

## 電子黒板システムとその特性評価

河合 励<sup>†</sup>, 池田 幹男<sup>††</sup>, 岡田 稔<sup>††</sup>

<sup>†</sup>名古屋大学工学部

<sup>††</sup>名古屋大学 情報処理教育センター

本論文では X Window System 上で動作するアプリケーションのウィンドウを資料として相手方に提示可能な電子黒板システムについて述べる。本システムは X のリクエストを取得し複製する代理サーバとリクエストを各 X サーバに適合させる再構成モジュールからなっており、アプリケーションや X サーバに対して変更を施す必要がない。これらのプログラムはネットワークを通じて通信しているため、プログラムをネットワーク上のどの WS で実行するかによってシステムの性能が変化する。そこでこの電子黒板システムを利用するのに適したネットワーク構成を調べるために複数のサブネットに分割し、性能評価を行った。その結果、本システムは Ethernet 10Mbps, TCP/IP のもとでサブネット (1 物理層ネットワーク) あたり 40 台程度であれば充分実用となることがわかった。

## Performance Evaluation of a Network Blackboard System based on X Window

Tsutomu Kawai<sup>†</sup>, Mikio Ikeda<sup>††</sup> and Minoru Okada<sup>††</sup>

<sup>†</sup>School of Engineering, Nagoya University

<sup>††</sup>Education Center for Information Processing, Nagoya University

This paper presents "Network Blackboard System" which duplicates windows to multiple X servers. This system requires no modification to both X server and client. This system consists of proxy X server and reconstructor module. Proxy X server obtains X requests and duplicates it. Reconstructor module adapts requests to each X server. Therefore these programs in this system communicate on the network. The system performance depends on the position of programs on the network. We evaluated the network performance of this system in case of the network is divided into some subnets. This system can serve up to forty X servers per subnet with Ethernet 10Mbps and TCP/IP.

### 1. はじめに

電子会議や遠隔地間で講義を行う際には資料などを提示するためのハードウェアと伝送手段が必要となる。しかし、このための専用設備を整えるには費用や時間がかかる。最近ではワークステーション (WS) の普及と Internet の発達によ

り全世界的な情報網が整備されつつある。そこで専用のハードウェアにかわって WS とネットワークを利用することによって電子会議などを行うことができるようになった。

WS とネットワークを利用して電子会議を行うためには専用のアプリケーションを利用するの

が一般的である。そのため通常 WS 上で利用しているアプリケーションが表示する画面を電子会議などで相手方に見せることは困難である。通常利用しているアプリケーションの画面をそのまま相手方に資料として提示できれば電子会議システムはより使いやすいものとなる。

また大学等の教育機関でもリテラシ教育を含む情報処理教育用の WS システムの導入が進んでいる [1] [2]。このような教育用システムでは電子会議システムを拡張した電子黒板システムが効果をもたらす。この場合には教官から学生への単なる資料の提示だけでなくアプリケーションの操作方法を教える際に利用することも考えられる。この場合には静止画像として表示するだけでなく実際の操作を実時間で示すことが可能であることが望ましい。

このような電子黒板システムのひとつとして山之上らによる kokuban [3] がある。このシステムではテキストをリアルタイムに表示することが可能であるが、リアルタイムでウィンドウ操作や動画を扱うことはできない。テキストだけでなくグラフィックスについてもリアルタイムに表示できることが望ましい。

本論文では、WS で一般的に利用されている X Window System [4] 上で動作するアプリケーションの表示するウィンドウを複数の画面上に表示するような電子黒板システム [5] [6] (図 1) について述べる。このシステムを利用することによって X サーバソフトウェア及びアプリケーションに変更を施すことなく送信側のウィンドウを操作している様子も含めて受信側 X サーバ上に表示することができる。

## 2. 電子黒板システム

電子黒板とは図 1 に示すようにひとつのディスプレイ上に表示されている画面を他のディスプレイ上にも表示することで資料の提示などを行うものである。本研究ではこのような電子黒板を X Window System 上で実現した。

X Window System では画面への表示を

- ・ X クライアント
  - アプリケーションのようにどのような表示を行うのかを決定しているプログラム
- ・ X サーバ
  - X クライアントからの描画要求 (リクエ

