

## 一対多同報通信プロトコルと電子黒板システムへの応用

河合 勲<sup>†</sup>, 池田 幹男<sup>\*\*</sup>, 岡田 稔<sup>\*\*</sup>

<sup>†</sup>名古屋大学 大学院 工学研究科 電子情報学専攻

<sup>\*\*</sup>名古屋大学 情報処理教育センター

**あらまし:** 本論文では信頼性を持った一対多同報通信プロトコル PTMP (Point-to-Multipoint Protocol) およびそのアプリケーションとしての電子黒板システムについて述べる。PTMP は LAN 上において信頼性のあるデータを効率よく多数台の WS へと送信することを目指して設計した。PTMP の応用としてネットワーク黒板システムの下位層に使うことを考えた。当ネットワーク黒板システムでは X のプロトコルをネットワークを介して多数台の WS に転送するため、信頼性を持った効率の良い一対多通信が要求される。PTMP を利用することで単体では TCP 一対一通信の 2 倍程度で 40 台の WS に転送できることが確かめられた。また電子黒板システム下で利用することで特に多数台時の性能を改善することができた。

### A Reliable Multidestination Protocol PTMP and The Network Presentation System for Its Application

Tsutomu KAWAI<sup>†</sup>, Mikio IKEDA<sup>\*\*</sup> and Minoru OKADA<sup>\*\*</sup>

<sup>†</sup>Department of Information Electronics, Graduate School of Engineering, Nagoya University

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

**Abstract:** In this paper, an efficient reliable one-way multidestination communication protocol PTMP (Point-to-Multipoint Protocol) is proposed. The PTMP is designed for distributing reliable data to many workstations efficiently. For an application of PTMP, the Network Presentation System is proposed. The PTMP is utilized for network layer of Network Presentation System to improve performance of the system. The Network Presentation System transmits unique data to many workstations, and requires reliable communication channel, so a performance improvement is expected by utilizing the PTMP. The raw PTMP transmits data for 40 workstations about twice time of a TCP point-to-point connection. The PTMP improves a performance of Network Presentation System particularly the number of clients is increased.

#### 1. はじめに

ネットワーク上で信頼性のあるデータの送受信を行う場合には、Internet Protocol (IP)[1] 上で実装されている Transmission Control Protocol (TCP)[2] を利用するのが一般的である。それは TCP が信頼性のある一対一通信を提供しているからである。しかし、TCP は一対一通信であるために、一対  $N$  通信を行う場合にはネットワーク上に  $N$  個の一対一セッションを開設し、同一のデータを何度も送信する必要がある。

TCP の代わりとして同様に IP 上で実装されている User Datagram Protocol (UDP)[3] を利用すれば、一対一だけでなく Broadcast と呼ばれる一対多通信

を利用することができる。Broadcast を利用することによって、一回データの送信を行うだけで同一の物理層を共有している多数台のワークステーション (WS) にそのデータを受信させる事が可能となる。しかし、UDP はデータに対して信頼性の保証を行っていないため、受信側にデータが到達できない可能性がある。

この論文では一対多同報通信を効率よく行うためのプロトコル PTMP (Point-to-Multipoint Protocol) [4] とそのアプリケーションであるネットワーク黒板システム [5] の概要とその性能評価について述べる。PTMP では Broadcast を利用することによって一台の WS から多数台の WS に対して同一デー

タを効率良く送信する。受信側では送信側から送られてきたデータに対してエラーチェックを行い、正常に受信できなかった場合には送信側にデータの再送を要求することでエラーからの回復を行うこととした。

このような一対多通信に関する研究は従来からさまざまなものがある。Jolfaei ら[6]は再送パケットの最適化を行うことで再送時の負荷の軽減を行っている。確認応答 (Acknowledgment; ACK) パケットの送信方法の最適化については Lima ら[7]によって研究されている。確認応答の最適化について、PTMP ではすべてのパケットに対して ACK を送るのではなく、受信に失敗したパケットに対して Negative Acknowledgment (NACK) を送信することで効率化を図った。また Zhao ら[8]は一対多通信の効率化についての研究を行っている。しかしこれら従来の研究は衛星回線などのノイズの影響が大きい場合のものであるため、LAN 内のようにあまりパケット送信に失敗しないような環境には適切でない。近年、Internet 上では IP multicast[9] を利用することで多数台へと効率よくデータを転送する技術が開発されている。しかし IP multicast は WAN 上においてブロードキャストパケットがネットワークへの過度の負荷とならないようにパケットの転送を制御するためのものであり、データが確実に届くことは保証されていない。

