

「情報処理学会論文誌」第 27 巻第 10 号別刷 昭和 61 年 10 月発行

一リング形 LAN のシミュレーションによる解析

中 村 奉 夫 海老原 義彦 池 田 克 夫

一リング形 LAN のシミュレーションによる解析†

中村 奉夫†† 海老原 義彦†† 池田 克夫††

スロット方式によるリング形ローカルエリアネットワーク (LAN) の性能を、シミュレーションによって解析した。既存の計算機システムにおいて TSS 環境下で実稼動中に、メッセージ・トラフィックの測定を行い、その測定結果を参考にしたシミュレーションにより、スロット方式リング形 LAN の基本性能について解析した。次に、この LAN でのマルチチャネルアクセス方式 (複数個のスロットを束ねて一括して使用する方式) において、バースト性の大容量データ転送が他のメッセージ転送に与える性能上の影響を、メッセージ転送に利用可能なスロット数を制限する形のシミュレーションにより調べた。

1. ま え が き

ローカルエリアネットワーク (LAN) は、同一構内建物など比較的近距离内での通信を目的とした通信網として広く議論されている^{1), 2)}。

一般に、LAN においては、広域ネットワーク (WAN) に比較して、バースト性をもつ大容量ファイルの転送や実時間性の強い音声・画像情報など多様な情報転送の可能性が大きい。ところが大容量データの転送と小容量データの多回数の転送は著しく異なる特性を有する。小容量データの多回数の転送は、オーバーヘッドが大きくなり効率が悪くなる可能性が高い。一方大量データ転送の場合には、転送性能の問題とともに、大量のデータ転送が他のデータ転送に与える影響が大きい。

このため LAN では、大容量ファイル転送と会話型処理などにおける短いデータ転送という異なる特性をもつデータ転送を効率良く行うことが要求される。

著者らは、これらのマルチメディア情報の効率良い転送のために、スロット方式及びランデブ転送方式を用いたリング形広帯域 LAN (GAMMA-NET)³⁾ を構築した。またそこではマルチチャネルアクセス方式 (後述) を採用した。

この論文では、GAMMA-NET において、短データ転送という悪い条件を仮定し、その条件のもとでの転送性能の見積りと、マルチチャネルアクセス方式の検討を行うことを目的として、スロット方式及びランデブ転送方式をモデル化し、その転送性能の解析を行った。

このモデルは、一般のスロット方式リング形 LAN のモデルとは異なり、送信を受信の二つのプロセッサが同時に動的にスロットを使用し、転送が行われるモデルである。そのため、スロット捕捉の競合と通信プロセッサの競合の二種類の競合が発生し得るモデルとなる。このようなモデルの解析は、これまで行われていない。またこのモデルの解析的厳密解も得られていない。そのためシミュレーションによって解析を行った。

特に会話型処理における短データの転送に焦点を絞り、その転送性能を解析し、次にファイルなどの大容量データ転送が短データの転送に与える性能上の影響を解析した。

シミュレーションに先だち、会話型処理システムの実稼動下でのデータ転送トラフィックの測定とデータ長分布の測定を行った。そしてこの測定結果を、シミュレーションにおけるパラメータ値の決定と、そのシステムがネットワークに組み込まれるとの仮定条件下での応答時間の見積りに使用した。

リング形 LAN はアクセス技術に関して (1) トークン・パッシング方式、(2) スロット方式、(3) レジスタ挿入方式に分類される。

(1) の方式は、オーバーヘッドの小さい簡易な方式で、リング上のトラフィックが比較的小さい場合にはよい性能を示すが、トラフィックが大きくなるに従って転送待ち時間が急激に大きくなる欠点がある³⁾。また同時にリング上に複数のデータを転送できない欠点をもつ⁴⁾。

(2) のスロット方式では、リングを複数のスロットに区切って使用するため、リング上で同時に複数のデータを転送できる特徴がある。

スロットの割当て方法には固定式と可変式があり、固定式ではノードに固定して、可変式の場合には動的

† An Analysis of a Ring LAN by Simulation Techniques by TOMOO NAKAMURA, YOSHIHIKO EBIHARA and KATSUO IKEDA (Institute of Information Sciences and Electronics, University of Tsukuba).

