

# サービスモビリティプロキシの設計と実装

長谷川幹雄<sup>1</sup> 森川博之<sup>1,2</sup> 井上真杉<sup>1</sup> バンダーラウダーナ<sup>1,3</sup> 村上誉<sup>1</sup> マハムドカレド<sup>1</sup>

1 独立行政法人 通信総合研究所 新世代モバイル研究開発プロジェクト

2 東京大学大学院 新領域創成科学研究科

3 東京大学大学院 情報理工学系研究科

通信総合研究所新世代モバイル研究開発プロジェクトでは、メディアハンドオーバー技術の研究の一環として、異種端末間ハンドオーバー方式の検討を行っている。本稿では、異種端末間ハンドオーバーのための、サービスモビリティプロキシを用いたアーキテクチャについて検討する。本アーキテクチャでは、ハンドオーバーされるサービスに必要な処理はサービスモビリティプロキシ上で行うため、プロキシ上で実行可能なほぼすべての通信アプリケーションの端末間ハンドオーバーが可能である。転送を受信する側の端末には、その受信機能さえ実装してあれば、ネットワークに接続されたどのようなデバイスも利用可能である。ユーザの状況や位置、通信サービスの要求する帯域や必要なインターフェースなどに応じて、適応的に身近に存在する最適な端末を選択し、転送先を切り替えることで、異種端末間ハンドオーバーを実現する。プロキシからの転送はIPで行うため、インターネットに接続可能なあらゆるデバイスに転送可能であり、また、プロキシサーバ上で、転送速度を調整することで、通信帯域の小さな携帯端末、有線接続された固定端末などへ、それらの性能に応じた最適な転送を行うことも可能である。

## Design and Implementation of Service Mobility Proxy

Mikio Hasegawa<sup>1</sup> Hiroyuki Morikawa<sup>1,2</sup> Masugi Inoue<sup>1</sup> Udana Bandara<sup>1,3</sup> Homare Murakami<sup>1</sup> Khaled Mahmud<sup>1</sup>

1 New Generation Mobile Networking Project, Communications Research Laboratory

2 Graduate School of Frontier Science, The University of Tokyo

3 Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo

The New Generation Mobile Networking Project of Communications Research Laboratory is doing research on media handover technologies. In this paper, we discuss capabilities of architecture for cross-device handover using the Service Mobility Proxy. In this framework, all of processing required by the communication services for the handover is executed on the proxy server. Therefore, it is possible to perform the cross-device handover of almost every application programs installed in the service mobility proxy. Target devices of the handover should have only the function for receiving packets forwarded from the service mobility proxy. Therefore, various types of handovers between different devices are possible. The optimum target device is selected adaptively depending on context of the user, interfaces or bandwidths required by the communication services, and so on, and then the destination of the forwarded packets is switched to the selected one. Forwarding from the service mobility proxy uses the IP packets, therefore it possible to deal with all the devices connected to the Internet. By controlling transmission method and rate on the proxy server, it is also possible to transmit at appropriate ways depending on the possible bandwidth or function of the target devices.

### 1. はじめに

近年、ユビキタスコンピューティング環境実現のための様々な研究が大きな注目を集めている。

近隣に偏在するようになってくる多数のデバイスを、ユーザが自在に利用することが可能となれば、様々な通信やサービスをより柔軟に受け取ることが出来るようになる。近隣のデバイスを利用す

るためには、それらを発見し、最適なものを選択し、目的のサービスをそのターゲットデバイスまで持ってくる技術が必要である。本研究では、このような、近隣の端末を自在に利用し、最適なデバイスで通信を行うための異種端末間ハンドオーバー方式について検討を行う。

