

プロトコル変換ゲートウェイ PTGW の実証実験と評価

岸田崇志[†] 前田香織[‡] 河野英太郎[‡] 角田良明[†]

[†] 広島市立大学大学院情報科学研究科, [‡] 広島市立大学情報処理センター

〒731-3194 広島市安佐南区大塚東 3-4-1

E-mail: takashi@v6.ipc.hiroshima-cu.ac.jp, {kaori,kouno}@ipc.hiroshima-cu.ac.jp, kakuda@ce.hiroshima-cu.ac.jp

あらまし アクセスラインの広帯域化により、インターネット上でのテレビ会議などの映像コミュニケーションの利用が進んでいる。しかし、従来のテレビ会議端末は必ずしもインターネット上の品質低下や、NATやファイアウォールによる通信の制限に対応しているわけではない。そこで、我々はより品質のよいストリーム伝送をより手軽に活用するための機能をゲートウェイに集約し、テレビ会議システムの機種依存性を軽減させるために、プロトコル変換ゲートウェイ PTGW を開発した。これにより、既存の多くのテレビ会議システムの活用を目指す。本ゲートウェイは IP-in-IP によりプロトコル変換が実装され、FEC によるエラー訂正、ポート集約、IPv4/IPv6 トンネル、マルチキャスト/ユニキャストトンネル等の機能を有している。本稿では、PTGW の基本性能の評価及び、実証実験による有用性について示す。

キーワード IP ストリーム伝送, マルチキャスト, テレビ会議システム, インターネット, FEC

Evaluation and Practical Experiment of a Protocol Transfer Gateway

Takashi KISHIDA[†] Kaori MAEDA[‡] Eitaro KOHNO[‡] Yoshiaki KAKUDA[†]

[†] Graduate School of Information Sciences, Hiroshima City University,

[‡] Information Sciences, Hiroshima City University

3-4-1 Ozuka-Higashi, Asaminami-ku, Hiroshima, 731-3194, Japan

E-mail: takashi@v6.ipc.hiroshima-cu.ac.jp, {kaori,kouno}@ipc.hiroshima-cu.ac.jp, kakuda@ce.hiroshima-cu.ac.jp

Abstract Recent teleconference systems have functions for improvement of video quality or for various network environments like NAT and Firewall. These additional functions depend on system implementation. This causes lack of compatibility between various systems. Furthermore, more additional functions will be required to satisfy requirements by network variation. In this paper, we describe a development of a protocol transfer gateway for integration of these functions to solve any problems caused by variation of network environment. We show availability and functions of our gateway like error recovery using FEC code, port aggregation, translation between IPv4 and IPv6, and multicast tunneling.

Keyword IP streaming, multicast, teleconference system, the Internet, FEC

1. はじめに

広帯域ネットワークの普及により、ネットワークの利用形態が多様化し、様々なコミュニケーションが可能になっている。特に、IPストリームを用いた映像コミュニケーションは、ワークスタイルやライフスタイルをも変革しようとしている。テレビ会議システムはその典型的な例である。テレビ会議システムには、狭帯域でも使用できる Microsoft 社の Netmeeting[1]、Polycom 社の ViewStation[2]の他、高品質映像を対象とした MPEG4 や MPEG2 など既に多くの製品[3][4][5]も出ている。しかし、このようなシステムをインターネット上で利用しようとする、現状ではいくつかの問

題点に直面する。

1 つはネットワーク性能に起因する映像品質劣化の問題である。一般的に、テレビ会議システムでは UDP(User Datagram Protocol)や RTP(Real-time Transport Protocol)でデータを送受信するものが多く、ベストエフォート型のインターネットでは、パケット損失やジッタによる影響が大きくなり、その影響で映像や音声の品質が劣化することがある。特に、パースト的なパケット損失は映像や音声の品質の著しい劣化をもたらす。

