1998年度 (平成10年度) 卒業論文

インターネット電話の番号体系とアドレス変換システムの研究

指導教員
村井 純　　徳田 英幸
楠本 博之　中村 修

慶應義塾大学環境情報学部
79556458
直江 宏一
hirokazu@sfc.wide.ad.jp

1999.2.19

概要

インターネットは、世界規模でのコミュニケーションを可能にする情報インフラストラクチャーである。現在、その利点を活かして様々なサービス、アプリケーションが登場しており、その1つがInternet電話である。しかし、現在のInternet電話システムには、単に電話回線をインターネットに置き換え、低価格な電話サービスを提供するという意識しかなく、さまざまな問題が生じている。インターネット上で実現されるInternet電話が目指すべき姿は、既存の一般公衆回線の電話と計算機上で動作する電話とがインターネットを介して融合し、互いに区別する事なく世界規模でコミュニケーションできる環境にある。

本研究では、Internet電話の目指すべき姿を実現するために、通話相手が世界中どこにいても、通話相手がどのような電話を使っていても、ある一意の電話番号で呼び出すことが可能なInternet電話の電話番号体系の提案と、ITU-T Recommendation E.164に準じた電話番号から対応するIPアドレスへの変換方法の提案を行なった。そして、それらの提案を取り入れたInternet電話システムを実装し、提案の評価・実証を行なった。その結果、提案モデルが現存の同種サービスに対して優位性を持ち、インターネット電話の電話番号体系、及びそのアドレス変換システムとして有用であることがわかった。

Abstruct

The internet is the information infrastructure that enables to communicate in worldwide scale.

Today , there are many kinds of services and applications using the internet advantages. Internet Telephony is also the one.

But today's Internet Telephony System occurs several kinds of problems because of the consciousness that the system will only offer the lower cost telephone sevice by replacing Public Switched Telephone Network with internet.

The goal of the Internet Telephony must be : Both the telephone-system using Public Switched Telephone Network and the telephone-system controled by Computer must combine through the internet so that will make it possible to communicate globally without distinguish each other.

This study proposes two things for Internet Telephony to reach the goal. First one is Internet Telephone Numbering Scheme. This numbering scheme is very useful that it releases us from troubles based on location and telephone types. No matter where the partner lives, no matter what kind of telephone he uses it is possible to call up using one fixed number. The other one is the way to transfer the telephone number in accordance with ITU-T Recommendation E.164 to its IP address.Taking two propositions into consideration ,I implemented Internet Telephony System and evaluated and proved the propositons.

As a result,this model is superior to the preexisting services and proved out that it is useful for Internet Telephone Numbering Scheme and its address translation system.

目 次

表 目 次

図目次

第 1 章

序論

1.1 はじめに

インターネットは、世界規模でのコミュニケーションを可能にする情報インフラストラクチャーとして急激な成長を遂げている。そして、計算機の小型化、高性能化、また通信媒体の高品質化、高速化によって様々な新しいサービス、アプリケーションが登場してきた。その1つがInternet電話である。

Internet電話は、一般公衆電話回線に比べ通信費が安価なインターネットを通信回線に用いることで通話料金を削減できる事を特徴とし、当初はコンピュータ間の音声コミュニケーションソフトとして開発された。それが1995年VocalTec社によって発売されたInternetPhoneであり、その後Microsoft社のNetMeetingを始め、多くのソフトが開発された。一方、インターネットを利用する事で、特に長距離電話の通話料金が削減できるというメリットが注目され、ISP(Internet Service Provider)が自前の専用線を用いて、公専公接続を行ない、PSTN [1]電話同士の通話についても、Internet電話サービスが始まった。日本においては、規制緩和の波を受け、1997年9月1日に国際公専公接続が他の音声サービスに先駆けてInternet電話だけに解禁され、リムネットのリムフォン、千代田産業のテレマトリックスといったInternet電話サービスが始まった。

しかし、通話料金が大幅に削減できるにもかかわらず、全音声通信に占めるInternet電話の利用率はそれほど高くない。通信プロトコルの違いにより異なるアプリケーション間での相互接続ができない、課金・認証方式が未確立であるため異なるITSP(Internet Telephony Service Provider)間でのローミングができない、PSTN電話からPC電話[2]への発信ができない、通話品質が一般の電話に比べ悪いといった問題が普及を妨げる要因として考えられるが、これらのInternet電話が抱える問題の多くは、アプリケーションやサービス提供サイドに、単に電話回線をインターネットに置き換え、低価格な電話サービスを提供するという意識しかないことに起因する。

インターネットは先にも述べたように世界規模の情報インフラストラクチャーであり、その上で実現されるInternet電話が目指すべき姿とは、既存のPSTN電話とPC電話とがインターネットを介して融合し、互いに区別することなく世界規模でコミュニケーションできる環境でなくてはならない。

---

[1] Public Switched Telephone Network : 一般の公衆電話回線

[2] 計算機上で動作する音声コミュニケーションソフト

1.2 研究の目的

研究の最終目標は、Internet 電話の目指すべき姿を実現すること、すなわち、既存の PSTN 電話と PC 電話とがインターネットを介して融合し、互いに区別することなく世界規模でコミュニケーションできる環境を構築することにある。

本研究では、その第 1 ステップとして、通話相手が世界中どこにいても、通話相手が PSTN 電話であっても PC 電話であっても、ある一意の電話番号で呼び出すことが可能となる Interner 電話用の電話番号体系の提案と全ての電話番号から対応する IP アドレスへの変換方法の提案を行なう。

具体的には、以下の 3 項目に従って研究を行なう。

1. 既存の PSTN 電話の番号体系を踏襲した Internet 電話の電話番号体系の提案
2. 全ての電話番号から IP アドレスへの変換方法の提案
3. 上記 2 点をサポートした Internet 電話システムの実装を行ない、そのシステムを用いて提案した Internet 電話番号体系及びアドレス変換方法の評価を行なう。

1.3 論文の構成

本論文では、まず、第 2 章で本研究で前提となる Internet 電話の概略と問題点を述べ、第 3 章では本研究で提案する 2 つのモデルに関して、その関連研究 ・サービスについて述べる。

第 4 章では、Internet 電話番号の番号体系の提案及び、割り当て方法の提案を行なう。そして、第 5 章では、電話番号から対応する IP アドレスへの変換方法の提案を行なう。

第 6 章、第 7 章では、本研究で提案したモデルを実証するために実装した Internet 電話システムの設計、実装について述べる。第 8 章では、提案モデルの比較評価を行ない、第 9 章で本研究の結論及び今後の課題を述べる。

1.4 定義

本論文での定義は以下の通りとする。

- Internet 電話

  インターネットを利用した全ての電話を示す。

- PC 電話

  計算機上で動作し、Internet Protocol を直接使用可能な電話を示す。具体的には Microsoft 社の NetMeeting、VocalTec 社の IntetnetPhone 等のコンピュータ用 Internet 電話クライアントを示す。

- PSTN(Public Switched Telephone Network) 電話番号

  いわゆる一般公衆電話回線で用いられる電話番号を示す。例えば、日本の東京ならば、+81-3-1234-5678 などと表記される電話番号を示す。

- Internet 電話番号

  Internet 電話で使用される電話番号のうち、相手が世界中どこにいても相手がどのような電話であっても、ある一意の番号で呼び出せることを可能にした電話番号を示す。Internet 電話で使用される電話番号でも、PSTN 電話番号は含まない。

第 2 章

Internet 電話概略

本章では、まず、本研究で前提となる Internet 電話システムの概略について説明する。次に、Internet 電話の利点及び、Internet 電話が抱えている問題点について述べる。

2.1 Internet 電話システム

2.1.1 構成要素

現在、Microsoft 社の NetMeeting、日立 IT(Information Technology) 社の ITS/PHONE 等、多くの有償もしくは無償の Internet 電話システムが開発されているが、一般的に Internet 電話システムは以下の 3 つの要素で説明できる。

- 端末

図 2.1: Internet 電話システムの端末

  人間が直接、通話に使う機器。具体的には一般の電話機や、PC 電話を示す。なお、PC 電話の場合、計算機上に電話に必要なサウンド機能を搭載し、音声データをネットワークに載せるためのネットワークインタフェースを持っている。

- ゲートウェイ

  PSTN とインターネットの中継を行なう機器。PSTN からインターネットへ音声データを転送したり、逆にインターネットから PSTN へ音声データを転送する[1]機能を持つ。

- アドレス変換データベース

  電話番号からダイアルアウトするゲートウェイの IP アドレスへの変換や、通話相手の識別子[2]から、対応する PC 電話の IP アドレスへの変換を行なうデータベース。Internet 電話シ

---

[1] ダイアルアウトと呼ぶ

[2] メールアドレス、名前など

ステムの必須要素とは言えないが、通話が PC 電話間で、なおかつ通話相手の IP アドレスが既知の場合以外は必要となる。

2.1.2 Internet 電話の形態

Internet 電話は端末の形態によって以下の 3 つの分類することができる。

- PC 電話 - PC 電話型

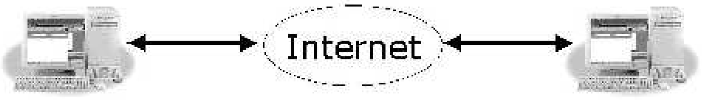

図 2.2: PC 電話 - PC 電話型

これは、両端末が共に PC 電話による Internet 電話である。計算機上に搭載されたサウンド機能を利用し、ネットワークインタフェースから音声パケットを送受信して、通話を行なう。Microsoft 社の NetMeeting、VocalTec 社の InternetPhone などがこれにあたる。

- PC 電話 - PSTN 電話型

図 2.3: PC 電話 - PSTN 電話型

これは、端末の片方が PC 電話、もう片方が PSTN 電話による Internet 電話である。片側が PSTN 電話なので、間にゲートウェイが置かれインターネットと PSTN との中継を行なう。IDT 社の Net2Phone や、日立 IT 社の ITS/PHONE のように PC 電話から PSTN 電話へ発信する形態はあるが、逆に PSTN 電話から PC 電話へ発信する形態は、通話相手の指定が困難なため日立製作所の Talkware 以外には、あまり存在しない。

- PSTN 電話 - PSTN 電話型

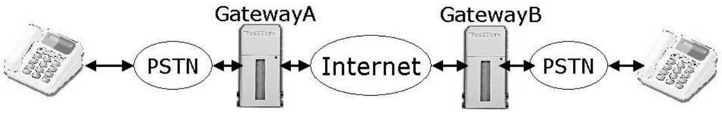

図 2.4: PSTN 電話 - PSTN 電話型

これは、両端末が共に PSTN 電話による Internet 電話である。端末が IP を利用できないので、間に 2 台のゲートウェイが置かれる。PSTN 電話の音声をゲートウェイ A が音声データに変換、IP パケット化し、ダイアルアウトするゲートウェイ B へ送信する。ゲートウェ

イ B は受け取った IP パケットを音声化し、PSTN 電話へ送る。日立 IT 社の ITS/PHONE などがこれにあたる。

2.1.3 製品・サービス

Internet 電話の主なシステム、日本の商用サービスを 表 2.1、表 2.2にまとめた。

表 2.1: Internet 電話の製品一覧

製品名	開発会社・開発者	形態	対応 OS
Internetphone	Vocaltec	PC 電話-PC 電話	Windows/Macintosh
Intel Internet Phone	Intel	PC 電話-PC 電話	Windows
CoolTalk	Netscape Communications	PC 電話-PC 電話	Windows
NetMeeting	Microsoft	PC 電話-PC 電話	Windows
TeleVox	Voxware	PC 電話-PC 電話	Windows
WebPhone	Netspeak	PC 電話-PC 電話	Windows
WebTalk	Quarterdeck	PC 電話-PC 電話	Windows
DigiPhone	Third Planet Publishing	PC 電話-PC 電話	Windows/Macintosh
FreeTel	FreeTel Communications	PC 電話-PC 電話	Windows
CU-SeeMe	White Pine Software	PC 電話-PC 電話	Windows/Macintosh
PowWow	TRIBAL VOICE	PC 電話-PC 電話	Windows
IRIS Phone	IRIS Systems	PC 電話-PC 電話	Windows
SpeakFreely	John Walker	PC 電話-PC 電話	UNIX/Windows
ETHERNET PHONE	Murtaza Amiji	PC 電話-PC 電話	UNIX
VAT	LBNL	PC 電話-PC 電話	UNIX
Net2Phone	IDT	PC 電話-PSTN 電話	Windows/Macintosh
NetiPhone	NetiPhone	PC 電話-PSTN 電話	Windows
ITS/PHONE	日立 InformationTechnology	PC 電話-PSTN 電話、PSTN 電話-PSTN 電話	Windows
Cisco3600 音声・FAX NetworkModule	Cisco Systems	PC 電話-PSTN 電話、PSTN 電話-PSTN 電話	ルータとして機能

2.2 Internet 電話の利点

本節では、Internet 電話に関してサービス提供者、サービス利用者それぞれのメリットを挙げる。

2.2.1 サービス提供者のメリット

現在、多くの ISP(Internet Service Provider) がインターネットへの接続サービスを行なっている。Internet 電話を利用すれば、ISP は自前の回線を使用して格安の長距離電話サービスを消費

表 2.2: 日本の Internet 電話の商用サービス一覧

サービス名	サービス提供会社
RimPhone	リムネット
AT&T@phone	AT&T
テレマトリックス	千代田産業株式会社
スーパーエコノミーフォン	KDD
スーパーテレコム	株式会社エナジースーパーテレコム

者に提供できる。特に、インターネット利用のトラフィックは夜間に集中することが多く、電話サービスにより昼間の回線を有効活用できる。

2.2.2 サービス利用者のメリット

通信の中間部分で通信コストが安価なインターネットを経由するので、通信コストを削減できる。PC 電話-PC 電話型の場合、通信コストは ISP のアクセスポイントまでの電話料金で済む。また、PSTN 電話-PSTN 電話型の場合、通話が長距離であればあるほど、通信コストの削減効果は顕著である。

また、企業によっては、事業所内に LAN(Local Area Network) を持ち、各事業所間に自前のデータ系ネットワークを持っていることが多い。LAN に接続されている計算機はサウンド機能を搭載していれば、PC 電話として利用可能であり、それらのネットワークを利用して PC 電話による内線電話網を構築すれば、設備コスト、通信コストを削減できる。

2.3 Internet 電話の問題点

前節で Internet 電話の利点を述べたが、現状ではこのような利点があるにも関わらず、全音声通信に占める Internet 電話の利用率はそれほど高くない。本節では Interner 電話の普及を阻害している要因とその解決の糸口を述べる。

