

NAIST-IS-DT9561036

博士論文

Internetにおける広域な動画像通信環境の
構築に関する研究

普天間 智

2000年2月7日

奈良先端科学技術大学院大学
情報科学研究科 情報システム学専攻

本論文は奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科に
博士(工学) 授与の要件として提出した博士論文である。

論文番号： NAIST-IS-DT9561036

提出者： 普天間 智

審査委員： 山本 平一 教授
小山 正樹 教授
福田 晃 教授
山口 英 助教授

提出日： 2000年2月7日

Internetにおける広域な動画像通信環境の 構築に関する研究*

普天間 智

内容梗概

情報化社会と言われる今日、Internetの果たす役割は大きい。データ通信用のネットワークとして成長してきたInternetは、誕生して30年が経過した現在、マルチメディア通信のコミュニケーション基盤として注目されている。その理由として、Internetの設計の柔軟性によるメディア融合の容易性、ネットワークの広帯域化と低価格化、計算機の性能向上、圧縮技術の進歩、WWWの登場によるマルチメディア情報の扱いが容易になったことが挙げられる。

Internet上での双方向コミュニケーションとして、遠隔会議、遠隔講義、遠隔医療などが増えてきている。このような双方向コミュニケーションでは動画像通信の重要性は高い。動きのある映像は言葉だけの説明よりも直感的に理解しやすく、円滑なコミュニケーションを促進するためである。一方、放送の分野では、Internetとテレビを融合して新たな情報空間を作りだそうという動きがある。このような動きは、Internetが広域な動画像通信を実現するインフラとして認知されてきたことに他ならない。しかし、Internet上で広域な動画像通信を行う場合に解決しなければならない問題が2つある。

1つめの問題は、ユーザのInternet利用環境の違いである。ビデオ会議に対する要求は古くから存在したため、それを実現するアプリケーションが多く存在するが、データ符号化形式やアプリケーションプロトコルの違いにより、異なるビデオ会議アプリケーション同士では通信が行えない。ビデオ会議における定番のアプリケーションは存在しないため、ユーザは通信相手によってアプリケーション

*奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 情報システム学専攻 博士論文, NAIST-IS-DT9561036, 2000年2月7日.

を使い分けなければならない。Internet 上での広域なビデオ会議を行うには、全参加者が同じアプリケーションを使用しなければならないという問題を生じる。また、ネットワーク帯域の格差も問題となる。広帯域のネットワークと狭帯域のネットワークが混在する Internet では、広域に動画像通信を行う場合、通常狭帯域のネットワークに合わせてデータ量を調整するが、広帯域のネットワークでは帯域に余裕があるにも関わらず低品質のデータしか受け取れないことになる。本研究では、これらの利用環境の違いを吸収するために、アプリケーションゲートウェイを介した通信モデルを提案し、データ符号化形式とアプリケーションプロトコルの相互変換とフレームレート削減によるトラフィック調整の機能を持つ PRISM (PRactical Inter-videoconferencing System Model) を開発した。

2つめの問題は、大規模な情報発信における問題である。Internet のマスメディア化を考えた場合、大規模な情報発信が必要になるが、Internet には、ネットワーク帯域の格差、マシンの処理能力、アプリケーションの普及率などの問題があるため、それらを考慮した情報発信システムの設計と構築が必要である。しかし、このようなシステム構築の指針は明らかではない。本研究では、大規模情報発信システムの一例として、全国高等学校野球選手権大会の様態を Internet にライブ中継するシステムを設計、構築した。そして、構築したシステムを運用を通して、マスメディアとしての Internet の現状と可能性、将来における課題を明らかにした。

本論文では、上記で述べた広域動画通信における2つの問題とそれに対する本研究の取り組みについて述べ、得られた成果と今後の課題を述べる。

キーワード

広域動画像通信, メディアゲートウェイ, リアルタイム中継, WWW, Internet

Studies on Globalization of Video Communication over the Internet*

Satoshi Futenma

Abstract

Communicating is the most fundamental activities of the human race. There has been many communications with various media over the various infrastructure from the ancient days. Today the Internet is expected to be an infrastructure of multimedia communications. The Internet is easy to integrate the different media because of the flexibility of its design, appearance of broadband networks, performance improvements of machines, establishment of media compression standards, popularity of World-Wide Web and so on. Video is the most important media in multimedia communications for the reason that a speaker's gesture can help listners to understand his intentions. However, there are two problems to solve in realizing a global video communication over the Internet.

The first problem is the differences resided on the Internet, where various applications are used and which consists of various bandwidth networks. Most of the video conferencing tools cannot communicate each together because data formats and protocols used in them are poor of compatibility. In a wide area network such as the Internet, it is difficult to have all participants use the same tools. Furthermore, because the network bandwidth is not uniform in the Internet, sources limit their transmission rates to accommodate the lowest bandwidth links, even though high-bandwidth connectivity might be available to many of the participants. We propose PRISM(PRACTICAL Inter-videoconferencing System Model) as

*Doctor's Thesis, Department of Information Systems, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, NAIST-IS-DT9561036, February 7, 2000.

a platform. Because PRISM works as an application gateway which can convert data formats or protocols, various video conferencing tools can communicate with each other.

The second problem is concerning multimedia information service for various kinds of networks with a large number of users. The Internet has become a new form of mass media covering the whole world. Compared with the other mass media such as TV, radio, and newspapers, the Internet has the advantage of being interactive. However, the current Internet has several limitations. Its network bandwidth is still too narrow to carry a full-motion video stream and because it is based on the client/server model, its servers require powerful processors to support the huge number of users scattered over the Internet. As a result, we have to take care designing and implementing network services for the Internet, but it is not clear. We designed and implemented our multimedia information service systems and then applied them to the baseball game live feed experiment over the Internet.

This thesis describes two approaches to realize global video communication on the Internet. First approach is the application gateway "PRISM" which achieves transparency in communication among different applications and among different networks. After we explained a design and implementation of PRISM, a result of experiments to show PRISM's effectiveness was reported. The second approach is the experience in making a multimedia information feeding system for large-scale social events. A case study on the system for high-school baseball games in Hanshin Koshien stadium is explained. Furthermore we report access results through the Koshien baseball tournaments.

Keywords:

mass video communication, media gateway, media fusion, multimedia information providing, Internet

目次

1 序論	1
1.1. Internetの発展と普及	1
1.2. マルチメディア網としてのInternet	4
1.3. 広域動画像通信における課題	5
1.3.1 ネットワーク帯域の格差	5
1.3.2 安定した帯域確保の難しさ	6
1.3.3 アプリケーションによる格差	7
1.3.4 マシン性能の限界	7
1.4. 本研究で対象とする題目	7
1.4.1 利用環境の格差吸収に対する取り組み	7
1.4.2 大規模な情報発信に対する取り組み	8
1.5. 本論文の構成	9
2 関連技術	11
2.1. IPマルチキャスト	11
2.1.1 マルチキャストの限界	12
2.2. RTP (Real-Time Transport Protocol)	12
2.3. RTSP (Real-Time Streaming Protocol)	13
2.4. WWWとその基礎技術	14
2.4.1 HTML	14
2.4.2 HTTP	14
2.4.3 代理サーバとキャッシング	14
3 アプリケーションゲートウェイによるビデオ会議システムの相互接続	17

目次

3.1. まえがき	17
3.2. 既存の研究	19
3.2.1 様々なデータ符号化形式に対応した vic	19
3.2.2 ネットワーク帯域の違いを吸収する video gateway	20
3.2.3 階層的符号化	21
3.3. PRISM の設計	22
3.3.1 通信モデル	22
3.3.2 要求される機能	22
3.3.3 動作原理	26
3.3.4 PRISM サーバの構成	27
3.3.5 モジュール間のデータフロー	30
3.3.6 データ中間形式	33
3.4. PRISM の実装	34
3.4.1 実装環境	34
3.4.2 実装した機能	34
3.4.3 実装における工夫	35
3.5. 動作確認実験	38
3.5.1 相互接続	39
3.5.2 スループット	40
3.5.3 PRISM サーバにおける遅延時間	41
3.6. 今後の課題	43
3.7. むすび	45
4 テレビと Internet の融合の試み	47
4.1. まえがき	47
4.2. Internet 中継システム設計の指針	48
4.2.1 リアルタイムな情報生成	48
4.2.2 大量アクセスへの対処	49
4.2.3 視聴環境の違いを考慮したサービス設計	49
4.3. 本研究の取り組み	50
4.4. 甲子園大会中継システム的设计	50

4.4.1	サービス設計	51
4.4.2	システム設計	52
4.5.	甲子園大会中継システムの構築	53
4.5.1	情報生成システム	54
4.5.2	情報提供システム	57
4.5.3	障害対策と安定運用	60
4.5.4	Internet 接続	61
4.6.	アクセス結果	61
4.7.	考察	64
4.8.	将来への展望	64
4.8.1	デジタル放送との融合	66
4.8.2	今後期待される新しい技術	66
4.9.	むすび	67
5	結論	69
5.1.	本研究の成果	69
5.1.1	Internet における利用環境の違いの吸収	69
5.1.2	Internet における大規模な情報発信	70
5.1.3	視聴傾向の2極化	71
5.2.	今後の課題	71
5.2.1	動的な QoS 制御	71
5.2.2	高速な情報提供サーバの構築	71
	謝辞	73
	研究業績	81

図目次

1.1	Internetにおけるホスト数の増加	2
3.1	アプリケーションゲートウェイ PRISM	23
3.2	PRISM ネットワーク (太線内)	24
3.3	アプリケーションからユニキャスト通信で受信したデータの転送	27
3.4	アプリケーションからマルチキャスト通信で受信したデータの転送	28
3.5	他のサーバから受信したデータの転送	28
3.6	PRISM サーバの構成	29
3.7	プロトコルモジュール間通信	31
3.8	サーバ間のデータ転送	32
3.9	PRISM を介した nv/vat と ivs の相互接続	39
3.10	サーバ内での遅延時間 (nv → ivs)	44
3.11	サーバ内での遅延時間 (ivs → nv)	44
4.1	中継システムの構成	54
4.2	ビデオクリップ生成 GUI “Sylphide”	57
4.3	試合中継のページ	58
4.4	ドメイン別アクセス分布	62
4.5	ホスト別アクセス分布	62
4.6	大会期間中のアクセス変化	63
4.7	大会12日目のアクセス数推移	63
4.8	データ種別アクセス分布	65
4.9	データ送出時間の分布	65

表目次

1.1	多様なアクセス網サービス	3
1.2	動画像における圧縮技術の標準	4
3.1	プロトコルとデータフォーマットの互換性	18
3.2	プロトコル及びデータフォーマット一覧	35
3.3	H.261の符号化モード	37
3.4	実験に使用したマシンの性能	40
3.5	PRISMサーバのスループット	41
3.6	PRISMサーバが出すデータのフレームレート	41
3.7	フレーム当りの各モジュール処理時間平均	42
4.1	中継システムのマシンスペック	55

第1章

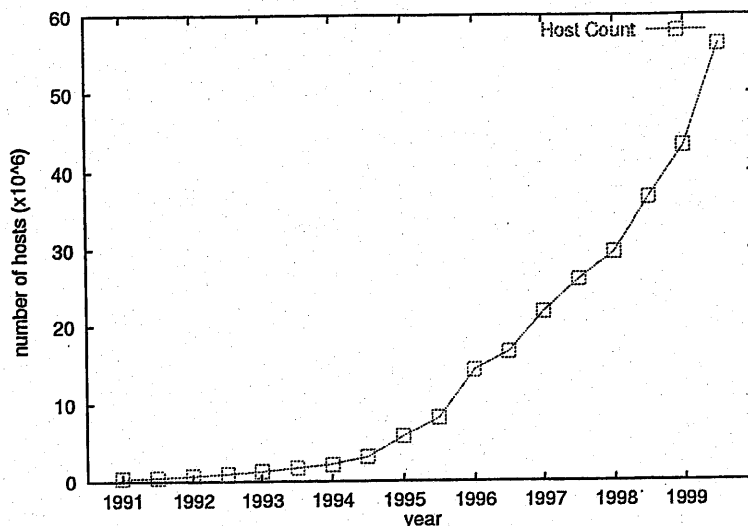
序論

データネットワークとして発展したInternetは、現在、マルチメディアネットワークとして注目を浴びている。本章では、Internetの発展と普及について説明し、コミュニケーション基盤としてInternetが重要であることを述べる。

1.1. Internetの発展と普及

科学の発展に対して、データネットワークが与えた貢献度は非常に高い。プログラムやデータを遠隔地にあるスーパーコンピュータへ送信し、結果を回収するためにデータネットワークは不可欠である。大気の状態や穀物の生産、航空路のトラヒックといった種々の事柄に関するデータがネットワークで送受され、複雑かつ大規模なシミュレーションが行われている。

1969年のARPANETに端を発するInternetの普及は目覚しく、ここ数年におけるInternet上のホスト数は指数的に増加を続け(図1.1)、1999年7月にはホスト数が5000万台を超えた[1]。Internetの利用者数も増えており、1999年3月時点での世界のInternet人口は1億6000万人を超えたと言われている[2]。ここ4~5年のInternetの急速な普及にともない、我が国の中学校、高等学校では、Internetを授業科目として新たに採用したところも少なくない。Internetはあらゆる場面で利用されている。メール、NetNews、BBS(掲示板)、チャット、ページャ、ビデオ会議、インターネット電話などの双方向コミュニケーションの通信基盤として利用される以外に、コンサートやスポーツなどの各種イベント中継などの放送メディアとして、またオンラインショッピングの広告媒体としてなど、新たな情報発信メディアとして使われることも増えてきた。企業においては、本店と支店



Source: Internet Software Consortium [1]

図 1.1 Internet におけるホスト数の増加

を結ぶネットワークとして Internet を利用するケースが増えてきており、平成 11 年度の通信白書 [2] によれば、日本における Internet の企業普及率は 80.0% と非常に高い普及率を示している。他にも、一見 Internet と結びつきそうにない、自動車や家庭電気製品も Internet に接続して各種制御や情報取得を行おうという動きがあり、Internet の利用形態は無限である。さらに、Internet は複数のネットワークが相互に接続しあい、個々のネットワークが自律した広域分散システムであるため、通信経路に冗長性があり、1995 年の阪神淡路大震災では災害に強いネットワークとして注目を浴びており、Internet を災害時のライフラインとして利用する研究も行われている [3][4][5]。

Internet がこのように様々な場面で利用され、我々の生活に深く浸透するようになったのは、通信技術やサービスにおける幾つかのブレークスルーがあった。

まず、ネットワークの高速化、広帯域化が挙げられる。マルチメディア時代の到来を機に、これまでの音声を中心とする電話網からマルチメディアを扱える B-ISDN へと転換が始まり、WDM (Wavelength Division Multiplexing) [6] や ATM 技術 [7] の需要が高まった。このような需要の高まりはネットワーク敷設の低価

表 1.1 多様なアクセス網サービス

アクセス形態	伝送帯域	価格
ダイヤルアップ接続	～数十kbps	－
CATV網	数十Mbps	安
衛星放送網	数Mbps	安
ADSL	数Mbps(下り)	同程度
携帯電話	～数十kbps	高

ダイヤルアップ接続に比べて、安価で高速なサービスが登場してきた。価格はダイヤルアップ接続との比較。携帯電話による接続は価格面では高価であるが、接続帯域はダイヤルアップ接続と遜色がなくなっている。

格化を実現し、バックボーンネットワークの高速化、広帯域化を促進することとなった。

また、バックボーンネットワークに接続するためのアクセス網も多様化した(表1.1)。Internetの普及とともに、安価で高速なアクセス網サービスに対する要求が高まり、CATV網、衛星放送網、ADSL技術を使ったInternet接続サービスが登場してきた[8]。また、小型携帯端末と携帯電話の組み合わせによるInternetアクセスは、ダイヤルアップ接続に比べて価格面では高価であるが、接続帯域では遜色がないため、外出先からInternet接続するユーザが増えてきている。

計算機の性能向上と圧縮技術の確立も見逃せない。半導体の性能と集積は指数増加を続けており、メモリやストレージの大容量化、CPUの高性能化が進んだ。CPUの高性能化は計算機上で音声、画像などのマルチメディアデータの再生を容易にすると同時に、これらのデータを限られた蓄積容量や伝送容量に収めるために圧縮技術が進歩し、いくつかの標準が確立した(表1.2)。

アプリケーションの分野では、1993年のMosaic Webブラウザの登場により、WWW(World-Wide Web)が爆発的に普及した。WWWは、音声、静止画像、動画像、文字などのマルチメディアデータを統一的に扱え、ハイパーテキスト

表 1.2 動画像における圧縮技術の標準

標準名	伝送帯域	成立	標準化団体
Motion-JPEG	数十 kbps	1992	ISO/ITU-T
H.261	64~1920kbps	1990	ITU-T
MPEG-1	1~1.5Mbps	1992	ISO/IEC
MPEG-2	4~100Mbps	1994	ISO/IEC

Motion-JPEGは、JPEGで圧縮された静止画像を連続的に送信して動画のように見せること。

で示されるリンクを辿ることにより、簡単に情報にアクセスできる。あらかじめファイルで用意された静的な情報だけでなく、CGI, SSI, JAVA, ActiveXを利用した動的な情報生成も可能であるため、多様な情報発信が可能になり、Internetショッピングなどの新しい情報サービスが登場している。また、パソコンの普及とWindows 95の登場により、誰でも簡単にInternetに接続できるようになったこともInternetの普及を加速させた一因となっている。

1995年以来多くの商用ISP (Internet Service Provider) が生まれ、市場経済の原理にしたがって接続料金の低価格化、サービス品質の向上がもたらされ、益々Internetを利用しやすい環境が出来あがったことも、Internetの普及を促進した。

1.2. マルチメディア網としてのInternet

現代は多様化の時代と言われている。情報サービスにおいても、サービス提供者が押付ける一方的なサービスだけでなく、個人の趣味、嗜好を反映したきめ細かいサービスが要求される。テレビやラジオなどのマスメディアでも同様であり、限られたキー放送局からのコンテンツ配信だけでなく、ケーブル放送や衛星放送のような多チャンネルによる多様なコンテンツ提供が必要である。Internetでは、WWWによる情報発信が容易であることから、多くのWWWサーバがInternet

上に存在し、膨大な情報が提供されている。内容も芸術と人文、教育、健康と医学、趣味とスポーツなど多岐に渡っており [9][10]、文字、静止画像、動画像、音声など様々なメディアで提供されている。

また、Internetの双方向性を活かしたコミュニケーション手段としてもマルチメディア化に対する要求は高く、音声会議、データ会議、ビデオ会議などを実現する各種アプリケーションが存在する。このようなマルチメディア網としての役割が大きいInternetにおいて、特に動画像通信は重要である。動画像によるコミュニケーションの特長として、臨場感が得られるため擬似体験が可能になる、動きのある映像は直感的に理解しやすく円滑なコミュニケーションを促進する、などが挙げられる。前述したように、計算機の性能向上、圧縮技術の確立などにより、Internet上で動画像通信を行う環境は整ってきており、その応用例として、遠隔講義、遠隔会議、遠隔医療、在宅勤務、モニター画面を見ながらの遠隔作業、遠隔カメラによる監視などがあるが、これらはPoint-to-Pointによる通信がほとんどであり、Internet全域での動画像通信はまだ実現できていないとはいえない。Internetが社会的インフラとなるには、広域な動画像通信環境が不可欠であると考えられるが、現状のInternetには幾つかの課題が存在する。