我々は PTMP をネットワーク黒板システムのネットワーク部に利用することで黒板システムの性能向上およびネットワーク負荷の軽減を考えた。ネットワーク黒板システムとは X Window System 上で動作する任意のアプリケーションのウィンドウを多数台のディスプレイ上に同時に表示させるものである。当ネットワーク黒板システムでは X のプロトコルを利用することで多数台への同時表示に必要なデータ量の軽減と表示速度の高速化を図っている。

電子黒板システムに関する研究のひとつに山之上らによる kokuban[10]があるが、kokuban ではリアルタイムに送信可能なのはテキストのみであり、画像に関してはリアルタイム表示を行うことができなかった。当システムでは X のプロトコルを利用しているため、テキスト・画像を問わずリアルタイムに表示することが可能である。当システムと同様に X プロトコルを利用しているものに Bazik による XMX[11]がある。XMX は単一プロ

セスですべてのディスプレイに対して表示を行っているため、分散環境においては特定のマシンに負荷が集中し十分な性能を発揮できない。当システムはプログラムを分割し、負荷の集中を避けるようにした。

ネットワーク黒板システムでは X のプロトコルを利用することで画像転送をする場合に比べれば非常に小さいデータで効率よく多数台のマシン上に表示を行っているが、それでも表示する端末数が増加した場合にはネットワークが飽和することによって性能低下を生じることとなる。この問題を解決するために PTMP をネットワーク黒板のネットワーク部に利用した。PTMP を利用することでネットワークを効率的に利用することができ、システムの性能を向上させることができた。

## 2. 一対多同報通信プロトコル PTMP

PTMP は Local Area Network (LAN) 内において信頼性のある一対多通信を効率良く行うことを目的として設計された。

信頼性が要求される通信には一般に TCP のような信頼性のある通信プロトコルを利用する。しかし TCP は一対一通信であるため、多数台の WS に送信する場合には同一のデータを何度も送信しなければならないため非効率である。一対多で効率良く通信を行うには UDP 上で Broadcast を利用する必要がある。しかし Broadcast を利用した場合にはデータに対する信頼性が失われてしまう。

ここで、LAN 内において、とは、次のような意味である。

- ・受信データの誤り率が衛星回線などと比べて非常に小さい。
- ・送信側から受信側にデータが到着するまでの時間が短い。
- ・パケット単位でデータが失われる。

これらの条件を考慮した場合、衛星回線などを仮定して設計された同報通信プロトコルは非常に冗長である。PTMP は条件を LAN 内と特化することで LAN 内で効率良く通信を行うことを目指して設計されている。

### 2.1 プロトコルの概要

PTMP ではデータを効率よく転送するために、データ転送に Broadcast を利用している。Broadcast 単体ではデータに対して信頼性を保証することができないため、PTMP では受信側が正常に受信で

きなかったデータは送信側から再送してもらうことでエラー訂正を行い、信頼性を確保している。またパケットごとに正常に受信できたか (ACK) を受信側から送信側に送るのでは ACK によってネットワークが占有されてしまうことが考えられる。また LAN 上のエラー発生率が小さいことを考えると大半のパケットは全受信側で正常に受け取られるため、すべてのパケットに対して ACK を送ることは非効率的と考える。PTMP では正常に受信できた場合の ACK はパケットを受け取った時点では送信せずに一定時間おきにまとめて送信し、異常時の再送要求 (NACK) のみをただちに送信側に送ることで性能の向上を目指した。

また PTMP では送信側と受信側の間で仮想的な回線を維持することとした。これは回線の信頼性を保証するのに必要なことである。さらに送信側の送信バッファの制御や、受信側の受信バッファがあふれないようにするフロー制御を行うにも都合がよい。

