンドオーバーを実現できる。

しかし Mobile IPv6 では、移動検知は、2.3 節で述べたように、デフォルトルータへの非到達性を検証することによって行っている。したがって複数の通信インタフェースを用いてハンドオーバーを行うために移動先のリンクに接続を行っても、移動元のリンクから切断されるまでは移動元のリンクで利用していたデフォルトルータへの到達性が存在しており、移動登録を行うことができない。移動を検知するためには移動元のリンクを切断する必要がある。make after break 方式の移動手順になる。このため、リンクを切断して移動先のリンクで移動登録を行うまでは、ネットワークから切断されている状態が存在しパケットロスが必ず発生する。

本研究では MN がネットワークから切断されている状態を作らないようにすることを考える。そして複数インタフェースを用いて、make before break 方式を基本に、移動時に移動元と移動先と両方のリンクに接続されている共存状態を作ることによって解決する。

3.1 複数インタフェースを用いた移動登録

MN は移動先のリンクに接続し、移動先リンクでアドレス設定を行ったのち HA に BU を送信する。Mobile IPv6 では、MN は現在利用している CoA をパケットの送信元として用い、HA はそのアドレスを登録する。よって、複数のインタフェースを用いて通信を行っても、移動先のリンクで用いる CoA を登録するためには、移動先のインタフェースを用いて BU を送信しなければならない(図 7(1))。移動先のインタフェースでは、通常は 2.3 節で示したようにアドレスの自動設定が行われるが、アドレスの自動設定が完了し、実際に設定したアドレスを用いて移動先のインタフェースからパケットを送受信できるようになるまで、BU の送信を行うことができないことになる。

本研究では、BU 送信に要する時間を短縮するため、移動元のリンクに接続されたインタフェースによって移動登録を行うことを考える。[2] では、送信元アドレスとは異なるアドレスを CoA として登録するための Alternate Care-of Address(Alt-CoA) オプションを定義しており、BU に含めることが可能である。これを利用することによって、移動先のリンクで用いる CoA を、移動元のリンクを用いて移動登録することが可能である。そして新しい CoA 宛ての BA を受信することによって HA での移動登録が行われたことを知り、その後インタフェースを切り替える(図 7(2))。これによって、移動登録中のパケットロスを回避できる。

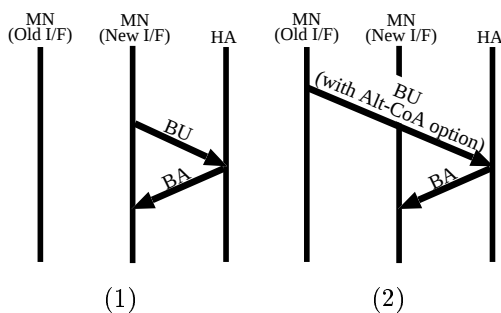


図 7: Alt-CoA オプションの利用

従って本研究で提案する機構では、ハンドオーバー時の手順を以下のように行う。

1. 片方のインタフェースを用いて移動元のリンクで通信を行う。
2. 移動を行うために、移動先のリンクに他方のインタフェースを接続する。
3. 移動先のリンクに接続したインタフェースで、新しい CoA の設定を行う。
4. 移動元のリンクに接続したインタフェースを用いて、BU を HA に送信する。この際に Alt-CoA オプションに MN の新しい CoA を含める。
5. HA は登録を行い BA を返す。
6. MN は BA を受け取った後、移動元のリンクから切断する。

3.2 複数インタフェースでの受信

複数の通信インタフェースを用いてハンドオーバーを行う場合、ハンドオーバーする通信メディア間で通信速度が異なる場合がある。これによって、2 つの問題が引き起こされる。

まず、ハンドオーバー時にパケットを受信しない時間が発生する。例えば通信速度の速いリンクから遅いリンクにハンドオーバーを行う場合、移動登録が完了しインタフェースを切り替えても、移動先のリンクの通信速度が遅いために、次のパケットが到達するまでに長い時間を要する(図 8(1))

