

解説

——コンピュータ・ネットワーク その1——

コンピュータ・ネットワークの最近の研究・開発動向*

野口 正一**

1. はじめに

通信技術および情報処理技術の急速な発達と、より大量化、複雑化し、より広域化して発生する情報をより正確に、より早く処理するため、計算機システムの発達は計算機コンプレックス、TSSシステムから逐次コンピュータ間による情報処理、つまり計算機ネットワークシステムへと進展してきている。

計算機ネットワークの特色は各地域に分散して存在する資源、つまり中央処理装置、記憶装置を始めとするハードウェア資源や、膨大なデータベース、アプリケーションウェアの資源を各計算機システムの独立性を尊重しつつ、同時に数多くのユーザに共用させ、ユーザからみたコンピュータシステム自体の能力と信頼性を飛躍的に増加させることにある。そしてこの思想はネットワーク全体を一つの大きな仮想コンピュータと考える新しい計算機利用の可能性を提供するものである。またコンピュータネットワークの思想は論理的なレベルで考えると仮想計算機によるネットワーク構成の問題となる。そしてこの論理レベルでの結合法が後に述べるプロトコルの概念を用いて達成される。以上のことをまず念頭におきつつ本講では将来わが国において建設されるであろう計算機ネットワーク設計のための基本的ないくつかの問題をそれぞれの対象に対して考えてみる。すなわちネットワークの最適構成の問題、ネットワーク上の情報伝送ならびに処理の問題等である。特に本講では主として計算機ネットワークをシステム論的な立場から考察し、具体的、実的な立場よりは、むしろシステムをモデル化し、基本的な考え方、設計法の問題等について考え、今後、計算機ネットワーク開発のための資料としたいと考えている。

以上の観点に立ち本講では次の問題の基礎的な面につ

いて考察してゆくことにする。(1)ネットワークの形態と情報伝送能力、(2)資源の最適配置問題、(3)計算機ネットワークにおけるプロトコルとプロセス制御の諸問題、(4)衛星通信と計算機ネットワークの問題、終わりに現在の国内及び国外の計算機ネットワークの実際を総括してみる。特に(3)、(4)の詳細に関しては本講の解説にも掲載されるのでこれをよく参照して頂きたい。なお計算機ネットワークにおける基本的な問題であるルーティングの研究結果については十分には触れない。

2. ネットワークの形態と情報伝送能力

本章では計算機ネットワークの情報伝送能力が、ネットワークの形態伝送方式、制御方式、さらにはネットワークのルーティングによりどのようにその特性が変わるかを考察する。本講ではネットワークを流れる情報はすべてあるまとまった単位の情報、つまりパケット(Packet)として送られるものとする。

2.1 ネットワークの形態

計算機ネットワークを網形態の複雑さから分類すれば、ネットワークは図-1の如く大略つぎの6通りに分けられよう。

(1)集中型、(2)集中型の結合、(3)線状型、(4)環状型またはループ型(loop型)、(5)一般分散型、

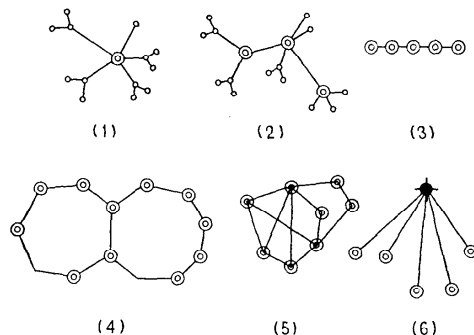


図-1 計算機ネットワークの形態

* Computer Network; Recent Research and Development by Shoichi NOGUCHI (Tohoku University Research Institute of Electrical Communication)

** 東北大学 電気通信研究所

(6) 衛星を含む分散型。

明らかに、(3), (4), (5) が通常言われている分散型情報処理網のモデルである。

以上の形態の分類は二次元的なネットワークを対象にしたものであるが、将来の計算機ネットワークを考えると、衛星通信による三次元的なネットワークは本質的に重要なものであり、これも考察しなければならない。このモデルは(6)の如く表現される。以上のことを総合すると、ネットワーク自体の特性を調べるためには、(5)の一般分散型のネットワークと、(6)のモデルが共存するものを考察しなければならない。しかしこのようなネットワークは形態的に複雑であるし、統一的な解析を得ることが難しい。このため本章では計算機ネットワークの中でもしばしば用いられる基本的なループ型と衛星通信ネットワークの個別的な情報伝送能力を中心にして考察する。

既に定めた如く、ネットワーク内における情報はパケット単位で送受されるが、この場合パケットを線路上に任意のせる場合と、線路上で同期して動くスロットにのせて伝送する場合とがある。前者をノンスロット (non slotted) 方式、後者をスロット (slotted) 方式という。

さてループ型ネットワークは、図-2 に示すような構成であり、ループ上のステーションのモデルは図-3 に示す通りである。

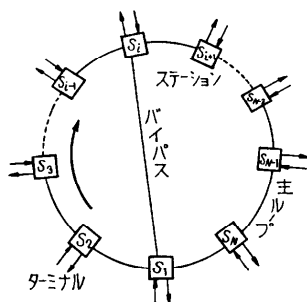


図-2 ループコンピュータ・ネットワーク

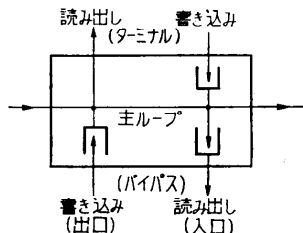


図-3 ステーションのモデル

2.2 ループネットの伝送方式と情報伝送能力

ループネットワークの各ステーションにおけるパケットの発生は、ポワソン (Poisson) 到着としてモデル化される。これとは別に各ステーションに常にパケットが存在する場合をフルロード条件という。この場合は次の方式に従う。

(I) フルロード方式

ループ上のステーションには常にパケットが準備されており、定常状態において空のスロットはない。したがって、スロット中のパケットの宛先が自己のステーションであるときに限ってその空きスロットへパケットの送出が可能となる。

ポワソン到着の場合、パケットがステーションに到着するとバッファリングができる場合とできない場合があり、後者の場合にはステーションからの書き込みパケットと伝送路上でのパケットとの衝突が生ずる場合がある。その処理法に対し、以下の伝送方式が考えられる。

(II) B-R 方式と P-R 方式

伝送路上とステーションからの書き込みパケットに衝突が生じるとき、その時点で両方とも棄却する場合を B-R 方式、ステーションからの書き込みパケットのみを棄却する場合を P-R 方式とする。

(III) B-G 方式

ターミナルから到着したパケットについてバッファリングを行う方式で伝送路が1パケット分以上空いているときのみパケットを送出する。本方式は通常のループネットの伝送方式である。

以下では B-R 方式で、スロットを用いないときを Pure B-R 方式とし、スロットを用いる場合を Slotted B-R 方式として区別する。

(IV) 双方向伝送方式

図-2 において共通なループ状の伝送路が2個あり、互いに反対方向へ伝送する方式で、パケットは送出ステーションから宛先ステーションへ通過するステーション数の少ない伝送路を用いて伝送される。(最短経路制御)

以上を整理すると伝送方式として、(I)フルロード方式、(II) pure B-R、(III) pure P-R、(IV) slotted B-R、(V) slotted P-R、(VI) slotted B-G の方式があげられる。