もう 1 つは、ネットワーク構成に起因する問題である。ファイアウォールや NAT(Network Address

Translation)環境下でテレビ会議システムを使用する機会も多い。テレビ会議システムによっては複数のポートを利用するものや、使用ポートが固定できないものもあり、運用ネットワークにおいてファイアウォールの変更が必要となる場合もある。しかし、運用上ファイアウォールの変更が困難な場合も多い。その他、マルチキャストや IPv6 を利用する要求などもある。マルチキャストを利用する場合、ネットワークがマルチキャストに対応していなければならず、途中の経路上の全てのネットワークをマルチキャスト対応にすることは難しい。これは IPv6 通信においても同様である。

既存のテレビ会議システムは、こうした現状に対応するため様々な機能を持つようになってきており、同一機種でもバージョン間の互換性がないなど、システムの互換性は低くなる傾向にある。

そこで、我々は前述の2つの問題を解決するアプローチとして、テレビ会議システムを高機能化するのではなく、付加すべき機能をプロトコル変換システムとして集約することとした。プロトコル変換の個々の要素技術は既存のものを用いるが、開発したプロトコル変換ゲートウェイ(以降、PTGW:Protocol Trasfer GateWay)はテレビ会議等ストリーム伝送に必要なとされる機能に焦点を当て、それらをまとめてシステムを開発した。これにより、利用者がテレビ会議システムやネットワーク構成に依存しないで、映像コミュニケーションの利便性を享受することができる。

本稿では、PTGWについて基本性能の評価及び、実証実験による評価を示す。2章ではPTGWの概要を述べ、3章でシステムに関する評価を行う。4章では本システムの利用事例を示し、最後に5章でまとめと今後の課題を述べる。

2. プロトコル変換ゲートウェイ PTGW

2.1. 特長

開発した PTGW は、テレビ会議システムで要求される機能を PTGW に集約し補完することにより、ネットワークの変更を軽減し、さらに、テレビ会議システムの機種依存性を軽減させることを目指している。受信した IP パケットに、さらに IP ヘッダ/UDP ヘッダなどを付加し、IP-in-IP でトンネリングすることで、プロトコル変換を実現する。これにより、DVTS や Polycom などのテレビ会議システムの多くに対応することができる点が特長である。

PTGW は大きく分類して、以下の2つの機能をもつ。

1) ネットワークの性能補完

PTGW にはストリーム伝送の品質を確保するために誤り訂正機能が実装されている。特に、インターネットで起きるパケット損失はバースト的なものが多いため、パケット損失への対応としてバースト損失に強い

Reed-Solomon 符号(以降、RS 符号と表記)を用いた FEC(Forward Error Correction)を採用した。

2) ネットワークの構成補完

ネットワークの構成面の問題を解消するため、PTGW は以下の機能を持つ。

- ポート集約機能
- マルチキャストトンネル機能
- IPv4/IPv6 トンネル機能

ポート集約機能は、テレビ会議システムが複数のポートを使用する場合、特定の1つのポートに集約する。特定のポートに集約することで、管理者はファイアウォールなどの設定の変更を最小限にとどめることができる。

マルチキャストトンネル機能は、テレビ会議システムから送信されたマルチキャストパケットを PTGW 間をユニキャストでトンネルすることにより実現している。これにより、途中経路上の全てのマルチキャストルータの設置は不要となる。本機能は、マルチキャストパケットをトンネルするのみの機能であり、マルチキャストルーティングは行わない。

IPv4/IPv6 トンネル機能は、テレビ会議システムが送信した IPv4 パケットを IPv6 ネットワーク上で通信可能とするため、PTGW において IPv6 パケットでカプセル化を行っている。また、IPv6 パケットを IPv4 パケットでカプセル化することも可能である。

それぞれのエンドネットワークに PTGW を置くことで基幹ネットワークの変更を行うことなく、必要なネットワーク機能の補完を行うことができる。

2.2. 構成と動作概要

図 1 にシステム構成を示す。開発した PTGW(図 1 では PTGW A と PTGW B に相当)は、ファイアウォール配下や、インターネットのようにパケット損失が起りやすいネットワークの出入り口などプロトコル変換の必要なネットワーク上に設置される。

