

## 多様化するインターネット環境における エンドツーエンド型モビリティサポート

金子 晋丈 森川 博之 青山 友紀 中山 雅哉

東京大学工学系研究科 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1

E-mail: {kaneko, nakayama}@cnl.k.u-tokyo.ac.jp, {mori, aoyama}@mlab.t.u-tokyo.ac.jp

あらまし ネットワーク接続性、コンテンツ、コンピューティングリソースがあらゆるところに存在する 3C everywhere 環境において、ターミナルモビリティのみならず、デバイスやネットワーク、コンテンツを自由に切り替えるサービスモビリティの実現が望まれる。本稿では、モビリティサポート機構のデザインにあたって、アプリケーションの低位レイヤ依存、端末に依存した認証形態、レイヤ構造の問題、名前空間と通信空間のバインディングの4つ問題点を示す。これらの問題点を考慮に入れ、通信の維持を困難にしている通信インタフェースの識別子について、デザインを検討し、そのデザインからエンドツーエンド型モビリティサポート手法を導く。エンドツーエンド型モビリティサポート手法は、通信の維持に関するトラッキング機構をエンドホストで実現することによりターミナルモビリティとサービスモビリティを実現するものである。

キーワード 3C everywhere, モビリティサポート, サービスモビリティ, エンドツーエンド

### End-to-End Mobility Support for Heterogeneous Internet Environments

Kunitake KANEKO Hiroyuki MORIKAWA Tomonori AOYAMA and Masaya NAKAYAMA

School of Engineering, The University of Tokyo 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8656 Japan

E-mail: {kaneko, nakayama}@cnl.k.u-tokyo.ac.jp, {mori, aoyama}@mlab.t.u-tokyo.ac.jp

**Abstract** In the environment of 3C everywhere in which network Connectivity, Content, and Computing resources are ubiquitous, there can be a new way of using these resources, bringing flexibility that allows users to take most advantage of the resource by choosing (or combining) appropriate ones according to the on-the-spot needs. To realize flexible service, a service mobility support is desired. However, there are four problems with the current Internet mobility. We investigate these problems and present end-to-end mobility support not only for terminal mobility but also for service mobility in 3C everywhere environments.

**Keyword** 3C everywhere, mobility support, service mobility, end-to-end

#### 1. はじめに

1990年代におけるインターネットを取り巻く急速な技術革新には目を見張るものがある。筆者らは、このような技術動向の延長線上に、ネットワークへの接続性(Connectivity)、動画・音声あるいはセンサ情報などの各種コンテンツ(Content)、それらコンテンツの蓄積・加工処理を行うコンピューティングリソース(Computing)があらゆるところに存在するネットワーク環境を想定し、これを3C everywhere(図1)と呼んでいる。

3C everywhere環境では、多様な無線ネットワークの普及により、ユーザがネットワークに接続する際の地理的・時間的制約がなくなるとともに、ネットワーク接続されるホストの多くがモバイル端末となることが予想される。このような環境においては、ホストの移動に対するパケット

到達性の維持(ターミナルモビリティサポート)に加え、移動に伴うアプリケーションの維持(サービスモビリティサポート)の考え方が重要となる。

サービスモビリティサポート機能は、周辺環境が時々刻々と変わる状況で威力を発揮する。その場そのときに応じてひとつのサービス構成そのものを維持する機能を提供するためである。サービスモビリティとしては、デバイスの切り替え、ネットワークの切り替え、コンテンツの切り替えの三つを考えることができる。

ここで、映像ニュースを移動しながら視聴している場面を考える。移動中の携帯情報端末から移動先の大型ディスプレイに映像ニュースの出力を切り替えることがデバイスの切り替え、ネットワークを移動中のセルラーから移動先の無線LANに切り替えることがネットワークの切り替え、移動にともなって最寄りの映像ニュースのミラーサーバが

