

次世代移動通信網における MobileIP 変換技術

尾上裕子 渥美幸雄 徳田英幸

NTT 移動通信網 (株) マルチメディア研究所 慶應義塾大学 環境情報学部

本稿では、IP のバージョンの異なるネットワークが複数存在する次世代通信網においてグローバルモビリティを達成するために、MobileIPv4-v6 トランスレータを提案する。特に、MobileIPv4/MobileIPv6 自体のバインディングキャッシュ機能に着目し、アドレス変換情報問い合わせ・応答機能による通信経路のショートカットで、変換処理のオーバーヘッドを削減した。

1 はじめに

近年、インターネットの急速な規模拡大と計算機の小型化、低価格化により、1 ユーザが複数台の端末を持ち歩き、要求に応じていつでもどこでもインターネットサービスを利用するシーンが増えてきた。そのため、携帯通信分野においても、インターネット接続性が不可欠となり、従来の音声通信からビデオ画像通信、さらにメールや Web ブラウジングなどのデータパケット通信へとモバイルアプリケーションサービスが多様化している。特に、次世代移動通信網においては、固定網と移動網、または移動網と別の移動網との相互接続性と IP レベルでのグローバルモビリティのサポート、さらにその上でのシームレスなサービス提供が重要な課題となる [1][3]。このとき、各網の特徴・ポリシー・付加サービスを生かしたまま、到達可能性を維持できることが望まれる。

一方 IETF(Internet Engineering Task Force) では、IP アドレス枯渇を解決するためにアドレス空間を 32 ビットから 128 ビットに拡張した次世代 IP (IPv6[2]) が提案さ

れ、QoS 制御・リアルタイム制御やマルチキャスト制御 [5]、モビリティ [6] やセキュリティ確保等について、仕様の検討と開発が活発に行われている。

この IPv6 は、学術研究機関を中心に deploy 活動が進められつつも、多くのサービスプロバイダは既存の IPv4 サービスを提供している。そこで、本稿ではこれらの IPv4/IPv6 ネットワークが混在する次世代通信網における相互接続性やグローバルモビリティを提供するために、モバイル端末が IPv4/IPv6 ネットワーク間を移動中または IPv4/IPv6 ネットワークを跨ってコネクションを確立可能とするための、モバイル用 IP トランスレータを提案する (図 1)。

2 相互接続形態と技術課題

2.1 相互接続形態

本稿では、IPv4/IPv6 の選択を各管理ドメインの判断に任せたままで、ドメイン間の相互接続性を向上させ、それによりグローバルモビリティを達成することを目標とする。このとき、異なるバージョン間の任意のノード間で通信コネクションを確立できること、さらにバージョンの異なるネットワーク間を移動中もコネクションが継続されることが必要である。

レイヤ 3 でのグローバルモビリティ管理のために、インターネットバックボーンでは MobileIP の適用が提案されている。この MobileIP においては、ホームネットワークから訪問先ネットワークへ受信ノードが移動し、送信ノードから転送されたパケットは移動先の受信ノードへ届けられるという方式をとる。この送信ノード (CN) のネットワーク、受信ノードのホームネットワーク (HN)、

