

《特別講演》

情報ネットワークの構成†

尾 佐 竹 徇*

本日は、最近話題になっております情報ネットワークは、どういう考え方で構成される傾向があるか、その問題点はどのような点にあるかということを申し述べまして、皆さんからいろいろご批判をいただきたいと思っております。

1. 情報伝達手段の分類

現在、情報ネットワークとして考えられておるものを一応分類してみますと、現在一番大きなネットワークとして存在しておりますものは、電話を主体にいたしましたネットワークで、これが全世界を取り巻いて完成しております。

それに付随いたしまして、テレタイプ、テレックスといわれるものも、これらと技術的にはある程度共存した形において、存在しております。とくに最近ではコンピューター・コミュニケーションといたしまして、いわゆるデータ通信がクローズアップしてきておりますが、これもこの分類の中に入れて考えられるかと思えます。

さらに、将来像といたしまして、最近話題になってきておりますのは、いわゆる画像通信でございます。画像通信と申しますのは、いわゆるファクシミリとしてブラック・アンド・ホワイトの画像を送るもの、あるいはまたその間にハーフトーンを出すもの、さらにその画像が動いているもの、さらにはそれに色彩のつくもの、そういった種類のものが将来像として考えられております。

以上申しましたように、これら3種類のものを大きく分けて、これからわれわれはどうやってネットワークを構成すればいいかということを考えればいいかと思えます。

それで第1の電話は、皆様ご承知のように、これはネットワークといたしましてはリアルタイムであるし、ボースウェイでつながなければならないという要求がございます。

第2のデータを主にするデジタルの通信は、ある場合にはリアルタイムであるし、ある場合にはオン・ラインであり、またある場合はオフ・ラインである。どちらの場合でもよろしいし、ワン・ウェイであることが多く、返りを即刻求めていることが多い状況でございます。

† 1970年6月2日 春季研究発表会講演。

* 東京大学教授。

第3の画像通信に関係いたしましては、たとえばテレビ電話になりますと、これはリアルタイム、オン・ラインということを要求されて、しかもボースウェイであることが要求されます。しかしファクシミリのような場合でございますと、これは片送りでもかまわない。ワン・ウェイでもかまわないわけでございます。

そしてさらにテレビ電話になりますと、画像だけではいけなくて、音声の会話と共存しなければいけないという要求が出てまいりまして、それによってネットワーク構成上のいろいろの条件が違ってまいります。

2. 伝送路の技術的問題

伝送路の技術的な基本問題として、いわゆるベースバンド、基底帯域（情報を伝達するのに必要な最低周波数帯域）ということを申しておりますが、これを情報理論のほうで理論的にきまるものそのものではなく、適当な値に限定してシステムを設計しなければならないことがございます。この周波数帯域を考えてみますと、電話ネットワークは、国際規格として300ないし3400ヘルツを基準にしておりますので、技術的余裕のバンドその他を考えまして、一応、4キロヘルツということを中心としております。現在のワールドワイドのネットワークの基準は、すべて4キロヘルツを基準にしまして、その集合体としてのネットワーク構成が行なわれておるわけでございます。

そこにいわゆるデータ通信が入りました場合にも、現在までのところ、4キロヘルツという帯域は変えていないわけでございます。それを変えますと、全体のシステム構成が混乱いたしますので、すべて、そのグループの数を適当にいたしましてやるわけです。

現在までのデータ通信でのスピードとして50ボーから2400ボーというような話が出ておりますのも、それはすべてこの4キロヘルツの帯域内において、伝送可能なスピードということになるわけでございます。

ものによっては位相変調を使いまして、2400ボーのものを9600ボーにするというような話も出ておりますが、これは要するに2400ヘルツの早さのものを、4キロヘルツ帯域の中を送るということ限定として使っているわけでございます。

それに対しまして、最近ではハイスピード伝送が要求され、48キロビットというものが話題になっております。これは要するに4キロヘルツの12倍でございます。それはのちほど申し上げます、伝送路における基準の1つの群に相当致します。これは伝送路に多重通信を構成していきましますときの、テクニカルなポリシーといたしまして、どのくらいの群を基準にすべきかということが、何十年も前に議論されて決定しております国際的な基準が、12チャンネルをベースにするということになっておりますので、4キロヘルツ掛ける12倍ということで、48キロヘルツという数字が出てくるわけでございます。そのグループを基準にして、ハイスピード伝送のひとつの基準にしようではないか、という考え方が出てくるわけでございます。