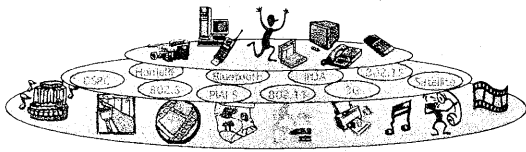


図 1. 3C everywhere

変更になった際にアクセスサーバを切り替えることがコンテンツの切り替えとなる。サービスモビリティサポート機能を具備することで、ネットワーク上に遍在する多様なデバイス/ネットワーク/コンテンツを自在にアドホックに組み合わせて、映像ニュース視聴という一つのサービスを維持できる枠組みが提供できる。

3C everywhere 環境においては、ターミナルモビリティサポートとともにサービスモビリティサポートを実現する機構が望まれる。しかしながら、現在のインターネットアーキテクチャは、モビリティを考慮せずに設計されている。これは、1983年にV. Cerfらが1968年のARPANETの発足当初からの問題として、TCP接続における通信識別子の一部としてネットワークアドレスが用いられていることが動的な再接続を困難にしている[1]と述べていることから明らかである。そのため、ターミナルモビリティサポートを提供する目的で設計されたMobile IP[2]でさえ、トンネリングなどのアドホックな技術を使わざるを得ない状況となっている。

このような観点から、筆者らはターミナルモビリティのみならずサービスモビリティをも考慮した場合のモビリティサポート機構に関して検討を進めている。モビリティサポート機構のデザインにあたって着目している現在のインターネットの問題点は、以下の4つである。

#### (1) アプリケーションの下位レイヤ依存

アプリケーションの通信インターフェースがネットワークアドレスに依存しているため、コネクションを切断しなければ通信を切り替えることができない。

#### (2) 端末に依存した認証形態

IPアドレスを用いた鍵交換、管理手法のため、高速なトラッキングを阻害する。また、端末に依存した認証形態では、悪意のあるユーザが所有する端末を利用する可能性があるため、端末の切り替えが困難となる。

#### (3) レイヤ構造の問題

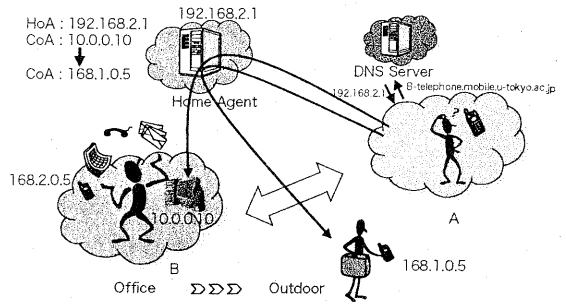


図 2. Mobile IP を用いたサービスモビリティサポート例

アプリケーションがデータリンクレイヤの情報を取得できないため、柔軟なアプリケーションサービスを提供することができない。

#### (4) 名前空間と通信空間のバインディング

ローケーティングとトラッキングが分離されていないため、サービスの用途に応じた名前空間を利用できない。

(1)と(2)は、通信の切り替えに関する問題であり、(3)は、アプリケーションのネットワーク状態への適応を困難にしている。(4)は、通信相手のローケーション解決の問題である。

本稿では、まず2.でこれらの問題点について詳しく述べ、モビリティサポートの設計指針を示す。次に3.で、これらの問題点を考慮したエンドツーエンド型モビリティサポート手法を示す。ひとつつながりのサービスに対して識別子を与えることでターミナルモビリティとサービスモビリティとを統一的に提供できるモビリティサポート機構である。

## 2. モビリティサポートの設計指針

本章では、インターネットにおける4つのモビリティサポートの問題点を説明するとともに、モビリティサポート機構の設計指針を示す。

### 2.1 アプリケーションの下位レイヤ依存

以下のようなサービスシナリオを考える。

オフィスで作業中のBは、デスクトップコンピュータ上でAとテレビ電話をしている。途中でBは営業のためオフィスを離れなければならない。そこで、Bはデスクトップコンピュータに替えて携帯情報端末を取り出し、テレビ電話から音声電話に切り替えて音声通話を継続することにした。

