

修士論文 2002年度(平成14年度)

# IPマルチキャストを用いた 放送型VoD機構の実現

慶應義塾大学大学院  
政策・メディア研究科

菅沢 延彦

## IP マルチキャストを用いた放送型 VoD 機構の実現

本論では、IP マルチキャストを用いた放送型 VoD 機構を提案する。IP マルチキャストを用いることで、ネットワークの効率的利用と、多数のクライアントへの映像配信サービスを実現できる。また、映像フォーマットには、現行の TV 相当の映像品質を持つ DV(Digital Video) を用いた。これらにより、現存する IP ベースの VoD や TV 放送を上回る放送サービスを実現できる。本機構を実現するためには、送信者と受信者間における入出力非同期の問題、及び DV ストリームのバースト性による問題を解決する必要がある。本論では、送信者駆動による DV ストリームの生成手法に焦点を当て、これらの問題を解決した。本論では、この手法を適用した本機構の設計、実装を行なった。また、送信者と受信者間における同期化と DV ストリームのバースト性に関する評価を行ない、本機構が想定どおり動作することを検証した。さらに、デモンストレーションを行なうことによって、その実現性を示した。

### キーワード

1. DV, 2. IP マルチキャスト, 3. 放送型 VoD, 4. 同期

慶応義塾大学 政策・メディア研究科

菅沢 延彦

<p>The Implementation of the IP Multicast based Quasi VoD System</p>
--

In this thesis, we propose the IP Multicast based Quasi Video-on-Demand(VoD) System. IP Multicasting allows this system utilize the usage of network bandwidth, and achieve the scalable video delivery service for many clients. Moreover, this system adopts Digital Video(DV) for video source whose video quality is equivalent to today's IP based TV broadcasting. Consequently, establishing the superior broadcasting service become possible.

To implement this system, two difficulties must be solved : 1)the I/O asynchronous between sender and receiver, and 2)the problem of burstiness of DV stream. A sender-driven technique to regulate the bit rate of DV stream lead to solve both.

This thesis describes the design and implementation of VoD system with DV rate regulation mechanism. We have evaluated the achievement of I/O synchronization scheme and the effects of rate shaping for the burstiness of DV stream, and approved it performs correctly.

In addition, we have presented the feasibility of this system by holding demonstration.

Keywords :

1. DV, 2. IP Multicast, 3. Quasi VoD, 4. Synchronization

Keio University , Graduate School of Media and Governance

Nobuhiko SUGASAWA

# 目次

<b>第 1 章</b>	<b>序論</b>	<b>1</b>
1.1	はじめに . . . . .	1
1.2	本論の目的 . . . . .	2
1.3	本論の構成 . . . . .	2
<b>第 2 章</b>	<b>背景：IP ネットワークと VoD</b>	<b>3</b>
2.1	インターネットの特徴 . . . . .	3
2.1.1	IP ネットワーク . . . . .	3
2.1.2	インターネットのアドレス体系 . . . . .	3
2.2	ストリーミング技術 . . . . .	4
2.2.1	ストリーミング . . . . .	4
2.2.2	ストリーミングメディア . . . . .	5
2.3	IP マルチキャスト . . . . .	7
2.4	VoD 概要 . . . . .	8
2.4.1	構成要素 . . . . .	8
2.4.2	サービスカテゴリ . . . . .	9
<b>第 3 章</b>	<b>IP マルチキャストを用いた放送型 VoD 機構の提案</b>	<b>10</b>
3.1	IP マルチキャストを用いた放送型 VoD 機構 . . . . .	10
3.2	本機構の想定環境 . . . . .	11
<b>第 4 章</b>	<b>問題点と解決アプローチ</b>	<b>12</b>
4.1	サーバクライアント間における入出力非同期の問題 . . . . .	12
4.1.1	有限バッファ問題と入出力同期 . . . . .	12
4.1.2	IP マルチキャスト通信路における入出力同期 . . . . .	12
4.1.3	同期が達成されない状況における具体的障害 . . . . .	14
4.2	バースト転送による問題 . . . . .	15
4.2.1	中継システムにおける問題 . . . . .	15
4.2.2	オペレーティングシステムにおける問題 . . . . .	15
4.3	送信者駆動の DV ストリーム生成手法の必要性 . . . . .	15
4.3.1	問題点の考察 . . . . .	16
4.3.2	問題解決へのアプローチ . . . . .	16

第 5 章	送信者駆動による DV ストリーム生成手法の設計	17
5.1	要件の整理	17
5.1.1	送信者駆動による同期化	17
5.1.2	バースト性の軽減	18
5.1.3	リアルタイム OS に関する検討	19
5.2	処理の流れ	19
第 6 章	実装	23
6.1	サーバの実装	23
6.1.1	実装環境	23
6.1.2	構成要素	23
6.2	クライアントの実装	25
6.2.1	構成要素	25
第 7 章	評価	28
7.1	評価環境	28
7.2	送信者駆動による DV ストリーム入出力同期に関する定量的評価	29
7.3	バースト性の軽減に関する定量的評価	29
7.4	デモンストレーションによる動作実績	31
第 8 章	結論	33
8.1	本論のまとめ	33
8.2	今後の課題	34
8.2.1	セキュリティや著作権	34
8.2.2	スケーラビリティ	34
8.2.3	ネットワークへの適応性	34
8.2.4	映像フォーマットの非依存性	34

# 目 次

2.1	TCP/IP プロトコルスタック	4
2.2	ストリーミング	4
2.3	非ストリーミング	4
2.4	映像の品質指標	7
2.5	ポイントツーマルチポイント型	8
2.6	ポイントツーポイント型	8
4.1	IP マルチキャスト通信路における入出力同期	13
4.2	本機構における DV データの伝搬工程	14
5.1	転送サイクルとその多重化	18
5.2	バースト性の解消	21
5.3	本手法の処理の流れ	22
6.1	サーバの構成要素	24
6.2	RTP ヘッドフォーマット	25
6.3	DV ストリーム生成モジュールの疑似コード	26
6.4	SDP によるチャンネル情報の記述	26
6.5	クライアントの構成要素	27
7.1	評価環境	28
7.2	インターバル値: 10msec	30
7.3	インターバル値: 20msec	30
7.4	インターバル値: 30msec	30
7.5	インターバル値: 40msec	30
7.6	インターバル値: 50msec	31
7.7	インターバル値: 60msec	31
7.8	インターバル値: 70msec	31
7.9	インターバル値: 80msec	31
7.10	インターバル値: 90msec	32
7.11	インターバル値: 100msec	32
7.12	ORF2002 でのデモンストレーションの様子	32

7.13 クライアント .....	32
-------------------	----

# 表 目 次

2.1 VoD サービスカテゴリ . . . . .	9
5.1 休眠時間の変動 . . . . .	18
5.2 本手法の管理情報 . . . . .	20
6.1 サーバの実装に用いた計算機のハードウェア . . . . .	23
7.1 クライアントの計算機 . . . . .	28
7.2 再生所要時間の計測 . . . . .	29



# 第1章 序論

## 1.1 はじめに

ADSL(Asynchronous Digital Subscriber Line)によるインターネットアクセスサービスは、1999年頃日本で開始された。総務省の調べによれば、2002年11月末時点で511万7,867回線の加入数を記録している[1]。加えて、同省の情報通信統計データベースによれば、2001年度末時点で加入者系光ファイバの整備が全国の約59%を完了したことを示している[2]。こういった社会現象は、インターネットが既に我々の生活にとって不可欠な情報基盤としての地位を確立したことを実証している。

また、加入者系回線だけでなく、光多重や10Gigabit Ethernet等の幹線系ネットワーク技術も進歩しており、網全体としての広帯域化もまた進んでいる。これらにより、ネットワーク上のコンテンツの消費帯域幅に対する制約は軽減され、より大容量のデータをネットワーク配信できるようになった。

これらネットワーク環境や計算機環境の向上により、映像、音声をネットワークを介して再生する技術、ストリーミングが近年実用性を伸ばしている。例えば、現行のラジオやTV等の放送サービスが、ネットワークを利用したストリーミングベースのものに置き換わりつつある。ただし、我々が現在利用できるストリーミングアプリケーションは、低帯域を想定した物が多く、TV放送と同等もしくはそれ以上の品質でのサービスを実現できるストリーミングアプリケーションは少ない。

本論では、IPマルチキャストとDV(Digital Video)を併用した放送型VoD機構の提案を行なう。VoD(Video on Demand)は、視聴者の要求する映像コンテンツを、視聴者が要求した時間に取得可能にする映像配信モデルである。本機構は、2次記憶装置上に蓄積されたDVデータを用いて、IPマルチキャストを基としたDVストリームを生成することにより、放送型の映像配信サービスを実現するものである。

本機構は、通信路にIPマルチキャストを用いるため、各受信者との入出力同期制御を個別化できないという制約がある。そのため、送信者と受信者間における入出力非同期の問題が発生する。結果として、受信者におけるバッファ枯渇やバッファ飽和の障害を引き起こす。また、本機構の実現には、バースト転送の問題がある。送信者は2次記憶装置上に蓄積されたデータを用いるため、任意のバーストサイズの転送が可能である。バーストサイズが大きいデータ転送は、ネットワークやサーバに対して、突発的に高い負荷を課すこととなる。特に、DVは高いビットレートを持ったストリーミングメディアであるため、バースト転送による悪影響は甚大である。

## 1.2 本論の目的

本論の目的は、IP マルチキャストと DV(Digital Video) を併用した放送型 VoD 機構の実現である。本機構により、現行の TV 放送と同等もしくはそれ以上のサービス品質を持った放送サービスを確立できる。ただし、実現上の問題として、送信者と受信者間における入出力非同期の問題、及びバースト転送による問題がある。本論では、まず、これらの問題について考察し、問題の原因を明らかにする。次に、問題の分析結果を踏まえ、問題解決手法を導出し、その解決手法を適用した本機構の設計、実装を行なう。最後に、実装に対する動作検証を行なって、本機構を実現する。

## 1.3 本論の構成

本論は、第2章において、本機構における要素技術を述べる。第3章では、IP マルチキャスト用いた放送型 VoD 機構を提案し、第4章にて開発上の問題点を述べる。第5章で設計、第6章で実装を述べる。第7章では本機構の評価を行なう。

## 第2章 背景：IP ネットワークとVoD

本章では，IP ベースの VoD システムを構築する上で必要となる構成要素や基盤技術について説明する．

### 2.1 インターネットの特徴

#### 2.1.1 IP ネットワーク

インターネットは，IP(Internet Protocol) と呼ばれるプロトコルを基として，LAN(Local Area Network) 同士を相互接続した広域分散ネットワークである．IP ネットワーク上を伝送するデータは，IP パケットと呼ばれる単位にカプセル化され，パケット交換方式によって中継される．回線交換方式のネットワークでは，通信開始時に中継システム内のネットワーク資源を確保することにより，一定の通信品質を保証していたが，パケット交換方式のネットワークでは，そのようなネットワーク資源管理は行われぬ．IP ネットワークでは，帯域幅，IP パケットの伝播遅延，到達性，データ完全性は保証しない．ネットワーク転送された IP パケットが，受信システムまで喪失することなく到達することや，データの順序を維持して到達すること等の複雑な伝送処理は，エンドシステム自体が対処することとなる．

