

(3) IP² モビリティ マネジメント技術

IP²におけるモビリティマネジメントでは、ネットワークパフォーマンスの向上とネットワーク伝送品質の向上をねらいとする。ネットワークパフォーマンスについては、移動特性の利用、最適経路の選択、ネットワークリソースの効率利用などの面から、ネットワーク伝送品質については、ロスレス、低遅延のトランスポート実現の面からアプローチする。さらに、現在研究中の要素技術についても具体的に紹介する。

やぶさき	まさみ	ひらた	しょういち
藪崎	正実	平田	昇一
いはら	たけし	かわがみ	ひろし
井原	武	川上	博

1. まえがき

第3世代移動通信（IMT-2000：International Mobile Telecommunications-2000）の次のフェーズである“Beyond IMT-2000”においては、ほとんどのトラフィックがIP（Internet Protocol）ベースとなることが予想され、IPトラフィックを効率的に転送するネットワークが要求される。ネットワーク研究所では、このような要求を満たすネット

ワークアーキテクチャとして、IP²（IP based IMT network Platform）を提唱している[1]。

本稿では、IP²を実現するために必要となるモビリティマネジメント技術についてのねらいと、さらにこれらを実現する要素技術について述べる。

2. IP²におけるモビリティ マネジメント技術のねらい

ユーザに対して高度なサービスを高品質かつ安価に提供するため、IP²のモビリティマネジメント技術では、ネットワーク自身の冗長性や無駄を減らすことによるパフォーマンスの向上、および伝送品質の向上を主なねらいとする。ネットワークパフォーマンスの向上は、移動特性の利用、最適経路の選択、ネットワークリソースの効率利用などの面から、ネットワーク伝送品質の向上は、ロスレス、低遅延のトランスポート実現の面からアプローチする。以下、これらについて具体的に述べる。

2.1 ネットワークパフォーマンスの向上

移動特性利用

従来の移動通信システムにおいては、移動端末のロケ

ーション制御においても、ハンドオーバー制御においても、すべての移動端末に対して画一的な制御方式を適用してきた。今後の移動通信サービスは、ユビキタスに表現されるように人間や乗り物のみならず、ペットや郵便物などあらゆるものが移動通信サービスのユーザとなりうるため、移動端末数が爆発的に増加することが予想される。これらの移動端末に従来の画一的な制御方式を適用することは以下に述べるように非効率的であり、多種多様な移動端末それぞれに対して適応するモビリティ制御を行うことが要求される。

ロケーション制御を例に移動特性の利用イメージを以下に述べる。ロケーション制御は、通信中状態にない移動端末に対して行われる制御であり、位置登録、ページング技術により構成される。従来の移動通信システムにおけるロケーション制御においては、すべての移動端末に対して位置登録エリアのサイズや形状が固定であることにより、ネットワーク制御が簡易化できる反面、移動特性と着信頻度の関係によっては、位置登録トラヒックやページングトラヒックの増大を招くなど、移動端末側処理やネットワーク制御処理に負担をかけ、サービスのパフォーマンスを落とす結果となっていた。

IP²においては、移動端末個々の移動特性、通信特性に応じたモビリティ制御を提供することを目指す。さらに、移動端末個々の移動特性を管理することにより、新たなロケーション情報を利用した新サービスの創造も期待できる。

経路最適化

IMT・2000パケットネットワークにおけるアンカーポイント（ハンドオーバーすなわち経路の切替を実行するポイント）を固定するハンドオーバー制御方式では、パケットロスを避けることができる半面、移動端末が移動し、アンカーポイントから離れるに従い、いわゆるトロンボーンパスと呼ばれる冗長経路が発生し、最短経路が提供できなくなる。これにより、伝送遅延の発生やネットワークリソースの非効率な使用などの問題が生じる。

IP²においては、移動端末がハンドオーバーを繰り返しても最適な経路が継続して提供できるようなルーティング制御を実現することを目指す。

ネットワークリソースの共用

カーナビゲーションシステムへの渋滞情報の配信、移動端末のソフトウェアバージョンアップのためのダウンロード、公共交通機関の遅延情報の利用者への通知など、特定多数の移動端末への情報配信は今後の移動通信サービスにおいて最も重要な要素の1つである。これま