このようなサービスシナリオをMobile IPを用いて実現する場合(図2)、AはBの電話サービス(b-telephone)を提供するホームアドレス(HoA)を用いてコネクション

を確立する。b-telephone のホームエージェント (HA) では、b-telephone の HoA に対する気付アドレス (CoA) として 10.0.0.10 が登録されているため、A からのパケットは B のオフィスにあるデスクトップコンピュータに転送され通信が開始される。B がオフィスを離れると、CoA を 168.1.0.5 に更新するメッセージを HA に送信し、携帯情報端末にハンドオフを試みる。HA は、CoA の更新メッセージを受け、A からのパケットを B の携帯情報端末に転送する。

Mobile IP を用いてこのようなシナリオを実現する際の問題は二つある。一つは、テレビ電話アプリケーションから音声電話アプリケーションに切り替えたときにポート番号が変更されると通信が切断されてしまうことである。現在のインターネットでは、アプリケーションの通信インタフェースの識別子は端末の IP アドレスとポート番号に固定的に設定されている。したがって、Mobile IP を用いたとしてもポート番号が変更されると通信が切断されてしまう。Mobile IP はポート番号の移動透過性を想定していないためである。このような問題はデバイス切り替えを伴うサービスモビリティにおいて発生する問題であり、サービスハンドオフ前後でアプリケーションが異なる場合には注意が必要となる。

二つ目の問題点は、Mobile IP では常に HA を介した通信経路となることである。デバイス切り替えやネットワーク切り替えを伴うサービスモビリティでは、サービスハンドオフ前後でネットワークの管理組織が異なるケースがあり得る。このようなケースでは、HA を介した通信経路が大幅に変動してしまうことになり、QoS(Quality of Service) の変動を招いてしまうことになる。また、HA がハンドオフ前後のネットワークの管理組織と独立に設置されていないような状況では、HA への登録権限の問題も生じてきてしまう。

これらは、アプリケーションの通信インタフェースの識別子が IP アドレスとポート番号によってなされていることに帰着される問題である。ターミナルモビリティのみならずサービスモビリティをも統一的に実現できる識別子デザインが望まれる。

## 2.2 端末に依存した認証形態

モビリティサポートを行うためには「ロケーティング」と「トラッキング」の2つの処理が必要となる。「ロケーティング」は、通信開始時に通信相手のネットワーク上の位置を特定する処理、「トラッキング」は通信を継続するために通信相手の移動先位置を特定する処理である。ロケーティングの場合には位置登録処理、トラッキングの場合には位置更新処理が必要となり、これらの処理にあたって認証処理が必須となる。

Mobile IP はロケーティングとトラッキングの双方の処理を HA に担わせることでモビリティサポートを実現している。すなわち、端末のネットワークアドレスが変更される度に HA に移動先のネットワークアドレスを HA に登録することでロケーティングとトラッキングを実現している。ここで、HA への位置登録・更新処理においては IP レベルでの認証セキュリティが用いられるが、セキュリティアソシエーション [3] においては IP アドレスが用いられるため、端末が移動するたびに HA との間で鍵の交換や管理をし直さなければならない。IP アドレスが変わるたびに鍵交換や管理をやり直すことは、IP レベルでセキュリティを提供するにあたっては避けられない事態ではあるものの、高速なトラッキングを阻害する要因となり得る。

これは、IP という端末インタフェースに依存した認証を用いていることに起因する問題である。より上位レベルの認証を用いることで、トラッキングの位置更新処理において鍵交換や管理をやり直すことが不要となるため、高速なトラッキング処理を実現できる。例えば、テレビ電話などといった一連のサービスが維持されている場合には、サービス ID などといった上位レベルの ID を用いて認証することで IP アドレス変更に伴う鍵交換は不要となる。なお、上位レベルの認証を用いるということは、Mobile IP のようにロケーティングとトラッキングとを同時にサポートするのではなく、ロケーティングとトラッキングとを分離して考えることになることに注意されたい。