スト)を受け取り画面への描画を行うプログラム

に分割している。そして X クライアントと X サーバ間の通信は TCP/IP プロトコル [7] [8] を利用して行われている。

本電子黒板では代理サーバと再構成モジュールを導入することで任意のウィンドウを複数の X サーバ上で表示可能とした。

### 2.1 代理サーバ

ネットワークを介して送信されるリクエストを取得することでウィンドウの内容を効率よくしかもリアルタイムに取得することができる。しかし X のプロトコルではリクエストを接続している X サーバ・X クライアント以外のプログラムが取得できる設計にはなっていないため、接続が確立した後でリクエストを取得することはできない。

そこで代理サーバ [9] を導入し、

1. X クライアントから代理サーバに接続する。
2. 代理サーバから X サーバに接続する。
3. X クライアントと X サーバ間の通信を代理サーバが中継する。同時に画面表示に関するものは再構成モジュールへと送信する。

ことにより、リクエストを代理サーバで取得する (図 2)。すなわち、代理サーバは X クライアントからは X サーバとして認識され、かつ再構成モジュールは X サーバからは X クライアント

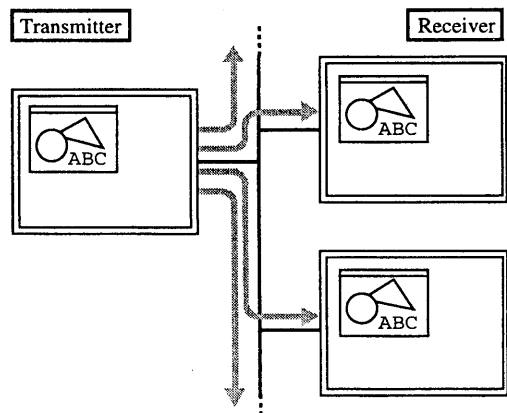


図 1 電子黒板システム概念図  
Fig.1 Network Blackboard System

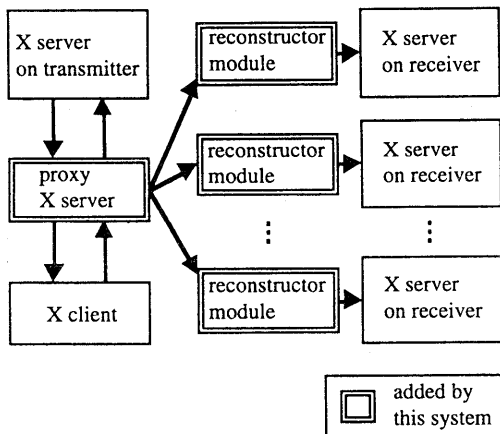


図2 電子黒板システムの構成

Fig.2 Diagram of the System

として認識される。

代理サーバをXサーバとXクライアントの間に挿入してリクエストを取得する方法は、XサーバおよびXクライアントに対して変更を施す必要がないという利点がある。

## 2.2 再構成モジュール

代理サーバによって取得したリクエストはXプロトコルに基づいたデータとなっている。リ

クエストの中には Window ID など Xサーバに依存した部分があるために単純に他の Xサーバに送信しただけでは画面の表示を行うことができない。そこで、リクエストを解釈し直し送信側 Xサーバに依存しているパラメータを受信側 Xサーバ用に変更する再構成モジュールを用いる。代理サーバからネットワークを介して再構成モジュールに送信されるリクエストを、再構成モジュールは表示する Xサーバ用に変更を加えたうえで送信し表示するようにした。したがって再構成モジュールは受信側 Xサーバと同数必要となる。