つぎに普通の4キロヘルツ帯域内においてファクシミリを伝送致しますと、1枚を送るのに非

常に時間がかかりますものですから、純理論的に考えますと、48キロヘルツの帯域を使いますと、12分の1のスピードで送れるわけで、ハイスピード・ファクシミリとして実用になるだろうという考えが出てくるわけでございます。

一方画像通信の中で、動く画像を送ろうといたしますと、各家庭に普及しておりますテレビの場合には基準として4メガヘルツ、4キロヘルツの1000倍を必要とするわけでございます。テレビの中身を見ますと、何も1000倍の情報を送っているとは思えないのでございますけれども、1000倍の帯域を必要としておるわけでございます。

以上各種の伝送の媒体として考えられておりますものは、ご承知のように針金を主として使っているもの、それから電磁波を使うもの、その電磁波の場合に、いわゆるアンテナを使って空中に出すもの、それから最近ではミリ波伝送のように、導波管を地中に埋める方法もすでに完成しておりますし、レーザー通信なども考えられております。

また画像受信について申しますと、たとえばテレビの場合に一般の受像は、アンテナを使っておるわけでございますが、大都市にビルが林立いたしますと、いわゆるゴーストがたくさん出るし、カラーテレビの場合には色割れがする。そこでCATVという考え方が出てきております。

すなわち同軸ケーブルを使いまして、テレビジョンを分配しようという考えで、これに技術的な手段を講じますと、テレビを送るだけではなくて、その中に全然別のチャンネルを送ることが可能になります。そこで、将来の方向といたしましては、われわれはこれらの情報伝達手段を独自のネットワークとして持つのがいいのであろうか、あるいはまたインテグレイトした形において持つのがいいのであろうかという設問が出てくるわけでございます。

3. コンピューター・ネットワークの動向

それで皆さまが割合ご興味のあるポイントだと思っておりますが、いわゆるコンピューター・ネットワークは将来どうあるべきであらうかという問題がございます。まず、ここでコンピューターの考え方の動きというものをふりかえて見てみますと、まず第1にコンピューターをつくることに一生懸命にやっていた時期があり、コンピューターの能力がだんだん上昇して、より高性能のものをつくるという考え方になり、使うほうもコンピューターを使いなれてみると、何でもいからコンピューターを入れようという一時期がございました。それからだんだんコンピューターの利用がふえてまいりますと、これに端末機器をたくさんつけて使うようになり、しだいにコンピューターのキャパシティが足りないという状況となり、コンピューターがますます高性能化し、大型化してくるようになり、それになるべくたくさんの端末機器をつなげたいという希望が出て、ちょうどタコの足が伸びるように、だんだん端末機がふえてきて、さらにコンピューターの機能をフルに活用するためには各種の端末機器を持つようになり、それらのワーキングアワーと、コンピューターのワーキングアワーをうまくマッチングさせようということにもなり、ここに、たとえば集線装置、分配装置というものの考え方が入ってきたと思えます。ここには一種の分配機能を持つわけでございまして、いわゆるスイッチングという考え方が導入されることにな

ってきたわけでございます。

それから、より大きなシステム規模を考えますと、その端末機が地域的にだんだん広がってまいりましたものですから、1つの大きなコンピューターに、非常に離れたところにあるターミナルがアクセスすることはたして得であろうかという疑問が生まれ、サティライト・コンピューターに戻そうではないか、という考え方が出てきて、サティライト・コンピューターを持ってジャイアント・コンピューターにアクセスするとか、時によってはアクセスしないかが考えられてくるわけございまして、そのサティライト・コンピューター同士と、ジャイアント・コンピューターとのつなぎ方はどうすべきかという問題が出てきたかとも思います。それが現在指向しておるコンピューター・ネットワークの段階ではないかと思われるわけでございます。

さらには次に予想されます点は、そういうような、サティライト・コンピューターを持ったコンピューター・システムが別のシステムと相互に連携してはいけぬ理由はどこにもないわけございまして、ここにもし一般に電話に使われているネットワークを通して、任意なものがコンピューターにアクセスできるということになれば、このシステム設計の考え方がさらに違ってくるを思います。

それが発展いたしますと、コンピューター・システムが全部連携運転して、どこの端末からでもどのシステムにでもアクセスできるという事態が考えられてくるわけです。そうなればたとえ非常に大きなデータバンクに各人が勝手にアクセスでき、また、そのデータバンクからインフォメーションを取り出して、ふたたびコンピューター・システムにかけて処理することが、オンラインでできることとなります。そうなりますと各種のデータバンクなり、別のネットワークなりが随時、随所にオンラインで連携する事態が早晚出てくるのが考えられてきます。