での移動通信網での配信サービスはすべてポイント・ツー・ポイントのコネクションを受信者の数だけ設定することで実現しており、例えば1万人に情報を配信したい場合、配信サーバは受信者に対し1万のコネクションを設定する必要があった。IP技術では、このようなネットワークリソース使用の無駄を抑制するためにマルチキャスト技術が検討されてきた。IPマルチキャストは特別なアドレスを利用して、中継ルータが必要な方路にだけデータをコピーして配信する技術である。IP²では、IPマルチキャスト技術を利用してネットワークリソースを効果的に利用しつつ、配信サービスを実現する方法を検討している。移動通信網では、配信情報の送信者、受信者ともに移動する可能性があり、また移動によりパケットの損失や重複が頻繁に起こるといった特徴を持つ。移動通信では、これらの条件を考慮して、ネットワーク利用率を最適にするマルチキャストサービスを実現することが重要な課題である。

2.2 ネットワーク上での伝送の高品質化

ネットワーク上での伝送ロス、伝送遅延を極力抑えることにより、VoIP（Voice over IP）やストリーミングサービスなどのリアルタイム性が要求されるサービスに対して影響を与えないような品質をネットワークで確保することを目指す。

3. モビリティマネジメント要素技術

3.1 移動特性利用技術

アダプティブロケーション制御

従来の移動通信システムでは、位置登録とページングの両者を組み合わせることでトータルの制御負荷が最小化できるという考えから、両者が用いられてきた。一般に、位置登録とページングの制御信号数はトレードオフの関係にあり、移動端末の移動速度や移動方向のような移動特性やページング頻度により、位置登録とページングのトータルの制御信号数が最小となる最適なサイズの位置登録エリアが存在する。しかし、すべての端末が同一の特性を持つわけではない。つまり、移動速度については歩行者と電車や自動車などの輸送機関では明らかに異なるし、自動販売機や家電のようにほとんど移動しないものも存在する。移動範囲についても輸送機関の移動範囲は限定され（例えば自動車では道路であり、電車では線路である）、さらに移動方向についても高速道路や線路では決まった方向に限定される。このような状況において、すべての移動端末に対して画一的な位置登録エリ

アを設定すると、移動端末によっては最適でない位置登録エリアとなっていることがある。

アダプティブロケーション制御は、移動端末ごとの移動特性、ページング頻度に適応したサイズ、形状の位置登録エリアを割り当てる技術である(図1)。例えば、歩行者のように低速で移動するケースについてはサイズの小さい位置登録エリアを割り当てることにより無駄なページングを削減することができる。また、新幹線のような高速で移動するケースに対しては、サイズが大きく、線路に沿った形状の位置登録エリアを割り当てることにより、位置登録回数を削減するとともに、ページング範囲を絞ることができる。さらに、自宅に帰宅して夜間ずっと滞在するケースのように、移動特性が変化した場合に位置登録エリアの再割当てを行うことも考慮する必要がある。なお、図1では、割り当てられる位置登録エリアの違いを色づけにより表現している。

具体的な制御方法としては、移動端末が位置登録エリアをまたがって移動したことを検出した場合、もしくは一定時間同一位置登録エリアに滞在したことを検出した場合などに、移動端末から移動速度、移動方向、ページング頻度などの情報を含んだ位置登録信号をネットワークに送信し、ネットワークでは、受信した情報を基に最適な位置登録エリアのサイズ、形状を算出し、移動端末に通知する。ネットワークは、割り当てられた位置登録エリアに従って報知やページングを行い、移動端末は割り当てられた位置登録エリアに応じて位置登録を実施する。

なお、移動端末が移動速度を検出する方法としては、移動端末内に全地球測位システム(GPS: Global Positioning System)機能を持たせる方法や、基地局が報知する基地局自身の座標情報を用いる方法などが考えられる。