以上のような位置登録・更新処理に起因する認証問題に加えて、サービスモビリティが提供される環境では新たな認証問題が発生する。たとえばデバイス切り替えを伴うサービスモビリティを行うにあたっては、ハンドオフ後のデバイスが悪意のある第三者が所有するものである可能性を否定できない。そのため、認証鍵そのものを端末に与えることは避けたい。認証鍵をハンドオフ後のデバイスに与えてしまうと、ユーザの意志に反したコネクションの移動や終了、課金を伴うアプリケーションサービスの無断利用などを招く可能性があるためである。現在の認証システムの多くは鍵が信頼できる端末に保存されているという前提の上に成立しているが、サービスモビリティの環境下ではこの前提がくずれてしまう。これに向けては、利用するデバイスなどは独立した信頼の置けるパーソナルカードなどを常に保持したり、一時的認証鍵を利用したりするなどといった方策を考えていく必要がある。

## 2.3 レイヤ構造の問題

3C everywhere 環境におけるサービスは、時々刻々と変化する周辺環境に応じて構成される。なかでもネットワーク状況の変化は、コンテンツの切り替えやデバイスの切り替えを伴うサービスモビリティを実現するトリガーともな

り得るため、これらのネットワーク状況の情報の把握が重要となる。ネットワークが帯域、遅延、コスト、サービスエリアなどの点で多様化し、種々のアクセスリンクが提供されるようになるにしたい、このようなネットワーク情報の重要性が高まる。

ネットワーク情報の中で切り離すことができないものが、無線リンクの情報である。無線リンクは時間的に特性が動的に変動するため、急激な帯域の減少、パケットロス率の増大、通信の切断などが引き起こされることによる。このように時々刻々と変化するネットワーク環境の情報をアプリケーションが把握することで、より柔軟にサービスを維持することが可能となる。

しかしながら、現在のインターネットアーキテクチャでは硬直的なレイヤモデルが採用されているため、レイヤは隣接したレイヤとのみ情報のやり取りを行う。たとえばデータリンクレイヤの情報はネットワークレイヤにおいて失われてしまうため、アプリケーションがデータリンクの情報を取得することはできず、無線リンクの動的な変化、リンク切断などといったネットワーク状況の変化に柔軟に対処することができない。

3C everywhere 環境において柔軟なモビリティサポートサービスを提供するためには、ネットワーク状況の変化に対してアプリケーションの適応を行いやすい機構が必要となる。特にモバイル環境では、切断やハンドオフにともないネットワーク状態が頻繁に変化するため、これらの変換を上位レイヤに反映させてサービス状態管理やシステム資源の再割当などを行う機構が望まれる。

#### 2.4 名前空間と通信空間のバインディング

現在のインターネットは電子メールと WWW を主なアプリケーションとし、インターネット上で目的のサービスを指定するための DNS(Domain Name System)[4][5] がそれらアプリケーションを支える形で発展をとげてきた。DNS は本来、(1) 管理組織によってサービスが管理される、(2) サービスを提供するサーバのアドレス変化は比較的静的である、という 2 つの重要な仮定の下に設計がなされている。

しかしながら、インターネットに接続される多くの端末が移動端末となるような状況では、仮定 (2) が成り立たなくなる。移動端末のレコード登録を可能とする Dynamic DNS[6] を用いたとしてもネームキャッシュの有効期限を短く設定せざるを得ないため、ロケーティングに関するメッセージトラフィックが増大してしまう。レコードの更新頻度が高くなればなるほど、ネームキャッシュの有効期限を短くせざるを得ず、DNS 設計当時の仮定とは本質的に相容れないものとなってしまふ。すなわち、2.2 に示したようにロケーティングとトラッキングを分離して考えた場合に、現在の DNS をそのまま利用しては不都合が生じ

てしまふ。

移動端末のロケーティングを行う際には、即時性と一貫性という相反する要件を具備したレコード更新手法が求められる。即時性とはレコード更新の必要が生じた後、ただちにレコードが更新されることであり、一貫性とは利用するロケーション解決サーバによらず常に更新されたレコードが回答されることである。