2.3.1 通信プロトコルの問題

1995 年に VocalTec 社の InternetPhone が発表されて以来、多くの Internet 電話システムが開発されてきた。インターネット上では音声パケット通信に UDP (User Datagram Protocol)、通信制御パケット通信には TCP(Transmission Control Protocol) を使用するなど、各システムの基本的仕組みに大きな違いはないが、独自の通信プロトコルを用いているために、異なるシステム間での相互接続ができない。従って、利用者は自分と同じシステムを利用している相手にしか通話できない。PC 電話の場合、複数のソフトをインストールし、相手によって使い分けることも可能だが、PC 電話-PSTN 電話型や PSTN 電話-PSTN 電話型の場合、使用するシステムは ITSP によって決められているので、使い分けは不可能である。結果として Internet 電話では、通話料金を削減できるメリットを活かそうとすると、通話相手が限定される。

しかし、こういった問題を解決する動きがないわけではなく、現在では通信プロトコルの標準

化が進められ、Microsoft 社が NetMeeting で採用したこともあり、今のところ、ITU-T[3] Recommendation H.323 Packet Based Multimedia Communication System[1] に標準化される動きにある。

2.3.2 認証 ·課金方法の問題

現在行なわれている Internet 電話の商用サービスは、ITSP 毎の独立したサービスであり、相互乗り入れを考慮していない。従って、利用者は、契約している ITSP のゲートウェイしか利用することができず、結果として同一エリアに ITSP 毎に複数のゲートウェイが設置される、もしくは通話したいエリアに契約している ITSP のゲートウェイがないなどの問題が起き、通話相手が限定される。このように異なる ITSP 間でのローミングサービスが実現されない原因は、前に述べたような通信プロトコルの違いによるものもあるが、それと同時にローミングサービスを実現できる認証 ·課金方法が確立されていないことが挙げられる。

この認証 ·課金方法に必要とされる条件を挙げるとするならば、次の 4 点であろう。

1. ダイアルしてきたユーザーが直接の契約者あるいは提携関係にある ITSP の契約者であるかを瞬時に判断し、認証を行ない、利用可能な ITSP を把握できる。
2. 顧客情報は情報更新の頻度、セキュリティの面から、直接契約している ITSP のみが持つ。
3. 通話にかかったコストが計算でき、ITSP は直接の契約者でなくても利用者に正しく課金できる。
4. 利用者への最終的な請求は、直接契約している ITSP が一括して行なえる。

当然、上の条件を満たす認証 ·課金方法については、以前から研究がされており、その 1 つとして通行証モデル [3] が提案されている。その要旨は次の通りである。

---

[3] International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector : 国際電気通信連合で電気通信に関する規格を定めるセクタ

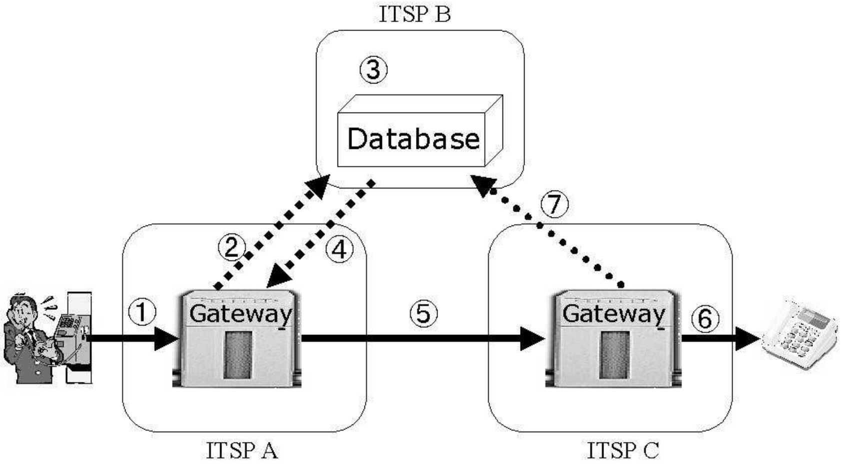

図 2.5: 通行証モデル

まず、図 2.5において、条件として、ITSP A,B,C は提携関係にあり、利用者はITSP B とのみ契約しているとする。

また、利用者の近くには契約しているプロバイダ B の GW がなく、また通信先の近くにもプロバイダ B の GW がないという場合を想定する。

最初に、利用者は身近なITSP A の GW に電話をかけ、数字で構成されたID と PIN[4]を入力する (1)。ID と PIN は、公開鍵暗号などを使った安全な通路を通り、プロバイダ B のデータベースに到着する (2)。ITSP B のデータベースで認証を行い、正しく認証された場合には、ITSP B は自分の秘密鍵を用いて電子署名をした通行証を発行する (3)。この通行証はITSP B の公開鍵でのみ開くことが可能である。つまり、通行証がITSP B の公開鍵で開けられる場合には、これを持った通信は無条件で PSTN へ発信してよいことを保証する。つまり、PSTN への発信にかかったコストは電子署名をした ITSP B が支払いを保証することを表す。なお、この通行証は盗聴などによるリプレイアタックを防ぐために、時刻による有効期限が設定される。

そして、ITSP B が発行した通行証はITSP A に渡り (4)、実際に PSTN へ発信する ITSP C に渡る (5)。ITSP C は、通行証があるので、発信者が不明でも、料金はITSP B に請求すれば良いので、PSTN に向かって電話をかけ、通話を開始する (6)。

通話が終了したら、その通信ログを課金情報として ITSP B に送る (7)。このようにすることで、ITSP C の GW には ID や PIN を渡さずに全てが処理でき、セキュリティーレベルの低下を防ぎつつ、かつ利用者が直接契約していないプロバイダを利用することができる。この場合、各 ITSP の GW、データベースなどのなりすまし等を

---

[4] Personal Identificaion Number。数字だけのパスワード

防ぐためには、それぞれのマシン毎に秘密鍵と公開鍵を用意し、公開鍵暗号による認証を行う必要がある。

確かに、この通行証モデルにより必要とされる課金・認証方法が実現できる。しかし、問題は、提携しているITSPからの通信ログそのものをどの様にして信用するかである。通行証モデルでは、「提携しているITSPは正しいログを送ってくる」ことが前提となっている。しかし、実際にはそれを保証する必要があり、今後はその問題を考えなくてはならない。

2.3.3 通話品質の問題

一般的にInternet電話はPSTN電話に比べて通話品質が劣っていることが多い。その原因として次の2点があげられる。

- 回線品質

  インターネットはBest effortのネットワークであり、信頼性のないコネクションレス型通信でサービスを提供している。従って、IPによって転送されるパケットは失われたり、順序が入れ替わったりすることもあり得る。多くのInternet電話システムは実時間性を保つためにUDPを使って音声データの通信を行なっているので、パケット欠損によって音声が途切れ通話品質が劣化する。

  また、音声パケットの順番が入れ替わったり遅れて届いた場合に、そのまま再生してしまうと通話品質を著しく悪化させるので、あらかじめバッファリングしておき、順番の入れ替わりや到着時間のゆらぎを補正する方法がよく用いられるが、バッファリングの分だけ遅延が発生し、これもまた通話品質が劣化する。Internet電話による研究はあまりされていないが、一般的に電話の場合、会話の様式にもよるが片側の伝搬遅延時間が500msを越えると遅延が気になるという報告[2]がある。

  解決策としては、インターリーブ法と呼ばれるパケットロスによる通話品質の劣化を押えるために、前後の音声データから欠損部分を補間する方法や、同一パケットを複数個送るなど、送信方法を工夫してパケットが落ちてもそれほど通話品質を劣化させない手法も研究されているが、ロス率が高い場合には通話品質の劣化を避けられない。最終的にはResource Reservation Protocol[4][5]などの帯域予約技術に頼ることになる。

- 音声圧縮技術

  一般のPSTN電話では、ITU-T G.711[6]で定義している64kbpsのPCM (Pulse Code Modulation)方式で音声符合化しているのに対し、Internet電話では、少ない帯域での通話を可能にするためにより圧縮率の高い音声符合化技術が用いられている。例えば、ITU-T G.728[7]では、CELP(code-excited linear-predictive)方式が定義されており、16kbpsの帯域のみで、PSTN電話と同等の通話品質が提供できる。また、NetMeetingで使われているITU-T G.723.1[8]では、6.3kbps(高品質)、5.3kbps(低品質)の帯域幅での通話を可能にしている。

  しかし、これらの高圧縮の音声符合化技術は、音声の圧縮、展開に時間がかかり、この遅延が通話品質を劣化させる。また、Internet電話と携帯電話間で通話する場合などは、Internet電話の音声圧縮と携帯電話の音声圧縮が重なることになり、音声の特徴がなくなり通話品質が劣化する。特にCELP系の音声圧縮は、直列に2つ以上並べると通話品質の劣化が顕著である。

2.3.4 通話相手の指定方法の問題

多くの Internet 電話システムは、PSTN 電話から PC 電話への通話は不可能である。それは、数字ボタンしか付いていない PSTN 電話では、PC 電話を指定する手段がないためである。

PC 電話の IP アドレスが固定であれば、「.(ドット)」を「*」に置き換えることで、数字のみで表記されている IP アドレスは、PSTN 電話でも十分表現できる。しかし、一般的によく用いられているダイアルアップや DHCP でアドレス取得した場合、PC 電話に割り当てられる IP アドレスは不定である。従って、PSTN 電話から特定の PC 電話を IP アドレスで呼び出すことは事前に他の方法で IP アドレスを通知してもらわない限り不可能である。

Mircosoft 社の NetMeeting などのような PC 電話間で通話を行なう Internet 電話システムには、特定の識別子 (利用者の名前、メールアドレス等) から IP アドレスへの変換データベースが存在し、ディレクトリサービスを提供しているものもある。従って、IP アドレスが動的に変化したとしても、そのデータベースが全てカバーしてくれるので、特定の識別子により相手を指定できる。しかし、その識別子は数字のみによって表記されたものではないので、そのデータベースをそのまま PSTN 電話から PC 電話へ通話する際に適用することはできない。

これらの問題に対して、IETF(Internet Enginnering Task Force) の E.164 BOF では、電話番号表記方法を定めた ITU-T Recommendation E.164[5][9] に準拠した形で、世界規模で Internet 電話に特定の電話番号を割り当てようという議論がされており、現状では、インターネットに特定の国番号を割り当てる動きにある。なお、この研究は本研究で取り上げているテーマの 1 つであるので、3章の関連研究で詳しく述べる。

---

[5] E.164 の詳しい説明に関しては、4.1.2を参照のこと。なおこれ以降 ITU-T E.164 と記述する。

第 3 章

関連研究 ・サービス

本章では、Internet 電話番号の番号体系や、電話に割り当てられた特定の識別子と IP アドレスとの間でマッピングを行なう手法について、どのような関連研究やサービスが行なわれているのかを述べる。

3.1 TIPHON WG4 による Internet 電話番号体系の提案

TIPHON プロジェクトとは、ヨーロッパの通信標準を決める組織である ETSI(European Telecommunication Standardization Institute) の中で、Internet 電話の標準を作る事を目的とし、テストベッドを開発、実践しながら進められているプロジェクトである。そして、TIPHON Working Group 4 では、Internet 電話を PSTN 電話と同様の方法で呼び出せるようにするために、Internet 電話番号の番号体系を PSTN 電話番号の番号体系として定められている ITU-T E.164[1][9] に準拠する方法が提案されている。

具体的には、Internet 電話番号の電話番号体系に関して、Local Plan、National Plan、Global Plan の 3 つに分けて提案している。

3.1.1 Local Plan

ローカルエリア (国内の特定地域) における Internet 電話番号の提案である。特に、ケーブル会社などがケーブルモデムと Internet 電話システムを用いて電話サービスを提供するモデルを考えている。方法は次の通りである。

- ITSP は、PSTN 電話番号のブロックナンバー[2]を Internet 電話番号として取得する。
- 取得した PSTN 電話番号への通話は、ITSP のゲートウェイへ運ばれるように経路設定してもらう。
- ITSP のアドレス変換データベースが、PSTN 電話番号から実際の IP アドレスへ変換し、ゲートウェイが中継をする。

実際に、このサービスはすでに行なわれており、今後は、利用者が地域を移動しても同じ Internet 電話番号が使えるようにする事が課題として挙げられている。

---

[1] 詳しい説明は、4.1.2を参照。

[2] 1 ブロック当たり 1000 から 10000 の電話番号が割り当て可能。

3.1.2 National Plan

国内でのInternet電話番号の提案であり、方法は次の通りである。

- 国(政府)がインターネットを1つの地域とみなし、NDC(National Destination Code)を割り当てる。
- PSTNは電話番号の先頭がインターネットのNDCであれば、それをInternet電話番号とみなし、適切なゲートウェイへ転送する。

この方法を用いれば、他の国がインターネット用のNDCにいかなる番号を割り当てていようとも気にする必要がなく、既にEupopean Codeが実験に使われている。

3.1.3 Global Plan

世界規模でのInternet電話番号の提案であり、方法は次の通りである。

- ITU[3]がインターネットを1つの国とみなし、インターネットにCC(Country Code)を割り当てる。
- そのCCで始まる電話番号はInternet電話番号を指し示し、PSTNは電話番号の先頭がインターネットを示すCCであれば、それをInternet電話番号とみなし、適切なゲートウェイへ転送する。

この方法を用いれば、世界規模でInternet電話によるローミングが行なえる。

TIPHONプロジェクトでは、このGlobal Planを実現するために、ITUに対して、Internet電話番号の割り当て要求を提出しており、その内容とITUからの回答を以下に述べる。

TIPHONEのInternet電話番号の割り当て要求

1. 電話番号は、簡単に利用でき、簡単にコミュニケーションできるものでなくてはいけない。
2. 電話番号体系は、世界で利用可能な規模でなくてはいけない。
3. 電話番号は、世界規模でユニークでなくてはいけない。
4. 電話番号体系は、サービスプロバイダを変更しても同じ電話番号が使えるようでなければならない。
5. 電話番号体系は、2段階のダイアルを必要としてはいけない。
6. 電話番号体系は、その電話番号がインターネットを示すものであるかを判断でき、適切なゲートウェイへ転送できるものではなくてはいけない。
7. 電話番号体系は、予測される需要に対応できなくてはいけない。
8. 電話番号は、地理的な意味を持ってはいけない。

---

[3] International Telecommunication Union:国際電気通信連合

ITU からの回答

次の 4 点を明確にする必要がある。

1. 管理方法として誰が番号を与えるのか。誰が番号を得られるのか。
2. どのようなデータベースを用いて、経路を決めるのか。
3. どのようにデータベースの認証を行ない、どのようにデータの更新を行なうのか。
4. 3 桁の CC に続く 12 桁の数字は、世界中の全ての人間にユニークな電話番号を与える事ができるが、その全ての電話番号を使ってしまわないことをどのように保証するか ?

