

平成 14 年度  
学士学位論文

# DVTS コンテンツの レート適応制御転送方式

A study on the adaptive rate control for  
DVTS(Digital Video Transport System) contents

1030253 岡部 真人

指導教員 島村 和典 教授

2003 年 2 月 12 日

高知工科大学 情報システム工学科

# 要 旨

## DVTS コンテンツの レート適応制御転送方式

岡部 真人

近年のインターネットアクセス回線の高速化, 常時接続化より, ストリーミングの需要が増え, ベストエフォート型のネットワーク上での動画配信に対する網負荷適応型の配送制御が必要になってきた. そこで, 本稿では輻輳状況に応じてストリームデータのビットレート調整を行う DVTS(Digital Video Transport System) コンテンツのレート適応制御転送方式を提案する.

本システムでは, サーバよりクライアントへ利用可能帯域を通知する. 送信ホストはフィードバック情報を基に映像の品質を動的に変更し, 送出レートを調整する. これにより輻輳状況に応じた配送制御が可能となる.

本稿では, 実装に至るまでの提案, ビットレート再計算式の定義, 提案方式の設計, 実験案について述べる.

キーワード DV over IP, DVTS, 利用可能帯域測定, レート適応制御転送方式

## Abstract

A study on the adaptive rate control for DVTS(Digital Video Transport System) contents

Okabe Masato

Recent emerging AV streaming applications demand a delivery transmission control adaptive for the wacillating available bandwidth of IP network. Responding for the demand, I propose a bit rate adaptation control of DVTS stream data, which is effective for network congestion control. In my proposal, the sender host server obeys an important role of the dynamic rate re-assignment for stabilizing the decoded video quality in corporation with the receiver host who tells the available bandwidth to the sender. This article describes the install techniques of the proposal and clarifies the method of the available bandwidth, and the issues to be solved.

*key words* DV over IP, DVTS, Available Bandwidth, Adaptive rate control

# 目次

<b>第 1 章</b>	<b>研究の目的</b>	<b>1</b>
1.1	研究の目的 . . . . .	1
1.2	研究内容 . . . . .	1
<b>第 2 章</b>	<b>研究の背景</b>	<b>3</b>
2.1	研究の背景 . . . . .	3
2.1.1	ストリーミング方式 . . . . .	4
2.2	既存の網負荷適応型の配送制御 . . . . .	4
2.2.1	ビットレート制御 . . . . .	4
2.2.2	ビットレートの選択 . . . . .	5
2.2.3	階層符号化 . . . . .	6
2.2.4	トランスコーディング . . . . .	6
<b>第 3 章</b>	<b>DVTS コンテンツのレート適応制御</b>	<b>9</b>
3.1	DVTS について . . . . .	9
3.1.1	DV コーディック . . . . .	9
3.1.2	DV over IP . . . . .	10
3.1.3	DVTS . . . . .	11
3.1.4	DVTS における理論値 . . . . .	12
3.1.5	DVTS における映像フレームの間引き . . . . .	13
3.2	レート適応制御転送方式 . . . . .	14
3.2.1	提案方式の概要 . . . . .	14
3.2.2	他方式との比較 . . . . .	15
3.2.3	提案方式の特徴 . . . . .	16

## 目次

3.2.4	ビットレート再計算式 . . . . .	16
3.3	利用可能帯域測定法 . . . . .	18
3.4	提案方式の設計 . . . . .	18
3.5	提案方式の実装 . . . . .	19
3.6	提案方式の問題点 . . . . .	21
<b>第 4 章</b>	<b>レート適応制御転送方式検証実験</b>	<b>22</b>
4.1	実験目的 . . . . .	22
4.2	実験環境 . . . . .	22
4.2.1	使用機器 . . . . .	22
4.2.2	ネットワーク構成 . . . . .	22
4.3	実験内容 . . . . .	22
4.4	評価基準 . . . . .	24
4.5	実験結果 . . . . .	24
4.6	実験の考察 . . . . .	25
<b>第 5 章</b>	<b>考察</b>	<b>26</b>
5.1	まとめ . . . . .	26
5.2	全体の考察 . . . . .	26
5.3	今後の研究課題 . . . . .	26
<b>謝辞</b>		<b>28</b>
<b>参考文献</b>		<b>29</b>
<b>付録 A</b>	<b>映像配信技術の基礎</b>	<b>30</b>
A.1	RTP . . . . .	30
A.2	RTCP . . . . .	30

## 目次

A.3	既存の映像配信システム . . . . .	31
<b>付録 B</b>	<b>DVTS 導入手順</b>	<b>33</b>
B.1	準備 . . . . .	33
B.2	FreeBSD の導入 . . . . .	33
B.3	DVTS へパッチをあてる . . . . .	33
B.4	デバイスのチェック . . . . .	33
B.5	DVTS のインストール . . . . .	34
B.6	動作確認 . . . . .	34
<b>付録 C</b>	<b>トラフィック測定技術</b>	<b>35</b>
C.1	受動的測定 . . . . .	35
C.2	能動的測定 . . . . .	35

# 目次

1.1	レート制御転送方式モデル	1
2.1	DSL 加入者グラフ	3
2.2	ビットレート制御	5
2.3	ビットレートの選択	6
2.4	階層符号化	7
2.5	トランスコーディング	7
3.1	1フレーム中の DV データ構造	10
3.2	DVTS のシステム構成	11
3.3	RTP を使った場合の DVTS のパケットフォーマット	11
3.4	フレーム間引きの概念	13
3.5	間引き時におけるバーストトラフィック	15
3.6	帯域モデル	17
3.7	利用可能帯域測定法	18
3.8	レート制御動作手順	20
4.1	実験 NW 構成	24
4.2	負荷トラフィック	24
4.3	パケットロス率	25

# 表目次

3.1 DV と MPEG-2 の比較 . . . . .	10
3.2 間引き率と帯域 . . . . .	14
4.1 使用機器 . . . . .	23



# 第 1 章

## 研究の目的

### 1.1 研究の目的

本研究ではネットワーク配送手段に高品質リアルタイム映像コミュニケーションツールである DVTS(Digital Video Transport System) を利用して, 再生開始時だけでなく, ネットワークの輻輳状況に応じて再生途中でも動的にレート制御が行えるネットワークの負荷に適応した映像配信技術について提案する.

### 1.2 研究内容

本研究ではクライアントからサーバに対して送られた利用可能帯域情報をもとに送信ホストが映像の品質を動的に変更し, 送出レートを調整することを目的としている. これにより輻輳状況に応じた配送制御が可能となる. 本研究のモデル図を図 1.1 に示す.

