

解説



パケット交換の役割と展望†

齊藤 忠夫††

1. ま え が き

パケット交換の原理はネットワーク・アーキテクチャにおける基本的な通信の原理として広く注目されているが、その原理の提案はあまり古いものではなく、1964年のP. Baranの研究にさかのぼるにすぎない。最初の提案では超高信頼度の迂回路の多いネットワークにおいて、円滑な迂回を実現するために情報の単位としてパケットを用いる方式が示されている。この原理はその後NPL網およびARPA網の両コンピュータ・ネットワークにおける通信サブネットにとり入れられ、コンピュータ・ネットワークの基本技術として注目されるようになって来た。

これと同じころ、ヨーロッパの通信主管庁の間では50ビット/秒のデータ伝送の一種であるテレックスの近代化、200ビット/秒の同様の機能を持つDatexと呼ぶサービスとテレックスの相互接続のための速度変換、さらにはデータ交換をこれらのサービスと一体化することなどを目的とした通信主管庁ベースのデータ交換網の計画がはじまっていた。この計画の検討事項としてはデータ用の回線交換、パケット交換が含まれており、方式の統一をめぐる、1969年頃からCEPTを中心として種々の議論が行われていた²⁾。

こうした動きと並行してアメリカではコンピュータ・ネットワーク用の付加価値通信網の中にARPAを中心として発達したパケット交換の技術を取り入れようとする動きがあった。1975年のTELENET社のサービスは、公衆パケット交換網としては最も早いもののひとつである。

こうしたパケット通信網の世界的な標準として1976年X.25勧告が制定されたことはこの間の大きなできごとであった。X.25にはその後種々の改訂が行われ、またX.25に準拠しながら、少しずつ仕様の異なるパ

ケット交換網が各国で実現されているとはいえ³⁾、パケット交換の原理を確立したものとしての意義は大きい。

2. パケット交換の原理

パケット交換は一種の蓄積交換である。蓄積交換の意味は交換されるべき情報が交換ノードにおいて一度短時間の間蓄積され、その後で送出手されるということである。この蓄積時間、蓄積量には種々の大きさがある。電話用のPCM交換では、1バイトから2バイトの蓄積が行われ、いわゆるメッセージ交換では、メッセージブロックの単位となる数十～数百バイトの情報が蓄積される。パケット交換では蓄積の単位はもちろんパケットである。パケットの大きさはX.25では16オクテット(バイト)から1,024オクテットと決められているから、蓄積量としてはパケット交換はメッセージ交換と呼ばれる従来の技術と本質的に変わらないように思われる。

交換を行うためには、交換ノードごとにその情報についての経路を決定しなければならない。そのためには情報単位を識別し、その経路と対応づけることが必要である。PCM交換ではその情報の現われる時間的位置でこの対応付けが行われる。これに対してメッセージ交換では情報のフォーマットは一般に不定であり、メッセージ全体を交換機がしらべることによってメッセージの取扱いが決められる。これに対してパケット交換ではメッセージの内容を見なくても、ヘッダを解析するだけでその取扱いを決めることができる。この3つの交換方式の原理はその経路決定の方法に従って表-1のように理解できるといえよう⁴⁾。

パケット交換ではヘッダの内容によって宛先が決まることになる。ヘッダの中に宛先ノードの情報まで完全に記述することにすれば、それだけでその扱いは決

表-1 交換方式の原理

PCM 交換時間駆動
パケット交換ヘッダ駆動
メッセージ交換メッセージ駆動

† Packet Switching Network: The Role and its Potential Advantages by Tadao SAITO (Educational Computer Center, University of Tokyo).