現在、第2世代の携帯電話は、ほぼどこでも利用可能となっており、最近では、第3世代の携帯電話システムも普及が進んでいる。一方で、無線LAN ホットスポットサービスも開始され始め、携帯電話と比較すると、格段に高速な通信が可能である。また、5.2G 帯を利用した高速な無線LAN も普及し始め、今後、更に様々な無線システムが利用出来るようになってくると考えられる。そのような中で、それら多種の無線システムを、適材適所で利用する研究が行われている。ホットスポットの中では無線LAN を利用し、そこから出てしまうと、シームレスに携帯電話を介した通信に切り替わるような異種ネットワーク間ハンドオフを実現する研究が活発に行われている[1]-[3]。筆者らは文献[3]にて、新世代モバイル研究開発プロジェクトの一環として、固有のシグナリングチャネルを用いることで着信や省電力の問題を解決するMIRAIのアーキテクチャを提案している。これらの研究[1]-[3]では、ネットワーク間をまたぐモビリティを確保することがターゲットとなっているが、ユーザは一台の携帯端末を利用し続けて移動することを前提としている。

しかしながら、いくら複数の異種無線ネットワーク間のハンドオフが実現出来ても、無線ネットワークは有線ネットワークによる接続と比較すると、格段に不安定であり、通信帯域も小さい。また、電源が接続された固定端末と比較すると、小型携帯端末の処理能力はそのサイズや省電力のために低く制限され、ユーザインターフェースは小型で簡易なものしか搭載出来ない。大画面ディスプレイを接続した固定端末の表示能力とは、比較にならないほど貧弱なものである。

そこで、そのような携帯端末のみに依存するのではなく、近隣の高機能デバイスも自在に利用可能とするための技術が注目されており、様々なアーキテクチャが提案されている[4]-[7]。もし、近隣に高機能な固定端末が存在している場合に、携

帯端末上で利用していたサービスをその高機能端末にハンドオーバー出来れば、携帯端末の弱点を解消することが出来る。あるいは、携帯端末を持たなくても、ユーザの場所に依りて、近隣の端末を利用可能にする手法も検討されている。このような環境を実現するためには、ユーザの近隣の端末を発見し、通信サービスやユーザの状況などに依りて最適なものを選択し、セキュリティ面でも安全に利用出来るアーキテクチャが必要である。

本研究では、異種端末間のシームレスなハンドオーバーを実現するために、サービスモビリティプロキシを用いた方式について検討する。訪問先の端末も自在に利用でき、ネットワークに接続された周りに偏在するあらゆるデバイスを利用可能とすることを特徴とする。広帯域通信が可能な有線で接続され、インターフェースを豊富に有する端末から、携帯端末のような通信帯域や処理能力の低いデバイスまで、あらゆる種類のデバイスを利用することが可能なアーキテクチャである。この時用いる通信アプリケーションは、端末間ハンドオフのために特別に設計するものではなく、従来のほとんどのアプリケーションが動作するアーキテクチャとしている。即ち、本実装のためには、Correspondent Node(CN)に手を加える必要は無い。以上のような特徴を有する方式を、サービスモビリティプロキシを用いて設計し、実現することを試みる。

## 2. シームレス異種端末間ハンドオーバーのニーズとアプリケーションシナリオ

異種端末間のシームレスなサービスハンドオーバー技術は、近年注目を集めている研究の一つである。将来、ネットワークに接続されたデバイスが周囲に偏在し、それらが連携し協調動作するユビキタスコンピューティング環境が実現されると想定すると、異種端末間のサービスモビリティ技術は非常に重要となる。以下に簡単なアプリケーションシナリオ例を2つ挙げる。

### ・ シナリオ1

屋外で携帯電話を用いて通信している最中に、ギガバイトオーダの大きな資料を受信することが必要となった。携帯端末では、そのような大きなファイルを受信することは困難である。そこで、近隣の広帯域な有線ネットワークに接続した近隣端末をサーチし、使用可能にするために認証を

行う。通信を異種端末間ハンドオフさせ、短時間で受信を完了させた。更に、ディスプレイを持つ端末で閲覧し、このユーザが利用可能なプリンタもサーチすることで印刷までを完了することが出来た。