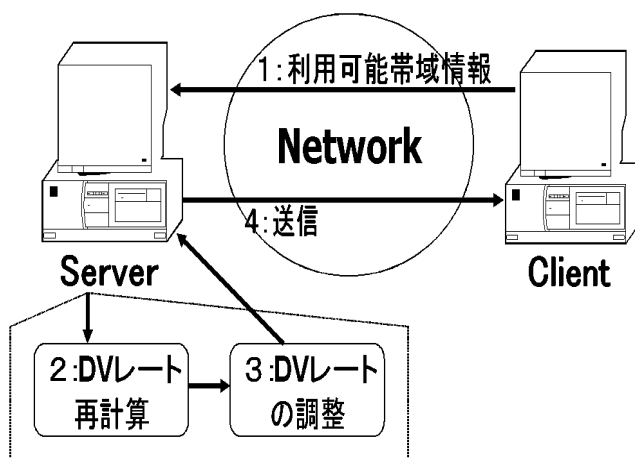


図 1.1 レート制御転送方式モデル

図 1.1 は本研究で実現を目指すレート制御転送方式の基本的な動作手順を表したモデル図

## 1.2 研究内容

である.

まず, クライアントはサーバに対し利用可能帯域情報を通知する. 次にサーバはクライアントよりフィードバックされた情報をもとに DV レートの再計算, 調整を行い, クライアントへ DV ストリームを送信する.

## 第 2 章

# 研究の背景

### 2.1 研究の背景

近年のインターネット技術の発展や情報インフラの整備によってネットワークの高速広帯域化が進んだ一方、動画圧縮技術が進歩したことで、多量な AV データをネットワーク上で扱うことが容易になってきている。また、ネットワーク環境においては xDSL(x Digital Subscriber Line),CATV Internet,FTTH(Fiber To The Home) などの普及が進んでいる。総務省の発表によると、平成 14 年度の DSL 加入者数は約 400 万人増えている。DSL 加入者数の推移を図 2.1 に示す。こうした背景から、一般利用者の中に高速な転送を必要とする音声、動画像等へのストリーミング配信技術への需要が高まってきた。[1]

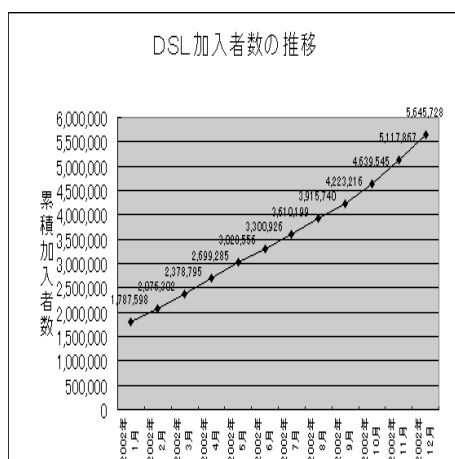


図 2.1 DSL 加入者グラフ

## 2.2 既存の網負荷適応型の配送制御

### 2.1.1 ストリーミング方式

ストリーミング方式とは動画や音声データをリアルタイムで再生する方式である。通常、インターネットを利用して映像や音声のデータをダウンロードして再生するためには、一旦データをすべてダウンロードしてから再生を行うのに対して、ダウンロードしながら同時に再生することを可能にした方式である。映像や音声はデータ量が大きいため、利用者が待たずに再生できるのは、インターネット利用の配信には非常に期待の大きいメリットであり、これにより、各種マルチメディアコンテンツが待ち時間なく再生できるようになる。

しかし、ストリーミング方式での動画配信はネットワークの帯域が十分でない場合、大容量の映像コンテンツを配送しようとする、パケット損失・遅延が発生し、映像コンテンツの再生品質が劣化してしまう。そこで解決策としてネットワークの負荷（網負荷）に応じた映像の提供を行う技術が必要となる。そこで、本稿では網負荷適応型の配送制御をすることによってこの問題の解決を試みる。

## 2.2 既存の網負荷適応型の配送制御

これまで、網負荷に上手く適応し、メディアの再生品質を保つための映像・音声配信制御技術が数多く提案、実現されているので幾つか例をあげる。

### 2.2.1 ビットレート制御

ビットレート制御とは、リアルタイムに符号化・送信する場合、図 2.2 に示すように、クライアントがパケットロス率や到着間隔などのパラメータをもとにネットワークの状態を把握し、その情報を送信端末にフィードバックする方式である。

ネットワークの帯域が不十分な場合、フィードバック情報から送信端末が転送する映像の画質を下げることにより、映像データの転送に必要な帯域を減らす。

インターネット上で音声や映像を送信するときは、処理遅延が小さく速くパケットを送信できることや、少々のパケットロスは再生品質にそれほど影響しないこと等の理由か

## 2.2 既存の網負荷適応型の配送制御

ら,UDP を使うことが多い。

しかし UDP は TCP のようにフロー制御は行わず,Ack も返さないため輻輳を起こしやすく, レートを制御することもできない。

そのため,IETF(Internet Engineering Task Force) では, こうした処理を行うための情報を提供する UDP の上位プロトコルとして RTP を規定しており,RTP と併せてフィードバック制御のためのプロトコルである RTCP も規定されている。

この方式の欠点として,RTCP は帯域情報の計測を一度しか行わないことにある。帯域は常に変化していくので, 計測後の帯域変動やシステム障害に対し対応できないという欠点がある。

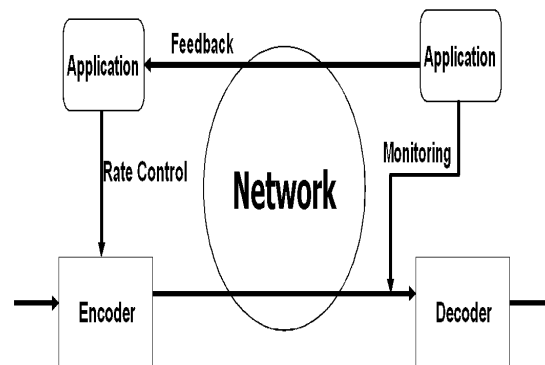


図 2.2 ビットレート制御

### 2.2.2 ビットレートの選択

ビットレート選択は, 先に符号化されたものを後からオンデマンドに視聴する蓄積配送型に対応した技術である。インターネット上での映像配信では, 図 2.3 に示すように, あらかじめ一つの映像コンテンツにつき複数の異なるビットレートで符号化された AV ファイルを作成しておき, ユーザの環境に合ったレートのファイルを提供する方式である。

この方式の欠点はユーザが自分のネットワーク環境を把握していないと適切なビットレートの選択が困難であることが挙げられる。また, ネットワークの帯域変動に静的に対応はしているが動的に対応していない為, 再生途中での網負荷には適応できない。

