

## 第 4 部

# ISDN データリンク



# 第 1 章

## 動機

技術の発達により、DDX-Pなどで代表されるパケット交換網や、ISDNなどで代表される高速デジタル公衆回線網が利用可能となった。このようなパケット交換網や公衆回線網を利用して広域ネットワークをより安価に、よりパワフルに、より安定した形で提供することが出来る。

我々が利用しているネットワーク機能は、BSD UNIX[22] を基本としているもので、BSD UNIX のネットワークアーキテクチャは、大きく以下のような三つの機能にできる。

- 統一したユーザインタフェース : socket
- 通信プロトコル : TCP(UDP) / IP
- 統一したデバイスインタフェース : 各デバイスドライバ

従来の BSD UNIX では、ネットワーク用のデバイスとは、Broadcast 型の Ethernet と、Point-To-Point 型の専用線が主である。しかし、専用線とパケット交換網や公衆回線網を比較してみると、次のような特徴がある。

| 回線種類    | 1 デバイス当たりの通信相手<br>( 論理チャンネルの数 ) | チャンネルの特性<br>( 通信相手 ) |
|---------|---------------------------------|----------------------|
| 専用線     | 単数                              | 静的 ( 固定 )            |
| パケット交換網 | 複数                              | 動的 ( 選択可能 )          |
| 公衆回線網   | 単数                              | 動的 ( 選択可能 )          |

BSD UNIX のネットワークアーキテクチャにパケット交換網を組み込む場合は、通信相手が複数であることから Ethernet のような Broadcast 型に見せかけることで実現は可能である。公衆回線交換網を利用するに当たっては、専用線や Ethernet とは特徴が大きくことなるが、従来からあるアナログ公衆回線網をモデムを使って利用する場合には、ほとんど専用線と同じ扱いをしていた。しかし、ISDN のようなデジタル公衆回線の利用は、従来のアナログ公衆回線の利用に比べ、高速な通信回線を提供し、瞬時にして接続の確立、切断が可能であるという特徴をもつ。このように、従来のネットワークアーキテクチャを変更せず、新しい通信媒体をサポートすることは可能であるが、新しい通信媒体の特徴を数多く無視することになる。これらの新しい通信媒体の持つ特徴を有意義

に利用するためには、BSD UNIX のネットワークアーキテクチャを見直し、再構成が必要となる。

## 第 2 章

### 目的

新しい通信媒体の持つ特徴を有意義に利用できるネットワークアーキテクチャの作成を目指すわけであるが、これから開発されるであろう通信媒体の特徴を全て予想し、その特徴を全て満足できるアーキテクチャを作成することは不可能である。従って、少なくとも今提供されている通信媒体の特徴を活かせるネットワークアーキテクチャを実際に構築し、その中から将来的にどのようなネットワークアーキテクチャを構築すれば良いかを考える方法をとるべきである。

新しい通信媒体を特徴を活かせる形でサポートすることにより、上位の通信プロトコルや、ユーザインタフェース、アプリケーションなどの全てに影響を与える可能性がある。最も顕著な例が、高速デジタル公衆回線網を利用する際には、経路が瞬時にして変わり、サービスの内容によっては転送の速度や方法を変える必要になることがある。このように影響が顕著に上位層に表れる場合は、新しい通信媒体をサポートするたびに、ネットワークアーキテクチャの見直しが必要となる。ネットワークアーキテクチャの見直しを避けるためには通信媒体の差異は出来るだけ下位層で吸収する必要がある。従って、まず、新しい通信媒体の特徴を活かせる“統一したデバイスインタフェース”を提供し、次に、ネットワークアーキテクチャ全体の見直しをはかる。

ISDN のような高機能なサービスを提供するデバイスはその十分な利用法が見い出されているわけではない。従って、今回の実験では実際に実験ネットワークを構築し運営することでその有効な利用法を見い出したうえでネットワークアーキテクチャ全体の見直しをはかる。そこで、今回の実験では、実際にパケット交換網や回線交換網を利用したネットワークを構築し、その上で、BSD UNIX での”統一したデバイスインタフェース”の部分を再構成し、パケット交換網や高速デジタル公衆回線網の有効な利用を可能とするネットワークアーキテクチャの作成することが目的である。

## 第 3 章

# パケット交換網と高速デジタル公衆回線網

今回の実験の最初の目的は、パケット交換網や高速デジタル公衆回線網の有効な利用を可能とする BSD UNIX での”統一したデバイスインタフェース”の部分を再構成である。実験の目的を達成するためには、実際にパケット交換網や高速デジタル公衆回線網がどのような特徴を持つかを知る必要がある。我々が必要とする特徴とは、各網がどのように構成されているのかではなく、どのような利用方法があるかである。従って、ここでは、各網がどのようなサービスを提供しているに重点をおく。