1.3. 広域動画像通信における課題

Internet上で広域な動画像通信環境を実現するために解決しなければならない課題について述べる。

1.3.1 ネットワーク帯域の格差

Internet上で広域に動画像通信を行う場合、帯域不足と帯域格差が問題になる。LANにおいては、Ethernet、FDDIを使った10Mbps~1Gbpsの帯域を有するネットワークを比較的簡単かつ安価に構築できるため、1.5Mbpsの帯域を必要とするMPEG-1や、4Mbpsの帯域を必要とするMPEG-2、あるいは数十Mbpsを必要とするDV(Digital Video)での動画像通信が可能である。しかし、WANはLANに比べて一般に狭帯域であり、構築コストも高いため、MPEG品質やDV品質での動画像通信は困難である。また、Internetの伝送帯域が一様でないことも問題にな

る。Internetは異なるネットワークが相互に接続したネットワークであり、その接続環境も、T1 (1.5Mbps)、OC-3 (155Mbps ATM)、OC-12 (622Mbps ATM)、OC-48 (2.4Gbps)などの広帯域接続から、9.6kbps、28.8kbps、33.6kbps、64kbpsなどのダイヤルアップによる狭帯域接続まで様々である。ビデオ会議のような双方向動画像通信では、全ての参加者が通信可能な品質に合わせるために、狭帯域接続のユーザの動画像品質がボトルネックとなってしまう。また、Internet上でのマスメディア放送を実現するには、既存のマスメディアは伝送帯域が一様であることを前提にした情報発信システムであるため、帯域の違いを考慮した情報発信システムが必要になる。

WDM技術やATM技術などの基盤技術の進歩により、ネットワークの広帯域化と低価格化が進んでいるが、Internetが多様なネットワークから構成されている限り、帯域格差の問題は将来も解消されることはないだろう。したがって、広域な動画像通信環境を実現するために、帯域格差を吸収することは不可欠である。

1.3.2 安定した帯域確保の難しさ

ビデオ会議やInternet放送のようにリアルタイム性が要求される通信では、30フレーム/秒のように、ある量のデータを一定時間内に伝送しなければならない上、その伝送帯域を通信の間中、確保しなければならない。Internetは性質の異なる種々のトラヒックが混在したネットワークである。それが基礎としているIPプロトコル[11]は、最善努力型と呼ばれる配送方式であり、トラヒック集中によりネットワークが輻輳すると、パケット喪失や遅延が生じるため、安定した帯域の確保は困難である。

現在のIPプロトコルの仕様では、IPヘッダ中にTOS (Type of Service) と呼ばれるパケットの優先度を示すフィールドが用意されており、通信経路の途中ルータで優先的にパケットを処理できるようになっているが、ルータの処理が複雑になるため、ほとんど実装されていないのが現状であり、パケットに優先度をつけることは事実上不可能になっている。

1.3.3 アプリケーションによる格差

距離的に離れている相手と画面を見ながら会話が行えるビデオ会議やテレビ電話は、音声だけの会話に比べて相手の表情やジェスチャを確認しながらコミュニケーションを取れるために、このようなアプリケーションに対する要求は古くから存在し、多くのアプリケーションが開発されたきた。

しかし、各ベンダーが独自のプロトコルや符号化による実装を行っていたため、異なるベンダー同士のビデオ会議アプリケーション同士では通信できないという問題がある [12].

1.3.4 マシン性能の限界

Internet 上に情報発信をする場合、WWW を使うのが一般的であるが、WWW の通信モデルは、クライアント・サーバモデルであるため、ユーザからのリクエストが集中するとマシン負荷が高くなり、処理が滞ることがある。また、音声や画像の複雑な符号化をソフトウェアで行うとリアルタイムに処理できないことがある。

1.4. 本研究で対象とする題目

前節では、Internet 上で広域に動画像通信を行う場合の問題点について述べた。本研究では、ユーザの Internet 利用環境の格差吸収の解決と、大規模な動画像情報発信システムの構築という2つの視点から、広域な動画像通信環境の構築に取り組んだ。

1.4.1 利用環境の格差吸収に対する取り組み

Internet の利用環境の格差吸収に対する取り組みとして、ビデオ会議における動画像通信を対象に研究を行った。アプリケーションプロトコルやデータフォーマットの格差及びネットワーク帯域の格差を吸収するために、PRISM (PRactical Inter-videoconferencing System Model) と名づけたアプリケーションゲートウェイを開発した。PRISM は、通信経路の途中でアプリケーションプロトコルやデー

タフォーマットの変換，トラヒックの削減を行なうことにより，異なる環境下のビデオ会議通信を実現している．また，PRISMは，アプリケーションレベルの独立した複数のプログラムモジュールの集合であるため，新たなアプリケーションに対応したモジュール追加などの新機能への対応が容易である．

本研究では，ビデオ会議アプリケーション例として，nv/vatとivsのアプリケーションプロトコルやデータフォーマットを吸収し，両者の間での相互通信を実現した．また，ネットワーク帯域の格差吸収に対する解決方法として，フレームレートを削減するという方法を取った．PRISMによる通信オーバーヘッドを測定するための評価実験を行い，その結果，PRISM内における通信遅延は許容できる範囲に収まっていることを確認した．

1.4.2 大規模な情報発信に対する取り組み

Internetにおける大規模な情報発信に対する取り組みとして，第79回全国高等学校野球選手権大会のInternet中継システムをWWW上に構築した．このようなイベント中継を行うとき，提供するデータの選択およびデータのリアルタイムな生成と処理の高速化が必要になる．また，WWWの通信モデルは，(1)クライアントからのデータ要求，(2)サーバからのデータ転送，というモデルであり，ピーク時にはアクセスの集中が予想されるため，WWWを使った中継システムを構築する場合，アクセスの集中を考慮したシステム設計が重要になる．

本研究では，データのリアルタイムな生成と提供に対する解決策として，ストリームデータをWWWが提供する蓄積型データに変換するツールを開発し，データ生成のリアルタイム性を実現した．また，共有メモリから情報を提供できるようにWWWサーバを改良し，処理のボトルネックになると予想されるディスクアクセスを減らし，高速化を実現した．アクセス集中に対しては，複数台のWWWサーバによる負荷分散を図ったが，予想以上のアクセス数にアクセスの集中に対して完全には対処できなかった．また，運用して得られたアクセス結果を分析し，ユーザのアクセス傾向を明らかにした．

実際に構築した中継システムを運用して得られた知見や課題は，79回大会以降の大会の中継システムに反映されており，その実験は非常に貴重な経験となった．

1.5. 本論文の構成

本章では、Internetの発展にともない、メディアとしてのInternetが注目を浴びていることを述べ、動画像通信の重要性を述べた。そして、Internetがあらゆるメディアと統合され、コミュニケーション基盤となるための課題について述べ、本研究が対象とする動画像通信の大規模化における課題を明らかにした。第2章では、本研究が前提とする技術について説明する。

第3章では、Internetの利用環境における格差を吸収し、シームレスな動画像通信環境の実現方法として、アプリケーションゲートウェイを用いた通信モデルを提案し、筆者らがアプリケーションゲートウェイとして開発したPRISM (PRactical Inter-videoconferencing System Model) について述べる。PRISMは、アプリケーションプロトコルやデータフォーマットの相互変換による異なるビデオ会議システムの相互接続と、フレームレート削減による帯域の異なるネットワーク間でのトラフィック調整を実現する。そして、PRISMの特性や有効性を示すために行った評価実験について述べる。

第4章では、Internetとテレビの融合をめざして行った実験として、多くの人々が関心を持つ全国高等学校野球選手権大会のインターネット中継について述べる。イベントと連動した大規模な情報発信システムでは、中継情報のリアルタイムな生成、大量の視聴者にサービスを提供するための処理の高速化、双方向性を生かした情報提供について考慮した設計が必要になる。本研究では、全国高等学校野球選手権大会の中継システムの設計について述べた後、実際に構築したシステムを運用して得られた結果について述べる。

第5章は、結論であり、本研究を得られた成果と今後の課題について述べる。

第2章

関連技術

本章では、本研究の基礎となる関連技術について紹介する。

2.1. IP マルチキャスト

IP マルチキャストはIPの拡張として位置付けられる。IP マルチキャストが利用可能な環境では、ホストが1つのマルチキャストアドレスにデータを送出するだけで、そのマルチキャストに参加している全てのホストにデータが配送される。マルチキャストルータでパケットを複製することにより複数のネットワークへの配送を実現しているため、トランスポートプロトコルには、コネクションレスなUDPが用いられる。

IP マルチキャストで採用されているモデルでは、複数の送信先アドレスの集合をマルチキャストグループと呼び、マルチキャストグループに対してアドレスが割り当てられる。このグループのメンバは動的に変更可能である。

マルチキャストパケットを届ける範囲は、IPヘッダー中のTTL (Time To Live) パラメータで指定される。TTLパラメータはパケットがルータを経由するごとに値が減らされ、値が0になるとパケットはそれ以上遠くのルータへは配送されない。TTL値を大きくするほど、マルチキャストグループを広範囲に広げることができる。

マルチキャストを用いると、ビデオ会議アプリケーションのような多人数参加型のアプリケーションでは、1回のデータ送信で同一データを複数のホストに配送できるため、送信ホストの負荷が減るうえ、ネットワーク帯域を有効に使うことができる。

Internet 上のマルチキャストルータを相互に接続した仮想的なマルチキャストネットワーク Mbone が作られており、IP マルチキャストを使って世界中に情報は配信することができる。

2.1.1 マルチキャストの限界

IP マルチキャストでは、全ての受信者に同一の packets しか送ることができないため、マルチキャストグループに異なる帯域のネットワークが存在する場合、問題が発生する。広帯域のネットワークに合わせてデータを送出すると、狭帯域のネットワークでは輻輳が発生してしまう。逆に、狭帯域のネットワークにあわせて品質を劣化させたデータを送出すると、広帯域のネットワークでは帯域に余裕があるにも関わらず、低品質のデータしか受け取れないことになる。また、IP マルチキャストでは途中ルータで packets の複製が行われるが、packets 複製は高負荷な処理である。ルータでは、マルチキャスト packets 以外の packets も処理しなければならないため、マルチキャストによりルータの負荷が高くなるという問題もある。

2.2. RTP (Real-Time Transport Protocol)

RTP[13][14] は、IETF (Internet Engineering Task Force) ¹ の AVT WG (Audio Video Transport Working Group) ² で標準化が進められている音声や画像などのリアルタイム通信用プロトコルであり、アプリケーションプロトコルに位置する。RTP は、タイムスタンプやシーケンス番号など実時間通信に必要と思われる情報のフォーマットを定義したプロトコルであり、RTP そのものは、資源予約や QoS (Quality of Service) の保証を行うものではないため、RTP を使用することで通信遅延が短縮されたり、遅延の揺らぎが少なくなったりすることはない。

RTP では、メディアデータの先頭に付加される RTP header のほかに、データの配送状態を監視するための RTCP (RTP Control Protocol) が定義されており、データフローの伝送及び制御は RTP 及び RTCP の通信の組によって実現される。

¹<http://www.ietf.org>

²<http://www.org/html.charters/avt-charter.html>

2.3. RTSP (REAL-TIME STREAMING PROTOCOL)

RTCPには、SR (Sender Report) メッセージとRR (Receiver Report) メッセージが定義されている。SRメッセージは、sender情報とreportブロックからなる。RRメッセージは、reportブロックからなる。sender情報は、NTP timestamp, RTP timestamp, 総送信パケット数, 総送信バイト数からなる。NTP timestampとRTP timestampは、送信者と受信者の間でRTP timestampの同期をとるために使われる。reportブロックは、受信状況を送信者に報告するものであり、sender情報を元に計算したパケットの喪失数や喪失率, RTP headerのtimestampを元に計算した遅延の揺らぎ, SRメッセージを受信してから, SRメッセージあるいはRRメッセージを生成するまでの時刻などの情報が入っている。送信者は、このreport情報を見ることでパケットの喪失率や遅延時間, 遅延時間の揺らぎなどを知ることができる。SRメッセージに、reportブロックが定義されているのは、ビデオ会議システムのような双方向アプリケーションでは、データ送信者も受信者となり得るからである。データを受信しない場合、SSメッセージにreportブロックは含まれない。

2.3. RTSP (Real-Time Streaming Protocol)

Internet上での放送を実現する方法の1つとして、ストリーミング技術がある。ストリーミング技術はサーバから配信される全てのデータを受信する前にクライアントが再生できるようにする技術であり、長時間の映像や音声を再生する場合、ファイルのダウンロードを待たずに、順次再生することができる。ダウンロードしながら再生するので、パケットの損失や遅延のゆらぎの影響を受けやすく、クライアント側でのバッファリングや送信側におけるレート制御が必要である。これらの制御を行うためのプロトコルとしてRTSPが開発された[15]。

RTSPは、リアルタイム性を持ったデータ配信向けのアプリケーション層プロトコルであり、音声、静止画像、動画像などの複数のデータ配送を制御することができる。クライアントがサーバにメディアストリームの開始や停止を要求するために使われ、情報源はライブデータでも蓄積されたデータでも構わない。RTSPを使うと、ネットワークの状況に応じて帯域を変動させることができる[16]。RTSPは、RealVideoやQuickTimeなどで採用されている。

2.4. WWWとその基礎技術

WWWは、様々な情報を「ハイパーメディア」という概念で相互に結び付けたものであり、ハイパーメディアを表現するHTML (HyperText Markup Language) 言語 [17] と、そのハイパーメディアを通信プロトコルを定義したHTTP (HyperText Transfer Protocol) [18][19][20] により成り立っている。

2.4.1 HTML

HTMLはハイパーテキストを記述するための言語であり、SGMLを参考に作成されている。HTMLで記述された情報はページ（あるいはWWWページ）と呼ばれ、ページ中には、文字、画像、音声など複数のオブジェクトを埋め込むことが可能である。また、ハイパーリンクにより異なるページを結びつけることが可能という特徴も持つ。HTMLで記述されたページはUniform Resource Locator (URL) と呼ばれる識別子で識別される [21]。URLは、そのページを取得するために使用する手段（スキーム）と場所を示すパラメータ（ホスト名、ポート名、パス名等）から構成される。WWWではスキームとして後述するHTTPが代表的である。

2.4.2 HTTP

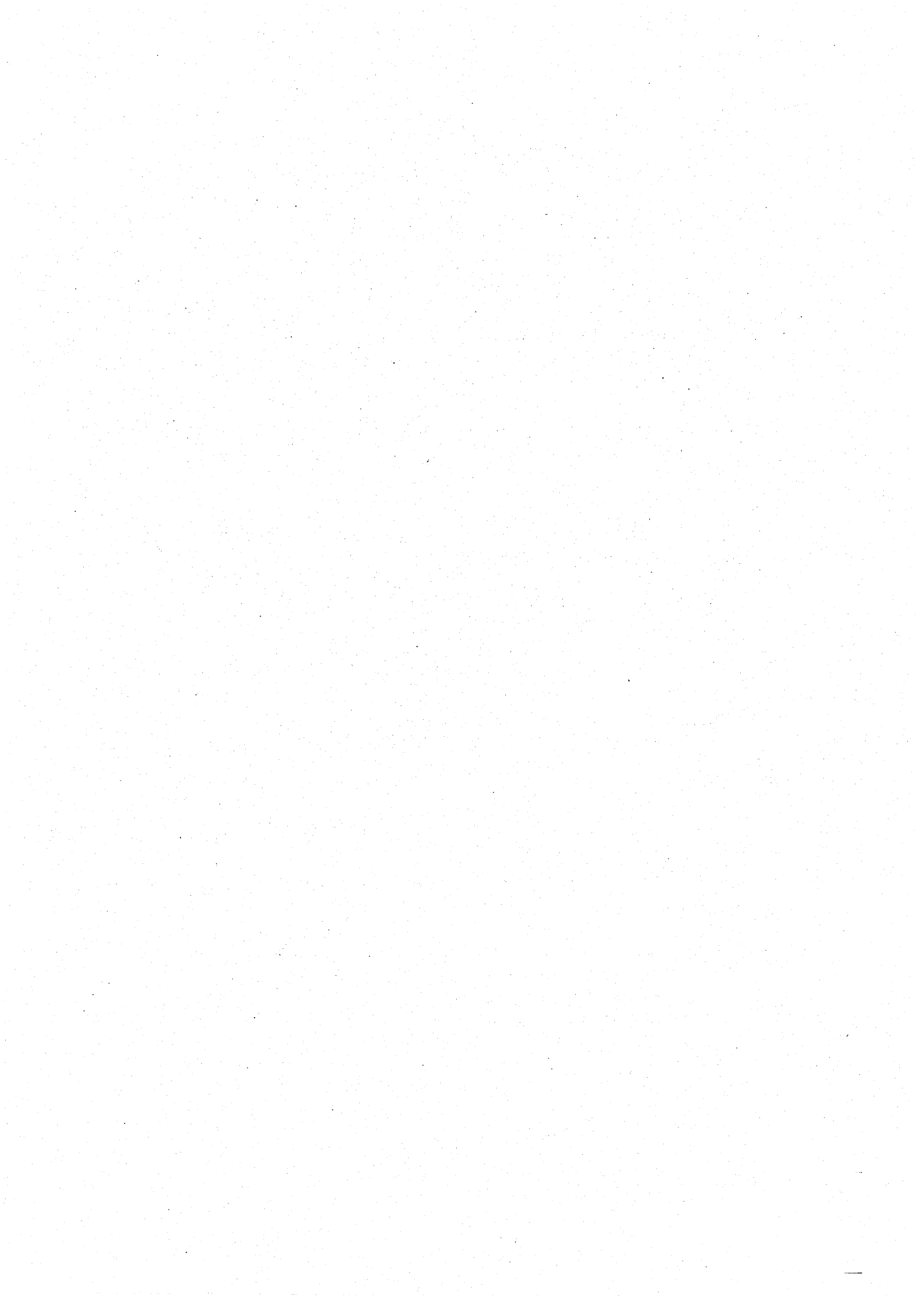
WWWの通信モデルでは、クライアント・サーバモデルに則っており、クライアントがURLで指定した資源をサーバが提供するモデルになっている。HTTPでは、クライアントからのリクエスト1回につき、サーバから1つのオブジェクトが返される。したがって、複数のオブジェクトで構成されるページを取得する場合、オブジェクトの数だけクライアントはサーバにリクエストを送ることになる。

2.4.3 代理サーバとキャッシング

安全性の確保、情報漏洩の防止、管理の簡略化のために、企業や大学などではファイアウォール (Firewall) と呼ばれる防御システムを構築し、外部からのアクセスを制限することが一般的になっている。このような組織では、組織内部のク