†† 筑波大学電子・情報工学系

にスロットが割当てられる。可変式においては、一つのノードが(i)連続した空きスロットを使用できる、(ii)連続しては使用できない、(iii)スロットを捕捉したのち、そのスロットの使用が終るまで次のスロットを使用できない、という三方法が考えられる⁵⁾。

(i)の方法では、リング上のトラフィックの小さい場合は、リング上のすべてのスロットを使用可能となるため他の方法より性能は良いが、トラフィックが大きくなると、いくつかの転送頻度や転送量の多いノードによってリングが寡占される状況(loop-hoggingとよばれる)が生ずる可能性がある。(ii)の方法では、ノード間の転送に対する公平さは保たれるが、リング上のトラフィックが小さい場合にも、リングの転送能力の一部分しか利用できないために性能が良くない欠点がある。(iii)においても、(ii)と同様の欠点があるが、loop-hoggingが生じ難いこと、他のノードへの影響が少ないという特徴をもつ。

送出されたデータ(メッセージ)の消去については、トークン・パッシング方式では送信側ノードで行われる場合が多いが、スロット方式の場合には、(a)受信側で、(b)送信側で、メッセージ消去の責任をもつ二つの方法がある。(a)と(b)を比較すると、(a)は転送性能上では無駄がなく性能は(b)よりよいが、(b)はメッセージ到着確認制御が容易という特徴がある。

(3)のレジスタ挿入方式は、ノード間の通信遅延時間がリング全体のトラフィックによって大きく変わるという欠点があり、実用化されたシステムはあまりないようである²⁾。ケンブリッジ・リングのように設計段階ではレジスタ挿入方式が採られた⁶⁾が、実装ではスロット方式になった例もある。

この論文で性能解析の対象とした LAN は、スロット方式で、上の議論では(2)、(iii)、(b)の各方法を探ったものである。

リング形 LAN の性能解析・評価には、他の LAN の場合と同様に、シミュレーション技法^{3),8)}と解析的手法⁹⁾によるものの二種類がある。解析的手法はパラメータの幅広い範囲に適用できる長所があるが、近似的・定常的な解が多い点が短所である。一方シミュレーション技法では、パラメータの数が多くなると多量の計算機時間を要し、適用範囲が狭くなるが、システム

の詳細な動作特性の解析・評価には優れている。シミュレーション技法は特にシステムの設計パラメータが限られているときやユーザの動作振る舞いなどがある程度既知であるシステムにおいてはよい成果が得られることが多い。

2. ネットワークのモデリング

2.1 ネットワーク構成

対象としたネットワークの構成を図1に示す。各ノードは光リピータと RBP とよばれる専用の通信処理プロセッサからなり、RBP アダプタを通してホスト計算機や TIP (terminal interface processor) などが接続される。RBSV はリングの同期調整、フレームの構成・監視などを司る。

このネットワークは、多数の小型計算機や端末装置が直接接続されるのではなく、大型計算機がチャンネル結合される広帯域 LAN であり、ノード数は比較的少数である(最大数は 32)。

リングは、チャンネル多重方式によるフレームが巡回し、メッセージ単位のチャンネル予約方式が採られる。

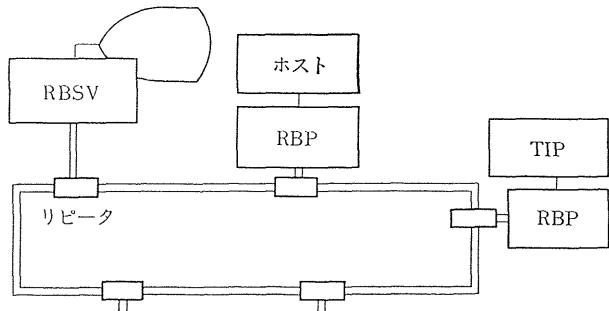


図1 ネットワーク構成
Fig. 1 Network structure.

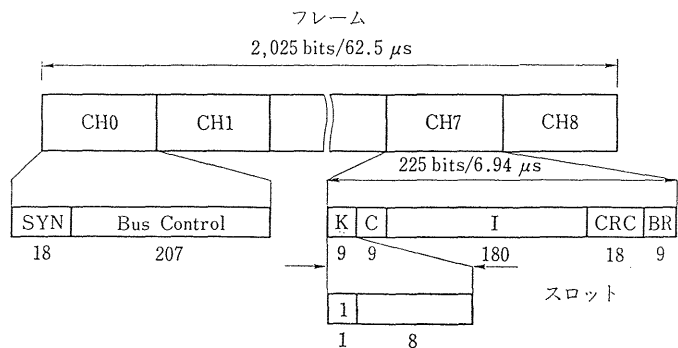


図2 フレームとスロット構成
Fig. 2 Frame and slot structure.