†† 東京大学教育用計算機センター

表-2 各国の代表的パケット交換網

米	国	Telenet	1975
		ACS	不明
カ	ナ	Datapac	1977
フ	ラ	Transpac	1978
日	本	DDX	1980
英	国	NPSS	1980 予定

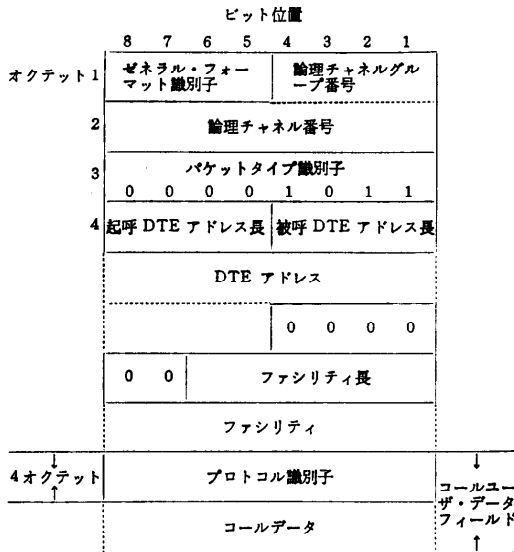


図-1 発呼パケットのフォーマット

まる。

あらかじめ宛先ノードに対して論理的なチャンネルを設定しておけば、そのチャンネルを識別するだけで宛先ノードが決まる。この場合にはヘッダには宛先ノードを識別する情報は不要である。前者の方式はデータグラムと呼ばれ、後者の方式はバーチャル・コールと呼ばれている。バーチャル・コール方式においてはバーチャル・サーキットと呼ばれる論理的チャンネルが必要なたびに設定・解放されるが、場合によってはシステム内で固定的にバーチャル・サーキットを設けることもでき、これはパーマネント・バーチャル・サーキットと呼ばれている。

CCITT によって X.25 が勧告されて以来、各国においては X.25 に準拠したバーチャル・コール方式のパケット交換網が各国で普及して来た。表-2 にはその各国における代表的なパケット交換網を示している³⁾。X.25 では通信の手順は発呼パケットの送出によってはじまる。発呼パケットのフォーマットを図-1 に示す。発呼パケットでは起呼 DTE と被呼 DTE それに論理チャンネル番号が指定される。以後の被呼、起呼 DTE 間の通信はこの論理チャンネル番号によって識

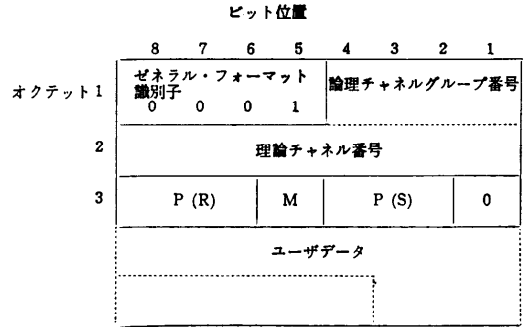


図-2 データパケットのフォーマット

別されることになる。

図-2 にはこうして指定された論理チャンネルを通して伝送されるデータパケットのフォーマットを示している。データパケットには被呼・起呼 DTE のアドレスは含まれておらず、これは論理チャンネル番号で識別されることになる。これにはさらに送信パケット番号、受信パケット番号（それぞれ P(S), P(R) で表わす）が含まれており、それぞれのパケットの番号と、次に相手から受信が期待されるパケットの番号が含まれている。

相手から来たパケットの P(R) の値は、P(R)-1 番目までのパケットが正しく受信されたことを示しており、これに対してさらに P(R)+W-1 までの番号のパケットを送信して良いことが示される。これによって送信してから確認を受けるまでのアウトスタンディング状態のパケット数は、論理チャンネル当り W 個を越えることはなく、ネットワークのフロー制御が行われる。

さてこのパケットの長さについてはネットワークによって種々の値がとられるようになっている。また、パケットのシーケンス番号には 3 ビットが割当てられる場合と 7 ビットが割当てられることがある。番号は前者ではモジュロ 8 で、後者ではモジュロ 128 でくりかえすことになる。P(R) が受信されたときにこれはパケットが相手 DTE に正しく受信されたことを示すのか、あるいは DCE がこれを正しく受信したことを示すかについても、ネットワークによって解釈が異なることがある。

