

TCP/IP プロトコルを利用したパソコンネットワークのための 電子黒板システム

平原貴行† 山根真人§ 山之上卓† 安在弘幸† 澤田崇§ 堤宏智§

†九州共立大学工学部 †九州工業大学情報科学センター

§九州工業大学工学部

概要

本論文では、近年広く普及しているパソコンネットワークを利用した電子黒板システムについて述べる。この電子黒板システムは、教師端末の画面のイメージをLANを用いて転送し受講者端末の画面上に表示するもので、専用機材や映像信号専用回線などを必要とせず、一般的なパソコンネットワーク上で利用できる。本電子黒板システムは、画像などの大量のデータを、大量の端末に、短時間で、しかもデータの欠落なしで送る必要がある。このことを実現するため、プロトコルは信頼性のあるTCPを用いた。ネットワークは、近年普及しているスイッチングハブを利用した。スイッチングハブの上で、データを並列かつ段階的に転送することによって、データ転送の高速化を図った。

本システムはTCPを利用しているため、教室内での授業のほか、遠隔授業にも応用可能である。

An Electric Chalkboard System for Personal Computer Network Using TCP/IP Protocol

Takayuki Hirahara† Masahito Yamane§ Takashi Yamanoue†

Hiroyuki Anzai† Takashi Sawada§ Hirotomoto Tsutusmi§

†Faculty of Engineering, Kyushu Kyouritsu University

†Information Science Center, Kyushu Institute of Technology

§Faculty of Engineering, Kyushu Institute of Technology

Abstract

This paper discusses an electronic chalkboard system which uses a personal computer network. Our electronic chalkboard system transmits an image of teacher's screen to students' terminals by using LAN. So, this does not require any additional equipment or wirings, and this can be used on a typical computer network. In order to send a large amount of data, such as a bitmap, to large number of terminals without any lack of data in short time, we have adopted reliable protocol, TCP, a switching network and several parallel programming techniques. Our system can be applied to teleteaching by using the Internet because the TCP is the protocol of the Net.

1 はじめに

近年の急速な高性能化、低価格化により、教育現場へのパソコンの普及が急速に進んできている。パソコンを用いた授業において、教育効果を高める有効な手法として、教師が操作している画面を受講者に示して視覚的に理解させるという手法が挙げられる。その手法の一つとして、教師画面を受講者端末の画面やモニタに映して示すといった方法が最近よく用いられており、NECのPC-SEMIのように商品化されているものもある。しかし、

こうしたシステムの大部分は、映像信号を専用の回線を用いて転送する手法が用いられており、そのための配線や専用機材を必要とすることが多く、コスト面で問題となっている。

近年では、パソコンの低価格化、高性能化およびネットワークの高速化を背景に、多数のパソコンやワークステーションなどをLANで接続した分散環境が普及してきており、これを利用して教師画面をソフトウェア的に転送するシステムの研究、開発が盛んに行なわれている。われわれは、このような一般的なパソコンネットワーク上で利用できる教育支援システムを開発し、実際の授業で利用している。このシステムは教師画面（静止画）の任意の一部を切り取り、受講者端末に一斉転送してその画面上に表示するものであり、われわれはこのシステムを電子黒板と呼んでいる。教師画面データの転送には、コンピュータネットワークの一般的なプロトコルである TCP/IP を用いている。

このようなソフトウェアのみによる教育支援システムとしては、名古屋大の河合らによる、独自の一对多通信プロトコルを用いた、XウィンドウをベースとするUNIXワークステーションネットワークシステム向けネットワークプレゼンテーションシステムがある [1]。また、Windows ベースのパソコンネットワークシステム上では同様の機能を持ったいくつかの教育支援システムが市販されている。しかしながら、これらの多くは、基本的に同一のLAN上で用いられることが前提となっており、遠隔講義への応用は難しい。

われわれの電子黒板システムは、一般的なパソコンネットワークで動作する。また、プロトコルは TCP/IP を用いているため、教室内での授業のみならず、遠隔授業への応用も可能である。

2 電子黒板の概要

本電子黒板システムは、UNIX+Xウィンドウを搭載するワークステーション上で稼動するシステム [4] と、Microsoft Windows NT を搭載するパソコン上で稼動するシステムがあり、前者はすでに実際の授業で運用されており、後者は現在実験運用中である。

