

LAN 通信システムのポイント・トゥ・ポイント 平均応答時間の近似解析†

海老原 義彦†† 中村 奉夫††

LAN における端末集線装置と TSS ホスト間の通信, すなわちポイント・トゥ・ポイント通信に限定した通信システムについて, プロトコル制御メッセージ処理を考慮に入れたモデル化と通信システムの平均応答時間の近似解析を行った. 入力ユーザメッセージが発生して, 出力ユーザメッセージを受信するまでの通信システムを通過する平均時間を平均応答時間と定義する. さらに, 平均応答時間に関して, 実システムの測定値と理論値を比較・検討した. その結果, 本論文の提案する解析手法が, 通信システムの遅延時間評価などの近似解として, 有効であることを明らかにした.

1. ま え が き

近年, 高速 LAN の研究・開発には, 目ざましい進展がある. LAN の通信プロトコル処理を司る通信システムの性能評価に関しては, 従来から多くの研究がなされてきた¹⁾. その多くは伝送媒体アクセス方式の解析などにみられるように, 通信システムの下位プロトコル階層構成要素に関する評価が主であった^{2)~6)}. しかし, 最近の LAN は広帯域で, 高速の伝送を可能にしており, その性能評価には, 伝送媒体アクセス待ち時間よりも, むしろ, 通信システムのもつ上位層のプロトコル処理も含めた処理時間が問題となりつつある^{7)~10)}. 特に, 音声や画像などのマルチメディア通信を扱う環境では, 上位層のプロトコル処理時間を含めたエンド・トゥ・エンド遅延時間の性能評価が重要となる^{11)~13)}.

このような背景のもとに本論文では, 高速 LAN の通信システムにおけるエンド・トゥ・エンド遅延時間の一評価手法について述べる. 最初に, エンド・トゥ・エンド遅延時間を評価するために, 通信システムのモデル化を行う. モデル化にあたっては, 制御メッセージの処理時間を考慮に入れている. 制御メッセージとは, プロトコルにしたがって, 情報伝送を制御するメッセージを指す. 実際の情報伝送は送信側と受信側の各プロトコル階層ごとにデータが正しく届いたかどうか確認しながら行われる. このため制御メッセージ処理のオーバーヘッドにより, 実際の通信システム

の情報伝送量は実質的に低下する. それゆえ, ここでは, 制御メッセージ処理のオーバーヘッドが無視できないようなポイント・トゥ・ポイント通信システムを対象にしたモデルについて, ネットワークモデルの待ち行列理論^{14), 15)}を適用したエンド・トゥ・エンド通信の性能評価の一方法を述べる. ただし, 解析を簡単にするため, 本モデルの対象は 2 台の計算機間通信に限定する. 最後に, 解析の結果と実システムの測定値を比較・検討し, 本評価方式は近似的手法ではあるが, 通信システムのエンド・トゥ・エンド性能評価に有効であることを示す.

以下, 第 2 章で通信システムのモデル化, 通信システムの平均応答時間の定義とモデルの仮定, 第 3 章で評価に必要なパラメータ, 第 4 章で通信システムの平均応答時間の解析結果を述べる. 第 5 章で平均応答時間に関する実通信システムの測定値とトラフィックジェネレータによる測定値を示し, 算出結果との比較・検討を行う. 最後に, 得られた平均応答時間について考察する.

2. 通信システムのモデル化

2.1 通信システム構成

対象の LAN は多数の小型計算機や端末装置が直接接続されているのではなく, 伝送サブシステムを介して複数の大型計算機 (ホスト) がチャンネル結合されているものとする. 一般に, 複数のホストは有機的に結合されているが, 本論文では端末集線装置 (TIP: Terminal Interface Processor) の機能をもつホストと TSS サービスを行う TSS ホスト間のポイント・トゥ・ポイント通信を対象にする. その他のホストは非活性化しておく. TIP に接続された端末群から, トラザクシヨンの入力ユーザメッセージが発生すると,

† Mean Value Analysis of Response Time for a LAN Communication System Limited to Point-to-point Communication by YOSHIHIKO EBIHARA and TOMOO NAKAMURA (Institute of Information Sciences and Electronics, University of Tsukuba).