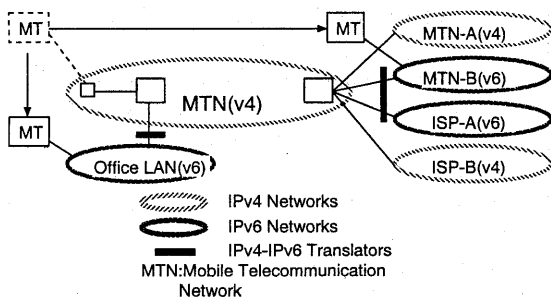


図 1: 次世代移動通信網における相互接続例

訪問先ネットワーク (FN) の3つのネットワークで IP のバージョン番号が異なる相互接続形態として、図 2 の 8 ケースがある。

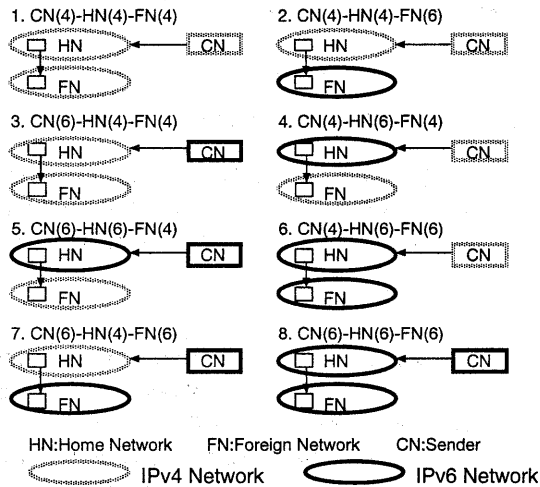


図 2: MobileIP における IPv4/IPv6 の相互接続形態

2.2 MobileIPv4/MobileIPv6 間の相違点

表 1: MobileIPv4/MobileIPv6 比較

機能	MobileIPv4	MobileIPv6	機能主体
アドレス設定	DHCP によるステートフル自動設定	DHCPv6 によるステートフル自動設定/ステートレス自動設定	H
移動検知	ICMP Router Discovery、Prefix Matching	NDP の Router Discovery と Neighbor Unreachability Detection	H
動的 HA 発見	Directed broadcast	IPv6 エニイキャスト	G-1
トンネル管理	ICMP 制限により管理が必要	ソフトステートトンネル管理	G-2
Firewall 越え	ソースはホームアドレス、Ingress Filtering	ソースは CoA, ホームアドレスオプションを追加。	G-2
経路最適化	拡張プロトコルとして別途定義	CN で Binding Cache、IPv6 Routing Header、IPv6 Destination Header	G-2、G-3
リナンバリング	特になし	マルチキャスト RA をトンネリング	G-4
マルチホーム	特になし	プライマリ CoA を決定	H
HA パケット受信	proxyARP	Override フラグ付き Proxy Neighbor Adv	S
階層的移動管理	Regional FA	IPv6 Aggregated Address Scheme	-

現在、IETF で検討されている

MobileIPv4/MobileIPv6 [7] の比較を表 1 に示す。主に、IPv4/IPv6 の違いによる事項 (表 1、上段) と、MobileIPv4/MobileIPv6 自体の機能の違い (下段) による事項がある。IPv4/IPv6 の違いによる事項は、既存の IPv4-IPv6 移行技術としての、IPv4-v6 トランスレータ [4] により問題解決がなされており、利用できる。しかし、MobileIPv4/MobileIPv6 自体の機能の違いによる事項については、既存の IPv4-v6 トランスレータで解かれていず、新たに MobileIPv4-v6 トランスレータの機能として、追加していく必要がある。表 1 の機能主体欄の H は IPv4/IPv6 両方の機能を持つデュアルホスト、S はエージェントサーバ (ホームエージェント、訪問先エージェント)、G はゲートウェイの変換処理で違いを吸収すべき事項を示す。

2.3 ゲートウェイ (トランスレータ) の課題

MobileIPv4、MobileIPv6 の仕様を変更すること無くネットワーク相互接続できることを前提条件とし、表 1 に示される機能のうちゲートウェイの変換技術について、以下の技術課題がある。

- G-1. 動的ホームエージェント検知のためのエニイキャストのアドレス変換機能
- G-2. ホームエージェントへの登録要求、パケット転送トンネリング、三角ルーチングにおけるバージョン番号変換、経路制御用ヘッダ変換
- G-3. 経路最適化のためのキャッシュ配置方法とトランスレータ割り当てアドレス有効期限
- G-4. リナンバリングによるホームエージェントのアドレス変更時の対応

この他に、バージョン番号の異なるホームエージェントと訪問先エージェント間の認証方式がある。

3 MobileIPv4-v6 トランスレータ

上述の技術課題のうち、特に MobileIP の基本機能に関わる G1 と G2 についての対処法を提案する。

トランスレータに必要な機能を以下に示す。

- (1) 動的ホームエージェント探索機能 (G1)
 - IPv6 サブネットエニイキャストと IPv4 サブネットブロードキャストの変換
- (2) アドレス変換機能 (G2)
 - IPv4/IPv6 ホストへの IPv6/IPv4 アドレス新規割り当

て、変換

- IPv4 アドレスから IPv6 アドレスへの変換と逆変換

(3) 一時的な IPv4mappedIPv6 アドレスの動的割り当て機能 (G2)

(4) 訪問先エージェント代理機能 (G2)

(5) バインディングキャッシュのためのアドレス変換情報交換・変更機能 (G2)