ウィンドウの大きさ、論理チャンネルにどのような番号を付与するかなどについてもネットワークによって各種の方法が規定されている³⁾。

バーチャル・コール方式のパケット交換網では、エンド・ツー・エンドに論理チャンネルが網の側で規定さ

れるから、それによる起呼、終呼の概念が存在し、パケットはその順序で相手側に送達され、また論理チャネルごとにフロー制御が行われる。

これに対してデータグラム方式ではパケットごとに相手アドレスがあり、ネットワークは論理チャネルの概念を持たない。ネットワークのフロー制御、あるいはパケットの番号の整頓はこの場合ネットワークでは行われないから、これらについては上位レベルのプロトコルに依存することになる。データグラム方式ではしたがって、ネットワークとそのユーザの間の責任分界点は不明確となる。

パケット交換の原理を応用したものとして、この他に衛星パケット方式、無線パケット方式、ランダムアクセス形有線パケット方式などがある。これらはいずれもデータをパケットの形式にして、無線あるいは有線の伝送路に放送方式で送り出し、受信者はパケットヘッダを解析して、自分あてのパケットを受信する方式である。パケットの送出をランダムに行うか、色々な規則を設けて伝送路の利用効率を向上するかについては、各種の方式が提案、検討されている⁵⁾。これらの方式では共通の伝送路あるいは衛星等を管理する主体は原則として存在せず、各送受信者間の情報の流れを規制して、輻輳を制御することは困難である。

通信網はその利用者と一体になっている場合（私設網・専用網）と通信網と利用者が別の主体として運営される場合（公衆網）とがある。後者の場合には通信網の側には課金等の目的で通信の記録をとったり、著しく大きな負荷が与えられて通信網の運転に支障が生ずるのを防止するための輻輳制御の機能が必要である。パケット交換にはバーチャル・コール方式の他にも前述した各種の方式があり、各種の網で用いられているが、公衆パケット網としてまずバーチャル・コール方式が用いられるようになったのは、このように網と利用者間の責任分界点が明確にしやすいためである。

しかし論理チャネルごとのシーケンス番号の管理、あるいはフロー制御は通信網のためだけでなく、その利用者であるプロセスの間でも、そのプロセス間通信の制御のために必要な機能である。このため通信網で行うこれらの管理と、プロセス間通信のためにプロセス間で行われるフロー制御等は機能的に重複して行われる傾向にある。このため番号管理、フロー制御等は通信網の機能とはせず、利用者の側で行うようにするのがよいとの考え方も強い。責任分界点の問題と、機

能の重複の回避は矛盾する要求であり、この点を考慮した公衆パケット交換網のプロトコルの開発は今後の課題である。

3. ネットワーク・アーキテクチャとパケット交換

ネットワーク・アーキテクチャの上から考えると、パケット交換網は異コンピュータにおけるプロセス間通信のための通信網である。このプロセス間通信は同一コンピュータ内におけるプロセス間通信の概念の拡張であり、プロセスの識別、同期、フォーマットの変換等を含めプロセス間通信を異コンピュータ間で実行するものである。この処理はコンピュータが異なる地点に存在するために、また場合によっては異機種であることによる配慮がある点を除けば本質的には同一コンピュータ内のプロセス間通信と同様である。

図-3には ISO/TC 97/SC 16 で提案されているネットワーク・アーキテクチャの標準化のための参照モデルを示している。この中で応用レーヤはプロセス間通信を行うプロセスであって、これが下位の各レーヤを使用することによって、プロセス間通信が行われる。公衆通信網のプロトコルはこの内ネットワーク・レーヤおよびトランスポート・レーヤに位置すると考えられる。通信網としてはパケット交換のほかにもデータ回線交換網、電話交換回線網など各種の網があるが、パケット交換網では、少なくとも物理的には通信したいと思う2点間は常に接続されているということがきわめて有利な特徴となる。これに対して回線交換方式の網を利用する場合には、これを利用しようとするセッションは、通信を開始する前に、物理的経路がすでにできているかをチェックし、できていないときにはそれを設定するためにかなりの時間を要し、さ

