

大学間ネットワークの性能評価

鷹野 澄, 石田 晴久 (東大・大型計算機センター)
 飯田 記子, 金沢 正憲, 北川 一 (京大・大型計算機センター)
 岡部 公起, 坂田 真人 (東北大・大型計算機センター)

1. はじめに

昭和56年10月の全国七大学大型計算機センター間のネットワーク・サービス開始により、我が国でも初めての全国的規模の大学間コンピュータ・ネットワークが正式に動き出した。このネットワークでは、昭和49年度から昭和52年度にかけて東京大学、京都大学および日本電信電話公社により開発されたN-1ネットワーク・プロトコルが採用されている。現在使用されているものは、その後の東北大学をも加えた四者の共同による実証実験を経て若干の機能拡張と改良が成されたプロトコルである。

N-1プロトコルは当初より異なる機種の間で容易に実装できるように設計されており、現在までにホスト・コンピュータとしては日立製作所のVOS-3、富士通のOS-IV/F4、日本電気のACOS-6などで実装されている。またネットワーク端末としてのTIP(Terminal Interface Processor)やREP(Remote Entry Processor)もHITAC-20、P-FACOM MU-300、MS-50等のミニコンピュー

タに実装されて一部で運用されている。

N-1プロトコルはまた、当初より電々公社が開発中であったデジタルデータ交換網(DDX)が利用できるように考えてある。もちろん専用線網の上でN-1を使う事も可能で、実際にも近距離でトラフィックの多い大学の間では専用線のN-1が使われている。しかし全国的規模のネットワークを構成するにあたっては、専用線網の場合通信コストばかりでなく網の維持や管理の為の設備や人員などのコストがばかにならない。結局、トラフィックにもよるが、七大学大型センター間のような場合はDDX網を利用した方が経済的となる。また新規加入ホストにとっても、DDXに加入するだけで全国のセンターと結ぶことができるという利点もある。

以上のようなことから現在までに表-1に示す大学がDDX網に接続されており、今後さらに増加する見込みである。

なお、現在までのところこれらの大学はDDXのパケット交換を利用しており、回線交換は使用していない。

表-1 DDX接続ホスト一覧 (S57.8現在)

大学	システム	回線速度	加入年月
北海道大学	M-200H	48K	S55.10
東北大学	ACOS-1000	48K	S55.8
東京大学	M-200H/280H	48K	S55.9
名古屋大学	M-200	48K	S56.1
京都大学	M-200	48K	S55.8
大阪大学	ACOS-1000	4.8K	S56.1
九州大学	M-200	48K	S56.7
東京工業大学	M-200H	9.6K	S57.6
東京工業大学	M-180	9.6K	S57.6
長崎大学	M-180II/AD	48K	S57.6
関西学院大学	M-160H	4.8K	S57.7
高知大学	M-140F	2.4K	S57.8

以下本稿ではDDX網により接続されている東京大学、京都大学、東北大学の各大型計算機センター間で測定したネットワークの性能について述べる。測定データはRJEやNVT自身ではなく、それらに共通なN-1のトランスポートレベル(後述)における、1データセグメントの伝送時間とその時の回線使用率である。なお、本稿ではネットワークのサービス開始前の昭和56年3月から4月ごろの測定結果と、最近の昭和57年8月ごろの測定結果の両方をのせ比較している。

2. N-1のトランスポートレベルの概要

まず測定対象を明確にするために、N-1のトランスポートレベルの概要を述べる。

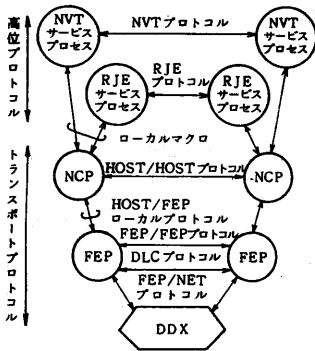


図-1 N-1ネットワークのプロトコル構造

図-1はN-1のプロトコル構造を示している。最近の多くのコンピュータネットワークに比べてみると非常に簡明であることに気付かれよう。これは当初よりミニコンを含め多くの計算機に容易に実装できることをねらったことによる。プロトコルは大別してトランスポートレベルとその上に構築されるRJEやNVTなどの高位レベル(アプリケーションレベル)から成る。トランスポートレベルは高位レベルに位置するエンド・プロセス間のデータ転送機能を受け持つものである。ネットワークを利用するにはこの高位レベルプロトコルのやっかいになるので、このレベルの応答時間などもネットワークの性能の一つの目安にはなる。しかしその場合は高位レベル自身による性能なのか、あるいはその下位の影響によるものなのかが不明確なまま残るといふ問題がある。そこ