その際、テレビ会議システムのデフォルトゲートウェイを PTGW に向けるよう設定して使用する。

図 1 を用いて、Sender から Receiver へのパケット転送の概要を以下に示す。

- 1) Sender はテレビ会議システムなどのストリーム伝送アプリケーションを表し、通信相手を通常通り指定する。アプリケーションの設定方法に従い Sender のデフォルトゲートウェイは PTGW A に向けているので、Sender から出力される全ての IP パケットは PTGW A に向け送信される
- 2) PTGW A は Sender が送信した IP パケットを受信すると、受信したパケットの IP ヘッダの宛先アドレスを参照し、プロトコル変換が必要か否かを判断する。必要な場合は、図 2 の Transmit module のア

アプリケーション層でPTGWヘッダを付加する。その後、ソケットを通じUDPヘッダと宛先をPTGW BとするIPヘッダを付加し(カプセル化)、Router Aにそのパケットを転送する。PTGW間はUDPで通信が行われる。この際、テレビ会議システムが複数のポートを利用する場合は、任意の1ポート(デフォルトは9004番)に集約される。

Sender から送信されたパケットが UDP の場合は、FECによる冗長化が可能である。冗長化を行う場合は、設定に応じて任意の冗長度を指定しFECエンコード処理を行い、冗長パケットを生成し送信する。

TCPの場合は、冗長化は行わない。また、プロトコル変換不要なパケットは、図2のネットワーク層でカプセル化せずそのままRouter Aに転送される。

- 3) PTGW BはPTGW Aからカプセル化されたパケットを受信し、脱カプセル化する。冗長化されている場合はデータパケットと冗長パケットからFEC演算を行う。パケット損失があれば、誤り訂正を行い損失したパケットを回復させ、元のIPパケットを取り出す(図3)。そして、取り出されたIPパケットは本来の宛先であるReceiverに送信される。

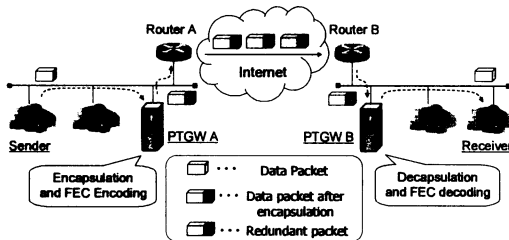


図 1. システム構成

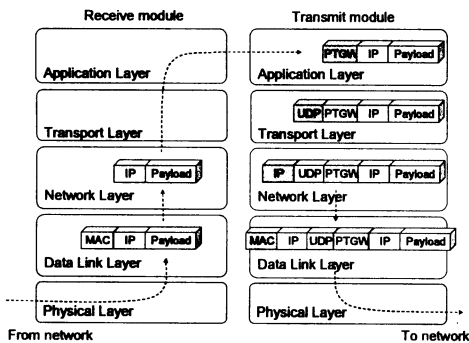


図 2. カプセル化処理

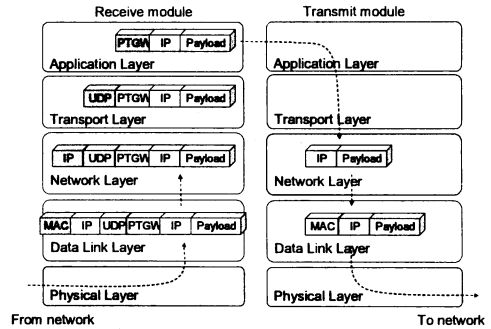


図 3. 脱カプセル化処理

2.3. 開発環境と動作確認

PTGWの開発は、OSはFedora core 2(kernel 2.6.9), Redhat Linux 8.0(kernel 2.4.28), CPUはPentium4 3.2GHz, Memoryは1GByteのPC上でC言語(gcc-3.3.3)を用いて開発を行っている。PTGWは、IP-in-IPを用いているので多くのテレビ会議システムと併用して利用可能だが、現状で動作確認を行ったものは以下の通りである(括弧内は各システムで利用できる代表的な画像符号化方式)。