このように，中継システムにおけるサービスを単純化し，ほとんどの伝送処理をエンドシステムに任せる通信を，End-to-End モデルと呼ぶ．インターネット上のエンドシステムは，この End-to-End モデルを大原則としながら，任意の自由度とモラルを持って最善努力のデータ転送を行なう．

#### 2.1.2 インターネットのアドレス体系

インターネット上で用いられるプロトコル体系は，図 2.1 に示す階層構造を成している．この階層モデルは，TCP/IP プロトコルスタックと呼ばれる．各階層は，上位層への役割が分離され，且つ上位層インターフェースが保たれるため，各層独立した成長発展が可能である．

最下層のリンク層の責任範囲は，上位のネットワーク層からパケットを受け取り，伝送媒体に転送すること，及び受信したパケットをネットワーク層へ渡すことである．ネットワーク層は，エンドシステム間のパケットの伝搬を管理する役割を持っている．上位のトランスポート層では，エンドシステム間のデータ転送を制御する．インターネットでは，ネッ

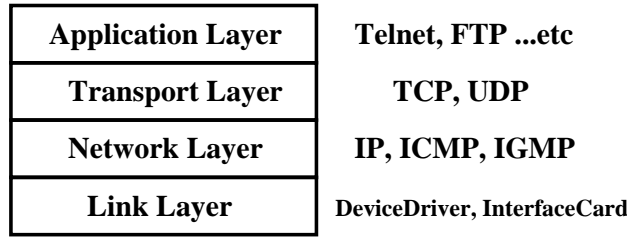


図 2.1: TCP/IP プロトコルスタック

トワーク資源管理を行わないため、回線容量を上回るトラフィックがネットワークに集中する可能性がある。そのようなネットワークが混雑した状態を輻輳と呼ぶ。この輻輳を回避するための制御は、トランスポート層内で実現される。最上位層のアプリケーション層は、ユーザへのサービスを提供する役割である。

## 2.2 ストリーミング技術

本節では、ストリーミング技術の概要とストリーミングに用いられる映像フォーマットについて説明する。

### 2.2.1 ストリーミング

ストリーミングとは、ネットワーク転送された音声映像データを、受信システムが受信処理と並行して再生処理を実行する音声映像再生技術である。ストリーミングの工程を、図 2.2 に示す。

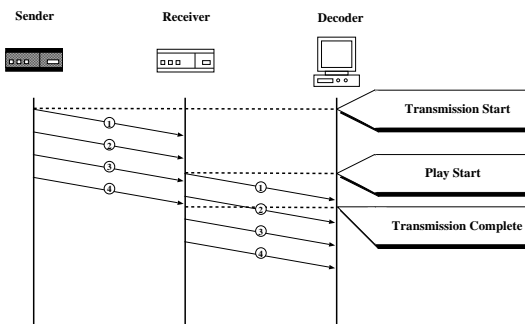


図 2.2: ストリーミング

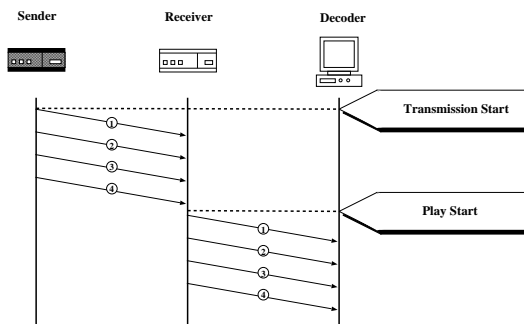


図 2.3: 非ストリーミング

ストリーミング技術においては、ネットワーク転送された音声映像のデータフローをメディアストリームと呼び、転送される音声映像データそのものをストリーミングメディアと呼ぶ。

ストリーミングではない音声映像再生技術としては、ネットワーク共有された音声映像

データを手元の計算機上に複製した後、それを再生する手法がある(図 2.3)。だが、この手法はデータの複製が完了するまでは再生が開始できないため即時性に欠ける。一方、ストリーミングでは、受信システムはデータの複製を行わないため、即時性に優れている。ただし、ストリーミング実行中は、アプリケーションによって課せられたネットワーク資源を占有しつづけることとなる。こういった性質を持ったストリーミングは、以下のような状況下で効果的である。

- データの複製のために長い時間を要する。
- データの複製のために十分な保存領域を確保できない。
- 再生開始までに十分な応答性を要求する。

1 番目の項目は、例えば高品質な動画や長編のストリーミングメディアを再生するケースを指す。2 番目の項目は、例えば小型端末のような広い記憶領域を持たない受信システムを対象としたケースを指す。3 番目の項目は、例えば VoIP やビデオ会議、学校の講義といったライブ中継を対象としたケースを指す。

## 2.2.2 ストリーミングメディア

本節では、各種ストリーミングメディアについて紹介する。

### MPEG

Motion Picture Experts Group(MPEG) は、デジタル動画と音声の圧縮と伸縮のための規格で International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector(ITU-TS) と International Organization for Standardization(ISO) によって制定されている。MPEG には MPEG-1、MPEG-2、MPEG-4 と MPEG-7 という規格が現在存在している。

**MPEG-1** MPEG-1 は Video CD に採用されている規格で VHS ビデオ程度の品質である。

MPEG の動画圧縮は空間領域と時間領域の 2 つの領域で行われており、前者は自然画像の狭い空間を観察すると画素のレベル値が互いに近いことを利用している。ある空間における画素のレベル値の変化の度合い(空間周波数)が小さい場合、データは低周波側に偏りが発生する。よって空間周波数領域の高周波側のデータを低いビットレートにすることで全体をより少ないビット数で映像を符号化することができる。このとき用いられているのは Discrete Cosine Transform(DCT) と呼ばれる方法で、MPEG では  $8 \times 8$  画素単位で DCT が行われている。後者の時間領域の圧縮はあるフレームとその 1/30 秒前の直前のフレームでは似通った画像になることが多いことを利用して、直前のフレームの画像を元に現在のフレームとの差分だけを抽出して符号化することで圧縮している。また近年急速に普及した MP3 は MPEG Audio Layer-3 のことであり MPEG 規格の音声圧縮方式である。MPEG-1 では 32, 44.1, 48KHz

のモノラル/ステレオの信号を対象としている。符号化アルゴリズムは Layer-1 から Layer-3 までの3つのレイヤーから構成されており、レイヤ2は128Kbps/ch程度のビットレートでビデオCDやヨーロッパで行われている衛星放送に用いられていて原音と遜色のない音質を達成している。上位のレイヤーになるほど聴感上の劣化なしにより小さなサイズに圧縮することが可能である。たとえばCD品質の音声の場合 Layer-1 では圧縮率が1/4程度であるが Layer-2 では1/6, Layer3 では1/10にすることができる。

**MPEG-2** MPEG-2はDVD-Videoにも採用されている放送むけの規格で、HDTV並の品質を数Mから数十Mbpsのデータ転送レートで実現している。MPEG-2にはProgram Stream(PS)とTransport Stream(TS)という2種類の方式が規定されている。PSは1つのストリームの中に1つのプログラムを構成する方式でDVDなどで用いられている。この方式はエラーの発生しない環境でデータの伝送・蓄積をすることを想定しているため冗長度を小さくすることが出来る。また伝送レートが固定である必要がないという特徴を持っている。一方TSは1つのストリームの中に複数のプログラムを構成することで、スカパーフェクトTVやBSデジタル放送に用いられている。放送やネットワーク上で使われることを想定しているため冗長度をPSよりも上げており通信路でのエラーに強くなっている。

**MPEG-4** MPEG-4は携帯電話などの移動体通信での利用も視野にいれて標準化されており、低ビットレートでの高画質化することを目標に標準化が始まった規格でありエラーへの耐性、高能率符号化とマルチメディアへの対応の3つの大きな特徴がある。384Kbps以下で利用される移動体通信での利用から、38.4Mbps程度のHDTV品質での利用まで想定されている。エラーへの耐性能力は、これまでのエラー訂正符号を用いる方式ではなくエラー隠蔽の技術である。これはエラーが混入しても見た目や聞いた感じではエラーの影響がわからないようにする技術である。高能率符号化として8×8ブロック動き保障やAD/DC予測などいくつかの映像符号化ツールの追加と音声符号化のMPEG-2 AACの符号化効率の改善が図られてより低いビットレートでもこれまで以上の品質を得ることが出来るようになった。マルチメディアへの対応としてはこれまでのビデオ・オーディオといった単一メディアだけではなくCGやMIDI, Text-To-Speechといったさまざまなフォーマットを同等に扱うことが出来る機能である。

## DV

DV(Digital Video)は、HD DIGITAL VCR CONFERENCE('94)[3]において、磁気テープ上にデジタル高画質映像を記録するためのVCR(Video Cassette Recorder)規格として策定された。DVには民生用規格と、それを拡張したプロ用規格の2種類があり、録画だけでなく、編集素材としての利用も配慮したVCR規格である。また、DVは、シリアルバ

スの規格である IEEE1394 上での通信方式に関する定義も行っている。DV カメラやデッキは、このインターフェースを介して接続され、他の IEEE1394 デバイスと DV データのデジタル転送を行える。また、IEEE1394 カードを PC に拡張することによって、DV 機器と PC 間における、DV データのやり取りが可能である。DV 機器は、DV データを外部転送する媒体として、この IEEE1394 規格を用いるため、画質劣化を伴わない映像操作（別媒体への保存、複製、編集等）ができる。DV は、民生向きの映像フォーマットとして、高い実用度を持った映像フォーマットであり、また VHS や 8mm をはじめとする既存の民生用 VCR 規格にかわって、現在民間に広く普及している。