そうなるところで問題になるのは、機密保持とか、それぞれのシステムの信頼性とか、いろいろな社会的影響が大きく出てまいりますので、近ごろのことばで申せば、公害を起こしはしないだろうかという懸念が出てまいります。

4. 情報ネットワークの設計条件

過去において、大きなネットワークを構成するときに、どういうことを基準にして考えてきたらうかということ振り返ってみて、コンピューター・ネットワーク設計のときのご参考に供してみたいと思います。

最近のように端末機が非常に遠隔の地にあったときに、ロースピードの回線であろうと、伝送路の費用というのはばかにならないということはお気づきだろうと思います。いわゆる情報ネットワークの場合において、最も問題になるのは昔から伝送路の費用でございます。ですからネットワークというものを設計する基準は、あくまで1インフォメーション伝送当りのコスト минимумということ为主体にする必要があるわけです。そしてコストの中身を分析して、一番コストのかかるところをもっとも経済的に使うという考え方をするわけでございます。

したがってまず第一に伝送路の経済性を考えなければならず、これからそれを多重利用しよう

という考え方が出てまいります。つぎには、いわゆる電話交換に導入されている考えがございます。すなわち不特定多数のものが利用する場合には、その使用確率はある確率分布をしているので——一般にはポアソン分布といわれておりますが——全部のものが同時にサービスを要求することはほとんどないという考え方であります。ですから電話回線、電話設備の設計はすべて電話の接続を希望する人のうち、その希望をみたさない人を何%に押えるかということによって設備容量をきめておるわけでございます。これとさきほどの多重通信のこの2つの考え方を組み合わせて、今日のネットワークが構成されております。

たとえば、前に申しました多重通信の考え方の場合には、伝送路を設備し保守する費用と、それを多重利用するために必要な両端末につける端末機器の設備と保守の費用とのバランスによってその方式がいいか悪いかという判断を下すわけですが、常識的にいわれておりますのは、数十回線という多重通信を行なうバランス・ポイントは数十キロメートルである、といわれております。電話交換のスイッチングの基準に帰ってみますと、まず交換局というのはどこに置くべきだろうかということから始まるわけですが、すなわちポアソン分布のように発生してまいります情報をもっとも経済的にさばくには、その地域において、どこにスイッチングの中心を置けばいいかということから設計が始まるわけですが、その場合に願慮いたしますのは、ケーブルの費用がきわめて高いという歴然たる事実がございます。現在では交換局に行きます最長距離は電話機の特性と伝送路の特性から約2キロメートルということに置いておりますので、この2キロメートル範囲内において伝送線路の長さの総計が最少になる位置に交換局を設置している、というのが一応の基準になっております。

4.1 コンピューターの設置位置

それで私が指摘したいポイントは、現在コンピューター・センターを置く場所は、上に述べた意味で設置されているかどうかという疑問でございます。コンピューター・センターは適当に会社の中央に置くとかして、そこから勝手に端末を引いているのではないかと私は推測しております。

そこで大きなコンピューター・センターを置くとすれば、そういうコストミナマムの点に置くべきでないだろうかと思っております。それにはまずコンピューター・システムのトラヒックが地域的に時間的にどういう流れになるかという調査、いわゆる OR が必要になってまいります。

しかもネットワークというものは、いっぺん設備するとなかなか変更しにくいので、先の予想をして設計しなければならないわけですが、次に、そういったトラヒック・フローを踏まえた上で、次に伝送路コストミナマムということを考える必要がございます。先ほど申したように、伝送路に対してはまず伝送路の数をトラヒック・フローのほうから算出いたしまして、そのトラヒック・フローによって出てきた伝送路の数に対してコストミナマムになるようにするため、多重通信という考え方が出てまいります。

4.2 伝送信号レベル

そこで次に伝送特性として、いわゆる周波数特性とひずみ特性、それとどのくらいの信号対雑音比を必要とするか、いわゆる波形のくずれと雑音の混入の度合いがどこまで許されるかを決め

る必要がございます。

これらが決りますと伝送路途中における信号レベルの、いわゆるレベル・ダイアグラムというものを決めることができ、ついでネットワークを構成することが可能になるわけでございます。

このときに、たとえば電話伝送の場合は、人間の声というのは非常に複雑な分布をしておりますので、これが同時に重なったときの、いわゆるピーク・ファクターとアベレージ・バリューとエネルギーを考えまして、レベル・ダイヤを構成しております。

