

無線 LAN で構築した WoIP システムのハンドオーバー時間に関する一検討

田嶋 克行[†] 蓑田 佑紀 梶原 亮 塚本 勝俊 小牧 省三

[†] 大阪大学大学院 工学研究科 電気電子情報工学専攻

〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1

E-mail: [†] tajima@roms.comm.eng.osaka-u.ac.jp

あらまし 本稿では、L2-VPN 技術の一つである SoftEther を用いて IP ネットワークを拡張することで、ユーザが必要とする場所で自由に WoIP (Wireless service over IP networks) 内線システムを構築できることを示し、その際の通話品質とハンドオーバー時間の測定結果を報告する。

キーワード WoIP, VoIP, ハンドオーバー, SoftEther

A Consideration on Handover Delay for Wireless service over IP Networks using Wireless LAN

Katsuyuki TAJIMA[†], Yuki MINODA, Ryo KAJIWARA, Katsutoshi TSUKAMOTO, and Shozo KOMAKI,

[†] Department of Electrical, Electronic and Information Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka University

Yamada-oka 2-1, Suita, Osaka, 565-0871 Japan

E-mail: [†] tajima@roms.comm.eng.osaka-u.ac.jp

Abstract This paper proposes the extension of the WoIP system by using SoftEther which is one of the L2-VPN techniques. This extension can emphasize the flexibilities of the WoIP system in any IP accessible area. In this paper, some experimental results in MOS for voice quality and handover delay show the availabilities of the extended WoIP system.

Keyword WoIP, VoIP, Handover, SoftEther

1. まえがき

有線系 IP ネットワークと無線サービスネットワークの IP 統合を我々は WoIP (Wireless service over IP networks) と呼んでいる [1]。携帯電話などの現在の移動通信は、レイヤ概念では、移動通信網の部分をレイヤ 1 である物理レイヤと捉え、その上にレイヤ 3 に位置する IP 網やレイヤ 4 の TCP サービスを構築しており、移動通信網は、ネットワークと呼ぶよりは携帯端末とゲートウェイのポイント-ポイント間を結ぶ物理的なリンクとして動作している。一方、WoIP はワイヤレスをレイヤ 7 に相当するアプリケーションサービスであると捉え、レイヤ 3 に位置する IP 網の上にこれらのワイヤレスサービスが構築されていると考えている。IP 網上に種々多様な無線サービスを構築することで、サービスエリア展開や異種無線サービス間の相互接続、また、全世界と相互接続できるといった点

で効果が高く、様々な形態で利用するユーザの利便性に大きく寄与できる。

VoIP (Voice over IP) 技術を利用すると、WoIP 内線システムを構築することができる。WoIP 内線システムでは有線系の VoIP サービスの利点に加えて、基地局-端末間が無線区域となることで、拡張性に優れ、可搬性にも優れるようになり、ユーザは自由に移動しながら通話を行うことができる。

本大学構内では、WoIP 内線システムの一つとして、1.9GHz 帯の電波を使用し、通信事業者の提供する公衆サービス以外にあらかじめ割り当てられている自営系の無線チャネルを用いて構内内線通信システムを構築できる PHS (Personal Handy Phone) において、基地局装置同士を LAN を介して接続する LAN 接続型構内 PHS システムを用いた、PHS over IP システム [2]-[4] が運用されている。さらに、一つのサブネット内で、端末と AP (Access Point) 間に IEEE802.11b 準拠の無線 LAN を

使用した無線LAN-IP電話システム[5]も運用されている。両システムでは、音声通話はVoIP技術を使用し、IPネットワークをバックボーンネットワークとして利用するので、IPアドレスによって基地局を管理でき、構内におけるサービスエリアの拡大が容易であるといった特徴がある。

しかし、WoIP内線システムでは、音声トラフィックとデータトラフィックが同じIPパケットとして優先制御なしに転送されるため、データトラフィック量が増加すると音声トラフィックに遅延が生じる可能性がある。また、無線区間での電波強度の低下や他の電波からの干渉などによっても品質低下が生じる。特に、ユーザが移動しながら通話を行う際に生じるハンドオーバーは通話品質を大きく劣化させる可能性がある[6][7]。ハンドオーバー時間は、音声トラフィックとデータトラフィックがQoS (Quality of Service) 機能を持たない同一基地局に集中した場合増加する恐れがある。さらに、無線LAN-IP電話が異なるサブネット間でハンドオーバーを行うとき、移動先でDHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) によるIPアドレス再取得が必要となり、これもハンドオーバー時間を増加させる大きな要因となる。