連鎖型ロケーション制御

連鎖型ロケーション制御とは、多くの移動端末が群をなして移動する場合、群を構成する個々の移動端末が群を代表する移動端末との連鎖関係をあらかじめネットワークに登録しておき、ネットワークへの在圏位置情報の更新は群を代表する移動端末のみが実行する手法である。これにより、移動端末が個別に位置登録を実行する場合と比較して、位置登録信号数を削減することが可能となる。

この連鎖は2段にとどまるものではない。将来のユビキタス環境においては、ユーザは携帯電話のみならず、移動通信機能を有するPC、携帯情報端末(PDA: Personal Digital Assistant)などの複数のウェアラブルデ

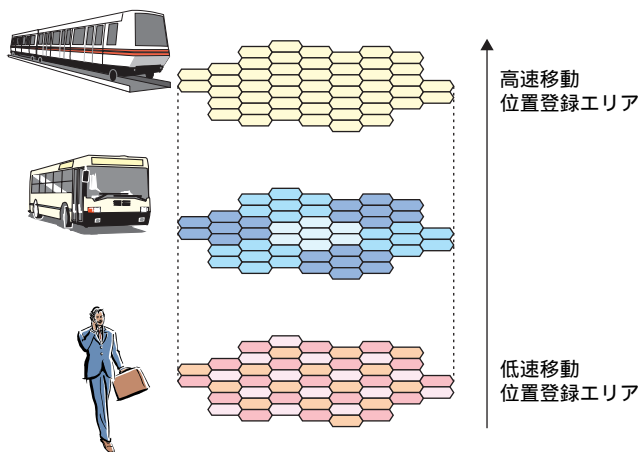


図1 アダプティブロケーション制御

バイスを持ち歩くといういわゆるPAN(Personal Area Network)を構成することが想定される。そのユーザがバスで移動する場合を例に挙げる(図2)。まず、ユーザがデバイスを所持した時点でユーザの携帯電話(この例では、携帯電話がユーザという群を代表する移動端末とする)に対する最初の連鎖が形成され、その連鎖により携帯電話の位置情報を用いてデバイスの位置情報をまとめて管理することができる。さらにそのユーザがバスに乗り込んだとき、次の連鎖が形成され、同様にバスの位置情報を用いて携帯電話の位置情報を管理することができる。その結果としてデバイスの位置情報がバスの位置情報を用いて管理することができることになる。また、他の例としては、荷物をコンテナに積み込み、さらにそのコンテナをトラックで輸送するケースも挙げられる(図2)。位置情報管理の考え方は上記の例と同様である。

以上のような多段連鎖が、現実社会においてどのようなケースで有効か、どのようにして連鎖関係を確立、解

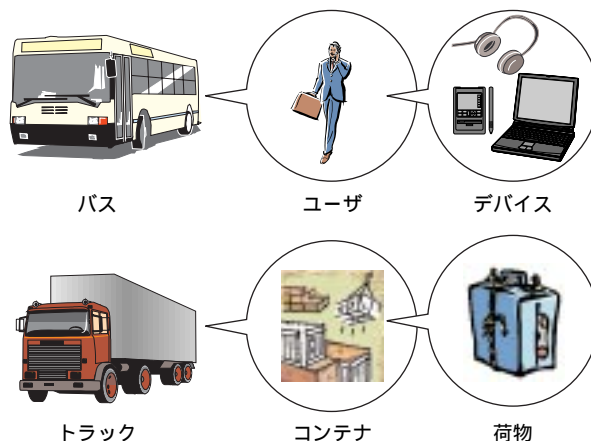


図2 連鎖型ロケーション制御の利用形態

放するか、などが今後の課題になる。また、連鎖関係を利用することで連鎖状態で通信中の端末に対するハンドオーバー制御の効率化を図る方法も重要な課題である。

なお、上記で述べたアダプティブロケーション制御、連鎖型ロケーション制御は第2世代および第3世代システムに対しても適用可能と考えており、さらなる機能向上を目指している。

3.2 経路最適化技術

アンカーリロケーションハンドオーバー制御

2.1 で述べたようなハンドオーバー時における冗長経路の発生を防止するためには、アンカーポイントを固定せず、移動端末の移動に応じてアンカーポイントを適切な位置にリロケーション（移動）することが有効である。

