

T-NETのIMPに関する一考察

On Study of the T-NET IMP Performance

海老原義彦[†]

Yoshihiko EBIHARA,

東充宏[†]

Mitsuhiro AZUMA,

池田克夫[†]

Katsuo IKEDA,

中山和彦[†]

Kazuhiko NAKAYAMA,

川合英俊[‡]

Hidetoshi KAWAI and

野口正一[‡]

Syoichi NOGUCHI,

[†] 筑波大学

University of TSUKUBA,

[‡] 電子技術総合研究所

Erectrotechnical Laboratory,

[‡] 東北大学

TOHOKU University,

[1] まえがき

実験計算機ネットワークであるT-NETは、現在、筑波大学、東北大学、電子技術総合研究所、静岡大学、そして神戸大学を結んでおり、そのシステム全体の評価を行なうために種々の性能測定を開始している(図1参照)。各サ

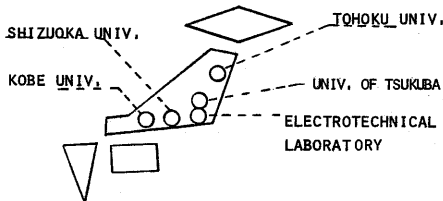


Fig. 1 TOPOLOGY OF T-NET

イトの基本的なハードウェア構成は、TSS(Time Shearing System)やバッチ処理(Batch Processing)を行なうホストと、ネットワーク制御のためのFEP(Front End Processor)から成っており、ネットワーク制御プロセスの大部分は、FEPに作成されてい

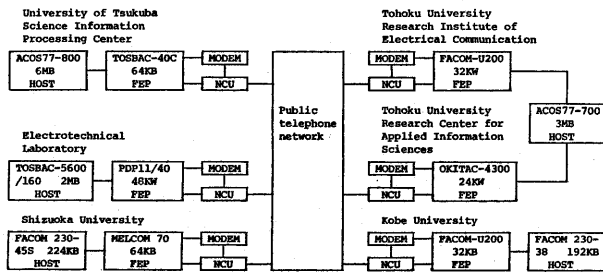
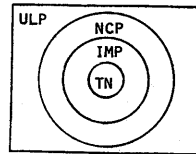


Fig. 2 Hardware structure of T-Net

る(図2参照)。T-NETのシステムとして、基本通信のためのプロト

コル、プロセス間結合相互通信のためのプロトコルとしてユーザ・レベルのプロトコルを設定している(図3参照)。



TN ; TELEPHONE NETWORK
IMP ; INTERFACE MESSAGE PROCEDURE
NCP ; NETWORK CONTROL PROCEDURE
ULP ; USER LEVEL PROCEDURES

Fig. 3 LAYERED PROTOCOL STRUCTURE

それらのプロトコルを実行するものがプロセスであり、それぞれ通信レベルの制御を行なうIMP(Inter-

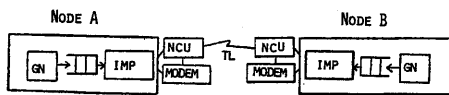
face Message Process)と、論理リンクの制御を行なうNCP(Network Control Process)そしてユーザレベルのアプリケーション・プロトコルを実行するULP(User Level Processes)が存在している。このように各プロセスのソフトウェア構成は、プロセスの修正、変更に対して柔軟性を持つ階層構造を形成している。

本計算機ネットワークシステムの性能評価を行う方法としては、まずネットワーク制御を担っている個々のプロセスの動作特性や性能を把握し、得られた個々のプロセスの性能よりシステム全体を評価していく考えである。本稿ではまず半2重通信回線におけるIMPの最大スループットや最適パケット長について解析評価を行ない、今後における計算機ネットワーク評価の1つの資料となることを望んでいる。

[2] IMPの最大処理能力測定方法

IMPは、T-NETの持つプロトコル体系の中で、最下位層に位置して、モデムやNCU(Network Control Unit)等のハードウェア・リソースを制御しながら遠隔地のIMPとパケットの送受信を行う。IMPの持つ主な機能としては、電話回線の自動接続/自動切断制御、半2重通信回線制御、バッファ管理や再送パケット制御等のパケット伝送制御そしてリカバリ制御等がある。

