

早稲田大学大学院情報生産システム研究科

博士論文概要

論文題目

ユビキタスサービス実現に向けたスケーラブルな
モバイルネットワークアーキテクチャの研究

**Research on Scalable Mobile-Network Architecture
for Ubiquitous Services Realization**

申請者

小川 猛志

Takeshi Ogawa

情報生産システム工学専攻
知能化ネットワーク研究

2006 年 11 月

第1章 序論

近年、情報家電やセンサなどIP通信端末の多様化、また、携帯(3G)に加え様々な公衆無線LAN/MANの登場など無線メディアの多様化が進展しつつある。また128ビットのアドレスを使用可能なIPv6関連の標準化が進み、膨大な数の端末をIPネットワークに接続する基本技術がそろいつつある。それに伴い、多様かつ多数の移動端末が様々な無線メディアを使い分けて、いつでもどこでもIPネットワークに接続可能なネットワークサービス(ユビキタスネットワークサービス)への期待が高まっている。また、現在のIP通信は、ヒト対ヒトまたはヒト対モノ(サーバ)との通信が主流であるが、今後はモノ対モノの通信に拡大すると思われる。既に、主にヒトが操作する携帯電話、PC、PDA等の端末に加え、ヒトの持ち歩くAV機器、ゲーム機、腕時計、各種カード、家庭内のAV機器、家電、さらには、街角の各種センサ・インターネットカメラなどの様々なモノが通信手段を持ち始め、これら移動端末間の連携による高機能なサービスの創出が期待されている。このため、ユビキタスネットワークにおいては、最大で人口の数10倍の移動端末をIPネットワークに接続するニーズが発生すると考えている。移動端末数の増大は徐々に進行すると考えられるため、段階的な規模の拡大を考慮して経済的にユビキタスネットワークを構成するアーキテクチャ(以下スケーラブルアーキテクチャ)が必要である。

ユビキタスサービスを実現するネットワーク技術としては、無線メディアに独立でかつIPより上位のレイヤに対しては移動を隠蔽可能なIPモビリティ技術の適用が望ましい。IPモビリティ技術は、マクロモビリティ技術と、シームレス・ハンドオーバー技術で構成し、両者の組み合わせによりシームレスなIP通信サービスを実現するが、スケーラブルアーキテクチャの検討は従来十分なされていない。

そこで、本論文ではスケーラブルなユビキタスサービスの実現を目的とし、第一に、マクロモビリティ技術で網内に集約配備し端末の位置、認証情報、サービス情報などのプロファイルの管理を行う移動管理データベースに着目する。收容端末数が増加し1つのデータベースに收容できなくなると複数のデータベースに分割が必要になるが、分割数が増大すると既存の技術では分割によるオーバーヘッドが増加し、必要なデータベース数が発散する問題がある(課題1)。そこで、今後の需要変動を考慮し30億端末以上の收容を目標に設定し、スケーラブルに移動管理データベースを構成可能とする新たなデータベース検索方法を提案した。本技術については、数値計算により評価を行い、その有効性を示している。

第二に、既存のシームレス・ハンドオーバー技術では端末が接続するリンク内のルータ(アクセスルータ)にハンドオーバーを実現するための機能が配備されることになる。しかし、この方法では、管理すべきアクセスルータの数が膨大となり現実的でない。この問題を解決するためのハンドオーバー機能の配備方法とその実現技術を明確にする。従来技術では、收容する端末数によらず、サービスエリア内の全アクセスルータに機能配備が必要なため、サービス開始時のコスト及び機能追加時のコストが大きく、サービス導入を妨げる可能性がある(課題2)。そこで本論文ではシームレス・ハンドオーバー機能をネットワーク内の集約装置に配備することで初期コスト及び維持コストを削減し、また従来技術のプロトコル上の課題を解決する新たなシームレス・ハンドオーバー技術を提案している。また、Linux OS上に開発したプロトタイプにより、本技術の有効性を示すことにより、本技術が、今後のユビキタスネットワークサービスの中核技術として利用可能な実用的技術であることを明ら

かにする。以下、各章ごとにその概要を述べる。

第2章 IPモビリティ技術の課題

ここでは、IPモビリティ技術を構成する従来のマクロモビリティ技術及びシームレス・ハンドオーバー技術の到達点と、スケーラビリティ上の課題を示す。

マクロモビリティ技術とは、移動端末がネットワークへの接続点を変更時に、移動端末と通信相手端末間の通信の継続をネットワークがサポートする技術である。具体的なプロトコルとしては、モバイルIP、LIN6(Location Independent Networking for IPv6)、(以上IPレイヤでのモビリティ技術)、SIP(Session Initiation Protocol)モビリティ(セッション層でのモビリティ技術)等が該当する。いずれも、ネットワーク内に、移動端末の識別子と移動先のIPアドレスなどのプロファイルとの対応を管理するサーバ(以下移動管理サーバ)を配備する点が特徴である。同サーバにより、端末が移動時に、移動端末とその通信相手端末間のIPパケットを移動先に転送し、通信相手端末に対する移動端末の動的なアドレス解決を実施する等の機能により、端末が移動時の通信の継続をサポートする。リアルタイム性及び性能を考慮するとそれらプロファイルを管理するデータベース(以下DB)は、主記憶装置内にデータを格納するインメモリDBの適用が望ましいが、現状の市販ハードの適用を考慮すると、メモリ(主記憶装置)容量及びプロセッサ性能の制限からDBの分割が必要である。DBの分割に当たっては、移動管理サーバのアドレスを、他装置に対して論理的に一つとし、移動管理サーバの内部構造を外部から隠蔽することが望ましい。ところが、従来の技術を適用すると収容端末が増大するにつれてDB分割によるオーバーヘッドが増加し、必要なDB数が発散する問題がある。このため、必要なDB数を収容端末数に応じてほぼ線形に構築可能とするスケーラブルな構成方法が課題である(課題1)。