アンカーポイントをリロケーションするハンドオーバーの既存手法である階層型 Mobile IP [2] では、アンカーポイントのリロケーション処理をハンドオーバー実行中に行うため、ハンドオーバー処理に必要な時間が増大するとともに、パケットロスが発生するという問題点があった。IP² では、アンカーポイントのリロケーション処理をハンドオーバー開始前からあらかじめ行っておくことにより、ハンドオーバー開始から終了までに要する時間を短縮する[3]。

図3を用いて、IP²におけるアンカーリロケーション制御手順を具体的に説明する。

移動端末は、アクセスルータである O_AR (Old Access Router) 配下へ移動後、アンカーリロケーション要求のためのメッセージ BU (Binding Update) を O_AR へ送信する。

O_AR は、受信した BU を新しいアンカーポイントであるアンカールータ (ANR : ANchor Router) へ中継する (O_AR は ANR のアドレスを既知であると前提)。

ANR は、BU を受信すると、アンカーポイントとして、移動端末のルーティング情報、すなわち該当移動端末へのパケットを O_AR 経由で送信するという情報を新規に生成する。

ANR は、BU に対する応答メッセージ BA (Binding Acknowledgment) を移動端末へ送信する。

O_AR は、通信相手端末に対して、アンカーポイントがリロケーションしたことを通知するメッセージ (BU) を送信する。

通信相手端末は、BU を受信すると、それ以降のパケット送信を ANR 経由で送信する。

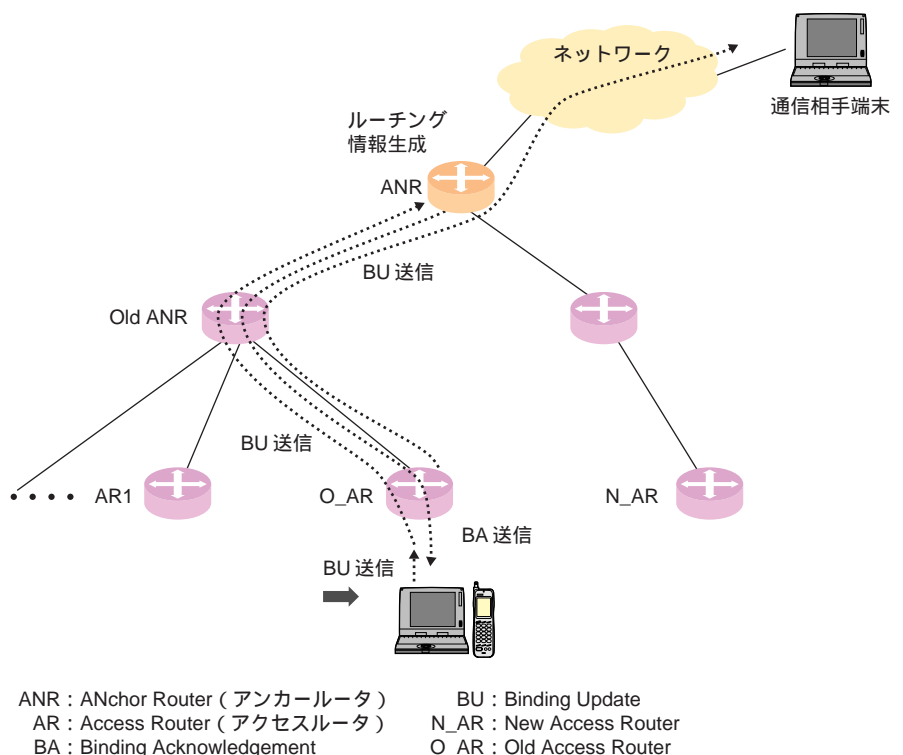
アンカーポイントの位置を、O_AR、および O_AR に隣接するアクセスルータ (AR : Access Router) から、通信相手端末までのそれぞれの経路が交差する地点にあるルータとすることにより、移動端末がどこに移動しても最短経路を保つことが可能となる。

