

「情報処理学会論文誌」第 30 卷 第 11 号別刷 平成元年 11 月発行

高速 LAN 通信システムの平均応答時間の近似評価

海老原 義彦 中 村 奉 夫 東 充 宏

シヨートノート

高速 LAN 通信システムの平均応答時間の近似評価†

海老原 義彦** 中村 奉夫** 東 充 宏***

高速 LAN 通信システムについて、プロトコル制御メッセージを考慮に入れたモデル化と階層型プロトコル構成の通信システムの平均応答時間の評価を行った。平均応答時間をユーザの入出力メッセージにともなって、往復して通信システムを通過する平均時間と定義し、平均応答時間の解析を行っている。さらに、計算機 3 台からなる実システムの平均応答時間を測定し、解析結果と比較した。その結果、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

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。本論文では、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、通信システムの平均応答時間の近似解析を行った。先の論文¹⁾では、TSS サービス環境で、一方の計算機が端末群を制御する機能を果たし、相手の計算機が TSS サービスを行う一方方向のポイント・トゥ・ポイント通信であった。本論文では、一つの計算機が端末群制御と TSS サービスの両機能を持ち、かつ、マルチポイント通信環境でも、提案した解析モデルが適用できることを示す。具体的には、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として、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明らかにした。

2. 通信システムのモデル化

2.1 通信システムとモジュール構成

対象の LAN は、伝送サブシステムを介して M 個の大型計算機（ホスト）がチャネル結合されているものとする。あるホストの端末からトランザクションの入力ユーザメッセージが発生すると、入力ユーザメッセージは端末集線装置の機能を持つ TIP (Terminal

Interface Processor) と伝送サブシステムを経由して、他のホストに伝送される。相手ホストで TSS サービス処理を受けた後、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。伝送サブシステムとして、種々の構成形態が考えられるが、図例として、光リングサブシステムを示す (図 1)。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し、メッセージの待ち行列がモジュールごとに行けるものとする。

2.2 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各階層で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 個のトランザクションは 1 組の入力ユーザメッセージと出力ユーザメッセージからなる。これらの入出力ユーザメッセージが通信システムを通過する時間を応答時間と定義する。応答時間の具体的算出方法は、次のとおりである。通常、TSS では、入出力ユーザメッセージには、端末から TSS へ、そして TSS から端末へと流れのシーケンスが存在する。しかし、ここでの応答時間は、メッセージの独立性の仮定より、通信システム内の往復通過時間で表す。

応答時間にはユーザメッセージの転送にともなって生成される各階層の制御メッセージの処理時間も含まれている。ただし、TSS による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、応答時間に含めない。

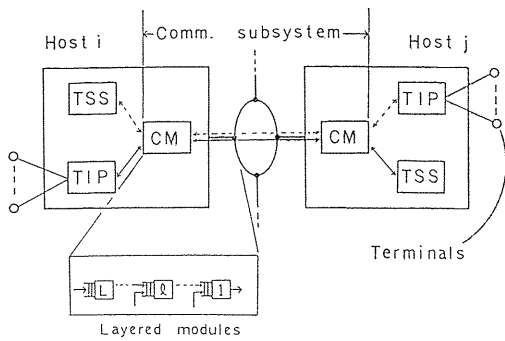
2.3 モデルの仮定

平均応答時間の算出に当たり、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

† Mean Value Analysis of Response Time for a High Speed LAN Communication System by YOSHIHIKO EBHARA, TOMOO NAKAMURA (Institute of Information Sciences and Electronics, University of Tsukuba) and MITSUHIRO AZUMA Fujitsu Laboratories, Ltd.).

** 筑波大学電子・情報工学系
(株)富士通研究所



CM: Communication modules

図 1 通信システムのモデル
Fig. 1 Communication system model.

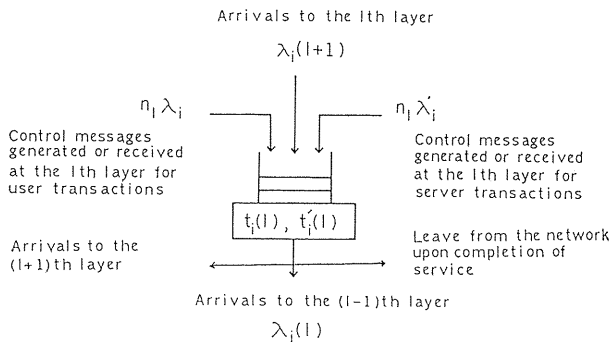


図 2 ホスト i の第 l 階層の待ちモデル
Fig. 2 Queuing model at the l th layer of host i .