## 2.2 既存の網負荷適応型の配送制御

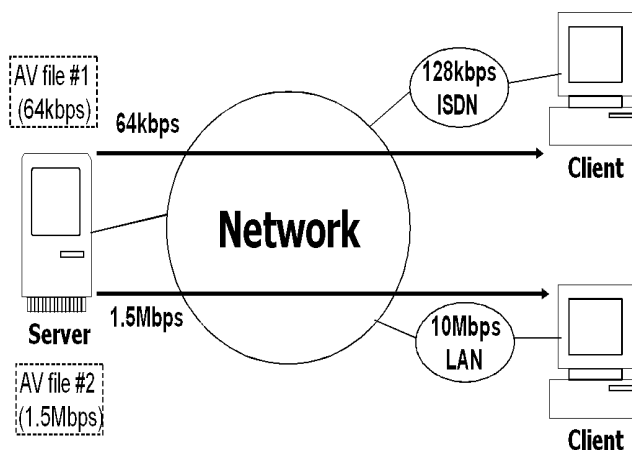


図 2.3 ビットレートを選択

### 2.2.3 階層符号化

階層符号化とは、動画像ストリームを幾つかの階層に分割して符号化する手法である。階層は次のように作成される。まず最初に、低ビットレートで符号化したストリームを基本階層とする。次に得られた階層と原画像との差分情報があるレートで再び符号化し、次の階層とする。符号化によって得られたストリームと原画像との差分情報を繰り返し符号化することで階層を積み上げていく。階層符号化の符号化手順を図 2.4 に示す。得られた階層符号は、ネットワークの帯域に余裕のある場合は、基本階層から累積して各階層を受信することによって、高ビットレート受信による高品質な動画像が得られる。帯域に余裕のない場合は、上位階層の送信を見合わせ、基本階層のみ送信する。このように、複数の階層を作成し提供することで、異なった要求に答えることができる。

この方式は新たな符号化/復号器が必要となるのに加えて、基本階層が正しく復号されないと上位階層も正しく復号されない問題点がある。

### 2.2.4 トランスコーディング

配送経路の途中に、トランスコーダ (Transcoder) と呼ばれる再変換機を置く方式である。トランスコーディングの概念を図 2.4 に示す。トランスコーダは入力された符号化データを一度復号し、その先のネットワークの転送可能レートに応じた符号化を再び施し、ネットワークに出力することで、網負荷に適応した配信が可能となる。これを、トランスコーディン

## 2.2 既存の網負荷適応型の配送制御

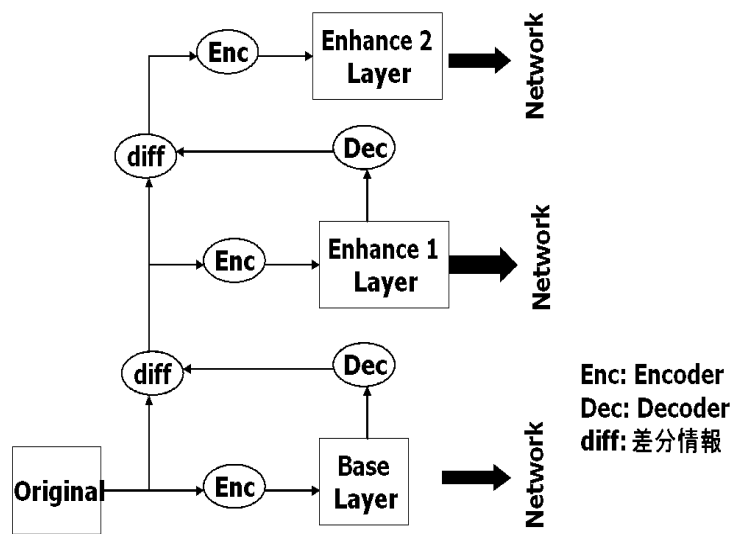


図 2.4 階層符号化

グと呼ぶ。

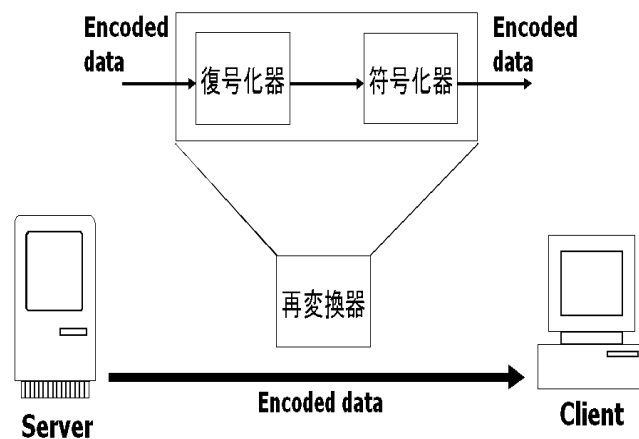


図 2.5 トランスコーディング

トランスコーディング方式は、トランスコーディングの繰り返しによる画質の劣化や、トランスコーダ設置に伴うコストの問題・転送遅延の増加といった欠点がある。

以上、紹介した既存技術では、

- システム構築に伴う設置コスト
- CPU 負荷軽減
- ネットワーク負荷に対する動的制御
- 再生品質保証

## 2.2 既存の網負荷適応型の配送制御

- サーバが定期的に利用可能帯域情報を知ることができる

という本研究の目的とする要求条件を必ずしも満足させられない。

従って、これらの解決につながる DVTS コンテンツのレート適応制御転送方式を提案する。



## 第 3 章

# DVTS コンテンツのレート適応 制御

### 3.1 DVTS について

#### 3.1.1 DV コーディック

DV とは DCT(Discrete Cosine Transform ; 離散コサイン変換) とエントロピー符号化を基本とした動画圧縮技術で圧縮されたデータは元のデータの約 1/5 になる.

1 フレーム中の DV データ構造を図 3.1 に示す.DV の基本単位は 80 バイトの DIF ブロックで,これを多数並べた DIF シーケンスを複数用いて DV 画像の 1 フレームを構成する. 音声も DIF フレームに符号化され, 対応するビデオと同一のフレーム内で伝送される.DV 符号化では MPEG などと異なりフレーム間圧縮は行わずフレーム内圧縮のみを行っている.これは IP ネットワークでの AV ストリーム転送を考える上でとても重要なことで, フレーム間圧縮を適用している場合, 動きの大きい画像を転送し表示を行った場合パケットロス率が 1 %であってもフレーム間圧縮をおこなっていると, 映像の再生品質の劣化が激しい. 一方, DV の場合は映像の品質は MPEG-2 に比べ劣化が少ない. IP ネットワークではパケットロスを想定せざるを得ないので,DV は今後の IP 上の AV アプリケーションではより多用されると想定し, 本研究で DV を評価基準とした.[2] DV と MPEG-2 を比較した結果を表 3.1 にまとめた.