クライアントと外部のWWWサーバの通信を確保するために、組織内部にWWW代理サーバ（proxyサーバ）を設置し、外部のWWWサーバとの通信は全てこの代理サーバを介して行うようにしている場合が多い。代理サーバはクライアントから要求された資源をサーバから取得し、クライアントに応答する。このような通信モデルでは、クライアントとサーバ間の情報流通は全て代理サーバを介することになるため、資源のキャッシングが可能になる。代理サーバにおけるキャッシングでは、オペレーティングシステムにおけるメモリ管理やディスクアクセス管理と同じように、一度使用された資源を蓄えておき、同じリクエストがあった場合に蓄えたおいた資源がクライアントに提供される。代理サーバで資源をキャッシングすることにより以下の効果が期待できる。

- 取得時間削減による応答時間の短縮
- Internetから流入するトラフィックの軽減



第3章

アプリケーションゲートウェイによるビデオ会議システムの相互接続

本章では、ビデオ会議における動画像通信を対象に、プロトコルやデータ符号化方式の違い及びネットワーク帯域の違いを吸収するために開発したPRISM (PRactical Inter-videoconferencing System Model) について説明する [22][23]. PRISM は、ビデオ会議システムのアプリケーションゲートウェイとして動作し、アプリケーションプロトコルやデータフォーマットの相互変換、トラヒックの削減の機能を持ち、異なる環境下のビデオ会議通信を実現している。また、PRISM は、アプリケーションレベルで独立した複数のプログラムモジュールの集合体であり、新たなビデオ会議システムへの対応が容易という拡張性にも優れている。まず、PRISM の実装および実現した機能について説明し、次に PRISM の特性や有効性を明らかにするために行った評価実験とその結果について述べる。

3.1. まえがき

1章では、コミュニケーション基盤として Internet が重要であることを述べた。ネットワークの高速化 [24]、計算機の性能向上、音声や画像の圧縮技術の進歩 [25] などにより、マルチメディア通信とりわけ動画像通信における技術の進歩は著しい。こうした状況の中で、nv[26]、vat[27]、ivs[28]、CU-SeeMe[29] といった双方向のビデオ会議システムが数多く開発されている。しかし、これらのビデオ会議システムでは、使用されるプロトコルやデータ符号化形式の違いにより、異なる

表 3.1 プロトコルとデータフォーマットの互換性

アプリケーション	データ形式	プロトコル
nv ⇔ CU-SeeME	○	×
⇔ ivs	×	○
⇔ vic	○	○
CU-SeeMe ⇔ ivs	×	×
⇔ vic	○	×
ivs ⇔ vic	○	○

vicはnvやivsと互換性があるが、vic, nv, ivsの3者でビデオ会議を行うと、結局nv-ivs間の互換性の無さが問題になる。

アプリケーション間では相互に通信できないことが多い(表3.1)。アプリケーションによっては特定のOSでしか動作しないものもあり、通信相手によってアプリケーションやOSを使い分ける必要性が生じるため、ユーザの利便性を損ね、ビデオ会議システムを用いたコミュニケーションの普及を阻害する要因となる。そのため、異なるビデオ会議システム同士の相互接続の実現が必要となる。異なるビデオ会議システムとの相互接続を行えるアプリケーションにvicがある。vicは複数のデータ符号化形式に対応することにより、異なるアプリケーションとの相互接続を実現している。しかし、1つのアプリケーションが多くのフォーマットに対応しても、ビデオ会議に参加している全員の相互接続性が確保されるわけではない。参加者全員の相互接続性を確保するには、結局全ての参加者が同じアプリケーションを使わなければならない。

別の問題として、ネットワークの帯域格差があげられる。Internet上で広域にビデオ会議を行う場合、参加者はInternet上に広く分散して存在するため、多地点間通信が必要になる。ビデオ会議システムの多地点間通信は、MBoneと呼ばれる仮想的なIPマルチキャストネットワーク上で行われることが多い。IPマルチキャストを使うと1回のデータ送りで参加者全員に配送されるため、送出データ量はビデオ会議の参加人数に依存せず、ネットワーク帯域を有効に利用すること

ができるが、全ての参加者に同じデータが届けられるため、広帯域のネットワークに合わせて大量のデータを送出すると、狭帯域のネットワークでは輻輳が生じてしまう。逆に狭帯域のネットワークに合わせて画質や音質を劣化させ、データ量を抑制すると、広帯域のネットワークでは帯域に余裕があるにも関わらず、低品質な画像や音声でしかビデオ会議が行えない状況になる。

Amir らの video gateway の研究 [30] では、より高圧縮なデータ符号化方式へ変換することでデータ量の削減を行っているが、使用する符号化方式が限られていることや、プロトコル変換については考慮していないことから、ビデオ会議システムの相互接続を実現することは困難である。

本章では、異なるビデオ会議システムのアプリケーションプロトコルやデータ符号化方式を相互に変換し、データ量を削減する機能を持つ PRISM (PRactical Inter-videoconferencing System Model) をネットワーク上に配置し、アプリケーションの違いやネットワーク帯域の格差を意識させない通信を可能にするプラットフォームの構築を目指す。

本節では、Internet 上で広域に動画像コミュニケーションを行うときの問題点を指摘し、本研究の必要性と目的を明らかにした。3.2節では、上記で述べた問題を解決するために行われている研究について説明し、それらの問題を指摘する。

3.3節では、アプリケーションゲートウェイを用いた解決策を提案し、要求される機能を分析し、筆者が提案する PRISM の設計について説明する。3.4節では、PRISM の実装について説明する。3.5節では、PRISM の動作確認のために行った実験について説明する。3.6節では、今後の課題と将来の展望について述べる。

3.2. 既存の研究

本節では、アプリケーションの違いやネットワーク帯域格差を吸収するための既存研究について述べる。

3.2.1 様々なデータ符号化形式に対応した vic

アプリケーションの違いを吸収するものとして vic [31] がある。vic は、ユーザのマシン環境の違いを吸収することを目的として開発されたビデオ会議用アプリ

ケーションである。従来から存在する nv や ivs のビデオ会議アプリケーションでは、ビデオキャプチャ部分やデータ符号化部分がアプリケーションと密接に実装されているため、拡張性に乏しく、ユーザの利用環境を制限してしまう。例えば、nv の符号化形式を ivs で使われている H.261 形式に対応させたり、ivs の符号化形式を nv 形式に対応させたりするのが困難である。また、ソフトウェアによる圧縮・伸張を前提としているため、ハードウェアコーデックへの対応が困難である。vic はオブジェクト志向に基づき、ネットワークコードの抽象化、ハードウェアコーデックへの対応、拡張可能なユーザインターフェイス、様々な圧縮アルゴリズムなどを考慮した柔軟な設計を行うことで、nv や ivs が持つ拡張性の乏しさを改善している。そして、vic が対応する全ての圧縮形式を全ての vic がソフトウェアにより伸張できるように実装することで異なる映像圧縮ハードウェアを持った vic や、映像圧縮ハードウェアを持たない vic 同士の相互通信を可能にしている。

vic の方法は1つのアプリケーションが多数の映像圧縮形式に対応することで様々な圧縮形式での通信を可能にしようとする方法である。vic は、H.261、nv 形式、Sun CellB 形式、Motion-JPEG の圧縮形式に対応しているが、vic が保証するのは、vic とこれらの圧縮形式を使ったアプリケーションと相互接続性だけであり、例えば、H.261 を使用している ivs と nv との間の相互通信は確保されない。つまり、特定のアプリケーションがいくら多くの圧縮形式に対応しても、任意の複数の相手との相互通信は保証されないのである。また、vic では使用するプロトコルとして RTP を仮定しており、RTP 以外のプロトコルを使ったビデオ会議アプリケーションとは接続できない。ビデオ会議アプリケーションのような発言者間の相互接続が必要になる場合、全ての発言者が共通して利用できる圧縮形式やプロトコルが必要になり、これは同種のアプリケーションを使用することと変わらない。また、vic における多地点間通信は IP マルチキャストにより行われるため、ネットワーク帯域の違いに対する問題は解決できない。

3.2.2 ネットワーク帯域の違いを吸収する video gateway

IP マルチキャストで問題となるネットワーク帯域の違いを吸収する研究として、Amir らによる video gateway の研究がある [30]。video gateway は、帯域の異なるネットワークを異なるマルチキャストグループに分割し、各グループで圧縮率の

異なるデータ符号化形式を用いて通信させることでネットワーク帯域の違いを吸収しようとしており、以下のような機能を持つ。

- ビットレートの高いMotion-JPEG画像データをH.261動画データに変換してデータ量を減少させ、狭帯域のネットワークへの転送を可能にする。
- TTLの値以上に離れた2箇所のマルチキャストセッションを各サイトに1つのビデオゲートウェイを置き、その間をユニキャスト通信で接続することで異なるマルチキャストセッションを相互に接続できる。

video gatewayは、マルチキャスト通信を利用した場合に問題となるネットワーク帯域の違いを克服するとともに、圧縮形式の変換がリアルタイムで可能であることを示した。しかし、video gatewayにおけるデータ符号化形式の変換は圧縮率を上げて、使用帯域を減らすことを目的としているため、任意のデータ符号化形式に対応しているわけではなく、使用できるアプリケーションは限られる。また、実装にあたってはALF技術[32]により処理を高速化しているが、1つの入力ストリームは1つの出力ストリームにしかならないため、Motion-JPEGから別の圧縮形式への変換の実装が困難であり、複数の受信者に異なる圧縮形式で配送することまでは対象外である。

3.2.3 階層的符号化

McCanneらはビデオ会議システムにおいて、階層的符号化と複数のマルチキャストセッションを組み合わせることで帯域格差を吸収する方法を提案している[33][34]。この方法では、送信側で映像ソースを階層的に符号化し、各階層を別々のマルチキャストグループで送信する。受信側では、参加するマルチキャストグループ数を調整することにより、受信データ量を調整することができる。例えば、狭帯域のネットワークにいる受信者は、最も基礎となるデータを流しているマルチキャストグループにしか参加しないことで受信データ量を抑制できるし、広帯域のネットワークにいる受信者は、全てのマルチキャストグループに参加し、全ての階層のデータを受信することで高品質の映像を受け取ることができる。

この方式では、複数のマルチキャストチャンネルを使用するため、どのチャンネルにどの階層のデータが流れているのかのネゴシエーションが必要になる。そのた

め、送信側と受信側の両方の変更が必要となり、vicが抱えている問題と同じように、結局全ての人が同じアプリケーションを使わなければならないことになる。

3.3. PRISM の設計

本節では筆者が提案するPRISMの基本設計について述べる。

3.3.1 通信モデル

本研究では、3.1節で述べたInternet上のビデオ会議におけるアプリケーションの違いとネットワーク帯域の違いを同時に吸収するために、PRISMによるビデオ会議モデルを提案する。PRISMは、異なるビデオ会議システムを相互接続するアプリケーションゲートウェイとして動作し(図3.1)、ビデオ会議の参加者はPRISMサーバに接続することで、異なるビデオ会議システムを使用している相手と会議ができるようになる。

また、複数のPRISMサーバが相互に通信することにより、仮想的なPRISMネットワークが形成され(図3.2)、1対1通信にしか対応していないアプリケーションも多地点間を結ぶビデオ会議に参加できるようになる。PRISMネットワーク内では、広帯域ネットワーク上から狭帯域ネットワークにデータが送信される場合にトラフィック削減が行われ、ネットワーク帯域格差の吸収を行う。

3.3.2 要求される機能

3.1節で述べた様々な問題を克服し、マルチメディア通信におけるプラットフォームとなり得るには、データ変換とトラフィック削減の機能などが要求される。以下でそれぞれについて述べる。

プロトコル及びデータ圧縮形式の変換

異なるアプリケーション同士の相互接続を実現するには、個々のアプリケーションで使われているプロトコル及びデータ符号化方式を相互に変換する必要がある。

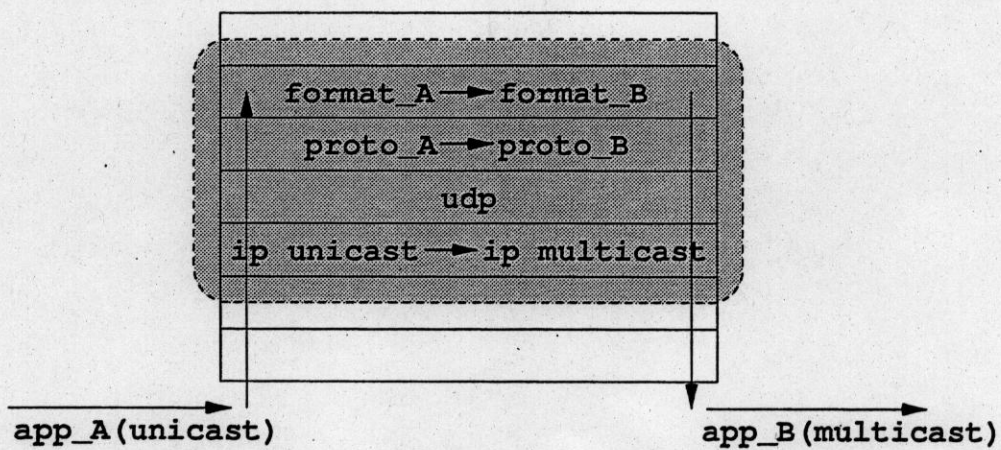


図 3.1 アプリケーションゲートウェイ PRISM

PRISMは、データフォーマット変換、プロトコル変換、IPユニキャストとIPマルチキャスト間の変換等を行う。OSIの7階層モデル[35]において、PRISMは3~6層のゲートウェイとして機能する（網掛け部分がPRISMの機能レイヤ）。トランスポート層（UDP層）では、トラフィック削減が行われる。

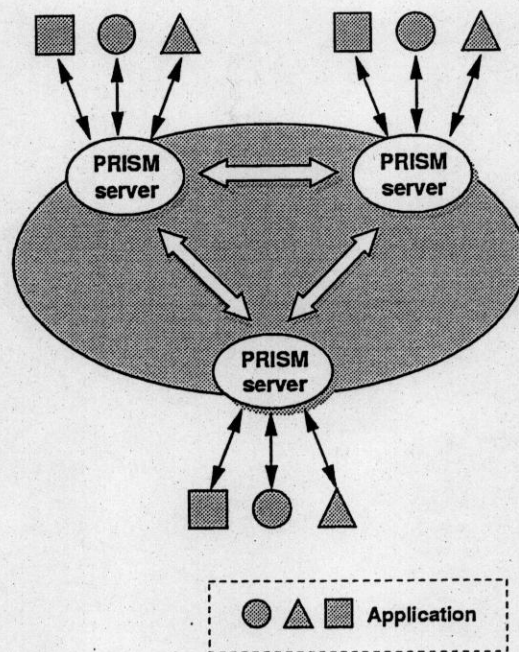


図 3.2 PRISM ネットワーク (太線内)

プロトコル形式やデータ符号化方式の変換を行う場合、1つのフォーマットから別のフォーマットへの変換に必要な多段階の処理を統合して高速化するフィルタ技術がある [32]。一方、中間フォーマットを介して相互変換を行う方法もある。前者の方法では、処理は高速化されるが、フォーマット数 n に対して双方向の変換を行うには、 ${}_nC_2 \times 2$ 種類のフィルタが必要になる。また、新たなフォーマットを追加する場合、残り全てのフォーマットを理解しなければフィルタを作成できないという問題があり、拡張性に乏しくなる。

PRISM では、中間フォーマットによる相互変換を採用することにする。中間フォーマットを介することで、フォーマット数 n に対して各フォーマットの符号化と復号化の $n \times 2$ 種類のフィルタを用意するだけでよく、 $n > 3$ 、すなわち4種類以上のアプリケーションを相互接続する場合にはフィルタ数が少なく済む。また、新たなフォーマットへ対応するために他のフォーマットを理解する必要がない。これらのことから、PRISM は新たなフォーマット追加が容易に行えるという利点を持ち、拡張性に優れた設計となる。

トラヒックの削減

ネットワーク間の帯域格差を吸収するには、広帯域のネットワークから狭帯域のネットワークへのトラヒック量を減らす必要がある。ビデオ会議のマルチメディアデータは既に圧縮されていることが多いため、このようなデータ量を減らすには、video gateway で採られているような高圧縮な符号化方式に圧縮し直すか、データ品質を低下させるかのどちらかが考えられる。

PRISM は、異なるビデオ会議システムの相互接続を目的の1つにしている。狭帯域のネットワークのユーザが使用しているアプリケーションで使われている符号化方式が、広帯域のネットワークのユーザが使用するアプリケーションの符号化形式よりも高圧縮な符号化方式であれば、符号化方式の変換によってトラヒック削減が可能である。しかし、これは使用するアプリケーションを限定することになり、PRISM の前提に反する。PRISM ではデータ品質を低下させるアプローチを採る。

ユニキャストとマルチキャストの相互変換

複数地点からの参加があるビデオ会議では、IP マルチキャストを使った通信が行われることが多い。しかし、CU-SeeMeのようにIP マルチキャストに対応していないビデオ会議アプリケーションが存在する。このような場合、複数の相手とビデオ会議を行うには映像データを参加者全員に再配布する中継サーバが必要になる。PRISMでは、マルチキャストとユニキャストの相互変換を行うことで、IP マルチキャストに対応していないアプリケーションの吸収を図る。

3.3.3 動作原理

相互接続されたPRISMサーバは、アプリケーションから受け取ったデータを様々なアプリケーションに適合する形式に変換し、配送しなければならない。PRISMサーバが受け取るデータには、アプリケーションから受け取るデータと、他のサーバから受け取るデータがある。それぞれの場合について、更にユニキャスト通信で受け取る場合と、マルチキャスト通信で受け取る場合がある。

アプリケーションからユニキャスト通信でデータを受け取った場合、サーバでは以下の処理が行われる (図3.3)。

- サーバに接続している同種アプリケーションにパケットをそのまま転送する。
- サーバに接続している異種アプリケーションに対して、データを適切な形式に変換して転送する。
- 他のサーバへデータを転送する。

アプリケーションからマルチキャスト通信でデータを受け取った場合は、そのマルチキャストグループに属するアプリケーションや他のサーバにはデータを転送しない。何故なら、マルチキャスト通信によって既にデータを受け取っているためである。それ以外の処理については、ユニキャストでデータを受け取った場合と同じである (図3.4)。

他のサーバからデータを受け取った場合は、サーバに接続しているアプリケーションに対して、データを適切な形式に変換して転送する (図3.5)。マルチキャ

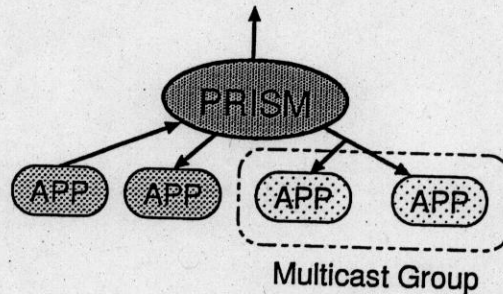


図 3.3 アプリケーションからユニキャスト通信で受信したデータの転送
ユニキャストで接続しているアプリケーションにユニキャストで、マルチキャストで接続しているアプリケーションにはマルチキャストでデータを転送する。

スト通信でデータを受け取ったときは、アプリケーションからデータを受け取った場合と同様、同じマルチキャストグループに属しているアプリケーションには転送されない。

3.3.4 PRISM サーバの構成

PRISM サーバは複数のモジュールから構成される。図 3.6 に PRISM サーバのモジュール構成を示す。PRISM サーバには、モジュール全体を管理するマネージャモジュール、アプリケーションごとに用意されたプロトコルモジュール、プロトコルモジュールの機能を補完するプロトコルアダプタモジュール、データの加工を行うメディアプロセッサモジュールなどがある。