## 2.2 PTMP の構造

ここでは PTMP の概略を示す。PTMP の詳細については文献[4]を参照されたい。

図 1 に PTMP サーバの概略構造を示す。サーバ側では接続状況の管理や回線の維持はクライアン

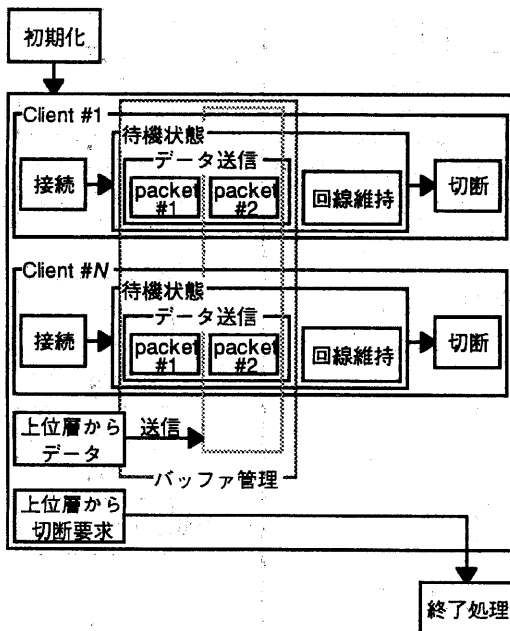


図 1 PTMP サーバの構造

ト単位で行い、データ送信や送信バッファ管理についてはデータ単位で管理される。

図 2 は PTMP クライアントの概略構造である。クライアント側では接続後はサーバとの回線の維持とデータ転送が行われている。

## 3. ネットワーク黒板システム

### 3.1 ネットワーク黒板システムとは

ネットワーク黒板システムとは、一台のディスプレイ上に表示されている内容を多数台のディスプレイ上で表示できるようにするものである。同一の内容を複数のディスプレイ上に表示することで、電子会議や遠隔講義の際の資料提示に利用することができる。

複数のディスプレイ上に同一の内容を表示することは、専用のアプリケーションもしくはハードウェアを利用して行うのが一般的である。しかし、新たにハードウェアを導入するためにはコストがかかり、またそれらのハードウェアの利用方法を習得する必要がある。専用のアプリケーションを利用する場合にはハードウェアを導入するほどのコストは必要でないが、やはり利用方法を習得する必要がある。また、特に講義などの場面においては、普段利用しているアプリケーションをそのまま複数のディスプレイに表示させることが望まれる。

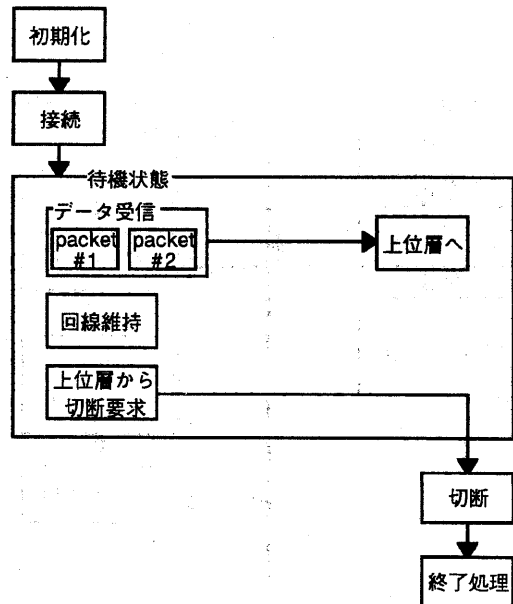


図 2 PTMP クライアントの構造

そこで任意の X Window System 上のアプリケーションに対して、そのウィンドウの内容を複数のディスプレイ上に表示できるようにするものが本ネットワーク黒板システムである。

ネットワーク黒板システムの構造の概略を図3に示す。電子黒板システムでは X プロトコルを取得するために、アプリケーションと送信側 X サーバ間に proxy X server (pX) を挿入している。そして pX から X protocol translator (Xpt) が受信側 X サーバに対して表示を行う。Xpt を経由して表示を行うのは、X プロトコルのデータがサーバに依存しているため、その依存部を送信先の X サーバに合わせる必要があるためである。