モバイルマルチキャスト制御

移動通信におけるマルチキャスト制御の既存手法として、移動のたびにマルチキャストツリーを再構築する手法 (Foreign Multicast) と、Mobile IP 技術を利用し、マルチキャストパケットの送受信に IP トンネリングを用いてホームエージェント (HA : Home Agent) 経由で行う手法 (Bidirectional Tunneling) [4] がある。前者はリソースの有効利用を、後者はマルチキャストツリー更新負荷の削減を重視した手法である。しかしながら、両手法ともそれぞれ以下の技術課題があり、一長一短である。

Foreign Multicast においては、

マルチキャストサービスの受信者が移動する場合、受信者は移動先で新たにマルチキャストツリーに参加する処理が必要となり、ハンドオーバー処理時間の増大



を招く。

最短経路で構成されるマルチキャストツリー上でマルチキャストサービスの送信者が移動する場合、移動のたびにマルチキャストツリー全体の再構築が必要となり、ネットワークの負荷を増大させる。さらに、受信者に対して送信者の移動を通知する手段が新たに必要になるという課題がある。

Bidirectional Tunneling においては、

移動端末とHA間では、IP トンネリングを用いてユニキャストでパケット転送が行われるため、常に端末数分のパケット転送が必要となり、マルチキャストによるリソース集約効果が図れない。

上下通信ともに必ずHAを経由するため、経路の冗長性およびHAへのトラヒック集中といった問題を避けることができないという課題がある。

課題 , に示すように、Bidirectional Tunneling を用いたマルチキャストでは、リソース有効利用が目的であるマルチキャスト通信の効果を、移動通信網で十分に得ることができない。IP²では、Foreign Multicast をベースとし、上記課題 , を解決するため、マルチキャストパケットをネットワーク中のプロキシを介して送受信することでマルチキャストツリー再構築の頻度を減少させるとともに、送信者の移動をマルチキャストによって受信者に通知することで、リソースの一層の有効利用を図る手法を研究している。

ケットをいったんバッファリングし、ハンドオーバー完了後に移動先アクセスルータ (N_AR (New Access Router)) へ転送する。しかしながら、O_AR から転送されたパケットと、ハンドオーバー完了後に通信相手端末から O_AR を経由せずに送信されたパケットの間で、パケット到達順序逆転が発生する可能性がある。その結果、順序訂正の処理によるスループットの低下が生じる。これは、通信相手の端末から送信されたパケットが、O_AR を経由するかどうか、すなわちハンドオーバー前後の経路において、経路長に差が生じていることに起因するものである。

IP²では、バッファリングを行うルータとして、O_AR , およびO_AR に隣接するARから、通信相手端末までのそれぞれの経路が交差する地点にあるルータとすることにより、パケット到達順序逆転による弊害を防止する[6]。

図4を用いて、IP²におけるバッファリング制御手順を具体的に説明する。

移動端末は、無線リンクレイヤからのトリガなどにより、ハンドオーバーの発生を予測し、バッファリング開始のためのメッセージBul (Buffering Indication) をO_ARに送信する。

O_ARは、受信したBulをアンカーポイントであるANRに中継する。(O_ARはANRのアドレスを既知であると前提)

ANRは、Bulを受信すると、バッファリングを開始する。

3.3 伝送品質の 高品質化技術

バッファリングハンド オーバー制御

ハンドオーバーの際、アンカーポイントにおいて下りパケットをバッファリングし、ハンドオーバーが完了後にバッファリングされたパケットの転送を再開することにより、ハンドオーバー中のパケット転送は一時中断されるものの、ロスのないパケット転送が実現できる。