†† 筑波大学電子・情報工学系

入力ユーザメッセージは TIP と伝送サブシステムを経由して、TSS ホストに伝送される。TSS ホストで入力ユーザメッセージの内容処理（コマンド実行処理など）を受けた後、対応する出力ユーザメッセージは伝送サブシステムと TIP を経由して端末に送られる。トランザクションの通信処理を司る TIP と TSS ホストの一部（通信モジュール）および伝送サブシステムから構成されるシステムを通信システムと呼ぶ（図 1 参照）。伝送サブシステムとして、種々の構成形態が考えられる。本論文で扱う構成形態はリングに限らないが、高速な伝送サブシステムの一例として、図 1 に光リングサブシステムをとりあげている。

2.2 通信システムのモジュール構成

通信システムは通信処理を司るハードウェア、ファームウェアやソフトウェアからなるいくつかのモジュールで構成されているものとする。各モジュールは OSI 参照モデルの物理階層から応用階層までのプロトコルのそれぞれ、またはいくつかの階層のプロトコルを合わせた機能* を実装しており、メッセージの待ち行列がモジュールごとにできるものとする。ここでは、通信システムは L 階層のモジュール構成からなるものとする（図 2 参照）。

2.3 通信システムの応答時間

メッセージには入出力ユーザメッセージとプロトコルにしたがって生成される制御メッセージがある。1 回のトランザクションは 1 個の入力ユーザメッセージと 1 個の出力ユーザメッセージの組からなる。入力ユーザメッセージが発生して、対応する出力ユーザメッセージを受信するまでの通信システムを通過する平均時間を平均応答時間と定義する。したがって、平均

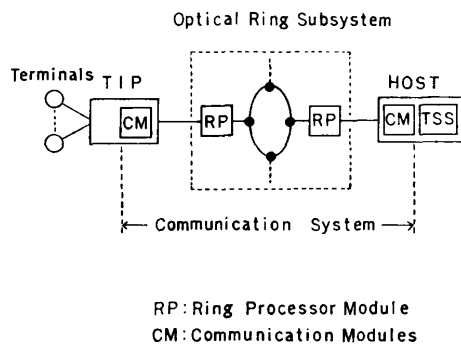


図 1 通信システムの一例
Fig. 1 A communication system.

* OSI 参照モデルなどの階層設定は論理的なモデルであり、実システムでは複数の機能を一つのモジュールで実現する場合もある。

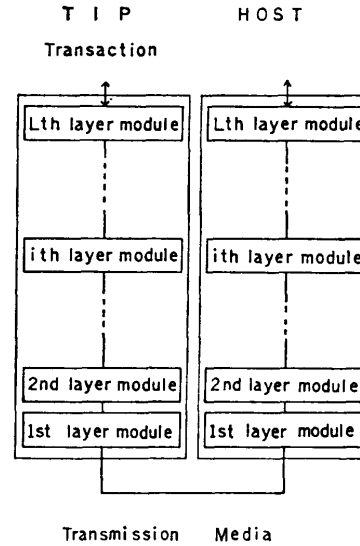


図 2 通信システムの階層型モジュール構成
Fig. 2 Layered structure of modules in a communication system.

応答時間にはユーザメッセージの転送に伴って各階層で生成される制御メッセージの処理時間も含まれている。ただし、TSS ホストでの入力ユーザメッセージの内容処理（コマンド実行処理など）時間は含まない。

2.4 モデルの仮定

平均応答時間の算出にあたり、本モデルに対して、いくつかの仮定を設定する。

(1) 端末から通信システムへのトランザクションは到着率 λ のポアソン到着とする。

(2) 各待ちモデルでのサービス時間は指数分布とする。

(3) 第 l 階層への入力には第 $(l-1)$ と第 $(l+1)$ 階層からの入力が存在し、これらのサービス時間の平均値は等しいものとする。

(4) 第 l 階層待ちモデルでは、端末から 1 回のトランザクションに対して n_l 個の送受信（送信または受信）制御メッセージが生成または受信される。また、各階層で生成される送受信制御メッセージの到着分布は、他の階層の出力過程に依存するが、ここでは、ポアソン分布にしたがうと仮定する。