図 2 にフレームの構成を示す。フレームは全体で 2,025 ビットで、9 個のスロット (225 ビット) に分割されている。1 個 (CH0) はリング制御メッセージ転送に使用される制御用スロットで、他の 8 個はデータ転送に用いられる。

2.2 転送手順

ホスト計算機内で作成されたデータや端末より TIP へ集められたデータは、ネットワークの上位プロトコルに従って制御用情報を付加され、個々のメッセージとして構成される。

データリンクにおける制御手順は、リンク接続、転送、リンク切断の三段階からなる⁷⁾。転送段階は、同期処理と転送処理に分かれる。同期処理としては、ランデブ方式が採られている。ランデブ方式においては、互いに通信を行うプロセス間で送信要求と受信要求の合致のちにメッセージ転送が行われる。転送処理においては、送信側 RBP はリング上の一つの空きスロットを捕捉しメッセージ単位でそのスロットを連続して使用する。メッセージは 180 ビット (図 2 の I) ほどのパケットに分割され、45 ビットの制御情報を付加されスロットに乗せられる。ケンブリッジ・リング⁸⁾とは異なり自ノードと宛先ノードの識別子をパケット内には含まない。受信側 RBP は、RBP がビジー状態でなければ、パケットを受け取りそのスロット内の到達確認フラグをたてて送信側 RBP へ送り返す。

2.3 ネットワーク・モデル

ネットワーク・モデルを次のように設定する。リング・ネットワークは N 個のノードと、ノードをリング形に接続する回線よりなる。ノードには、送信中、受信、遊休の三つの状態がある。各ノードへは、ネットワークの外部から、他のノードへの転送を要求するメッセージが到着する。

ノードが遊休状態になると、メッセージが到着していれば、ノードは、リング上の空きスロットの存在を確認し、かつメッセージ転送先のノードが遊休状態であることを確認する。確認がとれるとノードはメッセージの転送を行う。確認がとれないときには、メッセージは待ち状態となる。

各ノードにおいては、自ノードを除く $N-1$ 個の転送宛先ごとに、メッセージ転送要求の待行列が作られる。送信要求と受信要求の合致は宛先ごとに独立に確認がとられる。

モデルにおける仮定条件とパラメータを次のように定める。

- 1) ネットワーク内のノード数 N は可変とする。リングのフレーム構成は図 2 のとおり固定とする。
- 2) ノード i へ到着するメッセージの到着率の平均を λ_i (メッセージ/秒) とする。
(以下 $1 \leq i, j \leq N$)
- 3) ノード i へ到着するメッセージのメッセージ長の分布の平均を l_i (バイト) とする。
- 4) ノード i へ到着するメッセージの宛先がノード j である割合を p_{ij} ($p_{ii}=0, \sum_{j=1}^N p_{ij}=1$) とする。
- 5) 送信と受信の合致のための制御情報転送については考慮しない。TSS やフェイル転送においては、リンク接続やリンク切断における制御情報転送は実データ転送量にくらべて小さいため無視する。
- 6) 単一リングと二重化リング

このモデルでは、単一リングと二重化リングの二つのリング構成を設定する。二重化リングでは、二つのフレームが、時計回りと反時計回りに巡回し、各ノードへ到着したメッセージは、どちらのリングのフレームを利用して転送が可能である。各ノードは 2 本のフレームを同時に使用できる。

3. シミュレーション結果と考察

前述のモデルを用いて、会話型処理時のデータ転送におけるリング性能の解析を行った。

このシミュレーションを行うに先だって、ネットワークに組み込む予定の計算機システムでの会話型処理における実稼働下のデータ・トラフィックの測定を行った¹⁰⁾ (付録参照)。ネットワークの測定としては、Shoch ら¹¹⁾によるイーサネットでの測定が有名であるが、それによると会話型処理と考えられる短パケットのグループのパケット長が 32 バイト (ヘッダなどの制御部を含む) 程度と、この付録の測定を似かよった結果を示している。

