

教育用LANの通信量解析

石原進[†], 岡田稔^{**}, 岩田晃^{**}, 櫻井桂一^{***}

[†]名古屋大学工学部

^{**}名古屋大学情報処理教育センター, ^{***}愛知県立大学

1. はじめに

近年のワークステーション(WS)の低価格化やLAN(Local Area Network)の普及により, 情報処理教育センターなどのような大学等の集合情報処理教育施設においても数百台のWSによる分散環境を導入する施設が増えている[1][2][3][4]. これらの施設の多くではネットワークファイルシステム(NFS)を用いて1万人以上のユーザのホームディレクトリや共同利用データを一台ないし数台のファイルサーバで一元的に管理し, ユーザはサーバに接続されたクライアントWSを使用するというクライアント・サーバシステムを採用している. この方法はユーザがシステムに接続されたどのWSを使用しても常に同じ利用環境が与えられるという利点をもつ. その一方で授業利用時などにはユーザの個人データのアクセスのためにファイルサーバにアクセスが集中し, ネットワーク負荷の増大を引き起こすという問題点がある. これはユーザのファイルアクセスに対する応答時間の増大を招き, 作業効率の低下を引き起こす.

しかし従来のNFSはこの問題に対し十分な対策が施されていない. そこで筆者らはネットワークアクセスの時間的集中度が高い集合情報処理教育施設専用のNFSの構築を検討している. 本研究ではこの準備段階として, 集合情報処理教育施設におけるLAN(以下, 教育用LAN)での実際の利用時におけるネットワーク性能についての評価を行った.

ネットワークの性能評価の手法としては, (i)解析的手法, (ii)シミュレーション技法, (iii)実シス

テムの計測, の3通りが考えられる. (i)の解析的手法を用いたクライアント・サーバ方式のネットワークシステムの性能評価の例として[5][6]があるが, いずれも一定のネットワーク負荷における定常的なネットワーク性能値を求めたものであり, 教育用LANにおけるネットワークアクセス集中時のようにネットワーク負荷が一時的に急激に変化するようなシステムでの性能評価に対しては不十分なものである. (iii)の実システムの計測については, 教育用LANのように百台を越える規模のWSシステムでは, 実システムによる測定は極めて困難である. また仮に実システムによる測定が可能であったとしても将来的な予測を含めた評価を行うには不十分である. そこで筆者らはネットワークが使用する通信プロトコルの動作を忠実に再現するイベント駆動のネットワークシミュレーションモデルを設計した[7][8]. 本モデルを用いることにより, 教育用LANにおけるアクセス集中時のように過渡的な負荷の変動時がある場合にも正確なシミュレーションを効率的に行うことが可能である. 本論文では教育用LANを対象とし, 本シミュレーションモデルによる解析と実システムでの計測との比較を行い, モデルの検証を行うとともに, 教育用LANに求められる基本性能を求めた.

以下, 2章では, ネットワークシミュレーションモデルの概要について示す. 次に3章では, 集合情報処理教育環境におけるネットワークシミュレーションの条件を示す. 4章では, シミュレーション結果および実システムでの測定結果を示し, 両者の結果を比較する.

2. シミュレーションモデル

モデル化の詳細については文献[7][8]に詳しく述べているので, ここではモデルの概要について簡単に述べる. シミュレーションモデルは, 通信

Traffic analysis on the LAN for education.

Susumu ISHIHARA, Minoru OKADA, Akira IWATA,
Keiichi SAKURAI

[†]Dept. of Electric Eng., Nagoya University, ^{**}Education
Center for Information Processing, Nagoya
University, ^{***}Aichi Prefectural University

表1 モデルで仮定した通信プロトコル

	プロトコル	モデル
トランスポート層	TCP	TCP/IP モジュール
ネットワーク層	IP	
データリンク層	Ethernet(IEEE802.3)	Ethernet モジュール
物理層	同軸ケーブル ツイストペアケーブル	

プロトコルに厳密に従って動作するネットワーク上のノードのモデルを、イベント駆動方式で並列に動作させるものである。本モデルでは表1で示すOSI参照モデルの物理層からトランスポート層までのプロトコルをモデル化している。EthernetのモデルとTCP/IPのモデルはそれぞれ別のモジュールとしてモデル化されており、同一階層の別のプロトコルモデルを設計することによって、上記以外のプロトコルの組み合わせにも対応可能なモデル構造になっている。これらトランスポート層以下のプロトコルモデルに、実際に使用するアプリケーションのモデルを付加することにより、実際のアプリケーション利用時のネットワークの性能値を評価することができる。