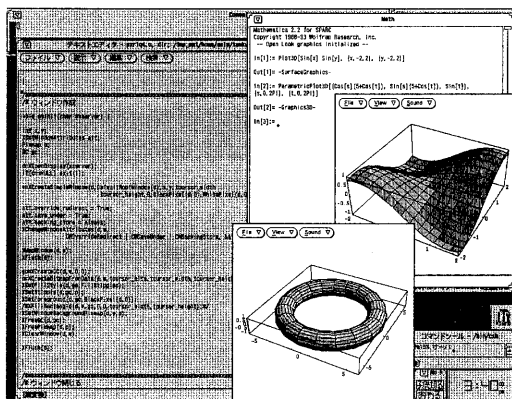
## 2.3 システムの動作画面

作成した電子黒板システムの動作画面を図3に示す。本システムで表示を行っているのは右側の3枚のウィンドウである。

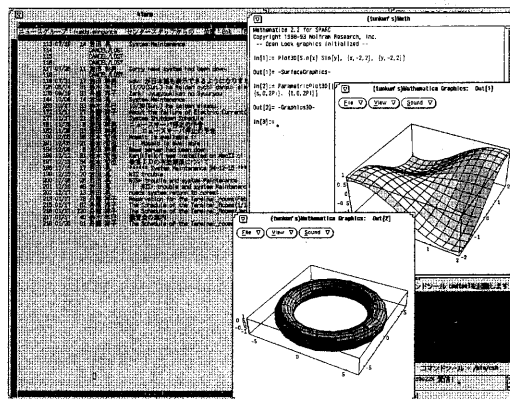
送信側、受信側ともに本システムの表示するウィンドウ以外にも自由にアプリケーションを利用することができる。また本システムで表示を行っているウィンドウを送信側が操作すると受信側においてもただちに操作状況を表示することが可能である。

## 3. ネットワーク構成

この電子黒板システムでは X クライアント、



(1) Transmitter WorkStation display



(2) Receiver WorkStation display

図3 電子黒板システムの動作画面

Fig.3 Appearance of the System

(当システムによる表示はハッチのかかっていないウィンドウ、ハッチ部分は当システムと関係のないアプリケーションによる表示)

送信側 X サーバ、代理サーバ、再構成モジュール、および受信側 X サーバの各プログラム間で TCP/IP プロトコルを用いて通信を行っている。したがって、各プログラムはネットワークに接続されている任意の WS 上で実行可能である。

この電子黒板システムでは 1 台の WS から複数の WS へ同一のデータを送信する必要がある (同報通信)。本研究ではこれを複数の point-to-point 通信で実現している。そのためひとつのネットワークに接続されている複数の WS にデータを送信する場合にはそのネットワークに対して大きな負荷がかかることからデータ転送速度が低下し、システムの性能が低下する。教育に利用する場合などではひとつのネットワークに多くの WS が接続されていることも考えられるためネットワークへの負荷は大きな問題となる。

これを回避するためにはひとつのネットワークに接続される WS の台数を制限し、過剰負荷とならない台数でサブネットに分割することが考えられる。

また、このシステムで利用しているプログラムを同一の WS 上に配置した場合には、CPU 負荷はその WS に集中する。同一 WS 間であればネットワークを介することなく通信を行うことができるためにネットワークへの負荷は小さくなる。逆に別の WS に割り当てた場合には CPU 負荷は分散され WS あたりの CPU 負荷は小さくなるがネットワークを介して通信を行うこととなるためにネットワークへの負荷は大きくなる。このように X クライアント、送信側 X サーバ、代理サーバ、再構成モジュール、および受信側 X サーバをどのようにネットワーク上の WS に割り当てるかによって本電子黒板システムの性能は変化する。

#### 4. ネットワーク構成による性能の変化

本電子黒板システムに適したネットワーク構成を調べるため、物理層をサブネットに分割することで性能がどのように変化するかを調べた。ここでは 1 台の WS 上に代理サーバと再構成モジュールを配置し、その WS と送信側 X サーバ、受信側 X サーバ間がネットワーク上で通信を行っているとし、その場合にどのような配置が適しているかについて考察する。

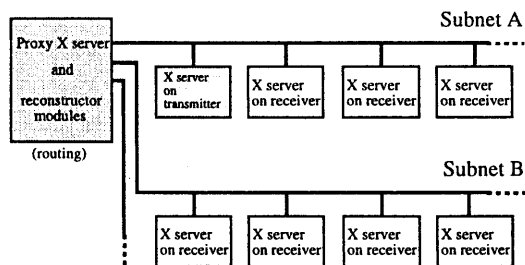


図 4 実験に用いたネットワーク構成  
Fig.4 Network Configuration

ネットワーク構成としては、図 4 のように X サーバをいくつかのサブネットに分割して配置するものとした。ネットワークを分割することで各サブネット上の通信量が少なくなり、電子黒板システムの性能が向上すると考えられる。ここでは X サーバの台数が一定の場合にネットワーク構成によって電子黒板システムの性能がどのように変化するかを調べた。

性能の指標としては X Window System 用のベンチマークプログラムである xllperf を使い、直線、円、画像、および文字の描画テストに要した時間とネットワーク上の通信量から