PRISM では、モジュールの追加や置換が容易に行え、多くのアプリケーションに順次対応していけるように、各モジュールを独立したアプリケーションプログラムとして設計した。

以下では各モジュールについて説明する。

マネージャ

マネージャは、プロトコルモジュールやプロトコルアダプタの起動と終了、モジュール間通信パラメータの初期化などの処理を行う。他の PRISM サーバの IP

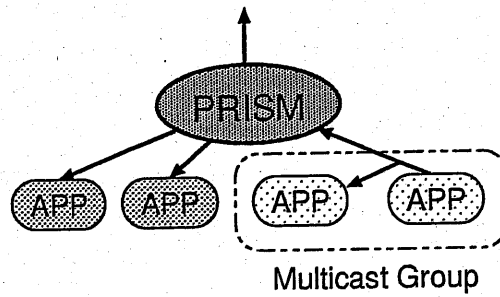


図 3.4 アプリケーションからマルチキャスト通信で受信したデータの転送
同じマルチキャストグループに属しているアプリケーションにはデータを転送
しない。

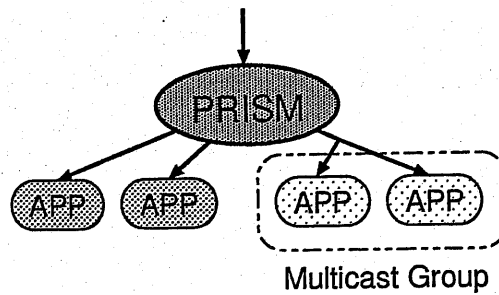


図 3.5 他のサーバから受信したデータの転送
アプリケーションからデータを受け取った場合と同様、
サーバに接続しているアプリケーションに対して、適
切な通信形式でデータを転送する。

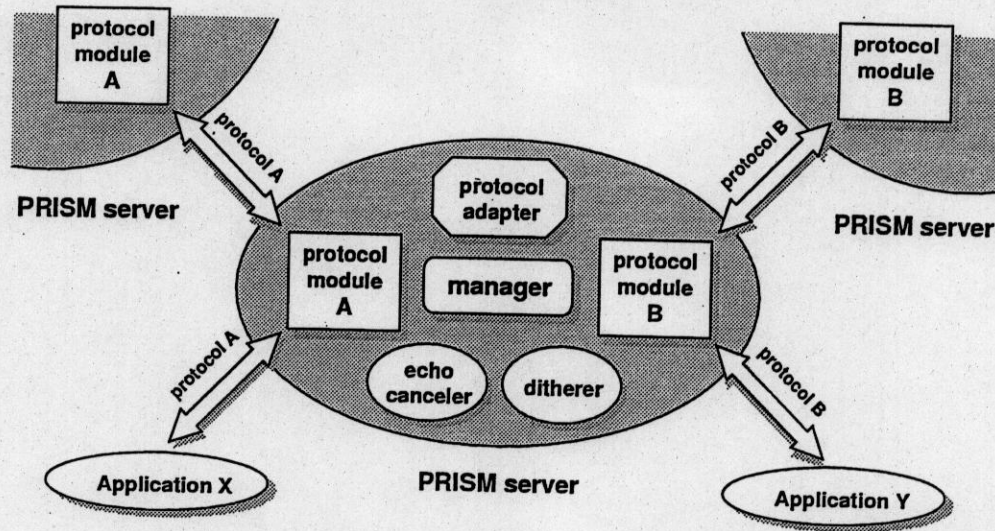


図 3.6 PRISM サーバの構成

アドレスは、マネージャから各モジュールに伝えられる。アプリケーションから受け取るデータの処理は、マネージャではなく、プロトコルモジュールやプロトコルアダプタで行われる。

プロトコルモジュール

プロトコルモジュールはアプリケーションと直接通信を行うモジュールであり、アプリケーションごとに用意される。プロトコルモジュールは、アプリケーションから受け取ったデータを中間フォーマットに変換し、他のプロトコルモジュールに転送する。また、他のプロトコルモジュールから受け取った中間フォーマットをアプリケーションフォーマットに変換し転送する。

プロトコルアダプタ

プロトコルアダプタは、プロトコルモジュールの機能を補完するモジュールである。PRISMでは容易にプロトコルモジュールの追加や削除が行えるように、各プロトコルモジュールは独立したプログラムとして実装されている。PRISMサーバによっては、マシンの資源節約などの理由により、起動されていないモジュール

第3章 アプリケーションゲートウェイによるビデオ会議システムの相互接続

ルが存在する可能性がある。PRISMサーバ間の通信は同種のプロトコルモジュール間通信を基本としているため、両者に同種のプロトコルモジュールが起動されていない場合、通信できないことになる。そこで、2つのPRISMサーバ間に同種のプロトコルモジュールが存在しない場合、各PRISMサーバのプロトコルアダプタを介して通信が行われる。プロトコルアダプタ間のデータ転送では中間フォーマットが用いられる。

メディアプロセッサ

PRISMの付加機能として、画像データのノイズ軽減や音声データにおけるエコー除去などのデータ加工が考えられる。メディアプロセッサモジュールは、プロトコルモジュールやプロトコルアダプタからの要求に基づき、中間フォーマットのデータに対して特定の加工を行う。

3.3.5 モジュール間のデータフロー

PRISMを介した通信モデルにおけるデータフローについて説明する。

同一サーバ内でのデータフロー

サーバ内におけるデータフローを図3.7に示す。アプリケーションAからデータパケットを受信したプロトコルモジュールAは、同一サーバに接続されている同種のアプリケーションにはそのままデータパケットを転送する。同一サーバに接続している異種アプリケーションBに対して、データを中間形式に変換し、プロトコルモジュールBに転送する。プロトコルモジュールAから転送されたデータを受け取ったプロトコルモジュールBは、中間形式からアプリケーションB用のデータに変換し、アプリケーションBに送信する。このとき、ユニキャスト通信で接続しているアプリケーションにはユニキャストで、マルチキャストで接続しているアプリケーションにはマルチキャストでデータを送信する。

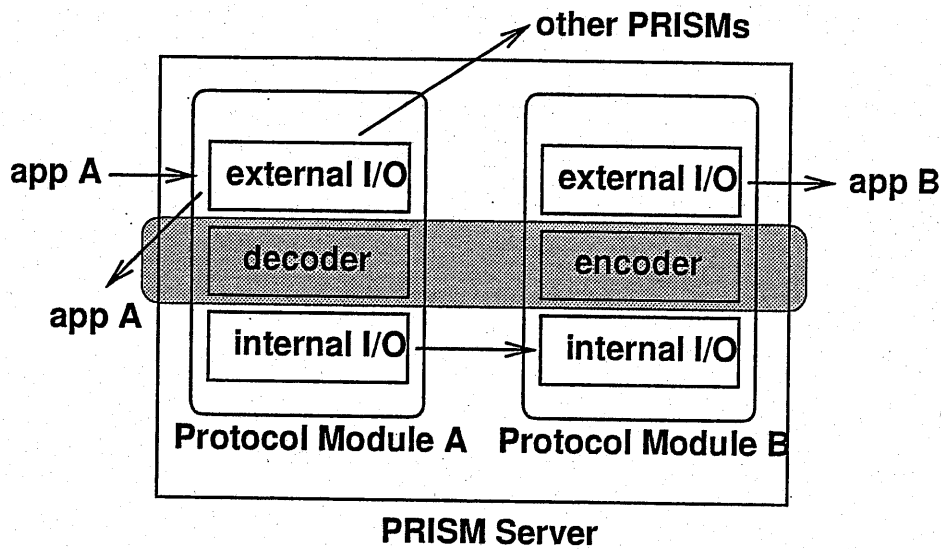


図 3.7 プロトコルモジュール間通信

サーバ間のデータフロー(1)

PRISM サーバ間では同種プロトコルモジュール間で通信が行われる。異なるサーバに接続された異種アプリケーション間のデータフローを図3.8に示す。異なるサーバ間のデータフローでは、異なるサーバに接続された同種アプリケーション間の通信オーバーヘッドを小さく抑えるために、アプリケーションから受信したデータをそのまま転送する。異種アプリケーションへのデータ変換は転送先のサーバで行われる。

サーバ間のデータフロー(2)

サーバ間に同種のプロトコルモジュールが存在しない場合には、プロトコルアダプタを使ってデータが転送される。プロトコルモジュールから中間形式に変換されたデータがプロトコルアダプタに転送され、プロトコルアダプタ間で中間形式を用いたデータ転送が行われる。転送先のサーバではプロトコルアダプタから各プロトコルモジュールで転送され、中間形式から各々が理解するデータに変換される。

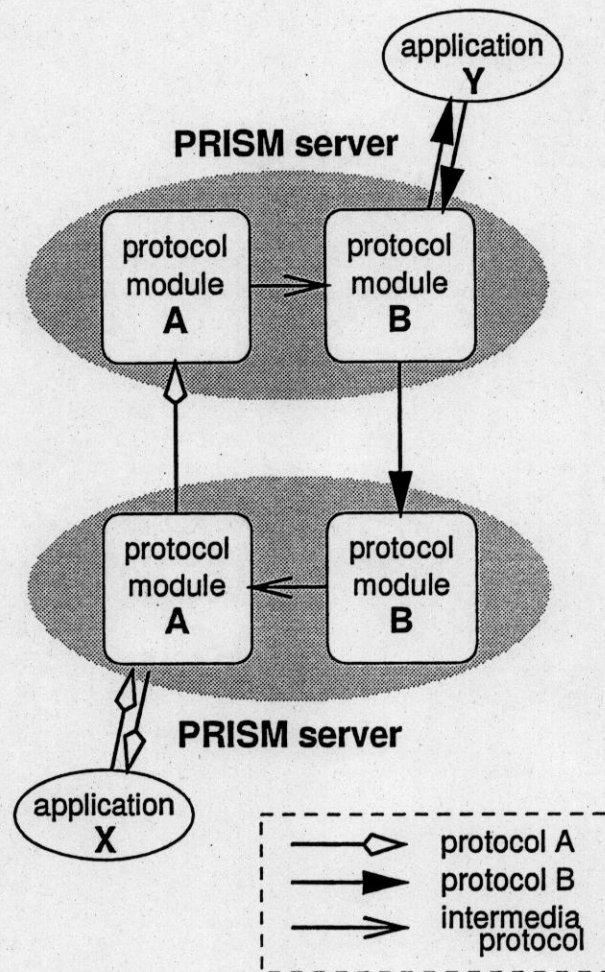


図 3.8 サーバ間のデータ転送

3.3.6 データ中間形式

映像データの間接形式

カラー画像は赤 (Red), 緑 (Green), 青 (Blue) の3つの信号からなり, ビデオ会議システムで使われるカメラからのキャプチャ画像はRGB形式で表現される. カラー画像の3つのRGB画像信号には強い相関関係があり, 2つのRGB画像信号を別の3組の信号に変換することにより, 各々の信号のダイナミックレンジの総和を縮めることができる. ダイナミックレンジの総和を小さくすると各信号を短い語調で表現できるようになるので, ビデオ会議アプリケーションでは取り扱うデータ量を削減するために, RGB画像形式を1つの輝度信号と2つの色差信号に変換したYUV形式がよく用いられる. さらに, YUV形式には, 色差信号の高周波数成分の切り捨て方により, YUV 4:4:4, YUV 4:2:2, YUV 4:1:1がある [36]. YUV 4:2:2, YUV 4:1:1は, それぞれ輝度信号に対して, 1/2または1/4の周波数帯域の信号しか符号化しない方法である. 通常の映像では色に対してあまり正確な再現性を要求されないこと, 画像品質の主観評価は輝度信号の周波数帯域の伸びが大きく影響することなどから, ビデオ会議システムではYUV 4:2:2やYUV 4:1:1が用いられることが多い. YUV 4:4:4は色差信号を切り捨てない形式であり, 印刷, 写真, 美術, 染色など厳密な色の違いの識別が要求される場合に用いられる. PRISMでは, 映像の符号化には扱いの容易なYUV 4:1:1形式を採用した.

音声データの間接形式

音声データの間接形式には, ITU-Tにより勧告されているG.711形式のPCM μ 則形式を採用した. PCMは, 音声の波形符号化方式の代表的なもので, 音声信号を8kHzのサンプリング周波数で標本化し, 2進8ビット (256値) のレベルで量子化した後, 値を符号化することで, アナログ信号をデジタル信号に符号化している. 量子化の際の圧縮特性として, 日米では μ 則, 欧州ではA則が用いられているため, G.711では両方の符号化について記述されている.

アプリケーションプロトコルの中間形式

アプリケーションプロトコルの中間形式としてRTPを採用した。RTPは、ビデオ会議などのリアルタイム通信において必要なパラメータを定義したプロトコルであるため、ほとんどのアプリケーションで使われているプロトコルのパラメータは、RTPのパラメータにマッピング可能である。また、RTPはIETFで急速に標準化が勧められているプロトコルであり、今後多くのアプリケーションがRTPに対応していくことが予想され、RTPを採用することによりプロトコル変換処理が軽減される。

3.4. PRISMの実装

3.3節で述べたPRISMを実装した。本節では、実装環境および実装における工夫点について述べる。

3.4.1 実装環境

ユーザレベルのアプリケーションプログラムとして、SGI社のUNIXワークステーションIndy (OS: IRIX 5.3) 上でPRISMを実装し、同社のIndigo2 (OS: IRIX 5.3), ChallengeXL (OS: IRIX 5.3), Origin2000 (OS: IRIX 6.4) で動作を確認した。プロトコルモジュール間通信の実装には一部共有メモリとセマフォが使われており、System V系UNIXのシステムコールに依存した実装になっているが、それ以外の部分はUNIXの標準的なインターフェイスを定義したPOSIXに基づいた実装になっている。

3.4.2 実装した機能

PRISMに以下の機能を実装した。

nv/vat と ivs の相互接続

nv/vat と ivs が PRISM 上で動作するようにそれぞれのプロトコルモジュールを実装し、nv/vat と ivs の相互通信を可能にした。nv と vat は本来別々のアプリケー

表 3.2 プロトコル及びデータフォーマット一覧

アプリケーション	プロトコルヘッダー	データ圧縮形式
nv v3.3 β	RTP	NV形式
ivs v3.5(映像)	RTP	H.261
vat v3.4	vat独自	PCM μ 則
ivs v3.5(音声)	RTP	PCM μ 則

ションであるが、nvは映像通信のみであるため、実際のビデオ会議においては音声会議アプリケーションであるvatと一緒に用いられることが多い。そのため、この2つのアプリケーションを1つのモジュールとして実装した。各アプリケーションで使われているプロトコル及びデータ符号化形式を表3.2に示す。

フレームレート削減

トラフィック削減の簡単な実装として動画像のフレームレートを削減する機能を実装した。現在の実装では、送信相手と百分率による入力フレームと出力フレーム比を設定ファイルで静的に指定するようになっている。この機能はPRISMからのデータ出力インターフェイス部分に実装したので、どのアプリケーションに対しても、またPRISM間の通信でも有効である。

IP マルチキャストに依存しない多地点間通信

PRISMサーバ間の通信はユニキャスト通信として実装した。PRISMサーバには、マルチキャストとユニキャストの変換機能を実装し、アプリケーションとPRISMサーバ間ではユニキャストとマルチキャストの両方が利用できるようにした。これにより、マルチキャストの利用できない環境でも、PRISMサーバを介することで多地点間通信が可能になる。

3.4.3 実装における工夫

本実装における工夫点について述べる。

モジュールの独立性

本実装では、マネージャ、nv/vat モジュール、ivs モジュールを実装した。3.3 節でも述べたように、モジュールの独立性を高めて対応アプリケーションの追加が容易なように、各モジュールは独立したプログラムとして実装されており、マネージャから起動されるようになっている。起動すべきプロトコルモジュールは設定ファイルに記述する。

モジュール間通信における共有メモリの利用

各プロトコルモジュールは、アプリケーションからのパケット到着を待つて処理を開始しなければならない。また、サーバ内の他のモジュールから中間形式パケットが到着したときも処理を行わなければならない。これらのイベント待ちを `select()` システムコールで統一的に行うように、モジュール間通信をパイプで行うことにした。モジュール間通信用のパイプの作成はマネージャが行い、マネージャはパイプを作成した後で各モジュールを起動する。

映像データのようにデータサイズが大きいものをパイプを介して送受すると、プロセス間通信においてメモリコピーがオーバーヘッドになるため、映像データの送受では共有メモリを使用し、共有メモリの ID だけをパイプで送受するようにして、モジュール間通信のオーバーヘッドを回避した。

映像コーデック

一般に映像等を圧縮形式に変換する機能を持つプログラムやハードウェア等をエンコーダと呼び、圧縮形式のデータを伸張するものをデコーダと呼ぶ。そしてこれらを総称してコーデックと言う。PRISM の映像コーデックは、nv、ivs の各アプリケーションで実装されている符号化モジュール、復号化モジュールを利用して実装した。

PRISM では映像データの間接形式として YUV 4:1:1 形式を採用している。H.261 では PRISM の映像データの間接形式と同じ YUV 4:1:1 形式が使われているが、nv では YUV 4:2:2 形式が使われている。そのため、NV 形式の復号時に YUV 4:2:2 形式から YUV 4:1:1 形式に縮退させるフィルタと、NV 形式に符号化する前に YUV

表 3.3 H.261の符号化モード

符号化 の対象	前画面との比較	
	差分を符号化	比較なしに符号化
画面全部	—	FULL INTRA
画面一部	INTER	部分的 INTRA

ivs 3.5では、部分的INTRAモードに対応していなかった。尚、画面全てについて前画面との差分を符号化するモードは存在しない。

4:1:1形式をYUV 4:2:2形式になるように色差情報を補完するフィルタを実装する必要があった。

ivs 3.5のH.261デコーダは独立したプロセスとして動作し、映像の送信者ごとにfork()して起動されるように実装されている。これらのデコーダは同じ番号のUDPポートをパケット受信に使用するため、マルチキャストモードでなければ複数のプロセスが同じポートで受信することができない、すなわち複数の送信者からデータを受け取るにはマルチキャストモードで起動しななければならないという仕様になっている。PRISMにおけるH.261デコーダの実装では、ユニキャストでPRISMサーバに接続してくる複数のivsクライアントに対応するために、ivsプロトコルモジュールが代表してパケットを受信し、送信者に対応するデコーダにパイプを通じて転送するように実装した。送信者に対応するデコーダが起動されていないければfork()システムコールによって起動するようにした。そのため、ivsデコーダルーチンでの処理が高負荷になってしまっている。

また、H.261には、画面全体を前画面との比較なしに符号化するFULL INTRAモード、画面の一部について前画面との差分を符号化するINTERモード、画面の一部について前画面との比較なしに符号化する部分的なINTRAモードがある(表3.3)が、ivs 3.5のエンコーダは、FULL INTRAモードとINTERモードにしか対応していなかったため、PRISMでは、ivs 3.5のFULL INTRAモードのルーチンに変更を加えて、部分的なINTRAモードにも対応できるように実装した。部