ネットワーク上の各ノードは、モデル上ではEthernetモジュールとTCP/IPモジュールの組として表される。EthernetモジュールはCSMA/CDのアルゴリズム[9]に忠実に従って動作する状態遷移モデルとしてモデル化してある。各ノードのEthernetモジュールは自分のノードと他のノードの状態を比較することにより、CSMA/CDの動作に必要なケーブル上のキャリアおよび衝突の検出を行い、自分のノードの次の状態および次のイベント発生時刻を決定する。

TCP/IPモジュールは、TCPとIPの動作を担当するモジュールであり、TCPで行われる確認応答付き再送信[10]の動作を忠実に再現する。この動作は、送信側TCPがパケットを送信したら受信側TCPからの確認応答パケットを受信することにより送信が成功したことを確認し、パケット送信時に設定した時間以内に確認応答パケットを受信できなければパケットを再送信するものである。ネットワーク負荷が高い場合にはEthernet上でのパケットの消失やパケット送信遅延の増大が生じるため、TCPにおけるパケットの再送信が頻発することになる。TCP/IPのその他の機能は同一セグ

メント内での通信の場合、通信時間に与える影響は少ないのでモデルでは省略した。

3. シミュレーションの条件

3.1 ネットワーク環境

本シミュレーションでは集合情報処理教育環境のネットワークモデルとして、 N 台のクライアントWSと1台のファイルサーバWSがLAN(Ethernet, 10Base5, 2, T)により相互接続された分散システムを仮定する。このような環境で各クライアントWSがほぼ一斉にファイルサーバに対してクライアントWSへのファイル転送要求を送信し、ファイル転送を行う場合を考える。ファイル転送を行うプログラムはTCP/IP上で動作するFTP(File Transfer Protocol)を用いるものとした。

3.2 教育用LANにおけるアクセス集中

集合情報処理教育環境で最もネットワークアクセスが集中するのは、授業利用時に教官の指示のもとに学生が一斉にネットワークアクセスを伴う操作を行う場合である。このとき、学生が教官の指示に反応してWSの操作を行うまでの時間には個人差があるため、学生が使用しているクライアントWSからサーバへのファイル転送要求が送信される時刻にはばらつきが生じる。そこでシミュレーションでは各クライアントWSがファイル転送の要求を送信する時刻 $t_{s_i}(i=1 \sim N)$ ---すなわち学生が教官の指示に反応しWSにコマンドを入力しおえる時刻---が正規分布 $N(\mu, \sigma^2)$ の $t_{s_i} \geq 0$ の部分に従って分布しているものとして、この分布に従った乱数により t_{s_i} を決定した(図1)。

3.3 ユーザの挙動

ユーザがWSの操作を行いコマンドの入力を完

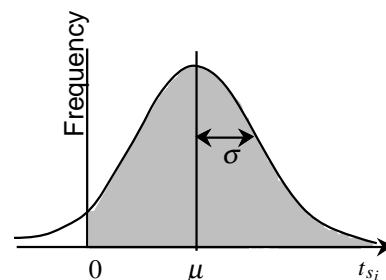


図1 クライアントのファイル転送要求時刻の分布

了するまでの時間は、コマンドの入力方法によって左右されると考えられる。たとえばコマンドの入力がマウスクリックによって行われる場合にはユーザのほとんどが短時間で操作を完了することが予想されるが、キーボードによるコマンド入力の場合には、ユーザの操作の習熟度により操作に要する時間の個人差が大きくなると考えられる。これを検証するために以下のような実験を行った[11]。本学情報処理教育センターを利用中の学生146人を対象に、口頭による合図に対して学生がマウスのダブルクリックによって反応を返す時間を測定した。その結果、学生の反応時間の多くは合図があった時刻から6秒以内に分布しており、この範囲内で統計をとると、学生の反応時間の平

均値は2.2sec、標準偏差は1.6secであった。

このため、シミュレーションでは t_{s_i} の分布を決定する正規分布のパラメータの組として、(A)マウスによるコマンド入力が行われた場合と(B)キーボードによるコマンド入力が行われた場合の2通りを想定した。実験結果にもとづき、(A)の場合には t_{s_i} の分布が $N(2.2, 1.6^2)$ に従うとした。ま