本ネットワーク黒板システムの詳細は文献 [5] を参照されたい。

### 3.2 ネットワーク黒板システム下での PTMP の利用

ネットワーク利用の面で問題となるのは、pX と Xpt 間での通信量である。pX から全 Xpt に向けて同一データを送信しなければならないため、受信側の台数が多くなるとネットワークを介して大量のデータが送信されることとなり、電子黒板システムの性能や応答性が低下することになる。同一のデータを多数台に送信する際に Broadcast を利用することで効率化を図ることが可能であるが、黒板システムは信頼性のある回線を要求しているた

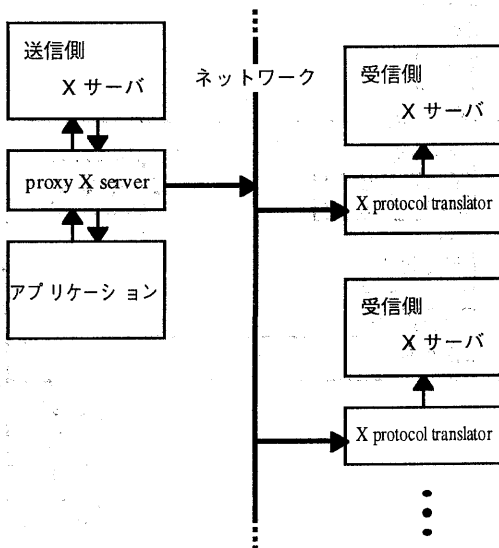


図3 電子黒板システムの構造

め、一般に信頼性を持たない Broadcast を直接利用することはできない。

このような問題点を解決するために PTMP を利用する。PTMP では信頼性のある一対多通信路を供給することが可能なため、黒板システムのネットワーク層として利用することで黒板システムの性能を向上させ、より多数台での利用することが期待される。

図4はネットワーク黒板システムと PTMP を結合させた場合の配置図である。ネットワーク黒板システムと PTMP の間は同一 WS 内で TCP 接続を行っている。

## 4. 性能評価

### 4.1 PTMP 単体での性能評価

PTMP の性能を調べるために以下のような実験を行った。実験には名古屋大学情報処理教育センターに設置されている WS システム [12] を利用した。実験環境を以下に示す。

- ・ WS SPARCStationELC (41台)
- ・ Network Ethernet 10Mbps
- ・ Protocol PTMP / TCP

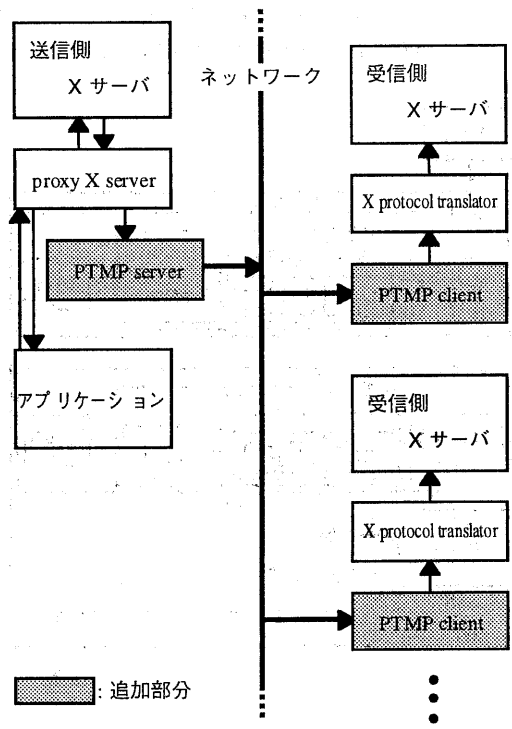


図4 電子黒板システムと PTMP の結合配置

・転送サイズ 2M bytes

ネットワークの状態としては他プロトコルのパケットがほとんど流れていない状態で行った。実験結果を図5に示す。

図5によると、TCPではクライアント台数が増加するにつれて転送に必要な時間が増加している。これはTCPが対一通信であるためである。対してPTMPでは、クライアント台数が増加した場合でも転送に必要な時間はほとんど増加しない。これらの事から、多数台に同一のデータを転送するという用途にはTCPを用いるよりもPTMPを用いた方が高速である。