IMPの最大処理能力を測定するために、各サイトはトラフィック・ジェネレータと呼ばれるプロセスを実装して、IMPに対してフルロード状態になるようにトラフィックを発生している(図4参照)。筑波大サイトからパケットを



PROCESSES:
IMP; INTERFACE MESSAGE PROCEDURE
GN; ARTIFICIAL TRAFFIC GENERATOR
HARDWARE:
NCU; NETWORK CONTROL UNIT
MODEM; MODULATOR/DEMODULATOR
TL; TELEPHONE LINE

Fig. 4 ARTIFICIAL TRAFFIC GENERATION

発生させて相手サイトのパケットを受取って、次のパケットを送信するまでの時間を測定し、回線スピードから転送できるべきデータ量を求め、実際にIMPが伝送できたデータ量との割合より回線利用効率を求めている。この測定ではFEPの内部タイマーを利用した測定用プロセスを使用しており、そのユニットタイムは10μsecである。この測定により得られた結果の概略を図5に示している。

[3] IMP間通信のモデル化

IMPの最大スループットを解析するために半2重通信におけるパケット伝送手順のモデル化を行なう。このモデル化ではパケットの伝送遅延時間は考慮に入れず、パケット制御のための制

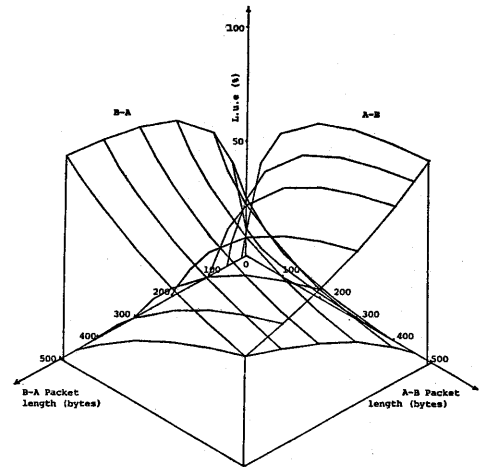
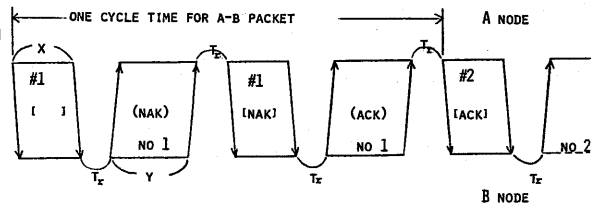


FIG. 5 LINE UTILIZATION EFFICIENCY V.S. A-B AND B-A PACKET LENGTHS



○; ACK/NAK FOR A-B PACKET
□; ACK/NAK FOR B-A PACKET
#1, #2; A-B PACKET ID NUMBER
NO 1, 2; B-A PACKET ID NUMBER

Fig. 6 PACKET PROCESSING OF HALF DUPLEX PROCEDURE

御情報にはエラーがないものと仮定する(図6参照)。1つのサイトがパケットを受信後、次にパケットを送信するまでにはパケット処理時間 T が必要で、それにはモードの切換え時間 T_s 、OSオーバヘッド時間 T_o そしてIMP自身の実行時間 T_e がある。それぞれこの時間について筑波サイトで測定を行なった。図7の(a)はその測定装置構成で(b)は測定値、(c)はタイミングチャートである。また各サイトのIMPの平均処理時間とプログラムサイズを表1に比較している。一般にサイトAの処理時間 T_A とサイトBの処理時間 T_B は一致しないが、半2重通信の性質より処理時間 T_s は大きい方に決定される。

$$T_s = \max(T_A, T_B) \quad \dots (1)$$

電話回線速度は1200bpsで調歩同期方式を採用している。それゆえ伝送単位は

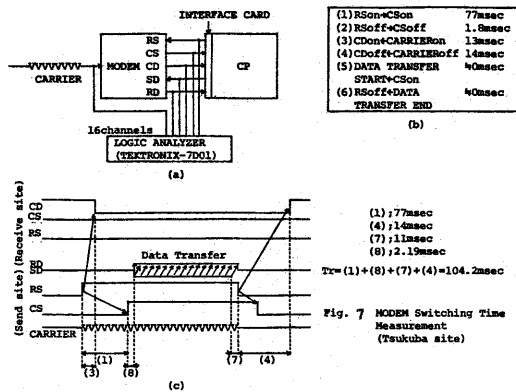


Fig. 7 MODEM Switching Time Measurement (Tsukuba site)