これらの実測データは、シミュレーションにおけるパラメータ値の範囲の限度と、実稼働を仮定した場合のリングにおける遅延時間の見積りに使用した。

3.1 パラメータと出力項目

シミュレーションにおけるパラメータ値と出力項目について説明する。

- (1) ノード数 $N=6, 12, 24$ とした。 ($N \leq 32$ であり、スロット数 8 と影響が大きい $N=16$ をさけた)

- (2) 対称モデル (次の三条件)
 - (i) μ_{ij} は j (キ) に無関係に等しく $1/(N-1)$
 - (ii) メッセージ長の分布はすべてのノードで等しい (l)
 - (iii) メッセージ到着率はすべてのノードで等しい (λ). 分布はポアソン分布
- (3) メッセージ長の分布を, 平均値を 50 バイトとする指数分布と仮定する.
- (4) フレームの周回時間は 62.5 マイクロ秒 (32 Mb/s, 図 2 参照)
- (5) エラーなしの転送
- (6) シミュレーションの出力として次の項目を採った.
 - a. 待時間——メッセージの転送要求開始から転送開始までの時間
 - b. 応答時間——メッセージの転送要求開始から, 転送が終了して最後の到達確認が戻るまでの時間

3.2 基本性能

図 3 に, 単ーリングにおける, ネットワーク全体に対するメッセージ到着率の変化に対する平均待時間と平均応答時間の変化を示す. 図 4 には, 二重化リングにおける場合を示す. 対称モデルのため, 各ノードの平均待/応答時間をすべてのノードについて平均した値を示す.

付録のトラフィック測定値を参考に, 各ノードへの

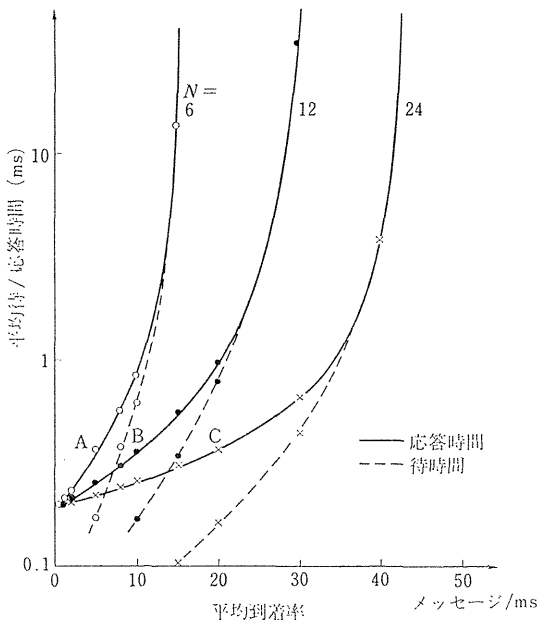


図 3 平均待/応答時間 (単ーリング)
Fig. 3 Mean queuing/response time (single ring).

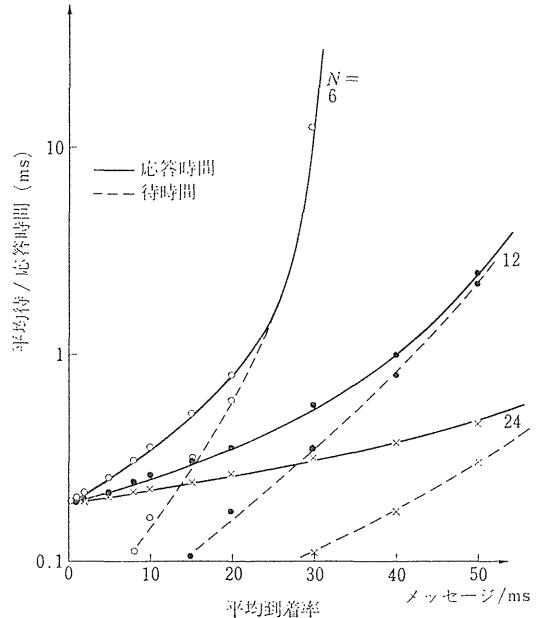


図 4 平均待/応答時間 (二重化リング)
Fig. 4 Mean queuing/response time (double ring).

平均メッセージ到着間隔を 1.2 ミリ秒と大きく見積っても, 対応する平均応答時間 (図 3 の A, B, C) は, 1 ミリ秒より小さく, ネットワークが, システム隘路となる可能性は非常に小さいことがわかる.