部分的なINTRAモードは画面内で変更のあった部分だけを前画面との比較なしに符号化するため、処理の高速化につながった。部分的なINTRAモードは、ivs 3.5でも正しく再生することができた。

プロトコルヘッダ変換

プロトコルヘッダの変換における実装上の工夫について説明する。

まず、nv/vatモジュールにおいて、vatのヘッダをRTPに変換する際に2つのことに注意した。まず、タイムスタンプの変換である。RTPのタイムスタンプは初期値に任意時刻を取ることができ、タイムスタンプ値が単調に増加すれば任意周期のクロックを使うことができる。しかし、vatでは通信開始時のタイムスタンプを0とし、サンプリング間隔を1として表現したタイムスタンプ値が使用しており、通信開始時のタイムスタンプを任意の値にしたり、クロック周期を任意にすると、vatアプリケーションが解釈できず受信できない問題が発生した。そのため、RTPタイムスタンプをvatのタイムスタンプに変換する際、受信開始時のタイムスタンプ値を0にして、受信したサンプル数をモジュール内でカウントした値をvatヘッダのタイムスタンプフィールドに挿入することを行った。

ivsモジュールでも1個所だけ工夫が必要であった。ivsではRTPが使われているため、パケットヘッダの変換は本来必要ないのだが、音声データにおけるmarkerビットの使用法がRFC1890[14]の定義とは異なっていたため、変換処理が必要だった。RFC1890によれば音声パケットにおけるmarkerビットは、有音部の最初のパケットを示すために使用することになっているが、ivsでは有音部の最後の最後に当たるパケットにmarkerビットが立てられていた。そこで、markerビットの立ったパケットを受信した場合、そのビットを落とし、その次のパケットにmarkerビットを立てる処理を行った。

3.5. 動作確認実験

PRISMの動作特性を調べるために行った実験について述べる。図3.9で示すように、nv/vatとPRISMサーバをユニキャストで、ivsとPRISMサーバ間はマルチキャストで接続し、相互に通信できるか調べた。nvでは幅160ピクセル高さ120ピ

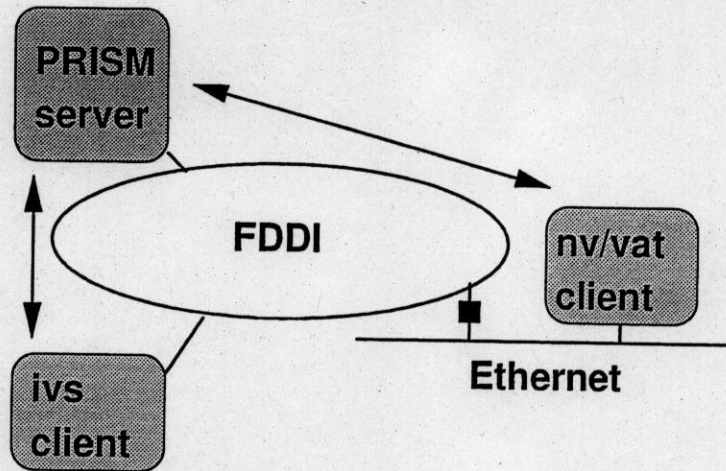


図 3.9 PRISM を介した nv/vat と ivs の相互接続

クセルの画像を、ivs では幅 176 ピクセル高さ 144 ピクセルの画像をそれぞれ 8bit color で送信した。送信バンド幅は、アプリケーションで指定できる最大バンド幅を指定し、nv では 1024kbps に、ivs では 300kbps に指定した。PRISM サーバを動かすマシンは、SGI 社の Indigo2, ChallengeXL, Origin2000 の 3 種類を用い、マシン性能の違いが PRISM サーバの性能にどのような影響を与えるか調べた。実験に使用したマシンスペックについて表 3.4 に示す。

3.5.1 相互接続

ユニキャストで PRISM サーバに接続した nv/vat と、マルチキャストで接続した ivs とでビデオ会議が実行できたことを確認した。このことから、PRISM サーバ上で nv 形式と H.261 間のデータ圧縮形式変換、vat プロトコルと RTP 間のプロトコル変換、ユニキャストとマルチキャスト間の相互変換が実現できることが分かった。また、PRISM 側の設定として nv/vat クライアントへの送信レートを変えて通信を行い、nv アプリケーションで受信フレームレートを確認した結果、PRISM の設定の変化と受信レートの変化がほぼ一致しており、フレームレート削減機能が有効に作用していることが分かった。

主観的な評価では、PRISM サーバを介したビデオ会議は、同種のアプリー

表 3.4 実験に使用したマシンの性能

	クライアント	サーバ		
	Indy	Indigo2	ChallengeXL	Origin2000
CPU	R4600	R4400	R4400	R10000
クロック	100 MHz	150 MHz	150 MHz	195 MHz
個数	x1	x1	x36	x20
メモリ	32 MB	64 MB	2 GB	10 GB
OS	IRIX 5.3	IRIX 5.3	IRIX 5.3	IRIX 6.4

クライアントは2台とも同スペックのマシンを使用した。

ションによるビデオ会議を行った場合と同程度の遅延で会話が行え、PRISMサーバを介したことによるオーバーヘッドは特に意識しなかった。

3.5.2 スループット

次に、PRISMの特性を客観的に評価するために、映像データについて、PRISMサーバが処理したトラフィックのスループット及びフレームレートを測定した。測定結果を図3.5～図3.6に示す。それぞれnvからivsへのデータストリームと、ivsからnvへのデータストリームに分けて表示してある。なお、この測定においてフレームレート削減は行っていない。

これらの測定結果から、フレームレートが向上しているのがわかる。実験した環境では、ボトルネックはネットワークではなく、マシンのCPUにあるといえる。

ivsのH.261の方がnvの圧縮形式よりも高圧縮であるため、nvからivsへの通信よりも、ivsからnvへの通信の方がスループットが高い結果になっている。しかし、フレームレートの比較ではトラフィック量の多いnvの方が低フレームレートとなっている。これは次のように考えられる。nvでは、conditional replenishmentと呼ばれる、画面内で変更のあった部分だけを前画面との比較なしに符号化する方法が採用されており、画面の一部でも変更があればそれを1つのフレームとして符号化する。そのため、1つ1つのフレームサイズが小さく抑えられている。加

表 3.5 PRISM サーバのスループット

サーバマシン	Indigo2	ChallengeXL	Origin2000
スループット (kbps)			
nv → ivs	305	464	593
ivs → nv	927	1101	1710

表 3.6 PRISM サーバが出すデータのフレームレート

サーバマシン	Indigo2	ChallengeXL	Origin2000
フレームレート (fps)			
nv → ivs	11.0	22.9	19.4
ivs → nv	8.9	12.2	15.4

えてH.261は高圧縮である。これがスループットが小さいのに高フレームレートを生み出す結果になったと考えられる。

3.5.3 PRISM サーバにおける遅延時間

PRISMサーバでの処理のオーバーヘッドを調べるために、各モジュールにおいてフレームあたりのエンコード時間、デコード時間を測定した。結果を表3.7に示す。表3.7からエンコードやデコードに要する時間は数ミリ〜数十ミリ秒であり、リアルタイムなエンコードやデコードが実現できていることが分かる。

さらに、PRISMサーバ内でのデータ遅延の累積分布を図3.10〜図3.11に示す。データがPRISMサーバに入ってから出て行くまでの遅延時間を横軸にミリ秒単位で表し、縦軸では横軸で示される遅延時間内で収まったパケットの占める割合を百分率で表している。図3.10は、ivsのパケットとして入ってきてnvのパケットとして出て行く場合であり、図3.11は、nvのパケットとして入ってきたivsのパケットとして出て行く場合である。これらの結果から、以下のことが指摘できる。

- 表3.5で観測された1フレームあたりのエンコード時間やデコード時間に対

表 3.7 フレーム当りの各モジュール処理時間平均

サーバマシン	Indigo2	ChallengeXL	Origin2000
ivs decode	7 ms	8 ms	3 ms
ivs encode	41 ms	40 ms	14 ms
nv decode	0.7 ms	0.2 ms	0.1 ms
nv encode	31 ms	34 ms	10 ms

して、図3.10、図3.11では、大きな遅延時間が観測されているが、これは、プロトコルモジュール間の通信及びプロセス切替によるオーバーヘッドであると考えられる。

- ChallengeXLにおける遅延時間の分布は、図3.10、図3.11ともに階段状になっている。確認のため、同じ実験を複数回繰り返したが、常に同じような特性が見られた。原因として、クロックの割り込みが考えられるが、特定できなかった。
- どのPRISMサーバも、nvからivsへの通信遅延よりも、ivsからnvへの通信遅延の方が長い。ivsでは、送信者ごとにH.261のデコードプロセスが割り当てられる実装になっており、今回実装したivsプロトコルモジュールでも、同様のことが行なわれていることから、プロセス間通信のオーバーヘッドであると考えられる。デコードルーチンの実装に改善の余地があることが分かった。
- 図3.10、図3.11とも、マシン性能が上がるにつれて、遅延時間が短くなっており、Origin2000をサーバにした場合では、PRISMサーバ内での遅延時間はかなり小さい値になっている。nvの packets として入って来て、ivs packets として出て行くまでの平均遅延時間は、Indigo2の場合76msec、ChallengeXLの場合68msec、Origin2000の場合16msecであり、ivsの packets として入って来て、nv packets として出て行くまでの平均遅延時間は、Indigo2の場合149msec、ChallengeXLの場合132msec、Origin2000の場合77msecで

あった。図3.11より、Origin2000の場合、80%以上が100msecの遅延時間に収まっていることが分かる。ITU-TのG.114勧告によれば、150msec以下の遅延は、大部分のマルチメディア・アプリケーションでは問題にならないという報告がある。このことから、nvとivsの相互接続において、通信オーバーヘッドが十分許容できる範囲に収めるには、Origin2000と同程度の性能を有するサーバが必要であることが分かる。本実験で使用したOrigin2000は、ChallengeXLと比べて、CPU数やメモリサイズで劣っているにも関わらず、ChallengeXLよりも優れた性能を発揮している。このことから、PRISMサーバの性能は、CPUクロックに大きく依存しているといえる。本モデルでは、PRISMサーバをサイトに1つ配置することを想定しており、Origin2000程度のサーバは用意できると思われる。

PRISMサーバ間での通信遅延

図3.9のEthernetセグメントにおいて、別のPRISMサーバを動かし、nv/vatクライアントとivsクライアント間を2台のPRISMサーバを介して接続した。PRISM間通信を伴うアプリケーションの相互接続では、図3.8のようにパケットが転送される。PRISMサーバには、FDDIセグメントではChallengeXLを、EthernetセグメントではIndyを用いた。

遅延時間を測定した結果、どちらのPRISMサーバでも、アプリケーションからパケットを受け取ってから、他のPRISMサーバへパケットを転送するのに要した時間は、数ミリ秒と非常に小さい値であった。このことから、PRISMサーバを多段にしたことによる通信オーバーヘッドは問題にならないといえる。

3.6. 今後の課題

PRISMにおける今後の課題として以下のようなことが考えられる。

- 画像フォーマットの変換は、全てソフトウェアで行なっている。表3.5より、エンコード処理には時間を要することがわかっている。エンコード処理を

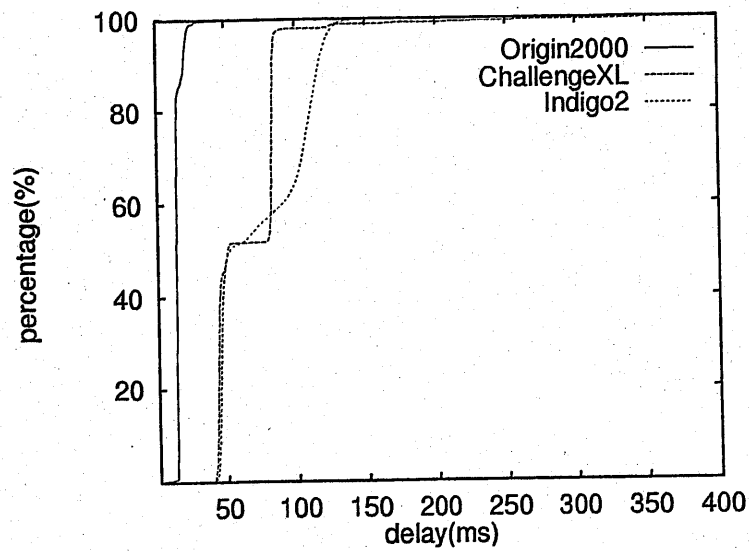


図 3.10 サーバ内での遅延時間 (nv → ivs)

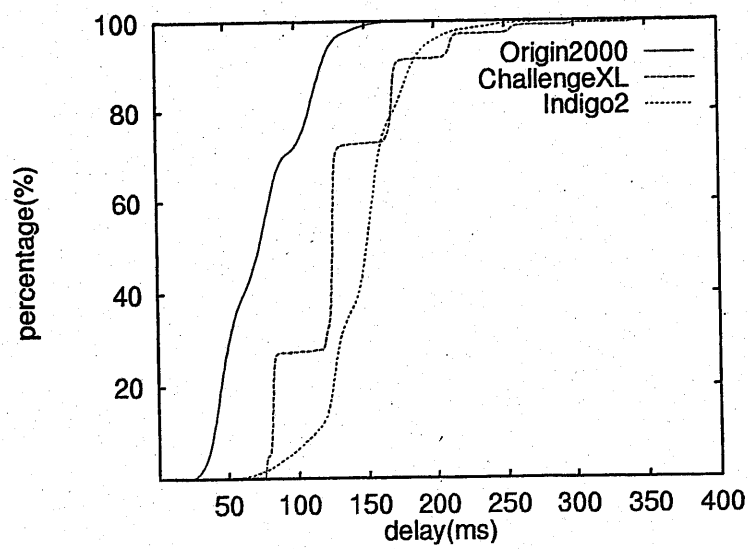


図 3.11 サーバ内での遅延時間 (ivs → nv)

ハードウェアで行なうことで、処理時間の短縮がはかられ、PRISMのスループットの向上が見込まれる。

- PRISM ネットワークの構築については、明示的にネットワーク構成を指定することにより作られる。しかし、この方法は障害に弱い上、通信量を減らした最適なネットワークを構成するのはかなり困難である。ネットワークの状況や障害に対して自律的にPRISM ネットワークを再構成できるような仕組みが必要だと思われる。
- マルチメディア通信がかなり身近なものとなった現在、アプリケーションに次に要求されるのは、画質、音質、遅延、セキュリティといったQoS (Quality of Service) の制御あるいは保証であろう。今回のPRISMの実装では、アプリケーションの相互接続およびネットワークの帯域格差の吸収を目的としたために、QoSにおいてはアプリケーションが提供するものをそのまま使用している。PRISMは、アプリケーション間の通信の間に入るものであるから、PRISMで様々な処理が期待できる。PRISMでQoS制御を行うことで、QoS制御を行えないアプリケーションに変更を加えることなくQoSを意識した通信が行えるようになる。

本研究では、対象とするアプリケーションをビデオ会議システムに限定したが、PRISMの手法は、ビデオ会議システムに制限されるものではなく、一般的なマルチメディア・アプリケーションにも適用できると考えられる。

3.7. むすび

本研究では、使用するプロトコルやデータ形式の異なるビデオ会議アプリケーション間や、異なる帯域のネットワーク間を相互に接続し、円滑なビデオ会議コミュニケーションを促進することを目的に、マルチメディア通信プラットフォームPRISMの提案を行い、実装した。PRISMはデータ変換とトラフィック削減機能を持ち、ビデオ会議の参加者は、アプリケーションやネットワーク帯域の違いを意識することなく透過的な通信が可能となる。PRISMはモジュール構成を取り、対応アプリケーションの追加の容易さを重視し、各モジュールを独立したプログラ

第3章 アプリケーションゲートウェイによるビデオ会議システムの相互接続

ムとした。この点でPRISMは拡張性に優れたシステムであるといえる。評価実験により、PRISMを介してnv/vatとivsとで相互に通信できることが確認された。また、RPISMサーバにおける通信オーバーヘッドは許容できる範囲内に納まっていることも確認した。

本研究の意義は、PRISMの機能を実装し、評価したことであり、所期の目的は達成された。今後は、動的なトラフィック制御や、PRISMネットワークの最適構成について研究していく予定である。

第4章

テレビとInternetの融合の試み

本章では、テレビとInternetの融合を目的として行った全国高等学校野球選手権大会のInternet中継について述べる。Internetはテレビと違い、安定した帯域の確保や同報放送が困難であるが、デジタル情報の発信や広範囲への情報提供が得意なメディアである。テレビとInternetを融合するには、両者の違いをうまく吸収したシステム構築が必要である。

本中継システムは、Internetでの情報発信手段として広く普及しているWWW (World-Wide Web) システムを用いて、リアルタイムな情報更新、広範囲に分散して存在する多数の視聴者へ大量な情報提供を実現したシステムである。

4.1. まえがき

情報通信分野におけるデジタル技術の進歩、個人の嗜好の多様化に合わせた多チャンネル時代への突入などを背景にテレビ放送のデジタル化が進んでいる。デジタル放送は、アナログ放送に比べて雑音に強く高品質なサービスを提供でき、コンテンツの編集や加工が容易であるなどの利点を持つため、従来のアナログ放送では実現できなかった多様なサービスを提供できる可能性を秘めている。

一方、ここ数年で急速に普及してきたインターネットは、デジタル化された情報を伝達するのに適した通信基盤である。WWW (World-Wide Web) の登場により、マルチメディアを主体とした情報発信が容易になり、様々なイベント中継がInternet上で行われるようになってきた。Internetの持つ広域性と双方向性を活かすことで、既存のマスメディアでは実現できない新しい情報発信サービスが可能であり、Internetのマスメディア化が注目を集めている。

テレビのデジタル化, Internetのマスメディア化を背景に, この両者を融合して柔軟性に富んだ新たな情報空間を作り出す動きがあり, Internet側からのアプローチとして幾つかの実験が行われている [37][38][39][40][41]. Internetのマスメディアとしての可能性を探るには, 多くの人々が関心を持つイベントを中継するのが最も適している. しかし, Internetはテレビと異なる性質を持つため, テレビ放送で使われていた従来の手法をそのまま採用することができない. これまでInternet上では幾つかのイベント中継が行われているが, これらの中継システム構築の指針は明らかになっていない.

本章では, 第79回全国高等学校野球選手権大会(以下「甲子園大会」と呼ぶ)のInternet中継を例にとり, テレビとInternetの違いを吸収し, イベントと連動した情報をInternet上の多くの視聴者に提供するためのシステム設計を明らかにし, 構築したシステムについて述べる. また, 実際に運用して得られたアクセス結果について述べる.

4.2. Internet中継システム設計の指針

Internet中継では, テレビとInternetの違いを考慮し, 双方をうまく融合させる必要がある. 本節では, Internet中継に要求される事柄について考察する.

4.2.1 リアルタイムな情報生成

Internetのサービスモデルの多くは, クライアントからの要求にこたえてサーバが情報を提供するというクライアント-サーバモデルに基づいている. イベント中継では, 中継すべき情報はイベントの進行とともに常に変化し, クライアントからの要求時に常に最新の情報を提供するために, リアルタイムな情報生成が要求される. 音声や映像などの複雑な符号化をソフトウェアで行おうとすると, マシン性能の限界により, リアルタイムに処理できないことがある. このような場合には, ハードウェアによる符号化を考えなければならない.