(5) メッセージの独立性¹⁵⁾を仮定する。

3. 平均応答時間評価に必要なパラメータ

3.1 制御メッセージ数

一般に、制御メッセージはセッションやデータリンクの設定・切断、同期、フロー制御、誤り回復手順や

資源（端末やファイルなど）の仮想化手順の制御などに使用される。しかし、すべての制御メッセージを数え上げるのは困難である。ここでは、下記の理由から、制御メッセージ数はユーザメッセージの転送に伴って発生する正常処理の制御メッセージ数（メッセージ到着確認制御、フロー制御や読み書き指示制御など）で近似する。

(1) 具体的に TSS サービス環境を考えると、セッションやリンクの設定や端末の仮想化はログオン時に、セッションやリンクの切断はログオフ時になされる。一般に、長いセッション接続時間に対してログオン/ログオフ手順が一度なされる割合である。それゆえ、大部分はユーザメッセージの転送に伴って発生する正常処理の制御メッセージで占められると考えられる。

(2) システム信頼性の高い通信システムを想定しているの、誤りによる回復処理は少ないと考えられる。

トランザクションに伴う正常処理の制御メッセージ数は容易にプロトコル仕様書から算出できる。この場合、1回のトランザクション当りの送受信制御メッセージ数の内訳を表1のように定める。例えば、第*l*階層モジュール ($1 \leq l \leq L$) は n_l 個 ($n_l \geq 0$) の制御メッセージを送受信する。各制御メッセージは同位階層間で送受信されるので、TIP 側も TSS ホスト側も第*l*階層モジュールの取り扱う送受信制御メッセージ数は同じとなる。

システム入出力要求とともに入出力ユーザメッセージは、最初、第*L*階層にキュー登録されるので、便宜上、第*L*階層モジュールの制御メッセージとして数える。

表 1 制御メッセージ数とモジュール平均処理時間
Table 1 Number of control messages and module processing time of protocol layers.

Layers	No. of cm	ptt	pth
<i>L</i>	n_L	t_L	t_L'
⋮	⋮	⋮	⋮
<i>l</i>	n_l	t_l	t_l'
⋮	⋮	⋮	⋮
2	n_2	t_2	t_2'
1	n_1	t_1	t_1'

cm: Control messages used for a transaction processing.

ptt: Module processing time at TIP.

pth: Module processing time at HOST.

3.2 モジュールの平均処理時間

各階層のモジュール平均処理時間の算出方法を示す。まず、各モジュールごとに、ユーザメッセージの転送に伴って生成される正常処理の制御メッセージ数を数え上げる(表1参照)。次に、個々の制御メッセージを送受信処理するのに要するダイナミックステップ数を求め、平均をとる。この平均ダイナミックステップ数と平均 CPU 命令実行時間より、各モジュールの平均処理時間を換算する。表1に示すように TIP と TSS ホストでの第*l*階層モジュールのメッセージ当りの平均処理時間を、それぞれ、 t_l と t_l' とする(付録1参照)。

4. 通信システムの応答時間

4.1 到着率の算出

各待ちモデルでの全体の制御メッセージの到着率は、仮定より各待ちモデルを通過する送受信制御メッセージ数と入出力ユーザメッセージ数の和にトランザクション到着率 λ を乗じたものとなる。ここでは、各階層待ちモデルでの到着率を求める。

最上位の第*L*階層の待ちモデル到着率は n_L 個の制御メッセージを送受信するので、次式となる。

$$\lambda_L = n_L \lambda$$

次の第(*L*-1)階層の待ちモデルでは n_{L-1} 個の制御メッセージの送受信と上位階層 *L* からの n_L 個の制御メッセージが到着するので、合計 ($n_L + n_{L-1}$) 個の到着となる。したがって、第(*L*-1)階層の待ちモデルの到着率は、次式となる。