### 3.1 DVTS について

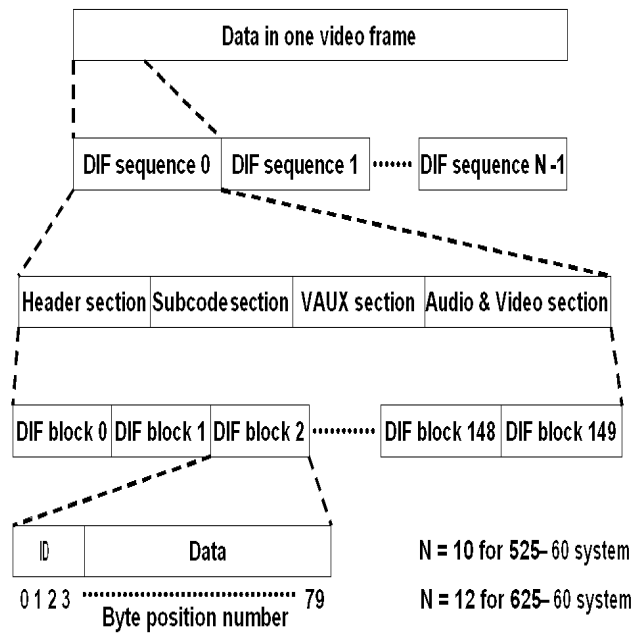


図 3.1 1 フレーム中の DV データ構造

表 3.1 DV と MPEG-2 の比較

比較項目	DV	MPEG-2
所要帯域	30Mbps	2 ~ 30Mbps
圧縮率	約 5 分の 1	約 50 分の 1(最大)
圧縮方式	フレーム内	フレーム内、フレーム間
輻輳時の画質劣化	無し	有り

#### 3.1.2 DV over IP

DV over IP とは, DV データを IP パケットに格納し, 高速インターネット上を転送する方式である. これを実現するためにオープンソースソフトウェアで DVTS というアプリケーションが存在している.

### 3.1 DVTS について

#### 3.1.3 DVTS

DVTS (Digital Video Transport System) とは DV ( Digital Video ) over IP を実現するための WIDE プロジェクトの研究グループによって開発されたソフトウェアで以下のような特徴を持つ.[3]

1. IP マルチキャストへの対応
2. 次世代インターネットプロトコル I P v 6 への対応
3. RTP ( Real-time Transport Protocol ) を用いたリアルタイム伝送
4. RTCP ( RTP Control Protocol ) を用いたパケットロスの監視や動的なフレームレートの調整

DVTS のシステム構成を図 3.2 に示す。 DVTS では dvsend というプログラムにより,IEEE1394 インタフェースから読み込んだ DV パケットに RTP ヘッダを付与し,UDP でカプセルングしてインターネットに送出する. そして, dvrecv というプログラムによりインターネットから受信した UDP パケットから DV 信号を取り出し, IEEE1394 インタフェースへ出力する.RTP を用いた場合の DVTS のパケットフォーマットを図 3.3 に示す.

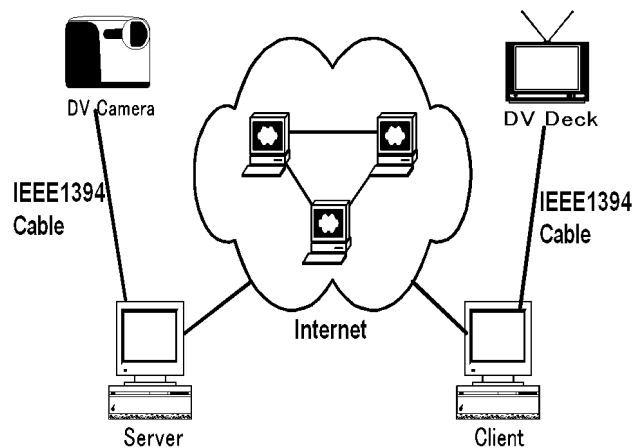


図 3.2 DVTS のシステム構成



図 3.3 RTP を使った場合の DVTS のパケットフォーマット

### 3.1 DVTS について

#### 3.1.4 DVTS における理論値

DV カメラのフルモーション（毎秒約 30 フレームで映像を表示する方式）帯域の 1 秒間における転送量を求める。

##### 1. 画像帯域

最大解像度が 720 × 480(ピクセル), 色情報は 24(bit), フレームレートは 29.97(fps) である。また, DV コーデックにより色情報は YUV=4:1:1 で 12bit, さらに圧縮率 1/5 で圧縮される。よって, 画像帯域の記録量は

$$720 * 480 * 24 / 2 * 29.97 / 5 = 24858316.8(\text{bit}/\text{sec}) = \text{約 } 24.86\text{Mbps}$$

となる。

##### 2. 音声帯域

音声は, デフォルトで 12bit/32kHz, 4ch で記録されるので, FM 放送品質.15kHz 音声帯域の記録量は

$$12 * 32,000 * 4 = 1536000(\text{bit}/\text{sec}) = \text{約 } 1.54\text{Mbps}$$

となる。

##### 3. 合計帯域

画像帯域と音声帯域の記録量を合計して, 転送量を求める。

$$24858316.8 + 1536000 = 26394316.8(\text{bit}/\text{sec}) = \text{約 } 26.39\text{Mbps}$$

##### 4. フレームレートを m 分の 1 に落とした場合

DV コーデックでは間引きの際, 音声データはそのままで画像データのみ間引くので

### 3.1 DVTS について

間引き時の転送量は以下の式で求める.

$$\text{画像帯域} / m + \text{音声データ} = \text{間引き時の転送量}$$

#### 3.1.5 DVTS における映像フレームの間引き

DV フォーマットでは MPEG などのフレーム間圧縮は行わず, M-JPEG と同様, フレーム内圧縮を採用しているため, 帯域が不足する場合, 音声データはそのまま伝送しつつ, 映像フレームを間引くことで使用帯域を減少させることができる. 映像フレームの間引きの指定は  $1/m$  の形式で映像フレームは  $m$  フレーム中のうち 1 フレームのみ伝送するという設定となる. 映像フレーム間引きの概念を図 3.4 に示す. 映像の間引きはプログラムの起動オプションによって選択できるが, 動的には変化できない.[3] 映像の間引き率と帯域を表 3.2 に示す.