本研究で使用している無線LAN-IP電話は、端末に固定のアドレスが割り当てられていることから異なるサブネット間でのハンドオーバーにはそのままでは対応できない。そこで、本報告では、L2-VPN (Virtual Private Network) 技術の一つであるSoftEtherを用いて、L2トンネリング通信を行い、WoIPの本来の利点である、ユーザが必要とする場所で自由に無線アクセス環境を構築できるという大きな特長を損なわずにサブネット間でのハンドオーバーを実現することを提案する。これにより異なるサブネット間でのハンドオーバー時間の短縮も期待できる。

本報告では、まず、WoIP内線システムにおいて、LAN接続型構内PHSシステムと無線LAN-IP電話システムを用いて、様々なネットワークの状況下におけるハンドオーバー時間と通話品質の測定結果を示し、評価を加え、次に、SoftEtherを用いたWoIP内線システムの異なるサブネットへの拡張の実証実験結果とそこでのハンドオーバー時間と通話品質の測定結果を報告する。

2. WoIP内線システムのハンドオーバー時間と通話品質

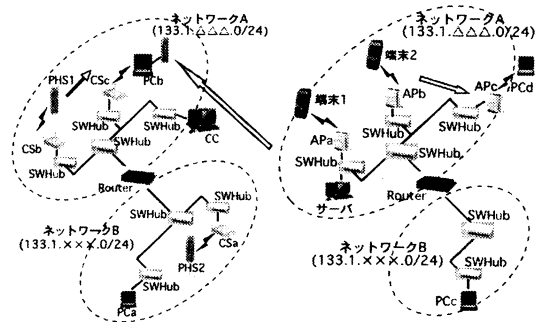
2.1. WoIP内線システム

図1に実験構成を示す。

LAN接続型構内PHSシステムは基地局制御装置 (CC: Call Control station)、基地局装置 (CS: Cell Station) からなり、それぞれスイッチングハブ (SWHub) に接続されている。CCが

CSなどの装置の登録、呼制御、ハンドオーバー制御などを行い、通話はCSを介して行う。端末にはIPアドレスが付与されおらず、CSのIPアドレスを利用して通話を行う。また、ネットワークA、Bがルータによって接続されている。

一方、無線LAN-IP電話システムはサーバ、AP (Access Point) からなる。呼制御はサーバを介して行い、HTTP (Hyper Text Transfer Protocol) をベースにしたHCAP (HTTP-based Conference Application Protocol) が用いられている。AP、端末には固定のIPアドレスが付与され、通話には端末のIPアドレスを用いる。



LAN 接続型構内 PHS システム 無線 LAN-IP 電話システム

図1 実験構成

2.2. 同一サブネット内/異なるサブネット間でのハンドオーバー

本実験では、LAN接続型構内PHSシステムと無線LAN-IP電話システムを用いて、同一サブネット内でハンドオーバーする場合と異なるサブネット間でハンドオーバーする場合のハンドオーバー時間についての評価実験を行った。

LAN接続型構内PHSシステムを利用した測定実験では、2人のユーザがPHS1、PHS2を利用してCSa-CSbを介した通話を行っている状態からPHS1がCSc下に移動し、CSa-CScを介した通話に変更される際のハンドオーバー時間を測定した。ここで、ハンドオーバー時間は、CSbを経由してPHS1に届いていたUDPパケットが、CSc経由に切り替わり再びPHS1に届くまでの時間である。

無線LAN-IP電話システムを利用した測定実験では、2人のユーザが端末1、2を利用してAPa、APb下でAPa-APbを介した通話を行っている状態から端末2がAPc下に移動しAPa-APcを介した通話に変更される際のハンドオーバー時間を測定した。