#### ・ シナリオ 2

小さなディスプレイ、低性能なカメラしか、携帯端末には搭載されていない。携帯端末でテレビ電話中、通信相手先の細かい画像を見る必要ができ、DVのような高画質の動画の通信が必要となった。近隣の、大画面ディスプレイ、高性能なカメラが付いた、高速通信可能な有線接続端末をサーチし、認証を行い、通信を途切れさせず、ハンドオフさせ、高画質の通信を継続することが出来た。

以上の他にも様々なケースで、近隣の端末を自在に利用し、端末間でハンドオフする技術が有用となると考えられる。

### 3. 関連研究

近年、いくつかのシームレスな端末間ハンドオーバを実現する手法が検討されている。プロキシを用いたアーキテクチャは、通信速度や遅延のオーバーヘッドが大きいと、エンドツーエンド型のアーキテクチャが深く議論されている[5]。この枠組みでは、理想的なセッションモビリティをサポートするが、しかしながら、専用の通信アプリケーションを利用する必要がある。即ち、CN側にも端末間ハンドオフを実行するための通信アプリケーションをインストールし、エンドツーエンドでモビリティサポートをする。そのため、それ以外の既存の通信アプリケーションを端末間ハンドオーバさせることや、そのハンドオフ用のアプリケーションを持たないCNとの通信の端末間ハンドオフなどは不可能である。

一方で、プロキシ型のモビリティサポート方式にも様々なものが検討されている。例えば、Medler[2]やMSOCKS[10]は、プロキシを用いて異種ネットワーク間ハンドオフを実現している。しかしながら、端末間のシームレスハンドオーバはサポートされていない。MPA[8]やUniversalInbox[9]では、受信するための最適なデバイスを選択出来るアーキテクチャを実現しているが、これらもシームレスなデバイス切替えま

では実装していない。プロキシ型の構成となっているデバイス間のハンドオフを実現したものには、例えば、携帯端末のディスプレイなどのインターフェースを、近隣のデバイスに転送する方式[6]が提案されており、携帯端末のユーザインターフェース不足の解消することに成功している。しかしながら、携帯端末の処理能力の不足という問題点の解決は試みられていない。

その他にも、様々なサービスモビリティ技術が検討されており、訪問先での利用などは可能となっているが、2. で示したようなアプリケーションシナリオを可能とするシームレスな端末間のハンドオフを実現しているものはまだほとんど無い。

### 4. プロキシを用いたサービスモビリティサポート

#### 4.1 検討方式

本研究では、サービスモビリティプロキシを用いたシームレスな端末間ハンドオフ方式を検討する。本方式は、上に述べたような従来の端末切替え方式の中では、移動端末での通信を意識した[4]-[6]よりも、むしろEasyLiving[7]で用いられているような、デバイス切替えに主眼を置いた方式に近い。通信サービスアプリケーションに関する全てのCPU処理に加え、検討方式では転送先のデバイスに合わせたコンテンツ変換処理などもプロキシサーバ上で実行し、ユーザインターフェースのみを、近隣デバイスへとIPで転送する。これにより、プロキシサーバ上で実行可能なほぼ全ての通信アプリケーションを端末間で自在にハンドオフさせることが可能である。本検討では、このサービスモビリティプロキシは、Windows上に実装した。即ち、Windowsで実行可能なアプリケーションは、すべて近隣デバイスで利用可能となる。本研究では、更に応用範囲を広げるため、[7]で行っているようなPCのみへの転送だけでなく、携帯端末などのような処理能力の小さなデバイスやOSの異なる端末なども利用可能とし、サービスモビリティプロキシから転送先までの通信帯域が変化した場合や、転送先端末の性能が変化した場合でも、対応可能なアーキテクチャを検討する。システム全体としては、ユーザが携帯するユーザ端末が近隣デバイスを発見し、そのデバイス情報より最適なデバイスを