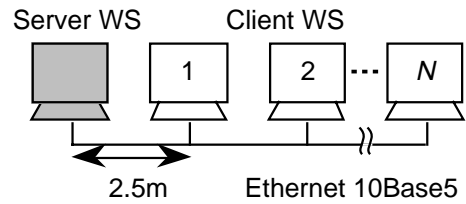


図2 ネットワーク環境

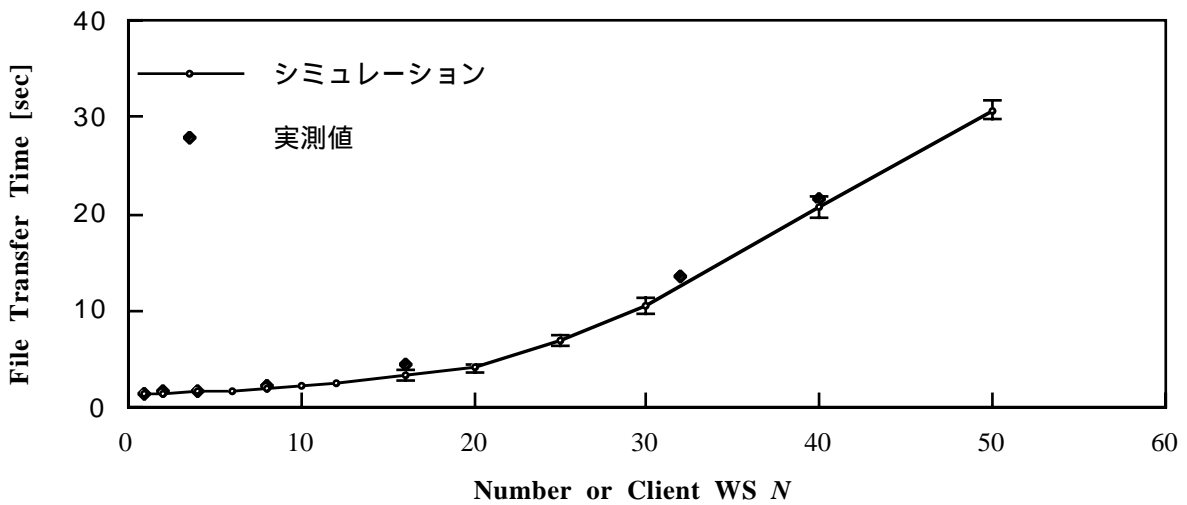
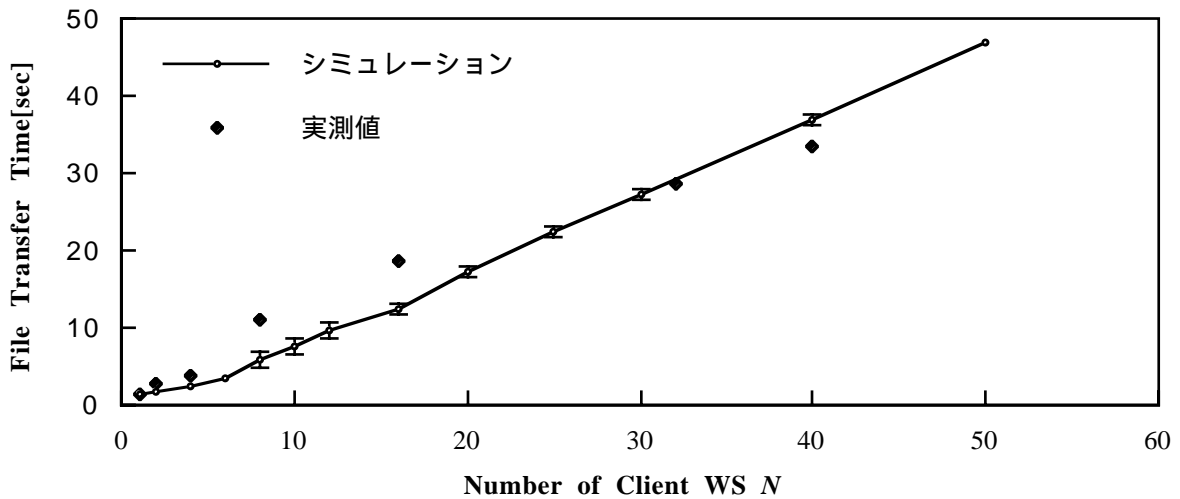


図3 クライアント平均ファイル転送時間
(File Size 1Mbytes)

