

TCP を用いた分散環境のための電子黒板システムとその性能評価

平原貴行 † 山之上卓 ‡
安在弘幸 † 有田五次郎 §

†九州共立大学工学部 ‡九州工業大学情報科学センター
§九州工業大学情報工学部

概要

数十台の端末による分散コンピューティングシステムを導入する端末教室向けの電子黒板システムを実際の端末教室に導入して性能評価を行なった。この電子黒板システムは教師画面の一部を受講者端末に転送して表示させたり、教師側の黒板上で行なった描画を受講者画面上で再現するなどの機能を持つ。本論文で述べるシステムは Java で作成されており、かつ通信プロトコルに TCP/IP を採用しているため OS などの環境を問わず一般的なコンピュータネットワークシステムで利用可能である。このシステムを 36 台規模のパソコンネットワークを備える端末教室に実装して画像や描画などの転送時間の測定や一斉アクセス時の挙動などについての検証を行ない、さらに実際の授業で利用してその使い勝手の検証を行なった。

A Electronic Chalkboard System for Distributed Environment using TCP and Evaluation of its Performance

Takayuki Hirahara † Takashi Yamanoue ‡
Hiroyuki Anzai † Itsujirou Arita §

†Faculty of Engineering, Kyushu Kyouritsu University

‡Information Science Center, Kyushu Institute of Technology

§Faculty of Computer Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of Technology

Abstract

We introduce an electronic chalkboard system, for a computer room with a distributed computing system that consists of several tens of terminals, to a computer classroom experimentally and evaluate its performances. This system transmits still image of a part of teacher's screen, and the corresponding commands of line, figures and letters which teacher drawn on the screen, to students terminal and displays. This system is implemented by Java and adopts TCP/IP, therefore we are able to use this system on typical computer networks. We introduce this system to a computer classroom, which has 36 terminals. We have measured the performance of this system when it transmits data, and when student terminals try to connect to it simultaneously. Moreover, we have inspected the facility of this system when we use it in the classroom.

1 はじめに

分散コンピューティングシステムの教育現場への普及は近年急速に進んでおり、大学の情報処理教育施設におけるコンピュータリテラシなどの情報処理教育はもちろんのこと、語学など情報教育分野以外へも広がっており、さらには小、中、高校への導入

の動きも広がってきている。こうした分散システムを利用した様々な教育支援システムの研究、開発等が行なわれており [1][2][3][4][5][6]、市販化されている例もある。

われわれは一般的なコンピュータネットワークで利用可能な教育支援システムの開発を行なっている。このシステムは教師端末の画面の一部を受講者

端末の画面上に表示するもので「電子黒板」と呼んでいる [7][8]。このシステムは、大学の端末教室など、数十台程度の比較的大規模な分散環境で利用可能であり、また、インターネットの標準プロトコルであり LAN にも広く導入されている TCP を採用しているためインターネットによる遠隔授業への応用も可能である。また、このシステムは Java アプリケーションとして開発されているので、Java インタプリタが動作すればハードウェアや OS 等を問わず、あらゆる環境で利用できる。

本論文では、この電子黒板システムを実際の端末教室に導入して、実用上の性能測定および実際の授業で利用して使い勝手などの検証を行なったことについて述べる。

2 電子黒板システム概要

本電子黒板システムは、一般的な端末教室が備えている、教育用分散システムで利用するための教育支援システムである。教育用分散システムは、1 台の教師端末と複数台の受講者端末が、ネットワークスイッチで接続されていることを想定している。本電子黒板は教師および受講者の各端末上で動作する「本体」と、端末間のデータ転送経路構成を管理する「管理サーバ」により構成される。

2.1 本体

電子黒板の本体は、教師端末上で動作する教師用プロセスと各受講者端末上で動作する受講者用プロセスで構成され、それぞれの端末上で独立動作する (図 1)。各プロセスは 1 つのウィンドウのみで構成される SDI (Single Document Interface) アプリケーションである (図 2)。