測定結果を表1に示す。ハンドオーバー時間は測定値の平均

値としている。表 1 から分かるように LAN 接続型構内 PHS システムでは同一サブネット内でのハンドオーバー時間が 0.167[s]、異なるサブネット間でのハンドオーバー時間が 0.181[s] となり、異なるサブネットへハンドオーバーすることによる遅延の増大は非常に小さい。また無線 LAN-IP 電話システムでは同一サブネット内でのハンドオーバー時間は 0.193[s] となり、PHS システムと同等の結果が得られた。なお、先述のように本システムは異なるサブネット間ではハンドオーバーはできない。

通話品質に影響を与えるハンドオーバー時間の目安として、0.2[s]以内なら会話していてもわずかに気がつく程度でほとんど通話品質に影響がなく、0.5[s]以上かかると明らかに音声途切れたことが分かることが知られている。このことより、両システム共にハンドオーバーによる通話品質の劣化は生じないと言える。

表1 同一サブネット内/異なるサブネット間のハンドオーバー時間

	同一サブネット内	異なるサブネット間
LAN接続型構内PHSシステム	0.167[s]	0.181[s]
無線LAN-IP電話システム	0.193[s]	x

2.3. 同一基地局を経由するトラフィック量に対するハンドオーバー時間と通話品質

本実験では、音声通話を行うユーザがハンドオーバーする際に、ハンドオーバー先の基地局下にすでにデータ通信を行う異なるユーザが存在する場合のハンドオーバー時間と通話品質評価実験を行った。

LAN 接続型構内 PHS システムを利用した評価実験では、PCb を 64kbps で CSb と無線接続し、PCb 宛に PCa から UDP パケットを連続的に発生させ、その量を変化させたときのハンドオーバー時間と通話品質を測定した。ハンドオーバー時間については、測定結果の平均値としている。通話品質については CSc 直下で通信している状態での PHS2 の通話品質を MOS (Mean Opinion Score) で評価した。結果を図 2 に示す。

無線 LAN-IP 電話システムを利用した評価実験では、PCd を APc と無線 LAN (IEEE802.11b) を用いて接続した状態で、PCc から PCd 宛に UDP パケットを連続的に発生させ、その量を変化させたときのハンドオーバー時間と通話品質を測定した。結果を図 3 に示す。

図 2 に示すように、LAN 接続型構内 PHS システムでは、同一基地局を経由するトラフィック量が増加してもハンドオーバー時間は 4.5Mbps までは約 0.2[s] とほぼ一定である。トラフィック量が 5Mbps の場合、一度はハンドオーバー時間 0.391[s] で成功

したが、その後は何度試みてもハンドオーバーに失敗し、同時に PCb と CSc との接続も切断されるという状態が続いた。通話品質についてはトラフィック量が 2.5Mbps のときから徐々に悪化していき、6Mbps では通話が切断された。

一方、無線 LAN-IP 電話システムでは、図 3 に示すようにハンドオーバー時間はトラフィック量に関わらず 0.17[s]~0.2[s] の間でほぼ一定であった。トラフィック量が 6.5Mbps 以上の場合は通話は全くできないが、ハンドオーバーは成功し、ハンドオーバー時間も同じく約 0.2[s] であった。30Mbps のトラフィック量を流した場合も同様の結果が得られた。通話品質については、トラフィック量が 0 の場合でも MOS 値は平均で 4.5 程度であり、2Mbps を超えると徐々に低下した。