上述の各機能の実現方式と動作例を次に述べる。

3.1 動的ホームエージェント探索機能

動的に HA を探索する機能においては、MobileIPv4 が directed broadcast を指定するのに対し、MobileIPv6 は IPv6 で新しく定義された HA 用エニキャストアドレスを指定する。そこで、ホームネットワーク (6) から訪問先ネットワーク (4) へ移動すると、宛先にホームエージェントの IPv4 サブネットブロードキャストを指定した登録要求が訪問先エージェント (4) から送信される。トランスレータでは、あらかじめホームアドレス (6) のアドレス変換情報 (4) を保持し、それに元づいて v6 サブネットエニキャストアドレスを生成し、登録要求パケットの宛先アドレスに指定する (図 3)。エニキャストのルーティング制御ルールにより、ホームエージェント (6) でこれを受信する。

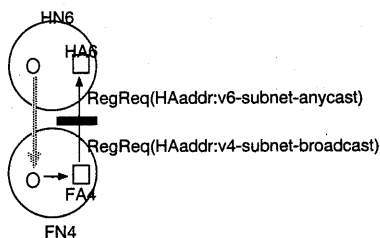


図 3: 動的ホームエージェント探索機能

3.2 アドレス変換機能

2a. IPv4/IPv6 ホストへの IPv6/IPv4 アドレス新規割り当て、変換

通常の IPv6-v4 トランスレータとして SIIT[4] のヘッダ変換方式を MobileIP にそのまま利用した場合について述べる。受信ノードは、ホームネットワーク (IPv4) から、訪問先ネットワーク (IPv6) へ移動する。訪問先ネットワークで訪問先アドレス (CoA6) が割り当てられ、訪問先エージェント (6) からホームエージェント (4) に対

して登録要求が送信されると、ホームネットワークと訪問先ネットワーク間のゲートウェイに位置するトランスレータで、CoA6 に対する CoA4 を割り当て、アドレス変換情報として保持するとともに、登録要求を CoA4 に変換して送信し、ホームエージェント (4) で CoA4 を保持する。ホームエージェントは受信ノードへのパケットを受信すると、CoA4 宛にパケットを転送するとトランスレータが受信し、アドレス変換情報テーブルから CoA6 を得てパケットを変換し、CoA6 の訪問先ネットワークに送信する。訪問先エージェント (6) でこれを受信し、受信ノードへ転送する。

2b. IPv4 アドレスから IPv6 アドレスへのマッピングと逆変換

IPv4 から IPv6 への移動に限った場合には、訪問先ネットワーク (6) ではホームアドレス (4) を IPv4mappedIPv6 アドレスに変換することができる。訪問先エージェント (6) からホームアドレス (IPv4mappedIPv6) を指定した登録要求を送信すると、トランスレータでは mapped アドレスであることを認識し、元のホームアドレス (4) に戻してホームエージェント (4) に転送される (図 4)。

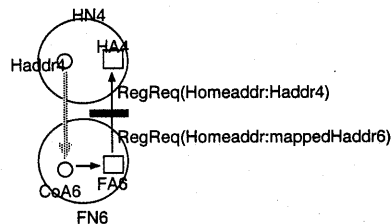


図 4: IPv4/IPv6 アドレスのマッピング

3.3 一時的な IPv4mappedIPv6 アドレスの動的割り当て機能

ホームネットワーク (4) から訪問先ネットワーク (6) へ移動した場合、DHCPv6 で新規に割り当てられるアドレスの他に、トランスレータから IPv4mappedIPv6 アドレスの割り当てを受け、それを訪問先アドレス CoA6 として登録要求を送信する。トランスレータでは、IPv4 アドレスからマップされた訪問先アドレス (6) を IPv4 アドレス CoA4 に変換し、登録要求をホームネットワーク (4) に転送する (図 5)。