この電子黒板システムの機能として、

- 教師画面を受講者端末に転送・表示する機能
- 教師画面上に書かれた線画、テキストを受講者画面に表示する機能
- 教師側の操作で、すべての受講者端末の電子黒板をいっせいに終了させる機能

がある。

教師は教師画面上の任意の範囲を切り取って (キャプチャ) 受講者端末に送信し表示させることができ

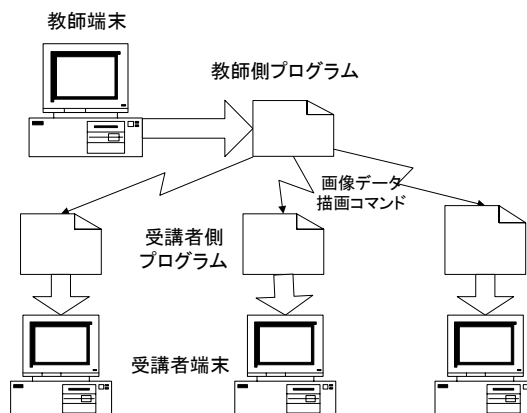


図 1: 電子黒板システムのイメージ



図 2: 電子黒板の表示例

る。教師側プロセスのウィンドウ (以下、教師側ウィンドウ) のメニューからキャプチャウィンドウを開き、このウィンドウを転送表示させたい範囲に移動し、一旦アイコン化した後元のサイズに復元することで画面をキャプチャでき、続いてキャプチャウィンドウのメニューから送信コマンドを実行することで起動している全ての受講者端末に画面を送信、表示できる。キャプチャウィンドウのサイズを変更または移動することで送信する画面の範囲を任意に選択できる。なお、デスクトップ画面の扱いは多くはデバイスに依存するためキャプチャツールは C++ により作成されており、現時点では Windows 上でのみ利用可能である。

また、教師側ウィンドウ上には線画などを描画でき、書いた線画などは受講者側プロセスのウィンドウにそのまま表示される。書いた線画は消去することができる。この機能は画面上の部分の強調や補足

説明などに利用できるほか、この機能を用いて本システムを一般の黒板の代わりとして利用することもできる。この他、教師側ウィンドウを閉じると同時に起動している全ての受講者側プロセスを一斉に終了させる機能も備えている。

データの送信には信頼性を重視して TCP を使用している。また、データを短時間で多数の端末に転送するため、データを転送する経路をツリー状に構成して並列かつ段階的に送信を行なっている [8]。

2.2 管理サーバ

電子黒板の起動中に、途中から受講者が接続したり、また切断したりする可能性がある。このような場合に経路が切断されるなどしてシステムの動作が不安定になるのを防ぐため、受講者端末の起動状況を管理して転送経路の再構成を行なう、管理サーバとよぶプロセスをシステムに加えている。この管理サーバは現在黒板に接続している端末のリストと経路構成の情報を持っており、端末からの要求に応じて経路の再構成を行ない、接続先などを通知する(図3)。管理サーバも黒板本体などの他のプロセスと独立に動作するプロセスである。

受講者端末が新たに電子黒板に接続しようとする場合、受講者プロセスはまず管理サーバに接続して黒板への接続要求を送信する。管理サーバはこれを受信すると、設定されている経路構成のルールに従って接続先端末を決定して受講者端末に通知する。実際の接続は、受講者端末自身がこの通知を受けて行なう。受講者端末がシャットダウンする場合、切断要求信号が自動的に管理サーバに送られる。管理サーバはこれを受けて経路を再構成し、子ノードなど影響を受ける端末に対し再接続先を通知する。