選択し、サービスモビリティプロキシから携帯端末に送信されていた通信を、より高性能な端末へ切り替えることを可能とするアーキテクチャを実現することを目的とする。

近年、ドメインをまたぐようなネットワーク間の IP モビリティサポートには、モバイル IP[11] を用いる手法が広く利用されている。モバイル IP v4 では、移動端末宛の packets は必ず Home Agent を介し、そこから移動端末の Care-Of Address へと転送される。移動端末への packets が常に Home Agent を経由することを考えると、この Mobile IP もプロキシ型のモビリティサポート手法といえる。このホームエージェントの機能を拡張していくことで、更に広い意味でのモビリティサポートが可能になると考えられる。

本研究では、以上のような考えの基で、ホームエージェントやプロキシを拡張した、サービスモビリティプロキシを用いた、異種端末間ハンドオフが可能なアーキテクチャを検討する。異種端末間モビリティを確保するために、移動先端末のアドレスへの転送機能とアプリケーションレベルでの転送機能を併用する。モバイル IP を用いた方法では、移動する同一の端末の通信を継続させたままのハンドオフは可能であるが、しかしながら、別の端末へとシームレスに切り替えることはサポートしていない。サービスモビリティプロキシを用いた方法では、異種端末間のシームレスなハンドオーバーもサポートする。その際、転送先端末のインターフェースの種類や性能、通信帯域などにより、最適な転送を行えるように設計する。

#### 4.2 サービスモビリティプロキシの構成

異種端末間ハンドオフをスムーズに行う、サービスモビリティプロキシを用いたアーキテクチャを示す。本アーキテクチャでは、すべてのアプリケーション(プロセス)は、サービスモビリティプロキシ上で実行され、アプリケーションの画面や音声などの入出力のみが、図1の $\leftrightarrow$ により、端末のインターフェースへと転送される。端末への転送の通信にも IP を用いる。有線端末、無線端末を問わず、インターネットに接続された全機器に転送を可能とするためである。

本アーキテクチャでは、サービスモビリティプロキシで実行可能なほとんどすべてのアプリケーションを端末間ハンドオフ可能である。エンド

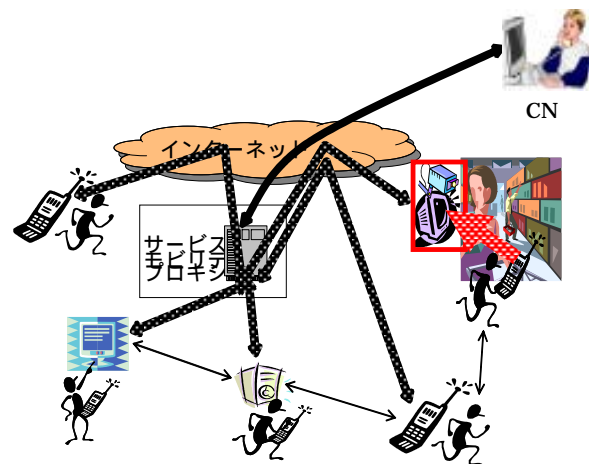


図1 プロキシを用いたサービスモビリティサポート

ツーエンド型のサービスハンドオフ方式と比較すると、プロキシを通る分、遅延や転送速度の問題が発生するが、エンドツーエンド型では CN にも手を加える必要があることや、利用出来るアプリケーションが限定されるという欠点もある。提案方式では、そのような問題は無く、既存のアプリケーションや OS に手を加えずに端末間ハンドオフを実行することが可能である。また、本アーキテクチャでは、サービスモビリティプロキシで CN との通信が一度終端されているため、アプリケーションを実行する性能を持たない端末や非 PC のような OS を搭載しない端末でも、プロキシからの転送を受信して再生する機能が実装されていれば、サービスハンドオフが可能である。更に、このプロキシ上で、端末への転送速度に応じた画像や音声の品質調整を行うことにより、高速な通信が可能な固定端末、移動する無線携帯端末、あるいは、移動先の固定端末など、その時に利用したい端末の性能、通信帯域、インターフェースの有無などに応じ、最適な転送を行うことが可能である。