- VIC/RAT[7] (H.261)
- VideoLAN[8] (H.261,MJPEG)
- DVTS[9] (DV)
- Robst[10] (MPEG2-SD,HD:High Definition)
- Victor DM-NE300/ND300[3] (MPEG2-SD)
- OKI Visualcast-SS[5](MPEG4)
- Netmeeting[1](H.261,H.263)
- Polycom Viewstation[2](H.261,H.263)
- Sony PCS-1[11] (H.261,H.263)

エンドシステムの動画像伝送機能だけでなく、PTGWを介してPolycom Viewstationでは、H.281によるカメラ操作が可能なのも確認した。また、Netmeetingでは、ホワイトボードの共有やチャットも行えることを確認している。

3. 評価

PTGWの基本性能を評価するために、2つの観点で評価を行った。3.1では、ネットワーク性能を補完する機能に関して、PTGWのパケット誤り訂正能力の評価について述べる。3.2では、テレビ会議システムと併用した際にどの程度のストリーム伝送能力を持つかを調べるため、PTGWを介した時のデータ転送能力やオーバヘッドの評価実験について述べる。

3.1. パケット誤り訂正能力

RS符号を用いたFEC機能の検証を行った。PTGWに実装した機能は文献[12][13]と同じ誤り訂正能力を持ち、例えば、RS(15,13)符号(K個がデータパケットで、N-K個が冗長パケットである場合、RS(N,K)と表記す

る)を用いた場合、10%のパケット損失を4.1%程度、また、RS(15,11)符号を用いた場合、0.3%程度に押さえることができる。

それぞれの冗長度においてFEC復元前のパケット損失率とFEC復元後のパケット損失率の理論値と実測値はほぼ等しくなることを確認している[14]。

3.2. オーバヘッドの測定

PTGWではパケットのゲートウェイ中継時に、IPトンネリングを行うため、それらのヘッダ分の帯域増加やFEC処理による冗長パケット分の帯域増加などのオーバーヘッドが生じる。本節では、PTGW使用時のスループットや遅延時間を測定した。また、理論式により帯域増加率を算出した。

3.2.1. 実験環境

実験は図4で示した構成で行った。表1に実験に使用した機器の仕様を示す。

図4中のRouterは、市販ルータ(Allied Telesis社のCentreCOM AR450s)を用い、実験ネットワークを二つのセグメントに分けている。Subnet Aはグローバルアドレス、Subnet Bはプライベートアドレスを持ち、両者の間でNATを用いる構成である。実験では、NLNR(National Laboratory for Applied Network Research)が開発した帯域測定ツールIperf[15]を使用し、Host AからHost Bに向けて設定した任意の帯域でストリームを送信した。図4でHost Aから送信されたパケットは、PTGW Aでカプセル化され、ルータを通過した後、PTGW Bで脱カプセル化され、Host Bに到達する。

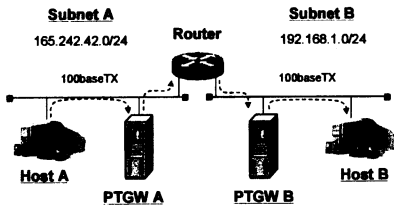


図4. 実験環境

表1. 測定で用いたPCの仕様

	OS	CPU	Memory
Host A	Vine Linux 3.1	PentiumIII 1GHz	512MB
Host B	Fedora core 3	PentiumIII 1GHz	384MB
PTGW A	RedHat Linux	Pentium4 3.2GHz	1024MB
PTGW B	Fedora core 2	Pentium4 3.2GHz	1024MB

3.2.2. スループット測定

テレビ会議システムがPTGWを通過することでどの程度スループットに影響がでるか(1)PTGWを通過した場合と通過しない場合のUDP/TCP転送レート、(2)PTGWでFECによる冗長化を行った場合のUDP転送レートの2つの項目において測定を行った。

測定に使用したIperfのパラメータは、UDP転送レ

ートの測定の場合、ペイロード長は1400byte、計測時間60secで設定した任意の帯域での平均値を測定した。TCPの転送レートの測定の場合、100Mbyteのデータを転送し、その間の平均転送レートを測定した。TCPのウィンドウサイズは16Kbyteとした。