### 3.1 パケット交換網

DDX-P や INS-P など代表されるパケット交換網は、一本の物理線を複数の論理チャンネルに分割し、論理チャンネル毎に相手と通信を行なう。論理チャンネルの通信速度は、スループットクラスを選ぶことで決定される。当然スループットクラスの最大値は、物理線の通信速度の  $1/n$  となる ( $n$  は論理チャンネルの数と物理線の通信速度を基に網によって定められた数)。現在の日本国内のサービスではスループットクラスの最大値は 9.6Kbps が最も一般的である。一本の物理線に対する最大論理チャンネル数は、網の制御回路(交換機)と通信速度によって異なり、DDX-P では通信速度が 48Kbps の場合のみ 248 であったが、INS-P では 248 である。また、各パケットの最大長にも制限があり、128,256,512,...,4096.. などの中から選択する。最後に、課金に関しては、一論理チャンネルに対しては課金されず、通信したパケットの数に対して課金される。

通信プロトコルには、ネットワーク層に X.25[23] をデータリンク層に HDLC[24, 25] を利用するのが一般的である。ネットワーク層では、各論理チャンネルの制御と、データ転送のフロー制御を行なっている。データリンク層では、網との通信を行なうためのデータ(パケットの順序、パケットの内容)の保証を行なっている。

このようなパケット交換網の最も有効な利用法は、広域ネットワークで複数の相手と同時に通信を行ないたい場合である。同一相手との通信は複数の論理チャンネルを同一相手と接続し、送信データを各論理チャンネルに分割し通信することが可能であるが、論理チャンネル毎に分割する手間を考えると後述の回線交換網を利用する方が有意である。

## 3.2 高速デジタル公衆回線

高速デジタル公衆回線は、国内では ISDN [26, 27, 28, 29, 30, 31] を用いた INS の B チャンネル回線交換サービスが利用できる。この高速デジタル回線交換のサービスは、INS 網の一つのアプリケーションである。下位層のプロトコルは INS 網で規定されたプロトコルを使用し、ネットワーク層のみ回線交換用のサービスのために規定されたプロトコルを利用する。実際に INS のサービスを利用する方法は、アプリケーションとなるサービス（音声電話、回線交換網、パケット交換網）に必要なプロトコルのみを提供するターミナルアダプタを利用するのが一般的である。ターミナルアダプタは、DTE とターミナル間のプロトコルを INS 網へのプロトコルに変換を行なう。ユーザから見れば、従来のアナログ公衆回線を利用する際に用いたモデムの変わりに、ターミナルアダプタを用いることによって高速デジタル公衆回線を利用できる。

INS の B チャンネル回線交換で提供されるサービスは、1 チャンネル当たり最大 64Kbps で、通常の電話と同じように使用した時間に対して課金される。同局間で同じターミナルアダプタを使用した場合 100ms 位で接続が完了し、一般的には 3 秒以内に接続が完了する。切断に関しては 1 秒以内に完了する。従って、従来のアナログ公衆回線網の利用とはことなり、最初のパケットにより接続を始めても 64Kbps の帯域幅を利用できるために利用頻度が高い。しかし、複数の相手と通信を行なう場合は、コストが高くなるために前述のパケット交換網の方が有理である。

## 第 4 章

### 実験ネットワークの構築

パケット交換網や回線交換網の特徴によって、次のような機能を BSD UNIX のネットワークアーキテクチャに盛り込むことが必要になる。

- 回線の制御 ( 自動発着信、自動切断 ) の機能
- 複数の回線を同一相手と接続し通信行なうためのマルチリンク機能
- ネットワーク ( 網制御 )、データリンク層の多重化

しかし、上述の回線制御なども構築された各々のネットワークによって制御のアルゴリズムがことなることが予想されるため、実際のネットワークを構築し経験を積む必要がある。WIDE では、X.25 プロトコルを用いたパケット交換網を利用したネットワークを既に構築している [32, 33]。従って、実際に高速デジタル回線交換を用いたネットワークを構築し、各々の利用法を検討して、X.25 での経験と合わせ、パケット交換網や高速デジタル公衆回線網の有効な利用を可能とする BSD UNIX での “統一したデバイスインタフェース” の部分を再構成を行なう。

#### 4.1 高速デジタル公衆回線網を利用したネットワーク

実験の最初の段階では、まず、最もプリミティブな機能を持ったドライバを作成し、実際に公衆回線網を利用したネットワークで何が必要となるかを調べる。

##### 4.1.1 ドライバの作成

回線交換網を利用するにあたって最小限に必要な機能をまず、選択する必要がある。

- 自動発着信と自動切断の機能
- 上位アドレスと ISDN アドレス ( 電話番号 ) の変換

この二つの機能があれば、効率やコスト面で問題が生じる可能性があるが、ユーザがリンクの状態を意識せず利用することが出来る。

自動発着信や自動切断には、発着信や切断の機能に加え、どのタイミングで接続や切断を行なうか、接続の要求があった場合どうするかの決定を行なう必要がある。この決定に何らかの制限をつけた場合、実験するネットワークに大きく影響を与える可能性がある。従って、最も簡単なアルゴリズムを用いることにする。