図2にサービスモビリティプロキシを用いたアーキテクチャを構成する機能の実装例を示す。図2に示すように、サービスモビリティプロキシの他に、ユーザが携帯するユーザ端末、及び、サービスをハンドオフする転送先となる端末を用いており、それぞれに以下のような機能を持たせる。サービスモビリティプロキシは、ユーザ管理

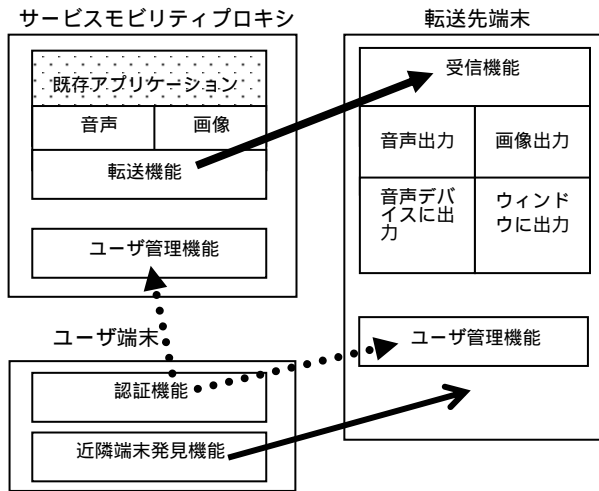


図2 サービスモビリティ機能の実装例

機能,通信制御機能,及び音声とウィンドウの転送機能を実装することにより実現する.ユーザ端末は,サービス発見機能,近隣端末発見機能,サービスモビリティプロキシと転送先端末への認証機能,転送先端末との通信機能などを要する.転送先端末には,サービスモビリティプロキシから転送された映像と音声を受け取って再生する機能,ユーザ端末との通信機能,ユーザ端末からの認証機能及びサービスモビリティプロキシへ

の認証機能を実装する.以上の機能をそれぞれの機器に実装することにより,OSや個別アプリケーションに手を加えずにシームレスサービスハンドオフを実現することが可能となる.

### 5. 初期の実装

本実装では,サービスモビリティプロキシを動作させるOSとして,多様なアプリケーションソフトが実行可能なWindowsを採用している.注目するアプリケーションのウィンドウのみを端末に転送するために,実行中のウィンドウをキャプチャーして転送を行う.音声転送は,音声チャットの機能を応用して実装している.実装の詳細を図3に示す.図4には,本実装で実現した,デモシステムのデバイス切替え概要を示し,図5で,その通信シーケンスを説明する.まず,端末間ハンドオフ可能な近隣の転送先端末を発見し,転送先のIPアドレス,性能情報,ユーザと転送先端末との距離の情報を取得する.複数の近隣デバイスが発見された場合には,全てのデバイスに関して,この処理を行う.これらの中から最適なデバイスを選択し,まず,サービスモビリティプロキシへの認証を行い,更にプロキシから転送先端末1への認証を行う.認証が完了すると,ユーザ端末からサービス開始要求を出し,サービスモビリティプロキシと転送先端末1との間でセッ