1) UDP/TCPデータ転送レート

計測結果を表2に示す。表2より、UDPの場合、PTGWを通過した場合は、PTGWを通過しなかった場合に比べ、スループットの最大値が約1.6Mbps低下していた。これは、PTGWのトンネリングによるヘッダの増加分のオーバーヘッドによる帯域低下である。TCPの場合、PTGWを通過することで3.2Mbpsスループットが低下した。

表2. UDP/TCPデータ転送レート

	スループット (Mbps)	
	UDP	TCP
ルータのみ	94.3	94.0
PTGWを通過した場合	92.7	90.8

2) 冗長化した場合のUDPデータ転送レート

一般にFEC処理は計算量が増加するために処理負荷が高く、データ転送レートに影響を与える。そのため、FEC処理により冗長化した場合のデータ転送レートを測定した。計測結果を図5に示す。PTGW AにおけるFECエンコード演算の処理負荷によりPTGW Aの送信帯域が飽和し、スループットの低下を招いている。

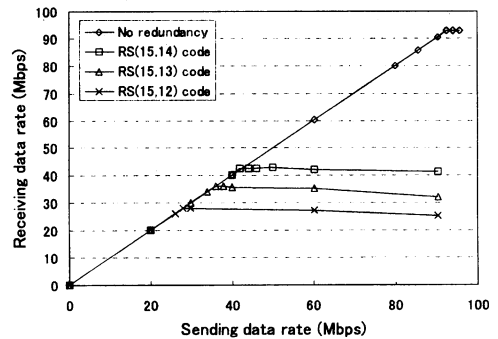


図5. 冗長化した場合のUDPデータ転送レート

3.2.3. 帯域増加率

1) PTGW通過によるオーバーヘッド

PTGWによる帯域増加率は、(1)式で表される。

$$B_t = \frac{hdr + Pl}{Pl} \quad (1)$$

$$B_r = \frac{(hdr + mps)(n-k) + \sum_{i=1}^k (hdr + x_i)}{\sum_{i=1}^k x_i} \quad (2)$$

ip: IPヘッダ長(IPv4,option無し)[20byte]
udp: UDPヘッダ長[8byte]
ext: PTGWヘッダ長(冗長化無し[8byte],冗長化時[20byte])
hdr: *ip,udp,ext*の和
PI: ペイロード長
mps: 最大ペイロード長
n,k: 冗長度(*N,K*)に対応する
x_i: *RS*符号ブロック中で*i*番目に受信したペイロード長

(1)式の *hdr* は IP ヘッダ長 20byte, UDP ヘッダ長 8byte, PTGWヘッダの基本ヘッダ 8byteの和の 36byteとなる。ゲートウェイ間の通信はこれらのヘッダでカプセル化されるため、PTGWを通過することでパケット長は *hdr* 分長くなる。

2) 冗長化した場合

ゲートウェイ間の通信を冗長化した帯域増加率 *Br* は、(2)式で表される。(2)式中の *hdr* は、IPヘッダ長 20byte, UDPヘッダ長 8byte, PTGWヘッダの基本ヘッダ 8byteと FECヘッダ 12byteを加え 48byteである。

冗長化する場合、付加されるUDPヘッダ、IPヘッダ及びPTGWヘッダ以外にも、冗長パケットにより帯域増加を招く。また、冗長パケットのサイズ *mps* と拡張パケットのヘッダのサイズ分帯域が増加する。*mps* は 1 ブロック内の最大ペイロード長で、このサイズでFECエンコードの演算処理を行う。ペイロード長が 1400byteの場合の帯域増加率を表 3に示す。ペイロードは固定長で 1400byteとしているため、(2)式の *x_i*及び *mps* は 1400となる。しかし、ペイロードが可変長の場合、表 3で求めた *Br* よりも値は大きくなる。これは冗長パケットがFECエンコードを行う際に最大のペイロード長に合わせるためである。