応用レーヤ
プレゼンテーションレーヤ
セッションレーヤ
トランスポート・レーヤ
ネットワーク・レーヤ
データリンクレーヤ
物理レーヤ

図-3 SC 16 によるプロトコルの多層構造の参照モデル

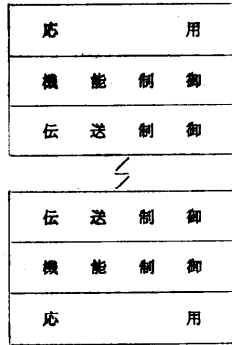


図-4 ネットワーク・アーキテクチャの概念

らに通信の必要がなくなったことを判断して、これを切断する必要があるなど、処理はわずらわしいものとなる。

この意味からはパケット交換網は2点間に専用回線を設けた場合と同様の通信を任意の数の地点間で実現可能にするものであり、このような方式の実現が可能になったことによって、ネットワーク・アーキテクチャが実現可能になったと考えることもできるのである。

1974年にSNAがIBMによって提案されて以来⁶⁾ コンピュータ製造会社はそれぞれ独自のネットワーク・アーキテクチャを提案している。各社のアーキテクチャは、少なくとも図-4に示すような共通の層状の構造を持っている。層状の構造の意味するところは、この各層がそれぞれ独自のヘッダを取扱うことによって閉じた機能を実現することである。したがってパケット交換網を取扱うレーヤが明確に分化したアーキテクチャであれば、通信網とその利用者のプロトコルを分化できるのに対して、パケット交換のレーヤが分化していなければ、明確な責任分界点を持つネットワークは構成しにくいことになる。

ネットワーク・アーキテクチャの中にはSNAに代表されるように、パケット交換に相当するレーヤを分化していないものと、DCNAに代表される明確に分化したレーヤを持つアーキテクチャの種類が存在する⁷⁾。

前者の場合にはその分だけオーバーヘッドは小さいが、公衆パケット網を利用した網の構築の場合には問題を生じ得よう。

4. パケット交換網の特徴と適用分野

約30年にわたるコンピュータの歴史において、その処理能力当りのコストは年率15%~20%で低下して

いるといわれる。これに対してすでに100年の歴史を持つ成熟した技術である伝送路技術でのコストの低下はきわめてゆるやかである。

このため特にコンピュータ通信網の高速の伝送路を長い区間で実現しようとすれば、高価なものにつく。パケット交換は交換点の情報処理能力を向上して、高価な伝送路を占有することなく、高速、高品質で利用者のデータを伝送する通信網を実現しようとするものである。

パケット交換網では通信のコストは伝送路のコストよりむしろ交換のコストで決まり、したがってコストは伝送されるパケット数に比例する。もちろん交換点と利用者との加入者線は占有されるから、この分の固定コストがかかる。

公衆パケット交換網では、こうしたコスト構造に応じた料金体系が作られ、料金は基本料金と送られたパケット数に比例した情報量比例分から成る。これに対して従来専用回線では伝送速度を一定とすれば、料金は回線の距離によって決まることになる。

このことを考えれば、一般に使用頻度が低いとき、距離が長いときにはパケット交換網の利用が有利となる。図-5にはたて軸および横軸の目盛は入っていないが、これはそれぞれの料金がどのような値になっているかによって決まるものである。加入区域内の専用線料金とパケット交換網の基本料金によっては、一定距離以下では使用頻度がほとんど0であっても専用線が有利である状況が存在することに注意が必要がある。