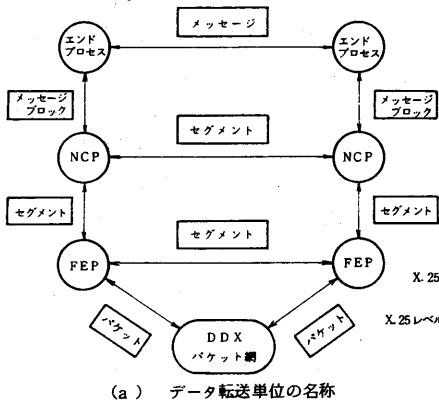
で我々は全ての高位レベルに共通に影響するトランスポートレベルでの性能を調査した訳である。

トランスポートレベルは最も下位のレベルからFEP/NETプロトコル、FEP/FEPプロトコルおよびHOST/HOSTプロトコルに階層分けできる。

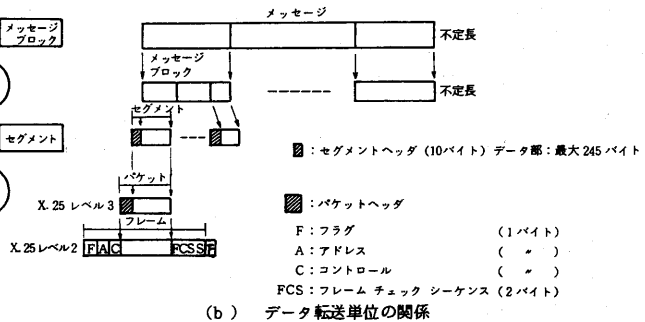
最も下位のFEP/NETプロトコルはDDX網に接続する時に使用されるものである。現在実際に大学間で使用しているものはDDXのパケット交換網なので、このFEP/NETプロトコルはCCITT勧告X.25に準拠した次の三つのレベルで構成されている。

- レベル1：DCE-DTE間の電気物理的インターフェース(XシリーズおよびVシリーズのモデム制御)
- レベル2：リンクアクセス手順(HDLC非同期平衡モード(ABM)による)
- レベル3：バーチャルコール(VC)の制御手順(パケットリンク制御)

このため次の図-2に示す様にFEP/FEPレベルからきたセグメントにパケットヘッダ(4バイト)が付加され、さらにHDLCのフレームを構成するフラグ(6バイト)等が付加されて送り出されることになる。



(a) データ転送単位の名称



(b) データ転送単位の関係

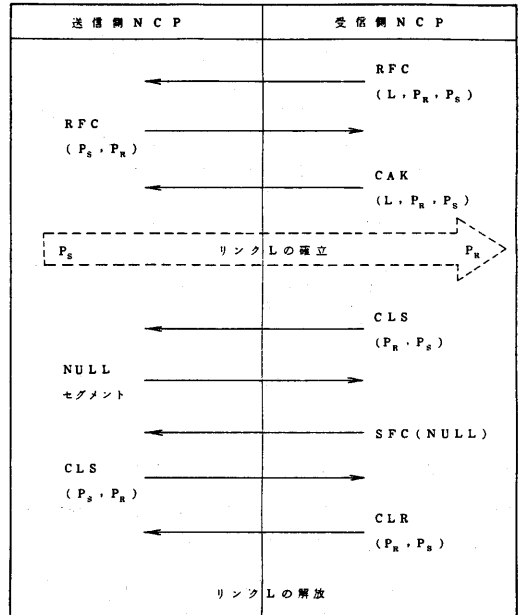
図-2 各レベルにおけるデータ転送単位

次に中間のFEP/FEPプロトコルでは相手FEPまでの回線の選択やDDXのVCの接続・切断の契機の指示、相手FEPとのあいだのHOST/HOSTリンクの多重化制御および障害通知制御などを規定している。

最後に、最上位のHOST/HOSTプロトコルではエンドプロセス間の通信路(HOST/HOSTリンク)の確立や解放、リンク上の情報伝送およびフロー制御等を定めている。これらはN-1のネットワーク制御プログラム(NCP)として実装されているものでHOST/HOSTプロトコルはこのNCPの振舞を定めるものと言える。図-2にも示したようにNCPからFEPへ渡されるセグメントはエンドプロセスから渡されたメッセージブロックを分解あるいは結合したものにセグメントヘッダ(10バイト)を付加したもので構成されている。セグメントのデータ部の最大は245バイトであり本性能測定ではデータ長10バイトと245バイト最大のケースについて測定している。なおHOST/HOSTプロトコルはリンクの確立・解放手順にHDLCの思想を導入していること(図-3参照)や、フロー制御にウインド方式を採用していること(図-4参照)などの特徴を有する。本測定ではウインドサイズ1と4のケースについても測定している。