た (B)の場合については、より広がりのある分布 $N(6.3, 10.6^2)$ を仮定した。

4. シミュレーション結果

Ethernet(10Base5)の一端にサーバWSを接続し、2.5m 間隔でクライアントWSを接続したネットワーク(図2)でシミュレーションを行った結果を示す。

図3(A)(B)は容量1MbytesのファイルをサーバWSからクライアントWSに転送したときの全クライアントの平均ファイル転送時間について、シミュレーション結果と実システムでの計測結果を示したものである。図中の=はシミュレーション結果における90%の信頼区間を示す。シミュレーションではクライアントWSの台数 $N=1\ 30$ の場合に40回の試行、 $N=40\ 50$ 台の場合に20回の試行を行った。また、実システムでの測定値は、実際のユーザ利用ではなく、シミュレーションと同じ手法で乱数により t_{s_i} を決定して行った2回の測定結果の平均である。(A)(B)どちらの場合でも、シミュレーションの結果と実システムでの測定結果は良く一致している。

(A)の場合、 N に対してほぼ線形にファイル転送時間が増加している。一方、(B)の場合には $N < 20$ の範囲ではファイル転送時間は低い値を保つが、 $N > 20$ で急激に増加している。

図4は図3と同じ条件でのシミュレーションにおけるクライアントの実効ファイル転送速度(転送ファイルサイズ/転送時間)の平均にクライアント数 N をかけた値 S を示している。すなわちこの値はクライアントWSを利用しているユーザ全体に対してネットワークの伝送容量がどのように見えるかを示している。点線で示した直線はEthernet(10Base5)の伝送容量10Mbpsを表す。ネットワークアクセスがばらついているため、 N が小さいときには(A)(B)どちらの場合でも N の増加に伴って S は増加する。しかし N が大きくなって図4に示した $N_t^{(A)}$ $N_t^{(B)}$ を超えると、ネットワーク負荷の上昇により実効ファイル転送速度は低下する。特に(A)の場合、 $N \geq 30$ の時にはネットワーク全体で10Mbps以下の実効ファイル転送速度しか得られていない。つまり、本シミュレーションで仮定した

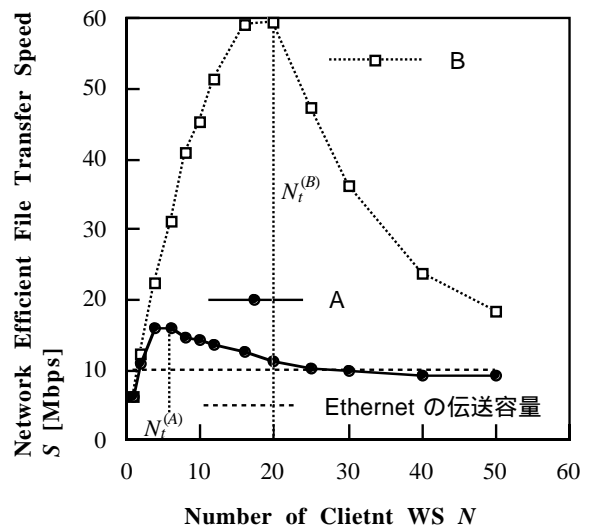


図4 クライアントWS全体の実効ファイル転送速度

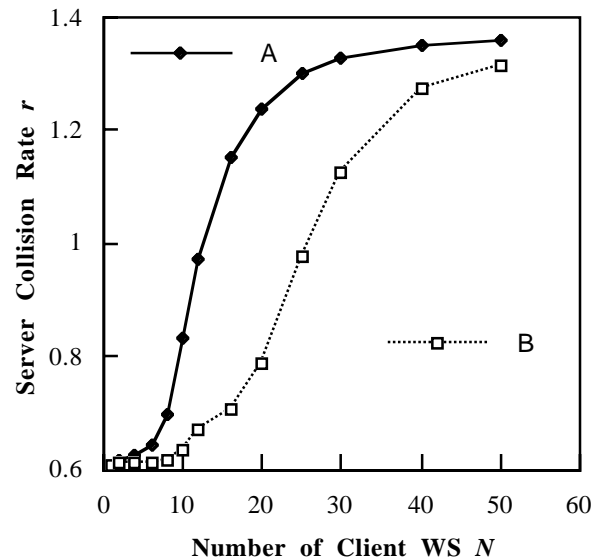


図5 サーバWSのEthernet衝突率

条件の下では $N \leq N_t$ の場合には1台のファイルサーバに接続するクライアントWSの台数を増やすことがすなわちネットワークの容量を有効に活用することになるが、 $N > N_t$ ではクライアントWSの増加は実効ファイル転送速度を低下させることになり、クライアント数を増やすことによるメリットはない。