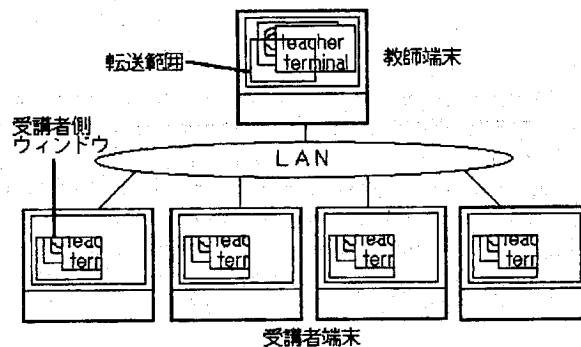


図 1: 電子黒板の概要

電子黒板は、図 1 に示すように、教師端末の画面の一部分を切り取り、受講者画面に転送して表示するものである。教師は、受講者に示したい画面の位置に黒板ウィンドウを移動することにより、教師画面の任意の一部を送ることができる。また、黒板上に線や文字を書き、受講者画面上に表示できる。

教師画面の画像はビットマップデータ化して送信する。一方、線や文字の描画などはコマンドの形で送信する。これらのデータ転送は、教師端末および各受講者端末の間でメッセージパッシングを行なう並列プログラミング技法により実現されている。

多数の端末へ一斉にデータを送信する手法としてはブロードキャストやマルチキャストが多く使われているが、これらに通常用いられているUDPはデータの信頼性を保証していない。このため、受信時に一部のデータが欠落するおそれがある。動画像であればデータの欠落が少々あってもあまり問題にはならないが、本システムが扱うような静止画の場合はわずかな欠落でも目立ってしまう。線描画などのコマンド転送の場合はさらに深刻で、コマンドあるいはパラメータのデータ化けにより、教師の意図しない描画や処理が受講者画面上に再現されることが有り得る。

このように本システムでは、転送するデータに対する信頼性が重要な問題となるため、信頼性を保証するプロトコルであるTCPを用いてデータ転送を行なっている。

3 高速転送のための技術

本システムが主に扱うデータは、数十キロから時には数百キロバイトにおよぶ画像データである。これを、数十台を越える多数の端末へできるだけ短時間で転送しなければならない。本システムで用いているTCPは、ブロードキャストなどに用いられるUDPと異なり1対1の通信しか行なえない。そこで、本電子黒板システムでは、データ転送を高速に行なうため、複数のリンクで並行して通信を行なう手法をとっている。

単純なリピータのみで構成されるシェアード・ハブは、フレームがすべてのポートを流れる共用型であるためブロードキャストあるいはマルチキャストでない限り同時に一つのリンクでしか通信ができない。これに対し、高速LAN技術の一つとしてスイッチングハブがある。スイッチングハブは、ポートのMACアドレスをチェックして必要なポートにのみフレームを送信する専用型のハブで、高帯域、低コストであることから、近年幅広く導入されている。

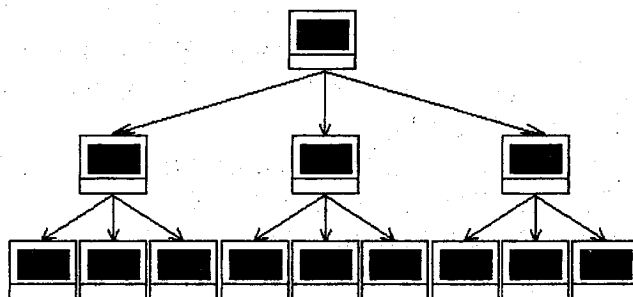


図 2: データの並列転送

本電子黒板システムは、このスイッチング技術を利用し、データを並列かつ段階的に転送することにより、TCPのもとでデータの高速転送を実現している。図2のような、教師端末を根とするツリー型の通信経路を構成し、まず根である教師端末がその子である数台の受講者端末にデータを送り、これを受け取った受講者端末がさらにそれぞれの子端

末ヘデータを送るという処理をくり返し、最終的にすべての受講者端末ヘデータを転送する。スイッチングハブを用いることで、複数のリンク、すなわち根と子、あるいは子同士通信が同時に行なえ、より効率的にデータを転送できる。

現在試験運用を行っているシステムの構成は、パソコン (CPU : 486DX4 100MHz、メモリ 27.3MB、OS : Windows NT Workstation Ver.3.51) 81 台 (うち教師端末 1 台) を図 3 のように接続したものである。電子黒板のすべての実行ファイルは教室外にあるサーバにおき、各端末からネットワーク経由で起動している。