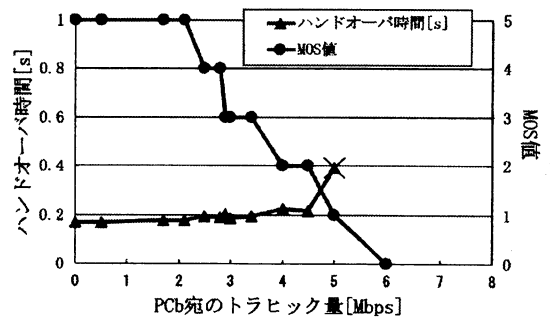


図2 LAN 接続型構内 PHS システムにおけるトラフィック量に対するハンドオーバー時間と MOS 値

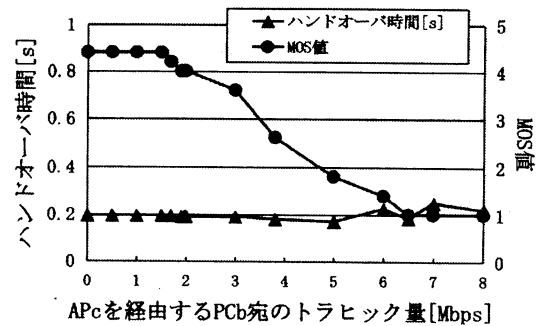


図3 無線 LAN-IP 電話システムにおけるトラフィック量に対するハンドオーバー時間と MOS 値

ところで、IP 電話のトラフィックは圧縮しない場合 1 通話 64kbps で、オーバーヘッドを考慮するとおよそ 100kbps になる。無線 LAN は半二重通信であり、さらにコリジョンやフレーム間ギャップを含めると 1 通話あたり約 300kbps になる。ここで、ユーザ数の増加に伴う CSMA/CA のスループット低

下を無視したラフな見積もりであるが、図3の横軸であるトラフィック量を1通話あたりの所要伝送量300kbpsで除算することで、同時接続数が得られる。その結果、8台まで同時接続しても4以上のMOS値が得られ、それ以上の同時接続数になると品質は低下し、同時接続数が21台になるとMOS値は1になると予想できる。さらにこの検討に、同じAPで、PCが行うデータ通信のトラフィック量を加味して算出した通話可能な同時接続数が図4である。図4はデータ通信によってそれぞれ0Mbps、1Mbps、2Mbps占有されているときの、同時接続数に対して得られる予想MOS値を示している。

1Mbpsのデータ通信が行われている場合、4以上のMOS値が得られる同時接続数は、データ通信を行っていない場合の8台から5台に減少する。さらに2Mbpsの場合には2台になる。

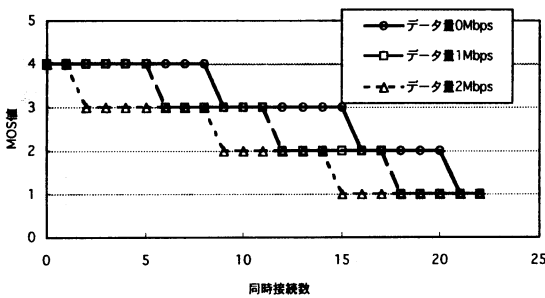


図4 同時接続数に対応するMOS値

3. SoftEtherを用いたVoIP内線システム拡張実験

3.1. 拡張実験概要

本研究で使用している無線LAN-IP電話は、端末に固定のアドレスが割り当てられていることからそのままでは異なるサブネットでは利用することができない。そこで、VPN技術を利用し、移動先の異なるサブネット上に移動元のネットワークと同じ仮想的なネットワークを用意することで、無線LAN-IP電話で、異なるサブネット間でも通話が可能になるようにVoIP内線システムを拡張する。これにより、VoIPの拡張先でのIPアドレス確保の制限を解決でき、例えば、CATV(Cable TV)、ADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line)、FTTH(Fiber To The Home)などのサービスに加入してISP(Internet Services Provider)からDHCPによってIPアドレスを配布されているオフィスやユーザ宅内にVoIP内線システムを容易に拡張することができる。

3.2. VPN技術

VPNは、インターネット上に仮想的な通信トンネルを張り、カプセル化・暗号化されたIPパケットを転送することで、インターネットを一時的な専用線にするという技術である。VPNソフトウェアとしては、PPTP(Point to Point Tunneling Protocol)、L2TP(Layer 2 Tunneling Protocol)/IPSec等が挙げられる。Windowsに標準で付属しているPPTPはGRE(Generic Routing Encapsulation)パケットを使用するが普通のファイアウォールやNATはGREパケットを通さず、L2TP/IPSecを使用するVPNプロトコルも通らないので、PPTPやL2TP/IPSecを利用する場合には、ファイアウォールやNAT(Network Address Translation)の設定を変更する必要が生じ、一般ユーザが自由に変更することは難しい。

そこで、本実験ではVPNソフトウェアの一つであるSoftEther[8]を利用してVPNを構築し、VoIPの拡張を行う。

SoftEtherはLANカードとスイッチングHUBをソフトウェア的にエミュレートすることで従来のEthernetのフレームを仮想的にPC間で送受信する。つまり、仮想HUBと複数の仮想LANカードとの間で、TCP/IPパケットにカプセル化された仮想的なMACフレームパケットを、既存のインターネット接続回線にトンネリングさせて通信を行う。