実効データ転送速度 (Kbps)

$$= \frac{[\text{全転送データ量}(\text{byte})] \times 8(\text{bit})}{[\text{全転送時間}(\text{sec})]} \times 10^{-3}$$

として実効データ転送速度を求めた。なお、直線、円、画像、および文字を選択したのは実際に多く利用され、またネットワークへの負荷と X サーバへの負荷のバランスが異なるものだからである。

実験に利用するハードウェアは、名古屋大学情報処理教育センターに設置されている教育用 WS システム [1] [2] を利用し、

- ・送信側および受信側 X サーバは SPARCstation ELC 上で動作
- ・代理サーバ、再構成モジュールの実行およびサブネット間のルーティングには SPARCcenter 2000 を利用
- ・ネットワークとしては Ethernet (10Mbps) および TCP/IP プロトコルを利用

とした。

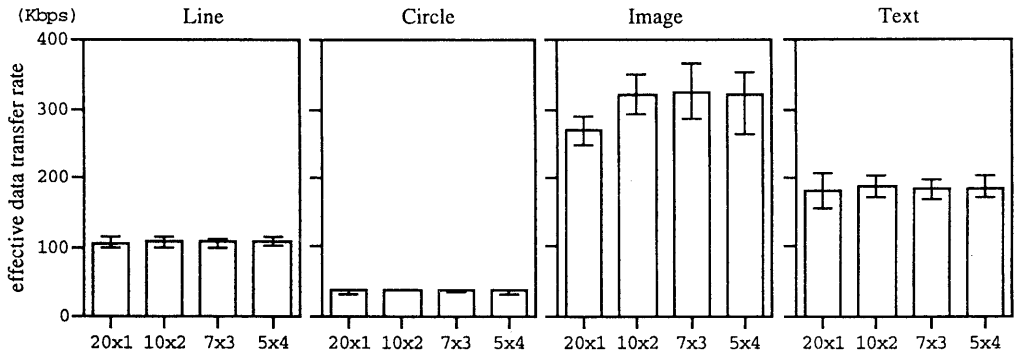


図 5 20 台における実効データ転送速度

Fig.5 Effective data Transfer rate with 20 WorkStations

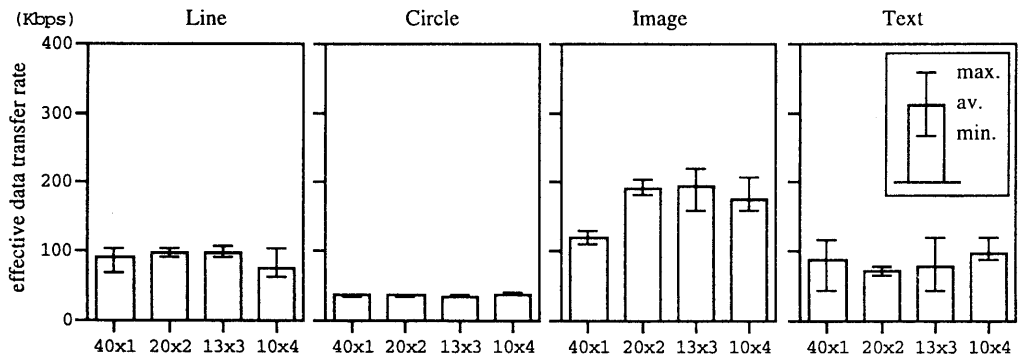


図 6 40 台における実効データ転送速度

Fig.6 Effective data Transfer rate with 40 WorkStations

表 1 X サーバの配置 (20 台)

構成	サブネット名称			
	A	B	C	D
20x1	20	-	-	-
10x2	10	10	-	-
7x3	6	7	7	-
5x4	5	5	5	5

表 2 X サーバの配置 (40 台)

構成	サブネット名称			
	A	B	C	D
40x1	40	-	-	-
20x2	20	20	-	-
13x3	13	13	14	-
10x4	10	10	10	10

#### 4.1 受信側 X サーバが 20 台の場合

20 台の受信側 X サーバを表 1 のようにサブネットに分割して配置を行い、実験を行った。

図 5 にネットワーク構成と X サーバ 1 台あたりの実効データ転送速度の関係を示す。直線、円、文字では 20x1, 10x2, 7x3, 5x4 とネットワークの構成を変更した場合でも性能に変化は現われないが、画像においては 20x1 の場合には他の 10x2, 7x3, 5x4 に比べて性能が低下していることがわかる。このことから画像の場合は、20x1 の状態ではネットワークが飽和しているが他の状態ではネットワークが飽和していないと考えられる。