自動発信 接続が可能な状態であれば、パケットの種類に関係なく接続を行なう。

自動着信 相手が確認できれば、接続を確立する。

自動切断 接続後一定間隔で入出力のパケットの数を数え増加がなければ接続を切断する。

アドレスの変換に関しては、自動発信を行なう場合は上位層からの接続要求(パケットの出力)により相手の電話番号に変換し、その電話番号をもとにターミナルアダプタに接続を要求する。自動着信した場合は、網から通知される相手の電話番号をもとに上位層のアドレスに変換を行なう。この際に相手の電話番号が検索できなかった場合は接続を確立しない。変換した上位アドレスを自インタフェースの相手アドレスとしてつける。

#### 4.1.2 実験ネットワーク

##### モデル

前述のようなプリミティブな機能のみを持ったドライバを用いて、いくつかのパターンの実験ネットワークを構築し、利用することでこのような回線交換網を用いたネットワークで必要となる機能を明確にする。まず、回線交換網を利用したネットワークをいくつかのパターンに分類する。

1. 個人ベースの利用
2. 専用線の代用として利用
3. 専用線と併用として利用

1としては、まず、自宅や組織内で利用者一人のために利用する場合で、特徴としては、コストより接続されている状態の方が重要で経路情報を自計算機側には出す必要がない。

2は、主に組織間を接続する場合などで、専用線を利用するほどトラフィックがない時にある。特徴としては、専用線を利用する場合よりコストが低く、提供するサービスを限定してもよい。

3は、専用線が使用不能になった時や、専用線の能力を上回るデータ通信が必要になった時で、特徴としては、出来るだけ効率的に回線(既にある専用線や追加的に加える公衆回線)を利用する必要がある。この場合は、専用線と並行に接続するだけでなく、パイパシ的に新しい通信路を確立することなども考慮する必要がある。

## 個人利用

個人的利用では、複数の個人の自宅にワークステーションを設置し、高速デジタル公衆回線により接続し実験を行なった。また、確立されたネットワーク上の一台の計算機に高速デジタル公衆回線を接続して実験を行なった。

その結果次のようなことが分かった。

- 回線を接続する時はユーザが望んだ時のみでよく、セッションが終了と接続は自動的に切断してよい。
- 経路制御情報は、自計算機側には必要なく、接続を行なった相手計算機や目的とした計算機への経路上の計算機にのみ必要である。
- 自宅からの場合は通信相手は所属する組織が主であるのに対して、確立されたネットワーク上の計算機の場合はファイルなどを転送したい相手と接続を行ない、相手は非固定的である。

このような環境を実現するために我々が選んだ最も簡単な方法は、接続先で一時的に接続先のアドレスを割り当ててもらい、あたかも相手のネットワーク上に見せかけてデータ通信を行なう方法である。この方法を用いることで接続相手先から外への経路情報を流すことなく通信が行なえるため、個人的な利用の度にネットワーク上に経路情報を出す必要がない。

## 専用線の代用

専用線の代用として回線交換網を利用する際の最も重要な点は、サービスの種類を減少させても、コストが専用線に比べて低いことである。実験では、計算機が 10 台位の組織でユーザが 20 人位の組織との接続に高速デジタル公衆回線網を利用した。

この実験で我々が学んだことは、全てのサービスを全てのユーザに対して提供した場合、回線の使用料金が時期により異なり、低コストでの運用も難しくなる。専用線を利用するより低コストにするためには、一回の接続に出来るだけ転送データを集中させる必要があるが遠隔仮想端末のようなサービスは転送データを集中させることが出来ない。従って主に情報 (ファイル単位) の交換が中心となる。このような運営方法を実現するためには、転送するファイルをスプールし一回の接続でまとめてファイルの転送を可能にする機能が必要となる。加えて、どうしても必要な場合のみその他のサービスを受けられるようにするために、特権を持つユーザのみファイル転送以外のサービスを受けることができるスクリーニングの機能が必要となる。

このような環境を実現するために我々が選んだ最も簡単な方法は、UUCP-T プロトコルによるファイル転送である。一回の接続で最小な通信時間は同一局内で 3 分で、この 3 分間に転送できる最大のデータ量は、 $3 * 60s * 64Kbps$  で約 1.5MB である。最も効率的なパターンで 1 日 10MB のデータを転送する場合 1 日 60 円となる。しかし、この場合は、最初にスプールされてから 1.5MB のデータが集まるまでの時間があまりにも浮動