SoftEtherを用いると、SoftEtherはHTTPS通信を偽装して通信を行うため、ファイアウォールやNATの設定を変更することなく利用することができる。これによって、ユーザが好きな場所で好きなときに、そして安価にワイヤレスサービスを利用できる環境をユーザ自身で構築可能となる。

3.3. システム構成

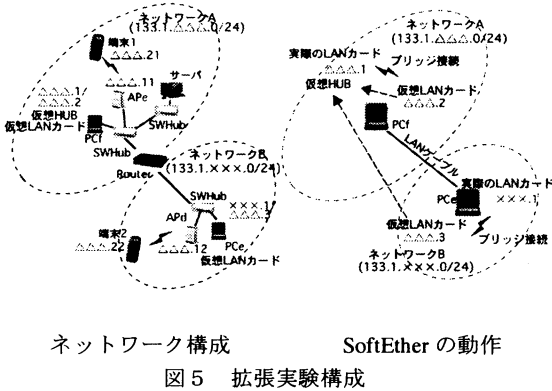
システム構成を図5に示す。

まず、PCfに仮想HUB、仮想LANカードを、PCeに仮想LANカードをインストールする。PCfの実際のLANカードに133.1.△△△.1、仮想LANカードに133.1.△△△.2のIPアドレスを付与し、仮想LANカードを仮想HUBに接続した上で、これら二つのLANカードをブリッジ接続する。この際、OSがブリッジドライバを持っている必要があるため、Windows XP/Windows Server 2003以降のOSが搭載されたPCである必要がある。

次に、PCeの実際のLANカードに133.1.×××.1、仮想LANカードに133.1.△△△.3のIPアドレスを付与し、同様に仮想LANカードを仮想HUBに接続した上でこれら二つのLANカードをブリッジ接続する。これでネットワークB(133.1.×××.0/24)も仮想HUBを介することでネットワークA(133.1.△△△.0/24)であるかのように振る舞うことができる。この

状態で APd (133.1.△△△.12) をネットワーク B に設置することで、ネットワーク A と B それぞれに端末がいる状態で通話を行うことができる。

端末 1 (133.1.△△△.21) から PCf に到達した端末 2 (133.1.△△△.22) 行きのパケットは、PCf では、PCf (133.1.△△△.1) から PCe (133.1.×××.1) 行きのパケットにカプセル化され、PCf から PCe までトンネリング通信で転送される、PCe に到達するとそれらのパケットが取り出され、端末 2 (133.1.△△△.22) 行きのパケットに戻り、端末 2 に送出される。その結果、端末 1 と端末 2 で通話が可能となる。



3.4. 拡張した無線 LAN-IP 電話システムの評価実験

本実験では、SoftEther によって拡張した無線 LAN-IP 電話システムの通話品質とハンドオーバー時間について評価実験を行った。

実験構成を図 6 に示す。

まず、2 人のユーザが端末 1, 2 を利用して APe-APd を介した通話を行っている状態から端末 2 が APf 下に移動し、APe-APf を介した通話に変更される際のハンドオーバー時間を測定した。その後、PCg を APf と無線 LAN (IEEE802.11b) を用いて接続し、PCg 宛に UDP パケットを連続的に発生させ、その量を変化させたときのハンドオーバー時間 (B → A) と通話品質を測定した。通話品質については、APf 直下で通話している状態での端末 2 の通話品質を MOS で評価した。ハンドオーバー時間については、測定結果の平均値としている。

次に、2 人のユーザが端末 1, 2 を利用して APe-APf を介した通話を行っている状態から端末 2 が APd 下に移動し、APe-APd を介した通話に変更される際のハンドオーバー時間を測定した。その後、PCh を APd と無線 LAN (IEEE802.11b) を用いて接続し、PCh 宛に UDP パケットを連続的に発生させ、その量を変化させたときのハン