また回線が単方向伝送の場合と双方向伝送の場合がある。以上の条件のもとで回線の各方式の回線利用率 η と情報伝送率 A を求めてみる。ここで η は回線

表-1 回線利用率と情報伝送率

	単方向伝送 $\gamma = \xi(N/2 - 1)$				双方向伝送 N ; 奇数, $\gamma = \xi(N-3)/8$			
	η	$\eta_{\max}$	A	$A_{\max}$	η	$\eta_{\max}$	A	$A_{\max}$
フルロード	1	1	2	2	1	1	$4N/(N+1)$	$4N/(N+1)$
pure B-R	$M\gamma e^{2M\gamma}$	$1/2e$	2η	$1/e$	$M\gamma e^{2M\gamma}$	$1/2e$	$4N\eta/(N+1)$	$2N/e(N+1)$
pure P-R	$M\gamma/e^{2M\gamma} + e^{2M\gamma} - 1$	0.24	2η	0.48	$M\gamma/e^{2M\gamma} + e^{2M\gamma} - 1$	0.24	$4N\eta/(N+1)$	$0.96N/(N+1)$
slotted B-R	$M\gamma e^{-M\gamma}$	$1/e$	2η	$2/e$	$M\gamma e^{-M\gamma}$	$1/e$	$4N\eta/(N+1)$	$4N/e(N+1)$
slotted P-R	$M\gamma/e^{M\gamma} + e^{-M\gamma} - 1$	0.48	2η	0.96	$M\gamma/e^{M\gamma} + e^{-M\gamma} - 1$	0.48	$4N\eta/(N+1)$	$1.92N/(N+1)$
slotted B-G	$NM\xi/2$	1	$NM\xi$	2	$M\xi(N+1)/8$	1	$4N\eta/(N+1)$	$4N/(N+1)$

が平均的にどの程度利用されているかを示す量であり A はネットワークが単位時間当り処理できるパケットの数である。また計算は便宜上、パケットが任意の i ステーションから j ステーション ($i \neq j$) へ伝送される確率 P_{ij} は等しく、ステーションの数を N とすると $1/N-1$ として解析してある。以上の結果をまとめたのが表-1 である¹⁾。ただし双方向伝送線路の一方当りの回線速度は単方向のその半分として計算してある。

ここで N はループ上のステーションの数、 ξ は各ターミナルに到着する平均パケット数、 γ は主ループ上のトラフィック密度で N と P_{ij} で計算される量、 M はパケット長である。以上の計算は単ループの場合の特性であるが、ループに各種のバイパスを挿入してパケットのルーティングを制御した場合、その影響がどの程度あるかを次に調べる²⁾。モデルとして 図-4、図-5 に示す如く、ループに単一、または二本のバイパスを挿入して制御を行った場合を考察する。ここでは任意のステーションから任意のステーションにパケットを伝送するに要する平均時間 $\bar{Q}$ と各ステーションに到着するパケットの平均数 ξ との関係を示す。図-4

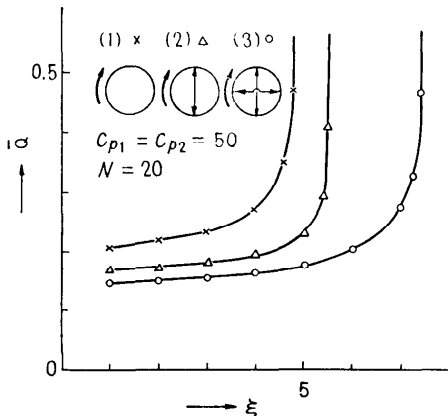


図-4 入力呼と平均応答時間の関係

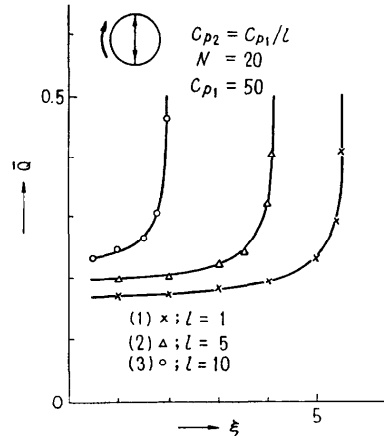


図-5 入力呼と平均応答時間の関係

はステーション数 N が 20 の場合、 $\bar{Q}$ と ξ との関係を図に示すネットワークを対象にして与えたものである。ここで C_{p1} , C_{p2} は主ループ及びバイパスの回線速度でともに 50 kbps としてある。図-5 はループに 1 本のバイパスが入った場合バイパス回線の伝送速度が主ループの回線と比較して $1/l$ で遅くなったときの平均応答時間 $\bar{Q}$ と ξ の関係を示したものである。またこの図で $\bar{Q}$ を ∞ にする ξ_{∞} と N の積がこのネットワークの $A_{\max}$ に対応する。

以上の考察からわかる通り、ネットワークの中に適当な結合を与えることは系全体の応答時間、さらには全体の情報処理能力に著しい影響を与えることがわかる。しかしここで述べたネットワークは単純なループネットを対象にした議論である。このような考察をさらに一般化したネットワークの上に拡張することは今後の重要な問題となろう。

2.3 通信衛星によるネットワークの伝送方式と情報伝送能力

ループネットワークの場合と同様各伝送方式の定義を以下に述べ、その伝送能力を調べる。

(1) ALOHA 方式³⁴⁾

地上の各ターミナルは他のターミナルに関係なくパケットをランダムに送出する。衛星上でパケットに衝突が生じるとそのパケットは再びランダムに再送される。スロットを用いる場合を slotted, 用いない方式を pure として区別する。

(2) CSMA (Carrier Sense Multiple-Access) 方式³⁵⁾

ターミナルがパケットを送信するとき、他のターミナルの送信によるキャリアの有無を検出し、キャリアがないときのみを送出することによってパケット同士の衝突を減少させる方式である。P-persistent CSMA 方式は、ターミナルでパケットを送出する場合まずチャネルの状態を調べ空いていれば確率 p で送出し、 $(1-p)$ で 1 スロット分だけ遅延させる方式である。また、チャネルが占有されているならば空になるまで待ち上記の動作を行う。Nonpersistent CSMA 方式ではチャネルが空いていればパケットを送出し、占有されていれば、ランダムに送出時点が遅延される。

(3) BTMA (Busy-Tone Multiple-Access) 方式³⁶⁾

CSMA 方式において、地上のターミナル間で必ずしも互いにキャリアを検出できるとは限らない場合に対処するために考案された方式である。BTMA 方式ではメッセージ送信用の他に制御用チャネルを設けターミナルからパケットの送出があるときは常に衛星から制御用チャネルを通してビジー信号を送り全ターミナルに知らせる。

(4) SRMA (Split-Channel Reservation Multiple Access) 方式³⁷⁾

ターミナルからの送信権の予約用とメッセージ伝送用の 2 つのチャネル f_1, f_2 を設け、送信権の予約には CSMA 方式を用いる方式である。メッセージ伝送用のチャネルではパケット間の衝突は生じない。