3.2 Anne Brown による Internet Telephony Directory Service の 提案

Nortel の Anne Brown 氏は、ITU-T E.164 の電話番号から対応する IP アドレスへの変換方法に関して、ITDSP(Internet Telephony Directory Service) という方法を提案している [10]。その要旨を以下に述べる。

- ITDSP(Internet Telephony Directory Service Provider) は次の 3 つ要素から構成される。
  - ITDSP Servers

    クライアントに ITU-T E.164 の電話番号からそれに対応する情報[4]を返すサーバー。ただし、電話番号の割り当てサービスは行なわない。
  - ITDSP Suppliers

    ITDSP Server に利用者の情報を提供する者を示す。ITSP がこれに相当し、前述の情報を ITDSP Server に提供する。なお提供する情報は、情報へのポインタ[5]でも構わない。
  - ITDSP Consumers

    ITU-T E.164 の番号の問い合わせを ITDSP Server に出すクライアントを示す。
- ITDSP は、ITSP 以外の第 3 者機関により構成され、ITDSP Consumers にはサービスを無償で提供する。その際に、ITDSP Suppliers が求めなければ認証は行なわない。
- ITDSP は、地理的な制約を受けずにサービスを提供できる。つまり第 3 者機関の所在地によってサービスを提供する範囲が限定されない。
- ITDS は、X.500 や LDAP(Light Weighted Access Protol)、DNS(Domain Name System) によって構築[6]し、分散させる。また、ITDSP は、互いの情報に共通のプロトコルでアクセスできるよう設計し、証明書付きの問い合わせであれば、必ず情報を返さなければならない。

---

[4] PC 電話の IP アドレス、ダイアルアウトゲートウェイの IP アドレス、認証情報等の追加の利用者情報を示す。

[5] NAPTR(Naming Authority Pointer) と定義されている。

[6] どれを使うかは提案で規定していない。

- 情報の更新は、認証を行なってから更新する。また、ITDSP Servers 上に置かれる情報は、情報へのポインタでも構わないので、ITSP を変更しても同じ電話番号が使える。

このように ITDS モデルでは、電話番号を単一のドメイン下に割り当てる方法を用いている。しかし、この方法では、PSTN 電話番号から対応するダイアルアウトゲートウェイの IP アドレスへ変換する際に、契約しているしていないに関わらず、その電話番号に対応する全てのゲートウェイのリストを返してしまうので、同一地域に各 ITSP がひしきめあっている場合には、利用できるゲートウェイを何らかの方法で判別しなくてはいけない。しかし、ITDS モデルでは、その点について触れられていない。

3.3 Chinmei Lee による Internet Telephony Home Register と Dynamic Directory Server の提案

Lucent Technologies の Chinmei Lee 氏は、携帯電話などの移動体通信で用いられる方法を応用し、ITU-T E.164 の電話番号と移動する PC 電話の IP アドレスとを正しく対応付ける方法を提案している [11]。その要旨を以下に述べる。

- 移動体通信では、電話機に割り当てられた ID と登録されている基地局とのマッピングを図3.1のように VLR(Visitor Location Register) と HLR(Home Location Register) によって実現している。

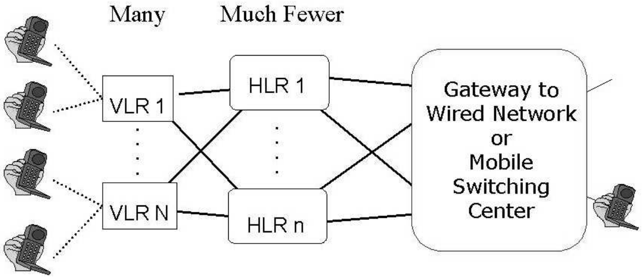

図 3.1: 移動体通信におけるマッピング方法 ([11] より引用)

- まず、電話機は常にある基地局と通信をしており、自分の ID を基地局にある VLR に登録している。HLR は、静的な利用者情報を持ち、また登録されている ID がどの VLR に登録されているかを常に把握している。
- 基地局が変わった場合には、変わった先の基地局にある VLR に ID を登録し、その VLR が HLR にデータ更新要求を行なうので、交換機は、HLR に聞けば電話機が移動しても ID から登録されている VLR を知る事ができ、常に正しい基地局へ転送することができる。

- これと同様の方法を Internet 電話にも適用する。具体的には、図 3.2のようになる。

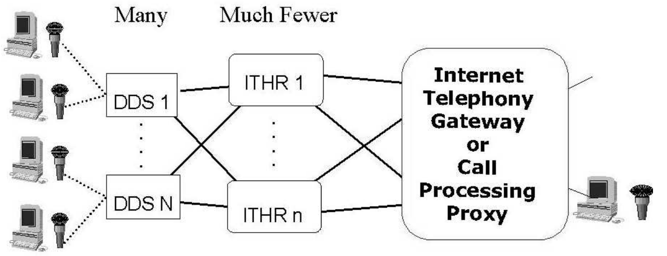

図 3.2: Internet 電話システムへの適用 ([11] より引用)

- まず、PC 電話機は、自分の ID を身近にある DDS(Dynamic Directory Server) に登録する。ITHR(Internet Telephony Home Register) は、静的な利用者情報を持ち、また登録されている ID がどこの DDS に登録されているかを常に把握している。
- PC 電話機が移動し、IP アドレスが変わった場合には、変わった先にある DDS に IP アドレスを登録し、その DDS が ITHR にデータ更新要求を行なう。
- このようにすれば、常に ITHR には、各々の PC 電話機がどこの DDS に登録されているか把握できるので、交換機は、ITHR に聞けば正しい転送先を知る事ができる。

ITHR ・DDS モデルの優れている点は、同じ DDR に所属していれば、PC 電話の IP アドレスが変わっても、ITHR を書き換える必要がない点にある。必要な部分だけの書き換えで済むのでネットワークへ与える負荷が少ないモデルと言える。しかし、このモデルでは、ITHR と DDS の運用主体が定義されていない。移動体通信で用いられる方法の応用なので、おそらく ITHR を各 ITSP が管理し、DDS は ITSP に依存せずネットワーク上に点在するものと思われるが、もしそうならば、DDS から ITHR へのエントリ更新時に認証が必要となる。しかし、その点に関してもこのモデルでは述べられいない。

3.4 Microsoft NetMeeting における Internet Locator Server

Microsoft 社の NetMeeting では、 名前やメールアドレスといった特定の識別子から対応する PC 電話の IP アドレスへの変換サービスを、ILS(Internet Locator Server) というサーバーによって実現している。その特徴は次の通りである。

- ILS は、名前、メールアドレス、地理情報 (国名、地域名) から構成されるユーザー情報とそのユーザーの IP アドレスのマッピングを行なう。
- 複数の ILS のうち、NetMeeting 起動時に選択した ILS にユーザー情報と IP アドレスを通知し、ILS はその情報を保持する。
- 利用者は通話相手の名前やメールアドレスを指定さえすれば、ILS が自動的にデータベースに基づいて IP アドレスに変換してくれるので、相手を呼び出すことができる。

- コンピュータが移動してIPアドレスが変わった場合にも、ILSの情報は簡単に更新できるので、相手にどんなIPアドレスが割り当てられていても名前やメールアドレスで呼び出す事ができる。
- ILSはメモリ常駐型データベースで、LDAPをサポートしている。また、高い規模性、安定性、パフォーマンスを持ち、1サーバーあたり数万人のユーザーに対応でき、1日あたり数百万のqueryを処理できる[14]。
- Distributed Password Authenticationによってユーザー認証を行なうことができる。

ILSは、Microsoft社によって無償で提供されており、世界中で運用されている。しかし、イントラネット内など小規模での運用を想定しており、ILS間での相互参照やデータの分散ができない。従って、利用者は、接続しているILSに登録されているユーザーの情報しか得る事ができないという大きな問題を持っている。

第 4 章

Internet Telephone Numbering Plan

本章では、Internet 電話番号の番号体系に関して、その番号体系の必要条件を挙げ、それらが満たされるような体系を提案する。また、実際の利用者への番号割り当て方法についても提案する。

この提案によって、2.3.4で述べた通話相手の指定方法の問題が解決できるだけでなく、世界規模で人間と Internet 電話番号を 1 対 1 に対応づけることができる。

4.1 番号体系の必要条件

Internet 電話番号の番号体系に必要とされる条件を次に述べる。

4.1.1 数字のみによる表記

2.3.4 でも述べたように PSTN 電話から PC 電話を指定する場合、PSTN 電話には数字ボタンと「#」と「*」しか付いておらず、Microsoft 社の NetMeeting のようにディレクトリサービスが提供されていたとしても、識別子となる名前やメールアドレスといった文字を表現することはできない。ページャのように数字を組み合わせて文字を表現することは可能であるが、利用者への負担が大きい。

また、通話相手がどのような電話を使っているのか意識しなくても呼び出せるような、利用者と 1 対 1 に対応した Internet 電話番号を実現するためには、PSTN 電話から PSTN 電話へインターネットを経由して発呼する場合にも、同様の問題が発生する。

従って、Internet 電話番号は全て数字によって表記されなければならない。

4.1.2 E.164 との協調

Internet 電話を PSTN 電話と同様の方法で呼び出せるようにするには、Internet 電話番号の番号体系が、PSTN 電話の番号体系として定められている ITU-T E.164[9] と名前空間を共有している必要がある。つまり、Internet 電話番号の番号体系は、ITU-T E.164 に準拠しなくてはいけない。ITU-T E.164 の要旨は以下の通りである。

- 国際電話の電話番号を次の 3 つに分類する。
  1. 地理的なエリア用の国際電話番号 (for geographics areas)
  2. グローバルサービス用の国際電話番号 (for global services)

3. ネットワーク用の国際電話番号 (for networks)

- 上記全ての国際電話番号について、桁数は最大で15桁でなくてはいけない。また、サービスに必要な最低限の桁数におさめる。

- 国際電話番号の構造を以下のように規定する。

  1. 地理的なエリア用の国際電話番号は、図4.1のように1~3桁のCC(Country Code)とNDC(National Destination Code)とSN(Subscriber Number)の合計3つのフィールドから構成する。

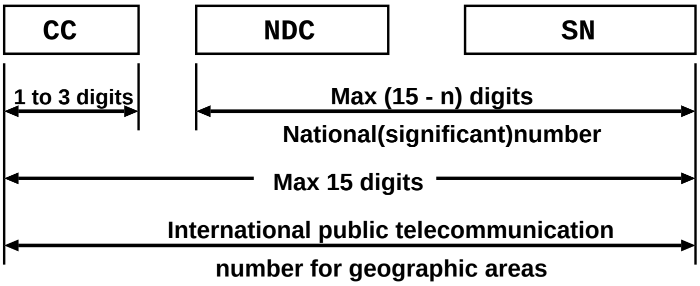

図 4.1: number for geographic areas

CCは、利用者の位置する国を示す。

NDCは、利用者への経路を示すもので、図4.2のようにDN(Destination Network code)とTC(Trunk Code)の両方、もしくはどちらか一方によって構成する。SNは、ネットワークの末端の利用者を識別する。

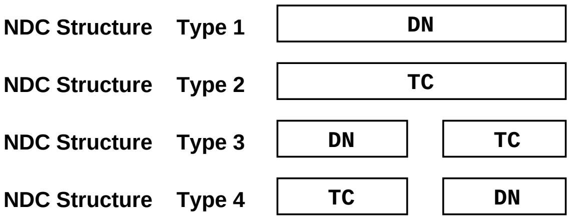

図 4.2: Options for NDC structure

2. グローバルサービス用の国際電話番号は、図 4.3のように 3 桁の CC(Country Code) と GSN(Global Subscriber Number) の合計 2 つのフィールドから構成する。

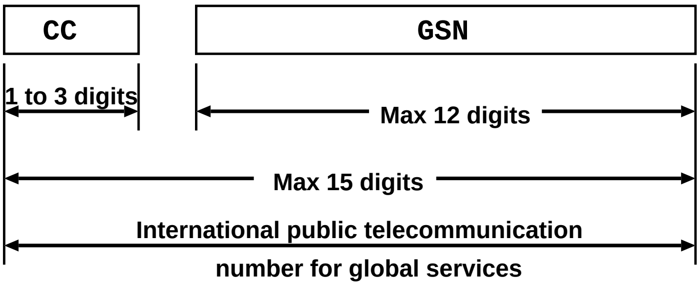

図 4.3: number for global services

   CC は、グローバルサービスを識別するために用いられ、発呼する地域を規定するものではない。

   GSN の構造は E.164 では規定されていない[1]。

3. ネットワーク用の国際電話番号は、図 4.4のように、3 桁の CC(Country Code)、1 ~ 4 桁の IC(Identification Code)、全桁で 15 桁におさまるような SN(Subscriber Number) の合計 3 つのフィールドから構成する。

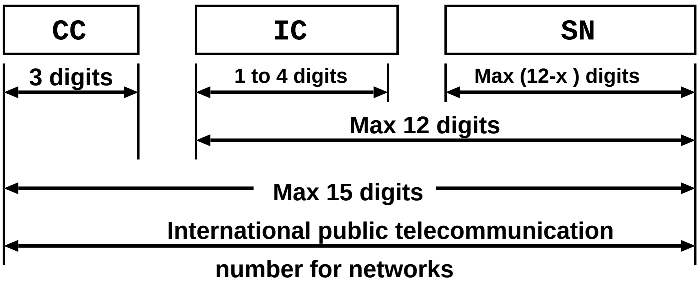

図 4.4: number for networks

   IC と CC を組み合わせてネットワークの識別を行ない、SN でネットワークの末端の利用者の識別を行なう。

4.1.3 世界規模のアドレス空間

Internet 電話番号は、PC 電話だけを指し示すのではなく、既存の PSTN 電話を指し示す場合もある。また、通話媒体を意識しなくとも通話できるように利用者と 1 対 1 に対応できる番号でなくてはならない。従って、Internet 電話番号のアドレス空間は、少なくとも世界の全人口をカバーする必要がある。

---

[1] ITU-T Recommendation E.169 - Application of Recommedation E.164 numbering plan for universal international freephone numbers for international freephone service -で規定されている。