$$\lambda_{L-1} = (n_L + n_{L-1}) \lambda$$

一般に、第*l*階層の待ちモデルの到着率は、

$$\lambda_l = \sum_{j=l}^L n_j \lambda \tag{1}$$

と表される(図3参照)。

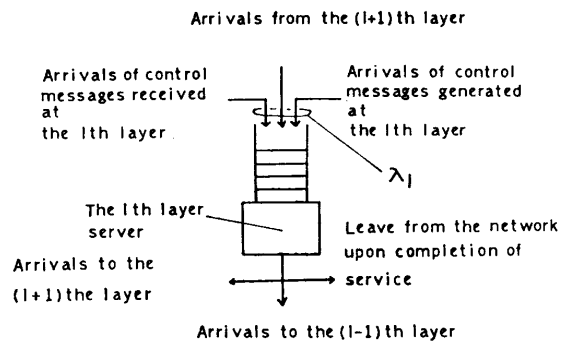


図 3 第*l*階層の待ちモデル
Fig. 3 Queueing model at the *l*th layer.

4.2 応答時間の算出

応答時間は各待ち行列の直列接続型の各通過時間の総和の2倍とする。すなわち、1回のトランザクションは入力と出力ユーザメッセージからなるので、通信システムを通過する時間の2倍としている。TIP側の第*l*階層待ちモデルの平均通過時間を W_l として、TSS ホスト側の第 *l* 階層待ちモデルの平均通過時間を W_l' とする。

このとき、平均応答時間 T は次式で与えられる。

$$T = 2 \times \sum_{l=1}^L \sum_{j=l}^L (n_j W_l + n_j W_l')$$

次に、TIP の第 *l* 階層の平均通過時間 W_l を求める。第 *l* 階層の待ちモデルの到着率は λ_l であるので、M/M/1 モデルを適用すると、 W_l は次式で与えられる。

$$W_l = t_l / (1 - \lambda_l t_l)$$

同様に、TSS 側の W_l' は、

$$W_l' = t_l' / (1 - \lambda_l t_l')$$

である。 t_l と t_l' は互いに独立なので、求める平均応答時間は次式で表される。

$$T = 2 \times \sum_{l=1}^L \sum_{j=l}^L n_j \{ t_l / (1 - \lambda_l t_l) + t_l' / (1 - \lambda_l t_l') \} \tag{2}$$

5. 実通信システムの応答時間評価

通信システムの平均応答時間に関して、実通信システム^{16),17)}から得られた測定データと本モデルの算出結果を比較・検討する。測定環境は高速光リングサブシステム (64 Mbps) に2台の計算機が繋がれたポイント・トゥ・ポイント通信で行われた。一つの計算機は TIP として、他は TSS サービスを提供する TSS ホストとして働く。データ測定機構の詳細は、参考文献 18) に記述してあるので、ここでは、割愛する。

5.1 モジュール構成と制御メッセージ数

実通信システムのモジュール構成とトランザクションに伴って生成される制御メッセージ数について述べる。この通信システムは4階層 ($L=4$) のモジュールから構成されている。それぞれ、下位層から DLP (Data Link Protocol), NCP (Network Control Protocol), FAP (File Access Protocol) と ALP (Application Protocol) の機能を実行するモジュールである¹⁶⁾。表2に示したのが、1回のトランザクション当たり各層のモジュールで送受信する制御メッセージ数である。制御メッセージ数が整数でないのは、1

表2 実システムにおける制御メッセージ数とモジュール平均処理時間

Table 2 Number of control messages and mean module processing time of an actual communication system.

No. of layer	No. of cm	t_l	t_l'
$l=4$	$n_4=2.0$	4.6 mS	3.45 mS
$l=3$	$n_3=3.0$	3.0	2.25
$l=2$	$n_2=0.5$	2.6	1.95
$l=1$	$n_1=27.5$	0.42	0.42

回のトランザクション当たりで正規化したためである。例えば、NCP モジュールでは、2回のトランザクション発生ごとに一つのフロー制御メッセージが生成されるので、 $n_2=0.5$ となる。