3 性能評価

この電子黒板システムを実際の端末教室に導入し、実用上の性能測定を行なった。また、実際の授業で使用し、使い勝手などの検証を行なった。

3.1 実験環境

運用環境を図4に、その構成および諸元を表1に示す。この環境にはクライアント端末として CPU

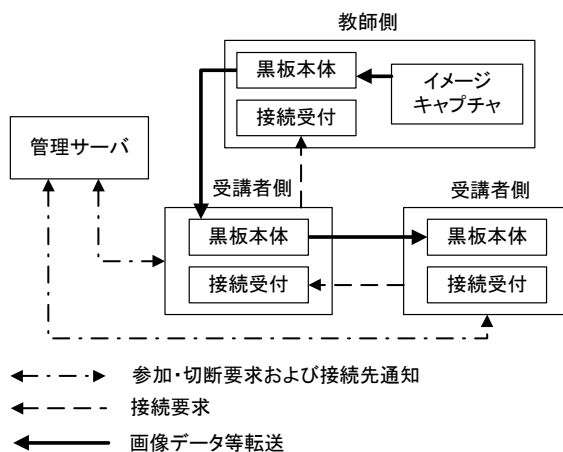


図3: 管理サーバと黒板への接続

の周波数およびメモリ量の異なる2種類のPCが混在している。今回の運用では、管理サーバを教室のサーバ上に置き、36台のクライアントPCのうち1台を教師端末として、残りを受講者端末として使用する。なお、各黒板プロセスの実行ファイルはそれぞれのPCのHDD上に置いている。また、アプリケーションの実行はJDK 1.1.8のインタプリタを利用している。

3.2 画像転送時間

320 × 240 ピクセル、640 × 480 ピクセルの2種類のサイズの画像を転送して転送完了時間を測定した。データ形式は単純なビットマップであり、1ピクセルあたり3バイトを使用するため転送画像のサイズは前者が約230KBytes、後者は920KBytesとなる。結果を表2に示す。それぞれ数回測定を行ない、その最大、最小および平均の転送完了時間(秒)を示している。640 × 480 ピクセルの画像を35台の端末に転送した場合の平均の転送完了時間は約2秒であった。静止画の転送に限定すれば、十分快適に利用できる転送時間であると考えられる。

3.3 コマンド転送時間

自由線描画を想定して直線コマンドを5回、10回、および50回連続転送を行ないコマンド実行後教師側での処理を完了してから全ての受講者端末での処理を完了するまでの遅延時間の測定を行なっ

表 1: 運用環境の端末等構成

	端末 1(pc1)	端末 2(pc2)	サーバ (sv)
CPU	Celeron 500MHz	Celeron 733MHz	PentiumIII 700MHz
Memory	64 MB	128 MB	256 MB
NIC	3Com 3C905C-TX 10/100Mbps	Realtek RTL8139(A) 10/100 Mbps	
OS	Windows 2000 Professional		Windows 2000 Server
Switching HUB	PLANET FSD-1600 10/100Mbps (hb2)		PCi FX-16NW 10/100Mbps (hb1)