もう 1 つの問題として、ハンドオーバー時にパケット到達順序が逆転する可能性がある。例えば通信速度の遅いリンクから速いリンクにハンドオーバーを行う場合、移動登録が完了しインタフェースを切り替えても、移動前のリンクの通信速度が遅いために、移動前の CoA 宛てにパケットが到達する(図 8(2))。

これら 2 つのうち、後者のパケット到達順序の逆転については、インタフェース切り替え後に、切り替え前のインタフェースから受信することになるので、問題になる。[2] では移動登録が完了したのち、登録した CoA 以外の宛先に届いたパケットについて MN が処理を行うかどうかの実装依存であるので、実装によってはこのようなパケットを受信す

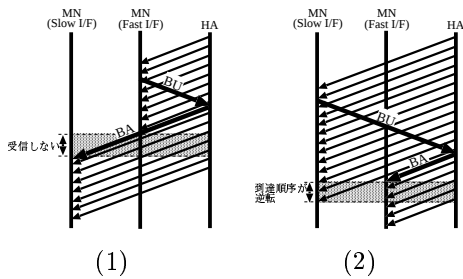


図 8: 複数インタフェースでのパケット受信

ることができない。したがって、このような場合にパケットロスが発生してしまう。

本研究では 2 インタフェースから同時に受信するモデルを設計した。具体的には、BA を受け取った後も両方の通信インタフェースを経由して HoA 宛てのパケットを受け取れるようにする。BA 受信後、移動前のインタフェースに到着するパケットを、以下で算出される時間に、余裕を持たせるために若干の時間を加えた間だけ受信し続けられれば良い。この時間の経過後に移動前のインタフェースからの受信を終了する。

$$\frac{RTT_{fast} - RTT_{slow}}{2} \quad (RTT : \text{HA へのラウンドトリップタイム})$$

これにより、通信速度の異なる通信メディア間においても、パケットロスが発生せずにハンドオーバーが可能になる。

3.3 効果・制限事項

設計する機構の効果と制限事項を示す。まず、以下のような効果が挙げられる。

- 追加実装が局所的で、実現が容易である Mobile IPv6 の機構のうち、MN と HA に機能を追加実装するだけで実現でき、2.4 節で述べた機構のように、接続先のリンクにその他の装置を追加したり、機能を変更したりするような、Mobile IPv6 の機構で提供される装置以外を変更する必要がない。
- 異なった通信メディア間でのハンドオーバーが実現できる
通信メディアの変化を、レイヤ 3 で吸収することができるため、異なった通信メ

ディア間でもパケットロスのないハンドオーバーが実現できる。

- 通信メディア接続に特別な手順を必要とする場合でもパケットロスを生じない
ハンドオーバーの処理が、移動先のメディアに接続して新しい CoA を設定することによって開始される。従って、802.1x 認証のような移動先の通信メディアに接続するための特別な手順が存在しても、接続が完了してからハンドオーバーが行われるので、パケットロスを生じない。

さらに、本機構には以下のような制限事項が存在する。

- CN への経路最適化ができない
[2] では、正しい MN からの登録であることを、HA では IPsec を使うことによって、CN では事前にテスト用のパケットを MN と送受信することによって確認する。CN の行うテストは、Return Routability を確認するものであり、MN から受け取ったテスト用のパケットの送信元アドレスを、新しい CoA として登録することを想定して行われる。従って、移動前のインタフェースを用いて移動後の CoA を登録することができない。CN に移動登録を行うことができず経路最適化が行うことができないため、全ての通信は HA を経由する。
- 上位レイヤと連携を行うと効果的である
3.2 節で述べたように、本機構ではパケットロスが発生しないが、局所的に分析すると、パケットが遅れて届いたり、パケットが逆転して届いたりする可能性がある。そのような場合に IP よりも上位のレイヤと連携して再送が発生させないようにすると、効果的に利用できる。