5.2 モジュールの処理時間

モジュールの平均ダイナミックステップ数と1ステップ当りの平均 CPU 命令実行時間から、各モジュールの平均処理時間を算出する。表2に、各モジュールの平均処理時間を示す。ただし、TIP と TSS ホストの DLP と NCP モジュールの平均処理時間には、送信制御メッセージの伝送時間を加算している。実通信システムでは、NCP モジュールはチャンネル I/O インタフェース (伝送速度 2 Mbps) を介して、DLP モジュールへ制御メッセージの送信を行う。伝送時間は実測した平均制御メッセージ長をチャンネル伝送速度で割り算して算出している。伝送時間は制御メッセージを送信する側のモジュールの処理時間に加算している。逆に、DLP から上位の NCP モジュールへの送信も同様である。このときの実測平均制御メッセージ長は $d_1=40.3$ バイトと $d_2=11.5$ バイトである (図4参照)。

さらに、DLP モジュールは光ファイバを介して、

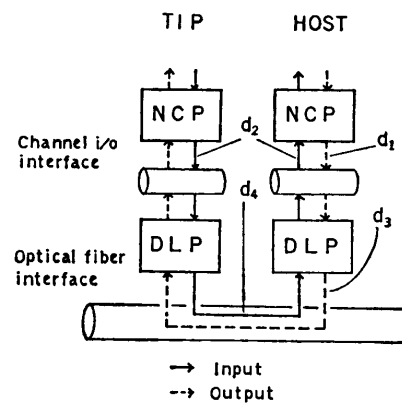


図4 ハードウェア I/O インタフェース
Fig. 4 Hardware I/O interface.

相手計算機に制御メッセージを送信する。制御メッセージの伝送時間は媒体アクセス手順や制御メッセージ長などに依存する。実通信システムの媒体アクセス手順は時分割多重アクセスメソッド (TDMA) である。ここでは、TDMA チャンネル数 (10 チャンネル) は十分あり、チャンネル起動のオーバーヘッドや空きチャンネルの待ち時間は無視できるものとする。したがって、DLP モジュール間の平均伝送時間は、DLP と NCP モジュール間の場合と同様に、実測平均制御メッセージ長 (付録 2 の図 7 と 9 参照) をチャンネル伝送速度で割り算して算出している。チャンネル伝送速度は 20 バイト単位でデータを伝送するスロットのリング一周時間 (62.5 μ S) から求めている。

5.3 トラフィックジェネレータ

通常の稼働状況では、負荷の多い場合の通信システム動作特性を知ることができない。このため、トラフィックジェネレータにより、TSS サービス環境を模擬して、データ測定機構により応答時間を測定した。トラフィックジェネレータは図 5 に示すように複数のプロセス対からなる。各プロセス対の動作は次のとおりである。

(1) 実測平均メッセージ長値をもつ指数分布のユーザメッセージを生成する。すなわち、TIP 側プロセスは平均値 14.5 バイト (図 8) の入力ユーザメッセージ長をもつメッセージを、また、他方の TSS ホスト側プロセスは平均値 49.5 バイト (図 10) の出力ユーザメッセージ長のメッセージを生成する。

(2) ポアソン到着分布のトランザクションを生成して、ユーザメッセージを送信する。

(3) 受信したユーザメッセージは受信処理後、放棄する。

5.4 平均応答時間の比較

実通信システムの各階層モジュールの平均処理時間と制御メッセージ数から、式 (2) より、トランザクションの到着率 λ に対する平均応答時間が求まる。この算出結果と通信システムの実測値とトラフィックジェネレータによる測定値との比較を行う。図 6 に平均応答

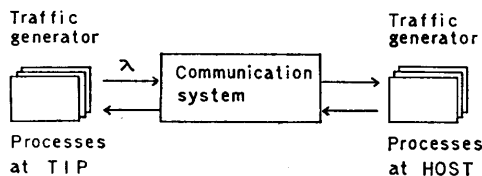


図 5 トラフィックジェネレータのシステム構成
Fig. 5 System structure of traffic generator.

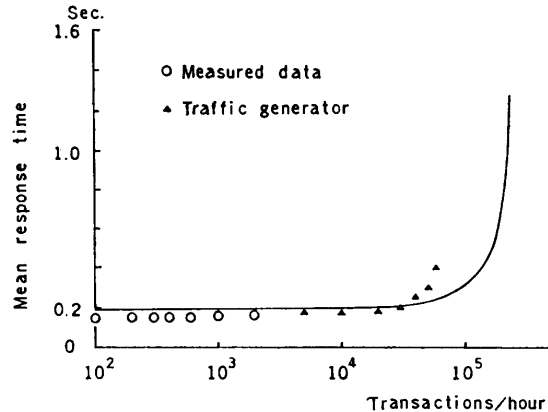


図 6 平均応答時間

Fig. 6 Mean response time v.s. transactions.