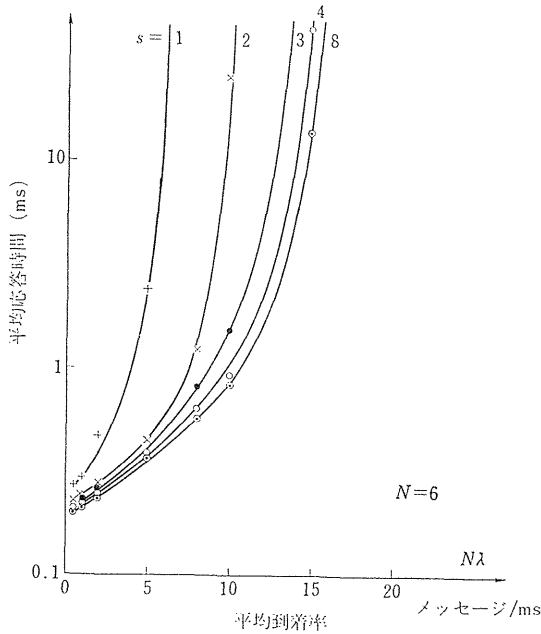
このスロット及びランデブ転送方式のモデルにおいては, 複数ノードからのメッセージ転送のためのスロット捕捉の競合が起こるとともに, スロットに空きがあっても, 同時に複数ノードから一つのノードへ転送要求がぶつかり, どちらかが待たされる競合が起こり得る. 後者の競合は, トークンパッシング方式やレジスタ挿入方式では起こり得ない. 前者の競合が, リングの転送性能に大きな影響を与えている場合には, ネットワーク内のノード数 N に無関係に, ネットワーク全体へのメッセージ到着率 ($N\lambda$) に対して, 近い値をとるのに対して, ノードでの競合が大きな影響を与える場合には, $N\lambda$ に無関係に, λ に対して近い値をとるはずである.

図 3, 図 4 より, ノードにおける競合の影響が大きいことがわかる. すなわち, スロット数 8 に対して, 最大ノード数 32 のこのネットワークでは, スロットの競合は小さいと考えられる.

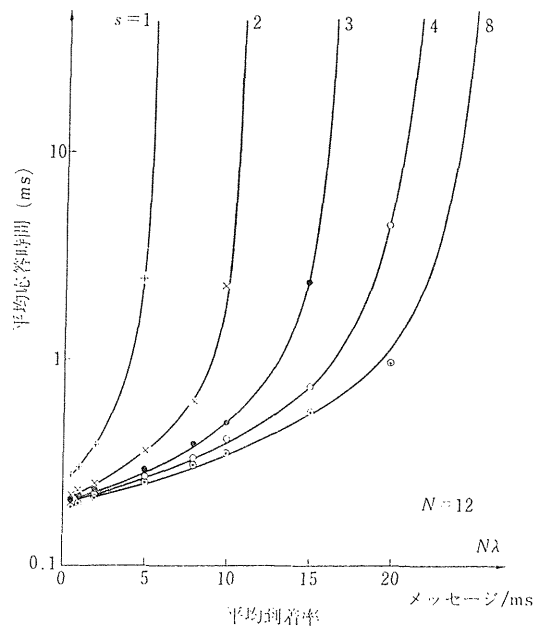
図 3, 図 4 を比較すると, 二重化リングでは, 単ーリングのほぼ 2 倍の性能が得られている.

3.3 スロット数の影響

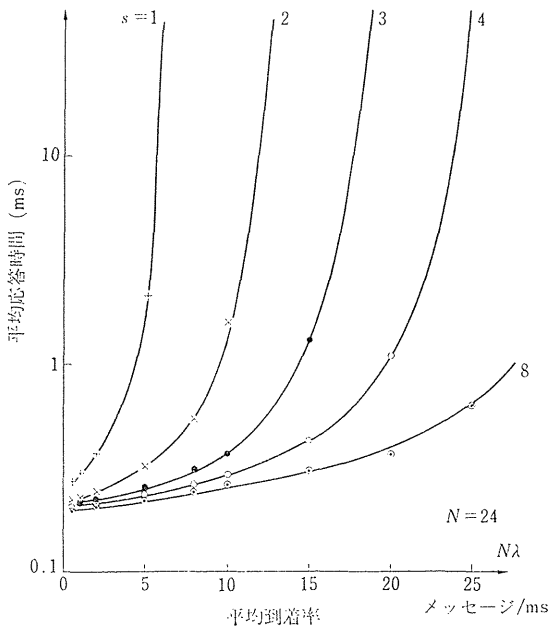
このモデルは, フレーム内のスロット数が 8 と, 比



(a)



(b)



(c)

図 5 使用可能スロット数の影響
Fig. 5 Effect of available slots.