はポアソン到着とする。

- (2) 各待ちモデルでのサービスは指数分布とする。
- (3) 第 l 階層への入力には第 $(l-1)$ と $(l+1)$ 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される (図 2)。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、ポアソン到着と仮定する。
- (5) メッセージの独立性を仮定する。

3. 平均応答時間評価に必要なパラメータ

通常、ホスト i の端末はホスト i の TSS を利用する場合と他のホストの TSS を利用する場合がある。

前者の場合は、通信システムを介さず TIP より直接ホスト i の TSS をアクセスし、後者の場合は、通信システムを介して他の TSS をアクセスする。一般に、前者の利用形態が多いが、本論文では通信システムの解析を目的としているので、すべての端末は自分のホスト以外の他のホストの TSS サービスを受けるものとする。ホスト i に流入するトランザクションには、ホスト i の端末からと他のホスト端末からのものがある。前者をユーザトランザクションとし、ホスト i の TSS サービスを要求する後者をサーバトランザクションと呼ぶ。平均応答時間評価に必要なパラメータを下記のように定義する。

λ_{ij} : ホスト i から j へのトランザクション到着率。

λ_i : ホスト i へのユーザトランザクション到着率。

λ'_i : ホスト i へのサーバトランザクション到着率。

ただし、

$$\lambda_i = \sum_{k=1}^M \lambda_{ik}, \quad \lambda'_i = \sum_{k=1}^M \lambda_{ki}, \quad \lambda_{ii} = 0.$$

$\lambda_i(l)$: ホスト i の第 l 階層待ちモデルへの到着率。

$t_i(l)$: ホスト i の第 l 階層モジュールのユーザトランザクション平均処理時間。

$t'_i(l)$: ホスト i の第 l 階層モジュールのサーバトランザクション平均処理時間。

一般に、すべての制御メッセージを数え上げるのは困難である。著者らは、既に制御メッセージ数はユーザメッセージの転送にとまって発生する正常処理の制御メッセージ数で近似できることを示した¹⁾。ここでも、同様のアプローチをとる。

4. 通信システムの応答時間

4.1 到着率 $\lambda_i(l)$ の算出

各待ちモデルの到着率は、仮定より $(\lambda_i + \lambda'_i)$ に、各待ちモデルを通過する送受信制御メッセージ数と入力ユーザメッセージ数の和を乗じたものとなる。ここでは、ホスト i の各階層待ちモデルでの到着率 $\lambda_i(l)$ を求める。

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。各制御メッセージは同位階層間で送受信されるの

で、TIP と TSS の両ホスト間の第 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。

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。

$$\lambda_i(L) = n_L(\lambda_i + \lambda_i')$$

一般に、第 l 階層の待ちモデルの到着率は、

$$\begin{aligned} \lambda_i(l) &= \sum_{k=l}^L n_k(\lambda_i + \lambda_i') \\ &= \lambda_i(l+1) + n_l(\lambda_i + \lambda_i') \end{aligned}$$

と表される。

4.2 応答時間の算出

応答時間は直列接続型の各待ち行列の、サービス時間も含めた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。ホスト i の第 l 階層待ちモデルの平均通過時間を $W_i(l)$ とする。このとき、ホスト j の TSS サービスを受けるホスト i のユーザトランザクションの平均応答時間 T_{ij} は次式で与えられる。

$$T_{ij} = 2 \times \sum_{k=1}^L \sum_{l=1}^L \{n_k W_i(l) + n_k W_j(l)\}$$

次に、ホスト i の第 l 階層の平均通過時間 $W_i(l)$ を求める。ホスト i の第 l 階層のモジュール平均処理時間 $E_i(l)$ はユーザとサーバトランザクション到着率で平均化した次式で表される。

$$\begin{aligned} E_i(l) &= \left\{ \sum_{k=l}^L n_k \lambda_i t_i(l) + \sum_{k=l}^L n_k \lambda_i' \right. \\ &\quad \left. \times t_i'(l) \right\} / \sum_{k=l}^L n_k (\lambda_i + \lambda_i') \end{aligned}$$

仮定より、第 l 階層の待ちモデルに M/M/1 モデルを適用すると、 $W_i(l)$ は次式で与えられる。

$$W_i(l) = E_i(l) / \{1 - \lambda_i(l) E_i(l)\}$$

求める平均応答時間は次式で表される。

$$\begin{aligned} T_{ij} &= 2 \times \sum_{l=1}^L \sum_{k=l}^L n_k [E_i(l) / \{1 - \lambda_i(l) \\ &\quad \times E_i(l)\} + E_j(l) / \{1 \\ &\quad - \lambda_j(l) E_j(l)\}] \end{aligned} \quad (1)$$

したがって、ネットワーク全体の平均応答時間 T は次式となる。

$$T = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M \lambda_{ij} T_{ij} / \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M \lambda_{ij} \quad (2)$$