4.1.4 世界規模のデータベース

Internet 電話サービスは、世界規模で行なわれる可能性がある。また、PSTN へのダイアルアウトやインターネットへの接続を提供するのではなく、単に Internet 電話の電話番号から IP アドレスへのアドレス変換だけを無償で行なう ITSP も出現するかもしれない。そのような点を考慮すると、変換データベースは、分散させる必要があるし、ITSP のようなサービス提供者が情報を常に更新できるように個別管理できなくてはいけない。従って、Internet 電話番号の番号体系は、アドレス変換を行なうデータベースが階層構造化、分散化できるようなものでなくてはいけない。

4.1.5 電話機の携帯性

昨今の技術進歩によって、計算機はより小型化・高性能化され、携帯性が高くなっている。従って、計算機上で動作する PC 電話もまた携帯性が高く、PC 電話をどの地域で使うかを制限することはできない。つまり、PC 電話を含む Internet 電話の電話番号には、PSTN の固定電話のように地理的な通信経路情報が盛り込まれた番号体系を適用してはいけない。

4.2 番号体系の提案

前述の 5 つの条件、1. 数字のみによる表記の必要性、2. E.164 との協調性、3. 世界規模のアドレス空間を持てる事、4. 世界規模でのデータベース運用が可能な事、5. 電話機の携帯性に対応できる事 を満たす Internet 電話の番号体系を次のように提案する。

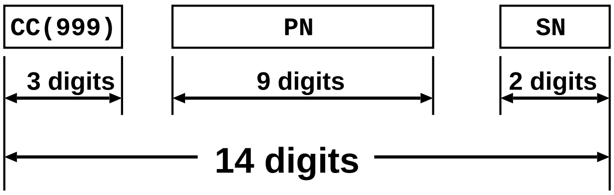

図 4.5: インターネット電話番号の番号構造

- ITU-T E.164 に準拠するために、番号構造は、CC(ountry Code) フィールド、PN(Provider Number) フィールド、SN(Subscriber Number) フィールドの合計 3 つのフィールドから構成し、全体で 14 桁とする。
- インターネットに接続できる人間よって構成されている仮想の国を作り、その国に CC を 1 つ割り当てる。本研究では、現在空いてる番号として、「999」をインターネット国の CC として割り当てた[2]。
- PN は、9 桁の数字で ITSP 毎に割り当てられるプロバイダ識別番号を示す。SN は、2 桁の数字で各 ITSP の利用者識別番号を示す。

---

[2] 番号をいくつにするかは本提案の本質ではない。従って、実際に割り当てを行なう ITU が違う番号にする可能性は十分あるが、それは重要ではない。

- PN フィールドと SN フィールドは合わせて 11 桁あり、1000 億個の識別が行なえるので、世界人口 (推定約 60 億人 1999 年 1 月現在[3]) をカバーでき、利用者と 1 対 1 に対応させる電話番号の数としては十分である。
- PN フィールドは ITSP の識別番号として機能するので、全体として Internet 電話番号の番号体系は ITSP 毎に階層構造化される。従って、管理を各々の ITSP が行なう事で、データベースの階層構造化、分散化が可能である。
- PN フィールドには、PSTN の固定電話の電話番号のように地理的な通信経路情報は含まれていない。また、CC フィールドで「国」を指定しているが、これはインターネットによって形作られた仮想国である。従って、Internet 電話番号は利用者の地域を限定しない。

4.3 番号割り当ての方法の提案

前節で提案した Internet 電話番号の番号体系では、具体的に ITSP にどのような規則で PN を割り当てていくかは示していない。そこで、サービス開始の初期における番号割り当て方法のガイドラインとして、ここでは日本を具体例に挙げながら、1) ITSP への PN(Provider Number) の割り当て、2) 利用者への SN(Subscriber Number) の割り当て の 2 つのステップに分けて、Internet 電話番号の番号割り当て方法を提案する。

4.3.1 ITSP への Provider Number の割り当て

ITSP への PN の割り当ては、現在のドメイン名割り当てのように行なう。つまり、InterNIC もしくはその他の同種機関[4]がドメイン名を割り当てるのと同様に、Internet 電話の場合にも、国際的な機関が ITSP への PN の割り当てを行なう。

ただし、PN は 9 桁あるので、割り当てには以下の方法ととる。

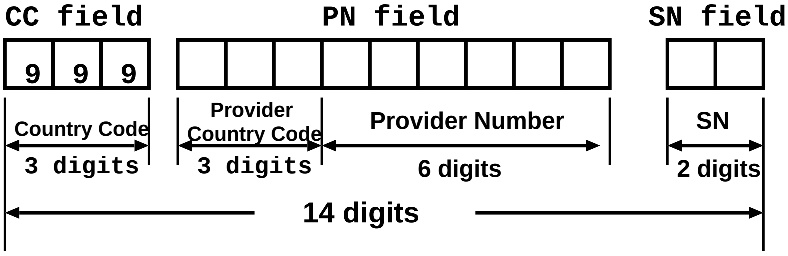

図 4.6: Provider Number の割り当て

- PN の先頭 3 桁には ITSP の所在国の CC を入れる。ただし、「81」は「081」と 3 桁で表記するなど、空いている桁は 0 で埋める。
- PN の取得要求をしてきた ITSP に対して、先着順にその ITSP の利用者数分の SN が確保できるような残りの 6 桁の PN を割り当てる。もし、1 つの ITSP が 100 人より多くの利用者を想定してサービスを始めるのであれば、ITSP には複数の PN を割り当てる。逆に ITSP

---

[3] World POPclock Project[26] より

[4] 日本ならば、JPNIC(Japan Network Information Center)

は100個単位で番号割り当て申請をしなくてはいけない。例えば、日本のあるITSPが、一番最初に10万人規模の利用者を想定してサービスを始めるのであれば、PNは081-000000から081-000999までを割り当て、SNが合計10万個確保できるようにする。

- PNの先頭3桁を除く6桁とSNの2桁では、9千万個の電話番号しか確保できないので、サービスの普及期においては電話番号が足りなくなる可能性がある。その時は、PNの先頭3桁を既に使われていない数字に替えて空間を増やす。アメリカのCC「1」を「001」と表記するので、今までCCとして使えなかった「100」や「010]といった番号も利用可能となり、番号が不足することはない。

  この段階になると、PNの先頭3桁からITSPの所在国を判断することは困難になるが、もともとこのフィールドはITSPの所在国を示すために用いるフィールドではないので、特に問題はない。

- PNの桁数が9桁と多いので、利用者の少ない国では、「0」がいくつも続くような必要以上に長いInternet電話番号が強いられることになるが、実際には、同じ国のITSP利用者への通話ならば、PNの先頭3文字は自国のCCであるので、覚えるのは残りの8桁で済む。また、利用者が多い国の電話番号が長いのは仕方がない。

4.3.2 利用者へのSubscriber Numberの割り当て

利用者へのSN(Subscriber Number)の割り当ては、各ITSPが自由に行なうものとする。

第 5 章

E.164 to IP Address Mapping

本章では、4章で提案したInternet電話番号も含んだITU-T E.164に準拠した電話番号から対応するIPアドレスへの変換方法について、必要とされる条件を挙げ、その実現方法を提案する。

5.1 アドレス変換に必要とされる条件

電話番号から対応するIPアドレスへ変換する際に必要とされる条件を述べる。

5.1.1 データベースの参照性

4章で提案したInternet電話番号は、ある特定の国やITSPのみで有効な電話番号ではなく、世界規模でユニークな識別子となり得る。しかし、Internet電話番号から対応するPC電話のIPアドレスやPSTN電話番号へ変換するデータベースが、特定の者しか参照できなければ、番号の持つメリットは活かされない。従って、このアドレス変換データベースは、世界中のどこからでも、誰からでも参照できなくてはいけない。

一方、PSTN電話番号からダイアルアウトするゲートウェイのIPアドレスへ変換するデータベースは、実際にはその通話に通信費がかかるため、誰からでも参照できる必要はない。逆に、もし契約しているITSPに関係なく対応するゲートウェイのIPアドレスの一覧が全て返ってくるならば、利用者はそのゲートウェイを利用する権利を持つか否かを別の方法で判断しなければならない。

5.1.2 データベースの分散管理と階層構造化

世界規模でサービスを行なうためには、アドレス変換データベースは分散管理できなくてはならない。また、利用者の情報やゲートウェイの情報は、それぞれのITSPの管理下にあるか、もしくは更新が容易な場所になくてはいけない。

加えて、ITU-T E.164に準じた電話番号はサービスプロバイダ毎や地理的な経路毎に階層構造化されているので、それが効率良く管理できるデータベースでなくてはならない。

5.1.3 データベースのデータタイプ

アドレス変換データベース上に必要な情報は、次の3つである。

1. Internet 電話番号に対応した PC 電話の IP アドレス
2. Internet 電話番号に対応した PSTN 電話の電話番号
3. PSTN 電話番号に対応したダイアルアウトゲートウェイの IP アドレス

従って利用できるデータタイプは少なくて良い。

5.1.4 データの動的な更新

PC 電話の携帯性が高く、割り当てられる IP アドレスは固定ではないので、データの動的更新が出来できるようなデータベースでなくてはいけない。

5.1.5 データベースの応答速度

上記の全てのサービスに対して、高速に応答しなくてはいけない。

5.2 アドレス変換方法の提案

前節で挙げた必要条件を満たすために、電話番号から IP アドレスへのアドレス変換は次の方法で行なうことを提案する。

5.2.1 DNS によるアドレス変換データベースの構築

電話番号から IP アドレスへの変換データベースには、DNS(Domain Name System) を用いることとする。インターネットでは、個々のエンティティをドメイン名によって表現し、DNS がそれを物理的な IP アドレスに変換して通信を行なっている。そこで、電話番号から IP アドレスへの変換に関しても、次節 5.2.2で述べる方法を用いて電話番号からドメイン名への変換を行ない、DNS によってドメイン名から IP アドレスへの対応付けを行なう。データベースに DNS を用いる理由は以下の通りである。

- DNS は、インターネット上で、世界中のどこからでも、誰からでも、安定して参照できることが既に確かめられている分散データベースである。
- DNS は、「.(ドット)」で区切ることによって階層構造化されたデータベースが構築できる。また、データベースは各階層毎に分散管理できる。加えて、上位階層から下位階層へデータの委任が行なえるので、各 ITSP 毎に契約者情報を個別管理することもできる。
- DNS には、データタイプとして、ドメイン名に対応した IP アドレスを格納する A レコード、ドメイン名に対応した電話番号を格納できる ISDN レコード、ドメイン名に対応したメールサーバーを優先順位を付けて格納できる MX レコードを持っている。従って、アドレス変換データベースに必要な数のデータタイプを備えている。
- DNS は、比較的シンプルで高速なディレクトリシステムである。X.500 や LDAP(Lightweight Directory Access Protocol) といった他のディレクトリシステムは、DNS に比べて豊富な機能を持っているが、必要とされる機能は DNS でも十分実現できる。特に DNS Dynamic Update[12] によりデータの動的な更新が可能となったので、あえて計算機の負荷が高いディレクトリシステムを用いる必要はない。

5.2.2 TPC.INT 方式によるドメイン名変換

電話番号からドメイン名への変換は、TPC.INT 方式 [15] を採用する。ただし、完全な TPC.INT 方式ではないので、変換方法を以下に説明する。

Internet 電話番号の変換方法

- Internet 電話番号から対応する PC 電話の IP アドレスや PSTN 電話番号へ変換するデータベースは、世界中のどこからでも、誰からでも参照できなくてはいけない。また、Internet 電話番号の番号体系は、ITSP 毎に階層構造化されており、データベースが分散できるように設計されている。そこで、ドメイン空間には e164.int.[1] ドメインを割り当てる[2]。
- 電話番号を全てさかさまにし、1 桁ずつ「.(ドット)」で区切り、末尾に e164.int. を追加する。

  例) +999-123-456789-01 の場合、対応するドメイン名は、

  <u>1.0.9.8.7.6.5.4.3.2.1.9.9.9.e164.int.</u>

  となる。

PSTN 電話番号の変換方法

- PSTN 電話番号からダイアルアウトするゲートウェイの IP アドレスへ変換するデータベースは、実際の通話にダイアルアウト料金がかかるため、誰からでも参照できる必要はない。従って、この電話番号のドメイン空間は、各 ITSP が InterNIC もしくはその同種機関から割り当てられているドメインの下に割り当てる[3]。ただし、各 ITSP がどのようなドメインの下に割り当てるかは規定しない。例えば、ITSP に wide.ad.jp. というドメインが割り当てられていたならば、その下に PSTN 電話用に gw.e164 というドメインを作る。
- 電話番号を全てさかさまにし、1 桁ずつ「.(ドット)」で区切り、末尾に先ほど割り当てたドメインを追加する。

  例) wide.ad.jp. というドメインを割り当てられている ITSP が、+81-3-1234-5678 という PSTN 電話番号に対してドメイン名を割り当てるのであれば、そのドメイン名は、

  <u>8.7.6.5.4.3.2.1.3.1.8.gw.e164.wide.ad.jp.</u>

  となる。

このように、PSTN 電話の電話番号を e164.int. ドメインのような空間ではなく、ITSP それぞれのドメインの下に割り当てた理由として次の点を考慮した。

- e164.int. ドメインの下に割り当てた場合、アドレス変換を行なうと、利用できる ITSP に関係なく PSTN 電話番号に対応した全てのダイアルアウトゲートウェイがリストアップされてしまう。従って、リストアップされたゲートウェイのうち使用できるものを判別するには、自分の利用できる ITSP のリストを何らかの方法で入手し、そのリストとリストアップされたゲートウェイを照合して実際に利用できるゲートウェイを決定しなくてはいけな

---

[1] int ドメインは、国際組織を表す

[2] 実際の DNS のツリー構造は 5.2.3を参照。

[3] 実際の DNS のツリー構造は 5.2.3を参照。

い。ITSP が少ないうちはそれでも問題はないが、将来的に 1 つのエリアに ITSP がひしめきあっている場合などは、返ってくるゲートウェイのリストが膨大になり、さらにその中から利用できるものを判別しなくてはいけないので、非効率である。また、同一のデータベース上に複数の ITSP がエントリを行なうので、管理方法が困難である。

- ITSP のドメインの下に割り当てると、世界中どこにいても自分が契約している ITSP の DNS にアクセスしてしまう欠点はあるが、アドレス変換を行なってリストアップされたゲートウェイは全て利用できるので効率的である。また同一エリアに単一の ITSP が多数のゲートウェイを設置することは考えにくいので、そのリスト自体も非常にコンパクトなものとなる。また、データベースは各々の ITSP が持つので、管理が容易に行なえる。