既存手法であるSmoothハンドオーバー[5]では、移動元アクセスルータ (O_AR) をアンカーポイントとしてパ

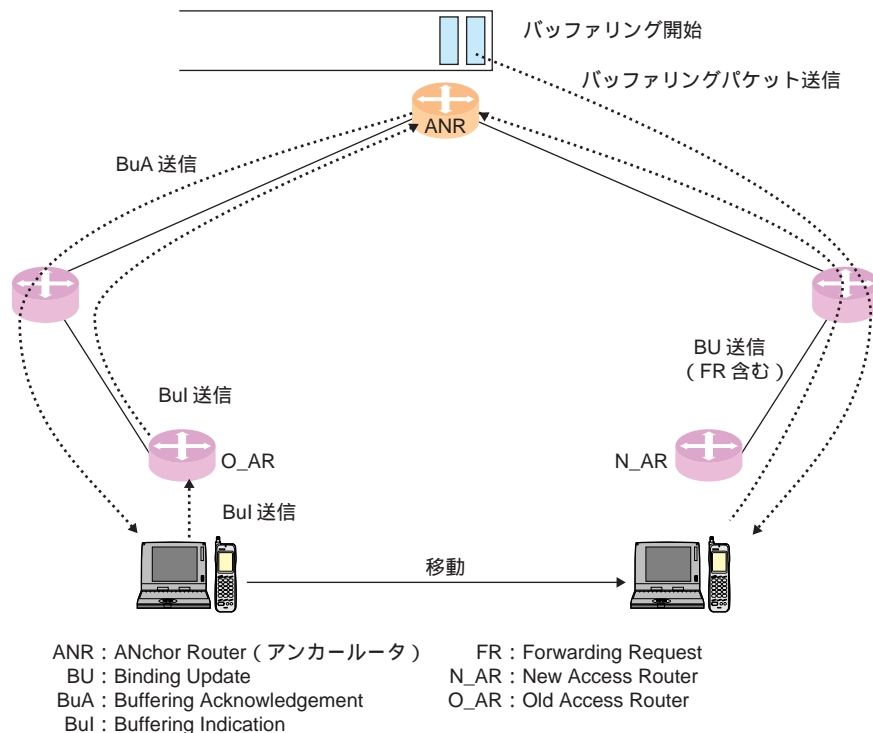


図4 バッファリングハンドオーバー制御

ANR は、BuI の応答メッセージ BuA (Buffering Acknowledgement) を移動端末へ送信する。

移動端末は、N_AR 配下に移動すると ANR にてバッファリングしているパケットの送信要求 FR (Forwarding Request) 情報を、ハンドオーバー開始のためのメッセージ BU の中に設定し、ANR へ送信する。

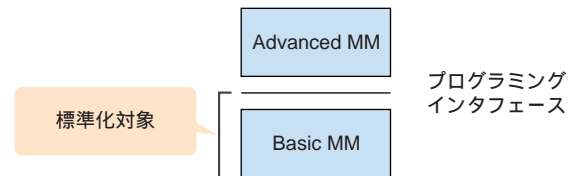
BU を受信した ANR は、バッファリングしているパケットを N_AR 経由で移動端末へ送信する。

上記手順 において、BuI を送信するタイミングが早過ぎれば、ANR におけるバッファサイズが必要以上に大きくなり、またタイミングが遅過ぎれば、O_AR 側の無線リンク強度が弱くなってもなおパケットが送信されて結果的に紛失するパケットが発生する。参照すべき無線リンクレイヤのトリガとして何が適切であるかを特定することが今後の課題である。

なお IP² では、上記方式と 3.2 で述べたアンカーリロケーション制御と組み合わせることにより、伝送遅延が少なくなかつ伝送ロスが全くないハンドオーバーを実現する。

マルチパスハンドオーバー制御

高速無線アクセスを実現するためにセル半径が小さくなると、高速交通機関などは短時間でハンドオーバーを繰り返す状況を作り出す。高速ハンドオーバー状態では、セルの移動後にもかかわらず移動前のセルへのパケット送信が頻繁に生ずる可能性があり、通信品質の劣化やスループット低下が懸念される。パケット損失を防止するための技術として、バッファリングハンドオーバーは、TCP (Transmission Control Protocol) のような遅延を許容し、パケットロスに敏感なアプリケーションに対して有効であるが、リアルタイム系の通信におけるバッファリングによる遅延は、音声や画像などの品質劣化を招く原因となり、遅延を与えずにパケット損失を抑制する手法が必要となる。IMT・2000 では、ダイバーシチハンドオーバー技術により移動端末が複数の基地局と同時に通信を行うことができるので、パケット損失のないハンドオーバーが可能である。しかしながら、ダイバーシチハンドオーバーは無線アクセス技術に依存するハンドオーバー方式であり、さまざまな無線アクセスを収容する IP² では、ダイバーシチハンドオーバーを提供しない無線アクセス方式に対してもパケット損失の小さいハンドオーバー制御をサポートすることが必要である。このため、IP² ではダイバーシチハンドオーバー機能を持たない端末に対しても、同時に複数の基地局からパケットを送信する、マルチパスハンドオーバー制御を検討している。マルチパスハンドオーバーを実現するためには、