図 2.4 に、ここで紹介した各映像フォーマットの帯域幅と品質指標を示す。

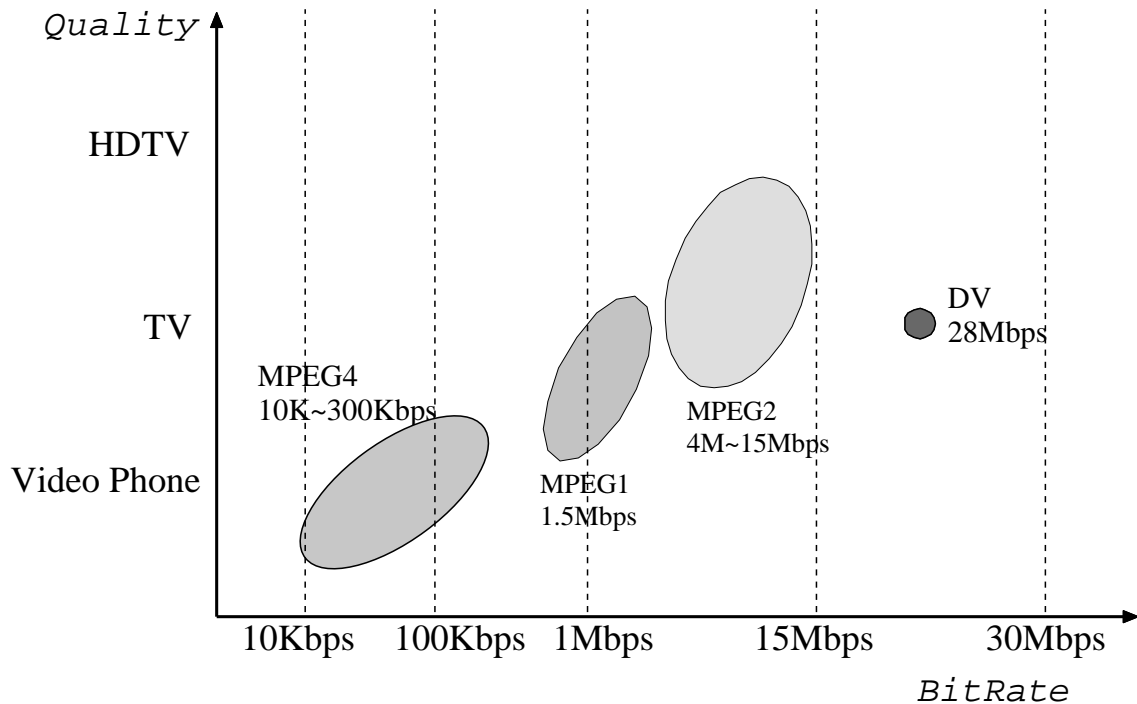


図 2.4: 映像の品質指標

## 2.3 IP マルチキャスト

インターネットは、非常に洗練されたコンテンツ共有の場として成長を遂げた。その結果、ある人気のあるコンテンツには、同時多発的にリクエストが集中するようになり、単一のコンテンツのダウンロードトラフィックが、非常に多くのネットワーク帯域を消費する状況が生まれた。

この問題を解決する手法として、IP マルチキャストは有効である。IP マルチキャストは、送信システムから送出されたデータを、単一の宛先 IP アドレスではなく、マルチキャストアドレスと呼ばれるグループに対して送信するための IP の拡張プロトコルである。こ

のようにして築かれた通信路は，ポイントツーマルチポイント型と呼ばれる．一方，単一エンドシステム同士の通信路は，ポイントツーポイント型と呼ばれる．それぞれの接続形態を，図 2.5，2.6 に示す．

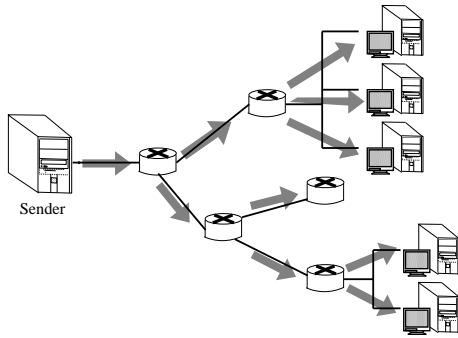


図 2.5: ポイントツーマルチポイント型

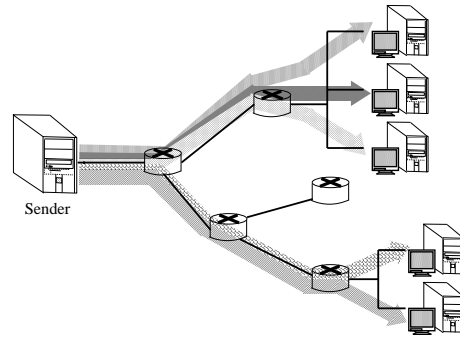


図 2.6: ポイントツーポイント型

IP マルチキャストの大きな特徴は，送信システムによって IP マルチキャストアドレス宛てに配信されたメッセージは，ルータによって受信者の存在するパスにだけ複製されていくため，発生するトラフィック量を大幅に軽減できる．そのため，比較的広い帯域幅を消費する音声や映像配信アプリケーションの通信路や，アップデートプログラムの配布などに有効性を発揮する．

## 2.4 VoD 概要

VoD(Video on Demand) とは，視聴者の要求する映像コンテンツを，視聴者が要求した時間に取得可能にする映像配信モデルである．VoD の規模は，数千クライアントを対象とする大規模なものから，ホテルや博物館等といった限られた空間を対象とする数十クライアントの小規模ものまで，用途やネットワーク資源によって様々な形態が存在する．また，VoD が提供するサービスタイプにも，複数の形態が存在する．

### 2.4.1 構成要素

VoD の構成要素は，大別すると 3 つの要素に分かれる．それぞれクライアント，サーバ，ネットワークである．以下に各要素の特徴と，基本機能を示す．

#### クライアント

クライアントは，典型的には，ネットワークインターフェース，VoD サービスへのユーザーインターフェース，音声映像のデコーダ，映像モニタから構成される．クライアントは，ネットワークからデジタルの音声映像を受信し，デコーダによってアナログ信号変換を行いコンテンツの視聴を行う．視聴者は，このユーザーインターフェースによって，チャ



ンネル情報の閲覧，チャンネルの選択，再生，停止，早送りといった制御を行える．

## サーバ

VoD におけるサーバは，映像の配信，利用者からのリクエストの受け付け，コンテンツの管理等を担う．サーバには，リクエストに対応するため，受け付け制御機構を持っている．また，映像や音声という情報量の大きいデータを多数蓄積する要求があるため，大容量の記憶装置を備えている．またサーバには，視聴者数の増加に応じて，高いネットワークへの負荷が増大するため，広帯域なネットワークに接続されている．

## ネットワーク

ネットワークには，様々な形態が考えられる．小中規模 LAN をベースにした VoD や，広域分散ネットワーク上での展開を想定した VoD が存在する．規模に応じて VoD がネットワークに求める仕様は変化する．もし小中規模 LAN 内の VoD ならば，他のトラフィックが存在しないため，比較的ビットレートが高い映像を用いた VoD が構築できるネットワークを求める．一方，広域分散環境を対象とした VoD ならば，幹線系ネットワークへの良好な接続性が重要な要素となる．

### 2.4.2 サービスカテゴリ

VoD のサービスは，映像の配信体系，通信路の特性，サーバクライアント間の相互協調性などの因子によって，分類が可能である．表 2.1 に，VoD のサービスカテゴリと各カテゴリ毎の特徴を整理した [4] ．

表 2.1: VoD サービスカテゴリ

カテゴリ名	特徴
No-VoD(Broadcast)	視聴者は受動的に映像を閲覧する．視聴者は閲覧映像の選択を行えない．
PPV(Pay Per View)	視聴者は閲覧するプログラムがある場合，それに対して料金を払って閲覧する．
Q-VoD(Quasi VoD)	視聴者は閲覧するチャンネルの選択ができる．
N-VoD(Near VoD)	視聴者は簡単な再生制御ができる．これは単一のコンテンツを時間差配信することで，擬似的に早送りや巻き戻しを実現している．
T-VoD(True VoD)	視聴者は全ての再生制御ができる．ビデオデッキと同等の操作性を得られる．

## 第3章 IP マルチキャストを用いた放送型 VoD 機構の提案

第2章では、IP ネットワークの成熟、及びそのプロトコルアーキテクチャについて説明した。また、VoD 機構の主な基盤技術を示した。本章では、IP マルチキャストを用いた放送型 VoD 機構について提案を行ない、その構成要素について議論する。

### 3.1 IP マルチキャストを用いた放送型 VoD 機構

本論は、IP マルチキャストを用いた放送型 VoD 機構を提案する。この機構は、2 次記憶装置に蓄積された複数の DV データを、多重化してネットワーク転送することにより、放送型の映像ストリーミングサービスを実現するものである。本論における DV ストリームの多重化とは、複数の DV ストリームを同一伝送媒体上に同時転送することである。

第 2.2.2 項で述べたように、現在ストリーミングメディアとして利用可能な映像フォーマットは多岐にわたっている。本機構が、それらの映像フォーマットの中から DV を選択した理由は、以下の 5 点による。

- 民間に広く浸透した映像フォーマットである。
- 放送局の映像素材としても利用される。
- TV 並みの動画品質と音声品質を持つ。
- IEEE1394 インターフェースによって、DV カメラ等の DV 機器とのシームレスで損失の少ないデータ交換が可能である。
- 固定ビットレートの映像フォーマットであるため、ネットワーク転送時にはトラフィック制御が容易である。

本機構は、VoD アーキテクチャとして、サーバクライアントモデルを採用する。サーバは、DV データの 2 次記憶装置上の記憶位置と、そのタイトル文字列やチャンネル識別子、配信時間帯等といった情報（チャンネル情報）を関連付けて管理している。サーバは、定期的にチャンネル情報をネットワークへ広告することで、どのチャンネルでどの VoD コンテンツが視聴可能なのかをクライアントに通知する。クライアントは、サーバにより配信された DV ストリームの再生を行う。またクライアントは、サーバにより広告されたチャンネル情報を元に、ユーザが視聴するチャンネルを選択できる。

## 3.2 本機構の想定環境

本機構の実行環境としては、複数の DV ストリームを転送できる程度に良好なスループットを得られるネットワーク環境を想定する。また、本機構の構築には、用途を特化した放送用機器やオペレーティングシステムは用いずに、i386 互換の汎用計算機と汎用オペレーティングシステムを開発基盤として利用する。また、本機構はクライアントの処理性能に関する異種性を許す。

## 第4章 問題点と解決アプローチ

前章では、IP マルチキャストを用いた放送型 VoD 機構について紹介した。本章では、本機構の実現に際して、まず、どのような問題点が存在するのかを明らかにし、その問題への解決アプローチについて議論する。

### 4.1 サーバクライアント間における入出力非同期の問題

#### 4.1.1 有限バッファ問題と入出力同期

本機構のサーバは、配信する DV データを 2 次記憶装置に蓄積し、それを映像資源として DV ストリームを生成する。一方クライアントは、サーバによって生成された DV ストリームを受信し、それを DV のデジタルアナログ変換器 (D/A 変換器) によって再生を行なう。サーバの 2 次記憶装置入力及びクライアントの DV の D/A 変換は非同期に行なわれるため、結果として、サーバが生成するストリームの転送帯域と、クライアントによるデコードレートに格差が生じる。

一般に入出力帯域幅の格差の問題は、E.W.Dijkstra が提唱した有限バッファ問題 [5] による命題として捉えることができる。有限バッファ問題は、生産者 / 消費者問題とも呼ばれ、データの生産者と消費者間に入出力非同期の問題とその解決手法を一般化したモデルである。消費者は生産者に対して空メッセージを送信し、生産者がその空メッセージにデータを詰めた後、消費者に対してメッセージを返信する。消費者による単位時間当たりのデータ消費量が、生産者によるデータ生産量を上回る場合、受信者はデータの消費を一旦停止して、データの到着を待つこととなる。逆に、消費者による単位時間当たりのデータ消費量が、生産者によるデータ生産量を下回る場合、送信者はデータの生産を一旦停止して、消費者からの空メッセージの到着を待つこととなる。このような手法は、入出力同期と呼ばれる。