3.4 訪問先エージェント代理機能

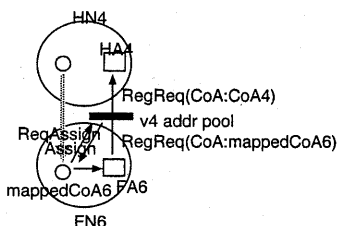


図5: 一時的なマップアドレスの動的割り当て機能

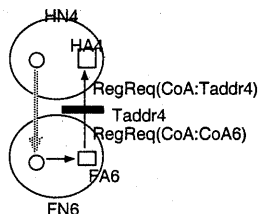


図6: 訪問先エージェント代理機能

トランスレータが訪問先エージェントの代理機能を担い、訪問先アドレス CoA をトランスレータのアドレスに変換して登録要求を行う。ホームネットワーク (4) から訪問先ネットワーク (6) へ移動した場合、訪問先アドレスとして CoA6 を指定した登録要求は、トランスレータでトランスレータ自身のアドレス Taddr4 に変換されてホームエージェント (4) へ到達する (図6)。

3.5 バインディングキャッシュのためのアドレス変換情報交換・変更機能

3.5.1 既存機能

MobileIPv6 の新しい機能として、受信ノードから送信ノードに移動先アドレスを通知し、送信ノードでホームアドレスとの組をキャッシュとして保持するバインディングキャッシュ機能がある (図7)。ホームネットワーク (4) から移動先ネットワーク (6) へ移動し移動先アドレスとして CoA6 が割り当てられると、バインド要求パケットが転送される。トランスレータ Trans2 では、あらかじめ登録要求処理で保持したアドレス変換情報 (CoA4, CoA6) に基づき CoA4 に変換され、送信ノードの IPv4 アドレスに宛てて転送される。さらに、ホームネットワーク (4) と送信ノードのネットワーク (6) の間に位置するトランスレータ Trans1 は、あらかじめ最初の転送パケット処理で保持した送信ノードのアドレス変換情報を保持しているため、このキャッシュ要求パケットを受信し、CoA4

を新規に CoA6' に変換し、(CoA4, CoA6') のアドレス変換情報を保持する。Trans1 は、CoA4 から CoA6' の変換を行い、キャッシュ登録要求を送信し、送信ノード (IPv6) でこれを受信する。送信ノードは、このバインドキャッシュ情報を保持し、以後 CoA6' 宛てにパケットを転送する。

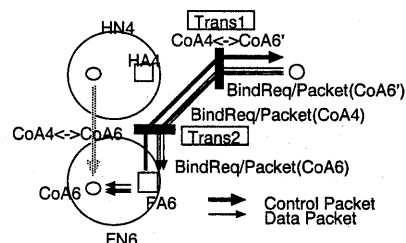


図7: 既存のバインディングキャッシュ機能

3.5.2 既存機能の問題点

ここで、バインドキャッシュ機能により送信ノードから直接受信ノードにパケットが転送される場合にも、送信されたパケットは送信ノードのネットワークと受信ノードのホームネットワークの間の Trans1 で一度変換され、さらに受信ノードのホームネットワークと訪問先ネットワークの間の Trans2 でさらにもう一度変換される。そのため、バージョン変換処理と通信のオーバーヘッドが大きくなる。

3.5.3 考案機能

そこで、2つのトランスレータ間でアドレス変換情報を交換し、一貫性を確保する。その上で、MobileIPv6 のバインドキャッシュ要求のアドレス変換を行うことにより、送信ノードのネットワークと受信ノードの訪問先ネットワークのバージョン番号が同じでホームネットワークのそれが異なる場合、送信ノードに受信ノードの実の IP アドレスが通知される事になり、トランスレータのショートカットが行われ、その後は変換処理を通さず直接受信ノードにパケットが転送される (図8)。

トランスレータにおいて、前章のアドレス変換情報交換機能により得られた変換情報に基づき、保持する変換情報を変更する機能が必要となる。

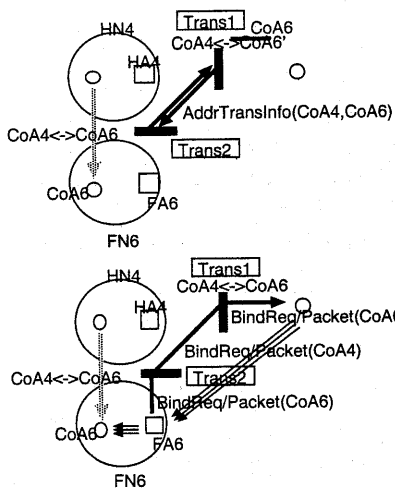


図8: アドレス変換情報問い合わせ、応答機能

3.5.4 実現方式案

特に今回着目するアドレス変換情報交換機能を実現する方式には、以下の3つの案がある。Haddr4, Haddr6, Haddr6' は移動ノードのホームアドレス、CoA4, CoA6 は移動先アドレスを示す(図9)。