(5) RESERVATION 方式³⁸⁾

チャネルを時間軸上でスロットに分割し、連続した M スロット (large slot) ごとに V 個のスモールスロットを設ける。スモールスロットは、送信権の予約と Ack 用に使用され、ALOHA 方式で各ターミナルからアクセスされる。チャネル状態として 2 種類あり、そのひとつはターミナルからの送信機が予約されている状態で、これを予約状態と呼ぶ。他のひとつは送信権の予約がなく、次に有効な予約が行われるまでの状態で、これを ALOHA 状態と呼び、スモールスロットのみが続く。この方式は時間軸を予約分の情報に用

表-2 衛星通信の各伝送方式の回線利用率

Protocol	Capacity η_{max}
Pure ALOHA	0.184
Slotted ALOHA	0.368
1-persistent CSMA	0.529
Slotted 1-persistent CSMA	0.531
Nonpersistent BTMA $W=100\text{ kHz}$	0.680
Slotted nonpersistent CSMA	0.857
Perfect scheduling	1.000

$a=0.01$

いている。

次に各方式の伝送能力について述べる。上の表-2 は各伝送方式における回線利用率 η の最大値 η_{max} を与えるものである。ここで W は衛星の帯域幅、 a はパケットの平均伝送時間と伝搬遅延時間の比である。

2.4 線状型ネットワーク

線状型ネットワークは既に 2.1 の (3) のモデルで示したように各計算機を基幹の直線状の通信路に結合した分散型の簡単なシステムである。最近この形態の上に ALOHA システムで得られた通信方式を活用した Ethernet ネットワークが発表され、信頼性、効率の点で注目を浴びている³⁹⁾。以下その概略を述べてみよう。

このシステムは図-6 に示されるように、Ether セグメントと呼ばれる線形状の通信路に各計算機が結合され、各 Ether セグメントは仲継器を通して結合され、

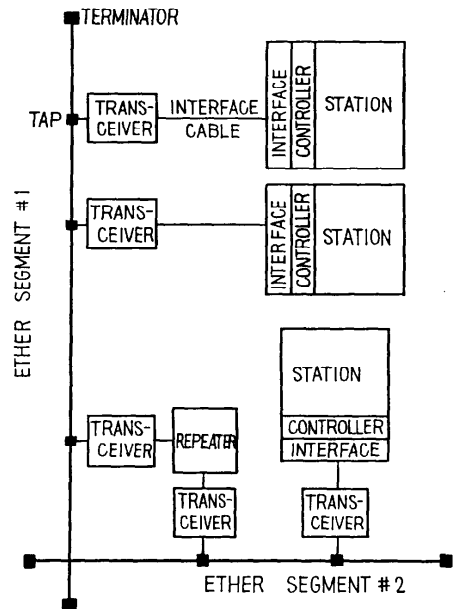


図-6 2 セグメントの Ethernet

拡張性も容易である。各ステーションからの情報はすべて Ether に放送モードで送信され、この情報はすべてのステーションで受信される。これはアロハの方式と多くの点で共通した方式である。ただ両者の間には情報伝送の時間遅れについて多くの差違がある。このシステムでは、アロハ方式と同様に各パケット間の衝突の問題が本質的である。これに対処するために Ether ネットワークではつぎのような制御方式を採用している。

- (1) 送信しようとするステーションは回線が空くまで待ち、空なら送信を行う。
- (2) 送信開始後他のパケットの衝突を検出するとただちに送信を取り止め、一時的に Ether を使用不可能にする。(残余の情報はハード的に除去される。ただちにこの制御のできることがアロハ方式との相違となる。)
- (3) もしパケットの衝突を検知すると、ある時間間隔をおいて再送する。(種々のコントロールがある。)

この制御により送信開始後一定時間経過して衝突がなければそのパケットは最後まで伝送が保障され、これよりパケット長が長い程、信頼性は増加する。

ただ Ether ネット自体は高信頼度の送信を保証するが、衝突以外の原因に基づく誤りの処理は別に行わねばならない。現在 1km の Ether に 3Mbit/sec の情報伝送のもとで効率のよい、高信頼度の計算機間通信を行っている。次に Ether ネットでの回線の効率を次の表-3 に与える。ここで P は 1 パケットのビット数、 Q は連続的にパケットを伝送するために待ちに入っているステーション数である。

表-3 Ethernet の効率

Q	$P=4,096$	$P=1,024$	$P=512$	$P=48$
1	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2	0.9884	0.9552	0.9143	0.5000
3	0.9857	0.9447	0.8951	0.4444
4	0.9842	0.9396	0.8862	0.4219
5	0.9834	0.9367	0.8810	0.4096
10	0.9818	0.9310	0.8709	0.3874
32	0.9807	0.9272	0.8642	0.3737
64	0.9805	0.9263	0.8627	0.3708
128	0.9804	0.9259	0.8620	0.3693
256	0.9803	0.9257	0.8616	0.3686

3. 資源の最適配置問題の定式化

計算機ネットワークでの本質的な長所は既に述べた如くシステム内の資源の有効利用にある。ネットワー

クの効率を上げるためのネットワークの設計方針として、我々は共用される資源を最適に配置し、ネットワーク全体の資源が最も効果的に活用されるように十分に考えなければならない。この問題に対する研究は必ずしも十分行われていないが、本章では資源の中でも特に重要なファイルの最適配置問題について一つの定式化を与えてみよう¹⁰⁾。

(問題の定式化)

システムは n 台の計算機と m 種類のファイルがあり、それぞれのファイルの個数は γ_i ずつあるものとする。各計算機は完全グラフで結合され、回線は全二重回線とする。以上のもとで各計算機のユーザがファイルを使用する場合、系全体の平均的な運用コストを最少にするにはどの節点にどのファイルを設置すれば良いかという問題を考える。準備としてつぎの記号を定義する。

U_{ij} : i 番目の計算機より j 番目のファイルを検索する単位時間当りの回数

$X_{ij} = \begin{cases} 1: i \text{ 番目の計算機に } j \text{ 番目のファイルがある場合} \\ 0: \text{それ以外} \end{cases}$

L_j : j 番目のファイルのレコード長

l_j : " 回線上での長さ

R : 回線速度

P_{ij} : i 番目計算機から j 番目のファイルへの単位時間当りのアップデートのトラフィック

C_{ij} : i 番目の計算機で j 番目のファイルを保持するに要する単位長、単位時間当りのコスト

C'_{ik} : k から i への単位時間当りの伝送コスト

C : システム全体の運用コスト

D_i : i 番目の計算機のメモリ容量

T_{ij} : i 番目の計算機より j ファイルを検索する最大許容時間

以上の定義より

$\lambda_{ik} = \sum U_{ij}(1 - X_{ij})X_{kj}$: i 番目の計算機より k 番目の計算機への単位時間当りのアクセスの回数、 $l_j/R = 1/\mu_j$: j から、トランザクションを送る平均時間、 $1/\mu_{ik} = 1/\lambda_{ik} \sum (1/\mu_j)U_{ij}(1 - X_{ij})X_{kj}$: k 番目の計算機から i 番目の計算機への 1 応答メッセージを送る平均時間、 $\rho_{ik} = \lambda_{ik}/\mu_{ik}$: トラフィック インテンシテイ、

以上の準備のもとで i から k への要求の発生がポアソン、 k での処理が一定とすると平均待ち時間 W_{ik} は次の如くなる。

$W_{ik} \cong 1/\mu_{ik} \cdot \rho_{ik}/2(1 - \rho_{ik})$. 全体の費用に関して次

の関係式が成立する.

$$C = \underbrace{\sum_{i,j} C_{ij} L_j X_{ij}}_{\text{書機コスト}} + \underbrace{\sum_{i,j,k} (1/\gamma_j) C'_{ik} l_i U_{ij} X_{ki} (1 - X_{ij})}_{\text{query コスト}} \\ + \underbrace{\sum_{i,j,k} C'_{ik} l_j U_{ij} X_{kj} P_{ij}}_{\text{up date コスト}} \\ = \sum_{i,j} D_{ij} X_{ij} - \sum_{i,j,k} E_{ijk} X_{kj} X_{ij}$$

ただし, $D_{ij} > 0, E_{ijk} > 0$.