これに向けては、ロケーティングを階層的に行う手法が考えられる。上位層のロケーティングシステムとして比較的静的でインターネットスケールで動作するものを利用し、下位層のシステムとして高い更新頻度を許容できる局所性をもつものを利用するアプローチである。

また、3C everywhere 環境においては複数の名前空間を使い分けることになる可能性もあり得る [7]。たとえば、あるユーザ A がユーザ B にインターネットを使って緊急に連絡をとりたい場合を考える。このとき、ユーザ A 側の通信アプリケーションはユーザ B の場所をインターネット上で特定し、さらにユーザ B の持っているあるいはユーザ B の近くにある映像や音声の入出力デバイスを特定する必要がある。このような場合、DNS などの管理組織による単一の名前では対処できない。ユーザを指定するための名前、デバイスを指定するための名前など、アプリケーションは複数の名前を使ってサービスを構築していかなければならない。

このように複数の名前空間 (ロケーティングシステム) を使い分ける場合には、ロケーティングとトラッキングの分離が必須となる。また、複数の名前空間が存在する場合のロケーション解決手法なども必要となる。複数の名前空間が併存するような環境では、上記のような階層的なロケーティング手法が用いられることになろう。

### 3. エンドツーエンド型モビリティサポート

本章では、2 で述べた問題を考慮し、アプリケーションの通信インタフェースの識別子のデザインを明確にし、デザインから導かれるエンドツーエンド型モビリティサポート手法を説明する。

#### 3.1 アプリケーションの通信インタフェースの識別子

通信を行うためにはアプリケーションの通信インタフェースの識別子が必須である。識別子は、アプリケーションがインタフェースを作成し通信相手と接続を確立したときにインタフェースに固定的に与えられ、インタフェースをクローズするまで変更されない。さらに、作成されたインタフェースは、その識別子によって与えられた通信相手との通信のみにしか用いることができない。2.1 で示したように、現在のインターネットでは、この識別子として IP アドレスとポート番号が用いられている。

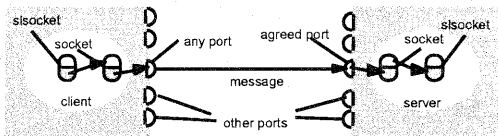


図 3. エンドツーエンド型モビリティサポート

識別子とインタフェースの強い結びつきを考慮すると、3C everywhere 環境でのモビリティサポートを提供するためには、移動によって変化する IP アドレスやポート番号を識別子とするのではなく、移動不変なサービス ID などといった上位レベルの ID を識別子とする方が望ましい。

ここで、上位レベルの ID としては、グローバルユニークな ID とローカルホスト内で一意な ID の双方を考慮することができるが、識別子の本来の性質を考慮するとローカルホスト内で一意な ID としてよい。もともとアプリケーションの通信インタフェースの識別子とは、プロセス間の通信のエンドポイントを識別するものであって、あるプロセスが別のプロセスと通信する際にデータを読み書きするための抽象化されたインタフェースを識別するために用いられる。すなわち、プロセスはローカルホストに存在する複数のインタフェースの中から利用するインタフェースを識別できればよいのである。

また、アプリケーションの通信インタフェースの識別子をローカルで一意性を持った ID としたとすると、ローカルホスト内で上位レベルの ID をネットワーク空間の通信相手にマッピングしなければならない。このマッピングは、アプリケーションの通信インタフェースを、ローカルホスト内で通信相手に接続された通信インタフェースと動的にバインディングすることに他ならない。

すなわち、Mobile IP のようにトラッキングをネットワーク内で管理する方式ではなく、通信端末自身がトラッキングを管理する機構となる。サービスの切り替え時には、通信端末は、ロケーションシステムに位置登録するとともに、通信相手の端末に対して位置更新メッセージを送信することになる。3.2 では、通信端末がトラッキングを行うエンドツーエンド型モビリティサポート手法を示し、3.3 で本手法と他のモビリティサポート手法の互換性について述べる。