5.2.3 データベースのツリー構造とデータエントリ方法

DNS のツリー構造およびデータエントリは、Internet 電話番号、PSTN 電話番号それぞれ下のようにする。

Internet 電話番号の場合

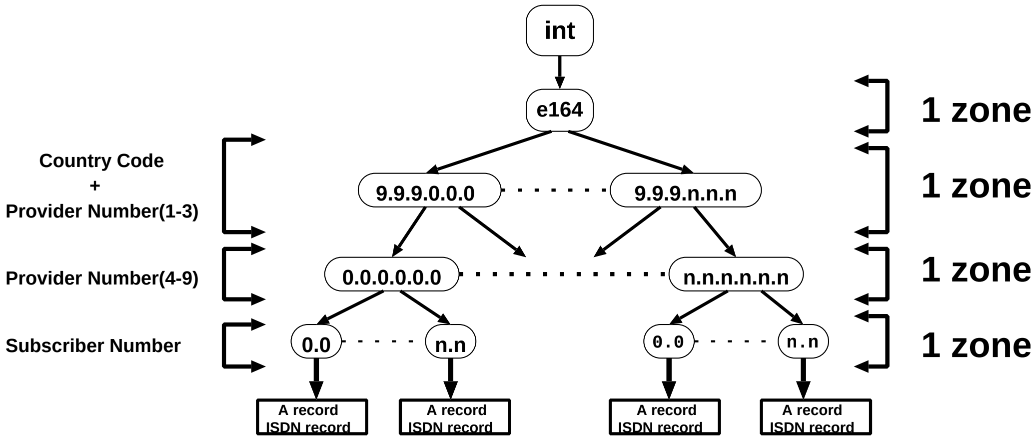

図 5.1: Internet 電話番号データベースのツリー構造

int ゾーンに新たに e164 というドメインを加え、e164.int. ドメイン以下に Internet 電話番号のドメイン空間を作る。CC(Country Code) フィールドと PN(Provider Number) フィールドの先頭 3 桁を 1 つのゾーンにまとめ、国際的な機関がデータベースの管理・運用を行なう。そして、PN フィールドの先頭 3 桁のレコードには、先頭 3 桁が示す国に従い、NS レコードを用いて各国の機関が管理・運用するデータベースへのポインタを表記する。

各国のデータベースでは、残りの PN フィールド 6 桁を 1 つのゾーンにまとめ、それぞれ NS レコードを用いて対応する各 ITSP のデータベースへのポインタを表記する。ただし、ITSP に複数の PN が割り当てられている場合に、それらがより少ない桁で表記できるならば、必ずしも 6 桁分をエントリする必要はない。

各 ITSP のデータベースでは、それぞれの Subscriber Number のレコードに表 5.1のデータをエントリする。

表 5.1: Internet 電話番号のデータエントリ

A レコード	→	対応する PC 電話の IP アドレス
ISDN レコード	→	対応する PSTN 電話の電話番号

例) ある日本の ITSP が 999-081-123456-10 という Internet 電話番号を持つ利用者を持ち、その利用者の PC 電話の IP アドレスが 111.222.123.234 で、PSTN 電話の電話番号が 81-90-1234-5678 ならば、DNS には、

```
;999-081-123456-10 entry
1.0             IN      A       111.222.123.234
                IN      ISDN    819012345678
```

とエントリする。

PSTN 電話番号の場合

各 ITSP に割り当てられているドメインの下に、PSTN 電話番号用のドメイン空間を作る。ゾーンの設定は規定しないが、なるべくゾーン数は少ない方が良い。ドメイン名の表記方法は、5.2.2で述べた方法を用いる。各 ITSP のデータベースには、それぞれの PSTN 電話番号のレコードに表 5.2のデータをエントリする。

表 5.2: PSTN 電話番号のデータエントリ

MX レコード	→	対応するダイアルアウトゲートウェイのドメイン名

ただし、基本的にダイアルアウトするゲートウェイは、最も安い通話料金で電話がかけられるように各地域に設置されるので、PSTN 電話番号からダイアルアウトするゲートウェイを見つける際には、通話する電話番号と Country Code + 市外局番がマッチすればよい。従って、PSTN 電話番号とそれに対応するダイアルアウトゲートウェイのエントリは、全ての PSTN 電話番号をそれぞれ記述する必要はなく、下のように DNS のワイルドカード機能を用いてエントリを行なう。

例) +81-3(日本の東京 03) をカバーするゲートウェイが tokyo.gw.dummy.ne.jp というドメインで存在するのであれば、DNS には、

```
; TOKYO(+81 3) entry
*.3.1.8         IN      MX      10 tokyo.gw.dummy.ne.jp.
```

とエントリする。

5.2.4 データベースのアクセス・更新方法

データベースへのアクセス・更新方法は次の方法で行なう。

Internet 電話番号の場合

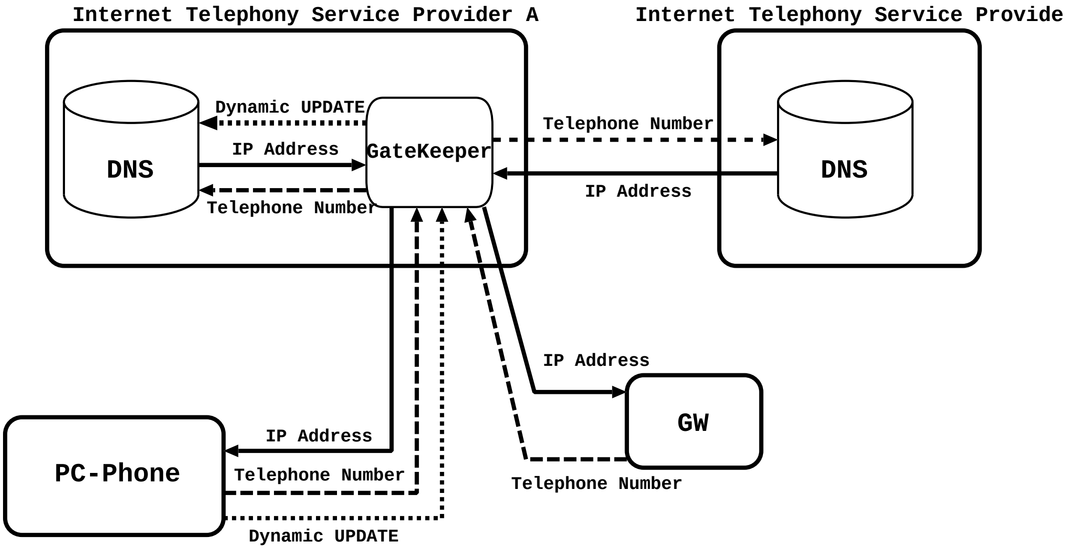

図 5.2: アドレス変換データベースへのアクセス方法

- DNS へのアクセスは、PC 電話やゲートウェイといったクライアントが直接行なうのではなく、ITSP 毎に運用されているアドレス変換サーバー[4]が行なう。手順は次の通りである。
    - クライアントは、Gatekeeper に IP アドレスを知りたい電話番号を尋ねる。
    - Gatekeeper は、5.2.2の方法で電話番号をドメイン名に変換し、その電話番号が Internet 電話番号であったら A レコードと ISDN レコード、PSTN 電話番号であったら MX レコードを取得する問い合わせを DNS に出す。
    - DNS は問い合わせに従ってエントリしてあるデータを検索し、結果を Gatekeeper に返す。要求した電話番号が Internet 電話番号であり、なおかつ A レコードが存在しなかった場合は、ISDN レコードで返された電話番号を PSTN 電話番号とみなし、Gatekeeper は再び MX レコードを取得する問い合わせを DNS に出し、同様に結果を得る。
    - Gatekeeper は、その結果をクライアントに返し、クライアントは、それぞれの IP アドレスに向かって通話要求を行なう。
- DNS にエントリされている PC 電話の IP アドレスを更新する場合も、クライアントが直接行なうのではなく、Gatekeeper が行なう。手順は以下の通りである。
    - クライアントが Gatekeeper に更新要求を出す。
    - Gatekeeper は、そのクライアントに本当に更新の権利があるか ITSP に保持されている認証情報から確かめる。
    - 認証が正しく行なわれれば、DNS Dynamic Update[12] によってエントリを更新する。
    - 更新のタイミングは PC 電話の起動時、終了時、IP アドレスの変更時に行なう。

---

[4] Gatekeeper と呼ぶ

- 二つのITSPが提携契約を結んだ場合は、PSTN電話番号から対応するダイアルアウトゲートウェイのIPアドレスへ変換するデータベースのデータファイルを転送しあい、それぞれのデータベース上に個々に持つ。それぞれのデータベースに個別に問い合わせる方法もあるが、DNSに複数回問い合わせを行なうので、非効率である。また、提携関係が突然変化することは考えにくく、それぞれのデータファイルは更新頻度が低く、それほどサイズが大きなものではないので、データベース上に個別に持つことにする。

第 6 章

Internet 電話システムの設計

本章では、4章で提案したInternet 電話番号と5章で提案した電話番号からIP アドレスへの変換方法に基づいて実装したInternet 電話システムの設計について述べる。

6.1 システムの設計目標

本研究のInternet 電話システムは次の点を設計目標として設定した。

- 4章で提案したInternet 電話番号をサポートしている。
- 5章で提案した電話番号から対応するIP アドレスへの変換をサポートしている。
- 上記2 点のサポートにより、次の機能を実現できる。
  - PSTN 電話番号への通話の場合には、適切なダイアルアウトゲートウェイを経由し、PSTN 電話に通話できる。
  - Internet 電話番号への通話の場合には、対応するPC 電話もしくは、適切なダイアルアウトゲートウェイを経由して対応するPSTN 電話に通話できる。
  - PC 電話がネットワーク上を移動してIP アドレスが変わっても、更新さえすれば一意のInternet 電話番号で呼び出すことができる。

また、Internet 電話システムとして利用価値を高めるために、

- アナログモデムのような転送レートの低い通信メディアを利用しても通話が行なえる。
- サウンドデバイスが対応していれば全2 重通話[1]が行なえる。

の2 点に関しても設計目標とした。

---

[1] 自分が話しながら相手の声が聞ける

6.2 システムの基本構成

本研究で実装する Internet 電話システムは、次の 4 つの要素で構成した。

- PC 電話

  計算機上で動作する電話端末。PC 電話間での通話、ゲートウェイを介した PSTN 電話との通話を行なう。

- ゲートウェイ

  計算機上で動作する PSTN とインターネット間の音声中継を行なうサーバー。

- Gatekeeper

  後述のアドレス変換データベースに問い合わせて、電話番号から対応する IP アドレスへの変換を行なうサーバー。

- DNS(Domain Name System)

  ドメイン名に変換された電話番号と対応する IP アドレスの対応付け情報を持つデータベース。

6.3 システムの動作

Internet 電話システムの 4 つの要素は、それぞれの次のような動作を行なうよう設計した。基本動作図は図 6.1を参照。図中の灰色部分を設計した。

- PC 電話 (PC-PHONE)
  - システム待機中に端末上から電話番号が入力されたら、その電話番号を後述の Gatekeeper に渡す。Gatekeeper からの返答を待ち、電話番号に対応する PC 電話の IP アドレス、もしくはダイアルアウトするゲートウェイの IP アドレスを受け取り、そのアドレスへ通話要求を行なう。
  - システム待機中に他の PC 電話端末やゲートウェイからの通話要求が来たら、それを受け取り、通話を開始する。
  - 通話が開始されたら、端末に接続されたマイクから音声を取り込み、音声圧縮・IP パケット化し通話相手へデータ送出する。同時に、通話相手から送られてくる音声パケットを音声化し端末に接続されたスピーカーから再生する。
  - 通話終了時には通話相手にそれを伝え、音声の取り込み・パケットの送出を止め、システム待機状態に移る。
  - 通話中に通話終了が伝えられたら音声の取り込み・パケットの送出を止め、システム待機状態に移る。
  - IP アドレスが変化した場合には、自分の IP アドレス、待ち受けポート番号、音声通信ポート番号を Gatekeeper に送信する。

- ゲートウェイ (Gateway)
  - システム待機中に PSTN からの着信があれば、その電話に応答し、入力された電話番号を取り込み、その番号を後述の Gatekeeper に渡す。Gatekeeper からの返答を待ち、電話番号に対応する PC 電話の IP アドレス、もしくはダイアルアウトするゲートウェイの IP アドレスを受け取り、そのアドレスへ通話要求を行なう。
  - システム待機中に PC 電話端末や他のゲートウェイからの通話要求が来たら、それを受け取り、指定された電話番号に発呼する。相手が電話に出たら通話を開始する。
  - 通話が開始されたら、PSTN から音声を取り込み、音声圧縮・IP パケット化し相手の PC 電話端末もしくはゲートウェイに送出する。同時に、通話相手から送られてくる音声パケットを音声化し PSTN へ転送する。
  - 通話中に PSTN 電話が回線を切断したら、それを検知し、PC 電話もしくはゲートウェイに通話終了を伝え、音声の取り込み・パケットの送出を止め、システム待機状態に移る。
  - 通話中に PC 電話端末から通話終了が伝えられたら、音声パケットの転送を止め、PSTN 電話との回線を切断し、システム待機状態に移る。
- Gatekeeper
  - Internet 電話番号から対応する IP アドレスへの変換要求を受けたら、後述の DNS に問い合わせ、対応する PC 電話の IP アドレスを返す。もし、ISDN レコードしかなければ、その ISDN レコードを PSTN 電話番号として再び DNS に問い合わせ、ダイアルアウトするゲートウェイの IP アドレスを得て、変換要求元に返す。
  - PSTN 電話番号から対応する IP アドレスへの変換要求を受けたら、DNS に問い合わせ、対応するゲートウェイの IP アドレスを返す。
  - PC 電話端末から IP アドレス更新告知を受けたら、DNS に対してレコードの更新要求を出し、その結果を PC 電話端末に返す。
- DNS
  - Gatekeeper からの問い合わせ要求を受け取り、対応するレコードを返す。
  - Gatekeeper からの更新要求を受け取り、対応するレコードを更新する。