Mobile IPv6 の高速ハンドオーバー (a)、およびソフトハンドオーバー (b) と、提案する機構 (c) を、ハンドオーバーを行うレイヤ (1)、ハンドオーバー時に接続しているリンクの数 (2)、およびハンドオーバーに用いるメディアの種類 (3) の観点から比較する (表 1)。

表 1: ハンドオーバー機構の比較

	(1) レイヤ	(2) リンク数	(3) 種類
(a)	3	1	単一メディア
(b)	2	2	単一メディア
(c)	3	2	複数の異種メディア

4 実装・評価

4.1 実装

Mobile IPv6 ハンドオーバー時にパケットロスを発生させないため機構は、通常の Mobile IPv6 実装に対して MN と HA の動作を変更することによって実現する。本研究ではまず、インターネットドラフト [3] に対応した HA と MN の実装を行い、次にパケットロスを起こさないハンドオーバーのための機構について追加実装を行った。なお OS は、FreeBSD 4.6.2 Release を用いた。

4.2 評価

提案する機構がハンドオーバー時にパケットロスを発生させないことを確認するために評価実験を行った。

実験構成を図 9 に示す。ルータ、HA、MN の OS には FreeBSD 4.6.2R を用い、ネットワークは 100 BASE-TX の LAN を用いたルータ。HA、MN の CPU はそれぞれ Pentium4 2GHz、PentiumII 400 MHz、PentiumIII 800MHz である。

MN から HA にパケットを送信しながら無線リンクと有線リンクの間のハンドオーバーを行い、パケットロスを調べた。パケット長 49 byte のパケットを、1 秒間あたりに 100 回送信しながら、無線リンクから有線リンクへ、およびその逆へ、それぞれ 100 回ずつハンドオーバーを行った結果、パケットロスは全く観測されなかった。

5 まとめ

本研究では、Mobile IPv6 のハンドオーバーにおけるパケットロスの発生メカニズムを分析し、パケットロスを発生しない機構を設計実装し、その評価を行った。複数のネッ

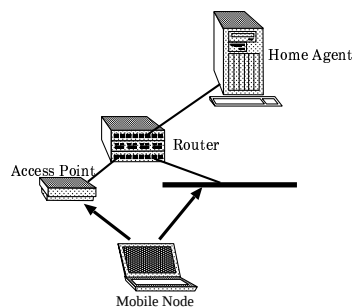


図 9: 実験構成

トワークインタフェースを用いて、移動前と移動後のリンクに同時に接続を行い、移動中にネットワークから切断された時間を作らないことによって実現した。さらに本機構は複数のネットワークインタフェース間でハンドオーバーを行うため、異種通信メディア間でもパケットロスを発生させないハンドオーバーを実現できる。

参考文献

- [1] C. Perkins, “IP Mobility Support for IPv4”, RFC 3344, August 2002.
- [2] D. Johnson, C. Perkins and J. Arkko, “Mobility Support in IPv6”, “draft-ietf-mobileip-ipv6-22.txt”, Work In Progress, May, 2003.
- [3] D. Johnson, C. Perkins and J. Arkko, “Mobility Support in IPv6”, “draft-ietf-mobileip-ipv6-18.txt”, July, 2002 (Expired).
- [4] R. Koodli, “Fast Handovers for Mobile IPv6”, “draft-ietf-mobileip-fast-mipv6-06.txt”, Work In Progress, March, 2003.
- [5] T. Narten, E. Nordmark and W. Simpson, “Neighbor Discovery for IP Version 6 (IPv6)”, RFC 2461, December 1998.
- [6] S. Thomson and T. Narten, “IPv6 Stateless Address Autoconfiguration”, RFC 2462, December 1998.
- [7] William C.Y.Lee, “Overview of Cellular CDMA”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol.40, no.2, pp.291-302, May 1991