#### 4.1.2 IP マルチキャスト通信路における入出力同期

IP ネットワーク上のエンドシステム間に入出力非同期の問題は、上記の有限バッファ問題と同様に、消費者内部の受信バッファ残量を基とした入出力同期により達成されることがある。例えば、今日のインターネットプロトコル体系におけるトランスポート層は、TCP (Transmission Control Protocol) と呼ばれるトランスポートプロトコルが広く利用されているが、この TCP はウィンドウ制御方式と呼ばれる入出力同期を実装する。

しかし本機構では，そのような入出力同期を利用できない．何故なら，本機構により生成される単一の DV ストリームは，不特定数のクライアントによって同一時刻に視聴されるためである．前節で解説した入出力同期は，前者のポイントツーポイント型接続を前提としており，対する IP マルチキャストを基としたポイントツーマルチポイント型接続では入出力同期を個別化することはできない．IP マルチキャスト通信路における入出力同期の様子を，図 4.1 に示す．

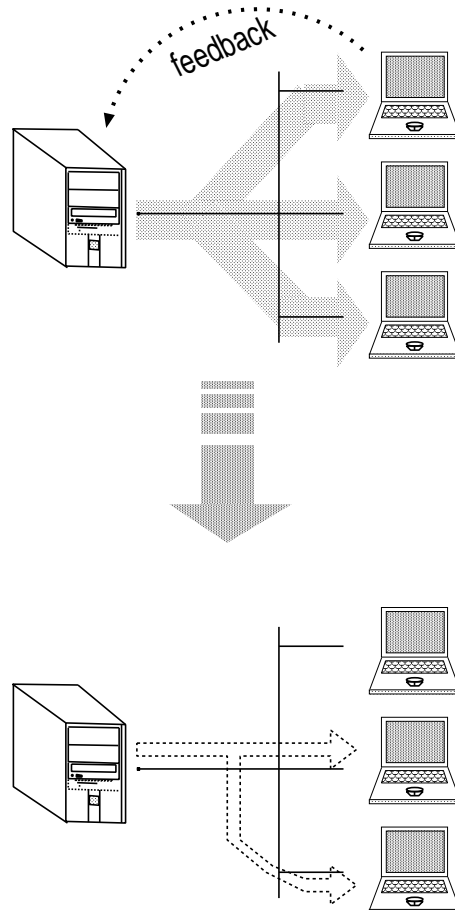


図 4.1: IP マルチキャスト通信路における入出力同期

ある IP マルチキャストを基としたメディアストリームに対して，クライアントが入出力同期を行った場合，そのメディアストリームを試聴する全てのクライアントが制御の影響を受けてしまう．これは，現行の TV 放送を見ている最中に急に映像が乱れてしまうことと同等の現象であり，映像の放送サービスとしては回避すべき事象である．

## 4.1.3 同期が達成されない状況における具体的障害

サーバクライアント間における同期が達成されない場合、ストリーミングを行なう上でいくつかの障害が発生する。図4.2は、本機構がDVデータを伝搬させる工程を、データの経由点のみを抽象化して示したものである。

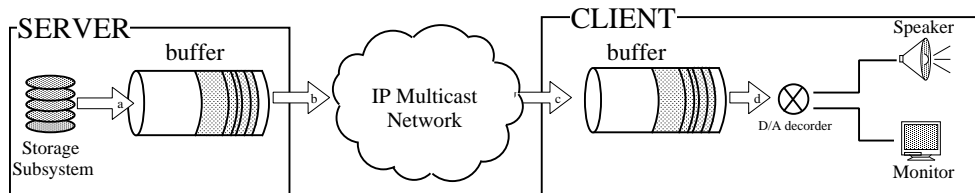


図 4.2: 本機構における DV データの伝搬工程

図4.2に示すように、DVデータの伝搬は大別して4つの工程からなる。それら各工程を以下に示す。

- サーバは、2次記憶装置からDVデータを取り出し、バッファに待機させる(図4.2-a)。
- サーバは、バッファに蓄えられたDVデータを、逐次ネットワーク転送する(図4.2-b)。
- クライアントはそれらを受信し、バッファに蓄える(図4.2-c)。
- クライアントはバッファに蓄えられたDVデータを、D/A変換器に転送する(図4.2-d)。

図4.2-aの区間のDVデータは、サーバによる制御下に置かれている。図4.2-b及び図4.2-cの区間のDVデータは、前節で説明したとおり、接続形態の特性上入出力同期はできない。図4.2-dの区間は、DVデータのD/A変換の工程を示しており、DVのビットレートによるデータ転送が行なわれる。

クライアントに課せられたタスクは、図4.2-d上でD/A変換器へのデータ供給レートをDVのビットレートに維持することである。もし、D/A変換器へのデータ供給レートが、DVのビットレートを下回る場合、D/A変換器はデータを待機することとなるため、バッファ枯渇が発生し、映像の再生が中断されてしまう。逆にもし、DVのビットレートを上回る場合、D/A変換器へのデータ供給レートを超過するため、クライアントのバッファに受信データを待機させる領域が必要となり、受信限界に達してしまう。この状態はバッファ超過と呼ばれ、到着データが破棄されてしまい、映像に対するノイズとして表面化する。

バッファ超過の問題は、クライアントに動的に拡張可能なバッファを確保することにより解決する方法が考えられる。しかし、本機構は単一メディアストリーム当たりのビットレートが大きいため、クライアントに対して広大なバッファ領域の割り当てを強いることとなる。具体的には、サーバに30Mbyte/secの入出力帯域幅を持つ2次記憶装置を用いた場合、DVのビットレートは約3.6Mbyte/secであるため、約26.4Mbyte/secの入出力帯域幅の格差が生じることとなる。例えば、2時間の映画コンテンツを視聴する場合には、最

大時約 190Gbyte のバッファ領域を各消費者に対して要求してしまう．このように著しく大きいバッファを要求する方法は，解決策として非現実的である．

## 4.2 バースト転送による問題

バースト転送は，短い期間内にデータを一括化して転送することによって，スループットの向上を狙うデータ転送の効率化技術である．この技術は，計算機の内部バスのような装置では，転送権の調停が働くため効果を発揮するが，広域分散型の IP ネットワーク上では，データ転送はエンドシステムが自律して行うため，他のトラフィックや計算機資源に対し悪影響を及ぼす場合がある．本節では，バースト転送による問題について，中継システムにおける問題，及びサーバのオペレーティングシステムにおける問題を指摘する．

### 4.2.1 中継システムにおける問題

もし，IP ネットワーク上のエンドシステム同士が，同時多発的なバースト転送を行った場合，中継システムに対して瞬間的に流入するトラフィック量が，その中継システムが処理可能なトラフィックの総量を超えて，受信限界に達してしまうかもしれない．このようなネットワークの状態を輻輳と呼び，輻輳時の中継システムは，到着したパケットの中継ができない場合，その到着パケットは破棄されてしまう．

### 4.2.2 オペレーティングシステムにおける問題

本 VoD 機構は，高いビットレートのストリーミングメディアの多重転送を行うため，バースト転送による影響は，中継ネットワークだけでなくサーバ内部の処理に波及する可能性がある．具体的には，サーバ内部のネットワーク出力キューにおけるバッファ枯渇である．本機構内部では複数の DV ストリームを並列して生成するが，ネットワークへの出力インターフェースは 1 つであるため，単一のネットワーク出力キューに対して複数の DV ストリームが流入することとなる．もし，飽和したネットワーク出力キューに新たなデータが到着した場合，そのデータは破棄されてしまう．

## 4.3 送信者駆動の DV ストリーム生成手法の必要性

本章では，本機構を実現する上での問題点を挙げ，その問題による具体的な障害について議論した．本節では，ここまでに述べた問題や制約について考察を行う．また，その問題を解決するためのアプローチを示す．

### 4.3.1 問題点の考察

本章ではまず、有限バッファ問題のモデルを引用し、バッファとそこに対する操作の本質的な意味について述べた。次に、サーバクライアント間の入出力非同期の問題は、IP マルチキャストによるポイントツーポイント型接続の通信路の特性上、入出力同期は導入できないことを示した。これは、各 DV ストリームがポイントツーポイント型接続の通信路に転送するため、クライアント毎に入出力同期を個別化できないという制約をおかれるためである。また、この問題から派生する具体的な障害として、バッファ超過/バッファ枯渇について説明した。前節では、バースト転送に関する問題についても言及した。

### 4.3.2 問題解決へのアプローチ

本論では、これまでに議論した制約や問題点を踏まえ、送信者による DV ストリーム生成方法に焦点を当てて、問題解決を試みる。本アプローチは、サーバにより生成される DV ストリームの転送レートを DV のビットレートに近似することによって、IP マルチキャストグループ毎の一括した入出力同期を実現する。加えて、DV ストリームのバースト性を抑えることにより、サーバやネットワークにとって低負荷な VoD 機構を実現する。



## 第5章 送信者駆動によるDVストリーム生成手法の設計

第3章で、本論が提案するVoD機構とそのサービスについて紹介した。また、第4章では、本機構を実現する上で発生する問題点を挙げ、その問題を解決するためのアプローチを示した。本章では、その解決アプローチを適用した送信者駆動のDVストリーム生成手法の設計を行なう。

### 5.1 要件の整理

本節では、送信者駆動によるDVストリーム生成手法を設計するにあたり、要件を洗い出し、また、各要件を満たすための機能について議論する。

#### 5.1.1 送信者駆動による同期化

送信者は、2次記憶装置からのデータ読み込み、ネットワーク転送、インターバルを周期的に実行することで、DVストリームを生成する。また、このサイクルを並列実行することによって、DVストリームの多重化が達成できる。送信者は、このインターバルを調節することにより、転送レートを目標のビットレートに近づけることとなる。

DVはフレーム間圧縮を用いず、また、フレームサイズが均一な固定ビットレートの映像である。また、80byteの基本ブロックから構成されるため、単純なビットレートの換算が可能である。目標とするビットレートを $R$ 、インターバルを $T$ とした時、転送サイクルの1サイクルあたりの転送サイズ $S$ は、

$$S = R/T$$

と表せる。ただし、これら3つの工程全てにおいて、不確定のoverheadが含まれることを考慮しなくてはならない。また、そのoverheadは、計算機の負荷率によって変動することを考慮しなくてはならない。次に示す表5.1は、あるマルチタスクオペレーティングシステムにおいて、10000 $\mu$ secのプロセスの休眠を5回不定期に発生させ、そのインターバルを観測した結果である。バックグラウンドプロセスとしてプログラムのコンパイルをして計算機に模擬的な負荷を発生させている。

この結果から、プロセスの休眠には数千 $\mu$ sec単位の誤差が含まれることが読み取れる。休眠時間の誤差に加え、2次記憶装置のヘッドのシーク、プロトコル処理、プロセスのコン

表 5.1: 休眠時間の変動

回数	インターバル ( $\mu sec$ )
1	17348
2	10700
3	15402
4	18821
5	14876

テキストスイッチング遅延などの overhead が含まれることから，1 サイクル内に多くの遅延が累積されることとなる．図 5.1 に，この処理のタイミングチャートを示す．