Nodes	Mean Processing Time	IMP Program Size	OS Program Size
University of Tsukuba	104 msec ($T_1=102, T_2+T_3=2msec$)	765 steps (3.0 kbytes)	12.8 kbytes
Tohoku University	323 msec ($T_1=60, T_2+T_3=263msec$)	1847 steps (4.2 kbytes)	5.6 kbytes
Electro-technical Lab.	100 msec ($T_1=97, T_2+T_3=3msec$)	1124 steps (2.49 kwords)	15.0 kwords

Table 1 Mean IMP Processing Time

11ビット(スタートビット+8データビット+パリティビット+ストップビット)で1バイトを伝送している。パケットはハッダーとテキスト部からなり、ノードA→B方向のパケットサイズをxバイト、B→A方向をyバイト、またハッダーサイズをcバイトとする。サイトAの1つのパケット転送がm回目で成功する確率をP(m)とすると、

$$P(m) = (x \cdot b)^{m-1} \cdot (1-bx) \quad \dots (2)$$

ただしbは回線の平均バイト誤り率で、測定結果により 10^{-5} である。またこのときサイトAから見て1サイクル全体のデータ換算量に対する実際に伝送できたテキストの割合をF(x,y,m)とすると、

$$F(x,y,m) = \frac{(x-c)}{m(x+y+a)} \quad \dots (3)$$

ただし $a = 2 \cdot (S/11) \cdot T_r$ でSは回線速度。この場合 $S=1200$ である。

したがって回線利用効率 $L_{A \rightarrow B}(x,y)$ は、

$$L_{A \rightarrow B}(x,y) = \sum_{m=1}^{\infty} P(m) \cdot F(x,y,m) = -\frac{(x-c)(1-bx)}{bx(x+y+a)} \ln(1-bx) \quad \dots (4)$$

ただし $x, y \geq c, 0 < bx < 1$ とする。

ゆえに全体の回線利用効率 $L(x,y)$ は、

$$L(x,y) = L_{A \rightarrow B}(x,y) + L_{B \rightarrow A}(x,y) = -\{y(x-c)(1-bx) \ln(1-bx) + x(y-c)(1-by) \ln(1-by)\} / \{bx \cdot y \cdot (x+y+a)\} \quad \dots (5)$$

図8は、B→Aパケットテキスト長をパラメータとするときのA→Bパケットテキスト長と回線利用効率の関係を実験値と理論値について示している。

以上の式より最大回線効率を与えるパケット長は $y=x$ のときであることが確認されている。その証明はここでは省略するとして、その最適パケット長を求める。(5)式に $y=x$ を代入すると、

$$L(x,x) = -\frac{2(x-c)(1-bx)}{bx(2x+a)} \ln(1-bx) \quad \dots (6)$$

(6)式の結果と実験値との関係を図9に示している。ここで最適パケット長を与えるパケットサイズはハッダーサイズに比べて非常に長いと考えて、

$$L(x,x) \approx -\frac{2(1-bx)}{b(2x+a)} \ln(1-bx) \quad \dots (7)$$

(7)式より回線効率 $L(x,x)$ を最大とするxの関係式を求めると、

$$\ln(1-bx) = \frac{2(1-bx)}{ab+2} - 1 \quad \dots (8)$$

(8)式を満足するxが1つ存在することは明白である。そのときのxを x_{opt} とすると回線利用効率は(7)式より、

$$L_{max}(x,x) = \frac{2(1-bx_{opt})}{ab+2} \quad \dots (9)$$

以上のモデル化を次のモデルと対比するためのモデル1と設定する。

[4] IMP間通信モデルの拡張

より厳密な解析を行なうために次の拡張モデルを提案する。前節では制御情報の伝送エラーはないものとしていたが、ここではそれも存在するものとする。ただしOSの伝送手順におけるバグは存在しないとする。(図10参照)