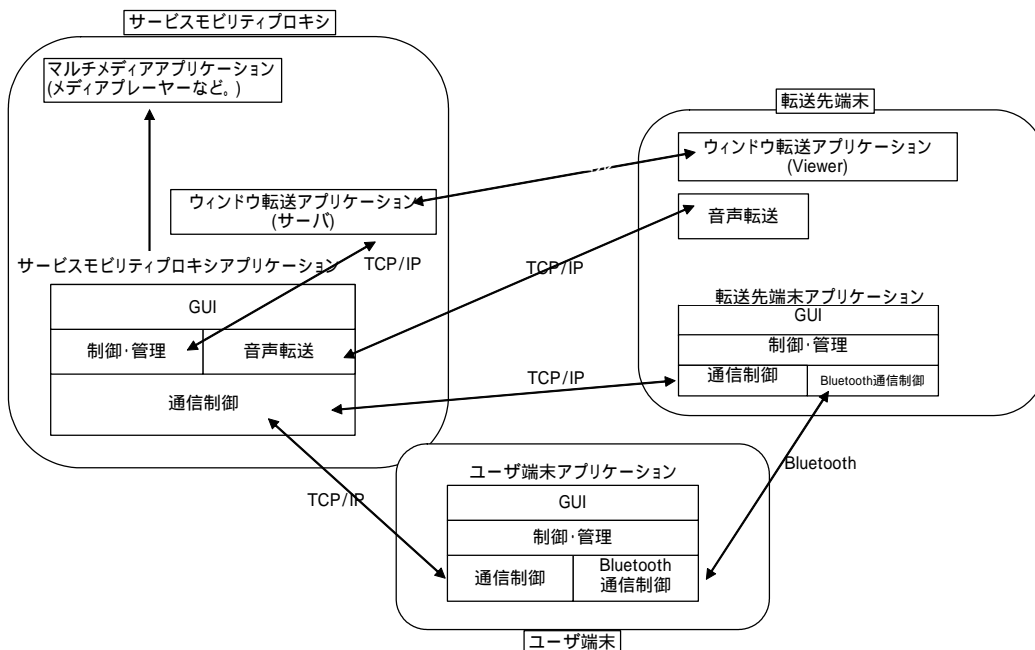


図3 サービスモビリティプロキシと転送機能

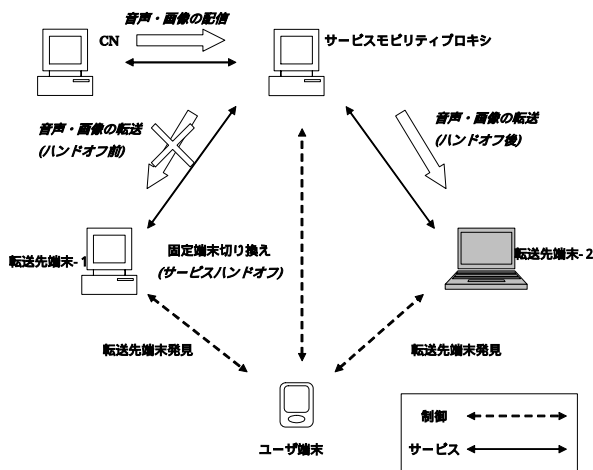


図4 初期の実装概要

セッションを確立し、サービスモビリティプロキシ上でのアプリケーションを転送先端末1も転送を行う。ここで、アプリケーションの実行は、あらかじめ、ユーザ端末とプロキシサーバとの間で登録済みのアプリケーションを選択して実行する。これでサービスが開始されるが、このうち、ユーザの移動によるユーザ端末と転送先端末との距離の変化、ユーザからの要求、或いは通信サービスの必要とする端末性能の変化などが契機となり、転送先端末2へのサービスハンドオフを実行する。この時も同様に、サービスモビリティプロキシから転送先端末2に認証する。認証が完了すると、サービスハンドオフ要求を出し、転送先端末1とのセッションを切断し、転送先端末2とのセッションを開始する。以上のようなシーケンスでサービスハンドオフを行っていく。

本試作システムでは、近隣端末の発見にBluetoothを用い、近隣端末の性能情報取得、認証なども行う。その際の受信強度より、ユーザ端末と転送先端末との間の相対的な距離を推定する。近隣端末が複数発見された場合には、通信するサービスに応じて必要な機能(インターフェース)を持った最適な端末を選択する。それでも複数選択された場合は、ユーザ端末上での手動選択、又はBluetooth通信で推定した距離が近い端末を自動選択する。端末との距離の情報を用いることで、ユーザの移動に伴ったシームレスなサービスハンドオフを実行することが可能なシステムを実装した。