3. 測定時のシステム構成と測定方法

図-5に性能測定時のシステム構成の概略を示す。この図から明らかなようにN-1の実装方式は、各システムともに特徴ある方式を取っている。東大システムでは、NCPがホストコンピュータの中に存在し、フロントエンドプロセッサ(FEP)はFEP/FEPレベルまでの仕事をつかさどる。これに対し京大システムでは、NCPが通信制御装置(CCP)の中に存在しFEP/FEPレベルも含め全てのトランスポートレベルの仕事がCCPにまかされている。以上は、N-1の構成をそのままの形で実装しているのに対し東北大システムでは、N-1プロトコルとACOS固有のプロトコルDINAとのあいだのプロトコル変換を行うゲートウェイプロセッサ(GWP)を



P_R : 受信用ポート番号
P_S : 送信用ポート番号
L : リンク番号

図-3 リンクの確立・解放手順

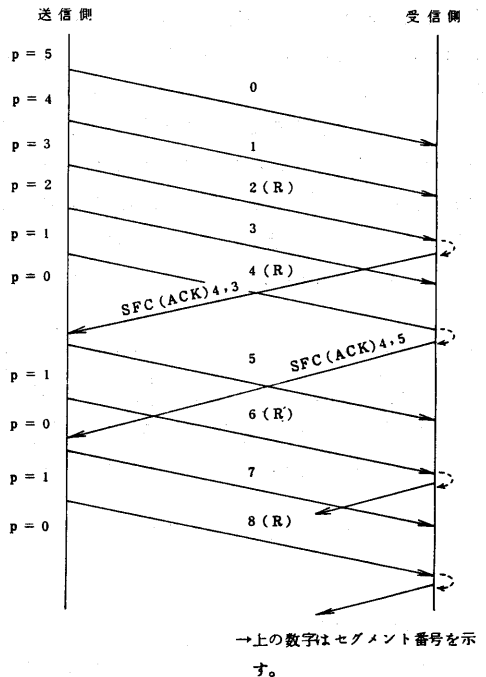


図-4 フロー制御の例 SFC(ACK)P,N :
N-N+P-1個のセグメントを受信可能であることを示す。

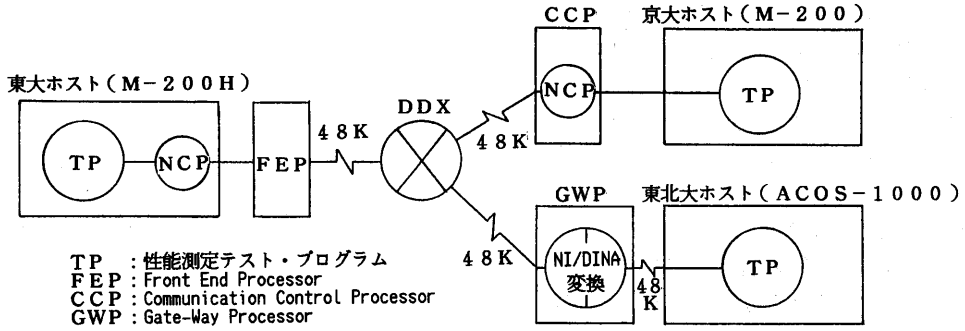


図-5 性能測定時のシステム構成

用いてN-1ネットワークへの接続を行っている。各システムとも、DDXへは48Kbpsで接続している。また、FEPとM-200HおよびCCPとM-200とのあいだはチャンネル直結されているが、GWPとACOS-1000とのあいだは、48KbpsのHDLC手順による通信回線で接続されている。

トランスポートレベルでの伝送効率を正確に得るために、本測定では測定用のテストプログラムを開発した。これは、RJEやNVTと同様の高位レベルプロトコルに位置するものであり一応サーバとユーザが存在する。今回報告するケースではテストプログラムは単にユーザからサーバへ指定した長さのデータを指定した回数(2000または3000回)送るという単純な仕事しかしていない(図-6参照)