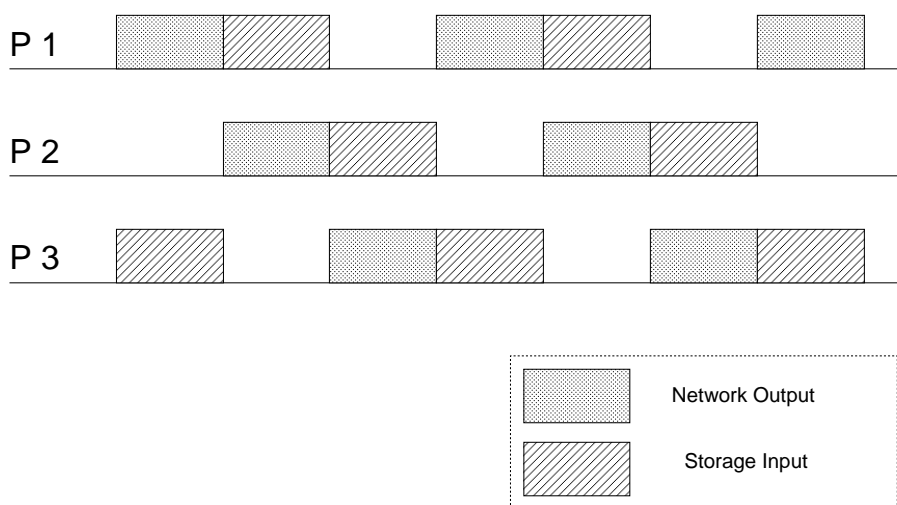


図 5.1: 転送サイクルとその多重化

これら不確定な遅延時間の累積値は上記の式の  $T$  に対して作用し，結果として  $S$  は目標とするビットレートから誤差分だけ下回るため，クライアントはいずれバッファ枯渇を引き起こすこととなる．従って，送信者駆動による DV ストリームの生成には，1 転送サイクル内で発生する遅延を踏まえた仕組みが必要である．

### 5.1.2 バースト性の軽減

第 4.2 節に示したように，高いバースト性のあるデータ転送は，ネットワーク資源や計算機資源を利用する時に突発的な負担を課すため，パケットの破棄が発生する可能性がある．バースト性は，各プロセスのインターバルを短くすることによって軽減できる．この原理は，図 5.2 のように視覚化できる．

図 5.2 の 1 段目のグラフは，バースト性を軽減せずに転送を行なった場合の流量の推移である．2 段目，3 段目はバースト性の軽減を行なった転送の流量の推移である．図中  $I$  は，

1 サイクル内の転送サイズを示し，

$$I_0 = I_1 \times 2 = I_2 \times 3$$

の満たしている．転送サイクルのインターバルをより短くとることにより，要求されるネットワーク帯域幅が抑えられ，バースト性が軽減される様子がわかる．ただし，バースト性軽減のため，このインターバル値を著しく小さくすることは得策ではない．第2章で述べたように，IP ネットワークにおけるパケットの伝搬遅延は変動するため，このインターバル値を小さくすることにより得られる効果は大きくない．本設計では，オペレーティングシステムのデフォルトのクロックチックの値を用いる．

### 5.1.3 リアルタイム OS に関する検討

本設計は，汎用なオペレーティングシステム，つまり最大スループットを重視したオペレーティングシステムを開発基盤として想定して行なった．だが，本設計に盛り込んだデータ入出力レートの制御は，リアルタイム性を重視したオペレーティングシステム（リアルタイム OS）の利用によって解決できる点もある．だが，本論ではリアルタイム OS を利用しない．その理由は，本機構の実現には，ハードなタイミング制御より，システム全体のスループットが優先されるためである．また本機構を，リアルタイム OS ベースのアプリケーションとして作成した場合，そのリアルタイム OS の API に依拠して作成されるため，本機構の移植性を低下させてしまうという問題もある．

## 5.2 処理の流れ

これらの要件に基づき，図 5.3 に示す処理の流れを導いた．また，この処理の流れを満たすための情報群を，表 5.2 に示す．

本手法は，ある位置からの DV 入力とある位置への DV 出力を統御することによって，DV ストリームを生成する．転送サイクルは，表 5.2 の DV データ入力ハンドラ，DV データ出力ハンドラ，インターバルに基づいた休眠を周期的に実行することにより実現される．誤差補正データサイズを導入することにより，1 転送サイクルの所要時間を正確に算出できるため，誤差が少ない DV ストリーム生成が可能である．これらにより，本手法を導入することで，DV ストリームの送信者と受信者間における入出力非同期の問題は解決できる．同時に，1 転送サイクル当たりにおける DV データの転送サイズを調節できるようになり，ネットワークの中継システムやオペレーティングシステムに対する負担を軽減できる．

表 5.2: 本手法の管理情報

情報名	説明
DV データ入力ハンドラ	DV データの入力手続きの場所を格納する。本手法は、このハンドラを起動することによって、DV データの入力を実行する。
DV データ入力開始時刻印	DV データ入力ハンドラが実行された時の時刻印を格納する。
DV データ出力ハンドラ	DV データの出力手続きの場所を格納する。本手法は、このハンドラを起動することによって、DV データの出力を実行する。
DV データ出力終了時刻印	DV データ出力ハンドラが終了した時の時刻印を格納する。
インターバル 共有バッファ	転送サイクル中で発生させるインターバルの長さ。 DV データ入力ハンドラと DV データ出力ハンドラが利用するバッファへの参照点を格納する。
基本入力データサイズ	基本入力データサイズは、上記のインターバル値に対する入力データサイズであり、DV データ入力ハンドラによって利用される。
誤差補正データサイズ	誤差分入力データサイズは、上記の DV データ出力ハンドラ終了時刻印から DV データ入力ハンドラ開始時刻印を減算し、その時間差を DV データのサイズに換算した値。誤差分のデータサイズの補正するための情報として利用される。

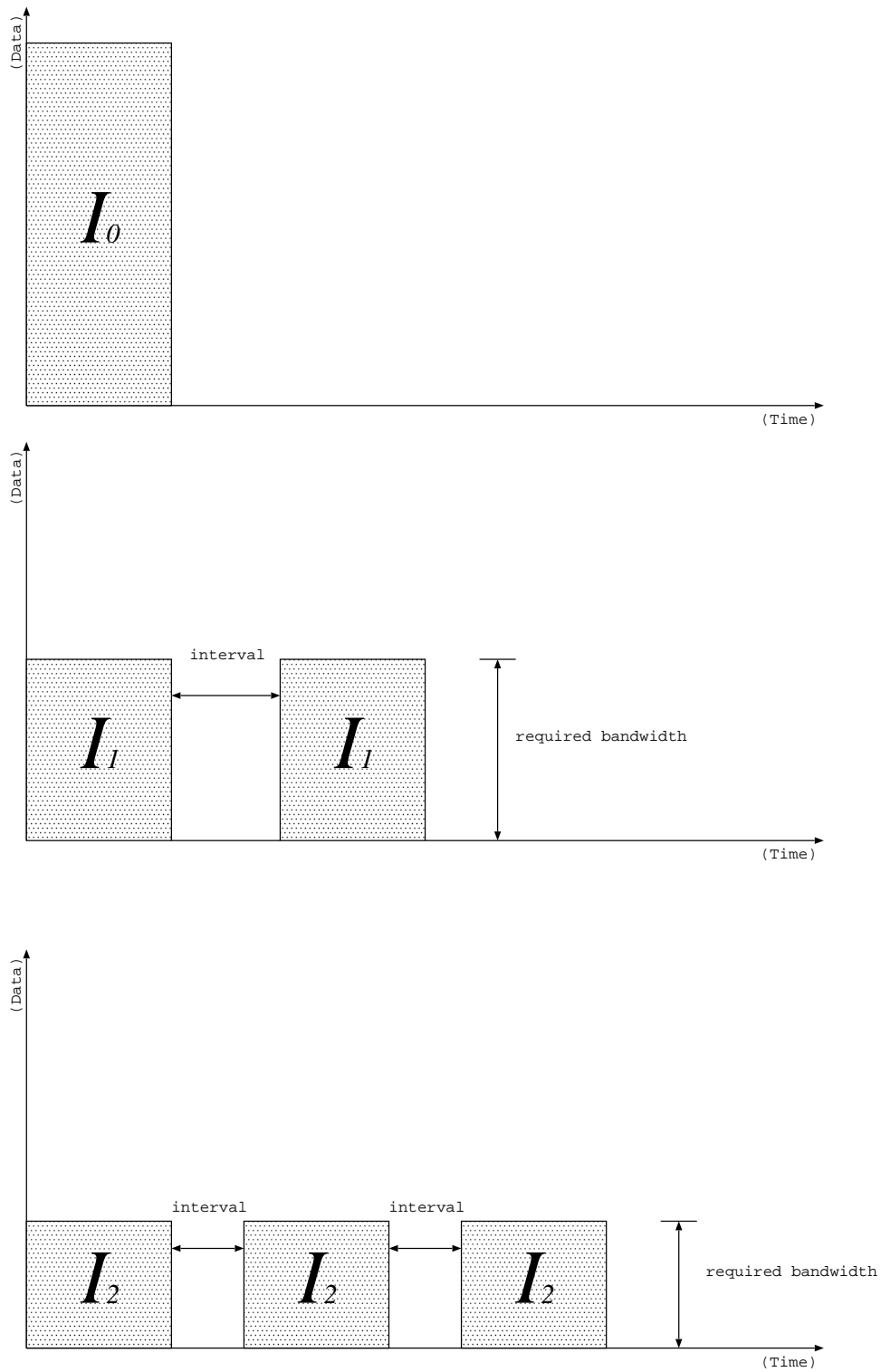


図 5.2: バースト性の解消

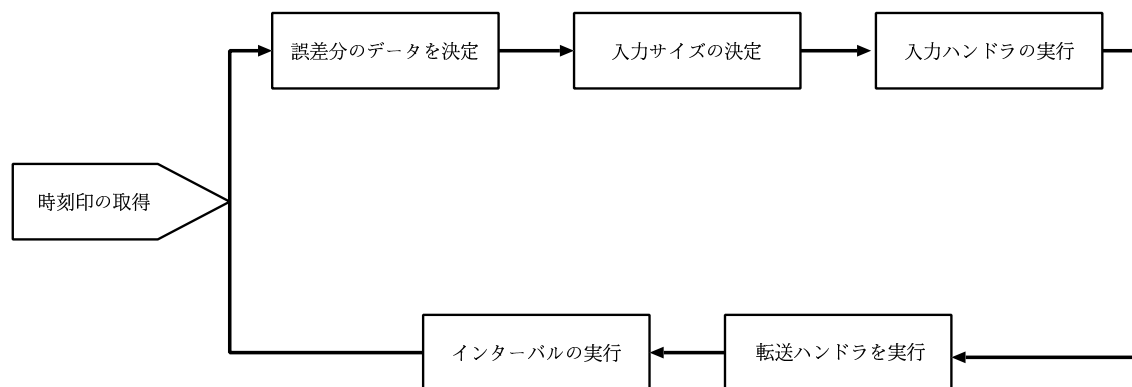


図 5.3: 本手法の処理の流れ

## 第6章 実装

本章では、本機構の実装について述べる。本機構はサーバクライアントモデルのアプリケーションとして構築される。

### 6.1 サーバの実装

#### 6.1.1 実装環境

第3章で述べたように、特殊な放送機器やオペレーティングシステムは用いることなく、本機構を実現することを視野に入れている。サーバは、表 6.1 に示すハードウェアを持つ計算機上で実装した。