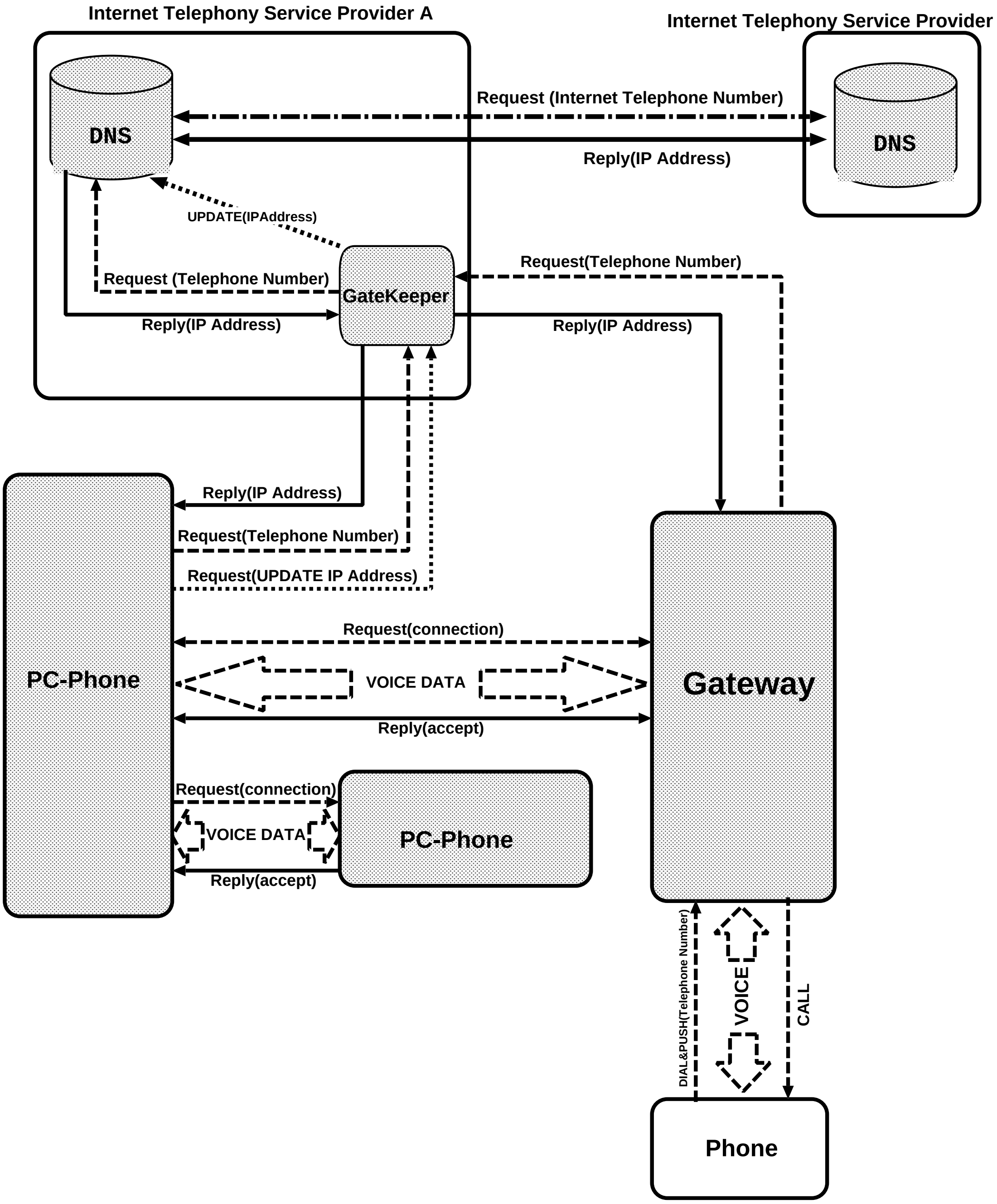

図 6.1: Internet 電話システムの基本動作図

第 7 章

Internet 電話システムの実装

本章では、6章で述べた設計に基づき、実装したInternet 電話システムについて、システムの動作環境、利用したハードウェア、通信プロトコル、システムの各要素の実装を述べる。

7.1 システムの動作環境

Internet 電話システムの実装はFreeBSD2.2.6 上でC 言語により行なった。その理由は、設計目標の１つとして挙げた全2 重オペレーションをAPI レベルでスムーズに提供してれる[1]サウンドドライバがFreeBSD にしかなかったためである。従って、本実装は、Luigi Rizzo 氏がFreeBSD 用に開発したサウンドドライバ[19] に依存したものになっており、PC 電話クライアント、Gateway をLinux、Sun OS などの他のOS で動作させるためには変更を要する。

7.2 利用したハードウェア

- PNC-3400(I/O-DATA 製)

  PSTN へのダイアルアウト、DTMF 信号[2]の取り込み、PSTN への音声の転送を行なうなどGateway の機能を実現するためにI/O-DATA のPNC-3400 を用いた。その機能を以下に挙げる。

  - シリアル制御によりPSTN への自動発信、PSTN からの自動着信、DTMF 信号の取り込み、回線断検出が可能
  - オーディオ入力端子から入力された音声をPSTN へ転送できる。
  - PSTN から転送された音声をオーディオ出力端子から出力できる。

- Sound Blaster16(Creative Lab 製)

  計算機上でPC 電話クライアント、Gateway を動作させるために、サウンドカードとして全2 重で音声の録音・再生が可能なCreative Lab 社のSoundBlater16 を利用した。

---

[1] 詳しくは7.4.1を参照

[2] プッシュフォンのダイアルトーン

7.3 通信プロトコル

システムの各要素間の通信プロトコルについて以下に述べる。

7.3.1 通信制御プロトコル

システムの各要素間において、呼制御、アドレス変換、アドレス更新を行なう通信には、データの到達性を確保するためにTCP(Transmission Control Protocol)を用いた。以下にその通信制御プロトコルの詳細を述べる。

- 共通パケットヘッダ

  各要素間の通信制御に共通して使われるパケットヘッダを図7.1に示す。

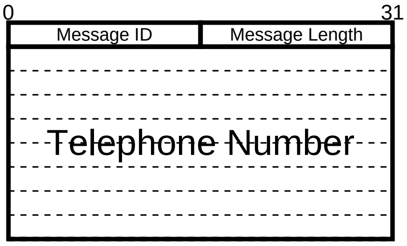

図 7.1: 共通パケットヘッダ

1. Message ID : 16bits

   通信メッセージのID番号を16bitsで示す。表7.1にID番号とメッセージ内容を示す。

2. Message Length : 16bits

   通信メッセージの長さを16bitsで示す。

3. Telephone Number : 32bytes

   メッセージ送信元の電話番号を示す

表 7.1: メッセージID

メッセージID番号	内容
0x0001	通話要求
0x0002	通話許可
0x0003	通話拒否
0x0004	通話終了
0x0005	Gatekeeperへのアドレス変換要求
0x0006	Gatekeeperからのアドレス変換結果
0x0007	Gatekeeperへのアドレス更新要求
0x0008	Gatekeeperからのアドレス更新結果

- 通話要求メッセージ

  PC 電話間、Gateway 間、PC 電話-Gateway 間の通話要求に用いられる。パケット構造を図 7.2に示す。

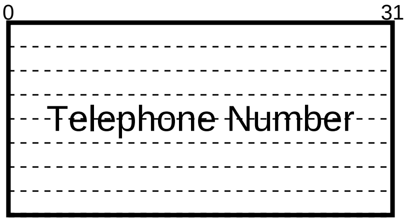

図 7.2: 通話要求メッセージ

  1. Telephone Number : 32bytes

     通話相手の電話番号を格納する。Gateway が受け取った場合は、書かれている PSTN 電話番号に発呼する。PC 電話が受け取った場合は、受け取った電話の Internet 電話番号が格納されているはずである。

- 通話許可メッセージ

  PC 電話間、Gateway 間、PC 電話-Gateway 間の通話要求に用いられる。通話許可メッセージは本体が存在せず、このメッセージを受け取った場合は、接続が成功したものと見なして、通話を開始する。

- 通話拒否メッセージ

  PC 電話間、Gateway 間、PC 電話-Gateway 間の通話拒否に用いられる。パケット構造を図 7.3に示す。

図 7.3: 通話拒否メッセージ

  1. Reply Type : 16bits

     通話拒否の理由を 16bits で示す。表 7.2にメッセージタイプとその内容を示す。

表 7.2: 通話拒否メッセージ

メッセージID 番号	内容
0x0001	通話を拒否した (PC 電話)
0x0002	通話相手が既に誰かに呼ばれている (PC 電話)
0x0003	通話相手が誰かを呼んでいる (PC 電話)
0x0004	相手が通話中 (PC 電話)
0x0005	相手が通話中 (Gateway)
0x0006	自局に着信あり (Gateway)
0x0007	相手が電話に出ない (Gateway)
0x0008	Reserved
0x0009	その他のエラーが発生 (Gateway)

- 通話終了メッセージ

  PC 電話間、Gateway 間、PC 電話-Gateway 間の通話終了通知に用いられる。通話終了メッセージは本体が存在せず、このメッセージを受け取った場合は、接続が切断されたもの見なして、通話を終了する。

- Gatekeeper へのアドレス変換要求メッセージ

  PC 電話から Gatekeeper、Gateway から Gatekeeper へ電話番号から対応する IP アドレスへの変換を要求する際に用いられる。パケット構造を図 7.4 に示す。

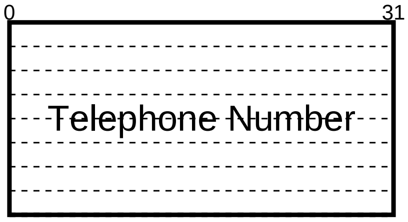

図 7.4: アドレス変換要求メッセージ

1. Telephone Number : 32bytes:
   Gatekeeper に変換して欲しい電話番号を格納する。

- Gatekeeper からのアドレス変換結果メッセージ

  Gatekeeper から PC 電話、Gatekeeper から Gateway へ変換した IP アドレスの結果を返す際に用いられる。パケット構造を図 7.5に示す。

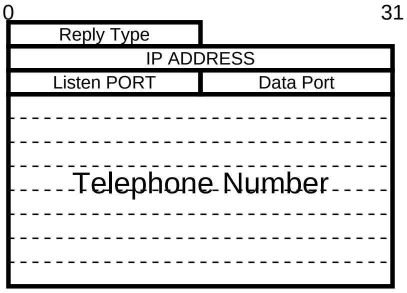

図 7.5: アドレス変換結果メッセージ

1. Reply Type : 16bits
   変換結果の種類を16bitsで示す。表7.3にReply Typeとその内容を示す。
2. IP Address : 32bits
   対応するIPアドレスを格納する。
3. Listen Port : 16bits
   対応するPC電話、もしくはゲートウェイが待ち受けているポート番号を格納する。
4. Data Port : 16bits
   対応するPC電話、もしくはゲートウェイが音声パケットの送受信に用いるポート番号を格納する。
5. Telephone Number : 32bytes
   実際にダイアルする電話番号が格納される。

表 7.3: 変換結果通知メッセージ

Reply Type	内容
0x0001	対応するIPアドレスが見つかった
0x0002	対応するIPアドレスが見つからなかった

- Gatekeeperへのアドレス更新要求メッセージ

PC電話からGatekeeperに対し、DNSにエントリされているIPアドレスの更新を要求する際に用いられる。パケット構造を図7.6に示す。

図 7.6: アドレス更新要求メッセージ

1. Listen Port : 16bits
   PC電話が待ち受けているポート番号を格納する。

2. Data Port : 16bits

   PC 電話が音声パケットの送受信に用いるポート番号を格納する。

- Gatekeeper からのアドレス更新結果通知メッセージ

  Gatekeeper から PC 電話に対し、DNS にエントリされている IP アドレスの更新をした結果を返す際に用いられる。パケット構造を図 7.7に示す。

図 7.7: アドレス更新結果メッセージ

1. Reply Type : 16bits

   更新結果の種類を 16bits で示す。表 7.4に Reply Type とその内容を示す。

表 7.4: 更新結果通知メッセージ

Reply Type	内容
0x0001	アドレスの更新に成功した
0x0002	アドレスの更新に失敗した

7.3.2 音声パケット送信プロトコル

PC 電話間、Gateway 間、PC 電話-Gateway 間での音声パケットの送信には、データのリアルタイム性を確保するために UDP(User Datagram Protocol) を用いた。また、リアルタイム通信を行なう際によく用いられるデータ形式として RTP(RealTime Protocol)[17] を用い、規定された RTP ヘッダの後に音声データを格納する事にした。

音声パケットは、全て共通のパケット構造を用いることとし、図 7.8にそのパケット構造を示す。

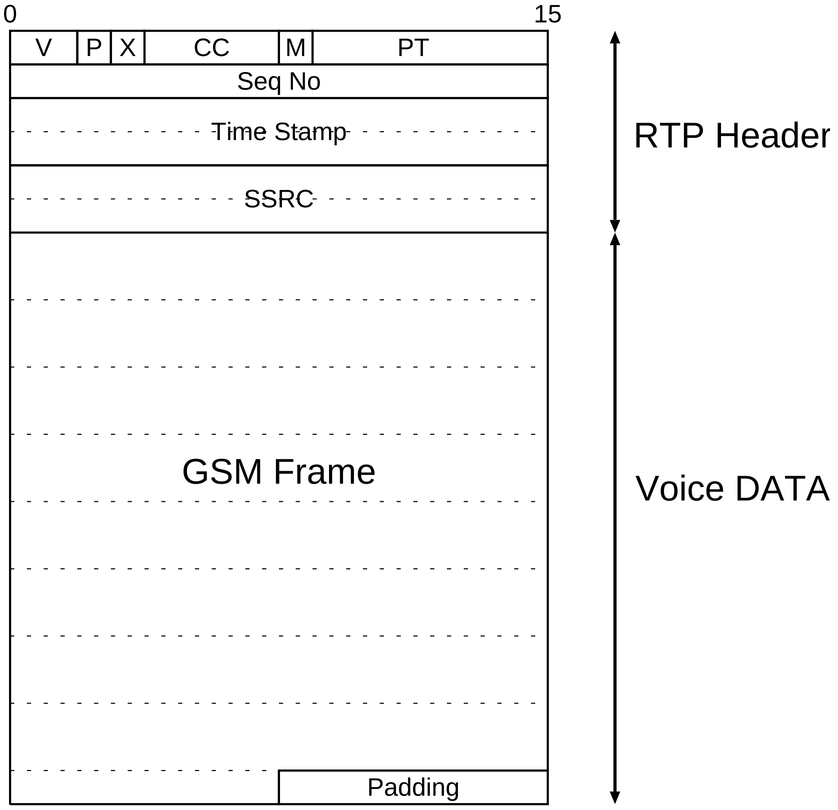

図 7.8: 音声パケット

1. Version(V) : 2bits

   Version は、RTP のバージョンを識別する。使用するヘッダ形式が定義されているバージョンは 2 なので、本実装では 2 を入れる。

2. Padding(P) : 1bit

   Padding bit が設定されると、パケットの最後に Padding のための 1byte が含まれていることを示す。本実装では 1 を入れる。

3. Extension(X) : 1bit

   extension bit は拡張用 bit で、これが指定されたら固定ヘッダの後に拡張ヘッダが続くことを示す。本実装では 0 を入れる。

4. CSRC count(CC) : 4bits

   CSRC count は、固定ヘッダに続く CSRC 識別子の数を表す。CSRC 識別子は受信側で複数の RTP パケットの同期再生を行なう[3]ために用いられるが、本実装では、単一のストリームしか扱わないので、0 を入れる。