この実験についてネットワークの利用率を見た場合、40台に転送する場合TCPでは5Mbps程ネットワークを利用するが、PTMPでは1Mbps強しか利用しない。ネットワーク利用率の面においてもPTMPはTCPより優れている。

#### 4.2 ネットワーク上に他パケットが存在する場合の性能評価

前項の実験はネットワークをほぼ占有できる状態で行った。通常の利用時の状況に近づけるため、ネットワークを別アプリケーションも利用している場合についての実験を行った。

実験環境は前項とほぼ同一であり、

- ・WS SPARCStationELC (41台)
- ・Network Ethernet 10Mbps
- ・Protocol PTMP

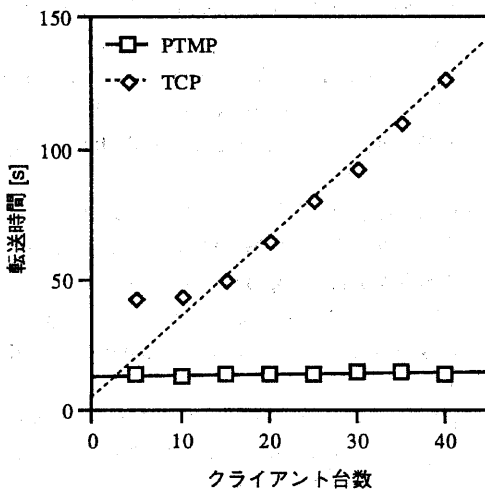


図5 PTMP単体の性能

・転送サイズ 2M bytes

・jamデータ 4.8 Mbps, 7.5Mbps

とした。jamデータはネットワーク上に任意量のパケットを送信する別のアプリケーションを置くことで発生させた。パケットの発生方法は一定時間おきにパケットを発生させることで行った。

データ転送時間の測定結果を図6に示す。図6をみると、4.8Mbps jamパケットの場合にはjamパケットが存在しない場合とほぼ同一の結果を示している。また7.5Mbps jamパケットの場合、4.8Mbps jamパケットの場合と比べると転送時間は5~10秒ほど長くかかっている。これは再送回数が増加しデータ転送量が増大したためである。この場合でもTCPの場合と比べると性能は改善されている。

#### 4.3 電子黒板システム下での性能評価

ここでは電子黒板システムをPTMPと組み合わせることにより性能がどのように変化するかを調べた。性能評価は以下のような条件で行った。

- ・WS SPARCStationELC  
送信側 1台  
受信側 10台~40台
- ・Network Ethernet 10Mbps
- ・Protocol TCP, PTMP
- ・テスト項目 image (500 × 500 dot)  
1オブジェクトを表示するのにかかる時間を測定

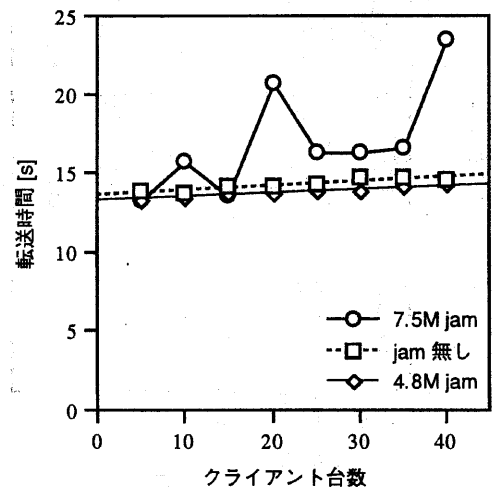


図6 jamパケット存在時の性能

測定結果を図7に示す。図7によると、クライアント台数がおよそ23台程度でPTMPを利用した場合の性能がTCPを複数組利用した場合よりも良くなっている。またPTMPを利用した場合にはクライアント台数が増加した場合でもほとんど性能が変化しないこともわかる。このことからクライアント台数がさらに増加した場合は、性能差はより開いていくと考えられる。