表 6.1: サーバの実装に用いた計算機のハードウェア

項目	スペック
プロセッサ	Intel PentiumIII 1.2GHz
主記憶	512MB
2次記憶装置	Western Digital WD1200JB (Ultra ATA100/7200rpm/8MB cache)
ネットワークインターフェース	Intel Pro/100

サーバのオペレーティングシステムには、FreeBSD-4.6 Release を用いた。プログラミング言語には、C 言語を用い、コンパイラは、gcc バージョン 2.95.4 を用いた。

#### 6.1.2 構成要素

サーバは、図 6.1 に示す構造で実装した。

サーバは、DV データ読み込みモジュール、DV データ転送モジュール、DV ストリーム生成モジュール、チャンネル情報管理機構から構成される。

DV データ読み込みモジュール ファイルシステム上の DV ファイルから DV データを読み込みを行なう。

DV データ転送モジュール DV データの IP マルチキャスト転送を行なう。宛先の IP マルチキャストアドレスは、下記のチャンネル情報管理機構によって管理される。各 IP

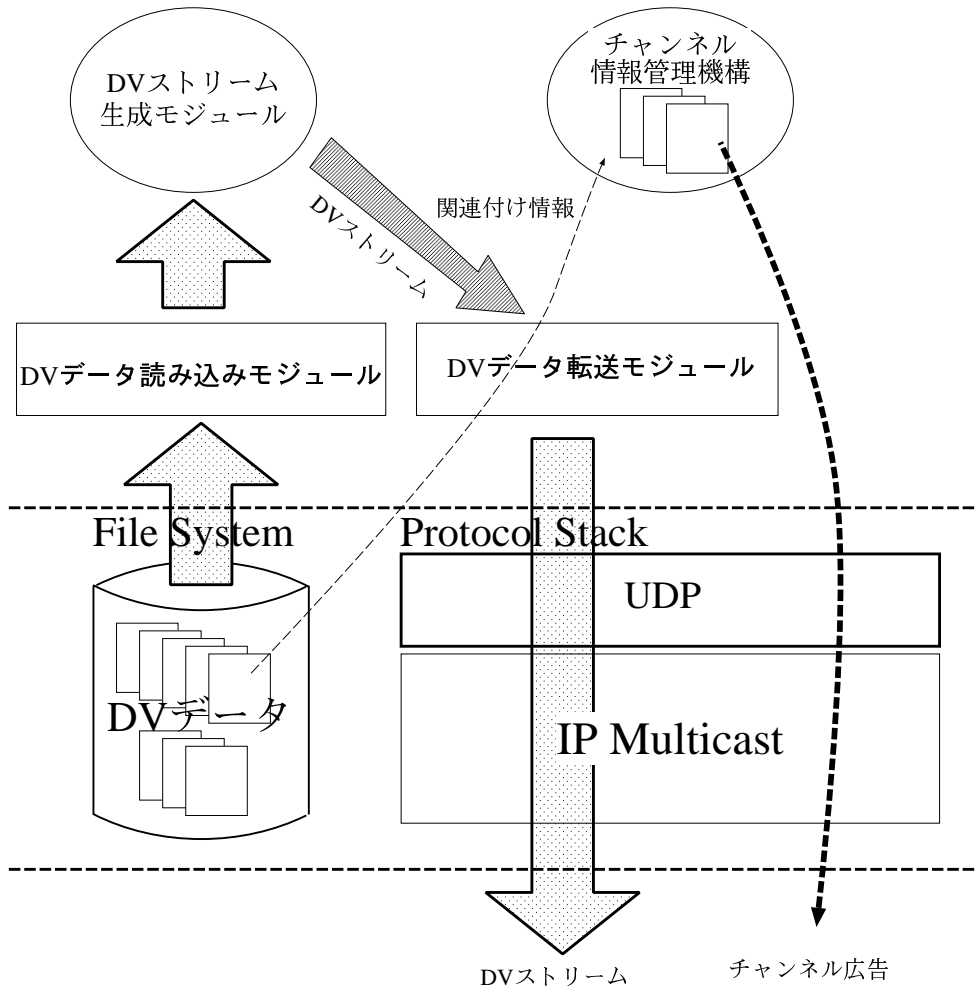


図 6.1: サーバの構成要素

パケットには、RTP に基づいた情報 (シーケンス番号, 時刻印, ペイロードタイプ) が付加される。図 6.2 に RTP ヘッドフォーマットを示す。

**DV ストリーム生成モジュール** DV データ読み込みモジュールと DV データ転送モジュールを統御して、DV ストリームを生成する。図 6.3 に、DV ストリーム生成モジュールの疑似コードを示す。

**チャンネル情報管理機構** チャンネル情報を管理し、ある IP マルチキャストアドレスに広告する機構。広告には SAP(Session Announce Protocol)[6] を用い、チャンネル情報の記述には SDP(Session Description Protocol)[7] を用いた。図 6.4 に広告情報の例を示す。

図 6.3 の各変数及び関数の解説を行う。

2-4: 入力する DV データのサイズ  $in$  を決定する。インターバルによって算出される基本



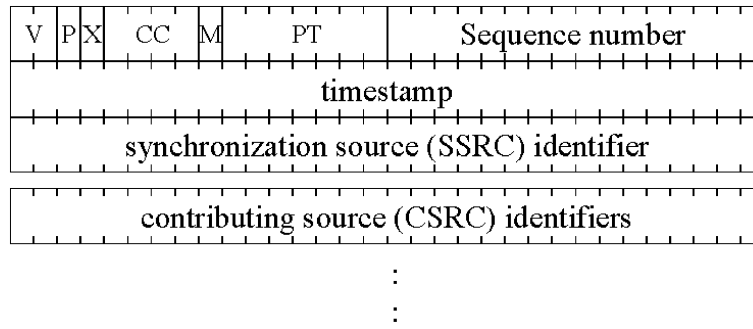


図 6.2: RTP ヘッダフォーマット

入力データサイズ  $base$  と、前回の転送サイクルで発生したインターバルの誤差分のデータ  $gap$  の合計値から、DV データの基本ブロック (80byte) が何個分に相当するかを算出する。ここで発生する丸め誤差は、 $gap$  に代入される。

6-8: DV データ入力ハンドラ `func_in` と DV データ出力ハンドラ `func_out` を起動し、DV データのバッファリングを行う。それが完了すると、インターバル  $itv$  を取る。

10: 時刻印  $cur$  を得る。関数 `get_time` は、プロセッサの 64bit カウンタを取得する。

12-13: その 1 転送サイクルの実経過時間を基に本来転送されるべきデータサイズを算出し、そのサイクルで転送されたデータサイズを減算し、誤差分のデータ  $gap$  を得る。

## 6.2 クライアントの実装

### 6.2.1 構成要素

今回の実装では、クライアントに既存のツール、DVTS(Digital Video Transport System)[8] 及び SDR(Session Directory)[9] を用いたため、本章ではその詳細について言及しない。クライアントは、図 6.5 に示す構造で実現される。

クライアントは、DV データ受信モジュール、DV データ復号モジュール、チャンネル情報閲覧機構から構成される。DVTS が、DV データ受信モジュールと DV データ復号モジュールを置き換え、SDR が、チャンネル情報閲覧機構を置き換える。

SDR は、サーバによって SDP/SAP に基づいて広告されるチャンネル情報を受信すると、そのパケット内に記述されたチャンネル情報を取り出して、GUI(Graphical User Interface) にリストする。チャンネル情報には、DV ストリームの宛先 IP マルチキャストアドレスと、`dvrecv` が関連付けられて記述されている。`dvrecv` は、DV ストリーム受信プログラムである。視聴者がそのチャンネルの閲覧を開始する場合には、SDR の GUI 越しにチャンネルを選択するだけで、`dvrecv` が自動的に起動され、視聴を開始できる。

```
1      for (get_time(&prev); ; ) {
2          qty = (base + gap) / 80;
3          in  = qty * 80;
4          gap = (base + gap) - in;
5
6          func_in(fdin, (void *)buf, in);
7          func_out(fdout, (void *)buf, in);
8          take_interval(itv);
9
10         get_time(&cur);
11
12         gap += (cur - prev) / cpufreq * bps - in;
13         prev = cur;
14     }
```

図 6.3: DV ストリーム生成モジュールの疑似コード

```
"v=0"
"o=nob 1234567890 0000000001 IN IP4 192.168.0.1"
"s=Digital Video Broadcasting Service"
"i=[ch1] Yamanobori"
"u=http://www.sfc.wide.ad.jp/~nob/"
"e=nob@sfc.wide.ad.jp"
"c=IN IP4 239.192.0.1/127"
"p=090-XXXX-YYYY"
"t=1037926800 1037952000"
"a=recvonly"
"m=dvts 8000 RTP/AVP 1"
"a=tool:sdr v2.6.3"
"a=type:broadcast"
```