的である。従ってもう少しサービスの質を向上させて基本的に 1 時間に 1 回でデータタイムのみ 2 回接続を行なった場合で 1 日 320 円である (実際には 400 円前後である)。スクリーニングの方法に関しては、ゲートウェイで IP のフォワードの機能を止める方法である。ゲートウェイにアカウントを持つユーザのみ全てのサービスを受けることが可能となる。

#### 専用線との併用

専用線と併用して利用する場合の最も簡単な例は、何らかのトラブルで専用線が利用できなくなった場合の代用である。その他には、専用線の利用頻度が高くなった場合に専用線の補助として利用する方法である。補助の方法は、専用線と並行して行なう場合と実際のトラフィックの多い地点と接続を行ないバイパス的な場合とがある。

このような環境を実現するためには、まず専用線の状態を把握する必要がある。ネットワークを解析するための機構に関しては、[34] により研究されている。従って我々の実験では、状態が把握され、接続が必要であると判断された場合で、かつ接続先も指定された場合にどうするかを調べる必要がある。

最も効率的であると思われる利用方法は、専用線の通信可能な最大帯域幅を越えた時に回線交換網を補助として利用する方法である。この際に問題となるのが通信データをどの様に分割するかである。帯域幅は越えた分のみを公衆回線交換網を利用する方法や、全く二分の一に分割して通信を行なう方法などがある。また、もっと高度な分割方法としては帯域幅を必要とするものと応答時間を重要とするものを分割させ、全く性質の違う二本の回線として利用する方法などがある。

我々が用いた方法は、データ転送で遅延の許されるものと許されないものに分類し、遅延の許されるものに関してまとめて公衆回線網を利用して転送した。このことにより、専用線の利用は快適なものとなった。しかし、今回の実験はサービス毎の遅延の最大幅などを考慮せずに行なった。今後、サービス毎にもっと厳密な分類を行ない転送経路を選択する必要がある。

## 4.2 まとめ

三種類の実験ネットワークから我々が学んだことは大きく、それぞれの特徴を把握することができた。しかし、これらのネットワークに対して全て同じネットワークアーキテクチャで対応することは、現時点での我々の技術では不可能である。従って、全てのネットワークアーキテクチャを有効利用できる形の統一したデバイスインタフェースを作成し、三種類のネットワークに対応できるネットワークアーキテクチャを決定する必要がある。

## 第 5 章

# 統一したデバイスインタフェース

まず、最初に述べたパケット交換網や回線交換網を利用する際に必要となる機能についてまとめると、

1. デバイスインタフェースの階層化
2. 階層化に伴い、各層で必要とされる関数の定義
3. 網でのアドレスと上位プロトコルのアドレスとの変換

これに加えて、実験ネットワークで我々が必要とした機能は、

1. 自動発着信、自動切断のメカニズム
2. 接続後の経路制御
3. 全ての回線の状態の把握とバイパス回路の決定
4. 複数の回線を同一相手に接続しデータの分割を行なうマルチリンク機能

などがあげられる。

我々が作成した新しいデバイスインタフェースの構成は、各層を階層化することが可能で、各層には、データの入出力、回線の状態の変化(発信、着信、切断)、回線の初期、終了処理などの関数を定義した。また、アドレスの変換に関しては、良く利用するアドレスに関してはキャッシュされたデータベースとして保存し、その他のアドレス変換は必要になった時のみ問い合わせで検索する方法で実現した。

後者の機能に関しては、利用する目的によってことなるために選択が出来る形で実現する必要がある。従って、自動発着信、自動切断に関しては、インタフェースマネージャを作成し、このマネージャの決定にしたがって回線の制御を行なうことで実現した。また、経路情報やインタフェースの両端のアドレスに関しては、インタフェースマネージャと経路制御デーモンとのやりとりで実現することにした。回線の状態の把握や、バイパス回路の決定は、[34]の結果を待ち、この結果をインタフェースマネージャが取り込める形で実現できるようにしておく。

## 第 6 章

### 結論

必要最小限の機能を持ったデバイスドライバを作成し、実際にそのドライバを利用し、幾種類かの実験ネットワークを構築し、利用してみることで、我々が学んだ経験や知識は大きい。このような経験や知識をドライバにフィードバックさせ、実際に利用するにあたって必要となる機能をもった統一したデバイスインタフェースの決定が可能となった。

しかし、統一したインタフェースによってパケット交換網や回線交換網の有効な利用が全て実現されるわけではない。今回の実験では、統一したいデバイスインタフェースの再構成にとどまったが、今後は、ネットワークアーキテクチャ全ての見直しが必要となる。そのためには、このような実験ネットワークの運用を続け、より多くの経験や知識を学び、パケット交換網や回線交換網だけでなく、将来の新しいネットワークデバイスにも対応できるネットワークアーキテクチャの構成を行なっていく必要がある。