ここにデジタル通信のような振幅のきまった符号が入りますと、今までのピーク・ファクターの確率分布が適用できなくなるわけでございます。

たとえば、非常に多重の通信をやっております同軸ケーブルやマイクロウェーブ通信などのような場合には、それぞれの1チャンネルに対して音声の960チャンネルを送っていますが、その場合に音声の合成値というのは、960チャンネルがただ単に重なったのではなくて、その1/10ぐらいの最高レベルを仮定して設計していて十分でございます。

ところがデジタル通信の場合には、そういうような符号ではなくて、1が出ると完全に1を送ってしまうわけですから、それらが960チャンネル重なった場合には、既存のレベル・ダイアグラムは完全に崩壊してしまい他の通信に妨害を与えることになるので、現在では音声レベルの平均レベルと、こういう符号のレベルというものには十数デシベルの開きをつくって、音声レベルならゼロデシベルのところ、符号通信ならマイナス12デシベルにしてくれとかいうことが入ってくるわけでございます。

4.3 制御信号とルート選択

もう1つの問題は、ネットワークのコントロールの問題で、現在ご承知のように、電話のネットワークはダイヤルすることによって相手を呼出すことをやっております、世界中どここの電話でも呼び出せるようになっております。現在、技術的には、この会場の電話でニューヨークの友だちを呼び出すことは可能ですが、料金徴集その他の制度上の問題で間に交換手が介在しているわけです。

その場合に国内的にはもちろんのこと、国際的にも、どういう種類の符号を送ればいいのかということを決めております。そして信号形式として伝送路の点から申しますと、通信に使う伝送帯域内に信号を送るか、伝送帯域外の信号を使うか、別の信号チャンネルを用意するか、などをやっております、それらが交換機を操作して全世界につながるようにしているわけです。それに応じて、いわゆる番号計画ができあがっております。

さらには交換のルートの選択という問題がございます。いままでは、簡単にいえば交換局と交換局の間に一定のルートをきめておりましたが、トラヒックの変動に対処するためには、いわゆる迂回ルートという考え方が入っております。これはごく簡単にいえば、東京から大阪へつなぐのに、名古屋経由でも北陸経由でもよし、場合によっては仙台を経由してもいいわけで、そのようなオルタネート・ルート方式というものが考えられてきております。そういう場合には、交換局自身において、このルートの混みぐあいを判定して、自動的に行き先を切りかえた符号構成を作っておるわけです。そこで将来のコンピューター・ネットワークの設計上必要なことは、コン

ピューター・ネットワークに流れるデータ・フローがどうなるか、地域的にどうなって、10年、20年先にどういうデータ・フローになるであろうか。そして、その量と分布、時間的な継続時間と、それぞれのルートに重なり合う確率はどんな分布をするであろうか。これが基礎データとしてまず第一に必要なことでございます

4.4 システム信頼度と保守管理体制

その次にレベル・ダイヤルを決定する前に必要になるものとして、どの程度の誤り率を要求されるであろうかということです。現在はだいたい100万に対して1とか、非常に大切なものに対しては10のマイナス8乗とかいう要求もあるようですが、それらの要求によって伝送路に対する要求の値が出てまいります。

先ほど申したフローを考えますときには、それがたとえばリアルタイムといっても、はたしてそれがいったい何マイクロセカンドまでおくれでいいか、何ミリセカンドまでおくれでいいのか、あるいは何分までおくれでいいだろうか。そういう要求事項の分布のデータがほしいわけです。それによってはじめてネットワークがつくられてまいります。

そこでつぎにネットワークの構成を考えるときに必要になるのは、以上のようなデータをもとにして、われわれは情報処理の費用と情報伝送の費用とを合せて情報の単価としてミニマムにするにはどうしたらいいかということが基準になるかと思えます。さらにもう一つの費用の要因といたしまして、障害対策の問題がございます。現在の通信回線では、ミリセカンド、あるいはマイクロセカンドも切らないというような配慮をしたりしておりますが、それが先ほどの希望する誤り率と関係してくるわけで、障害としてのシステムダウン、フレームに対するエラー、それからビットエラーなど、いろいろな障害の問題が考えられてまいります。それらに対してどのような対策を講じ、どれだけを許して設計するか、ということがシステム設計の基本的要因の一つにもなります。したがっていわゆるシステムとして、あるいはルートとしてのオルタネートをも要求するのか、との問題も出てまいります。これに対して、通信伝送のほうでは一番初期には部品予備方式という形で、こわれた部品を取りかえようという考え方がありまして、その次にはセット予備方式、機械を取りかえるという考え方になりまして、それからサブシステム予備方式になって、それからシステム予備方式というのにだんだん切りかわってきて現在に到っております。その上に、さらにこのような機械的な処置だけではだめだということになり、いわゆる管理体制というような、人間の配置、その他命令系統の配置まで変わってきております。それは長距離回線ではシステムダウンしたときに、どうやって処置の手配をし、どうやって人を動かすかという責任体制が確立いたしませんと、システムとしては満足に動けないことからきております。