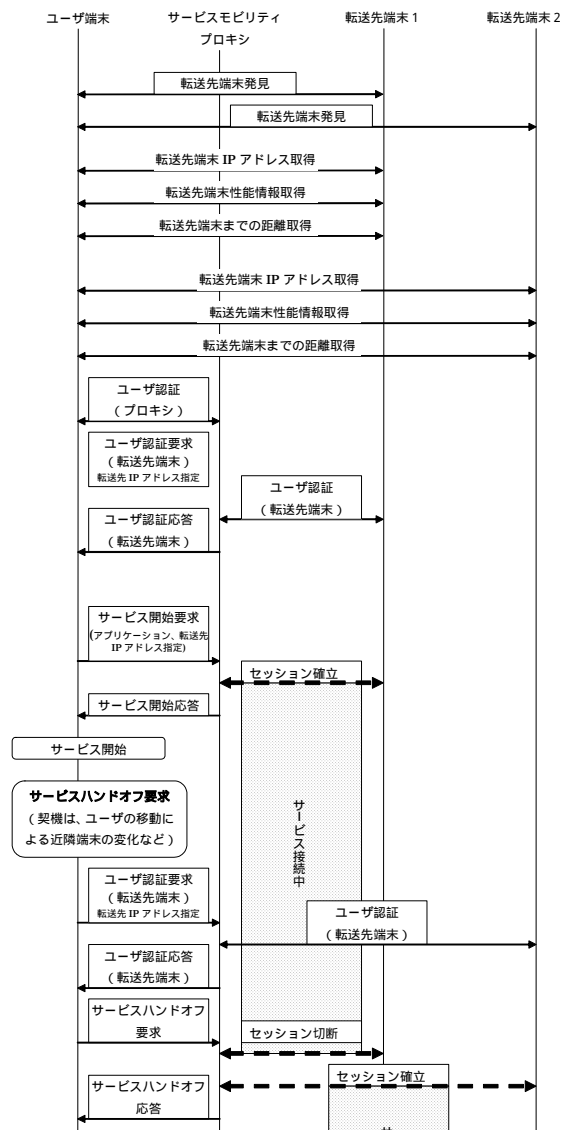


図5 サービスハンドオフシーケンス

## 6. 拡張性

現在のところ、通信帯域が小さくやディスプレイなどのインターフェースが低性能な無線携帯端末への転送に際しての、通信レート変換、画像サイズ変換、或いは画像や音声、表示形式などの変換などは未実装である。今後、無線のような小さな帯域でも通信可能な転送の方式を導入していく。これにより、近隣に利用可能な高性能デバイスが存在しない場合は、携帯端末を用い、存在する場合には、高機能デバイスを用いるシームレスな端末間ハンドオフを実現することが可能となる。

また, 現在の実装では, 一台のユーザ端末あたり, サービスモビリティプロキシを一台としているが, しかしながら, ネットワーク的にプロキシから遠い場所に存在する端末への転送は, 通信可能な帯域が小さく, 大容量通信を利用する高画質転送などが出来なくなってしまう. そこで, 訪問先ネットワーク内にも, サービスモビリティプロキシを配置し, ユーザ端末の場所に依拠して, ネットワーク的に近くに存在するサービスモビリティプロキシを利用可能とすることで, 訪問先でも転送を高性能なまま実現することを可能に出来る.

更に, 本実装では, 転送先デバイスとして PC を用いたが, IP ネットワークに接続可能な PC 以外のデバイスへの転送も可能である. 図 2 に示す受信機能を実装してあれば, デバイスのアーキテクチャに依存しない. そのため, 簡単な設計になった小さなデバイスなども端末間ハンドオフ先として利用可能となる. 今後, そのようなネットワーク接続可能なデバイスも考慮に入れ, ユビキタスコンピューティング環境実現可能なアーキテクチャを検討していく.