コンピュータ・ネットワークの構築に当っては、電話交換回線、専用回線、データ回線交換網、パケット交換網など各種の選択の余地があり、また大規模なユーザの場合には専用線を利用した独自のパケット交換網を構成し、その中でデータグラム方式のパケット通信を行ってもよい。

これらの内のどれを採用するかは、もちろん伝送速

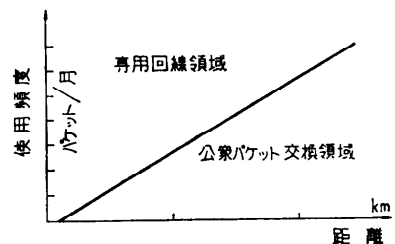


図-5 公衆パケット交換網と専用回線の適用領域(概念図)

度、誤り率等のそれぞれの通信手段の特性にもよるが、主としてコストの問題となる。ユーザの支払うコストはそれぞれの通信網の普及度および提供者の料金政策に大きくかかわってくることは言うまでもない。

公衆パケット交換網のようなデータ用の公衆通信網の問題のひとつは、当面の間その需要は電話に比べて格段に少ないから、その交換局のサービス区域はあまり広がらず、また加入者線も長くなるから、これにかかわる基本料金が高くなることであろう。この状況を考えれば、電話交換回線網、専用線等を適切に組合わせた通信網の構成が必要となる。

公衆パケット交換網の適用分野は長距離、低頻度のトラヒックを持つ分野である。当面の適用分野としては、銀行の預金システム、鉄道の座席予約システム等も有力であるとされていたが、これらについては大都市内のトラヒックが中心で、パケットの数もかなり大きいこともあって、全面的な公衆パケット交換網への移行はおこりそうにない。学術の分野では特に遠方のTSS 端末の取扱い、データベースの検索のため等に公衆パケット交換網の応用が有望視されている。TSSの場合にトラヒックは小さいし、また全国的な利用では電話交換回線を使用することは高くつくからである。この場合には、パケット交換網への端末からのアクセスが問題となり、このために電話交換網を利用して、パケット網にアクセスできるようにするためのパケット・アセンブラ・ディスクアセンブラ (PAD) の普及が強く望まれる。

5. 公衆パケット交換網の役割

公衆パケット交換網は本来、小さなトラヒックを持つ分散したユーザが、コンピュータにアクセスするための、低コストで性能の良い通信媒体を提供するものである。このような分散した小トラヒックの需要は従来のデータ通信の環境ではきわめて取扱いにくかったり、またコストが大きくなったりしたために、ほとんど開拓されていない。

こうした応用としては今後家庭用端末からのトラヒック、小規模な商店等におけるクレジット情報取扱いのシステム等が開拓されることが期待される。公衆パケット交換網とPADを通しての電話交換網との網間接続が普及すれば小規模な端末からの全国的なアクセスが、低コストで実現でき、従来考えられなかった各種の応用が拓けることであろう。公衆通信網は本来目的を問わないものであり、これをいかに利用して、便

利な応用を作り出すかは、利用者の創意工夫にまかされている。パケット交換網は新しい分野の公衆通信網であって、新しい創意工夫を行う場を提供したものであるとしての意義は大きい。

従来コンピュータ間を接続する通信媒体としては、電話交換回線網と専用回線のいずれかしか利用できなかった。電話交換回線網を利用すれば、原則として任意の加入者はほかの任意の加入者に接続を行うことはできるがその伝送速度はきわめて低い。これに対して専用回線では48 kbps にいたるまでの高速伝送が可能であるが、その性質上ひとつの企業が専用するものであって、2つの企業間の接続にこれを使用することは制度上例外的にしか認められない。

これに対して公衆パケット交換網では、任意のコンピュータ間を接続でき、しかも高速のデータ伝送が可能である。この点から考えれば公衆パケット交換網は従来の通信サービスでは制度的に不可能であった適用分野でコンピュータ間通信を自由に実行できる通信媒体を実現するものであるということが出来る。