(1) Method1

Trans1 で登録要求処理の時点であらかじめ (Haddr4, Haddr6)、Trans2 で最初の転送パケット処理の時点で (Haddr4, Haddr6') のアドレス変換情報を保持する。

1. 移動先ネットワーク (6) から送信ノードに対して、Haddr6' は CoA6 へ移動したことを通知するキャッシュ要求パケットを送信する。
2. Trans2 から Trans1 へ、宛先アドレスを Haddr4 に指定し、Haddr6' に対するアドレス変換情報問い合わせパケットを送信する。
3. Trans1 から Trans2 へ、Haddr6 を応答する。
4. Trans1 から送信ノードへ、Haddr6 は CoA6 へ移動したことを通知するキャッシュ要求パケットを送信する。
5. 送信ノードは、Haddr6 宛てのパケットを CoA6 へ直接転送する。

(2) Method2

- 4a. Trans2 から送信ノードへ、Haddr6 は Haddr6' に変更されたことを通知するホームアドレス変更パケットを送信する。
- 4b. Trans2 から送信ノードへ、Haddr6' は CoA6 へ移動したことを通知するキャッシュ要求パケットを送信する。

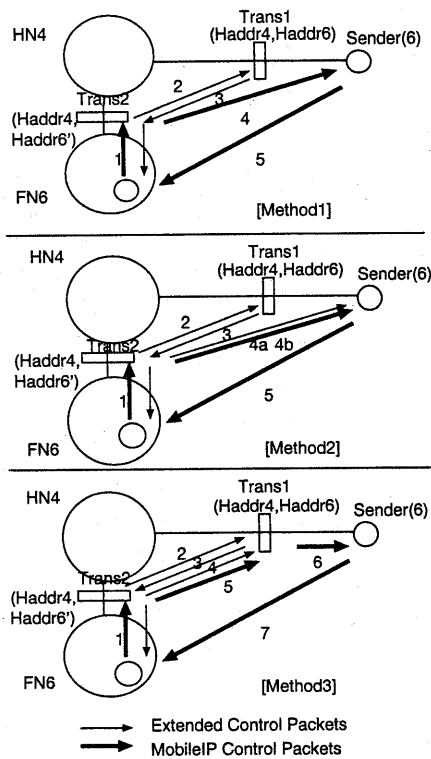


図9: アドレス変換情報問い合わせ、応答機能における3方式

5. 送信ノードは、Haddr6' 宛てのパケットを CoA6 へ直接転送する。

(3) Method3

4. Trans2 から Trans1 へ、移動先アドレスのアドレス変換情報 (CoA4, CoA6) を通知するアドレス変換情報通知パケットを送信する。
5. Trans2 から Trans1 へ、Haddr4 は CoA4 へ移動したことを通知するキャッシュ要求パケットを送信する。
6. Trans1 は、Haddr4 を Haddr6 へ、CoA4 を CoA6 へ変換し、Haddr6 は CoA6 へ移動したことを通知するキャッシュ要求パケットを送信ノードへ送信する。
7. 送信ノードは、Haddr6 宛てのパケットを CoA6 へ直接転送する。

3.5.5 考察

3方式の定性的評価結果を表2に示す。表中MNは移動ノードを示す。送信ノードアドレス、受信ノードのホ-

表 2: 各方式の定性的評価

評価項目	Method1	Method2	Method3
制御パケットの変換処理	2 回目以降は変換処理 1 回		2 回目以降 2 回
制御用パケット数	3	4	4
既存の MobileIP 実装変更程度	小 (MN)	大 (MN, CN)	小 (MN)
変換対象	ホームアドレス、送信ノードのみ一貫性確保		左記に加えて訪問先アドレス
ネットワーク構成 IPv4/IPv6 混成度 (多段時)	一貫性処理	一貫性処理と変更処理	一貫性処理と変換通知処理
総合評価	○	△	△