MM : Mobility Management (移動管理機能)

図5 モビリティマネジメント制御能力の標準化

- ・同時にパスを設定すべき基地局の適切な選出
 - ・最短経路に基づくマルチパスの設定
- の2点が、ハンドオーバー時のリソース有効使用およびパケット転送遅延ゆらぎ削減の面から重要である。IP² ではこれらを実現するために、IP マルチキャスト技術を応用したハンドオーバー手法や最適なマルチキャストポイントの設定方法について検討中である。

4. 標準化手法

IP² では、3章で述べたような高度なロケーション制御やハンドオーバー制御を実現することを目指す。キャリアによっては不必要な制御であることやキャリア個別に実施したい制御が存在することを考慮し、標準化においては以上の要求条件を満たすキャリアごとの自由度を確保するのが望ましい。つまり、高度な制御能力をすべて標準化するのではなく、基本的な制御能力とそれを使用するための制御インタフェースのみを標準化する(図5) [7]。これにより、各々のキャリアが提供したい高度な機能をプラグイン的に導入することが可能となり、柔軟なネットワークの構築が実現できる。

5. あとがき

“Beyond IMT・2000”の要求条件を満たす IP² において必要と考えるモビリティマネジメント技術のねらいを紹介し、それらを解決するための要素技術を体系化して述べた。以上挙げたモビリティマネジメント要素技術を IP² アーキテクチャに組み込み、統合されたシステムとして連携して動作させられるよう検討を進める予定である。

文 献

- [1] H.Yumiba, K.Imai, and M.Yabusaki, “IP - Based IMT Network Platform,” IEEE Personal Communication Magazine, Oct.2001.
- [2] H.Soliman, C.Castellucia, K.El - Malki, L.Bellier, “Hierarchical MIPv6 mobility management,” IETF draft - ietf - mobileip - hmpv6 - 06.txt, Jul. 2002.
- [3] 岩崎, 五十嵐, 磯部, 興水, 藪崎, “プロアクティブ領域設定によるハンドオーバー制御,” 信学技報 NS2001 - 203, Dec.2001 .
- [4] David B.Johnson, et al, “Mobility Support in IPv6”, IETF draft - ietf - mobileip - ipv6 - 18.txt, Jun.2002.

- [5] G.Krishnamurthi, R.Chalmers., C.E.Perkins, IETF draft - govind - seamoby - buffer6 - 00.txt, Feb. 2001.
- [6] 磯部, 興水, 林, 藪崎, “ クロスオーバールータにおける Buffering 手法を用いた Lossless - Fast HO, ” IEICE Communication Society, Sep.2001.
- [7] 澤田, 井原, 藪崎, “ Mobility Management Modularization in IP² ”, IEICE General Conference, Mar.2002.

用語一覧

ANR : ANchor Router (アンカールータ)
AR : Access Router (アクセッスルータ)
BA : Binding Acknowledgement
BU : Binding Update
BuA : Buffering Acknowledgement
Bul : Buffering Indication
FR : Forwarding Request
GPS : Global Positioning System (全地球測位システム)
HA : Home Agent (ホームエージェント)
IMT - 2000 : International Mobile Telecommunications - 2000
(第3世代移動通信)
IP : Internet Protocol
IP² : IP based IMT network Platform
MM : Mobility Management (移動管理機能)
N_AR : New Access Router
O_AR : Old Access Router
PAN : Personal Area Network
PDA : Personal Digital Assistant (携帯情報端末)
TCP : Transmission Control Protocol
VoIP : Voice over IP