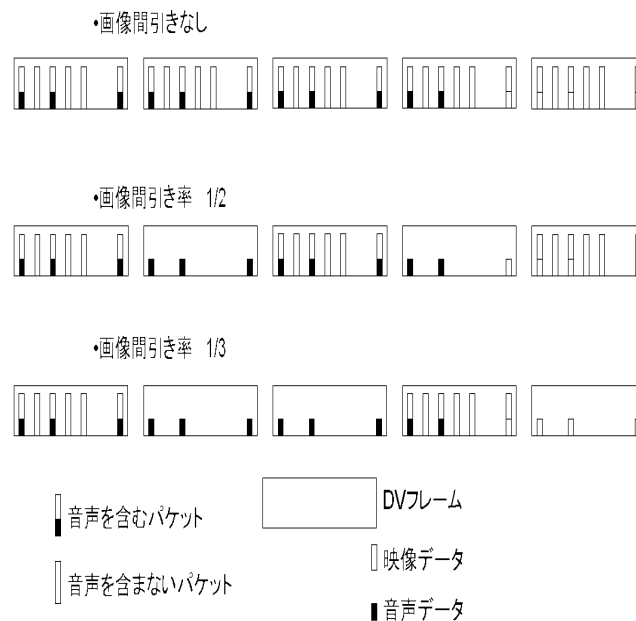


図 3.4 フレーム間引きの概念

#### ● 間引き時の注意

間引きを行えばどんな狭い帯域でも通るというわけではない.  $1/30\text{sec}$  の粒度で見る

## 3.2 レート適応制御転送方式

間引き率	帯域 (Mbps)
1/1	約 30Mbps
1/2	約 17Mbps
1/3	約 11Mbps
1/4	約 9Mbps
1/5	約 7Mbps
1/6	約 6Mbps
1/7	約 5Mbps
1/8	約 4.8Mbps
1/9	約 4.4Mbps
1/10	約 4Mbps

表 3.2 間引き率と帯域

とビットレートは 30Mbps のままなので、間引きは定期的なバーストラヒックを発生させる。例えば、1/4 の画像間引き率で送信した時、図 3.5 に示すように 4 フレーム中 3 フレームはパケット数が下がってはいるが、間引いてないフレームのパケット数は間引き前とは変わっていない。

## 3.2 レート適応制御転送方式

### 3.2.1 提案方式の概要

DVTS は映像のフレームレートを静的に変更することにより、サーバから送出するフレームレートの調整機能を持つ。しかしインターネットはベストエフォート型のネットワークであるため利用可能帯域や様々なアプリケーショントラフィックに対しての QoS(Quality of

## 3.2 レート適応制御転送方式

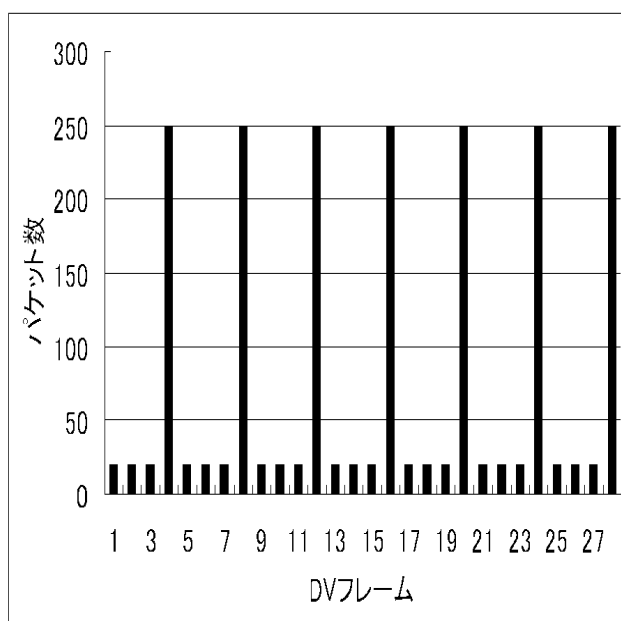


図 3.5 間引き時におけるバーストラフィック

Service) を保証していない。このため、静的にフレームレートを調整するだけでは帯域に対する適応制御は不十分であると考えられる。そこで、サーバはクライアントからフィードバックされた情報を用いて映像データの送出レートを最適な値に調整することによって、ネットワークの利用可能帯域に応じたフレームレートでの送信が可能となり、映像の品質を保つことができる。

### 3.2.2 他方式との比較

ここでは、前述したビットレート制御、ビットレートの選択、階層符号化、トランスコーディングの欠点を再整理して以下に示す。

#### 1. ビットレート制御

- サーバが定期的に利用可能帯域情報を得ることができない。

#### 2. ビットレートの選択

- ネットワークの輻輳状況に応じて動的に対応できない。
- ユーザのネットワークに対する知識に依存。

#### 3. 階層符号化

### 3.2 レート適応制御転送方式

- 階層数だけ符号化・復号化処理を行わなければならない為、演算処理数が多い。
- 基本レイヤが正しく復号されないと、上位レイヤも正しく復号されない。
- 低下層データの損失は影響が大きい。

#### 4. トランスコーディング

- 再変換を繰り返すと再生時の画質が劣化する。
- トランスコーダ設置にコストが掛かる。
- 転送遅延が増加する。

### 3.2.3 提案方式の特徴

提案方式の特徴を以下に示す。

- 符号化自体は DV カメラなどの標準的なものが使用でき、処理も単純である上、ビットレートの制御を、再生途中でも動的に行う事が可能である。
- 符号化されたビットストリームを直接操作することがないため、特別なエンコーダ、デコーダは不要となる。
- 転送システムにはオープンソースの DVTS を使用しているため、システム構築・改良が容易であり、比較的安価に構築できる。
- サーバが定期的に利用可能帯域の測定ができるため安定した動的制御が可能。また、リンク切断などのシステム障害時にも再び利用可能帯域測定を行うことができる。

従って、3.2.2 で述べた他方式の欠点を解決していると言える。

### 3.2.4 ビットレート再計算式

提案する方式ではビットレートを再計算し、測定再計算前の送出条件を変える。

使用する帯域のリンク容量  $c$ 、帯域測定法による測定結果  $a$ 、利用可能帯域測定前の送出トラフィック  $bt$ 、レート調整後の送出トラフィック  $bt'$  と定義すると帯域利用率の上限  $P_{th}$  は、



### 3.2 レート適応制御転送方式

$$\frac{(c-a)-bt+bt'}{c} \leq Pth \text{ となる.}$$

また, 調整後の送出トラフィック  $bt'$  は

$$bt' \leq bt + a + c(Pth - 1) \text{ になる.}$$

このビットレート再計算のための利用可能帯域の概念を図 3.6 に示す.

間引き率  $1/m$  の合計帯域 = 画像帯域/ $m$  + 音声帯域 なので,

$$bt' = \text{画像帯域} / m + \text{音声帯域}$$

$$m = \text{画像帯域} / bt' - \text{音声帯域}$$

となり, 送信ホストは間引きを  $1/m$  行い, 送出レートを調整する.