また, システムに要求される条件としてつぎのものがある.

制限条件

- (1) $\sum_i X_{ij} = \gamma_j$: j th ファイルの個数
- (2) $\sum X_{ij} L_j \leq b_i$: メモリ容量の条件
- (3) $(1 - X_{ij}) X_{kj} (1/\mu_{ik}) \cdot \rho_{ik} / 2 (1 - \rho_{ik}) \leq T_{ij}$: 応答時間の上限

以上よりファイルの最適配置問題で(1), (2), (3)の条件の下で C を最小化する非線型 0—1 計画問題に帰着される. ただしここに述べた式 C は非線型であるので直接解を求めることは厄介である. このため式を線形化しその上で近似的に解を求めることが一つの方法となる. しかしこの場合でも効率良く解を求めるアルゴリズムの導出が重要な問題となる. また実際上の問題としては最適配置問題を考える上でさらに信頼性の問題, 秘密保持の問題も重要となり, これらのことにも十分な注意を払う必要がある. いずれにしてもファイルの最適配置の問題は静的, 動的な割り当ていずれについても十分な研究はなく, 今後の重要な問題として多くの研究がなされる分野である. なお関係文献として次のものをあげる^{10)~12)}.

4. 計算機ネットワークにおけるプロトコルとプロセスの結合制御

計算機ネットワークの大きい特色は既に述べた如くネットワーク内の資源の有効活用であり, このためにはすべてのホスト計算機を仮想計算機とみる完全な脱ハード化の考え方が本質的なものとなる. しかしながらネットワーク内ではそれぞれの計算機のハードウェア, ソフトウェアの構成, 計算機システムの管理, サービス形態等が異なるのが普通である. この場合各計算機間の相互通信を十分に達成し, 相互の資源を有機的に結合し, 高度の処理を行うためには各計算機間通信のための制御方式を何らかの形で統一し, 標準化することが本質的なこととなる. そしてこの標準化の規

約がプロトコル (Protocol) である.

計算機間の通信の本質は各ホストに独立に存在するプロセスを適宜結合し, プロセスの協同作業により, 1つの処理を達成することにある. そしてこのためには単純な情報伝送から, ユーザの希望するプロセスの実行に至るまでの幾つかの論理レベルでの制御を考えねばならない. このことは計算機間の情報伝送 (ここではパケット伝送) のための制御, プロセス間の結合・相互通信のための制御, ユーザレベルでの機能別サービスのための制御等を考えることである. 以上のことを念頭におけば, 論理上の機能別プロトコルとして, 基本通信のためのプロトコル, ネットワークコール確立とプロセス結合のためのプロトコル, 利用者レベルのプロトコル等をそれぞれ設定する必要がある. これにより計算機間の通信が行えることになる. これが現在計算機ネットワークにおいて基本的に用いられている考え方である. そしてこのプロトコルが通常の IMP-IMP プロトコル, Host-Host プロトコル, ユーザレベルプロトコル等といわれているものである. 本講ではこれらの詳細には立ち入らず, 伝送制御手順の問題と, プロトコル設定の考え方をプロセス間の結合手順を通して一般的な立場から考えてみる. 具体的なプロトコルの問題については本講の解説等を参照されたい^{13)~23)}.

4.1 IMP-IMP プロトコルにおける伝送制御手順

計算機ネットワークにおける最も基本的なことは相互の計算機間でまず必要な情報そのものの授受が行えることである. このためには情報の基本単位であるパケットの型式及び伝送のための制御手順を定めねばならない. これらのものを規約したものが通常の IMP-IMP プロトコル (IMP Interface Message Processor の略) である. 明らかにこの規約の良し悪しは直接ネットワーク全体の効率に多くの影響を与え, ネットワーク設計の上できわめて重要な因子となる. 本節ではこの中でも重要な情報伝送のための制御手順について考察してみる. さてこの手順を定める上で考えねばならない重要な点は, (1)伝送効率, (2)機能の拡張性と融通性, (3)信頼性等があげられる.

これらの点を考慮して伝送手順は定められるべきであるが, 本節では制御手順の方法を一般的な立場から与え, それぞれの手順を伝送効率の上から考察してみよう. 次に上に述べた方式の中で現在ネットワークで用いられている Basic 手順と, HDLC (High Level Data Link Control) を対象として, 具体的な場合に

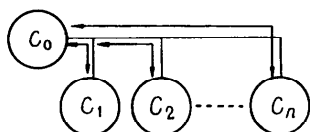
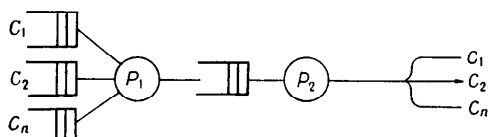


図-7 計算機間の結合モデル

図-8 C_0 のモデル化

ついてそれぞれの評価を行ってみる。

さて計算機間の情報伝送モデルを一般化してみると図-7に示すようなマルチポイント接続のグラフ表現で示される。ここで C_0 は今着目する計算機であり、 $C_1, C_2, \dots, C_n$ は C_0 に直接結合された計算機群である。このモデルを対象に、以下では一般的な制御手順を述べ、ある条件のもとでそれぞれの手順の評価を与えてみよう。そのまえに図-7を待ち合わせ理論の立場から考えて、図-8のようにモデル化しておく。ここで P_1 の処理分布は各 C_i より C_0 に要求された処理のサービス時間と、 C_i よりの処理を終了後次の処理 C_j に制御を移すまでの時間（たとえばポーリング等）を加えたものであり、 P_2 の処理分布は処理後のパケット、メッセージを各 C_i に送出するまでの時間である。また回線は全二重としてある。

処理順序の制御方式

図-8で C_i の処理が終わった後、つぎの処理をどの C_j に与えるかに従って以下に述べる方法が考えられる。

(1) 巡回方式、(2) 優先順位方式、(3) 確率方式、(4) SQF 方式 (Shortest-Queue-First)、(5) FIFO 方式 (First In First Out) である。(1)は処理の順を $C_1 \rightarrow C_2 \rightarrow C_3 \rightarrow C_i \rightarrow C_{i+1} \dots$ の如く行う、いわゆるポーリングの方式である。(2)は既に $\{C_i\}$ の中に優先順位が与えられ、その順位に従って、処理を方う方式。(3)は前もって各 C_i の選ばれる確率を与えて処理を進める方式であり、特にランダムに選ぶ場合もある。(4)は着目する時点で系内にあるジョブの数の最も少ない C_i のジョブから処理を進める方式、(5)はジョブの先着順に従って処理を行う方式である。