図 6.4: SDP によるチャンネル情報の記述

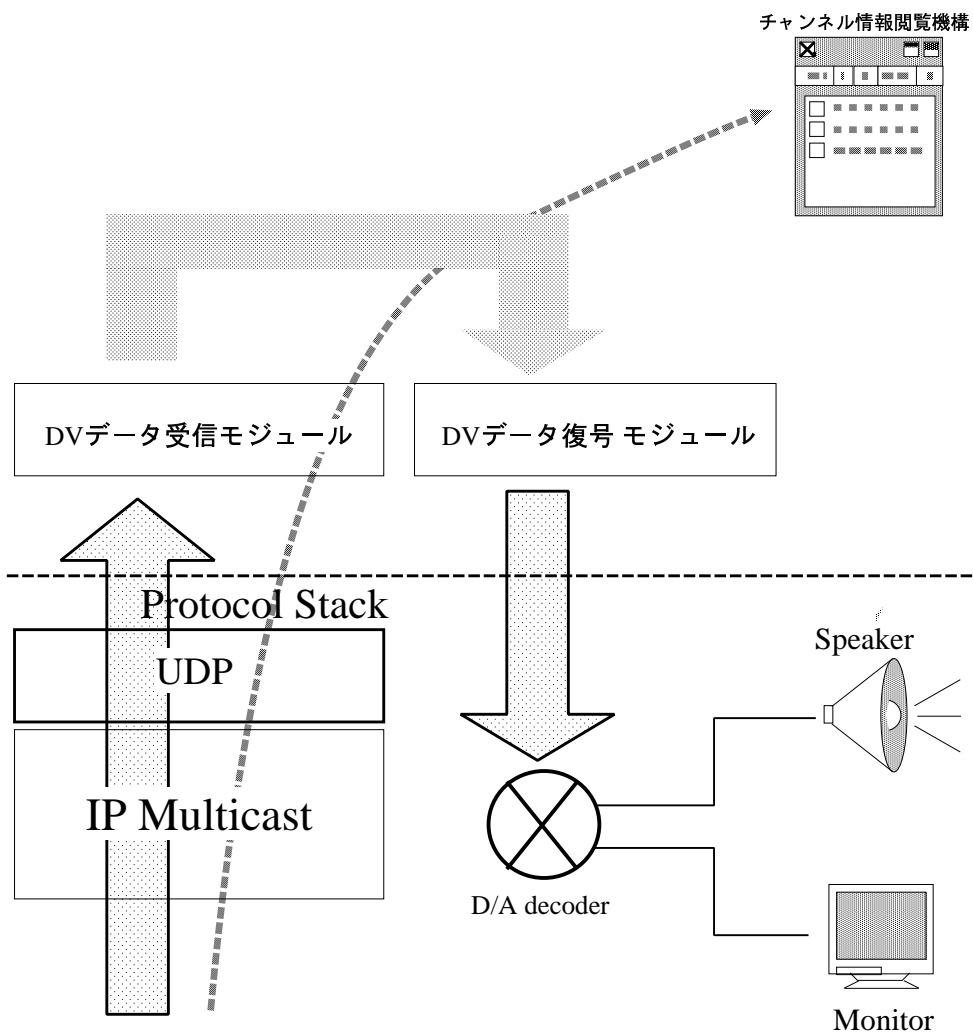


図 6.5: クライアントの構成要素

## 第7章 評価

本節において、本機構の実装に対する評価を行ない、その動作を実証する。評価は、第5章で設計した、送信者駆動によるDVストリームの入出力同期、及びバースト性の軽減に焦点を置いて行なった。

### 7.1 評価環境

評価は、図7.1に示すネットワーク環境下で行なった。サーバに用いた計算機は、図6.1に示されたものである。クライアントの計算機のスペックを、図7.1に示す。クライアントのオペレーティングシステムには、Windows XPを用いた。

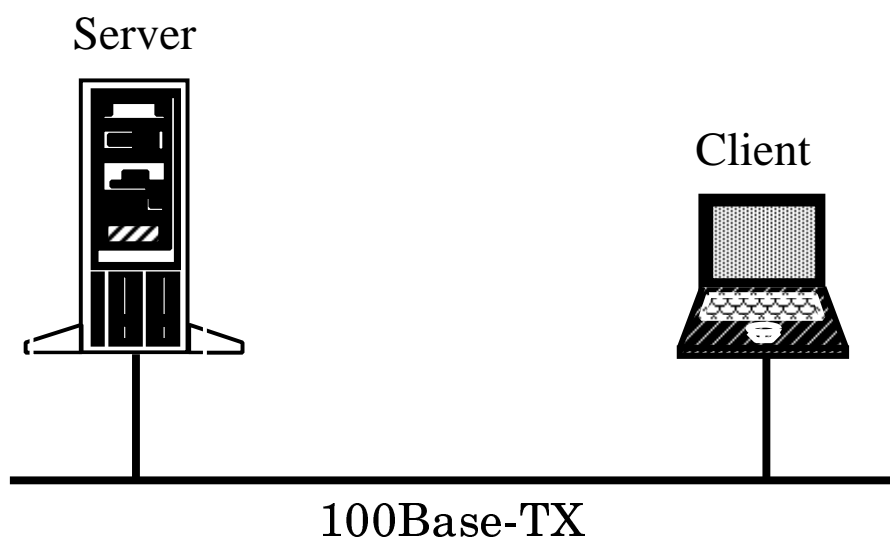


図 7.1: 評価環境

表 7.1: クライアントの計算機

項目	スペック
プロセッサ	Intel Pentium III 500MHz
主記憶	640MB
ネットワークインターフェース	Intel Pro/100

## 7.2 送信者駆動による DV ストリーム入出力同期に関する定量的評価

本節では、本機構の DV ストリーム生成手法に具備した、送信者駆動による DV ストリームの同期化制御による効果を評価する。評価は、サーバの 2 次記憶装置上に蓄積されたデータサイズ  $S_{byte}$  の DV データを用いてストリーミングを行ない、再生所要時間と DV データのサイズから導ける再生時間の理論値とを比較することにより行なった。データサイズ  $S_{byte}$  の DV データに対する再生時間  $T$  秒の理論値は、以下の式より算出できる。

$$T = \frac{S}{120,000 \times 29.97}$$

式中の 120,000 は、DV1 フレームあたりのサイズを表し、29.97 は DV のフレームレートを表す。再生所要時間の計測には、手動のストップウォッチを用いた。再生の開始時にストップウォッチをスタートし、再生の終了を目視で確認したら、即座にストップすることによって再生所要時間を計測した。手動で再生所要時間を計測するため、人の反射神経に依存した計測誤差が発生すると考えられる。この誤差の影響を最小限に抑えるため、評価に用いる DV データを十分大きくした。評価に利用した DV データのサイズは、64,384,920,000byte であり、これを上記の式によって、再生時間を導くと約 17902 秒となる。これを時分秒に換算すると約 4 時間 58 分 22 秒となる。

計測は 3 回行ない、結果は以下の表 7.2 のようになった。

表 7.2: 再生所要時間の計測

回数	再生所要時間
1 回目	4 時間 58 分 22 秒
2 回目	4 時間 58 分 22 秒
3 回目	4 時間 58 分 23 秒

これら計測結果には、人の反射神経による誤差が含まれているが、約 5 時間あたりに 1 秒程度しか発生しないことが判る。同時に、本機構は少なくとも約 5 時間の映像コンテンツを途切れずに配信できることが実証された。

## 7.3 バースト性の軽減に関する定量的評価

本節では、本機構の DV ストリーム生成モジュールに実装したバースト性の軽減による効果を評価する。評価は、DV ストリーム生成モジュールのインターバルの値として、最短 10msec から最長 100msec までの範囲を 10msec 毎に 10 パターンを用意し、各パターンについて、約 30sec 経過する毎に DV ストリームの多重度を上昇させることにより行なった。多重化が達成されたか否かの目安は、パケット破棄の有無によって判断した。パケッ

ト破棄は、サーバのIP出力キューにおけるドロップカウントを1秒毎に取得することにより行なった。

図7.2から図7.11は、この評価の結果から得られたグラフである。グラフの縦軸にはパケット数、横軸には時間である。グラフ中の実線は1secあたりの転送に成功したパケット数、一方、ドットは1secあたりに破棄されたパケット数を示す。

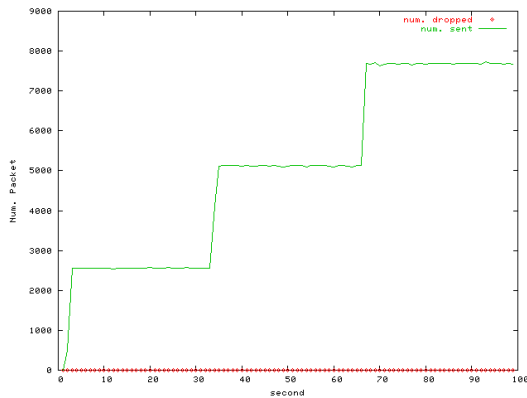


図 7.2: インターバル値: 10msec

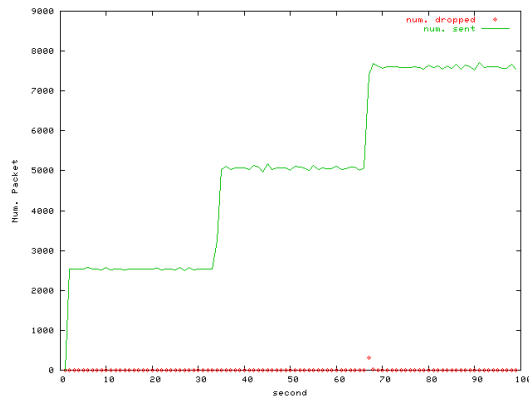


図 7.3: インターバル値: 20msec

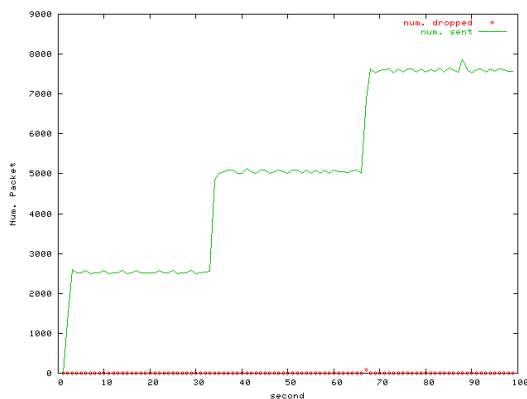


図 7.4: インターバル値: 30msec

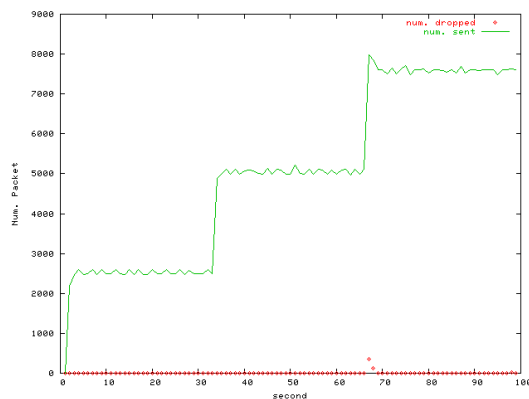


図 7.5: インターバル値: 40msec

まず、図7.2と図7.11を比較することにより、バースト性の軽減による効果があることが判る。

図7.3からは、DVストリームが3本になった時、数百のパケット破棄が発生したことが判る。これは、オペレーティングシステムが新たなDV転送のプロセスを起動することによるoverheadが、プロトコル処理を滞らせたためだと考えられる。これと同等の現象が、図7.4、図7.5からも読みとれる。

図7.8、図7.9では、DVストリームが3本になると、オペレーティングシステムによるプロトコル処理の性能限界に達しはじめ、定常的なパケット破棄が生じていることが判る。

図7.10の段階では、DVストリームが2本になった場合にも、定常的なパケット破棄が発生している。つまり、この評価環境では、インターバルが90msecのDVストリーム同