較的多いチャンネル多重方式である。これは、多くのノード間で同時にデータ転送を可能にすることを目的としたものである。しかし大容量のファイル転送などでは、一つのノードが一時点でフレーム内の1個のス

ロットしか使用できないのでは、転送速度が遅く効率が悪い。このため対象とした LAN では、バースト性のある大量ファイル転送などのために、フレーム内の複数スロットを束ねて一括して使用するマルチチャンネルアクセス方式が採用されている。

このマルチチャンネルアクセス方式では、CH 4~CH 9 (図 2) の 5 個のスロットを一括使用とし、CH 1~CH 3 は 1 個ずつの使用とするか、あるいは、すべてのスロットを 1 個ずつの使用とするかの指定が、システム生成時に可能である。

ここでは、マルチチャンネルアクセス方式によるスロットの一括使用が、他の会話型処理のメッセージ通信に与える影響を考察する。

束ねられたスロットは、主にファイル転送に使用されるが、ファイル転送などのトラフィックに関する測定データは得られていない。また、これらのスロットは、会話型処理時には使用できないため、ファイル転送がなくても、スロットは使用されない。それゆえ、特定の複数スロットを使用不可とした条件の下で、残りのスロットのみを使用可能として、考察を行う。

ノードの捕捉に対しては、会話型処理時のメッセージはファイル転送に対して優先的に行われると仮定する。

図 5 (a)~(c) は、単一リングにおいて、フレーム内のスロット使用可能数 (s) をパラメータとして、メ

メッセージの到着率に対する平均応答時間の変化を示したものである。図5(a)はノード数 $N=6$, (b)は $N=12$, (c)は $N=24$ の場合を示している。いずれの場合にも, $s=1$ のときには, 性能が悪く, $s=2, 3$ で性能が良くなっている。これらの図から, 会話型処理時のメッセージ転送用スロットは3個程度でよいと考えられる。

4. あとがき

スロット方式及びランデブ転送方式のリング形 LAN の性能解析をシミュレーションによって行った。

シミュレーションによる解析の結果, 次のことが明らかとなった。

(1) モデルのリング形 LAN では, 通常の使用ではシステムの隘路となる可能性は小さい。

(2) マルチチャネルアクセス方式を用いれば, 大容量データ転送を仮定しても, 3個ほどのスロットを会話型処理などに割付けることにより, 短メッセージ転送への影響を小さくできる。

(3) 対称モデルでは, 二重化リングの性能は, 単一リングのほぼ2倍である。

また, このモデルは, 一つのスロットと二つのノードが同時にメッセージにより捕捉される点で, 従来のモデルと異なり, これまであまり解析が行われていなかった。このようなモデルは, データ転送などにおいてよく出現するモデルであり, このモデルの振る舞いが解析されたことにより, 他の転送問題の解析などにも利用できると思われる。

参 考 文 献

- 1) 斎藤忠夫: ローカリエリアネットワーク総説, 情報処理, Vol 23, No. 12, pp. 1123-1128 (1982).
- 2) 矢田ほか: リング型ローカリエリアネットワーク, 情報処理, Vol. 23, No. 12, pp. 1146-1153 (1982).
- 3) Reams, C.C. et al.: Design and Simulation of the Distributed Loop Computer Network (DLCN): *Proc. 3rd Annual Symp. on Comput. Architecture*, pp. 124-129 (1976).
- 4) Tropper, C.: *Local Computer Network Technologies*, p. 144, Academic Press, New York (1981).
- 5) Hayes, J.F.: Performance Models of an Experimental Computer Com-

munication Network, *Bell Syst. Tech. J.*, Vol. 53, No. 2, pp. 225-259 (1974).