次に処理方式については次の3通りが考えられる。

- (1) 全処理式: C_i の待ち行列のジョブがなくなるとまで処理を続ける方式
- (2) ゲート式: 着目する時点で C_i の待ち行列に

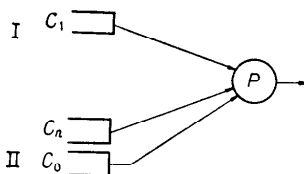


図-9 help duplex のモデル化

あったジョブのみを処理する方式

- (3) k 制限方式: C_i の待ち行列にあるジョブのうち、先頭から高々 k 個だけを処理する方式 ($k \geq 1$)

処理順序と処理方式を組み合わせると大略 15 通りの制御手順がある。伝送手順のきちんとした評価を行うためにはそれぞれの手順についての解析が必要である。これらの問題は待ち合わせ理論の上からも興味ある多くの問題を提供するわけであるが²⁴⁾、残念ながらこれらについて、必ずしも十分な解析は得られていない。これらは今後の興味ある課題である。なお全二重の回線が半二重になると図-8のモデルは図-9のように優先権をもつシステムで近似できる。ここでIIの処理は図-8の P_2 に対応するものであり、処理方式が定まれば系において、I, II の間の優先順位が明確に与えられる。ここではこれ以上の詳細には触れず、次に示す場合について各制御手順を応答時間の上から評価してみよう²⁵⁾。

マルチポイントシステムにおける応答時間の評価 解析条件

- (1) 各 C_i でのジョブの発生はポワソン分布に従う。
- (2) 各 C_i のバッファは無限大
- (3) $\{C_i\}$ の処理が始まると C_0 からの応答があるまで他の $C_j (i \neq j)$ のジョブは処理されない。
- (4) $\{C_i\}$ の数は2以上である。

以上の条件のもとで、次に示す処理順序、処理方式のそれぞれの場合の評価を行う。

(1) 処理順序の方式:

(a) 巡回方式 (CYC)、(b) SQF 方式、(c) FIFO 方式、(d) 確率方式特にランダム方式 (LC) の場合

(2) 処理方式:

k 制限方式で特に $k=1$ の場合、

- (3) 処理時間、伝送時間は一定とする。

以上のもとで C_i より C_0 に処理要求がでてその応答が C_i に戻るまでの平均応答時間 $\bar{D}$ を調べれば、次の関係式が得られる。

$$\bar{D}(\text{SQF}) < \bar{D}(\text{LC}) < \bar{D}(\text{CYC}) < \bar{D}(\text{FIFO})$$

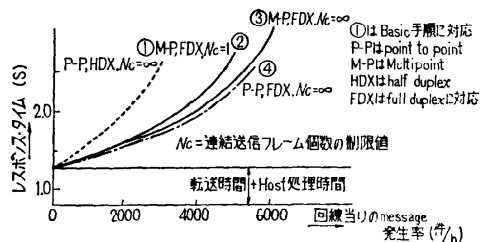


図-10 HDLC の効果

Basic 手順と HDLC の比較²⁶⁾

HDLC をマルチ・ポイントの場合に適用したとき、Basic 手順に比較してどのような効果が期待できるかは興味ある問題である。この問題を一般的な解析に従って導くことは現在のところ困難である。ここでは図-8 のモデルについて HDLC の効果をシミュレーションにより求めた結果を図-10 に示す。

対象とするシステム

- (1) 問い合わせ応答方式。特に C_0 は一次局、 $\{C_i\}$ は 2 次局と考える。
- (2) マルチ・ポイントの分岐数は 3 で巡回方式
- (3) 各 $\{C_i\}$ へのパケットの到着はポワソン分布で、バッファは無限大とする。
- (4) 2 次局からのメッセージ長は 96 バイト、1 次局からは 148 バイトのメッセージが戻るとする。
- (5) 1 次局での処理時間は一定長 500 ms とする。
- (6) 回線速度は 2.4 kbps とする。

4.2 プロセスの結合制御とネットワークコントロールプログラム (NCP) について

本節ではプロセス間通信の上で中心的な役割を演ずるプロセスの結合制御の手順について一つの基本的な考え方を述べることにする。さて相異なる Host 内のプロセスは符号体系も異なり、それぞれが処理するデータ長一つを取ってみても一定せず、異なっているのが通常である。このように異なるプロセスがあるときにこれらのプロセスを逐次協力させながら、一つの処理を達成させようとするればプロセス自体の構造と、プロセスを結合するための手順をネットワーク内で論理的に統一しておかなければならない。特にこの結合のための制御の規約が Host-Host プロトコルであり、これをサポートするものが NCP (Network Control Program) である。

本節ではプロセスの定義を与え、この上でプロセス間結合が NCP を通してどのように行われるかを示してみる。

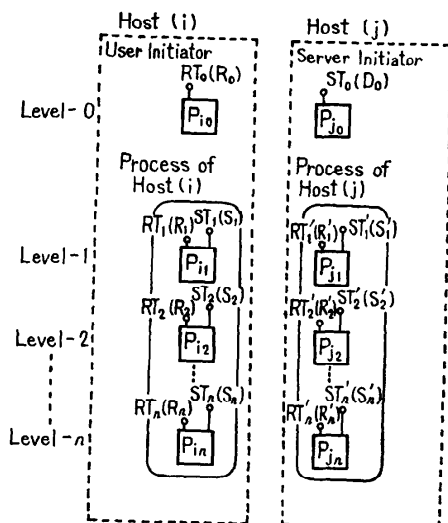


図-11 プロセスと相互結合

プロセスとその結合制御

今結合すべき Host (i), Host (j) の中のプロセスは図-11 にみられるような階層構造をもったサブプロセス $P_{ik}, P_{jk} (k=1 \sim n)$ の集合からそれぞれ成るものとする。

各サブプロセスはある基本論理単位のモジュールであり、受信及び送信のための論理端子をもち、図に示すようなそれぞれの階層に従って情報の受信または送信の実行を各端子とこの両者間に設定された論理パスを通して行う。この端子番号と論理パスは実際にプロセス間の結合が要求されると NCP により動的に割り当られる。プロセスの階層構造化の特色はプロセス同士が通信を行う場合、同一の階層のもの同士しか通信しないことである。

(1) プロセスにおける階層構造化の意味

二つのプロセスの協同作業による処理を考えると協同する作業の内容の複雑さに従って幾つかの段階があるのが通常である。プロセスの階層化はこの思想に基づいて与えられる。すなわち、ネットワーク全体で定められた共通のコマンドを用いて処理できる範囲のプロセスはレベル 1 のものとして与えられる。これに対し、レベル 2 までの階層を必要とするものとしてファイル・トランスファ・プロセス (FTP) がある。一般に各ホスト内のファイルの構造は異なるため、このプロセス実行のためにはそれぞれのファイルの情報構造に関する情報を情報伝送の前に交換しなければならない。この制御情報の処理に一つのサブプロセスを対

応させるのは自然である。さらにファイル・トランスファ・プロセスでは実際のデータそのものを送受信するためのサブプロセスが必要である。このように考えれば FTP は二つのレベル、つまり制御情報処理のためのものとファイルデータ伝送用のものと二つの階層が必要であることが理解されよう。この思想はさらに一般化されることは明らかである。