時間とトランザクションの到着率の関係を示す。図に示すように、近似手法に関わらず、理論値 (図 6 の実線) は実測データの傾向をよく表している。トラフィックの過負荷状態を模擬するため、トラフィックジェネレータによる測定を行ったが、 7×10^4 トランザクション/時間前後で平均応答時間が著しく悪化している。平均応答時間の精度を上げるためには、本モデルに考慮されていない点を解析する必要がある。その主な問題点として、

- (1) 送受信バッファ容量の有限性。
- (2) メッセージのセグメンテーション/デセグメンテーション。
- (3) 制御メッセージ間の送受信優先度。

などが考えられる。

6. ま と め

上位プロトコル処理時間が無視できない、または、プロトコル処理があい路となるような高速 LAN の通信システムを対象に、階層モジュールによるモデル化を行い、ポイント・トゥ・ポイント通信における平均応答時間を求める一手法を示した。さらに、平均応答時間に関して、通信システムの実測値やトラフィックジェネレータによる測定値をもとに、比較・検討した。その結果、本手法は、近似的であるが、システム設計者が初期段階で通信システムの平均応答時間や基本動作特性を知る手法として有効であると考えられる。

謝辞 本研究についてさまざまなご示唆をいただいた京都大学池田克夫教授に感謝致します。また、データ測定にご協力いただいた三菱電機、FHL および富士通各社の関係者各位に感謝致します。なお、査読者

から懇切丁寧な指摘をいただいた。記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) Stalling, W.: Local Networks, *Comput. Surv.*, Vol. 16, No. 1, pp. 3-41 (1984).
- 2) Tobagi, F. A. and Hunt, V. B.: Performance Analysis of Carrier Sense Multiple with Collision Detection, *Proc. of the LACN Symposium*, pp. 217-245 (1979).
- 3) 橋田: ボーリング制御における待合わせモデルの解析, 昭和43年度信学会全国大会, p. 129 (1968).
- 4) Bux, W.: Local-area Subnetworks: A Performance Comparison, *IEEE Trans. Comm.*, Vol. COM-29, pp. 1465-1473 (1981).
- 5) Fayolle, G., Gelenbe, E. and Pujolle, G.: An Evaluation of the Performance of the "Send and Wait" Protocol, *IEEE Trans. Comm.*, Vol. COM-26, No. 3, pp. 313-319 (1978).
- 6) 中村, 海老原, 池田: 一リング形 LAN のシミュレーションによる解析, 情報処理学会論文誌, Vol. 27, No. 10, pp. 995-1002 (1986).
- 7) 小柳津, 魚住, 森, 星子: 高速光トークンリングを用いたプロセッサ間結合システムの性能評価, 情報処理学会論文誌, Vol. 27, No. 1, pp. 128-132 (1986).
- 8) Mitchell, L. C.: A Methodology for Predicting End-to-end Responsiveness in a Local Area Network, *Proc. of Computer Networking Symposium*, pp. 83-91 (1981).
- 9) Kuo, F. F.: Design Issues for High Speed Local Network Protocols, *New Advances in Distributed Computer Systems*, pp. 97-105, D. Reidel Publishing Company (1982).
- 10) 稲井, 西田, 宮原: 待ち行列網による階層型通信プロトコルのモデル化, 電子情報通信学会システムのモデリングと性能評価研究会資料, pp. 79-84 (1988).
- 11) 鈴木, 高野, 劉, 中村, 海老原, 池田: マルチメディア・コミュニケーションを実現する高機能端末の開発—ボイス・メール・システムの開発, 第36回情報処理学会全国大会論文集, pp. 695-696 (1988).
- 12) 高野, 栗山, ウイ, 中村, 海老原, 池田: マルチメディア・コミュニケーションを実現する高機能端末の開発—イメージ・メール・システムの開発, 第36回情報処理学会全国大会論文集, pp. 693-694 (1988).
- 13) Gruber, J. G.: Delay Related Issues in Integrated Voice and Data Networks, *IEEE Trans. Comm.*, Vol. COM-29, No. 6, pp. 786-800 (1981).
- 14) Kleinrock, L. and Naylor, W.: On Measured Behavior of the ARPA Network, *Proc. of AFIPS National Computer Conf.*, pp. 767-780 (1974).
- 15) Kleinrock, L.: *Queueing Systems*, Vol. 2, John Wiley and Sons, New York (1976).
- 16) Ebihara, Y., Ikeda, K., Nakamura, T., Ishizaka, M., Shinzawa, M. and Nakayama, K.: GAMMA-NET: A Local Computer Network Coupled by High Speed Optical Fiber Ring Bus—System Concept and Structure, *Computer Networks*, Vol. 7, No. 6, pp. 375-388 (1983).
- 17) Ebihara, Y., Ikeda, K., Nakamura, T., Ogawa, M. and Takiguchi, T.: Connection of Computers of Different Architecture to a LAN via a Gateway Process, *J. of Inf. Process.*, Vol. 10, No. 2, pp. 66-73 (1987).
- 18) Nakamura, T., Ebihara, Y., Ikeda, K. and Eguchi, M.: Traffic Measurement Facilities for the GAMMA-NET, *Proc. of International Computer Symposium*, pp. 1784-1790 (1986).