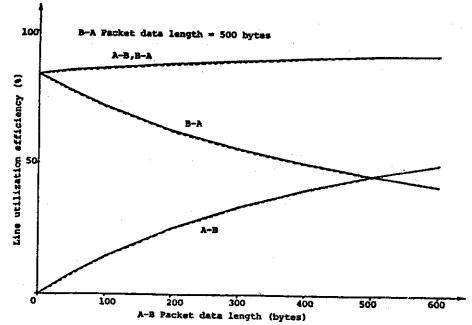
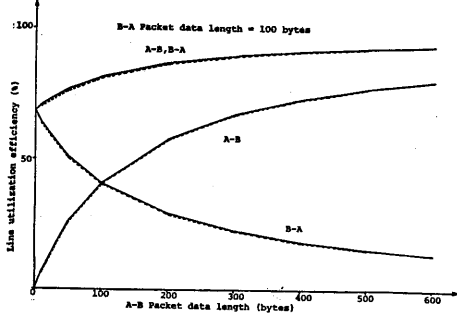
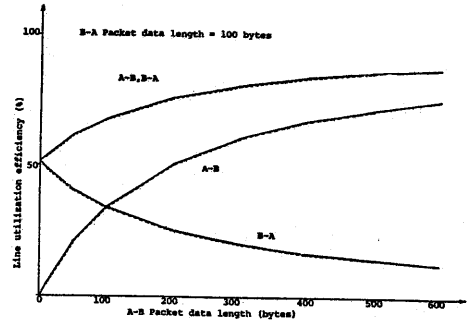
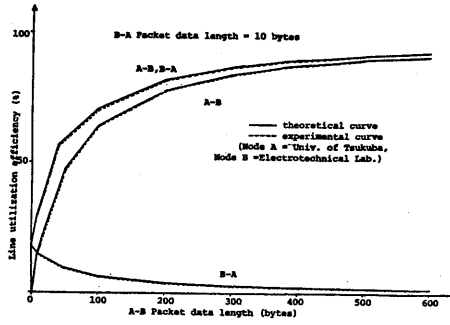


FIG. 8 LINE UTILIZATION EFFICIENCY OF THE T-NET INP

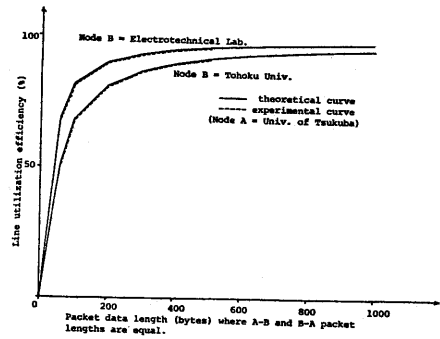
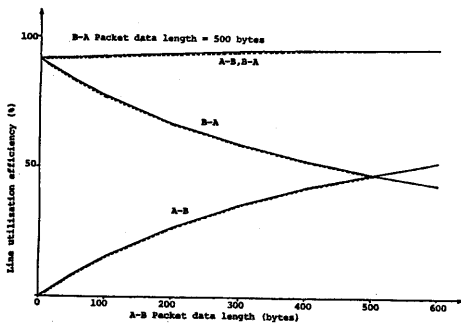


FIG. 9 LINE UTILIZATION EFFICIENCY ON BALANCED TRAFFIC

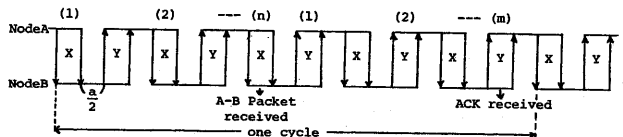
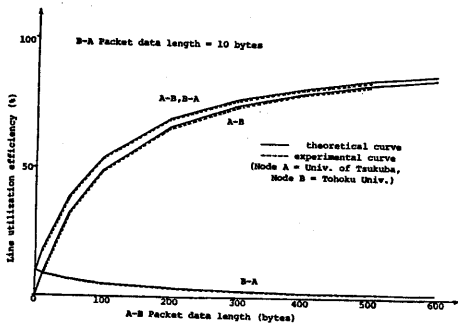