4.2.2 大量アクセスへの対処

オンデマンドなサービスが中心となる Internet でのイベント中継では、視聴率上昇は中継システムへのアクセス集中を意味する。アクセスが集中すると、CPU 速度やディスクの入出力速度がボトルネックとなり、1 台のマシンでサービスを提供することが困難になる。複数台のマシンを用意して負荷分散を図ったり、RAID によるディスクアクセスの高速化、キャッシュの利用によるディスクアクセス回数の削減が必要である。

4.2.3 視聴環境の違いを考慮したサービス設計

Internet は均質なネットワークではなく、視聴者の接続形態、利用しているアプリケーション、マシンの性能など様々な違いが存在する。サービス設計においては、これらの違いを考慮する必要がある。

まず、接続形態の考慮が必要である。Internet への接続形態は、企業、大学、官公庁などの組織内 LAN からの専用線接続から、家庭でのアナログモデムや TA によるダイヤルアップ接続まで様々であり、接続帯域や接続時間が異なる。そのため、全ての視聴者に高品質な動画像を提供することは不可能である。また、Internet は種々のトラフィックが混在し、ネットワークを共有しているので、安定した帯域の確保は困難である。したがって、ネットワーク帯域や接続時間に関係なく受けられるサービス提供が必要になる。

次に、アプリケーションの違いを考慮しなければならない。Web ブラウザとして Netscape Navigator と Internet Explorer が代表的であるが、両者の間では、HTML タグの実装が異なっていたり、独自コンポーネントが定義されていたりする。また、ブラウザのバージョンによっては使用できないタグも存在する。どのブラウザでも表示できるようなページデザインが必要である。さらに、動画像や音声を用いた中継を行う場合、WWW ブラウザ本体ではそれらを再生することができないため、プラグインや外部アプリケーションが必要になる。多くの視聴者に中継サービスを提供するためには、全てのプラグインや外部アプリケーションで再生できるように中継データを用意する必要がある。

最後に、マシン性能を考慮する必要がある。JAVA の VM の起動を必要とする

ような高負荷なデータは避けるべきである。また、ページデザインにおいては解像度の低い画面を考慮して、幅800ピクセル高さ600ピクセルのSVGAサイズに収まるデザインを心がける必要がある。SVGAサイズは画面サイズの小さいノートPCでも表示可能なサイズになっており、ほとんどの視聴者がストレスなく視聴できると思われる。

4.3. 本研究の取り組み

甲子園大会のInternet中継は、1996年の知念らによって初めての中継実験が行われている[37]。この中継実験は、テレビ放送システムとInternet中継システムの融合を第一に考えてシステムが設計され、試合の様子が静止画像と音声で、得点や選手情報が文字で中継され、約600万件のアクセスを得ることに成功している。この実験では、動画像を提供できなかったことと、中継システムのInternet間の1.5Mbpsの接続帯域がボトルネックとなってアクセスが抑制されたことが課題として残されており、本研究ではこの2つを中心にInternet中継システムの設計、構築を行う。

Internet上で動画像を中継するシステムは実用化されているが、Internet全域は動画像通信を可能とする程の広帯域ネットワークでないため、動画像の提供については工夫が必要である。本研究では、動画像をハイライト場面のビデオクリップとして提供することを考え、それを実現するシステムを新たに構築した。また、ネットワーク帯域がボトルネックにならないように、ATM回線によりInternetに接続し、アクセス増加によるトラフィック増加に柔軟に対処できるようにした。さらに、アクセス数が増えると中継システムが高負荷が予想される。そこで、中継システムの情報生成系と情報提供系を分離することで負荷の軽減を図ると共に、高負荷時でも多くの視聴者に中継サービスを提供できるように共有メモリ利用による処理の高速化を図るなどの工夫を行った。

4.4. 甲子園大会中継システムの設計

テレビとInternetの違いを考慮した中継システムの設計について述べる。

4.4.1 サービス設計

本節では、甲子園大会を Internet 中継するために提供するサービスについて考察する。

中継素材の選択

視聴者の興味を引く中継を行うために、魅力ある中継素材を選択しなければならない。臨場感を伝えるには動画像や音声による中継を、記録やデータが重視される場合には文字情報を充実させる必要がある。

テレビ放送の野球中継では、試合模様の映像を中心に、得点、攻守、SBO カウント¹などの情報がストリーム型サービスとして全て動画像で提供されている。Internet では、これらの情報を文字、音声、静止画像、動画像など適切なメディアでの情報発信が可能である。

また、テレビ放送は発信者主体の一方向メディアであるため、提供される情報も試合の進行情報などに限定されるが、Internet には双方向性があり、視聴者が任意のタイミングで情報を得ることができるため、テレビ放送では提供できない情報の提供が可能である。

本中継システムでは、試合の進行情報のほかに、大会スケジュール、これまでの試合結果、選手のプロフィール、各都道府県の代表であるチームの情報および都道府県情報などを提供した。このような情報を提供することで、視聴者はテレビでは得られない付加情報を得ることが出来る。

映像中継サービス

静止画像による中継では、データサイズが小さくなるため、伝送に必要なネットワーク帯域が少なく済むが、臨場感が伝わりにくいという欠点がある。一方、動画像による中継では、臨場感は伝わるが、伝送に必要なネットワーク帯域が大きくなり、全ての視聴者が満足にサービスを受けることができるとは限らない。そのため、動画像を提供する場合には工夫が必要である。

¹ ストライク数、ボール数、アウト数の情報

動画像の提供方式には、テレビ放送のようなストリーム型サービスと、レンタルビデオのようなストア型サービスの2通りのサービス形態がある。RealVideoのようなストリーム型アプリケーションを用いると、簡単にライブ中継が実現できるため、Internetでのイベント中継ではストリーム型サービスが多く行われている。しかし、ストリーム型サービスでは、ネットワーク帯域に合わせて動画像や音声の品質を変化させるため、狭帯域ネットワークの視聴者は、低品質の映像や音声しか受けられないという欠点がある。蓄積型サービスでは、全てのデータがダウンロードされた後で再生が開始されるので、視聴者のネットワーク帯域に関わらず、高品質な動画像を提供できる。しかし、データサイズが大きすぎると、ダウンロードに時間を要することになり、視聴者の快適感を損なう恐れがある。蓄積型サービスではダウンロード時間を考慮してデータを用意しなければならない。

本中継システムでは、ストリーム型サービスと蓄積型サービスを併用して画像の提供を行い、視聴環境の違いを吸収することにした。

4.4.2 システム設計

情報生成システムと提供システムの分離

イベント中継ではイベントの進行状況に合わせて、発信すべき情報を随時更新する必要がある。イベントの進行状況はリアルタイムに流れているストリーム情報である。一方、WWWによる中継は、クライアント-サーバモデルに基づいており、サービス形態としては蓄積型サービスに分類される。情報生成では、ストリーム情報から蓄積型情報を生成する必要があるが、これは非常に高負荷な処理を要する。

生成部と提供部を分離することにより以下の特長が生まれる。

- 生成部で障害が起こっても、提供を続けることができる。
- 生成処理は高負荷であるため、提供システムの負荷に影響を与えない。

障害対策と安定性

マスメディアとしてサービスを行うには、障害によるサービス停止が生じないような対策を講じなければならない。障害の種類としては、システムを構成する

マシンによるもの、ネットワークによるものの2種類が考えられる。マシンによる障害に対処するために、システムを二重化、三重化して、障害発生時に瞬時に切り替えられることが重要である。ネットワークの障害に対処するには、中継システムを2通り以上の経路でInternetへ接続することが重要である。中継期間が短ければ短いほど、途中でのシステム変更は困難であるので、代替システム、代替経路の重要性は高くなる。中継期間が長期になれば、アクセスの傾向を見ながら、システムの補強やチューニングを行えるが、運用が長期になればなるほど、障害の発生する可能性が高くなる。障害を未然に防ぐためにアクセス数を予想し、十分な処理能力を有するシステムを構築する必要がある。一般にアクセス数は、中継システムとInternet間のネットワーク帯域が大きいほど、コンテンツサイズが小さいほど多くなる。

ネットワーク

多くの視聴者に中継サービスを提供するために、中継システムとInternet間を広帯域で接続しなければならない。また、ISP間の接続を行うIX(Internet eXchange)へ広帯域で接続することも重要である。さらに、ネットワーク帯域がボトルネックとなってアクセス数が制限されることを防ぐために、トラフィック増加に対して接続帯域増加などで対処できるように予備回線の確保も必要である。

4.5. 甲子園大会中継システムの構築

第79回大会のInternet中継では図4.1のような中継システムを構築した。中継システムは、映像や音声、データベースから得られる情報からInternet中継用のデータを生成する情報生成システムと、Internetへ中継する情報提供システムの2つから構成される。

動画像は、試合の模様をRealVideoによるストリーム型サービスで、ハイライト場面のビデオクリップを蓄積型サービスとして提供した。また、第78回大会の中継実験で提供したようにJPEGの連続送信による擬似的なストリームサービスも提供した。中継に用いたマシンのスペックを表4.1に示す。

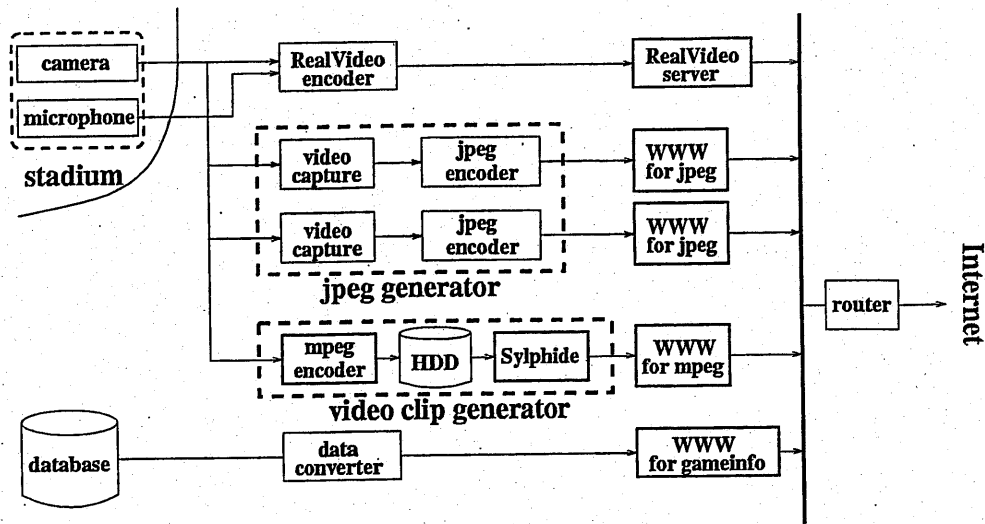


図 4.1 中継システムの構成

4.5.1 情報生成システム

情報生成システムには、大会会場からの映像がNTSC信号に変換されて入力される。情報生成システムでは、このNTSC信号を同軸ケーブルで分配し、RealVideo生成システム、静止画像生成システム、ビデオクリップ生成システムへの各入力とした。RealVideoはWWWと親和性が高い上、同様のストリーム型サービスを提供するStreamWorks[42]、VDOLive[43]に比べて広く普及しているため、ストリーム型サービスをRealVideoで行うことにした。RealVideo生成は専用のエンコード装置を使って行った。

本節では、特に静止画像生成システムとビデオクリップ生成システムについて述べる。

静止画像生成システム

静止画像生成システムでは、試合模様の静止画像を連続的に生成する。入力された映像をビデオキャプチャボードを持つコンピュータでフレームバッファに取りこみ、自然画像の圧縮に向けたJPEG形式に変換する。JPEGへの変換はソフト

表 4.1 中継システムのマシンスペック

	マシン	役割
1	SGI O2 (x2)	JPEG 画像の生成と提供 (2 台)
2	PC/AT	試合情報提供 WWW サーバ
3	Sun Ultra-1	ビデオクリップ提供 WWW サーバ
4	SGI Indigo2	RealVideo サーバ
5	SGI Indigo2	ビデオクリップ生成
6	PC/AT	MPEG 録画用

	マシン	CPU	クロック数	OS	メモリ
1	SGI O2	R5000	180 MHz	IRIX 6.3	96 MB
2	PC/AT	MMXP*	266 MHz	FreeBSD 2.2.2	160 MB
3	Sun Ultra-1	UltraSPARC		Solaris 2.5.1	256 MB
4	SGI Indigo2	R4000	200 MHz	IRIX 6.2	96 MB
5	SGI Indigo2	R4400	200 MHz	IRIX 6.2	128 MB
6	PC/AT	PPro**	200 MHz	WinNT 4.0	64 MB

* MMX Pentium

* Pentium Pro

JPEG 画像の生成と提供にはは同スペックの SGI O2 を 2 台用いた。

ウェアで行っており非常に高負荷な処理である。生成された JPEG 画像を共有メモリに格納し、ディスク入出力のオーバーヘッドを削減することで高速化を図った。

ビデオクリップ生成システム

本研究では、アナログ信号として流れている映像からデジタル映像によるビデオクリップをリアルタイムに生成するという新たな試みを実現するために、ビデオクリップ生成システムを開発した。ビデオクリップ生成システムでは、入力された映像をハードウェアエンコーダを用いて、リアルタイムに MPEG-1 形式の画

像へデジタル圧縮録画²し、これを常時ハードディスクにファイルとして保存し続ける。1試合分の録画ファイルは200～300Mbpsだった。ビデオクリップは、オペレータがこの録画ファイルからハイライト場面を別ファイルとして切り出すことにより生成される。本中継では、「ハイライト場面＝得点場面」と定義して切り出しを行った。なお、ビデオクリップを生成している間も、試合の映像はファイルに録画されつづけている。

動画像の圧縮形式としてMPEG-1を選択したのは、主に、WWWの外部アプリケーションとなるビューアがWindows, Macintosh, UNIXを問わず広く普及していたためである。他にも、MPEG-2やMPEG-4に比べてエンコーダが安価である、編集加工が容易であるなどの理由がある。

得点場面の切り出しには、映像編集経験のないオペレータが操作することを前提に、切り出すことに機能を絞った簡易編集システム”Sylphide”をJava言語を用いてIRIX OS上で開発した(図4.2)。ビデオクリップはファイルサイズが大きくなりすぎないように20秒を目安に切り出した。256kbpsのMPEGストリームで20秒のデータサイズは、 $256(kbps) * 20(s) / 8(bit/B) = 640(kB)$ になる。実際に切り出したビデオクリップは500～600kBのファイルサイズであった。640kBのデータは28.8kbpsでダイヤルアップ接続している視聴者から約3分でダウンロードできる。切り出しに要する時間は2～3秒であるため、得点場面が連続して複数のビデオクリップを連続して作成しなければならない場合にも対処できる。また、複数のSylphideを同時に起動して、それぞれ独立にビデオクリップを生成することも可能である。

ランニングスコア生成システム

テレビ放送の野球中継では、チーム名、得点、SBOカウントなどの試合情報がテロップで提供され、これらのデータはテロップ生成システムにデータベースとして格納されている。そこで、このデータベースから定期的に試合情報を取り出し、HTML形式に変換することでランニングスコアを生成した。

²256kbps ストリーム圧縮を使用

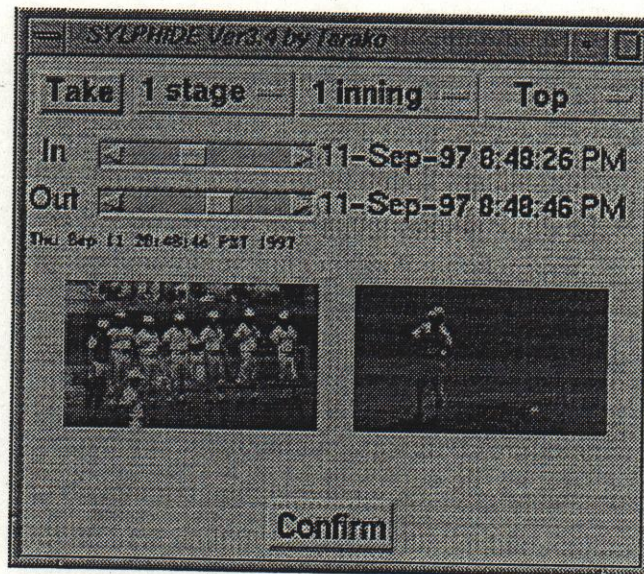


図 4.2 ビデオクリップ生成 GUI “Sylphide”

Take ボタンを押すと、その瞬間のスナップショット（静止画像）が右画面に、20 秒前の画像が左画面に現れる。オペレータは必要に応じて In 点時刻（開始時刻）、Out 点時刻（終了時刻）を調整する。画面上のスライダーを動かすとそれに合わせて画像も変化する。Confirm ボタンを押すと、In 点と Out 点の間の動画像がビデオクリップとして切り出される。

4.5.2 情報提供システム

情報提供システムは、WWW サーバと RealVideo サーバからなる。WWW では、試合模様の JPEG 画像、ランニングスコア、ハイライト場面の MPEG 動画像などをサービスする。RealVideo サーバでは、試合模様のライブ中継をサービスする。静止画像と試合情報を試合の経過に合わせて提供するために、JPEG 画像と試合情報で構成される自動更新のページを作成した（図 4.3）。更新間隔はネットワーク帯域の違いを考慮して、3～120 秒で 6 種類の更新間隔を用意した。

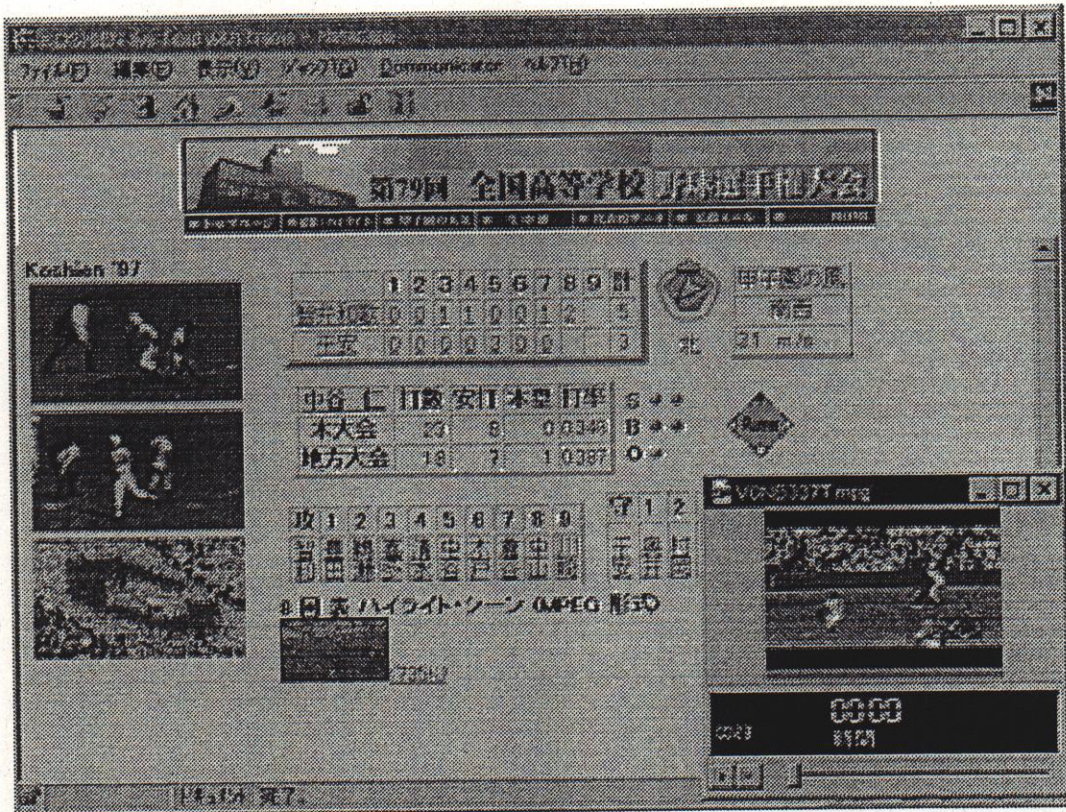


図 4.3 試合中継のページ

静止画像 (JPEG), 試合情報でページが構成される. 得点をクリックするとハイライトのビデオクリップ (MPEG) のインデックスが現れ, インデックスをクリックすると, MPEGダウンロード後再生が開始される.