- 6) Wilkes, M.V.: Communication Using a Digital Ring, *PACNET Conf. Sendai, Japan*, pp. 47-55 (1975).
- 7) Ebiyara, Y. et al.: GAMMA-NET: A Local Computer Network Coupled by a High Speed Optical Fiber Ring Bus—System Concepts and Structure, *Computer Networks*, Vol. 7, No. 6, pp. 375-388 (1983).
- 8) Blair, G.S.: A Performance Study of the Cambridge Ring, *Computer Networks*, Vol. 6, No. 1, pp. 13-20 (1982).
- 9) Bux, W.: Local Area Subnetworks: A Performance Comparison, *IEEE Trans. Comm.*, Vol. 29, No. 10, pp. 1465-1473 (1981).
- 10) 中村ほか: 光ファイバー・ループ・ネットワークのための端末入出力動作特性について, 第20回情報処理学会全国大会論文集, 6G-8 (1979).
- 11) Shoch, J.F. et al.: Measured Performance of an Ethernet Local Network, *Comm. ACM*, Vol. 23, No. 12, pp. 711-721 (1980).

付 録

計算機システムの TSS 環境下におけるメッセージの流れに関する測定の結果を示す。

対象システム: 中型計算機 (メルコム-コスモ 700 II), 主記憶 640 キロバイト, CRT 端末 26 台, ラインプリンタ 1 台

測定プログラム: システムの端末間でデータの入出力があるごとに, その端末識別番号, 入出力の区別, データの長さ (文字数), 入出力開始時刻, 使用されているモジュールの種類, を記録する。

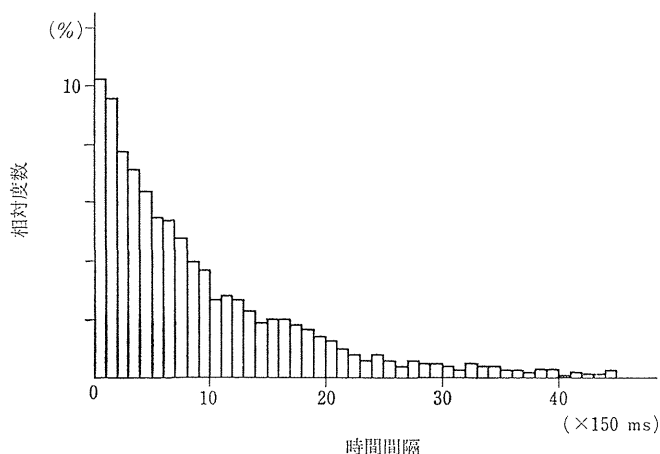


図 6 入力間隔分布

Fig. 6 Distribution of message input intervals.

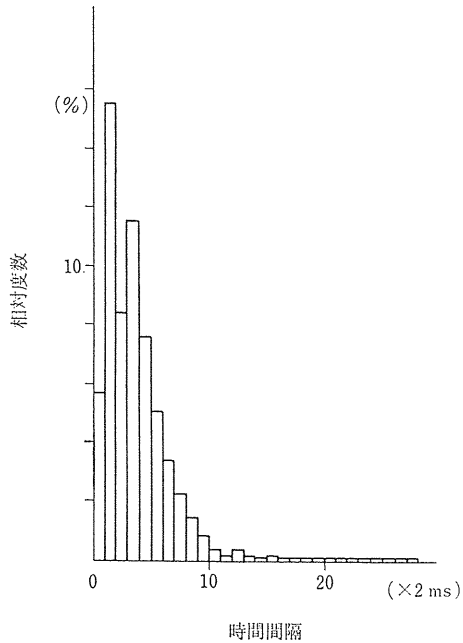


図 7 出力間隔分布

Fig. 7 Distribution of message output intervals.

測定：大学における1年生に対する教養的なプログラミング実習，すなわち，FORTRAN 言語のプログラミングやオセロ，連珠ゲームなどの実行。ほぼ 20

台の端末が稼動中。3日間の測定。

測定結果

(i) 端末群からシステムへのデータ入力の時間間隔分布 (図 6)

サンプル数 7,132. 平均値 1,679 ミリ秒. 中央値 約1,000 ミリ秒. 90%は約 3,700 ミリ秒以内.

(ii) システムから端末群へのデータ出力の時間間隔分布 (図 7)

サンプル数 27,815. 平均値 430 ミリ秒, 中央値 12 ミリ秒. この結果は, 測定が行単位で行われているため, 連続した数行の出力の場合, 時間間隔が短いため, 中央値と平均値に差が出たものと考えられる.