Fig. 10 EXTENDED MODEL

いま1つのA→Bパケットがm回目の転送で成功し、かつそれに対するACKをm回目の転送で始めて終了すると、その確率 $P(n, m)$ は、次のように表わされる。

$$P(n, m) = (1-bx)(1-by)(bx)^{m-1}(by)^{m-1} \dots (10)$$

T-NETでは各サイトが4回以上のNAKを送信すると回線が自動的に切断される。サイトAからの再送確率を m を

パラメータとして m を 1 から 4 まで合計した値を理論値について図 11 に示している。またこのときサイト A から見て

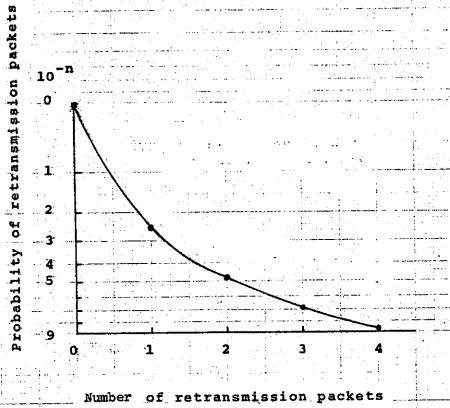


FIG. 11 PROBABILITY OF RETRANSMISSION PACKETS

1 サイクル全体のデータ換算量に対する実際に伝送できたテキストの割合を $F'(x, y, n, m)$ とすると,

$$F'(x, y, n, m) = \frac{(x-c)}{(n+m-1)(x+y+a)} \quad \dots (11)$$

したがって A → B 方向の回線利用効率 $L'_{A \rightarrow B}(x, y)$ は次のように表わされる。

$$L'_{A \rightarrow B}(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} P'(n, m) \cdot F'(x, y, n, m)$$

$$= \begin{cases} \frac{(x-c)(1-bx)(1-by)}{b(x+y+a)(x-y)} \ln \left| \frac{1-bx}{1-by} \right| & (x \neq y) \\ \frac{(x-c)(1-bx)}{2x+a} & (x = y) \end{cases}$$

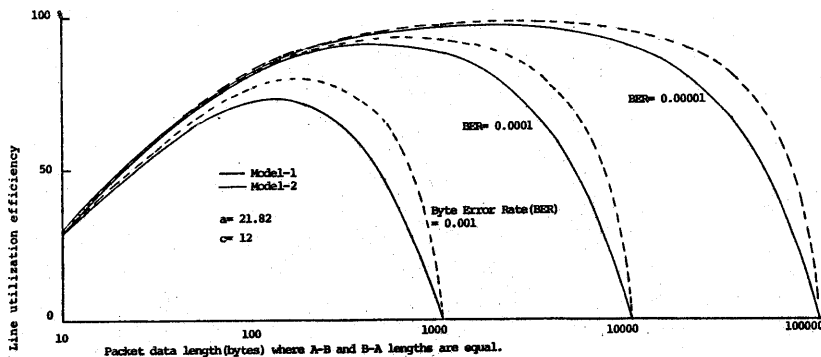


FIG. 12 LINE UTILIZATION EFFICIENCIES OF MODEL-1 AND MODEL-2

ただし $0 < bx < 1$, $0 < by < 1$... (12)

実際には、T-NET では再送回数が 4 回以上となる確率は (10) 式よりほとんど零であるので、回線利用効率を上式のように定義してもよい。同様に B → A 方向の回線利用効率 $L'_{B \rightarrow A}(x, y)$ は次のように表わされる。

$$L'_{B \rightarrow A}(x, y) = \begin{cases} \frac{(y-c)(1-bx)(1-by)}{b(x+y+a)(y-x)} \ln \left| \frac{1-by}{1-bx} \right| & (x \neq y) \\ \frac{(y-c)(1-by)}{2y+a} & (x = y) \end{cases} \quad \dots (13)$$

ただし $0 < bx < 1$, $0 < by < 1$

したがって総合回線利用効率 $L'(x, y)$ は次のように表わされる。

$$L'(x, y) = L'_{A \rightarrow B}(x, y) + L'_{B \rightarrow A}(x, y)$$

$$= \begin{cases} \frac{(1-bx)(1-by)(x+y-2c)}{b(x-y)(x+y+a)} \ln \left| \frac{1-bx}{1-by} \right| & (x \neq y) \\ \frac{2(x-c)(1-bx)}{2x+a} & (x = y) \end{cases}$$

ただし $0 < bx < 1$, $0 < by < 1$... (14)

以上におけるモデル化をモデル 2 と設定する。両方向同じパケットサイズするとき、回線のバイト誤り率をパラメータとする総合回線利用効率をモデル 1 とモデル 2 の場合について図 12 に示している。モデル 2 に対して両方向とも同じパケットサイズで最大回線利用効率を与えるパケットサイズを x_{opt} とすると、次式のように表わされる。

$$x_{opt} = \frac{1}{2} \left\{ -a + \sqrt{(a^2 + 2ac) + \frac{2(a+2c)}{b}} \right\} \quad \dots (15)$$