表 3. 帯域増加率

冗長度	なし	(15,14)	(15,13)	(15,12)	(15,11)
帯域増加率	1.026	1.108	1.193	1.293	1.410

3.2.4. 遅延時間

PTGWを通過することで、a)PTGWを介することによる転送遅延が生じるとともに、b)PTGW内部での処理遅延が増加する。a)とb)の遅延がどの程度になるか調べるために、pingコマンドを用いて、ICMP echo request/replyパケットを用い遅延時間の測定を行った。測定は図 4の構成で、Host BからHost Aに向けてICMPパケットを送信し、ICMPパケットのデータ長を 100byteから 1400byteに変化させ、各々往復 240 回分の平均値を測定した。

測定結果を図 6に示す。図 6より、PTGWを通過することで約 0.5ms程度の遅延が発生していることが分かる。

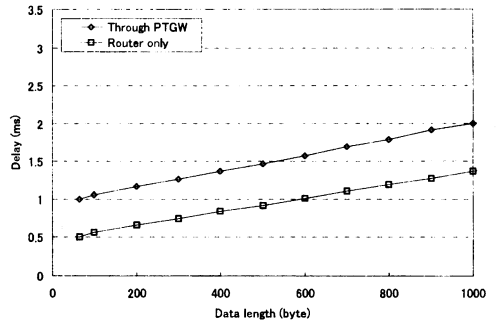


図 6. PTGW を介することによる RTT の変化

3.2.5. ジッタ

PTGWを通過することにより生じるジッタを測定した。測定に使用したIperfのパラメータは、ペイロード長 1400byte, 8Mbpsの帯域で計測時間 60secである。測定結果を表 4に示す。PTGWを通過することで、0.07msジッタが増加する。また、冗長度を増加していくにつれジッタが増加している。これはFEC演算の処理負荷によるものである。

表 4. PTGW により生じるジッタ

	冗長度	ジッタ (ms)
ルータのみ	—	0.04
	なし	0.11
PTGW を通過した した場合	(15,14)	0.61
	(15,13)	0.63
	(15,12)	0.83
	(15,11)	1.25

4. PTGW の利用事例

4.1. マルチキャストトンネル機能

2004 年度から運用が始まったJGN II(Japan Gigabit Network II)[16]が提供するIPv6 ネットワークであるJGNv6を利用して、広島市立大学、広島大学、佐賀大学間で週一回の遠隔ゼミを実施している。

ゼミではエンドシステムとして動画像伝送にRobst[10]、音声伝送にMRAT[12]を用いた。両システムともLinux上で動作する。

このうち 3 地点間のリアルタイムな議論を実現するため、MRATはマルチキャスト通信が必要であった。そこで、JGNv6がマルチキャスト対応になるまでの半年間、マルチキャストを利用するために開発したPTGWを用いてMRAT(送信帯域は 128kbps)を使用した。その際の構成図を図 7に示す。

3大学にPTGWを設置し、図 7の点線で示す区間に、各々の拠点間でマルチキャストトンネル機能を用いマルチキャストトンネルを張り運用した。PTGW間ではカプセル化されたMRATのマルチキャストパケットをPoint-to-Multipoint(一対多地点ユニキャスト)でそれぞれ

れの拠点に配送した。

この際、PTGW間はFEC機能によりRS(15,13)符号を用い冗長化を行い、品質改善も行った。このように、基幹ネットワークを変更するためにはコストや制度的な制約で時間が掛かることも多いが、PTGWを用いることによって容易に擬似的にマルチキャスト通信を実現できた。

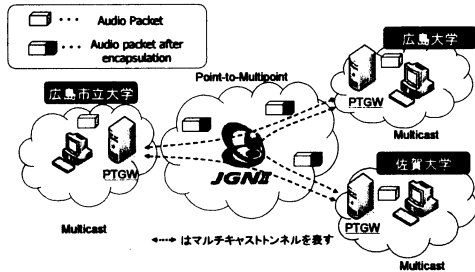


図 7. 音声伝送システムの構成図

4.2. IPv6/IPv4トンネル機能

2005年2月に実施された札幌雪祭りではIPv6/IPv4トンネル機能を用いた配送実験を行った。実験構成図を図8に示す。実験ではJGNv6からRIBB2[17]へRobstの映像ストリームの再配信を行う形で行った。RIBB2は、現在、IPv6及びIPマルチキャスト通信には対応していない。そこで、PTGWを利用し、複数の拠点に対し、マルチキャストトンネル機能、IPv6/IPv4トンネル機能、FEC機能を用い透過的にJGNv6から送出されるIPv6マルチキャストパケットを配送できた。