ページの自動更新

WWWにおける自動更新手法としては、server pushとclient pullが存在する[44]。server pushは、ユーザがそのページを閲覧している間、サーバとクライアント間の接続を保持しておき、サーバからクライアントに定期的に更新されたデータを送る機能である。接続を保持しつづけるので、更新ごとに接続確立する必要がなく、低負荷な更新が可能であるが、サービスできる視聴者数が同時接続数の上限に制限される。一方、client pullは、クライアントが定期的にサーバへリクエストを要求する機能である。要求ごとに接続を確立するため、server pushに比べて処理が複雑になり、接続確立のオーバーヘッドも大きくなるが、一回の接続時間は短くなる。本研究では、多くの視聴者にサービスを提供することを目標に中継システムを構築したので、client pull方式で自動更新を行った。client pullは、代表的なWWWブラウザである、Netscape NavigatorやMicrosoft Internet Explorerでサポートされているため、ほとんどの視聴者が問題なくサービスを受けることができる。

負荷分散と高速化

多くの視聴者にサービスを提供するために、アクセス分散によるWWWサーバの負荷軽減と、サービス提供処理の高速化を行った。

WWWでのアクセス分散の方法としては複数台のWWWサーバでクラスタを構成するのが一般的である。アクセス分散の方法としては、クラスタを構成するマシン全てに同じコンテンツを持たせ、DNSラウンドロビン方式やレイヤー4スイッチなどを用いる方法があるが、本実験ではアクセスの増加を見ながら順次クラスタ数を増やしていったため、前日までのアクセス傾向とサーバ能力から、負荷が分散するようにコンテンツ毎にWWWサーバを分離する方法をとった。最終的には、2台の静止画像提供用、ビデオクリップ提供用、ランニングスコア提供用の4台のWWWサーバでクラスタを構成した。定期的に自動更新される静止画像には大量のアクセスが予想されるため、2台の同スペックのマシンをWWWサーバとし、DNSラウンドロビン方式で負荷分散を図った。

また、アクセス集中時にはディスクへのアクセス速度がボトルネックになる。特に試合模様の画像は毎回異なる映像であるため、ファイルシステムのキャッシュ

第4章 テレビとINTERNETの融合の試み

効果が小さく、ビデオ画像を静止画像として提供する際には高い負荷が生じる。そこで、静止画像生成システムと提供システム間のデータ送受を共有メモリを介して行うことにより、ディスクアクセスによるオーバーヘッドをなくし、処理時間短縮による高速化を図った。WWWサーバにはapache 1.2.1[45][46]を使い、共有メモリから静止画像を読み出して提供する部分は、apacheの拡張モジュールとして独自に開発、実装した。

RealVideo 提供システム

RealVideo 放送はリクエストはWWWで受けるが、実際のサービスは専用のRealVideoサーバから提供される。1台のRealVideoサーバにアクセスが集中すると、サーバとInternet間のネットワークが混雑し、視聴者に提供する品質が低下してしまう。そこで、スプリッタと呼ばれる中継サーバをNXPIX2に接続されたマルチフィード実験ネットワーク上に1台、CKP(サイバー関西プロジェクト)[47]ネットワーク上に3台配置し、同時に4000人の視聴者へRealVideoサービスを提供できるようにした。スプリッタの選択は視聴者の判断に委ねた。

4.5.3 障害対策と安定運用

本中継システムではシステムの二重化は行っていないが、WWWサービスを提供するマシンの瞬間リクエスト数、CPU負荷をモニタリングし、常にシステム負荷を監視することで、システムダウンを早急に検知し、サービス停止時間が短くなるように努めた。瞬間リクエスト数の情報は、WWWリクエストを受けつけるとカウンタを1増やし、リクエストの処理が終わるとカウンタを1減らすという単純なコードをWWWサーバに埋めこみ、HTTP経由でアクセスできるようにapacheを改造した。CPU負荷については、UNIXに標準的なシステムユーティリティであるvmstatを使って観測した。システム負荷を観測することで、事前にシステムダウンを予測でき、システムダウン時に迅速に再起動が行え、サービス停止時間は1分以内であった。

4.5.4 Internet 接続

中継システムは、CKPのATM網を経由してWIDE奈良NOCまで155Mbpsで、さらに奈良NOCからNSPIX2へATM PVCをCBR³ 15Mbpsに設定して接続した。また、システムを構成する各マシンは100BaseTでスイッチに接続されており、スイッチはFDDI経由でATMルータに接続されている。大会が進行するにつれて、アクセス数が増加し、奈良NOC-NSPIX2間の15Mbpsの帯域限界までトラフィックが流れていたため、大会10日目からは帯域を20Mbpsに拡大した。ATMを使ってInternetに接続したためにトラフィックの増加に柔軟に対処できた。

4.6. アクセス結果

構築した中継システムを第79回甲子園大会のInternet中継で実際に運用し得られたアクセスログを解析した結果について述べる。

第79回甲子園大会は平成9年8月8日から8月21日までの14日間行われた。14日間の大会期間を通じて約6500万件のアクセスがあり、それにより総計約190GBのトラフィックが生じた⁴。アクセスの半分は企業(co.jp)からのアクセスだった(図4.4~4.5)。アクセス数は大会の進行に合わせて増加し、大会12日目のアクセス数は1200万件を超えた(図4.6)。大会12日目は準々決勝が行われた日であり、テレビ中継でも視聴率が高い日である。大会12日目におけるアクセス数の推移を図4.7に示す。試合の開始とともにアクセスが急増し、試合と試合の間は減少し、試合終了とともにアクセスが激減している傾向が現れている。中継システムの最大負荷の目安となるアクセス集中の最大値は約25万件/10分だった。アクセスの最大値を10分単位で集計したのは、アクセス集中時にはWWWサーバの負荷が増大し、リクエストを受けてからデータを送り終えるまでに数分以上要することもあるためである。図4.6~4.7より、Internet中継における視聴率もテレビ中継と同じ傾向にあると言える。

データ種別のアクセス分布を図4.8に示す。半分以上が静止画像へのアクセス

³Constant Bit Rate

⁴コンテンツのデータ量の総計であり、IPヘッダやTCPヘッダを含めるとInternet上に流れたトラフィックは10%程度大きいと思われる。

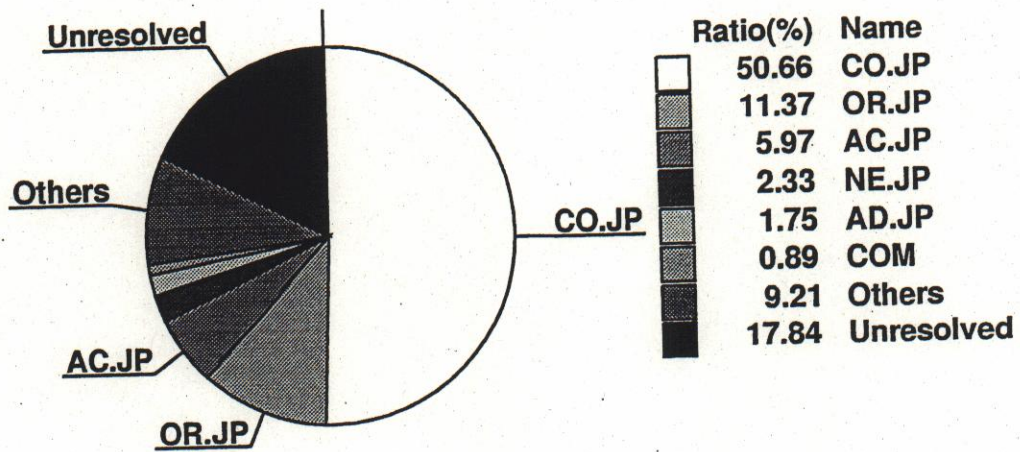


図 4.4 ドメイン別アクセス分布

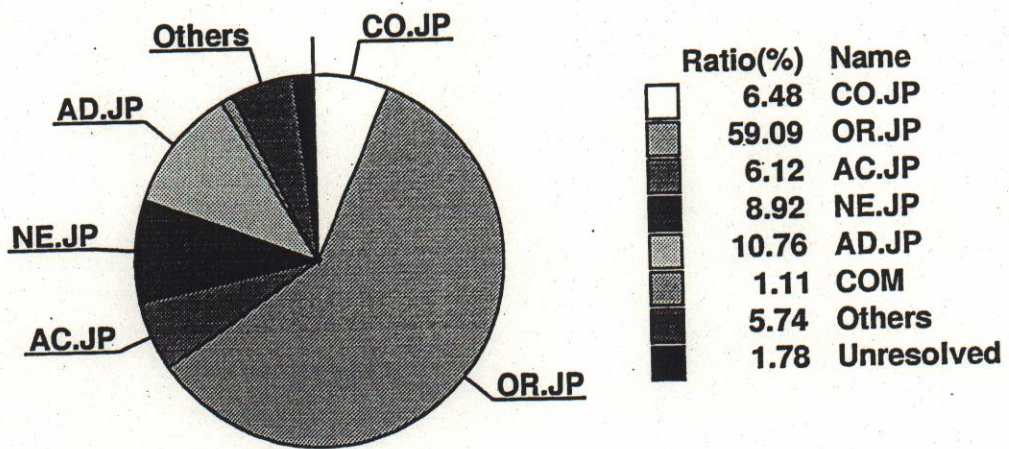


図 4.5 ホスト別アクセス分布

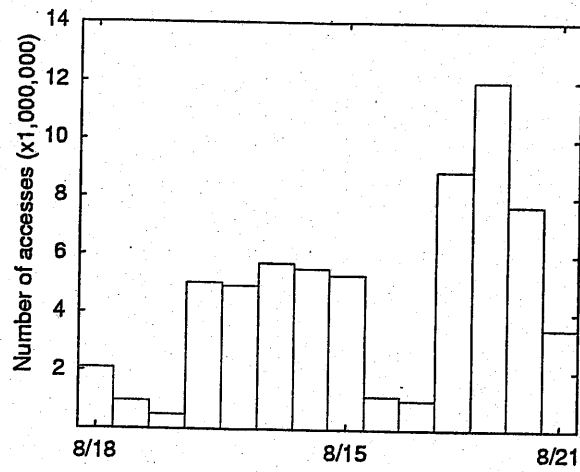


図 4.6 大会期間中のアクセス変化

大会初日は金曜日であった。平日はアクセスが多く、週末は少ないのが分かる。また終盤に近づくとつれて、アクセス数が増えていることも分かる。

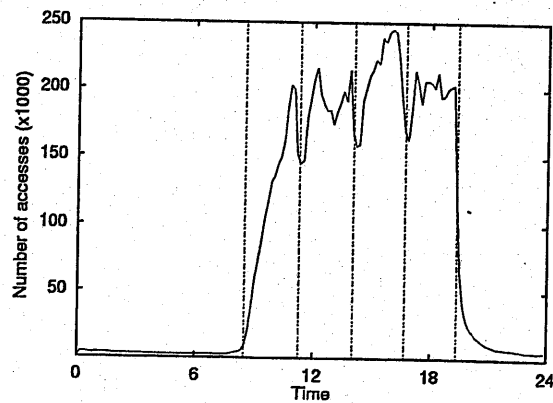


図 4.7 大会12日目のアクセス数推移

大会12日目は準々決勝4試合が行われた。破線は各試合の終了時刻を表す。試合の開始・終了に伴い、アクセス数が増減しているのが分かる。

だった。WWWのページは自動更新されるように作成したので、自動更新のデータのアクセスが多くなっている。リクエストを受けつけてからデータの送出手が完了するまでの時間を図4.9に累積分布グラフとして示す。ほとんどのデータが短時間で送出手を完了していることが分かる。特にJPEG画像の提供においては、共有メモリを用いた高速化が有効だったことが分かる。MPEG画像の送出手には、他のデータと比べると送出手に時間を要しているが、90%以上のアクセスが5分以内に終わっており、許容できるサービス時間だと考えられる。

4.7. 考察

図4.4～4.5を見ると、企業 (co.jp) からのアクセスでは、他のドメインに比べて、ホストあたりのアクセス数が多い結果となっているが、セキュリティ上の理由やキャッシュ利用の目的から、代理サーバを介してアクセスしてきているためだと思われる。実際アクセスログには代理サーバらしきアクセスが多く見られた。また、接続時間が長いことも理由の1つであると予想される。

今回構築した中継システムでは、JPEG画像は定期的に更新されるため、長時間接続すればそれだけアクセス数が増える。専用線でInternetに接続されている企業 (co.jp) や大学 (ac.jp) などは、接続料金を気にすることなく長時間視聴できる環境にある。一方、PPP接続が多いと思われるor.jp, ne.jpからのアクセスでは、短時間の視聴が多かったと言える。従来のイベント中継で主流となっているストリーム型サービスは、ある程度長時間視聴してもらうことを前提にしている。しかし、アクセス結果の分析から、PPP接続では短時間の視聴が多いことがわかった。Internetがマスメディアとして成功するには、短時間の視聴でも満足できるビデオクリップのようなサービスも充実させる必要がある。

4.8. 将来への展望

現在のInternetは、技術開発とコスト低下によりバックボーンネットワークが広帯域化し、専用線による常時接続の視聴者に対しては快適に利用できる環境にあるが、ダイヤルアップ接続による断続接続の視聴者にとっては、接続料金や回

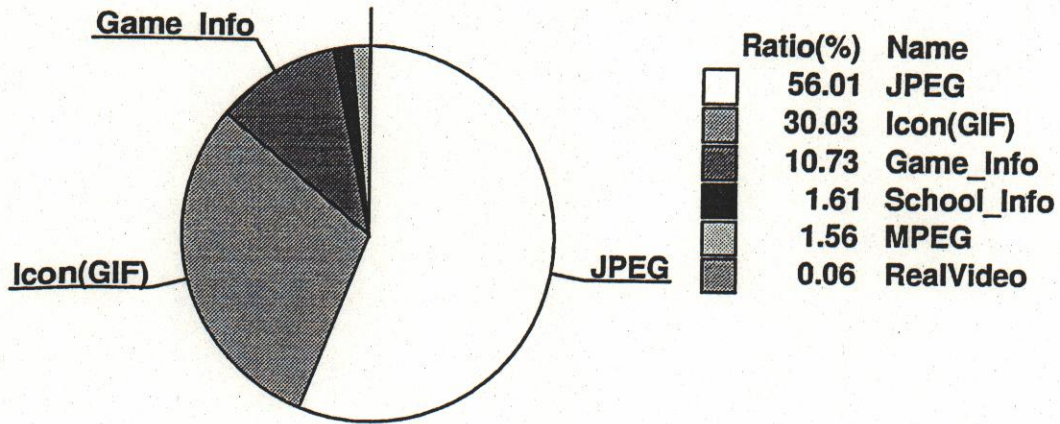


図 4.8 データ種別アクセス分布

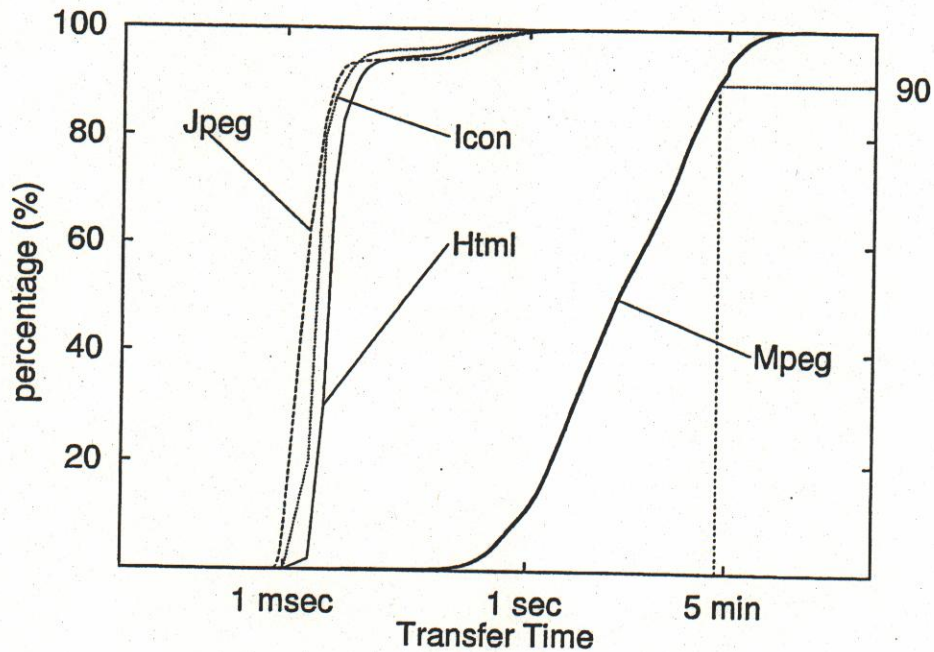


図 4.9 データ送出時間の分布

アクセスログから計算。この時間はサーバがデータを送出するのに要した時間であり、クライアントに到着するまでの時間ではない。WWWでは、キャッシュからの更新確認で実際にはデータ転送を伴わないリクエストが多くあるが、そのような転送は除いてある。

線速度の面から長時間の視聴は困難であると言える。Internetのこのような現状を考えると、サービス設計にあたっては、ストア型サービスをさらに充実させることが課題であるといえる。

4.8.1 デジタル放送との融合

今後、更に多くの視聴者に長時間サービスを提供するためには、xDSLや光ファイバの家庭への導入による広帯域アクセス、接続料金の低下などにより、個人が快適にInternetを利用できる環境の整備が望まれる。

すでにサービスの開始されている通信衛星を使ったデジタル放送や、2010年よりサービス開始が予定されている地上波デジタル方法[48]と、Internetの融合を考えた場合、ネットワーク帯域の問題は緩和されるだろう。テレビ放送では同報通信を基礎としているため、ストア型による視聴者ごとのきめ細かいサービスには適さないが、ストリーム型サービスとの融合は容易である。ストリーム型サービスはデジタルテレビ放送で、ストア型サービスはInternetで行うようにサービス形態に応じて通信インフラを使い分けることで柔軟性に富んだ多様なサービスを実現できると考えられる。