[5] 考察

図8に示されている曲線は回線利用効率を示している。厳しい仮定にもかかわらず、理論値と実験値が非常によくあっている。同図から考えられる事は次のようである。

A → B パケット長が B → A のそれより短いとき、すなわち交点の左側では B → A 回線利用効率は A → B のそれよりも高く、A → B 回線利用効率が增加するにつれて、減少している。このことは次のように説明できると思われる。A → B パケットが回線容量の一部を消費する間、B → A パケットはほとんどすべての回線容量を使う。A → B パケットは長い時間、相手の ACK を待つことになる。しかしながら A → B パケット長が長くなるにつれて、A → B パケットが占有する回線容量の割合が増加するので A → B 回線利用効率は上昇する。

A → B パケット長が B → A のそれより長いとき、すなわち交点の右側では A → B 回線利用効率は B → A のそれよりも高くなっている。そして A → B 回線利用効率は A → B パケット長が増加するにつれて、ほとんど飽和状態に近づく。このことは次のように説明できると思われる。A → B パケット長が、B → A のそれよりかなり大きくなると大部分の回線容量は A → B パケットによって占められ、送受信切り換え時間およびパケットヘッド・オーバヘッドはほとんど無視できる程度になるからである。

さらに A → B パケット長が非常に長くなると、A → B 回線利用効率は減少し続け、最終的には零になる。これは A → B パケットはほとんど再送過程に費やされ、他方では B → A パケットの ACK が非常に遅れるからである。

両方向トラフィックがある場合、実験値より得られる最大総合回線利用効

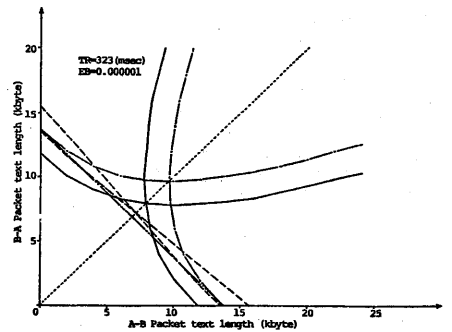
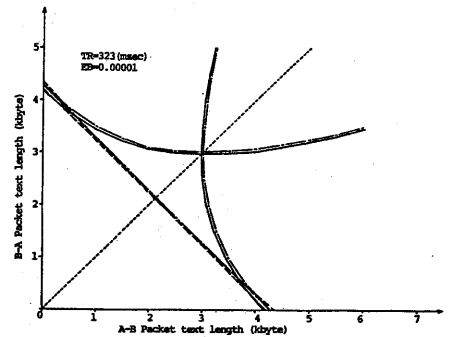
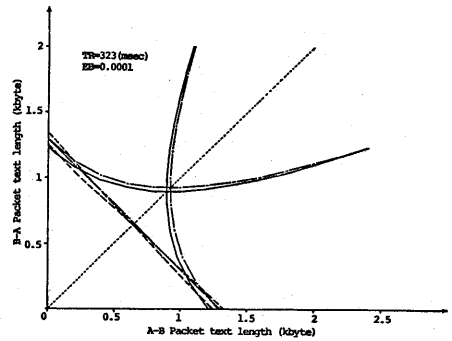
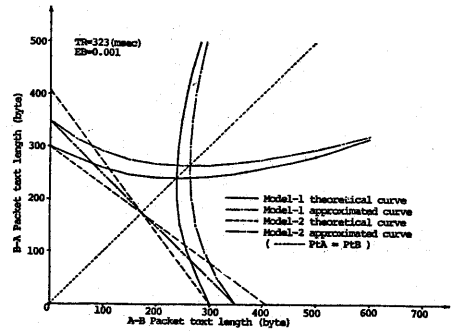


Fig. 13 A-B AND B-A PACKET TEXT LENGTHS OF MAXIMUM EFFICIENCY

率は、A→B パケットサイズが500バイトの時に、筑波大-東北大の場合91%で、筑波大-電総研の場合95%である。結果より、筑波大がら見て東北大とのスルー・アウトより電総研とのスルー・アウトの方がよいことがわかるが、東北大サイトではIMPプロセスがソフトウェアイン/ソフトウェアアウトの対象となっているので一概には言い切れない。