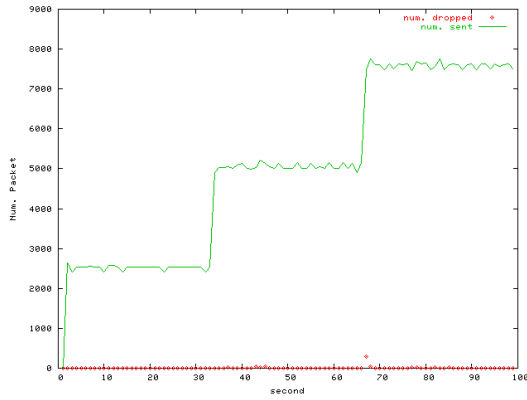


図 7.6: インターバル値: 50msec

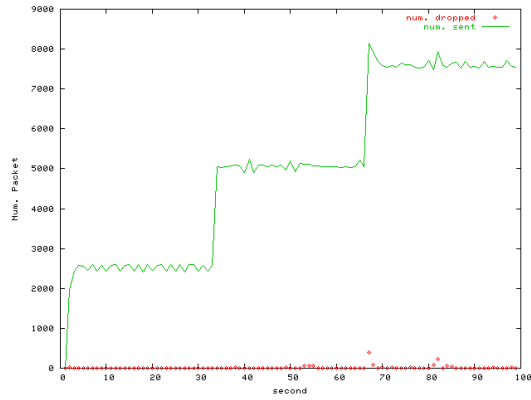


図 7.7: インターバル値: 60msec

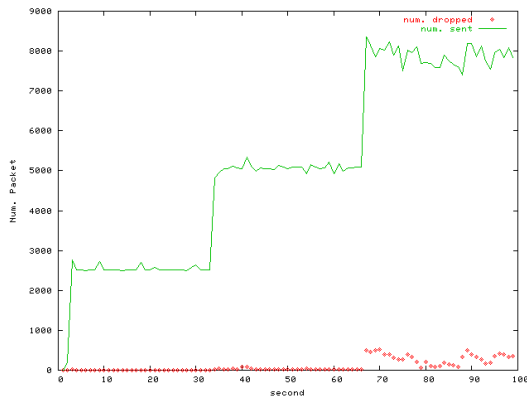


図 7.8: インターバル値: 70msec

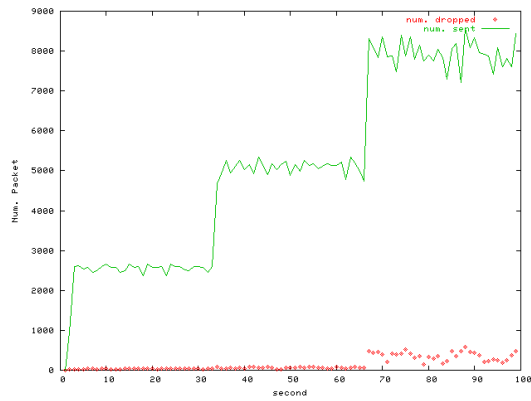


図 7.9: インターバル値: 80msec

士は、多重化を達成できないことが判った。

## 7.4 デモンストレーションによる動作実績

慶應義塾大学湘南藤沢キャンパスで開催された Open Research Forum 2002(ORF2002)において、2002年11月22日から23日の2日間にわたり、本機構のデモンストレーションを行なった。図7.12にその様子を示す。

図7.12は、1台のサーバから3本のDVストリームをIPマルチキャスト配信している様子である。サーバに用いた計算機は、表6.1に示したものと同一である。クライアントは、3台異なった性能を持ったノート型PCを利用した。クライアント例を、図7.13に示す。サーバ及び全てのクライアントは、100Base-TXによる単一ネットワーク上に接続されている。

本デモンストレーションにより、民生の計算機やネットワーク機器を用いて、TV品質の放送サービスを実現できることを知らしめた。

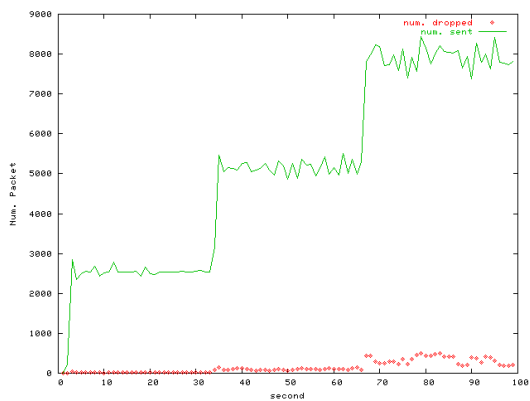


図 7.10: インターバル値: 90msec

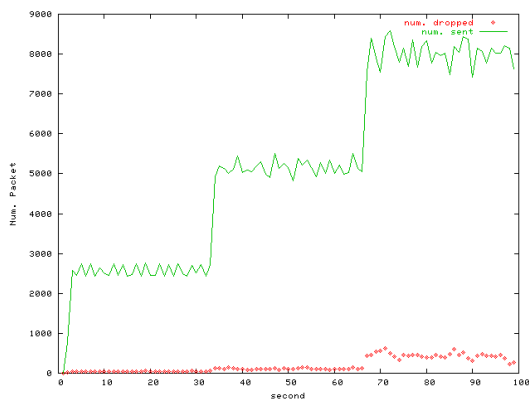


図 7.11: インターバル値: 100msec



図 7.12: ORF2022 でのデモンストレーションの様子



図 7.13: クライアント



## 第8章 結論

### 8.1 本論のまとめ

本論では、IP マルチキャストと DV データを併用した放送型 VoD 機構を提案し、実現した。

本機構の実現上の問題として、IP マルチキャスト通信路では送信者と受信者の入出力同期を個別化できない制約について述べ、この制約を回避する方法を考案した。また、ネットワークやオペレーティングシステム内部に突発的な負荷を課すバースト転送の問題にも触れ、この問題に対する解決も行なった。

本論で提案する放送型 VoD 機構は、DV データを利用することで、現存するインターネット VoD より高い映像品質の VoD サービスを実現できる。また、IP マルチキャストを基とした DV ストリームを多重転送することで、ネットワーク上のより多くの視聴者に対してより多くのチャンネル数の放送サービスを提供できる。

本論では、本機構の優位性を示すために評価を行なった。まず、送信者と受信者間の入出力非同期の制約を軽減できたことを示した。また、バースト性を軽減した DV ストリームを生成できるようにし、配信する DV ストリームの多重度を向上できることを示した。

近年にみられるネットワーク機器の高速化や低価格化によって、LAN 環境が飛躍的に進化した。同時に、WDM や 10Gigabit Ethernet といった技術の発展によって、WAN 環境もまた進化した。こういった傾向は、今後もさらに進展するものと推測され、より豊かな情報量をもったコンテンツ配信が可能となる。

このように高度化が進むネットワーク環境にとって、本機構は最適なテストベッドアプリケーションとなる。何故なら本機構が実現する映像配信サービスは、ネットワーク資源や計算機資源を最大限に活用することによって、より高い品質でサービス提供できるという特徴をもっているためである。

ネットワーク資源や計算機資源の利用方法は、オペレーティングシステムによって管理され、その利用のためのインターフェースは、抽象化された形でアプリケーションに提供される。だが、本機構のように単一プロセスが計算機に与える負荷が著しく大きいアプリケーションを構築する際には、オペレーティングシステムが提供するインターフェースを単に利用するだけでは、目標は達成できない。そのアプリケーション自身が、計算機の性能限界や、ネットワークへ課す負荷について配慮する必要がある。

本論で実現した VoD 機構は、まさにそういった位置づけに置かれるアプリケーションである。本論の最も重要な意義は、オペレーティングシステムに対して課せる負荷の均一化をアプリケーションが自発的に行なうことによって、複数のプロセスが安定したスループッ

トを得られることを実証したことである。

## 8.2 今後の課題

本機構は、より洗練されたアプリケーションとして発展するために、今後考慮すべき要件を下記に挙げる。

- セキュリティや著作権
- スケーラビリティ
- ネットワークへの適応性
- 映像フォーマットの多様化

### 8.2.1 セキュリティや著作権

本論では、サーバ上のコンテンツに関するセキュリティや著作権について、全く述べていない。今後さらにインターネット人口が拡大することを考えると、こういった問題への対策は、最も重要な要件の一つである。例えば著作権については、コンテンツに water mark を入れるなどして、コンテンツの複製を防がなくてはならない。

### 8.2.2 スケーラビリティ

本機構は、現状では単体で動作することしか考えていない。VoD サービスとしての規模拡張性を実現するためには、サーバ間での協調動作が欠かせない技術となる。

### 8.2.3 ネットワークへの適応性

本機構は IP マルチキャスト通信路に依拠した動作をするため、フロー制御や輻輳制御について考慮していない。インターネット総体として健全さを保つためには、こういった配慮が必要である。

### 8.2.4 映像フォーマットの非依存性

本機構は、固定ビットレートのデータフォーマットに依拠した機構である。より多様な映像フォーマットが、現在存在している。様々な映像フォーマットをサポートすることによって、より洗練された VoD 機構としていくべきである。

## 謝辞

本論を進めるにあたり、主査である慶應義塾大学環境情報学部教授村井純博士に感謝します。また副査である慶應義塾大学環境情報学部助教授中村修博士と東京大学大学院情報理工学系研究科助教授江崎浩博士に感謝します。

絶えず指導して下さった慶應義塾大学環境情報学部助教授楠本博之博士と慶應義塾大学環境情報学部専任講師南正樹氏に感謝します。また、常に近くで助言を下さった総務省通信総合研究所の杉浦一徳氏、慶應義塾大学政策・メディア研究科小川晃通氏をはじめとするSTREAM研究軍団の諸氏に感謝します。論文執筆者を惜しみない尽力で支えてくれた徳田・村井・楠本・中村・南合同研究室のすべての先輩方と後輩のみなさんに感謝します。最高の執筆環境を与えてくれた慶應義塾大学湘南藤沢キャンパス大学院棟 20のメンバー、OB、OGの方々に感謝します。

そして、常に近くで励ましてくれたsachiと、いろんなサポートをしてくれたgenの2人からは多大な助けを被りました。私は、彼らの惜しみない協力とその辛抱強さに心から深く感謝します。

以上をもって謝辞とします。

## 関連図書

- [1] 総務省. DSL普及状況公開ページ.  
[http://www.soumu.go.jp/joho\\_tsusin/whatsnew/dsl/index.html](http://www.soumu.go.jp/joho_tsusin/whatsnew/dsl/index.html).
- [2] 総務省. 加入者系光ファイバ網の整備状況.  
<http://www.johotsusintokei.soumu.go.jp/field/data/gt3005.pdf>.
- [3] *Specifications of Consumer-Use Digital VCRs using 6.3mm magnetic tape*, 1994. HD Digital VCR Conference.
- [4] T.D.C. Little and D. Venkatesh. Prospects for interactive video-on-demand. In *IEEE Multimedia*, 1(3), 1994, pp. pp.14–24, 1994.
- [5] Edsger W. Dijkstra. The structure of the “the”-multiprogramming system. In *Commun. of the ACM*, vol.11, pp. pp.341–346, May 1968.
- [6] M. Handley, C. Perkins, and E. Whelan. *Session Announcement Protocol*, October 2000. RFC 2974.
- [7] M. Handley and V. Jacobson. *SDP: Session Description Protocol*, April 1998. RFC 2327.
- [8] Akimichi Ogawa. *DVTS (Digital Video Transport System) WWW page*, November 2001. <http://www.sfc.wide.ad.jp/DVTS/>.
- [9] *UCL Network and Multimedia Research Group*, July 2001.  
<http://www-mice.cs.ucl.ac.uk/multimedia/software/>.