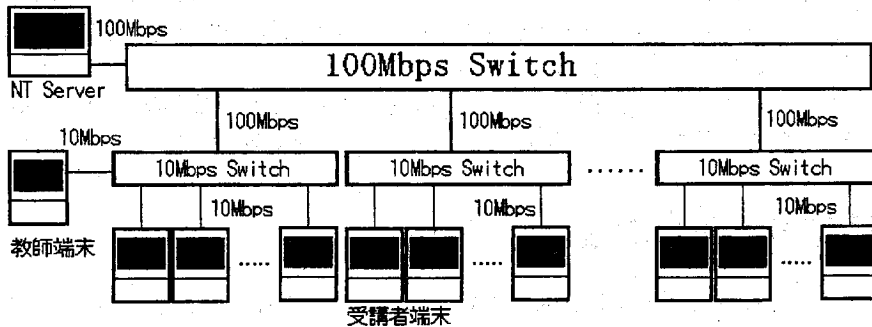


図 3: 電子黒板の運用

図 3 のシステム上で、図 2 のように各端末からそれぞれ 3 台の子端末に分岐する通信経路を構成し、 640×480 ドット、256 色の画像データを送った場合、77 台の受講者端末に対して約 7 秒で転送を完了した。1 台ずつ直列に転送した場合、同じ画像データおよび端末台数で約 45 秒を要した。

4 通信経路についての考察

本電子黒板システムでは、TCP による 1 対 1 通信を並列に行なう形で各受講者へのデータ転送を行なっている。そこで、データ転送経路の構成が、転送時間に少なからず影響してくる。ここでは通信経路について論ずる。ここでの議論では、通信時間はどのリンクでもほぼ一定で等しいものと仮定する。

最短時間ですべての端末にデータを送るための通信経路構成として、Minimum Broadcast Tree (MBT) が Farley [2][3] により解説されている。

MBT の構成アルゴリズムは以下のとおりである。

1. すべての頂点 (端末) に $1 \sim n$ のラベルをそれぞれ付け、1 を根とする。
2. $2 \leq j \leq n$ の各頂点 j を $i - 2^{\lceil \log_2 i \rceil - 1}$ のラベルを持つ頂点に接続する。

これにより、図 4 に示すような MBT が生成される。

このツリー構造の転送完了時間は

$$\lceil \log_2 n \rceil \tag{1}$$

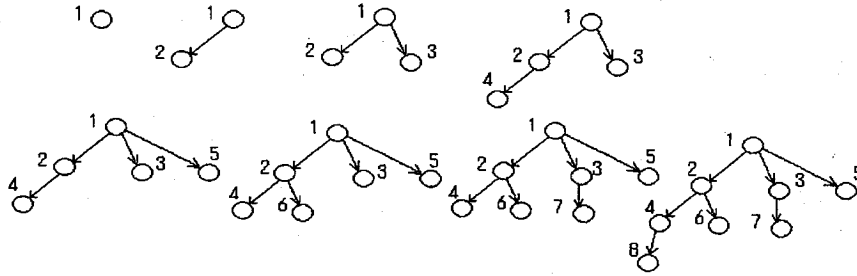


図 4: Minimum Broadcast Tree

である。

MBTは単一データの転送にはもっとも効果的であるが、複数のデータを連続して送信する場合は効果が異なってくる。連続して送るデータ数を t とおくと、MBTにおける全体の転送完了時間は

$$t \lceil \log_2 t \rceil \quad (2)$$

となる。

これに対し、図 5(a) のような、すべての頂点に接続する子の数が 1 の直列ツリー構造を考える。根を含む頂点数が n のとき、この構造におけるデータの転送完了時間は

$$t + n - 2 \quad (3)$$

で示される。式 (2) と式 (3) の比較から、連続データの場合は図 5(a) の方が MBT より効率的にデータを転送できることが言える。

送受信を並列にできないシステムの場合、図 5(a) の構造では送信データと次の受信データの衝突の可能性がある。そこで、次のような構造を考える。

1. 根に接続する子の数は 2 である。
2. その他の頂点につながる子の数は 1 である。
3. 葉の深さの差は高々 1 である。

この条件を満たすツリー構造として図 5(b) のような例が挙げられる。この構造ではデータが一つおきに経路を流れるため、転送データと受信データの衝突を防ぐことができる。この構造の単一データ転送完了時間は