### 5. おわりに

PTMPはLAN上において信頼性のあるデータを効率良く多数台のWSに送信することを目指して作られた。PTMPはデータの転送にBroadcastを利用することでネットワークの効率的な利用を行い、エラー時には再送を行うことでデータの信頼性を維持している。

PTMPの性能をTCPと比較した場合、PTMPはクライアント台数が40台程度までであればほとんど性能が変化しないが、TCPではクライアント台数に応じて増加するため、特に多数台ではPTMPの方がTCPよりも高速である。またネットワークの利用率から見てもPTMPは効率が良い。

また電子黒板システムとPTMPを組み合わせることにより、特に多数台時の性能を改善することができた。PTMPと組み合わせた場合には台数が増加した場合にも性能がほとんど変化しない特徴があるため、さらに台数が増加した場合でも十分な性能を発揮すると思われる。

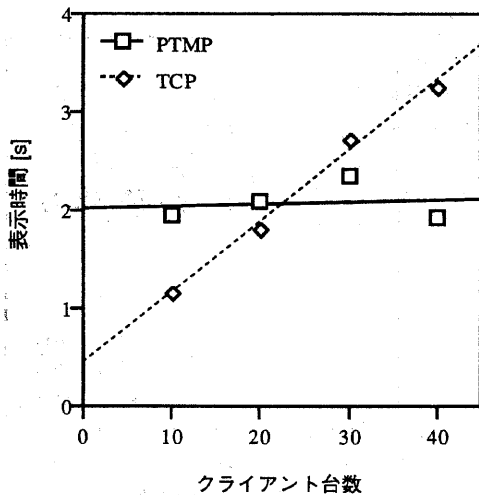


図7 ネットワーク黒板利用時の性能  
(500 × 500 dot image)

今後は40台以上における動作やネットワーク利用率および信頼性について調べる予定である。またプロトコルの論理検証、多対多化などを考えていきたい。

### 参考文献

- [1] J. Postel, "Internet protocol - DARPA Internet program protocol specification," RFC 791, Sept., (1981).
- [2] J. Postel, "Transmission control protocol," RFC 793, Sept., (1981).
- [3] J. Postel, "User datagram protocol," RFC 768, Aug., (1980).
- [4] T. Kawai, M. Ikeda and M. Okada, "Point-to-Multipoint Communication Protocol on Window-based Network Presentation System," IEICE Trans. on Info. and Syst., Vol. E80-D, No. 2, pp. 154-161, (1997).
- [5] 河合, 池田, 岡田, "電子黒板システムとその性能評価", 情報処理学会研究報告 グループウェア研究会 95-GW-14, pp.7-12, (1995).
- [6] M.A. Jolfaei, and M.J. Mattfeldt, "A new efficient selective protocol for point-to-multipoint communication," IEEE ICC '93, pp.1113-1117, (1993).
- [7] H.M. de Lima, and O.C.M.B. Duarte, "An accumulative acknowledgment protocol for point-to-multipoint high speed communications," IEEE Globecom '94, pp.181-185, (1994).
- [8] H. Zhao, T. Sato, and I. Kimura, "New go-back-N ARQ protocols for point-to-multipoint communication," IEICE Trans. on Communications, vol.E77-B, no.8, pp.1013-1022, Aug., (1994).
- [9] S. Deering, "Host Extensions for IP Multicasting", RFC 1112, Aug., (1989).
- [10] 山之上, 藤木, 戸田 他, "並列プログラミングの電子黒板への応用", 情報処理学会第47回全国大会講演論文集(1), pp. 15-16, (1993).
- [11] J. Bazik, "XMX: An X Protocol Multiplexor, Version 1.1", (free software, unpublished work), (1994).
- [12] 岡田, 櫻井, 岩田, "教育用大規模分散型WSシステムの一構成方法", 情報処理学会論文誌, Vol. 37, No. 12, pp. 2447-2456, (1996).