5. Marker(M) : 1bit

   その RTP パケットに、何らかの特別な意味を持たせる時にこの bit を立てる。本実装では、一番最初に送信する RTP パケットだけこの bit を立て、時間同期の取られていない異なる 2 点間での時間差を把握するのに使用する。

6. Payload Type(PT) : 7bits

   Payload Type は、格納するデータ本体のフォーマットを表す。どのフォーマットが何番に割り当てられているかは、RFC1890 ”RTP Profile for Audio and Video Conferences with Minimal Control“[18] に定義されている。本実装では、GSM[4]方式で圧縮した音声パケットを送るので、3 を入れる。

7. Sequence Number(Seq No) : 16bits

   Sequence Number は、RTP パケットの配送毎に 1 つずつ増やし、受信側でパケットロス率の算出やパケットの順序を修復するために用いられる。初期値はランダムな値であることが推奨されているが、本実装では、初期値固定で 1234 から増えていく。

8. Time Stamp : 32bits

   Time Stamp は、RTP パケットのデータを取り込んだ時の時刻を格納する。本実装では、受信側では前述の Sequence Number と同時に使用して、パケットの到着時間のゆらぎを吸収し、安定したスピードで再生するために使用している。

9. SSRC (Synchronizaiton Source) : 32bits

   SSRC は、同じ RTP セッション内でのデータの識別に使われる。同じ RTP セッションの中に 2 つの同じ SSRC 識別子を持たないように SSRC を設定し[5]、同じセッション内でもそれぞれの RTP パケットが識別できるようにする。本実装では、RFC1889[17] に記述してある方法に従って、SSRC を生成し、この部分に格納する。

10. GSM Frame : 33bytes

    GSM Frame は、GSM 方式によって圧縮された音声パケットを格納する。

11. Padding : 1byte

    RTP パケットが奇数 byte なので、それをうめるために 1byte 分確保する。

7.4 システムの実装

Internet 電話システムの各要素の実装について述べる。

---

[3] ビデオストリームと音声ストリームの同期をとる場合など

[4] 詳しくは 7.4.1の PC 電話の実装部分で述べる。

[5] どのように生成するかは RFC1889[17] に Appendix として記されている。

7.4.1 PC 電話

PC 電話は、音声制御部、ネットワーク部、端末制御部の 3 つから構成した。

- 音声制御部

  この制御部では、音声の録音・再生、音声圧縮・展開を行なう。

  - 音声圧縮・展開

    音声圧縮には GSM(Global Speciale Mobile) 方式を用いた。GSM 方式は、欧州の移動体通信における音声圧縮方式として用いられているもので、16bits 音声サンプリングデータの上位 13bits の 160 サンプル分 (320bytes) を 33bytes に圧縮する。GSM 方式は C 言語のライブラリが公開されており、音声圧縮・展開にはそのライブラリを使用した。

    また、録音した音声の無音部分については音声パケットを相手に送信しないことで送信データ量を減らす仕組みも取り入れた。

  - 音声の録音・再生

    音声の録音・再生は、サウンドドライバに依存した実装となっている。通常のサウンドドライバで録音を行なうと、サウンドデバイスから 1byte ずつ読み込みを行なうので、音声圧縮に必要な最小ブロックサイズ (320bytes) を得るまでは他の処理がブロックしてしまう。しかし、今回使用したサウンドドライバは、指定したブロックサイズ毎の読み込みが可能であり、その読み込み時には他の処理がブロックされない。また、再生についてもブロックサイズ分の再生は他の処理がブロックされずに行なえる。このような機構をドライバ自身が持っているので、通常は同期を取る事が難しい全 2 重オペレーションをシンプルに行なっている。

    音声の録音部分では、16bits 8000Hz のサンプリングレートで録音し、得られたデータを GSM 方式で圧縮、ネットワーク部を経由して通話相手に送出するようにした。また、音声の再生部分では、受信音声パケットがその Sequence Number に従って、ハッシュ方式によりバッファ上に貯められているので、それを順に再生するようにした。音声パケットは UDP で送られるので、到着順序が変わってしまう可能性がある。そこで、ハッシュ方式を利用して再生時には素早く正しい順番で再生できるようにした。

- ネットワーク部

  ネットワーク部では、通信制御用の TCP ソケットと音声通信用の UDP ソケットをそれぞれ管理している。通信制御ソケットでは、7.3.1で示した制御情報のやりとりを行ない、音声通信ソケットでは、7.3.2で示した音声パケットの送受信を行なっている。音声パケットの送信は音声制御部からの指示により行なわれ、受信時には、その Sequence Number に従ってハッシュ方式によりデータをバッファに格納する。

- 端末制御部

  端末制御部では標準入力を管理しており、ダイアルやデータベースの更新、通話の終了などの各コマンドなどを受け付け、ネットワーク部に指示を与えコマンドを実行する。

7.4.2 ゲートウェイ

ゲートウェイは、音声制御部、ネットワーク部、PNCデバイス制御部の3つから構成した。

- 音声制御部

  ゲートウェイとPNC3400との音声接続は、サウンドカードを介して行なうので、ゲートウェイの音声制御部は、PC電話のそれと全く同じ動作を行なっている。

- ネットワーク部

  ネットワーク部では、通信制御用のTCPソケット、音声通信用のUDPソケットをそれぞれ管理している。ほとんどの部分はPC電話のそれと同じ動作を行なうが、PNCデバイスへの要求部分が異なる。

- PNCデバイス制御部

  PNCデバイス制御部では、シリアル接続されたPNC-3400を管理している。ネットワーク部からの要求に従ってPNCデバイスの制御を行ない、PSTNへの自動発信を行なう。また、常にPSTNからの着信を監視し、自動着信後はDTMF信号の取り込みを行ない、取り込んだ電話番号に従ってネットワーク部へダイアル要求を出している。また、通話中は回線断検出を行なっており、検出された場合には、通話終了メッセージをネットワーク部を経由して通話相手に伝えている。

7.4.3 Gatekeeper

Gatekeeperは、ネットワーク部、DNSアクセス部の2つから構成した。

- ネットワーク部

  ネットワーク部では、通信制御用のTCPソケットを管理し、7.3.1で示したアドレス変換・更新メッセージを受け取り、DNSアクセス部に要求を出している。また、DNSアクセス部からの結果を要求元に送信している。

- DNSアクセス部

  ネットワーク部からの要求に従って、電話番号をドメイン名に変換し、DNSに問い合わせ・更新要求を出している。問い合わせには、res_query()関数を用い、更新には、nsupdateコマンドを子プロセスで実行している。

7.4.4 DNS

Dynamic UPDATEを利用するためにISCで開発されたbind-8.1.2を使用した。

Internet電話番号のドメイン空間は、実際にはintドメイン下に作る事はできなかったので、e164.int.mf.ps.sfc.wide.ad.jp.ドメイン下に構築した。また、PSTN電話番号のドメイン空間は、e164.gw.mf.ps.sfc.wide.ad.jp.ドメイン下に構築した。

第 8 章

評価 ・考察

本章では、4章と5章で提案したモデルの評価 ・考察、また、6章と7章で設計 ・実装したInternet 電話システムの評価 ・考察を行なう。

8.1 提案モデルの評価 ・考察

本節では、実装したInternet 電話システムを用いて、4章と5章で提案したモデルの評価 ・考察を行なう。具体的には、アドレス変換速度に関する評価とドメイン名の変換方法に関する評価の2 点を行なう。

8.1.1 アドレス変換速度に関する評価

実装したInternet 電話システムを用いて、電話番号から対応するPC 電話のIP アドレス及びダイアルアウトゲートウェイのIP アドレスへのアドレス変換に要する時間を測定した。測定は、AMD K6-266MHz / メモリ64MB のFreeBSD2.2.6 のマシン上で行ない、以下の手順に従った。

- ローカルホスト上にアドレス変換データベースを構築した。Internet 電話番号の場合は、5.2.3で述べたツリー構造に従ってe164.int. ドメイン下に構築し、PSTN 電話番号の場合は、gw.e164.wide.ad.jp. ドメイン下に構築、jp ゾーン、ad ゾーン、wide ゾーン、gw.e164 ゾーン、PSTN 電話番号ゾーンの5 つのゾーンに分けた。

- bind でデータベースを構築する場合、同じゾーンファイル上にあるデータの検索時間は、エントリ数に関わらずほぼ一定であるので、今回は、各ゾーンに3 つずつデータをエントリし、その中央のデータを参照するようにした。

- 同一のエントリがどのくらいの頻度でアクセスされるかを想定することは困難であり、また、PC 電話のIP アドレスは動的に更新されることがあるので、全てのエントリのTTL を0 にし、キャッシュを無効にした。

- Gatekeeper に計測プログラムを組み込み、ローカルホスト上から変換データベースにアクセスし、アドレス変換100 回分の平均処理時間を測定した。

測定結果を次に示す。

表 8.1: アドレス変換速度の測定結果

変換種類	平均処理時間
Internet 電話番号→ PC 電話の IP アドレス	2.05ms
PSTN 電話番号→ダイアルアウトゲートウェイの IP アドレス	2.43ms

表 8.1を見ると、提案モデルのアドレス変換システムは、2 種類の変換に関して非常に高速に処理していることがわかる。実際には、PC 電話端末やゲートウェイがこれらのアドレス変換結果を得るためには、上記の処理時間に加えて、プロトコルのオーバーヘッドやネットワークの遅延時間の分だけ余計に時間がかかるが、それを考慮したとしても、本研究で提案した変換方法は、アドレス変換サービスとして十分な速度を持っていると言える。

8.1.2 ドメイン名変換方法に関する評価

本研究の提案モデルでは、電話番号からドメイン名への変換に TPC.INT 方式を用いている。ただし、完全な TPC.INT でない点が、3章の関連研究で挙げた既存の同種モデルにはない特徴となっている。

TPC.INT では、FAX 番号を全て tpc.int. ドメイン下に割り当てる事によって、世界中のどこからでも参照でき、自動的に FAX 番号から最適なダイアルアウトゲートウェイの IP アドレスが得られる仕組みが実現されている。そして、課金の問題は、FAX のカバーページに広告を載せたり、地域の公共サービス的なものにすることでサービスプロバイダを意識することなく常にダイアルアウト側だけで解決している。従って、tpc.int. ドメイン下にエントリされたダイアルアウトゲートウェイは、利用者が契約しているしていないに関わらず全て利用可能である。一方、Internet 電話においては、広告を載せたり、地域の公共サービス的なものにすることは困難であり、課金の問題は、ITSP 単位で解決する必要がある。従って、従来の TPC.INT 方式を採用すると、得られたダイアルアウトゲートウェイのリストのうち、どれが利用できるものであるかを何らかの方法で判断するか、もしくは、どの ITSP のゲートウェイでも利用できる代わりに利用者に正しく課金する機構が必要となる。そこで、本研究の提案モデルでは、PSTN 電話番号のデータベースに関しては、各 ITSP のドメイン下にドメイン空間を割り当てる事でその問題を解決した。また、Internet 電話番号のデータベースに関しては、従来の TPC.INT 方式を採用し、世界中どこからでも対応する PC 電話の IP アドレスもしくは PSTN 電話番号が得られるようにした。しかし、この方法では、個人が複数の ITSP に契約している場合に、どのようにして最適なダイアルアウトゲートウェイを見つけるかが問題となる。契約している個々の ITSP の Gatekeeper に問い合わせる事によって、利用可能なゲートウェイのリストは得られるが、その中で通話料金が最も安く済むものを選ぶ仕組みは提案モデルでは実現されていない。また、問い合わせる Gatekeeper のリストをどのようにして保持するかについても、PC 電話の場合は、端末上にそのリストを持つ事ができるが、PSTN 電話端末の場合はそれが困難である。

8.2 関連研究・サービスとの比較評価

本節では、実装したInternet電話システムを用いて、4章と5章で提案したモデルと3章で述べた関連研究・サービスとの比較評価を行なう。評価は、まず、関連研究として述べた3つの提案モデルと本研究の提案モデルとの比較を行なう。次に、関連サービスとして述べたMicrosoft NetMeetingのInternet Locator Serverを取り上げ、アドレス変換サービスとして比較を行なう。なお、いずれも評価の観点は、提案モデルに対する評価であって実装したInternet電話システムに対する評価ではない。

8.2.1 TIPHON WG4によるInternet電話番号体系との比較

3.1で述べたESTI TIPHON WG4によるInternet電話番号体系のglobal planと、本研究で提案したInternet電話番号体系は、両体系ともITU-T E.164に準拠し、CC(Country Code)フィールドにインターネット用のCCを割り当てるというアプローチをしている。しかし、TIPHON WG4による提案には、実際にCCフィールド以下を何桁確保し、インターネットを表すCCをいくつにし、どのように割り当てを行なっていくかが議論されていない。本研究の提案では、規模の問題を考慮して全体を14桁に設定、またCCフィールド以下を9桁のPN(Provider Number)と2桁のSN(Subscriber Number)にわけ、その具体的な割り当て方法も提案している。もちろん、実際のCCの割り当てはITUが行なっており、その部分に関して定義することは困難だが、それ以外の部分に関しては、TIPHON WG4の提案モデルに比べてより詳しい提案を行なっている。

8.2.2 Internet Telephony Directory Service モデルとの比較

3.2で述べたAnne BrownによるITDS(Internet Telephony Directory Service)モデルは、ITU-T E.164に準拠した電話番号から対応するIPアドレスへの変換を行なう方法として、本研究で提案したアドレス変換方法と同じ機能を持っていると言える。以下に両方式の定性的機能評価結果を示す。