$$2 + \lfloor (n-1)/2 \rfloor - 1 \quad (4)$$

となり、 t 個のデータを連続送信する場合の転送完了時間は

$$2t + \lfloor (n-1)/2 \rfloor - 1 \quad (5)$$

となる。

今後、これらの構成を実際に電子黒板に適用し、その実効性と限界を調査することを検討している。

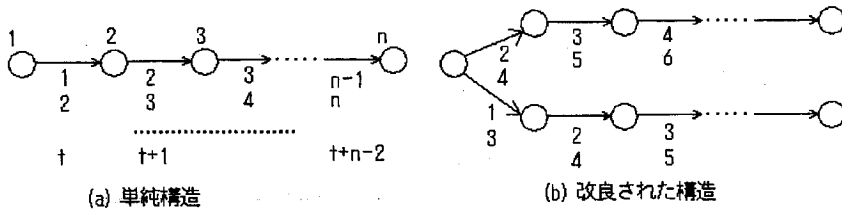


図 5: 直列ツリー構造 (下の数値はデータ転送時間)

5 問題点と今後の展望

本システムの問題点の一つとして、通信経路の再構成に関する問題が挙げられる。同じ端末教室でも、授業により受講者数が増減する。本システムではこれに対応するため、黒板起動時に受講者端末のログイン状況を調べ、これに基づいて通信経路の構成を自動的に行なっている。しかし、黒板起動中の受講者数の変動、すなわち授業中のログインやログアウトに対応して通信経路を自動的に再構成する必要があり、現在その手法を検討中である。

現在は教師側からの一方的なデータ送信のみであるが、今後受講者側からの応答も可能にすることを検討している。具体的には、教師が受講者の理解度を確認するため問題を出し、受講者からの解答を分析する、受講者から送られた質問に対して教師が個別に、また必要あれば全受講者に対してその返答を送る、教師が受講者の出席状況を確認したり、受講者画面をモニタして個別に指導する、などである。

これに関連して、共同研究者が Java 環境で動作する小テスト出題採点システムの試作を行っており [5]、これを電子黒板システムに応用することを検討している。Java で作成されたアプリケーションは、WWWブラウザなど必要な環境が動作すればいかなるコンピュータ環境でも利用できることから、移植性を高めるため電子黒板システム自体が Java で実現可能か検討している。

また、Access などのデータベースソフトとの接続により、受講者名簿や出席状況、成績等の授業支援データの管理、運用が行えるようにすることも検討中である。

さらに、最近進んでいる衛星通信による遠隔授業との併用も検討している。また、ビデオキャプチャにより撮像された教師や授業風景の送信も検討している。現在 ATM やギガビットイーサネットなど、100Mbps を越える高速ネットワークが普及しつつあり、近い将来のネットワーク速度はこれらの処理に十分対応できることが期待される。

6 おわりに

TCP/IP プロトコルを用いた、パソコンネットワークのための電子黒板システムについて論じた。このシステムは、端末間のメッセージパッシングにより、ソフトウェアのみで、教師画面の受講者端末への転送、表示を実現している。本システムは通信の信頼性確保のため TCP を使い、また、データを並列かつ段階的に、分散して転送することにより高速転送を実現している。これは、スイッチングハブを用いたパソコンネットワークにもっと

も適しているといえる。

本電子黒板システムは TCP/IP プロトコルに基づいているため、室内での授業はもとより、遠隔授業への応用も可能である。また、今後、実際の運用経験を積みながら機能の増強などを図っていく予定である。

参考文献

- [1] T. Kawai, M. Ikeda, M. Okada, "Point-to-Multipoint Communication Protocol on Window-Based Network Presentation System", ICICE TRANS. INF. & SYST., Vol E80-D, No 2, 1997
- [2] A. Farley, "Minimum Broadcast Network", Network vol.9, pp.313-332, 1979
- [3] A. Shastri, "Broadcasting in General Network I:Trees", Lecture Notes in Computer Science, Vol.959, pp.482-489, 1995
- [4] T. Yamanoue, M. Simizu, T. Fujiki, "Development of an electronic chalkboard for a large classroom by parallel programming and its application to English classes", Proceedings APITTE94, vol.2, pp.651-656, (1994).
- [5] 山之上卓, 山根真人, 澤田崇, 清水真, 平原貴行, 安在弘幸, 望月雅光, "Java とコンピュータネットワークを利用した教育支援システム", 文部省, 名古屋工業大学主催, 平成8年度情報処理教育研究集会講演論文集, pp.117-120, (1996).