コンピュータ・ネットワークは従来になかった新しい技術分野であり、その発展は各々の分野でいかにして新しいサービスを創造し、需要を開拓してゆかにかかっている。公衆パケット交換網にはこの2つの分野で従来にないサービスの可能性を拓くものであり、新しいサービス分野における企業精神の発揮と新しいサービスの開拓を望みたい。

6. パケット交換の将来

パケット交換方式の最大の特徴は、多少の遅延が許容されるものであれば、どのような情報でも、交換機、伝送路のすべてについて完全に一律に取扱うことができることである。

通信網の分野では、かなり以前から各種の通信サービスを一体化して扱う総合サービスデジタル網 (ISDN: integrated service digital network) の考え方が広まっている。これは電話、データ、ファクシミリなどの各種の通信を一体化してひとつの通信網で取扱おうとする考え方である。

各種の通信に対する需要は正確に予測できないものであり、これに対応するためには融通性の高いこうした通信システムを作ることは望ましいことである。しかしこうした考え方とはうらはらに、最近ではそれぞれの要求に対応して各種のネットワークが相互に接続できない形態で形成されようとしている⁸⁾。交換機能

をもたない各種のシステム、使用者からは網を意識しないシステムを別とすれば、従来から存在した交換回線網は電話網と加入電話網の2つだけだったのに対して最近では2種類の新データ網——データ交換回線とパケット交換網が追加されようとしており、更にこれとは別にファクシミリ通信を目的とした別の網である公衆ファクシミリ網の計画も進められている。

これらの異なる原理に従う各種通信網を将来統合するとすれば、その原理は現在のところパケット交換の原理をおいてはかにならない。

最近では電話をパケットで伝送する音声パケット交換方式の研究も進められているが、これもそのひとつの方向であろう。オフィスオートメーションの機器としては、ファクシミリ、端末装置、電話などの情報を同一のフォーマットでパケット網を通して取扱おうとする装置の試作も行われている。

これらの研究が将来どのようにして ISDN の実現に結びつくかには不確定要素が多すぎるが、パケット交換の原理の応用が、その最もありそうな実現法であると考えられていることを指摘してむすびとしたい。

参 考 文 献

1) Baran, P.: On Distributed Communication

- Networks, Trans. IRE on Communication Systems, Vol. CS-12, No. 1, pp. 1-9 (Mar. 1964).
- 2) 齊藤忠夫: 新局面を迎えたデータ専用通信網構想への波紋, OHM ジャーナル, 昭和45年11月号別冊, p. 15.
- 3) Hess, M. L., Brethes, M. and Saito, A.: A Comparison of Four X. 25 Public Network Interfaces, ICC' 1979, 38. 6. 1. (June 1969).
- 4) 柴垣, 齊藤, 猪瀬: デジタル統合網における交換方式の一検討, 昭和54年度電子通信学会情報システム部門全国大会 278.
- 5) Inose, H. and Saito, T.: Theoretical Aspects in the Analysis and Synthesis of Packet Communication Networks Proceedings of the IEEE, Vol. 66, No. 11, p. 1409 (Nov. 1978).
- 6) McFadyen, J. H.: Systems Network Architecture: An Overview, IBM System Journal Vol. 15, No. 1, pp. 4-23 (1976).
- 7) 戸田 巖, 中田 寿: データ通信網アーキテクチャ (DCNA) の基本概念, 情報処理, Vol. 20, No. 2, pp. 153-160 (1979).
- 8) 齊藤忠夫: 通信システム, 電気学会雑誌, Vol. 99, No. 11, p. 1060 (昭和54年11月).
- 9) Saito, T.: Development Trends of Computer Networks in Japan EUROCOM '80 Stuttgart (Mar. 24-28, 1980).

(昭和55年4月14日受付)