表 8.2: ITDSモデルとの定性的機能評価

比較項目	提案モデル	ITDSモデル
ITSPに依存しない電話番号	×	○
ゲートウェイ検索の効率性	○	×
データベースへの総アクセス回数	少ない	多い

- ITDSモデルでは、データには情報へのポインタを記述しても良い事になっているので、ITSPに依存しないInternet電話番号が手に入る。これは、ITSPを変更するとInternet電話番号を変更せざるを得ない本研究の提案モデルに比べて優れている。

- PSTN電話番号から対応するダイアルアウトゲートウェイのIPアドレスへ変換する際に、ITDSモデルの場合、その電話番号に対応する全てのゲートウェイのリストを返してしまうので、同一地域に各ITSPがひしめきあっている場合にはリストのうち利用できるゲートウェイを判別しなくてはいけないので非効率である。提案モデルの場合、返されるリストには利用可能なゲートウェイだけが載っているので効率的である。ただし、提案モデルでは、

個人が複数のITSPに契約している場合、それぞれのITSPに個別に問い合わせる必要があり、必ずしも効率的ではなくなる。また、問い合わせるITSPのリストをどこから手に入れるかという問題があり、それについては提案モデルでは解決されていない。

- ITDSモデルでは、情報へのポインタを用いる分だけアドレスを得るまでにデータベースにアクセスする回数が増えるので、提案モデルに比べてネットワークへの負荷が高くなる可能性がある。

8.2.3 Internet Telephony Home Register ･Dynamic Directory Server モデルとの比較

3.3で述べたChinmei LeeによるITHR ･DDSモデルは、アドレス変換データベースへのアクセス･更新方法として、本研究の提案モデルでGatekeeperが行なう動作に近いと言える。以下に両方式の定性的機能評価結果を示す。

表8.3: ITHR ･DDSモデルとの定性的機能評価

比較項目	提案モデル	ITHR ･DDSモデル
データベースへの総アクセス回数	少ない	多い
エントリの動的更新時におけるネットワーク全体に与える負荷	高い	低い

- ITHR ･DDSモデルでは、端末のIPアドレス情報を保持するのはDDSなので、ITDSモデルと同様に参照する側からはデータベースへの問い合わせ回数が増える可能性がある。その点では本研究の提案モデルの方が優れている。
- ITHRにはInternet電話番号と登録されているDDRの対応表しか持たないので、同じDDRに所属していれば(つまり、場所を移動しなければ)、IPアドレスが変わってもIHDRを書き換える必要がない。従って、必要最小限の部分だけ書き換えるので、ネットワークへの負荷が低い。ただし、本研究の提案モデルにおいても、複数のGatekeeperを設置することでDDS的な機能を実現する事は可能であり、Chinmei Leeのモデルに対して必ずしも提案モデルの優位性が低いわけではない。また、このモデルでは、おそらくDDRはITSPに依存しないで動作するので、実際には、各ITSPが持つIHDRを更新するために認証が必要となる。Chinmei Leeのモデルにはその点が言及されていないので、提案モデルにITHR ･DDSの機構を取り入れるのであれば、その問題に取り組む必要がある。

8.2.4 Microsoft NetMeeting Internet Locator Serverとの比較評価

Microsoft NetMeeting Internet Locator Serverは、名前やメールアドレスといった識別子から対応するPC電話のIPアドレスへのアドレス変換を行なっている。「特定の識別子」から対応するPC電話のIPアドレスへのアドレス変換サービスを行なうという点で、本研究で提案したアドレス変換方法と同じ機能を持っていると言える。そこで、ILSと本研究の提案モデル、両方式の定性的機能評価を行なった。なお、本来、NetMeetingは、PSTNからの接続はできないが、そのような機能を持っているものと仮定して評価を行なった。次に評価結果を示す。

表 8.4: ILS との定性的機能評価

比較項目	提案モデル	ILS
電話番号で相手を指定できる	○	×
移動する PC 電話に対する対応性	○	○
データベースの分散管理・相互参照	○	×
認証によるデータ更新	未対応	○

- ILS には PC 電話に電話番号を与えるという発想はない。従って、PSTN からの接続ができたとしても、ILS では PC 電話を指定する方法がないため、PC 電話へダイアルする事はできない。一方、提案モデルでは、Internet 電話番号を利用できるのでそれが可能である。
- データベースの更新は両方式とも可能なので、PC 電話が移動して IP アドレスが変化しても、それに対応することができる。
- ILS は、世界中で運用されているが分散管理を想定していないので、異なる ILS 間での相互参照はできない。従って、通話したい相手がどこの ILS に登録しているかを把握して、その ILS に直接問い合わせない限り対応する IP アドレスを得る事はできない。提案モデルでは、データベースが e164.int. ドメインから始まる階層構造になっており、それぞれの階層を分散管理できるので、実際にデータを保持するのは各 ITSP であっても、そのデータはどこのデータベースに問い合わせても得られる。
- ILS では、認証によるデータの更新が行なえるが、提案モデルでは認証に未対応である。

8.3 実装システムの評価・考察

本節では、実装した Internet 電話システムについて、6.1で挙げた設計目標をどの程度達成できたか評価を行なう。

- Internet 電話番号のサポート

  4章で行なった Internet 電話番号の提案に全てに準拠した実装が行なえた。

- アドレス変換方法のサポート

  5章で行なった電話番号から対応する IP アドレスへの変換方法の提案全てに準拠した実装が行なえた。従って、本研究の実装システムでは、通話相手が世界中どこにいても、通話相手が PSTN 電話であっても PC 電話であっても、ある一意の電話番号で呼び出すことが可能である。ただし、本来ならばダイアルアウトゲートウェイが複数ある場合は、Gatekeeper は MX レコードの優先順位にソートし、全てのゲートウェイを返すべきであるが、その部分は実装することができず、一番最初に返ってきた MX レコードのみを返している。従って、同一地域にゲートウェイが 2 つ以上あったとしても、どちらか一方しか使うことができない。

- 低転送レートでの通話

  GSM方式による転送レートは13kbpsであり、全2重通話の場合にはそれが双方向で26kbpsとなる。RTPヘッダを加えても、約37kbpsで通信が行なえる。また、無音圧縮も行なっているので、低い転送レートの通信メディアでも十分通話が行なえる。

- 全2重通話

  サウンドドライバ依存の部分が非常に多いが、全2重に対応しているサウンドカードさえあれば、全2重通話が行なえる。ただし、半2重のサウンドカードの場合はサウンドドライバの都合上、音声の送信しかできない。

第 9 章

結論

9.1 結論

本研究の目的は、通話相手が世界中どこにいても、通話相手がPSTN電話であってもPC電話であっても、ある一意の電話番号で呼び出すことが可能となるInternet電話番号の番号体系を提案し、また全ての電話番号から対応するIPアドレスへの変換方法を提案することである。

この目的に対し本研究では、

> まず、PSTN電話の電話番号表記として定められているITU-T Recommendation E.164に準拠したInternet電話番号の番号体系を提案し、また、実際の割り当て方法に関してもサービス初期におけるガイドラインを提案した。
>
> 次に、ITU-T Recommendation E.164で定められている国際電話番号表記に準拠した全ての電話番号から対応するPC電話のIPアドレスやダイアルアウトゲートウェイのIPアドレスへの変換方法に関して次のように提案した。
>
> 1. DNSによるデータベース構築
> 2. TPC.INT方式によるドメイン名変換
> 3. e164.int.ドメイン下でのInternet電話番号データベースの構築
> 4. 各ITSPのドメイン下でのPSTN電話番号データベースの構築
> 5. アドレス変換サーバーを介したデータベースへのアクセス・更新
>
> 最後に、Internet電話番号とアドレス変換方法の提案に基づきInternet電話システムを実装することで提案モデルを実証し、現存の同種サービスに対する優位性を示した。

これらの提案により、Internet電話において通話相手が世界中どこにいても、通話相手がPSTN電話であってもPC電話であっても、ある一意の電話番号で呼び出すことが可能となった。

9.2 今後の課題

本研究において取り組むべき今後の課題を以下に挙げる。

- セキュリティ問題の解決

  本研究では、DNS の Dynamic UPDATE を始めとし、セキュリティを一切考慮していない。従って、例えば、Gatekeeper の通信プロトコルに従ってアドレス更新メッセージを送ったならば、それが誰からの通信であろうと実行されてしまう。しかし、実際にサービスを行なう上でセキュリティ管理は必要不可欠な条件であり、今後は考慮しなくてはいけない。

- 複数の ITSP 契約時に発生する問題の解決

  本研究の提案モデルでは、PSTN 電話番号を各 ITSP のドメイン下に割り当てており、単一の ITSP に契約している場合は、アドレス変換時に利用可能なゲートウェイのリストを効率良く得られる。しかし、個人が複数の ITSP に契約している場合、契約している各々の ITSP から、利用可能なダイアルアウトゲートウェイのリストを得て、それらのリストの中から、通話料金が最も安いものを見つける必要がある。

  提案モデルでは、各 ITSP の Gatekeeper がデータベースにアクセスするので、それらの Gatekeeper に個々に問い合わせを行なえば、問い合わせ回数は増えてしまうが、契約している全ての ITSP の中で利用可能なダイアルアウトゲートウェイのリストを得る事ができる。しかし、問い合わせをする Gatekeeper のリストを利用者と関連付けられた情報としてどこかに持たなければいけない。PC 電話の場合、端末上にその情報を持つ事は可能だが、PSTN 電話の場合には困難であり、今後は、その問題を解決しなくてはいけない。また、得られたリストの中から最も安くダイアルアウトできるゲートウェイを見つける仕組みに関しても、今後考慮する必要がある。

- 他の提案モデルの吸収

  8.2でも述べたように他の提案モデルにも優れた点が多くある。ITSP を変更しても電話番号がそのまま使用できる、データ更新時のネットワークに与える負荷を軽減させるなど、本研究の提案モデルに吸収できる部分は多くあり、それらを提案モデルに反映させていく必要がある。

- その他

  本研究の最終目標は、Internet 電話の目指すべき姿を実現することにある。従って、2.3で挙げたようなさまざまな問題、通信プロトコル、課金・認証、通話品質などの問題にも対処していく必要がある。

謝辞

本研究を行なうにあたり、御指導頂きました慶應義塾大学環境情報学部 村井純教授、徳田英幸教授、楠本博之助教授、中村修専任講師に心より感謝致します。

また、絶えず御指導と助言を頂きました慶應義塾大学SFC研究所 新美誠氏、慶應義塾大学政策メディア研究科 宮川祥子氏、同 土井裕介氏に感謝致します。

並びに慶應義塾大学 徳田・村井・楠本・中村研究室のMedia-Fusion Groupの諸氏に感謝致します。

参考文献

[1] International Telecommunication Union Telecommucation Standardization Sector H.323 "*Pakcet Based Multimedia Communication System*",1998

[2] 伊藤憲三, 北脇信彦," 双方向通信系における伝搬遅延の許容限に関する検討", 音響学会聴覚研資,H-84-57,1984

[3] 新美誠, 直江宏一, 渡邊晴美, 塚田晃司," インターネット電話の世界規模での管理運用モデルの設計と実験", 分散システム運用技術シンポジウム,1998

[4] R. Braden and L. Zhang , "*Resource ReSerVation Protocol (RSVP) – Version 1 Message Processing Rules*",RFC2209,1997

[5] A. Mankin, Ed., F. Baker, B. Braden, S. Bradner, M. O'Dell, A. Romanow, A. Weinrib and L. Zhang , "*Resource ReSerVation Protocol (RSVP) – Version 1 Applicability Statement Some Guidelines on Deployment.*",RFC2208,1997

[6] International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector G.711 "*Pulse code modulation (PCM) of voice frequencies*",1988

[7] International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector G.728 "it Coding of speech at 16 kbit/s using low-delay code excited linear prediction",1992

[8] International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector G.723.1 "*Dual rate speech coder for multimedia communications transmitting at 5.3 and 6.3 kbit/s*",1996

[9] International Telecommunication Union Telecommucation Standardization Sector E.164 "*The International Public Telecommunication Numbering Plan*",1997

[10] Anne Brown, "*E.164 Resolution*", Internet-Draft draft-brown-e164-00,1998

[11] Chinmei Lee, "*E.164 to IP Address Mapping : A Wireless-Inspired Approach*",IETF August 1998 Proceedings E.164 Number to IP Mapping bof,1998
http://www.vocaltec.com/ petrack/IETF/E164/BOF1/Lee.ppt

[12] P.Vixie , S.Thomson , Y.Rekhter and J.Bound , "*Dynamic Updates in the Domain Name System(DNS UPDATE)*",RFC2136,1997

[13] Tim Howes and Ph.D Mark Smith , 松島栄樹/岡薫訳,"*LDAP* インターネット ディレクトリ アプリケーション プログラミング", 株式会社プレンティスホール出版,1997

[14] Microsoft,"*Microsoft Internet Locator Server*"
http://www.mircosoft.com/netmeeting/ils

[15] C.Malamud and M.Rose, "*Principles of Operation for the TPC.INT Subdomain:Remote Printing - Technical Procedures*",RFC1528,1993

[16] C.Malamud and M.Rose, "*Principles of Operation for the TPC.INT Subdomain:General Principles and Policy*",RFC1530,1993

[17] H.Schulzrinne , S. Casner , R. Frederick and V. Jacobson,"*RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications*",RFC1889,1996

[18] H. Schulzrinne "*RTP Profile for Audio and Video Conferences with Minimal Control*",RFC1890,1996

[19] Luigi Rizzo,"*The new FreeBSD audio driver*",1998
http://www.iet.unipi.it/

[20] Luigi Rizzo,"it command-line internet telephone "
http://www.iet.unipi.it/

[21] David A.Curry, アスキー書籍編集部監訳,"*UNIX C* プログラミング", アスキー出版局,1991

[22] Paul Albitz and Cricket Liu, 浅羽登志也/上水流由香監訳,"*DNS&BIND*", 株式会社アスキー,1995

[23] 土井裕介 , 慶應義塾大学環境情報学部," 次世代ネットワーク環境をサポートする名前サービスの実現方法に関する研究", 卒業論文,1997

[24] Antonino Iannella,"*Linux Serial Port Programming Mini-Howto*",1997
http://www2.edd.osaka-sandai.ac.jp/doc/HOWTO/mini/Serial-Port-Programming

[25] I/O-DATA,"*PNC3400* 操作マニュアル"

[26] "*U.S.Census Bureau, World POPClock Projection*"
http://www.census.gov/cgi-bin/ipc/popclockw/

付録