(2) プロセス間の結合と切断の制御

プロセスの階層構造の意味は(1)で述べた如くである。本節では与えられた各階層間の結合の論理的手順について述べる。まず結合のための前提条件としてネットワーク全体に次の条件が与えられているとする。

(i) ネットワークにある各ホストの NCP は系全体に定められた共通の論理パスをもって全体に結合されている。このための NCP 制御メッセージはすべてこの論理パスを通して送られ、NCP で処理できる。

(ii) 各ホスト内のプロセスは、他のホストからの要求に回答できるよう、プロセス固有のソケット番号がレベル0の端子にネットワーク全体の共通番号として与えられている。(FTP なら3の如く)

(iii) サブプロセス間の通信は各サブプロセスのソケット端子とこの両者を結合する論理パスを通して行われる。このソケットの端子番号と論理パスは NCP により動的に割り当てられる。

(1)の条件は分散型計算機ネットワーク設計の上で重要な前提である。またこれに対する問題点も多くあるがここでは以上の条件の下で考察する。

以上の前提で行うことは次の手続きである。

(a) 初期手続

Host(i) のユーザがコマンドを与えると Host(i) のシステムは自分自身のプロセスと相手 Host(j) にある必要なプロセスを知る。これにより Host(j) のプロセスのレベル0のソケット番号が求まる。今これを D_0 とする。

(b) レベル0の結合

Host(i) は Host(j) に制御メッセージを用いて (i) のプロセスのレベル0のソケット番号 R_0 および D_0 から R_0 に至る論理パス l_0 を (j) に知らせる。以上の操作により、Host(i) と Host(j) の各プロセスは

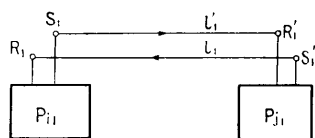


図-12 理論リンクの設定

レベル0の階層で、一方向の結合が行われたことになる。すなわち $D_0 \rightarrow R_0$ の結合が論理パス l_0 により与えられた。次に l_0 を用いて Host(j) は P_{j1} に割り当てられた送受信用のソケット番号、 S'_i , R'_i を制御メッセージを用いて送る。この操作は論理的には S'_i , R'_i が論理パス l_0 を介して送られたことに対応する。

以上の操作が終るとレベル1の結合に必要な Host(j) の S'_i , R'_i が (i) 側に送られているのでレベル0の結合は解放してよい。

(c) レベル1～レベルnの結合

レベル1の結合は Host(i) の中で新たに割り当てられたソケット番号 S_i , R_i と Host(j) の R'_i , S'_i をそれぞれ新たな論理パス l_i , l'_i を用いてリンクを設けることである。この手続きはレベル0の方法と同一であり、以下各レベル間の結合は帰納的に与えられる。ただし、各層間の結合はプロセス終了までで解放されない。(通常 $S_i = f(R_i)$, $S'_i = f(R'_i)$ の関係がある。f は既知) 図12参照。

(d) プロセス間結合の解放

すべてのプロセス間の作業が完了したとき、また緊急の事態の発生した場合、レベル1よりレベルnまで張られた論理パスは制御メッセージにより解放される。この場合論理的に重要なことは番号の高い層から逐次論理パスを解放してゆくことになる。

(3) プロセス間の情報結合

プロセスの各層の結合が(2)の処理を通して行われると一対のサブプロセスはそれぞれ論理的に結合されたことになる。ここでシステムはオープン状態に入り実際の情報の授受が、結合で定められた論理パスを通して行われ、相互の協同作業が達成される。当然さらに、下の層のサブプロセス間の処理が必要な場合にはこの両者の結合が行われ、上と同じ処理が繰り返される。そしてすべての処理が完了すれば各サブプロセス間に結合された論理パスが逐次下の層から解放されることになる。以上のことをまとめるとプロセス間の結合と処理の全体の流れは、各サブプロセス間における $Connect_1 \rightarrow Open_1 \rightarrow Connect_2 \rightarrow Open_2 \rightarrow \dots \rightarrow Connect_n \rightarrow Open_n \rightarrow Close_n \rightarrow Close_{n-1} \rightarrow \dots \rightarrow Close_1$ の形で与えられる。

以上述べたプロセス間結合と処理のための制御方式は論理的に統一されているので各ハイレベルプロトコルに共通のものと考えてよく、ネットワーク内のプロセスを有機的に結合し、処理するのに適した制御方式である。この考えに立てば Host-Host プロトコル

設定の問題も明確に与えることができ、これに準じた NCP の設計も統一的に行うことが可能である。

5. 衛星通信と計算機ネットワーク

既に述べた如く計算機ネットワークの将来における重要な問題は、広域にしかも多量に存在する情報をネットワークを用いて、高速度にしかも能率よく高度な処理を行うことである。これを解決する基本的問題は既に述べた如く

(1) 高速度情報伝送網の確立

(2) 各節点にある計算機群を任意複数個結合させ、情報処理、伝送を能率よく行わすことができる方式の確立

などがあげられる。(1)の問題の重要性についてはいうまでもないが、たとえばある計算機システムに格納されている画像、音声情報さらには一般のデータベース等を活用することになれば優に 1Mbits 以上の情報伝送の必要性は常に生じてくる。当然のことながらこのような多量の情報伝送を広域にわたって処理することのできる情報伝送網は計算機ネットワーク構成の上で不可欠のものである。(2)については計算機ネットワークの将来の重要な処理方式として任意の節点にある計算機システムの情報を有機的に結合し、処理し、組織化し、これらの情報を各節点に伝送するいわゆるマルチ・ポイント、マルチ・ポイント間の効率的な情報処理方式の問題がきわめて重要となるからであり、このような処理を効率的に行うことのできるネットワークはネットワーク構成上の重要な問題であるからである。以下に述べることはこのような事態に対し、現在及び将来における衛星通信は一体どのような意味をもつか。さらに衛星通信は将来における計算機ネットワークに対しきわめて重要なインパクトになるであろうか。などの問題を考察することである。このためまず衛星通信の現況について簡単に触れてみよう。

衛星通信の現状²⁷⁾

1974 年、米国における America Satellite Corporation では 5 つのノードの利用者をもつ Government Network を構成し、5×1,344Mb/s のデータ・ストリームを各ノードに提供している。各ノード間の距離は 400km から 3,000km の間である。さらに、1976 年 America Satellite は放送モードによるデータ伝送のサービスを予定し 150kbps の伝送速度で Wall Street Journal を遠隔地に分散している印刷所に伝送を行うことを予定している。この結果 1 ページの新聞が 3 分

以内で送信可能であり、さらに伝送速度が 1,344Mb/s に増大すれば一分以内に伝送できると言われている。

その他通信衛星による情報伝送サービスは多くの試みがあるが、これらは何れもようやくその端緒についたところである。しかしながら現在行われているシステムを良く調べれば、実は衛星通信こそ大量の情報伝送にきわめて適したシステムであり、しかも通信方式の性質が本質的に放送モードであることから、今後の計算機ネットワークに多くの重要な影響を与える事を示唆している。