シームレス・ハンドオーバー技術とは、移動端末がネットワークとの接続点を変更時の、通信断時間及びパケット紛失数を削減するための技術である。具体的なプロトコルとしては、FMIP(Fast Handovers for Mobile IP)、高速ルータ広告手順等が提案されている。いずれも、移動端末が接続するリンク上のルータ(アクセスルータ)と、移動端末間のIPレイヤ手順を工夫することにより実現する点が特徴である。このため、ユビキタスネットワークサービスを導入時及び機能追加時に、収容する端末数が少なくても、サービスエリア内の全アクセスルータに対応機能を配備する必要があり、サービス開始を妨げる可能性がある。このため、ネットワーク上の特定の装置のみに機能を配備することによりシームレス・ハンドオーバーを実現する技術を明らかにする必要がある(課題2)。

第3章 スケーラブルな移動管理サーバを実現する分散DBアクセス方法

ここでは、課題1に関し、リアルタイム性を要求される分散データベースについて、分散化のために必要なオーバーヘッドを削減し、分散データベースを構成する装置数を最小化するスケーラブルな分散データベース検索方式を明らかにする。具体的には、データベース(DB)へのアクセス頻度はアクセス数順位の負の冪乗(トラフィックに依存する定数)にほぼ比例する(Zipf's row)という特徴を利用する。すなわち、アクセス頻度の高いデータの検索は必要なプロセッサ性能が少ない検索手法を適用し、アクセス頻度の低いデータの検索は必要なメモリサイズが少ない検索手法を適用するハイブリッド形方式とし、それぞれの検索方法を切り替える順位(切替値)を調整することで、全体で必要なプロセッサ性能とメモリ容量の比率を調整

可能とする方法を提案している。さらに、アクセス頻度の偏り、収容端末数、適用可能な装置あたりのプロセッサ性能とメモリ容量等の条件に対して、必要な装置数を最小化する切替値を決定する計算式を導出、現状の一般的な市販サーバのハードウェアスペックを想定した数値計算の結果、既存方式に比べ約7倍のスケーラビリティまで収容可能であることを示している。

従来のリアルタイム分散データベース検索方式では、現状の一般的な市販サーバスペックを前提とすると、1システムあたり約10億端末以上収容すると、必要な装置数が無限大に発散し、目標とする30億端末までスケーラブルに収容することが出来ない。これに対し、筆者の提案方式は、約70億端末まで、収容端末数にほぼ比例した装置数でシステムを構築可能であり、スケーラビリティの観点で世界初の提案である。本方式はマクロモビリティ技術の種類には依存せず適用可能な技術であり、今後のユビキタスサービスの経済的な実現に有効に働くものと考えている。さらには、移動管理サーバに限らず、主記憶容量による制限とプロセッサ処理容量による制限が発生しうるリアルタイムデータベース構築時には幅広く応用が可能な技術である。

第4章 サーバベース・シームレス・ハンドオーバー技術

ここでは、課題2に関し、ユビキタスサービスの導入の容易化とその後の維持管理コストの低減を実現するサーバベースのシームレス・ハンドオーバー技術を明らかにする。具体的には、従来シームレス・ハンドオーバー実現のためにはアクセスルータへの機能追加が必要とされていたが、複数のアクセスルータで共有して使用可能なDHCP(Dynamic Host Configuration Protocol)サーバと移動管理サーバへ配備する機能配備案と、それを実現する新たなプロトコルを提案し、アクセスルータやレイヤ2設備への機能追加をせずに、シームレス・ハンドオーバーの実現が可能であることを世界で初めて明らかにしている。さらに、従来のアクセスルータベースの代表的なシームレス・ハンドオーバー方式であるFMIPの残課題(無線メディア再接続処理時間の短縮方法、ハンドオーバー信号の認証方法など)を示し、それらを解決する方法を示す。さらに、Linux OSの端末及びDHCPv6サーバ上に提案方式を実装し、無改造の市販ルータ及び無線LAN設備と組み合わせて評価し、本技術の有効性を明にしている。

従来のシームレス・ハンドオーバー方式では、サービスエリア内の移動端末が接続する全リンク内のルータ(アクセスルータ)にシームレス・ハンドオーバー対応機能を配備しまたそれらルータ間でシームレス・ハンドオーバー対応手順の相互接続検証を行う必要があった。これに対し、本提案では、複数のリンクで共有するサーバへ同機能を集約配備しシームレス・ハンドオーバーを実現する世界初の方式である。本方式はマクロモビリティ技術の種類や、無線方式に依存せず適用可能な技術であり、ユビキタスサービスを広域で経済的に実現する上で有効に働くものと考えている。なお、本方式については、IETFで標準化に向けて提案中である。

第5章 結論

ここでは、前章までで示した、ユビキタスサービスをスケーラブルに実現するために必要な、リアルタイムデータベース分散検索技術と、サーバベース・シームレス・ハンドオーバー技術の2つの提案内容とその評価結果を総括する。さらに、本研究がユビキタスサービスの実用化に果たす役割を述べる。