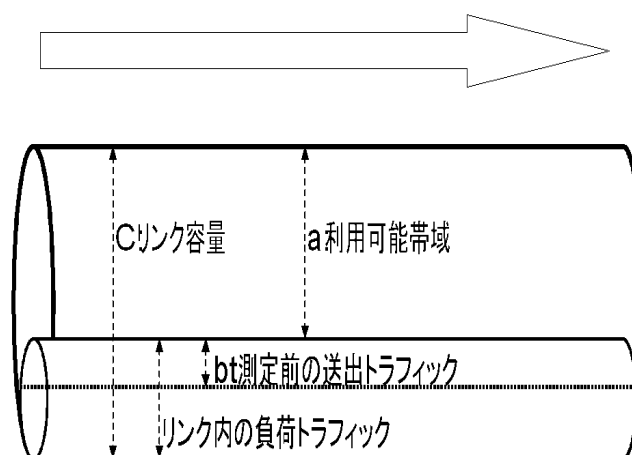


図 3.6 帯域モデル

### 3.3 利用可能帯域測定法

## 3.3 利用可能帯域測定法

フィードバック情報を取得するための帯域測定法として、UDP を応用した End-to-End 利用可能帯域法 [4] を用いる。この方式は、高精度・低遅延・軽負荷という点で効果的な利用可能帯域測定法である。

この方式の基本的な計測手順を以下に示す。また、概念図を図 3.7 に示す。

1. 送信ホスト S が受信ホスト D に対して調査パケットを 1 つ送信し、経路上の各ルータのルーティングテーブルより決定した出力先インターフェースの利用可能帯域を調べその最小値をとっていく。
2. 調査パケットが D に到着したら D は最小値を記録した応答パケットを S に送信する。
3. 応答パケットを S が受信し、応答パケットに記録された値から、利用可能帯域を知る。

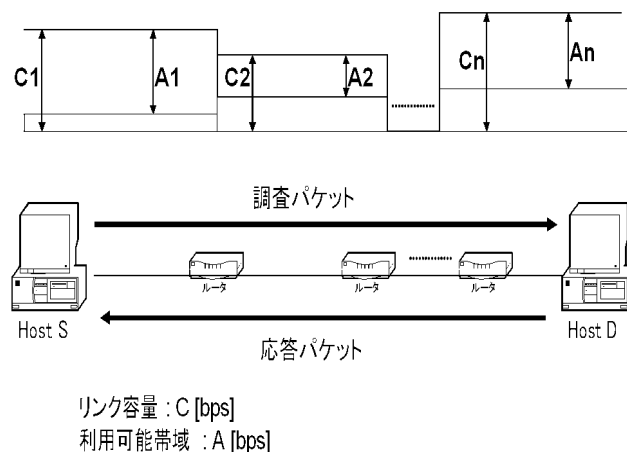


図 3.7 利用可能帯域測定法

## 3.4 提案方式の設計

今回の研究では既存の DVTS の仕様を一部拡張することにより、提案方式の実装を行う。

その理由としてオープンソースソフトウェアである DVTS を利用でき、MPEG2 と同等の画質を安価に構築でき、ハードウェアエンコード/デコードが搭載されている DV 機器を使用しているために映像の符号化処理を迅速に行え遅延が少なくできる。

提案方式の動作アルゴリズムは以下のようなになる。また、これらの動作手順を図 3.8 に

### 3.5 提案方式の実装

示す.

1. クライアントに対し DV データの転送
2. サーバがクライアントに対して調査パケットの送信  
経路上の各ルータのルーティングテーブルより決定した出力先インターフェースの利用可能帯域を調べその最小値をとっていく.
3. 調査パケット受信  
1 で得られた最小値の記録された調査パケットを受信.
4. クライアントはサーバに対して応答パケットを送信  
2 で得た数値を応答パケットに記録し, サーバにフィードバックする.
5. サーバはフィードバック情報を基にレートの再計算  
受信した応答パケットに記録された測定結果からビットレートの再計算を行う.
6. 5 で得たデータと現在のレートを比較  
再計算前と再計算後のビットレートの差が閾値以上の場合, フレームの間引き率の計算を行う. 閾値未満の場合, 再計算終了.
7. 6 での差分が閾値以上の場合, 再計算したビットレートよりフレームレートの間引き率の決定
8. クライアントに DV データを再転送  
6 で差分が閾値以上の時, フレーム間引き率の変更により, 送出ビットレートの調整を行い DV データの再転送を行う. 閾値以下の場合, 調整せず送出.

### 3.5 提案方式の実装

本研究では, オープンソースソフトウェアである DVTS の機能を拡張することにより提案方式の実現を目指した. 変更を構想したのは DVTS の `dvsend command` 処理を利用可能帯域測定の結果に応じて DV ストリームの送出レートを動的に調整するよう変更しようとした. DVTS の変更コーディングの送出レートの計算式は 3 章 3.2.4 で示したように定義したが

### 3.5 提案方式の実装

DVTS プログラムへの実装が上手く動作せず、結果として実装できなかったため、予定していた実装項目を挙げる。

#### Server への実装

Server の機能に利用可能帯域測定ツール、動的レート制御機能の追加を目標とする。

1. 調査パケット送出プログラム
2. 応答パケット受信プログラム
3. 調整前のレートの読み出し
4. ビットレート再計算プログラム
5. レート比較プログラム
6. 間引き率決定プログラム

1,2 は利用可能帯域測定プログラムでそれぞれ `dvsend`, `dvrecv` へ実装済み。3,4,5,6 はレート調整プログラムとして `dvsend` に対し実装を試みたが上手く動作せず、DVTS プログラムへの実装には至っていない。

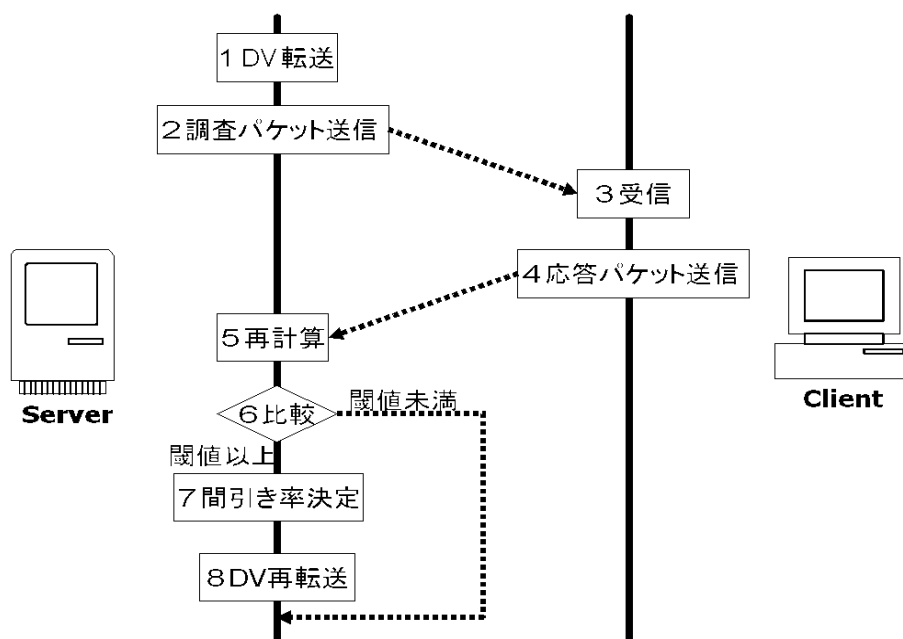


図 3.8 レート制御動作手順

### 3.6 提案方式の問題点

#### Client への実装

Client の機能に利用可能帯域測定ツールの追加を目標とする。

1. 調査パケット受信プログラム
2. 応答パケット送信プログラム

1,2 は利用可能帯域測定プログラムでそれぞれ `dvsend`, `dvrecv` へ実装済み。

### 3.6 提案方式の問題点

#### 1. サーバの負荷

レート再計算処理・レート比較による負荷がサーバに対してどれだけの負荷を掛けるのか実験を通して実際のサーバ負荷に関する情報を集める必要がある。

#### 2. 閾値の設定

再計算前と再計算後のビットレートが実際にどれだけ差があればレートの切り替えを行うのか閾値を定義する必要がある。解決策として、間引き  $1/m$  において、 $m$  を整数値として制御すると、表 3.2 を閾値設定に利用できると想定している。