通信衛星システムの経済性

衛星通信の将来性については前節で述べた通りであるが、実際にこのシステムを計算機ネットワークに活用する場合特に問題となる経済性の問題はどのようになるであろうか。まず、表-4 を参照されたい。表-4 は 1975 年 2 月現在、米国内における音声全二重回線の衛星通信と AT & T の回線の価格の比較であり、

表-4 衛星通信の経済性

I. Representative U.S. domestic tariffs in February 1975
(satellite, ground links, and local loops)

Between	And	Satellite Single-Channel Rates	AT & T Single-Channel Rates
Chicago	New York	\$ 620	\$ 760
Chicago	Los Angeles	820	1,674
Dallas	Los Angeles	820	1,231
New York	Los Angeles	1,120	2,300
Washington	San Francisco	1,120	2,292

II. Satellite rates U.S. to Europe

Effective Dates	Monthly Half-Circuit Rates
INTELSAT charges to COMSAT	
6/27/65	\$ 2,667
1/ 1/66	1,667
1/ 1/71	1,250
1/ 1/72	1,080
1/ 1/73	930
1/ 1/74	750
1/ 1/75	705
COMSAT charges to carriers	
6/27/65	\$ 4,200
4/ 4/67	2,800
7/ 1/71	2,850
Carriers' charges to customers	
6/27/65	\$ 10,000
10/ 1/66	8,000
10/ 1/67	6,500
8/ 1/68	6,000
4/ 1/70	4,750
8/15/71	4,625

Note: Carrier, COMSAT, and INTELSAT rates are for circuits to the mid-point (i.e. half-circuit rates). Carrier rates include terrestrial haul from COMSAT earth station to New York.

下の表は 64 kbps 回線の米国, ヨーロッパ間におけるハーフサーキットでの 1 ヶ月間の料金である。表-4 から推察される如く, 国際間における長距離の高速度情報回線として, 通信衛星が経済性の上からも決定的な役割を果たすであろうことが予想される。また単一音声回線の場合については, INTELSAT IV を用いたとき将来年間の回線のレンタルが 600\$ になると推定されている。

以上は通信衛星システムの全般的な経済性についてであるが, 今少し通信衛星システム内の個別的な価格について考えてみると次のような関係があることが言われている。まず衛星自体の価格が急激に減少したため, システム全体の中からコストの高いものから順にランクすると, (1)地上局の価格, (2)地上局よりユーザに分配するための装置の価格, (3)衛星自体(打ち上げを含む)の価格となる。しかしながら地上局のコストは使用目的により大幅に変えることが考えられ, 初期の INTELSAT システムではステーション当たり 300 万 \$~500 万 \$ かかったものが米国, カナダの国内用のシステムでは 100 万 \$~200 万 \$ 程度となり, さらにデータ伝送だけのものでは 10 万 \$~40 万 \$ 程度が見込まれ, その価格はさらに安くできる状況になっている。さらに受信専用の地上局ではさらに低いコストで実現できる可能性があり, これを用いれば大規模計算機ネットワークの地方のユーザに対しても, 受信の比重が多い場合には衛星通信はきわめて大きい効果をもたらすことが期待できる。以上の観点を総合すれば, 結局のところパケット方式による放送モードの伝送は衛星通信ではきわめて容易なしかもこの方式にスペシフィックなものであることがわかる。そして現在でもデータレートが 1 Mbps, 地上局のコストが 3 万 \$~5 万 \$ のものが構成され, このシステムを用いて, 1 万台の計算機を接続して, T.S.S またはデータベースシステムの処理ができると言われている。以上のように通信衛星は将来における計算機ネットワークにきわめて重要な方法を我々に提供することになり, また我々が衛星通信を積極的に計算機ネットワークに導入したとき, 計算機ネットワークのシステム設計には多くの本質的な変更を与えることになる。例えば従来の地上におけるネットワークシステムで重要なルーティングのアルゴリズムはむしろ情報伝送のスケジューリングの問題に変更され, 資源割り当ての問題も本質的な問題でなく資源の配置はどのノードでも良いことになる。以上のことからわかるように衛星通

信システムを計算機ネットワークに適用すれば, ネットワークシステム構成のためのアーキテクチャーは本質的に大きい変更を受けることになるわけである。

そして今後衛星通信システムの研究は, 大規模計算機ネットワーク構成の上で不可欠のしかもきわめて重要な問題となるのである。

6. 計算機ネットワークの開発動向

わが国での計算機ネットワークの開発の歴史は比較的に浅いが, 現在電電公社の新データ回線網 DDX-2 の開発, 各企業内における計算機ネットワークの建設, 電総研大型プロジェクトの一環としての 100 Mbps の回線速度をもち多種の特殊計算機群を結合するループネットワークシステムの研究, 文部省特定研究による大学大型計算センター間の計算機ネットワークの研究等数多くのものが進行中である。特に東京大学(ホスト HITAC-8800)と京都大学(ホスト FACOM M-190-75)の計算機を電電公社の新デジタル交換試験網(回線速度 48 kbps)を用いて結合する実験は, 大学・公社・メーカの協力の下に推められ, 現在リモート・ジョブ・エントリィの段階を経て TELNET プロトコル及びハイレベルプロトコルの確立と実現に向けて努力が続けられている²⁸⁾。

国外, 特にアメリカにおけるネットワークの代表例が 1970 年より稼動している ARPA ネットワークである。その構成を示すと, 1976 年 1 月現在図-13(次頁参照)の如くである。またこのネットワークの稼動の様子を表-5(次頁参照)に示す。なお ARPA ネットワークにおける平均回線利用率は 1976 年 1 月, 5.94% であり, 各月とも大略この程度であることが報告されている²⁹⁾。

一方ヨーロッパにおける計算機ネットワークについてはそれぞれの国, その連合体の上で各種のものが建設され, あるものは稼動中である。これらのものをまとめれば次の表-6, 7(次頁参照)の如くなる。なおヨーロッパのネットワークの詳細については文献 30) を参照されたい。

7. おわりに

本稿では, 計算機ネットワークの基本的問題を中心に, 現在までの研究の動向, 今後の問題点等を考察し併せて現在日本を始め世界における計算機ネットワークの現状について概説したものである。計算機ネットワークは今後の情報社会の上できわめて重要な地位を