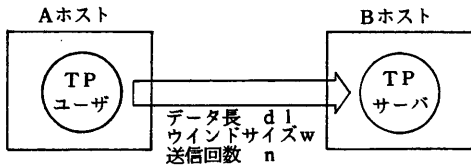


図-6 性能測定用テスト・プログラムの動作

フロー制御に関しては、ウィンドサイズwのときw個のデータをおくったら一個の確認(SFC(ACK))が返ってくる、と言う最も単純な方式が取られている。

測定パラメータとしては次の様なものが取られた。

データ長 = 10 又は 245バイト
 ウインドサイズ = 1 又は 4
 送信回数 = 2000 又は 3000回

ここで送信回数はリンク確立・解放時の多少の誤差を無視できる程度のものを選んだ。なおデータ長10バイト、ウィンドサイズ1およびデータ長245バイト、ウィンドサイズ4はそれぞれNVTおよびRJEのときを想定している。データ長245バイト、ウィンドサイズ4のケースについては、さらに独立して複数リンク上を送るというケースも測定した。これは同時に何人もの人が非常に大量のデータをRJEで流す場合に相当するがDDX網ではこれはあまり現実的でなく、むしろ回線利用率の上限を調べるのに意味がある。

4. 単一リンクの性能測定結果

表-2に単一リンク使用時の1データ当たりの平均伝送時間と48Kbps回線利用率を示す。測定値のうち上段はネットワーク・サービス開始前の昭和56年3月に測定した東京大学→京都大学の測定データである。また、下段は最近の測定データ(昭和57年8月)で、同じく東京大学→京都大学の場合である。この間にDDX網はCT1からCT2に変更(昭和57年6月)され東京大学、京都大学間では中継局が1局増している。

表-2 単一リンク性能測定結果

データ長 (Byte)	ウィンド サイズ	1データ当たりの 伝送時間 (msec)	4.8 Kbps回線 利用率 (%)
10	1	80.0 99.5	2.1 1.7
	4	35.0 39.5	4.8 4.2
245	1	168.0 223.0	24.3 18.3
	4	85.0 98.5	48.0 41.5

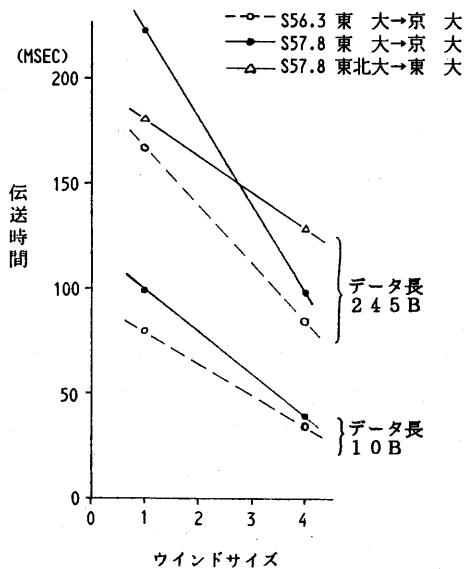


図-7 単一リンクの時の伝送時間

表-2をグラフに書いたものが図-7である。ここで図中の直線は見易さのために引いたものである。図-7には参考のために東北大学→東京大学のケース(データ長245バイト)の測定結果も示している。

表-2より、1リンクの場合でもデータ長が245バイトと大きければ、データ部の回線使用率が約20-40%以上にも達する事が分かった。また、図-7より、1データセグメントの伝送時間は、ウィンドサイズ1のとき約100-200 msec、4のとき約40-130 msecの範囲にある事が分かった。これを、現在運用中のNVTやRJEの使用環境に照らし合わせると、NVT(ウ

インドサイズ1-2、データ長は短め)の場合も、RJE(ウィンドサイズ4、データ長は長め)の場合でも、1データセグメントの伝送時間は約100 msec程度となる事が言える。

なお、昨年と今年の東京大学→京都大学間の測定結果を比較すると全体的に今年のほうが悪くなっているが、これは、今年6月のDDX網の増強により、東京大学→京都大学間に中継局が1局増えたためと思われ、興味深い結果となっている。

5. マルチリンクの時の性能測定結果

次に、相手ホストとのあいだで同時に複数リンクが使用された場合の影響と、その時の回線利用率を求めた結果を図-8と図-9に示す。測定は、245バイトのデータをウィンドサイズ4で伝送するHOST/HOSTリンクを、それぞれ1本、4本及び8本同時に張った時のものである。マルチリンクにして、各リンクがこのように大量のデータを同時に流すと、相手ホストまでの物理的回線は1本しかないために、その回線速度の上限で押さえられてデータ伝送時間は当然遅くなる。