(iii) 端末群からシステムへの入力データの長さ分布 (図 8)

行単位のため 80 文字以内の分布となっている. 平均値 11.2 文字, 中央値 8 文字とかなり小さな値となっている.

(iv) システムから端末群への出力データの長さ分布 (図 9)

(iii)と同様に, 80 以下の分布であるが, 平均値 13.8 文字, 中央値 9 文字となっている.

(昭和 60 年 8 月 19 日受付)

(昭和 61 年 8 月 27 日採録)

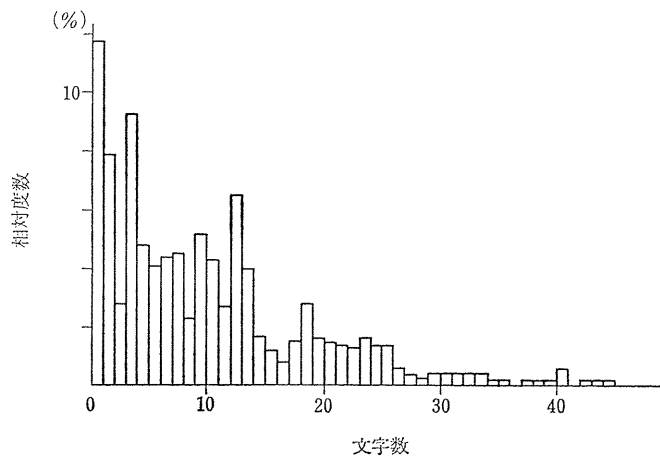


図 8 入力メッセージ長の分布

Fig. 8 Distribution of input message lengths.

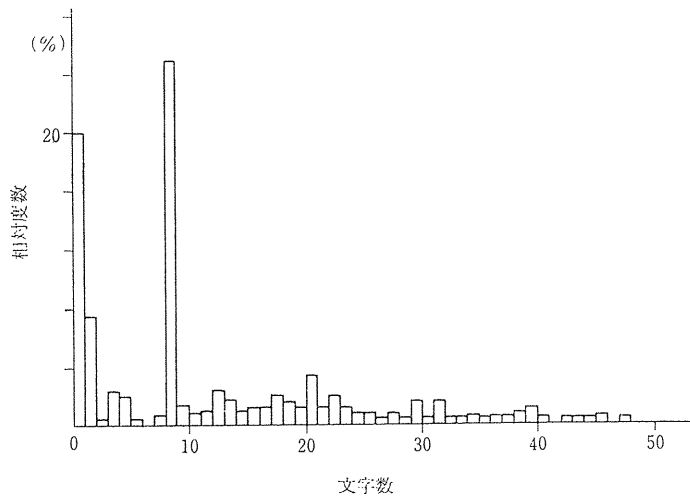


図 9 出力メッセージ長の分布

Fig. 9 Distribution of output message lengths.



中村 奉夫 (正会員)

昭和 23 年生. 昭和 45 年京都大学工学部数理工学科卒業. 昭和 47 年同大学院工学研究科修士課程修了, 昭和 49 年同大学院博士課程中退, 東京教育大学理学部助手となる. 昭和 50 年より筑波大学電子・情報工学系講師. 計算機のネットワークおよびシステム性能評価の研究に従事. 電子通信学会会員.



海老原義彦 (正会員)

昭和 22 年生. 昭和 45 年東北大学工学部電子工学科卒業. 昭和 50 年同大学院工学研究科博士課程修了. 工学博士. 現在, 筑波大学電子・情報工学系助教授. 主たる研究分野は, 計算機ネットワーク・アーキテクチャ, デジタル通信システムおよびシステム性能評価など.



池田 克夫 (正会員)

昭和 12 年生. 昭和 35 年京都大学工学部電子工学科卒業. 昭和 37 年同大学院修士課程修了. 昭和 40 年同博士課程学修退学, 同年京都大学助手. 昭和 46 年同助教授. 昭和 46 年 9 月より 1 年間文部省在外研究員として, 米国ユタ大学および MIT に留学. 昭和 53 年筑波大学教授, 電子・情報工学系. コンピュータ組織法, LAN, 画像処理に興味を持つ. 著書に「オペレーティングシステム論」(電子通信学会) などがある. 工学博士. 電子通信学会, IEEE, ACM 各会員.