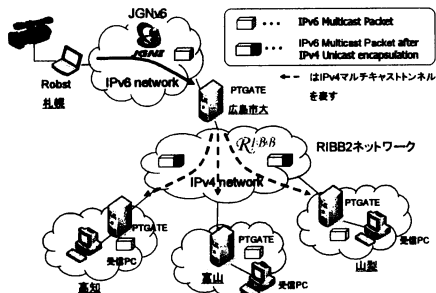


図 8. 札幌雪祭り配送実験

5. おわりに

本稿では、テレビ会議等ストリーム伝送に必要なとされる機能に焦点を当て、利用者がテレビ会議システムやネットワーク構成に依存しないで、映像コミュニケーションの利便性を享受することができるシステムPTGW開発とその基本性能の評価について述べた。

我々は映像の品質を向上するために、パケット損失だけでなく、遅延やジッタなどのパラメータに関しても考慮する必要があると考えている。今後は、他のパラメータの影響も改善するようなゲートウェイのフレ

ームワークを検討していくとともに、実証実験によって、PTGWの評価を深めたい。

謝辞

本研究に際し、広島大学大学院工学研究科 近堂徹氏、同大情報メディア教育研究センター 相原玲二教授と西村浩二助手に有益なご助言を頂き感謝致します。また、JGN II 地域間相互接続実験プロジェクトII(JGN2-A16020)の皆様にご協力頂きました。さらに、本研究の一部は情報通信研究機構 JGN II 研究プロジェクト(JGN2-A16010)の支援を受けて実施されている。ここに記して感謝の意を示す。

文献

- [1] Netmeeting, <http://www.microsoft.com/>.
- [2] Polycom Viewstation, <http://www.polycom.com/>.
- [3] Victor DM-NE300, <http://www.jvc-victor.co.jp/pro/net-enc/dm-ne300/>
- [4] Victor DM-NC40, <http://www.jvc-victor.co.jp/pro/net-enc/dm-nc40/>.
- [5] Visualcast-SS, <http://www.oki.com/jp/SSC/broad-media/Visualcast/>.
- [6] ITU-T Recommendation H.323, <http://www.itu.in-t/>.
- [7] Robust Audio Tool, Video Conference Tool, <http://www.mice.cs.ucl.ac.uk/multimedia/software/>.
- [8] VideoLAN, <http://videolan.org/>.
- [9] DVTS, <http://www.dvts.jp/>.
- [10] Robst, <http://net.ipc.hirosima-cu.ac.jp/mpeg2ts/>.
- [11] Sony PCS, <http://www.sony.jp/products/Professional/VIDECONF/>.
- [12] 岸田崇志, 前田香織, 河野英太郎 “多様なコラボレーションを実現する音声伝送システム,” 情報処理学会論文誌, Vol.45, No.2, pp.517-525, Feb. 2004.
- [13] 近堂徹, 西村浩二, 相原玲二, 前田香織, 大塚玉記, “高品質動画伝送における FEC の性能評価,” 情報処理学会論文誌, Vol.45, No.1, pp.84-92, Jan. 2004.
- [14] 岸田崇志, 鈴木宏治, 前田香織, 河野英太郎, “IPストリーム伝送のための誤り訂正機能をもつアプリケーションゲートウェイの開発,” 情報処理学会研究報告, 2004-DSM-33, pp.81-86, May 2004.
- [15] A. Tirumala, F. Qin, J. Dugan, J. Ferguson, and L. Gibbs, “Iperf: The TCP/UDP bandwidth measurement tool,” <http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf/>.
- [16] Japan Gigabit Network, <http://www.jgn.nict.go.jp/>.
- [17] Regional Internet Backbone, <http://www.ribb.org/>.