4.8.2 今後期待される新しい技術

MHEG

MHEG (Multimedia and Hypermedia Information Coding Experts Group) は、マルチメディア情報、手順、操作などのそれぞれと、その組み合わせをオブジェクトとして捉え、それらのオブジェクトを符号化してマルチメディアハイパーメディアタイトルを製作するためのシナリオ記述方法の国際標準である[49]。

マルチメディアプレゼンテーションを蓄積・交換・実行するために用いることのできる、システムに依存しない構造情報の符号化が定義することを目的としており、マルチメディアコンテンツにおいて、各オブジェクトの配置や出力のタイミング、ユーザの操作に対する応答方法などを記述した言語MHEG-5は、VODやデジタルテレビ放送において、ナビゲーション機能を提供することへの応用が試みられている。MHEGと組み合わせることにより、更なる豊かな情報空間の構

築が期待できる。

SMIL

SMIL (Synchronized Multimedia Integration Language) は、インターネットマルチメディアプレゼンテーション用の言語で、Web上でビデオや音声、テキストなどのデータを同期させたプレゼンテーションを記述する言語である [50]。

SMILを用いることで、コンテンツ作成者はTVライクなコンテンツをWeb上で実現することができ、テレビの持つモノメディアや一方向性という制限を取り除くことができる。SMILの普及により、テレビとInternetの融合は加速されると予想される。

4.9. むすび

本章では、Internet上でのイベント中継を可能にするシステムを構築した。Internetは従来のマスメディアと比べて同報放送の困難さ、視聴環境の違い、帯域確保の困難さ、マシン処理能力の限界などの制約を持つ一方、双方向性や任意タイミングでの情報発信という利点を持つ。本章では、これらの制約や利点を考慮したシステム的设计指針について示した。また、そのような設計指針に基づいて構築したシステムを全国高等学校野球選手権大会のInternet中継において実際に運用した。構築した中継システムは、動画像の提供方法について新たな試みを行った。また、アクセス集中に対して、情報生成系と情報提供系の分離や、コンテンツ毎のサーバ分離などにより負荷の軽減を図り、さらに共有メモリ利用による処理の高速化などの工夫を行い、多くの視聴者にInternet中継サービスを提供できるようにした。その結果、Internetで多くの視聴者に中継サービスを提供でき、構築したシステムが有効であることを示した。

14日間の運用を通して、大量のトラフィックとアクセスがあり、耐久性の高い中継システムが必要であることがわかった。また、MPEGビデオクリップに対するアクセスがRealVideoに対するアクセスを上回っており、任意のタイミングで視聴できる動画像サービスが必要であることがわかった。さらに、視聴者は、長時間視聴の広帯域接続環境下の視聴者と、短時間視聴の狭帯域接続環境下の視聴者

第4章 テレビとINTERNETの融合の試み

に2極化されており，これらを考慮したサービス設計の必要性が分かった。

第5章

結論

本論文では、Internet上で広域な動画像通信を実現するために、ネットワーク帯域やアプリケーションの種類による格差を吸収する方法や、イベント中継におけるリアルタイムな動画像生成方法および動画像を含めた情報発信システムの構築方法について議論した。

情報化社会と言われ、情報のデジタル化、通信システムのデジタル化が進んでいる現在、デジタル情報の取り扱いに適したInternetのメディアとしての役割に注目が集まっている。Internetはその柔軟な設計ゆえ、既存のあらゆるメディアとの融合が可能である。本研究では、マルチメディアの中でも特に重要と思われる動画像を対象に、コミュニケーションの大規模化について研究を行った。

本章では、本研究の成果と今後の課題について述べ、本研究を総括する。

5.1. 本研究の成果

5.1.1 Internetにおける利用環境の違いの吸収

Internetはトップダウン的に構築されたネットワークではなく、個々のネットワークが相互に接続してできたネットワークであるため、ネットワークによる帯域格差がある。また、Internet上で使われているプロトコルのうち、正式に標準として定められているものはほんの僅かであり、大部分は「de facto standard (事実上の標準)」である。したがって、同じ機能を持つアプリケーションでも、使用されているプロトコルやデータ符号化形式に違いが存在する。Internetで広域な動画像通信を行おうとした場合、これらの問題を解決せねばならない。

本研究では、このような格差を吸収するために、アプリケーションプロトコルやデータ符号化形式の相互変換を行うアプリケーションゲートウェイ PRISM を用いた通信モデルを提案した。そして、nv/vat モジュールと ivs モジュールを PRISM に実装し、評価実験を行った結果、PRISM を介した相互接続が実現できることを確認した。また、帯域格差の吸収のために実装したフレームレート削減がうまく機能していることも確認できた。さらに、PRISM による通信遅延が許容できる値に収まっていることを確認し、PRISM を用いた通信モデルの妥当性を証明した。

PRISM で行っているデータ変換やトラフィック削減は、ビデオ会議システムに限ったことではなく、動画像通信アプリケーション一般に広く適用できるので、今後ますます広がる格差を吸収する技術として期待できる。

5.1.2 Internet における大規模な情報発信

WWW を用いた情報発信は広く行われているが、Internet をマスメディアに見たてて、リアルタイムな情報を大規模に発信するためには、既存のマスメディアとの違いを考慮した情報発信システムの構築が必要である。

本研究では、まず Internet で大規模に情報発信するために要求される事柄について分析し、システム的设计指針を明らかにした。実際に構築したシステムでは、ビデオクリップによる動画像提供を実現するために、アナログ信号として流れている映像から、MPEG-1 形式によるビデオクリップをリアルタイムに生成するシステムを構築した。本実験におけるハイライト場面ビデオのリアルタイムな生成と提供は、甲子園大会の中継実験で初めて実現されたものである。また、高価な映像編集装置や熟練した編集者を要しないことも、ビデオクリップ生成の新たな方法であり、この2つの点において新規性があると考えられる。

中継システムへのアクセス集中に対処するために、情報生成系と情報提供系を分離や、情報提供をアクセス毎に分離させた複数台の WWW サーバで提供するなどの負荷の軽減を図った。また、共有メモリ利用による高速なリクエスト処理を実現した。このような工夫を行うことで、多くの視聴者から多くのアクセスを得ることができ、Internet がマスメディアとして情報発信を行える通信メディアであることを明らかにした。

5.1.3 視聴傾向の2極化

甲子園大会の中継実験は、大量のアクセスがあり、非常に重要な実験であった。このような大量アクセスがあるWWWシステムのアクセス傾向を明確にしておくことは、今後イベント中継システムを構築する上での傾向を予測する指針になる。本研究の甲子園中継以前にもInternet上での中継実験は多く行われていたが、アクセス結果に対する深い分析は行われていなかった。本研究では、14日間という長期間の運用においてアクセス傾向を分析した結果、視聴者のアクセス傾向は、Internetに広帯域接続している視聴者の長時間接続と、ダイヤルアップ接続による狭帯域視聴者の短時間接続に2極化されていることが分かった。

5.2. 今後の課題

5.2.1 動的なQoS制御

Internet上でのユーザの環境は様々である。様々なユーザ環境を吸収する方法として、ユーザ環境をいくつかのグループに分類し、グループごとに適した品質のデータをあらかじめ用意しておく方法があるが、分類されたグループが増えるほど用意しなければならないデータが多くなり、データ生成のオーバーヘッドが無視できなくなる。Internet環境ではそのような状況は十分に考えられる。PRISMの実装ではフレームレートの削減を行っているが、ユーザが利用できるネットワーク帯域は他のトラヒックとの関係で動的に変動する。今後はInternetにおいて動的に変動する品質をネットワークの状況あるいはユーザからの要求に応じて、うまく制御する技術が必要である。

5.2.2 高速な情報提供サーバの構築

甲子園大会の中継実験を通じて、大量のアクセス集中が発生した。今後、更なる規模拡大のためには、より一層の耐久性の高いシステムや、情報提供における処理の高速化による低負荷なシステム構築が必要である。

謝 辞

本研究を行う機会を与えて下さった奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科情報ネットワーク講座の山本平一教授に深く感謝致します。適切な助言を下さった情報科学センターの小山正樹教授，情報科学研究科の福田晃教授に深く感謝致します。また，1997～98年の2年間，情報ネットワーク講座の教授として御指導いただいた九州工業大学の尾家祐二教授に感謝致します。直接の研究指導は，情報ネットワーク講座の山口英 助教授に行って頂きました。厳しいながらも熱のこもった御指導に深く感謝致します。情報ネットワーク講座の知念賢一助手は，全国高等学校野球選手権大会の中継実験を共同で行って下さいました。また，いつも丁寧に論文を読んでくださり，貴重な意見を下さりました。深く感謝します。本論文をまとめるにあたり，奈良先端科学技術大学院大学への出張を快く認めて下さった大阪府立大学工学部電気電子システム工学科の勝山豊教授に感謝します。

PRISMの実装は，主に日本総合研究所の三嶋正弘氏が行いました。深く感謝致します。また，PRISMの評価実験および論文をまとめるにあたり，協力していただいた荻野洋平氏に感謝致します。

全国高等学校野球選手権大会の中継実験は，全国高等学校野球連盟，朝日新聞社，朝日放送株式会社の共同プロジェクトとして，リアルネットワーク株式会社，サイバー関西プロジェクト（CKP），WIDEプロジェクトの協力により行われました。実験に携わっていただいた全ての関係者に感謝致します。特に，共同で実験を行った朝日放送株式会社の吉田豊一氏，香取啓志氏に深く感謝致します。

本研究を進めるにあたり，議論に参加して頂いた奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科の中村豊氏，河合栄治氏，附属図書館研究開発室の羽田久一 助手，倉敷芸術科学大学の馬場始三 助手及び奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科情報ネットワーク講座の全てのメンバーおよび卒業生に感謝します。

最後に，援助をしてくれた両親に深く感謝致します。

参考文献

- [1] Internet Software Consortium: "Internet Domain Survey", 1999. <http://www.isc.org/>.
- [2] 郵政省: "通信白書平成11年版", June 1999. <http://www.mpt.go.jp/policyreports/japanese/papers/99wp/99wp-0-index.html>.
- [3] WIDE Project: "WIDE Project: lifeline Working Group". <http://www.wide.ad.jp/wg/lifeline/index-j.html>.
- [4] Y. Shinoda, T. Baba, N. Tada, A. Kato and J. Murai: "Forethought and hindsight: Experiences from the first internet disaster drill", INET96 Proceedings, June 1996. http://www.isoc.org/conferences/inet96/proceedings/h2/h2_1.htm.
- [5] 馬場始三, 篠田陽一: "第1回インターネット防災訓練における生存者情報データベース", インターネットコンファレンス'96, July 1996.
- [6] CIENA Corporation: "CIENA Corporation — Multiwave CoreStream T-M —", June 1999. <http://www.whatsinside.com/products/corestream/index.html>.
- [7] マルチメディア通信研究会 (編): "標準 ATM 教科書", アスキー出版局, 1995.
- [8] 中川ヒロミ, 吉野次郎: "定額インターネットの本命", 日経コミュニケーション, no. 305, pp. 82-101, November 1999.
- [9] Yahoo! Inc.: "Yahoo!". <http://www.yahoo.com/>.
- [10] Yahoo Japan Corporation: "Yahoo! JAPAN". <http://www.yahoo.co.jp/>.

参考文献

- [11] J. Postel: "Internet Protocol", RFC1889, September 1981.
- [12] Richard Schaphorst: "Videoconferencing and Videotelephony", Artech House, 1996.
- [13] Audio-Video Transport Working Group, H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick and V. Jacobson: "RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications", RFC1889, January 1996.
- [14] Audio-Video Transport Working Group and H. Schulzrinne: "RTP Profile for Audio and Video Conferences with Minimal Control", RFC1890, January 1996.
- [15] H. Schulzrinne and A. Rao and R. Lanphier: "Real Time Streaming Protocol (RTSP)", RFC2326, April 1998.
- [16] RealNetworks Inc.: "シユアストリーム", 1999. <http://www.jp.real.com/showcase/tech/aboutsurestream.html>.
- [17] The World Wide Web Consortium: "HyperText Markup Language (HTML)". <http://www.w3.org/MarkUp/>.
- [18] World Wide Web Consortium: "HTTP —HyperText Transfer Protocol—". <http://www.w3.org/Protocols/>.
- [19] T. Berners-Lee, R. Fielding and H. Frystyk: "HyperText Transfer Protocol -HTTP/1.0", RFC1945, May 1996.
- [20] R. Fielding, J. Gettys, J. Mogul and H. Frystyk: "HyperText Transfer Protocol -HTTP/1.1", RFC2068, January 1997.
- [21] T. Berners-Lee, L. Masinter and M. McCahill: "Uniform Resource Locator (URL)", RFC1738, December 1994.
- [22] 三嶋正弘: "Internetにおけるマルチメディア通信プラットフォームの構築", no. NAIST-IS-MT9451110, February 1996.

- [23] 普天間智, 三嶋正弘, 山口英: “Internetにおけるマルチメディア通信プラットフォームの構築”, 情報処理学会研究会報告書, vol. 96, no. 78, pp. 13-18, September 1996.
- [24] C. Partridge: “Gigabit Networking”, Addison Wesley, 1993.
- [25] マルチメディア通信研究会 (編): “最新 MPEG 教科書”, アスキー出版局, December 1995.
- [26] R. Frederick: “Experiences with real-time software video compression”, Sixth International Workshop on Packet Video, September 1994. <ftp://parcftp.xerox.com/pub/net-research/nv-paper.ps>.
- [27] V. Jacobson and S. McCanne: “vat - LBNL audio conferencing tool”, July 1992. <http://www-nrg.ee.lbl.gov/vat/>.
- [28] T. Turetti: “The INRIA videoconferencing system IVS”, ConneXions - The Interoperability Report, vol. 8, no. 10, pp. 20-24, October 1994.
- [29] T. Dorsey: “CU-SeeMe desktop videoconferencing software”, ConneXions - The Interoperability Report, vol. 9, no. 3, March 1995.
- [30] E. Amir, S. McCanne and H. Zhang: “An application level video gateway”, Proceedings of ACM Multimedia '95, San Francisco, CA USA, November 1995.
- [31] S. McCanne and V. Jacobson: “vic: A flexible framework for packet video”, Proc. of ACM Multimedia '95, San Francisco, CA USA, November 1995. <ftp://ftp.ee.lbl.gov/papers/vic-mm95.ps.Z>.
- [32] M. B. Abott and L. L. Peterson: “Increasing network throughput by integrating protocol layers”, IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 1, no. 5, pp. 600-610, October 1993.

参考文献

- [33] S. McCanne, V. Jacobson and M. Vetterli: "Receiver-driven Layered Multicast", *Computer Communication Review*, vol. 26, no. 4, pp. 117-130, October 1996.
- [34] S. McCanne, M. Vetterli and V. Jacobson: "Low-complexity Video Coding for Receiver-driven Layered Multicast", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 16, pp. 983-1001, August 1997.
- [35] Douglas E. Comer 著, 村井純, 楠本博之訳: "第3版 TCP/IPによるネットワーク構築 Vol.I", 共立出版, 1997.
- [36] 小野定康, 鈴木純司: "わかりやすいJPEG/MPEG2の実現法", オーム社, March 1996.
- [37] 知念賢一, 吉田豊一, 山口英, 香取啓志: "全国高等学校野球選手権大会 internet ライブ中継実験報告", *映像情報メディア学会誌*, vol. 51, no. 6, pp. 925-930, June 1997.
- [38] 濱口伸, 塚田清志, 沖本忠久: "サイバー関西プロジェクト: 選抜高校野球中継", *UNIX MAGAZINE*, vol. 14, no. 6, pp. 155-165, June 1999.
- [39] 吉田豊一, 香取啓志, 沖本忠久: "サイバー関西プロジェクト: 甲子園'99", *UNIX MAGAZINE*, vol. 14, no. 10, pp. 161-167, October 1999.
- [40] 吉田豊一, 香取啓志, 中村豊, 沖本忠久: "サイバー関西プロジェクト: 甲子園'99 (その2)", *UNIX MAGAZINE*, vol. 14, no. 11, pp. 164-169, November 1999.
- [41] 吉田豊一, 香取啓志, 沖本忠久: "サイバー関西プロジェクト: 甲子園'99 (その3)", *UNIX MAGAZINE*, vol. 14, no. 12, pp. 163-167, December 1999.
- [42] Xing Technology Corporation: "Streamworks player". <http://www.xingtech.com/video/streamworks/player>.
- [43] VDOnet: "VDOLive Player: Free video streaming client". http://www.vdo.net/store/Products/VDOLive_player.asp.

- [44] Netscape Communications: "An Exploration of Dynamic Documents", 1999. http://home.netscape.com/assit/net_sites/pushpull.html.
- [45] The Apache Software Foundation: "Apache HTTP Server Project". <http://www.apache.org/httpd.html>.
- [46] B. Laurie and P. Laurie: "Apache: The Definitive Guide", O'Reilly & Associates, 1997.
- [47] Cyber Kansai Project: "CYBER KANSAI". <http://www.ckp.or.jp>.
- [48] 郵政省: "「地上デジタル放送懇談会」報告書", October 1998. <http://www.mpt.go.jp/pressrelease/japanese/housou/981026d701.html>.
- [49] T. Meyer-boudnik and W. Effelsberg: "MHEG Explained", IEEE Multimedia, no. Spring, 1999.
- [50] The World Wide Web Consortium: "W3C Issues SMIL 1.0 as a W3C Recommendation", 1998. <http://www.w3.org/Press/1998/SMIL-REC.html>.

研究業績

学術論文

1. 普天間 智, 三嶋 正弘, 山口 英, “ビデオ会議システムにおけるアプリケーション・ゲートウェイの実装と評価”, 情報処理学会論文誌 vol.39, No.4, pp.1146-1154 (1998).
2. 普天間 智, 知念 賢一, 吉田 豊一, 山口 英, 香取 啓志, “WWWによるイベント中継システムの構築”, 映像情報メディア学会誌 vol.53, No.9, pp.1328-1334 (1999).

国内会議（査読付き）

1. 普天間 智, 知念 賢一, 吉田 豊一, 山口 英, 香取 啓志, “第79回全国高等学校野球選手権大会中継の実験報告”, Japan World Wide Web Conference '97, session(4)-2, [http://www.iaj.or.jp/w3conf-japan/97/proceedings/\(1997\)](http://www.iaj.or.jp/w3conf-japan/97/proceedings/(1997)).

研究会

1. 普天間 智, 三嶋 正弘, 山口 英, “Internetにおけるマルチメディア通信プラットフォームの構築”, 情報処理学会研究会研究報告書 96-DPS-78, pp.13-18 (1996).
2. 普天間 智, 田淵 潤, 勝山 豊, “ユーザから見た情報ネットワークの性能測定ツール”, 電気関係関西支部連合大会講演論文集 G294 (1998).

研究業績

3. 普天間 智, 馬場 始三, “WWW代理サーバのアクセスログからのページ単位の解析手法の提案”, 第1回 Japan Web Cache Workshop (1999).

解説記事

1. 普天間 智, “インターネットにおける中継の実例: 高校野球実況中継”, 映像情報メディア学会誌 vol.52, No.12, pp.1774-1775 (1998).