NIC : Network Interface Card

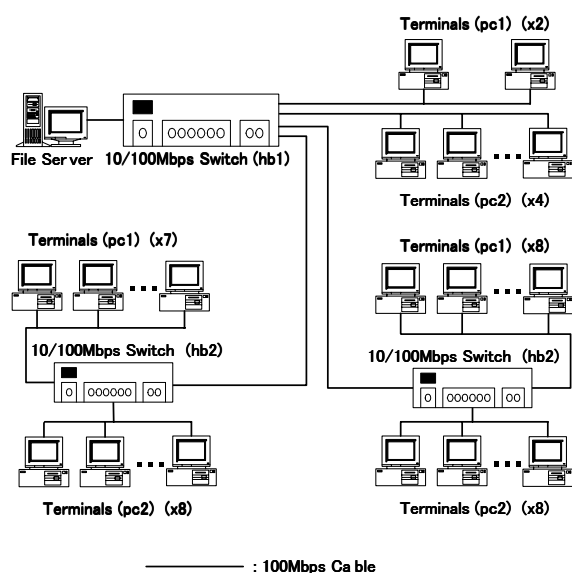


図 4: 電子黒板の試験運用環境

た．また，画面上の描画の全消去コマンド，全端末の一斉シャットダウンコマンドについても同様に測定を行なった．結果は表 2 に示すとおりである．なお，10 台以下と 20 台以上でデータ転送経路の構成を変えているため，一部に 20 台より 10 台のほうが遅延が大きくなる現象が見られる．台数が少ない場合はコマンド転送による遅延は 0.1 ~ 0.2 秒程度で，ほとんどないと考えられることができるが，台数を増やすと急激な遅延増大が見られ，35 台で 50 回連続転送した場合の遅延時間は 320 × 240 ピクセルの画像転送の場合の転送完了時間に近い値となった．1 回の描画コマンド発行ごとに描画範囲を矩形単位で更新していることと，測定用に作成したツールで測定

を繰り返した場合に誤差が拡大することが原因と見られる．しかしながら，描画消去，シャットダウンも含めたコマンド転送全体では，ほぼ同時と言ってよいわずかな遅延で全ての受講者側の処理を完了しており，概ね実用に十分耐え得る範囲内と言える．

3.4 管理サーバの性能

1, 5, 10, 20, 35 台の受講者端末がそれぞれほぼ同時に電子黒板への接続を試みた場合の管理サーバの処理時間，すなわち接続要求を行ってから全ての端末が起動を完了する（データ送信可能状態に達する）までの遅延時間を測定した．結果を表 3 に示すが，ほぼ接続台数に比例する時間がかかっており，35 台一斉接続で約 2 分半と，実用に耐えられるとは言えない完了時間となった．管理サーバと接続しようとする端末との通信には信頼性を考慮して TCP を用いているが，これに関係するバッファなどの影響で接続の切り替えがスムーズに行なわれていないと見られるといった原因が考えられる．

4 実際の授業での利用

電子黒板システムの，実際の授業への試験的利用を行なっている（図 5）．利用者に感想を聞き，まとめたところ以下のとおりとなった．

まず本システムのメリットとして挙げられた点を述べる．本学の他の端末教室では，教師画面や OHP を専用モニタに表示する装置が導入されているが，本システムは 1 つのモニタで教師画面を見ながら操作できる点が便利であるといった意見があった．

表 2: 画像およびコマンドの転送完了時間測定 (台数以外は単位:秒)

台数		1	5	10	20	35
画像転送 320x240	最大	0.541	0.821	0.911	0.711	1.552
	最小	0.341	0.400	0.721	0.501	1.271
	平均	0.456	0.706	0.789	0.628	1.388
画像転送 640x480	最大	1.322	1.712	1.292	1.362	2.173
	最小	1.072	1.172	1.212	1.312	1.913
	平均	1.144	1.285	1.239	1.337	2.035
直線描画連続 5 回	最大	0.080	0.230	0.601	0.441	1.022
	最小	0.000	0.190	0.431	0.300	0.841
	平均	0.046	0.204	0.553	0.366	0.931
直線描画連続 10 回	最大	0.170	0.300	0.711	0.521	1.310
	最小	0.000	0.130	0.480	0.340	1.192
	平均	0.054	0.254	0.563	0.470	1.232
直線描画連続 50 回	最大	0.191	0.281	0.551	0.541	1.502
	最小	0.140	0.250	0.431	0.441	1.272
	平均	0.162	0.268	0.505	0.513	1.380
描画消去	最大	0.100	0.020	0.150	0.351	0.821
	最小	0.000	0.000	0.080	0.190	0.260
	平均	0.040	0.012	0.118	0.259	0.591
シャットダウン	最大	0.020	0.030	0.060	0.161	0.320
	最小	0.010	0.020	0.050	0.150	0.310
	平均	0.014	0.022	0.056	0.156	0.312

表 3: 一斉接続時の起動時間測定 (台数以外は単位:秒)