### 3.2 エンドツーエンド型モビリティサポート

エンドツーエンド型モビリティサポート手法 (図 3) は、動的にアプリケーションの通信インタフェースとネットワーク通信インタフェースを接続する機構、通信相手の端末と位置更新メッセージのやり取りを行う機構、およびデバイス切り替えにおけるコネクション移動機構、の三つの機構から構成されている。以下では、IP ネットワークを前提に本モビリティサポート手法について説明するが、他のネットワーク空間にも同様に適用できる。3.2.1 で動的なインタフェース接続機構について説明し、3.2.2 で位置更新メッセージのやり取りについて説明する。最後に 3.2.3 で、デバイス切り替えのためのコネクション移動機構について説明する。

#### 3.2.1 動的なインタフェース接続機構

アプリケーションの通信インタフェースとネットワーク通信インタフェースは以下のように動的に接続される。アプリケーションは通信相手の初期ロケーション、ポート番号、および通信の信頼性の 3 つを指定して通信インタフェースを作成する。信頼性の指定の必要性については、後述する。インタフェースが作成されることにより、ローカルホスト内で一意な識別子が与えられる。ロケーションによって解決されたネットワークアドレスとポート番号によりネットワーク通信インタフェースが作成され、識別子に基づいたマッピングテーブルが作成される。位置更新時には、ネットワーク通信インタフェースが再度作成され、アプリケーションの通信インタフェースに接続されるとともに、マッピングテーブルが更新される。通信を行っている端末の同時移動に伴い、TCP タイムアウト [8] などによってネットワーク通信インタフェースがクローズした場合は、マッピングテーブルにあるロケーションから再度ロケーションを行い、再度ネットワーク通信インタフェースを作成し、アプリケーションの通信インタフェースに接続する。

次に信頼性の指定について述べる。信頼性の指定はトランスポートプロトコルの指定、およびインタフェースの動的な接続の切り替えにおける信頼性を決定するために行う。信頼性の種類は、ネットワーク通信のトランスポートプロトコルに TCP を用いたインタフェースの動的な接続時にも信頼性を保つもの、TCP を用いるが動的な接続時に信頼性のないもの、UDP [9] を用いるもの、の 3 通りである。とくに、TCP を用いたインタフェース接続時にも信頼性のある通信を行うときは、再送制御を本機構の中で行わなければならない。すなわち、データ送信側では、アプリケーションの通信インタフェースとネットワーク通信インタフェースの間にバッファをもうけ、データセグメント毎にシーケンス番号を付けて送信するとともに、データ受信側では、受信データセグメントに

対して、ACKを返さなければならない。

### 3.2.2 位置更新メッセージング機構

本機構は、端末に一つだけ存在し、他の通信端末と位置更新メッセージのやり取りを行い、インタフェース接続機構にネットワーク通信インタフェースの切断、再接続命令を出す機能をもつ。本機構の機能は2つに分類される。位置更新メッセージの送受信と位置更新が行われるインタフェースを識別するためのデータベース管理である。

位置更新のメッセージは、ローカルホスト、または通信相手端末の位置が変化したときに受信する。ローカルホストの位置が変化すると、外部検出機構がこれを検出し位置更新メッセージング機構にこれを通知する。また、位置更新メッセージング機構は、通信相手端末上の位置更新メッセージング機構との接続切り替えを要するインタフェースに、このメッセージが通知する。データベースは、すべてのサービスにおける、ロケーションとポート番号、およびインタフェースの識別子を保持しており、位置更新メッセージをロケーションとポート番号から適切なインタフェースに通知することが可能となる。