ドオーバー時間 (A → B) と通話品質を測定した。結果を図 7 に示す。

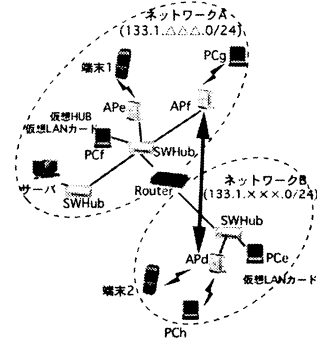


図 6 実験構成

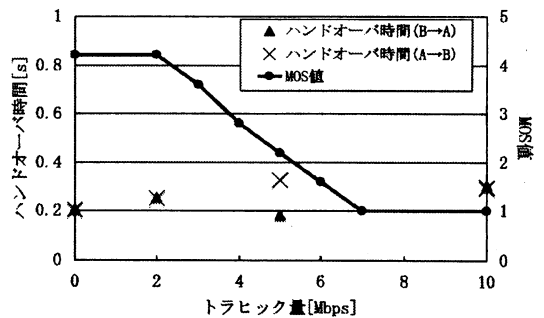


図 7 トラフィック量に対するハンドオーバー時間と MOS 値

図 7 に示すように、通話品質については 2Mps を超えると次第に悪化し、7Mbps 以上では MOS 値が 1 となり、ほとんど会話ができなくなった。ハンドオーバー時間については、測定結果の平均値でみると、トラフィック量に関わらず、ばらつきが多少みられるもののおよそ 0.2[s]~0.3[s] 程度であった。また、図 3 の同一サブネット内でハンドオーバーした際の結果と比較すると、通話品質、ハンドオーバー時間共に SoftEther による劣化はほとんど見られなかった。従って、SoftEther を用いて無線 LAN-IP 電話システムを拡張すると、品質が劣化することなく、また、異なるサブネットへ移る際には DHCP による IP アドレス再割り当てを行う必要もなく、同一サブネット内のハンドオーバーと同等の切り替え時間で、異なるサブネット間でのハンドオーバーを実現できることが分かった。

4. まとめ

本稿では、LAN 接続型構内 PHS システムと無線 LAN-IP

電話システムについてハンドオーバー時間と通話品質の評価を行った。また、L2-VPN 技術である SoftEther を用いて、VoIP 内線システムで用いる IP ネットワークを拡張した。その結果、通話品質、ハンドオーバー時間共に IP ネットワークを拡張したことによる劣化はほとんど見られず、十分良好な品質を得られることが分かった。

謝辞

本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金基盤研究(B)14350202 の補助によるものである。また、本研究を進めるにあたり、実験の補助をしていただいた竹田 晋也氏をはじめ、本学小牧研究室の皆様にご心より感謝申し上げます。

文 献

- [1]小牧省三, 間瀬憲一, 松江英明, 守倉正博, “ワイヤレス IP 電話と電波エージェント,” 無線 LAN とユビキタスネットワーク, 小牧省三 (編), 8 章, 丸善, 東京, 2004 年.
- [2]藤井伸幸, 岡田実, 塚本勝俊, 小牧省三, “LAN 接続型構内 PHS システムを用いた広域構内 PHS ネットワークの構築,” 2000 年電子情報通信学会通信ソサエティ大会, Vol.1, No.B-5-176, p.464, 2000 年 10 月.
- [3]藤井伸幸, 岡田実, 塚本勝俊, 小牧省三, “LAN 接続型構内 PHS を用いた Wireless over IP による広域実験,” 電子情報通信学会技術報告 MoMuC2001, Vol.101, No. 26, pp.25-28, 2001 年 4 月.
- [4]塚本勝俊, 藤井伸幸, 岩田喜一, 小牧省三, “電波のオープン利用 -WoIP 実験-” 情報通信学会研究会, Vol.1, No.1, pp.1-10, 2001 年 4 月.
- [5]N. Miyauchi, “Development of mobile IP phone “Mobile IP Talk”,” IC2004, Oct. 2004.
- [6]高槻芳, “無線 IP 電話をダイナミック・テスト,” 日経コミュニケーション, No.424, pp.32-40, 2004 年 10 月.
- [7]小野亮, “ベテラン SE も驚愕無線 LAN 設計が激変,” 日経コミュニケーション, No.428, pp.48-58, 2004 年 12 月.
- [8] <http://www.softether.com/jp/> (2005 年 4 月現在)