たとえばコンピューター・システムを考えたときに、コンピューターはだれが面倒見るのか、端末機はだれが見るか、伝送路はどうなるのか。またいったん誤りをおかしたときに、だれがどこに命令してどういう措置をとり、どうやって測定して、どこから切りはなすのかと。こういう保守体制が必要になってくるのは当然のことでございます。

それから、先ほど申しましたように、将来コンピューター・システムがいろいろ連携運転を始めた場合には、そのシステムの中に流れる情報に、いわゆる MSD と LSD のような考え方、モ

ースト・シグニフカントなインフォメーションとリースト・シグニフカントなインフォメーションが共に流れるであろうということが考えられ、それに対して、障害の場合に、そのプロテクションとリザーブの考え方を分類して、これを管理しなければいけないことになりますから、その管理システムとしての処置が必要になってくるのではないかと考えられてくるわけでございます。

5. ネットワークの形

以上を総合いたしまして、全体としてネットワーク構成をするときに、まず個別なシステムで設計したコンピューター・センターとサテライト・コンピューターと端末機器という位置が、将来システムとしてネーション・ワイドになってゆくときを考えたときに、はたしてそれでいいのであろうかどうかという疑問が出てくるわけです。

通信ネットワークの場合には、すでにそれが起こっておりまして、二つの時代を経過しております。まず第一の時期は、個別にスイッチング・ステーションを置いて、それに対してただつなげていくという思想があったわけですが、それではだめだということになって、現在では、いわゆる帯域制というのをとっております。スイッチング・ステーションの中に上位局、下位局というのをつくって、それによってネットワーク・コントロールを統一してやっております。

たとえば日本でいえば、総括局というのは東京、仙台、札幌、名古屋、大阪、広島、福岡にあり、それらの局の間にはメッシュタイプのネットワークの構成をやっており、それに対して、中心局、集中局、端局というような、だんだん下位の端末近くの局の機能を単純化して、トリーの形で、スター型に集めていくという形態をとっております。

それで、このトラヒック・フローの多寡によって、その途中に近道回線その他を用意しております。そして近道回線の数と、メインの中継線の数と、それをどういう経路をたどって接続すればよいかということのルールを規定をしております。

これが現在世界中で採用されている考え方ですが、これからの社会の発達は、このように必ずしも中央集権的に発達していかないであろう。それに対処するにはどうしたらいいかということが問題になるわけで、その1例を申し上げますと、5年程前に私はハネコム型（蜂の巣型）というのを提案してみました。この蜂の巣の形の六角形のノードのところスイッチングになっているもので、この図形をつぶすとレンガ積み型の型になるし、その間に1本棒を入れれば格子型になってきます。アメリカの全土をカバーしている軍の通信ネットワークが、この蜂の巣型を主体にしてつくっていることが最近発表になりました。これは非常に信頼性が高く、1個所のルートが切断しても、どこからでもアクセスができるし、またたとえばトラヒック・フローが変動した場合にも、オルタネート・ルートを随時に作ることもできますものになります。

6. む す び

これを要するに、これからのネットワーク構成を考えていくときには、先ほど申しましたように、いわゆるデータ・フロー、トラフィック・フローが将来どういう形になるかということを考えることがまず必要で、10年、15年先を見ると、われわれはコンピューター・ネットワークにおいても、先輩が昔、電話のネットワークで構成していったような考え方の変遷をたどるのではないかというふうに考えられてくるのでございます。またさらに全世界が国境を越えて各種のコンピューター・ネットワークにつながれるということが、電話の交換回線を使ってそれらのシステムに任意にアクセスできるということも、すぐ目の前にきた問題ではないかと思えます。そういたしましたときに、技術的にも、法制的にも、運営組織、管理組織、それからオペレーションのやり方というもの、そういう方向に向かってゆくのが必然的な方向ではないだろうかというのが私の感想でございます。