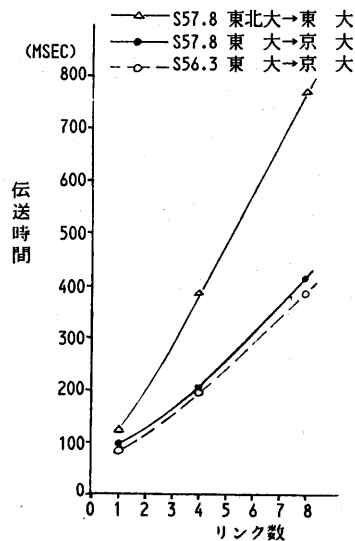


図-8 マルチリンクの時の伝送時間
(データ長245B、ウィンドサイズ4)

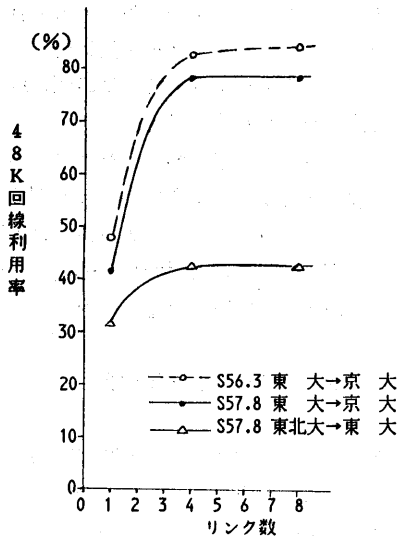


図-9 マルチリンクの時の回線利用率
(データ長245B, ウインドサイズ4)

また、各システムやDDX交換機での処理のオーバーヘッドより、回線利用率が100%に達することは期待できない。図-8や図-9ではこれらがよく表われている。

図-9より、4.8Kbps回線に占めるデータの利用率は、4リンクが同時に最大のデータ転送をしたときに、すでに最大に近い値を示している。回線利用率の最大は、東京大学→京都大学のケースで約80%（フレーム・レベルでは85%以上に相当する）、東北大学→東京大学のケースで約42%（同45%以上に相当）に達している。本測定により東北大学→東京大学のケースで回線利用率が低いことが判明したが、これはGWPにおけるプロトコル変換処理のオーバーヘッドやホスト-GWP間の回線での待ちなどによるものと予想されている。なお実際の運用では、本測定時のような大量のデータ転送が同時に生ずる可能性がほとんどないので、これほどの差異は表れていない。また一方、東京大学→京都大学のケースについて昨年と今年とを比べると、DDX網の中継局が増したにもかかわらずかなり良好な性能が保たれていることが判明した。

6. まとめ

本稿では、大学間ネットワークのトランスポートレベルでの性能測定結果を述べた。本測定の結果N-1プロトコルでは、1リンクの時ですでに、データ部の4.8Kbps回線利用率が20-40%（データ長最大値のとき）にまで達成できる事、さらにマルチリンクにすればデータ部の4.8Kbps回線利用率は約80%にも達成可能なことなどが判明した。これらは、N-1のアーキテクチャが、ミニコンなどでも容易に実装可能とした簡明なものである事に起因すると考えられる。また本原稿では、昨年と最近のデータの比較から、本年6月のDDX網の増強による影響も調べることができ、今回の変更が性能に及ぼす影響はあまり大きなものでないことも明らかとなった。

謝 辞

本性能測定にあたりご指導頂いた東京大学猪瀬教授、京都大学坂井教授、東北大学田中教授、野口教授、横須賀研究所戸田部長ならびに、プロトコル研究会関係各位に深く感謝致します。また本測定においては、東京大学、京都大学、東北大学の各大型計算機センターの関係各位、日立製作所、富士通、日本電気の関係各位に多大な協力を得たことをここに記し、深く感謝致します。

参考文献

- 1) Inose, H., Sakai, T., Kato, M. and Asano, S.: Networking for Inter-University Computer Centers in Japan, Proc. Third International Conf. on Computer Communication (ICCC), Tronto (1976)
- 2) Inose, H., Asano, S., Hasebe, K., Sakai, T., Kitagawa, H., Tabata, K. and Kato, M.: User Level Protocol for and Field Trial on the Experimental Inter-University Computer Network in Japan, Proc. Forth ICC, Kyoto (1978)
- 3) 「大学間コンピュータネットワーク実用化に関する試験研究」 試験研究報告書 昭和56年3月
- 4) HITAC VOS3 N-1 ネットワーク使用の手引き 他