## 7. まとめ

本稿では, サービスモビリティプロキシを基盤とするシームレスな異種端末間ハンドオーバーが可能なアーキテクチャを示した. 本システムの特徴は, 既存のあらゆるアプリケーションを実行可能であるという点である. サービスモビリティプロキシ上に利用したいアプリケーションをインストールしておき, ユーザ端末に制御と位置同定のための機能, 転送先の端末にはサービスモビリティプロキシからの転送を受信する機能を実装すれば, 既存 OS にも手を加える必要は無い. また, 転送先のプロキシからの受信アプリケーションさえ準備出来れば, 転送先の端末はどのようなものでも構わない. すなわち, 本来のユビキタスコンピューティング環境実現のための小さなデバイスや簡単な機能しか持たないデバイスへのハンドオフも可能である. また, 本アーキテクチャでは, 必ずサービスモビリティプロキシを介するため, 端末やユーザの管理が容易であり, 即ち, セキュリティにも強い構成を実現することが可能である. 本実装では, Bluetooth を用いた近隣デバイス発見を導入したが, 発見のための遅延がより小さく, 位置検出精度もより高いシステムを用いる方法も現在検討中である.

## 参考文献

- [1] M. Stemm and R. H. Katz, "Vertical Handoffs in Wireless Overlay Networks," *Mobile Networks and Applications*, Vol. 3, No. 4, pp. 335-350, 1998.
- [2] 片山穰, 高杉耕一, 久保田稔, 小菊一三, "異種ネットワーク間におけるサービスの連続性の実現方式," *電子情報通信学会論文誌*, Vol. J84-B, No. 3, pp. 452-460, 2001.
- [3] M. Inoue, K. Mahmud, H. Murakami and M. Hasegawa, "MIRAI: A Solution to Seamless Access in Heterogeneous Wireless Networks," to appear in *Proc. of ICC, 2003*; G. Wu, M. Mizuno and P. J. M. Havinga, "MIRAI architecture for heterogeneous network," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 40, No. 2, pp. 126-134, 2002.
- [4] T. Hodes and R. H. Katz, "Composable Ad hoc Location-based Services for Heterogeneous Mobile Clients," *ACM Wireless Networks Journal*, Special issue on mobile computing: Selected papers from *MobiCom '97* Vol.5, No.5, 1999.
- [5] 金子晋丈, 森川博之, 青山友紀, 中山雅哉, "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," *電子情報通信学会技術報告*, MoMuC 2002- 8, pp. 45-50, 2002; 金子 晋丈, 河内 佑介, 森川 博之, 青山 友紀, 中山 雅哉, "セッションレイヤにおけるエンドツーエンド型モビリティサポートの実装と評価," *電子情報通信学会技術報告*, MoMuC 2002-9, pp. 51-56, 2002.
- [6] 太田賢, 中川智尋, 磯田佳徳, 杉村利明, "シームレスなサービス実現のための環境適応型モバイル端末アーキテクチャ," *マルチメディア, 分散, 強調とモバイル(DICOO 2001)シンポジウム*, pp. 301-306, 2001
- [7] B. Brumitt, B. Meyers, J. Krumm, A. Kern and S. Shafer, "EasyLiving: Technologies for Intelligent Environment," *Handheld and Ubiquitous Computing*, pp. 12-29, 2000.
- [8] M. Roussopoulos, P. Maniatis, E. Swierk, K. Lai, G. Appenzeller and M. Baker, "Person-Level Routing in the Mobile People Architecture," *Proc. of USITS'99: The 2nd USENIX Symposium on Internet Technologies & Systems*, 1999.

- [9] B. Raman, R.H. Katz and A. D. Joseph, "Universal Inbox: Providing Extensible Personal Mobility and Service Mobility in an Integrated Communication Network," Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMSCA'00), 2000.
- [10] D. A. Maltz and P. Bhagwat, "MSOCKS: An architecture for Transport Layer Mobility," INFOCOM, pp. 1037-1045, 1998.
- [11] C. E. Perkins, IP Mobility Support, RFC2002, 1996.