ムアドレス、訪問先アドレスのアドレス変換情報一貫性を確保するため、Method1, 2 ではトランスレータ間でアドレス変換情報を交換することで一貫性を保とうとするのに対し、Method3 では実際に MobileIP のバインディングキャッシュ要求を変換しながら一貫性を取ろうとする。このため、定期的に発行されるバインディングキャッシュ要求は、Method1, 2 では 2 回目以降は Trans2 のみの変換になる一方、Method3 では 2 回目以降も Trans1, 2 で変換しなくてはならない。ネットワーク構成が IPv4/IPv6 が複雑に混在している場合には、Method1 はホームアドレスのアドレス変換情報をトランスレータ間で一貫性処理を行い移動を通知、Method2 では一貫性処理によりホームアドレスの変更処理を行い、さらに移動を通知、Method3 では一貫性処理の後移動先アドレスの変換情報通知処理をしてから移動を通知する。これに加えて、制御パケット数、既存実装の変更程度、変換対象数などの比較結果から、方式 1 が良い。今後は定量的評価を行っていく。

4 設計

次に、本方式を採用入れた MobileIPv4-v6 トランスレータの機能ブロック図 (図 10) と処理内容 (表 3) を示す。

5 おわりに

本稿では、異なるバージョンの IP ネットワークが混在する次世代移動通信網において、IP レベルでのグローバルローミングを達成するための MobileIPv4-v6 トランスレータの提案を行った。特に既存のバインディングキャッシュ機能にアドレス情報交換機能を追加することで、通信経路のショートカットを行い、変換処理のオーバーヘッドを削減した。現在、本提案方式について定量評価をするため、実装評価を進めている。

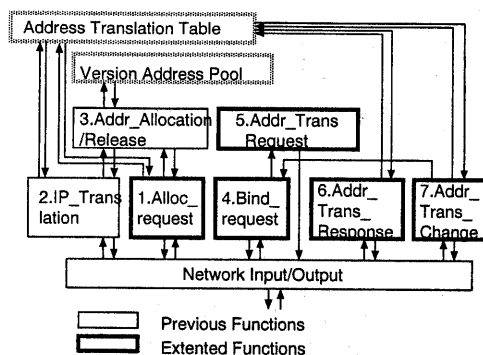


図 10: MobileIPv4-v6 トランスレータの機能ブロック

表 3: MobileIPv4-v6 トランスレータ処理機能

ブロック名	処理内容
1. アドレス割り当て要求処理	アドレス割り当て要求に対し、アドレス変換情報を返答する。マップアドレスへの要求は、空き IPv4 アドレスとマップしたアドレスを返し、アドレス変換テーブルに登録する。
2.IP 変換処理	割り当てたアドレス宛てのパケットの変換を行う。
3. アドレス割り当て・解放処理	バージョン毎のアドレスプールを検索し、空きアドレスの割当てと解放を行う。
4. バインドキャッシュ要求処理	自ノードで変換した送信ノードアドレス宛ての MobileIP のバインドキャッシュ要求パケットを受信し、アドレス変換情報の変更処理が終了したら、パケットの変換を行い転送する。
5. アドレス変換情報要求処理	変換情報を得ようとするアドレスを宛先アドレスに指定し、アドレス変換情報要求パケットを転送する。
6. アドレス変換情報応答処理	自ノードが割り当てたアドレスに関するアドレス変換情報をアドレス変換テーブルから得て応答する。
7. アドレス変換情報変更処理	アドレス変換情報を得ると、アドレス変換テーブルを変更し、バインドキャッシュ要求処理に変更結果を通知する。

参考文献

- [1] Hossam Afifi, Jim Bound, and Scott Cadzow. Support of IPv6 over Cellular Communications Systems (6Tel), 1999. draft-afifi-sixtel-00.txt.
- [2] S. Deering and R. Hinden. Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification, 1995. RFC1883.
- [3] Eva Gustafsson, Annika Honsson, Elisabeth Hubbard, Jonas Malmkvist, and Anders Roos. Requirements on Mobile IP from a Cellular Perspective, 1999. draft-ietf-mobileip-cellular-requirements-00.txt.
- [4] Erik Nordmark. Stateless IP/ICMP Translator (SIIT), 1999. draft-ietf-ngtrans-siit-06.txt.
- [5] Yuko Onoe and Hideyuki Tokuda. QoS-based Multicast Communications. *Computer Communication Journals*, August 1998.
- [6] Charles E. Perkins. *Mobile IP Design Principles and Practices*. Addison Wesley, 1995.
- [7] Charles E. Perkins and David B. Johnson. Mobility Support in IPv6, 1996.