5. 実通信システムへの応用

TSS サービス利用環境で、実通信シス

テム²⁾のデータ測定機構³⁾による平均応答時間測定を行った。その結果と理論値を比較する。

5.1 制御メッセージ数とモジュール処理時間

表1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 ($L=4$ 階層)。また、モジュールの送受信制御メッセージごとの平均ダイナミックステップ数と1ステップ当たりの実行処理時間から算出¹⁾した各モジュールの平均処理時間を示す。モジュールがチャンネル I/O を含む場合は、平均処理時間に送信制御メッセージの伝送時間を加算している。ただし、チャンネルの競合は少ないので無視してある。さらに、通常の稼動状況では、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、実測平均値を持つ指数分布メッセージを生成するトラフィックジェネレータ¹⁾を実装し、応答時間の測定を行った。

5.2 平均応答時間の比較

一例として、 $M=3$ (ホスト1=M382, ホスト2=COSMO 800 III, ホスト3=M360 AP), $\lambda_{21}=\lambda_{13}=\lambda_{32}=0$, $\lambda_{23}=\lambda_{31}$ 一定のとき、 λ_{12} を変化させた場合のホスト1のユーザトランザクションの実測平均応答時間

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 mean processing time of protocol layers.

Layers $L=4$	n_l	$t_1(l)$ mS	$t_2(l)$ mS	$t_3(l)$ mS	$t_1'(l)$ mS	$t_2'(l)$ mS	$t_3'(l)$ mS
4	2.0	4.6	3.40	4.5	4.7	3.45	4.6
3	3.0	3.0	2.02	3.0	3.1	2.25	2.5
2	0.5	2.6	1.90	2.5	2.5	1.95	2.5
1	27.5	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42

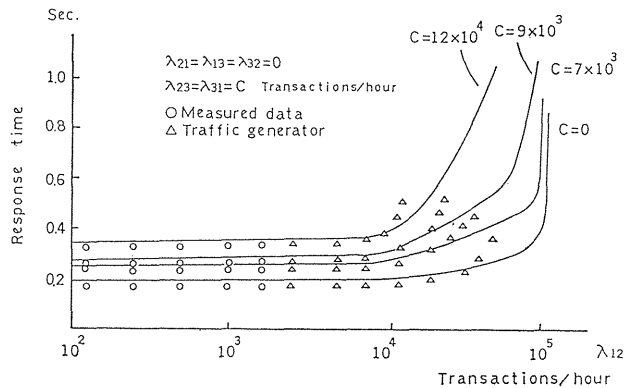


図3 ホスト1のユーザトランザクションの平均応答時間
Fig. 3 Mean response time of user transactions at host 1 under a specific traffic environment.

T_{12} を示す (図 3 参照). 図の実線は式 (1) より求めた計算値である. 特に, トラヒック負荷の軽い範囲では, よい近似を与えている. トラヒックジェネレータによる過負荷の範囲では, 実測値に比べて, 応答時間が短い傾向がでている. この相違については, 実システムの有限な送受信バッファ容量や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などの考察してない要素が影響してきていると考えられるが, より詳細な解析が必要と思われる.

6. あとがき

各ホスト対とシステム全体の平均応答時間が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, 近似的に得られた. 実測データとの比較により, 本解析手法は近似手法として, 有効であることが示された.

謝辞 本研究につきましてさまざまな御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.

参 考 文 献

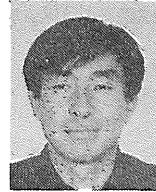
- 1) 海老原ほか: LAN 通信システムのポイント・トゥ・ポイント平均応答時間の近似解析, 情報処理学会論文誌, Vol. 30, No. 11, pp. 1504-1511 (1989).
- 2) Ebihara, Y. et al.: CAMMA-NET: A Local Computer Network Coupled by High Speed Optical Fiber Ring Bus—System Concept and Structure, *Computer Networks*, Vol. 7, No. 6, pp. 375-388 (1983).
- 3) Nakamura, T. et al.: Traffic Measurement Facilities for the GAMMA-NET, *Proc. of International Computer Symposium*, pp. 1784-1790 (1986).

(平成元年 3 月 22 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 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, 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.



東 充宏 (正会員)

昭和 31 年生. 昭和 54 年関西大学工学部電気工学科卒業. 昭和 56 年筑波大学大学院理工学研究科修士課程電子・情報工学分野修了. 現在, (株)富士通研究所勤務. LAN の研究開発を経て情報通信セキュリティの研究に従事. ネットワークシステムの性能評価, ネットワークセキュリティに興味を持つ. 電子情報通信学会, IEEE 各会員.