付 録 1

各階層のモジュール平均処理時間の算出。

一トランザクション当りの第 l 階層の送信または受信制御メッセージ数は n_l であり, それぞれのメッセージを m_1, m_2, \dots, m_{n_l} とする. 最初に, m_k を実行するに要する平均ダイナミックステップ数と平均 CPU 命令実行時間の積で, $m_k (k=1 \sim n_l)$ の平均処理時間 t_{lk} を表す. ただし, モジュールによっては, 送信制御メッセージの伝送処理もある. この場合, 送信制御メッセージの伝送処理は, 割り込み処理で行われるので, 本来のプロトコル処理時間と独立であるとみなし, 第 l 階層送信制御メッセージの平均伝送時間を計算し, 処理時間 t_{lk} に加算している.

最後に, 次の式から第 l 階層のモジュール平均処理時間 t_l を算出している.

$$t_l = \sum_{k=1}^{n_l} t_{lk} / n_l$$

付 録 2

ネットワーク下における TSS サービス利用環境での測定結果を示す.

対象システム: TIP (M 200, 主記憶 3 MB), TSS ホスト (メルコム-コスモ 800 III, 主記憶 1 MB).

測定機能: RP (図 1 参照) 内蔵ハードウェア測定によるノードや論理リンクごとの制御メッセージ長や伝送時間などの累積やスナップショット測定・統計処理機能および測定プログラムによる応答時間などの各種測定・統計処理機能.

測定: 大学における研究者やプログラミング実習中

の学生対象. 一つの TIP にはほぼ 30 台の端末稼働中. バックグラウンドのバッチジョブが少ない時期を選んで測定.

測定データ:

I. 入力メッセージ長の分布 (図 7)

実稼働中における TIP の DLP モジュールから TSS ホストに流れる入力メッセージ (入力ユーザメッセージと入力制御メッセージ) 長と相対度数の関係を示す. サンプル数 16,126. 平均値 $\bar{d}_i=10.7$ バイト, 標準偏差 6.0 バイト. DLP 制御メッセージが全

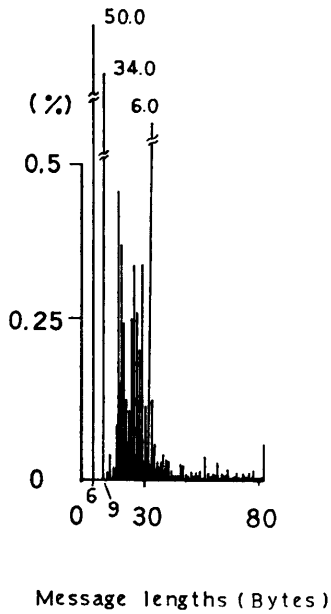


図 7 入力メッセージ長の分布
Fig. 7 Distribution of input message lengths.