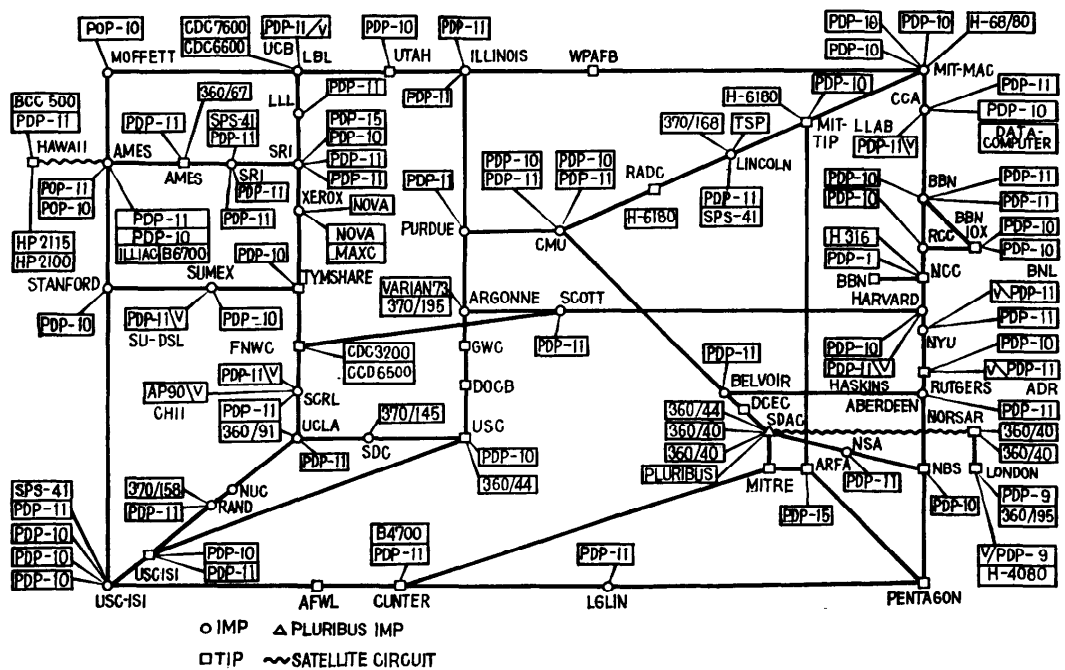


図-13 ARPANET LOGICAL MAP, FEBRUARY 1976

表-5 ARPANET の稼動状況

Month	Line Outage	All Causes	IMP DOWN		AVERAGE HOST TRAFFIC		
			Hardware/Software Percent	MTBF	nodes	§ of Packets/day Internode	Intranode
November '72	1.81%	1.68%	1.06	444	32	1,187,062	241,884
March '74	.26%	1.65%	.69	403	46	3,320,205	883,012
November '75	.51%	.89%	.35	564	59	4,621,952	3,189,487
December '75	.91%	1.16%	.25	506	58	4,600,456	2,544,095
January '76	.48%	.93%	.56	468	57	5,483,506	2,700,853

表-6 ヨーロッパにおけるネットワーク

国 別	機 関	ネットワークの名称
イギリス	Post Office Telecommunications Headquarters	EPSS
"	NPL	NPL, EIN
フランス	CCETT	RCP, TRANSPAC
"	IRIA	CYCLADES, EIN
西ドイツ	FTZ	EDS-net work
"	GMD-Darmstadt	GMDNET
スウェーデン	Swedish Telecommunications Administration	Nordic Public Data Network (NPDN)
E C	Eidgenössisch Technische Hochschule	EIN
"	Commission of the European Communities	EURONET

表-7 各ネットワークの通信網比較

ネットワーク	回線 交換	パケット交換—外部 インタフェース		パケット交換—内部 ルーティング	
		Virtual Call	Datagram	Virtual Call	Datagram
EDS network	0	—	—	—	—
NPDN	0	—	—	—	—
RCP	—	0	—	0	—
TRANSPAC	—	0(x.25)	—	0	—
EURONET	—	0(x.25)	—	—	0
EPSS	—	0	—	—	0
NPL	—	—	0	—	0
CYCLADES	—	—	0	—	0
EIN	—	—	0	—	0
GMDNET	—	—	0	—	0
DDX-2	0	0	—	—	0

占めることは言うまでもないが、この発展のため我々が行うべき研究は基礎的研究より、応用的研究に至る

まできわめて多岐にわたることになる。今後各方面の研究者、技術者が相協力してこの方面の研究を強力に推められることを希望して止まない。

参 考 文 献

- 1) 白鳥, 野口, 大泉: ループコンピュータネットワークにおける基礎特性, 信学会 Vol. 59-D, No. 12 (1976)
- 2) S. Noguchi, N. Shiratori: Fundamental Characteristics of Loop Computer Network, International Switching Symposium (1976)
- 3) N. Abramson: The ALOHA system—Another alternative for Computer Communications, Proc. of FJCC, Vol. 37, p. 218 (1970)
- 4) N. Abramson: The throughput of Packet broadcasting channels, IE³ Trans. COM-25, No. 1, p. 117 (1977)
- 5) L. Kleinrock and F. A. Tobagi: Packet Switching in radio channels: Part I Carrier Sense Multiple—Access modes and their throughput—delay characteristics, IE³ Trans, COM-23, No. 12, p. 1400 (1975)
- 6) F. A. Tobagi and L. Kleinrock: Packet Switching in radio channels: Part II
- 7) F. A. Tobagi: Packet Switching in radio channels: Part III—Polling and (dynamic) Split—channel reservation multiple access, IE³ Trans. COM-24, No. 8, p. 832 (1976)
- 8) L. G. Roberts: Dynamic allocation of Satellite Capacity through Packet reservation, Proc. of NCC, Vol. 42, p. 711 (1973)
- 9) G. Bell & D. Siewiorek: Ethernet: Distributed Packet Switching for Local Computer Networks, CACM, Vol. 19, No. 7 (June 1976)
- 10) W. W. Chu: Optimal File Allocation in a Multiple Computer System, IE³ Trans. Computer, Vol. 18, No. 10 (Oct. 1969)
- 11) R. G. Casey: Allocation of copies of a file in an information network, SJCC (1972)
- 12) A. Segall: Dynamic File Assignment in a Computer Network, IE³ Trans. on Automatic Control, Vol. AC-21
- 13) 石野福彌: パケット交換網の通信規約, 本誌解説
- 14) 伊藤哲史: Host-Host およびハイレベル・プロトコル, 本誌解説
- 15) British Standard Specification No. 4421, Communication Networks for Computer の appendix より
- 16) Synchronous Data Link Control General information Manual, IBM SRL GA 27-3093-0
- 17) 小笠原謙蔵: コンピュータ・ネットワークにおける伝送制御手順, 情報処理学会誌, Vol. 16, No. 7 (1975)
- 18) CCITT: Data Transmission, White Book Vol. VIII.
- 19) Telnet Protocol ARPA Network Information Center, No. 9348 (1972)
- 20) Graphics Protocol ARPA Network Information Center, No. 1535 (1973)
- 21) The File Transfer Protocol ARPA Network Information Center, No. 7813 (1971)
- 22) LSDF (Lincoln Speech Data Facility) ARPA Network Information Center, No. 10917 (1972)
- 23) Remote Job Entry Protocol ARPA Network Information Center, No. 12112 (1972)
- 24) 橋田 温: ゲート式多重待ち行列, 信学論 53-A, No. 1 (1970)
- 25) C. D. Pack and B. A. Whitaker: Multipoint Private Line (MPL) Access Delay under Several Interstation Ditzlines, IE³ Trans. Communication, Vol. 24, No. 3 (March 1976)
- 26) 大田, 櫻尾, 齊藤: 分岐回線における HDLC 手順の適用について, 昭和 50 年度情報処理学会第 16 回大会
- 27) N. Abramson, E. R. Cacciamani: Satellites: not just a big cable in the sky, IE³ Spectrum, Vol. 12, No. 9 (Sept. 1975)
- 28) 島内武彦: 広域大量情報の高次処理総合報告, (昭和 51 年 3 月)
- 29) Report of Bolt Bernack and Newman Inc (Feb. 1976)
- 30) 田畑孝一他: データベース・パターン認識, コンピュータ・ネットワークの動向, 京大第 39 回情報工学研究談話会 (昭和 51 年 12 月)

(昭和 52 年 4 月 15 日受付)