### 3.2.3 デバイス切り替えにおけるコネクション移動機構

エンドツーエンド型モビリティサポート手法における、デバイスの切り替えの機構について述べる。本機構は端末に一つだけ存在し、デバイスの切り替え時に、デバイス切り替え要求メッセージの送受信と、アプリケーションヘインタフェース作成要求を行う。本機構が通信相手のロケーションが含まれたデバイス切り替え要求メッセージを受信すると、アプリケーションに対してインタフェース作成要求を通知する。前述のとおりインタフェースが作成されると、デバイス切り替え終了メッセージを切り替えを要求したデバイスに送信する。デバイス切り替え終了メッセージを受信すると、インタフェース接続機構にインタフェースのクローズを要求する。

### 3.3 互換性

本モビリティサポート手法は、アプリケーションの作成法に手を加える必要があるが、インターネットデザインの基本コンセプトであるエンドツーエンドアーキテクチャ[10]にのっとっているため、インターネットとの親和性が高い。また、これまで研究されてきたモビリティサポート手法との互換性もあわせもっている。

例えば、Mobile IPの普及が進んだときに、ターミナルモビリティに関してMobile IPを利用することも可能である。このとき、ロケーションによって得られるネットワークアドレスがMobile IPのHoAであれば、ターミナルモビリティはMobile IPによって実現されることになる。

また、Cellular IP[11]など、データリンクレイヤの機能により実現されるマイクロモビリティサポートも併用が可

能である。さらに、IPとは異なるネットワークプロトコルをもつネットワークスペースとの通信においても、ネットワークスペース間をつなぐゲートウェイに本モビリティサポート手法を実装することにより、モビリティをサポートすることができる。

## 4. おわりに

本稿では、ネットワーク接続性、コンテンツ、コンピューティングリソースがあらゆる場所に存在する3C everywhere環境において、ターミナルモビリティのみならず、デバイスやネットワーク、コンテンツを自由に切り替えるサービスモビリティを実現する上での問題点として、アプリケーションの下位レイヤ依存、端末に依存した認証形態、レイヤ構造の問題、名前空間と通信空間のバインディングの4つを示した。これらの問題点を考慮に入れ、通信の維持を困難にしている通信インタフェースの識別子について、デザインを検討し、そのデザインからエンドツーエンド型モビリティサポート手法を導いた。エンドツーエンド型モビリティサポート手法は、通信の維持に関するトラッキング機構をエンドホストで実現することによりターミナルモビリティとサービスモビリティを実現するものである。さらに本手法の動作機構を説明し、他のモビリティサポート手法との互換性を示した。

## 文 献

- [1] V. Cerf, and E. Cain, "The DoD Internet Architecture Model," *Computer Networks*, No. 7, pp. 307-318, Oct. 1983.
- [2] C. Perkins, "IP Mobility Support," IETF, RFC 2002, Oct. 1996.
- [3] S. Kent, R. Atkinson, "Security Architecture for the Internet Protocol," IETF, RFC 2401, Nov. 1998.
- [4] P. Mochapetris, "Domain Names - Concepts and Facilities," IETF, RFC 1034, Nov. 1987.
- [5] P. Mochapetris, "Domain Names - Implementation and Specification," IETF, RFC 1035, Nov. 1987.
- [6] P. Vixie, S. Thompson, Y. Rekhter, J. Bound, "Dynamic Updates in the Domain Name System," IETF, RFC 2136, 1997.
- [7] 南正輝, 杉田 馨, 森川 博之, 青山 友紀, "ユビキタス環境に向けたインターネットアプリケーションプラットフォーム," 信学論 (B), 投稿中
- [8] J. Postel, "Transmission Control Protocol," IETF, RFC 793, Sep. 1981.
- [9] J. Postel, "User Datagram Protocol," IETF, RFC 768, Aug. 1980.
- [10] J. Saltzer, D. Reed, and D. Clark, "the End-to-End Arguments in System Design," *ACM Transactions on Computer Systems*, Vol.2, No. 4, 1984.
- [11] A. Campbell, J. Gomez, S. Kim, A. Valko, C-Y. Wan, and Z. Turanyi, "Design, implementation, and evaluation of Cellular IP," *IEEE Personal Commun. Mag.*, Vol. 7, No. 4, Aug. 2000.