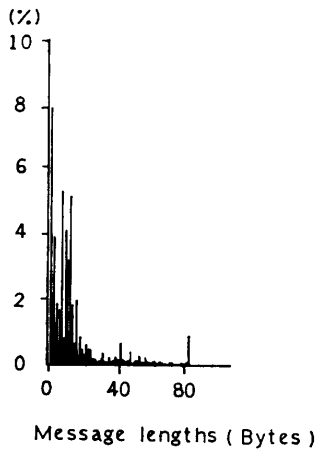


図 8 入力ユーザメッセージ長の分布
Fig. 8 Distribution of input user message lengths.

体の約 84% 程度占めている. セッションやリンクの設定/解放や端末の仮想化などに要する制御メッセージは全体の 0.1% を占めるに過ぎない. このためトランザクション当りの入力メッセージ長分布とみなせる.

II. 入力ユーザメッセージ長の分布 (図 8)

端末群から通信システムに入力されるユーザメッセージ長の分布を示す. 平均値 14.5 バイト, 標準偏差 14.6 バイト.

III. 出力メッセージ長の分布 (図 9)

実稼働中における TSS ホストの DLP モジュールから TIP 方向に出力される出力メッセージ (出力

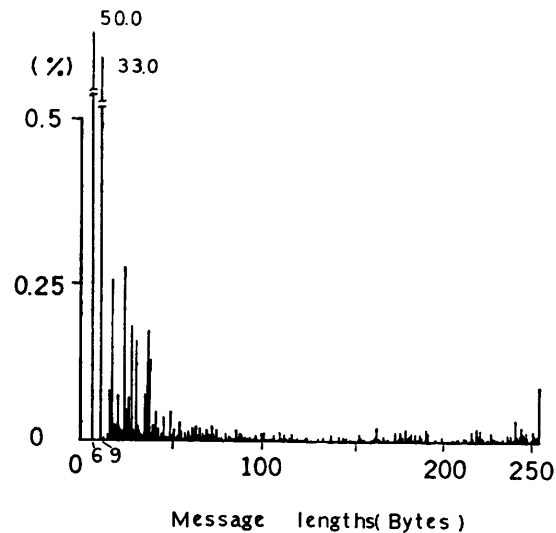


図 9 出力メッセージ長の分布
Fig. 9 Distribution of output message lengths.

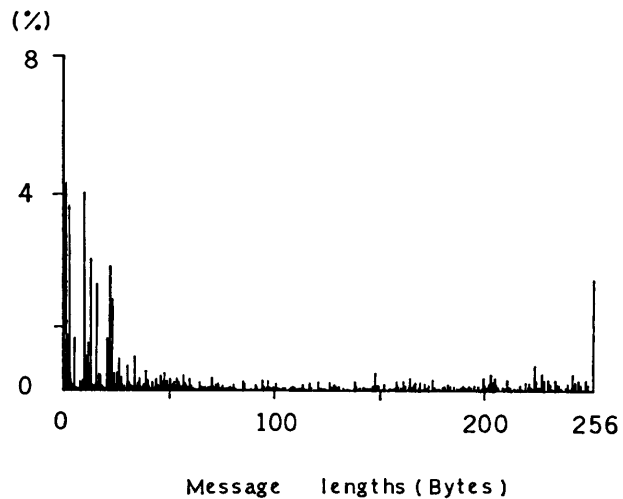


図 10 出力ユーザメッセージ長の分布
Fig. 10 Distribution of output user message lengths.

ユーザメッセージと出力制御メッセージ)長と相対度数の関係を示す。平均値 $d_3=10.8$ バイト, 標準偏差 14.3 バイト。

IV. 出力ユーザメッセージ長の分布 (図 10)

TSS ホストから通信システムに出力されるユーザメッセージ長の分布を示す。平均値 49.5 バイト, 標準偏差 60.6 バイト。一度に転送される最大ユーザメッセージ長は 256 バイトであるため, それ以上のメッセージはセグメンテーション/デセグメンテーションされる。

(平成元年 1 月 17 日受付)

(平成元年 9 月 12 日採録)



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。



中村 幸夫 (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、現在助教授。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。工学博士。電子情報通信学会会員。