#### 3. 帯域測定の実行間隔の設定

どの位で帯域が大きく変動するか、画像の一時的な品質劣化がどのくらいの間なら耐えられるかを考慮して、測定間隔を決定する必要がある。一つの方策として、実行間隔に重複しないような乱数を持たせることにより解決できると予想している。

## 第 4 章

# レート適応制御転送方式検証実験

### 4.1 実験目的

レート適応制御転送方式の有効性を示すための実験系を組み、本方式の性能を検証する為の実験を示す。なお、本研究の実験系を構成するための前提条件として第 3 章 3.3 で挙げた利用可能帯域測定法のプログラムをサーバ、クライアントに実装されている必要がある。

### 4.2 実験環境

実験に使用した機器、ネットワーク構成を示す。

#### 4.2.1 使用機器

実験ネットワーク (図 4.1 参照) で使用した機器の諸元を表 4.1 に示す。

#### 4.2.2 ネットワーク構成

表 4.1 の機器を使用し、100BASE-TX の Fast Ethernet で接続する。ネットワーク構成を図 4.1 に示す。

### 4.3 実験内容

100BASE-TX で接続された LAN 環境において、Server が Client に対して提案方式を実装した DVTS を用いて DV ストリームの転送を行う。また、負荷トラフィックが DV スト

### 4.3 実験内容

表 4.1 使用機器

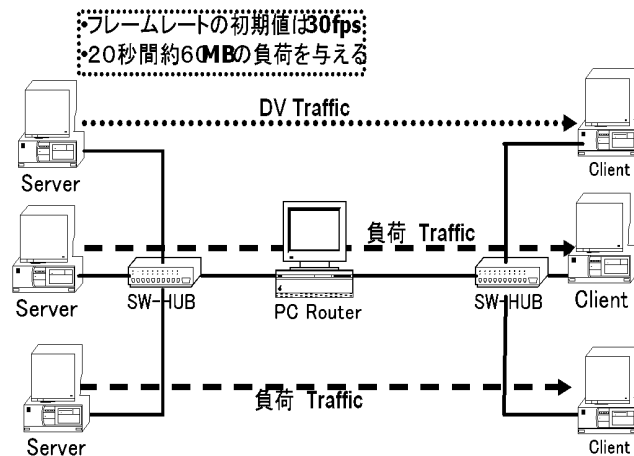
使用用途	Server	Client
製品名	anasonic Let's NOTE	PC/AT 互換機 (富士通 FMV6350)
CPU	Pentium 600MHz	Pentium 350MHz
RAM	198M	128M
IEEE1394	Logitech LHA-1394L	Logitech LHA-1394L
NIC	Lanecd LD-10/100s	LANEED LD-10/100s
OS	FreeBSD 4.6.2	windows2000
IEEE1394 driver	firewire-freebsd-4	なし
DVTS	dvts-0.9b08	dvts-2002-0202

使用用途	PC ルータ	トラフィック発生用
製品名	PC/AT 互換機 (東芝 EQUIUM9000)	PC/AT 互換機 (東芝 EQUIUM9000)
CPU	Pentium 600MHz	Pentium 600MHz
RAM	128M	128M
IEEE1394	なし	Logitech LHA-1394L
NIC	Lanecd LD-10/100s	Lanecd LD-10/100s
OS	FreeBSD 4.6.2	FreeBSD 4.6.2
IEEE1394 driver	なし	firewire-freebsd-4
DVTS	なし	dvts-2002-0202

リームに与える影響を明らかにするため、四台の PC 間で別の DV データを転送することにより、ネットワーク中に 20 秒間約 60Mbps のトラフィックを発生させた状態で 30 秒間計測する。フレームレートの初期値は 30fps とする。

## 4.4 評価基準



## 4.4 評価基準

本実験での評価項目として以下の項目をあげる。

1. DV レート調整後の時間ごとのフレームレートの変動値、負荷トラフィックの増減にあわせて、フレームレートが変化しているかを確認する。
2. パケットロス率、応答時間、時間ごとのパケットロス率、転送を開始してから最初のフレームが再生されるまでの応答時間の確認する。

## 4.5 実験結果

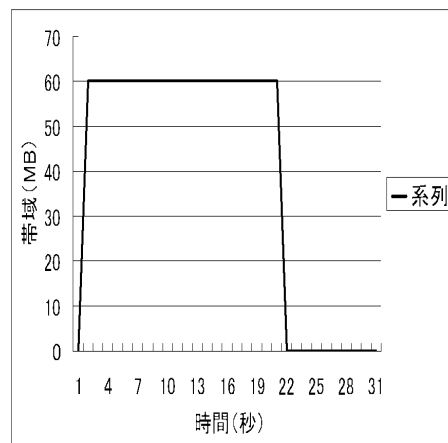


図 4.2 負荷トラフィック

- 実験環境において負荷トラフィックを 60MB, 約 20 秒流し続けた時の負荷トラフィッ



## 4.6 実験の考察

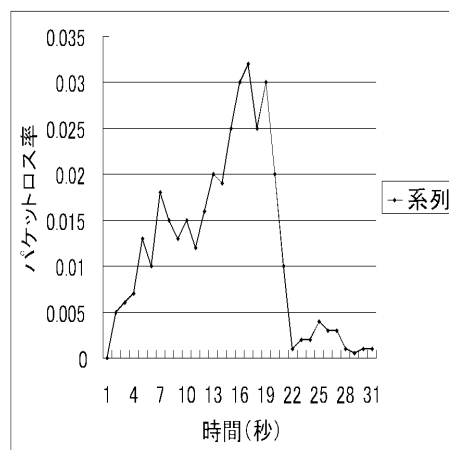


図 4.3 パケットロス率

クの変動を図 4.2 に示す。

- 負荷トラフィックを流す際のパケットロス率を表したグラフを図 4.3 に示す。
- これらのグラフを比べて判るように、負荷トラフィックを流さなくなった 20 秒を境にパケットロス率も大きく減少している。

## 4.6 実験の考察

当初は DVTS の仕様を一部拡張することにより検証実験を行う予定であった。しかし、DVTS のコーディングがうまくできなかつた為に、第 3 章 3.4 で示した拡張した DVTS の仕様の設計と実験ネットワークを組み、負荷トラフィックを流し実験系の有効性を確認するのみになつた。

本研究の検証実験を行うには、レート比較の際の閾値の定義、実行間隔への乱数の割り当て、コーディング作業、が必要だと考えられる。

# 第 5 章

## 考察

### 5.1 まとめ

レート適応制御転送方式の特徴を示し,DVTS を扱う上での必要な情報を示した. 次に提案方式でのフレームレート再計算式を定義し, 設計を行った. さらに提案方式の有効性を示す実験案について検討した.