画像の 20x1 の場合には 1 台あたりの実効データ転送速度が約 270Kbps であることからネットワーク全体では約 5.4Mbps となる。

## 4.2 受信側 X サーバが 40 台の場合

20 台の場合と同様に 40 台の受信側 X サーバを表 2 のようにサブネットに分割, 配置し実験を行った。

図 6 にネットワーク構成と X サーバ 1 台あたりの実効データ転送速度の関係を示す。40 台の場合であっても直線, 円, 文字ではネットワークの構成を変更しても性能に大きな変化は現われていない。画像では 40x1 のみ実効データ転送速度が大きく低下しているため, この状態でネットワークが飽和しているものと考えられる。

画像の 40x1 の場合には実効データ転送速度が約 130Kbps であることからネットワーク全体では約 5.2Mbps となり, 20 台の場合と近い値となる。このことからネットワーク上を流れることが可能なデータ量は 5.4Mbps 程度が上限ではないかと考えられる。

また 20 台の場合と 40 台の場合の実効データ転送速度を比較すると, 画像や文字では 40 台の方が 20 台の場合の半分程度の値となっている。これは 40 台の場合には代理サーバおよび再構成モジュールが実行されている WS にかかる負荷が 20 台の場合に比べて 2 倍であるため, ネットワークに送信できるデータ量が制限されてしまったためであると考えられる。

## 5. おわりに

本論文では代理サーバ方式の電子黒板システムの基本的構成形式とそのネットワーク配置問題について述べた。本システムは名古屋大学情報処理教育センターにおいて実際に利用され, 良い評価を得ている。

今回実験で用いた 10Mbps の Ethernet ではネットワークあたりのデータ量が TCP のレベルで 5.4Mbps 程度までになるようにネットワークを構築すれば性能が低下しないことがわかった。また画像を多用しなければネットワーク上に 40 台程度の X サーバが接続されている場合でも性能はさほど変化しないことがわかった。

電子黒板システムの性能を決定する要因には

- ・送信側 X サーバ, 受信側 X サーバの性能
- ・代理サーバ, 再構成モジュールの実行される WS の性能
- ・ネットワークの容量

が関与している。将来, 容量の大きなネットワークや速い WS が利用されることになればこれらと異なる要因によって性能が決定されることも考えられる。

今後は, この電子黒板システムに最も適したネットワーク構成とモジュール配置の検討, さらにブロードキャストなどの効率のよい通信方式を利用することによる性能の向上とネットワーク負荷の軽減を考えている。

## 参考文献

- [1] 岡田 稔, 岩田 晃, 松本 哲也, 池田 幹男: "教育用大規模分散型 WS システムの構成方法", 情報処理学会 分散システム運用技術研究グループ 研究報告, No.1, pp.191-197 (1995)
- [2] 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", 情報処理学会 分散システム運用技術研究グループ 研究報告, No.1, pp.198-205 (1995)
- [3] 山之上 卓, 藤木 健士, 戸田 哲也: "並列プログラミングの電子黒板への応用", 47 回情処全大 講演論文集 (1), p15-16 (1993)
- [4] Adrian Nye: "X Protocol Reference Manual", O'Reilly & Associates, Inc. (1990)
- [5] 河合 励, 池田 幹男, 岡田 稔: "教育用 WS システムにおける電子黒板の一実現方式", 50 回情処全大, 6-147 (1995)
- [6] 河合 励, 池田 幹男, 岡田 稔: "電子黒板システムのネットワーク構成の違いによる性能の変化", 平成 7 年電気関係学会東海支部連合大会, (1995)
- [7] Postel, J. (ed.): "Transmission Control Protocol - DARPA Internet Program Protocol Specification", RFC 793, USC/Information Sciences Institute, September 1981
- [8] Postel, J. (ed.): "Internet Protocol - DARPA Internet Program Protocol Specification", RFC 791, USC/Information Sciences Institute, September 1981
- [9] 島村 政義, 味岡 義明: "X ウィンドウシステムにおける疑似サーバ管理システム", 情報処理学会論文誌, Vol.35, No.12, pp. 2581-2589, (1994)