ここでノードが送信したEthernetパケットのうち送信に成功したパケット数を n_s 、衝突したパケット数を n_c としたとき、 n_c/n_s をパケット衝突率 r として定義する。図5はこのときのサーバWSのEthernetパケット衝突率 r を示している。(A)(B)それぞれ、 $N=8$ 、 $N=20$ 付近から r が急激に上昇してい

る。このときの N は図4の N_1 とほぼ同じ値である。これより、Ethernetにおけるパケット衝突の増加が Ethernetにおける伝送遅延を増加させて、実効ファイル転送速度を低下させる原因となっていると考えられる。

以上の結果から、転送されるファイルサイズの上限が1Mbytesとすると、10MbpsのEthernetで構成された教育用LANでのネットワークアクセス集中時において、十分な応答速度を得られるような物理層1セグメントにおけるサーバ1台あたりのクライアントWSの台数は、(A)マウスによるコマンド入力が行われる場合(GUIを念頭においたシステムに相当)には10台以下、(B)キーボードによるコマンド入力が行われた場合には20台程度が適当であると考えられる。従って、集合情報処理教育環境において多数台のクライアントWSを接続する場合には、10-20台のクライアントWSごとにファイルサーバを設けるか、物理層セグメントを分割する方法が有効であろう。

5. まとめ

通信プロトコル動作を詳細にモデル化したイベント駆動方式のシミュレーションモデルを用いて、集合情報処理教育施設のLANにおけるネットワークアクセス集中時のネットワーク性能評価を行った。その結果、集合情報処理教育環境のLANにおける10Mbps-Ethernetの1セグメントにおいて、1台のファイルサーバに接続可能な適切なクライアントWSの台数が10-20台であることを示した。また、シミュレーション結果と実システムによる測定結果とがよく一致することから、本シミュレーションモデルがネットワークアクセスの集中度が高い場合にも十分適用できることが確かめられた。

今後はシミュレーションモデルにブリッジやルータなどの機能を加え、複雑なネットワークポロジにおけるネットワーク性能評価を行い、集合情報処理教育環境専用のNFS設計に応用していく予定である。

参考文献

[1] 中山仁, 大西叔雅, 末永正, 有田五次郎: "工学系学生のための情報処理集合教育環境の設計と

構築", 情処論, Vol. 35, No. 11, pp. 2225-2238 (1994)

- [2] 岡田稔, 岩田晃, 松本哲也, 池田幹男: "教育用大規模分散型WSの構成方法", 情処研資, 分散システム運用技術研究グループ, DSM-9411020 (1994)
- [3] 荻原剛志, 山口英, 大川直, 松浦俊雄, 福岡秀和: "情報処理教育におけるマルチメディアコミュニケーション", 国立大学情報処理教育センター協議会・情報処理教育に関する研究会, No. 16, pp. 25-34 (1992)
- [4] 松本哲也, 池田幹男, 岩田晃, 岡田稔: "教育用大規模分散型WSシステムの利用状況", 情処研資, 分散システム運用技術研究グループ, DSM-9411021 (1994)
- [5] M. Murata and H. Takagi: "Two-layer modeling for local area networks", IEEE Trans. commun., vol. 36, no. 9, pp. 1022-1034 (1988)
- [6] O. C. Iwe, H. Choi and K. S. Trivedi: "Performance evaluation of Client-Server systems", IEEE Trans. Parallel and Distributed Systems, vol. 4, no. 11 (1993)
- [7] 石原進, 岡田稔, 岩田晃, 櫻井桂一: "教育用LANにおける通信量モデリングの手法", 信学技報, 回路とシステム研究会, CAS94-88, pp.29-36 (1995)
- [8] 石原進, 岡田稔, 岩田晃, 櫻井桂一: "イベント駆動方式によるLAN通信量解析モデル", 信学論 vol. J78-A, No. 8, pp. 961-964 (1995)
- [9] ANSI/IEEE Standard 802.3, Carrier sense multiple access with collision detection access method and physical layer specifications, IEEE Press (1993)
- [10] Information Sciences Institute University of southern California: "Transmission Control Protocol", RFC 793 (1981)
- [11] 川村尚央: "ネットワーク通信量の計測とその検討", 名古屋大学工学部卒業論文 (1995)