台数	1	5	10	20	35
起動時間 (平均)	5.236	23.239	45.946	91.317	159.431

プロジェクタや専用モニタの場合、教師画面を見ながら操作しようとする受講者の視線の移動が大きく負担になる。本システムは 1つのモニタで全て収まっているため視線の移動を少なくでき、受講者の負担を軽減できると言える。

一方、本システムが現在必要最小限の機能のみ搭載していることから、機能の増強を求める意見が多く寄せられた。主な要望として、教師がマウスポインタで画面上を指し示した時に同じ位置を指し示すポインタを受講者画面上にも表示する、画面上の広い範囲を転送、表示する場合に画面をスクロールさせ必要部分の未表示できるようにする、黒板画面に表示された内容をファイルに保存する、あるいは印

刷できるようにするといったものが挙がっている。また教師側の立場からは、アプリケーションの操作の例示などでその都度キャプチャウインドウを操作して送信する作業がわずらわしいといった意見があり、この点については、例えば同一範囲を再キャプチャする場合クリック 1回で転送まで行なえるようにするなど可能な限り操作を簡略化できるような改善策を検討している。

今後も授業で運用しながら、利用者の意見を取り入れ実現可能な機能から順次実現していく予定である。この機能増強を通じてより効果的な授業ができるシステムへと発展させることができると考えている。



図 5: 電子黒板を利用した授業

5 おわりに

一般的な分散コンピューティング環境で利用できる教育支援システムである電子黒板システムを実際の端末教室に導入して実用上の性能測定および実際の授業で利用して使い勝手などの検証を行なったことについて述べた。

現在では高速な分散環境が以前と比べ比較的容易に導入できるようになってきており、当初データ転送の遅延増大が懸念されていた本システムも速度面において比較的快適に利用できるようになってきている。また使い勝手の面でも、教師画面の例示を受講者のモニタに取り込むメリットが示され、本システムが実際の授業で有効に活用できるとの感触が得られた。その一方、本システムの機能はまだ必要最小限のものにとどまっており、今後利用者の意見を取り入れ改良を行なっていく必要がある。

また、本システムは TCP/IP を利用しているため、インターネットを介した遠隔授業など様々な応用が可能と考えられる。これに向け、現在はまだ考慮していないセキュリティの問題など、使い勝手、安全性など様々な面からシステムの強化を図っていきたいと考えている。

参考文献

- [1] , H. M. Abdel-Wahab, Mark A. Feit, "XTV: A Framework for Sharing X Window Clients in Remote Synchronous Collaboration", Proceedings of Tricomm '91, pp.159-167, 1991.
- [2] Watabe, K., Sakata, S., Maeno, K., Fukuoka, H., Ohmori, T., "Distributed Multiparty Desktop Conferencing System: MERMAID", Pro-

ceedings of the Conference on Computer-Supported Cooperative Work, ACM Press, pp.27-38, 1990.

- [3] John Bazik, "XMX - An X Protocol Multiplexor", <http://www.cs.brown.edu/software/xmx/home.html>.
- [4] Andreas Rozek, "TeleDraw", <http://www.uni-stuttgart.de/rus/Projects/MERCI/MERCI/TeleDraw/Info.html>.
- [5] R. Rojas, G. Friedland, L. Knipping et al., "Electronic Chalk", http://kazan.inf.fu-berlin.de/echalk/index_e.html.
- [6] 三浦元喜, "comDesk: communicable Desktop system", <http://www.iplab.is.tsukuba.ac.jp/~miuramo/comdesk/>.
- [7] , T. Yamanoue, M. Shimizu, T. Fujiki, "Development of an Electronic Chalkboard for a Large Classroom by Parallel Programming and Its Application to English Classes", Proceedings APITITE94, vol.2, pp.651-656, 1994.
- [8] , 平原貴行, 山之上卓, 安在弘幸, 有田五次郎, "TCP を利用した分散ネットワーク環境のための電子黒板システム, 情報処理学会論文誌, vol.43, No.1, 2002.