A→B パケット長とB→A パケット長が等しいときに最大回線利用効率を与えるパケットサイズは、各サイトの平均処理時間や回線の誤り率等に依存するが、(7)式より最適パケット長は、ほぼ2000~3000バイトの範囲にあることがわかる。また90%以上の回線利用効率を与えるパケット長の範囲は、相手が東北大または電総研の場合を含めて450~16500バイトの範囲になるという結果が得られる。FEPはミニコンであるのでメモリ容量の制限から、バッファサイズは短いほど良く、同程度の回線効率ならば、より小さなパケットサイズを選択するほうが実用的である。T-NETでは最大パケットテキスト長を512バイトに設定しているが、このサイズは、理論的にも実験的にも適切であると考えられる。

より厳密な解析を行なうために、本稿では、拡張モデル(モデル2)を設定して解析を行ない検討した結果、図8、図9で示される不平衡および平衡トラフィックの状態でのデータとはほとんど一致するので、その結果を示すことは省略する。しかし図10よりパケットサイズが非常に大きいときは、モデル1とモデル2の回線利用効率は10~30%の差が生じている。

図11には、パケット再送の確率を示している。図の中でパケットの再送回数が4以上のものに関しては、まとめて再送回数4としている。再送回数4はT-NETではシステム・ダウン率を示

している。厳密には、OSのバグによるシステム・ダウン等も含めたほうがより実用的であるが、その解析は困難である。

総合回線利用効率を最大にするようなグラフに関するグラフをバイト誤り率をパラメータとしてモデル1とモデル2のそれぞれについて理論式によるグラフと近似式によるものについて図13に示している。図の中で理論式は、モデル1の場合、(5)式から、モデル2の場合は(14)式から計算したものである。直接計算により最適パケット長を求めるのは困難であるので近似的に最適パケット長を求めている。しかし図12で見られるように、最大回線利用効率を与える範囲では、曲線が平滑である。そのために近似計算の精度はあまりよくなかった。

[6] 結論

本稿では、実験計算機ネットワークT-NETのプロトコル体系を明確にし、IMPに関する処理能力測定について述べている。さらにT-NETの半2重通信方式に関して理論的解析を行ない、実測値と比較、検討し解析結果の妥当性を示している。また最適パケット長に関する理論的考察を行なっている。その中で、最大回線利用効率を与えるパケットサイズは、両方向のパケットサイズが等しいときであることを示している。

結果の厳密化を計るために、拡張モデルを設定し、IMPの最大処理能力、最適パケット長、パケットの再送確率およびシステム・ダウン率を理論的に求めている。我々の議論は、フルロード状態下で行なってきたが、回線速度1200bpsは計算機の処理スピードに比べて比較的低いと考えるのが一般的で、それゆえにIMPのフルロード状態は通常の運用中にもあり得る。しかしこの

点は、IMPよりも上位のプロセスであるNCPやULPの処理能力、ユーザ・トラフィックなども関連しており、今後さらに検討していく。

[謝辞]

日頃助言や叱正をいただいている東北大学の八重樫純樹氏、高橋薫氏、RCCの萩島茂直氏、筑波大学術情報処理センターの磯浜健一氏に深く感謝します。

[参考文献]

- 1) M.Gien and J.L.Granger, Performance Evaluations in CYCLADES, the 4th proc. of ICC, pp.23-32, Sep.,1978.
- 2) Y.Masunaga, A Probabilistic Automaton Model of the NRM, HDXHDLC Procedure, Computer Networks, 2(1978), 442-453
- 3) S.Noguchi, J.Yaegashi, Y.Ebihara, H.Kawaii and J.Oizumi, The Extention of TACONET - An Academic Computer Network -, Proc. of Pacific International Telecommunications Conference, Jan., 1979.
- 4) H.Kawaii, Y.Ebihara, J.Yaegashi and S.Noguchi, Front-End Processing of User Protocol with Telephone Network, The 4th proc. of ICC, Sep., 1978, pp. 663-668.
- 5) Y.Ebihara, S.Noguchi and N.Abramson, A Design of Process Connection Procedure on Computer Network, Report No. EIR-TR-77-6, Institute of Electronics and Information Sciences, Univ. of Tsukuba, Mar., 1977.