### 5.2 全体の考察

レート適応制御転送方式の提案は十分にでき,DVTS を利用して配送される DV データを適応制御する為の一つの方策を示した. しかし,DVTS コンテンツのレート適応制御転送方式に沿った系の処理機能を実装するに至らず, 検証は不十分であり, その真価を改めて検証する必要がある.

### 5.3 今後の研究課題

最後に, 今後の研究課題について述べる.

1. 提案方式が有効であるかどうか検証するために, 今回設計した提案方式を実装させると共に検証実験を行う.
2. 伝送遅延の大きい大規模なネットワークで有効性を検証.
3. ビデオサーバに蓄積された映像をネットワークを介して配信する蓄積配信型への実装.

### 5.3 今後の研究課題

4. 利用可能帯域の測定時, サーバが複数台同時に調査パケットを投げ帯域測定を実行してしまうと正しい利用可能帯域の測定に弊害が起きる可能性がある. そういった弊害を回避するために帯域測定の実行間隔を  $T$  と定義すると,  $T$  に重複しない乱数を持たせることにより, 同時に帯域測定を行わないようにする.
5. DVTS でのビットレート制御はフレームレートの間引きによってビットレートの調整を行うが, DV データの品質調整にはサーバーでの DV データのトランスコーディングといった手法も考えられる. この場合, 実装も複雑になり, サーバの CPU に掛かる負担が非常に大きくなると予想される. しかし, DV データの間引きによってビットレートの調整を行う方法に比べて, 品質調整による映像の劣化を抑えることが可能であるので, 状況に応じたレート制御が可能となる.

# 謝辞

本研究の為に学業の取り組み型から生活態度にいたるまで、様々なご指導を頂いた島村 和典教授に深く感謝します。また、副査を勤めて頂いた福本昌弘 助教授、浜村昌則 講師にも深く感謝します。そして、島村研 mAv サブグループのリーダーとして直接指導にあたり、多くの有益な情報、アドバイスを頂いた中平 拓司氏に深く感謝します。最後に、島村研究室所属の院生で様々な意見やアドバイスを頂いた山岡 徹也氏、谷岡 亮介氏に感謝します。

## 参考文献

- [1] 総務省 情報通信行政 DSL 普及状況ページ , <http://www.soumu.go.jp/> : 2003 年 2 月 10 日現在
- [2] 橋本 江里子, ”P2P アーキテクチャによる多地点双方向 AV 通信方式に関する検討”, 高知工科大学平成 14 年度修士論文梗概集, pp.1 - 2, Feb.2002.
- [3] <http://www.sfc.wide.ad.jp/DVTS/> : 2003 年 2 月 10 日現在
- [4] Takuji Nakahira , Kazunori Shimamura : ”A Measurement Scheme for End-to-End Available Bandwidth on Video Delivery Systems ”IWAIT 2003,Session2-8,P61-64
- [5] 朝井 淳, ”C 言語 ポインタが理解できない理由”, 技術評論社,p166 - p251,2002
- [6] 三浦 朝子, ”インターネットを利用した映像配信システム”,<http://www.cs.reitaku-u.ac.jp/msemi/sotsuron/3rd/amiura.pdf>: 2003 年 2 月 10 日現在
- [7] 藤本 道哲, ”次世代インターネット上での高品質な映像と音響の伝送・蓄積技術”,<http://www2.crl.go.jp/kk/e414/101kenpatsu/ronbun/katumoto.pdf>: 2003 年 2 月 10 日現在
- [8] 市田 一, ”DVTS を利用した遠隔講義システムの構築”, <http://softeng-www.cs.shinshu-u.ac.jp/Thesis/2001/Master/chajime/document/Hajime.files/frame.htm> : 2003 年 2 月 10 日現在
- [9] FreeBSD ハンドブック,<http://www.freebsd.org/ja/handbook/>: 2003 年 2 月 10 日現在
- [10] DV over IP による動画配信,<http://www.marinenet.co.jp/futo/who/sotu/frame.htm>: 2003 年 2 月 10 日現在

# 付録 A

## 映像配信技術の基礎

### A.1 RTP

RTP は Real-time Transport Protocol の略であり,RFC1889,1890 で定められている.RTP は対話型双方向通信を行うときのようなリアルタイム性が要求されるときに使われるトランスポートプロトコルであり,送信ホストと受信ホスト両端間を規定しているプロトコルのデータ部分に使用されていて,RTP 単独では動作しない. RTP 自体ではシーケンス番号の付与,時刻印の付与,伝送監視の機能などを行っている. RTP は確実なデータの伝送を保証したり,パケット到着順序を管理するものでもなく,固定パケット間隔を保証するものでもない.ただデータの再生時には送信元で付与されたシーケンス番号,時刻印を参照することによってパケットをもとどおりに並べることができる.

### A.2 RTCP

RTCP は RTP による通信でフロー制御やクロック同期などを実現するためのプロトコルで, RTP と組み合わせて使う. RTP のパケットを送出し続ける発側の端末に対して,着側の端末で複数個の RTP パケットに対し1つの RTCP のパケットを送り返すような仕組みになっている.そして RTCP の中には RTP パケットのパケット廃棄率やパケット到着間隔のゆらぎなどの情報が含まれているので,この情報を使って端末側でネットワーク状況の把握を試みる.

## A.3 既存の映像配信システム

本研究で使用した DVTS 以外の広く普及している映像配信システムについて幾つか紹介をする。

### 1. QuickTime

Apple 社の開発したパソコンで動画や音声を扱うためのソフトウェア。当初は同社の Mac OS 用だったが、現在では Windows 環境でも広く使われている。1991 年に最初のバージョン 1.0 が登場し、Mac OS に標準で添付されるようになった。1998 年 2 月には、国際標準化機構 (ISO) によって、動画フォーマットの国際標準 MPEG-4 規格のファイルフォーマットとして QuickTime が採用された。1998 年 5 月に登場した 3.0 では Windows 標準の動画・音声フォーマットである AVI 形式や WAV 形式の再生もサポートされた。1999 年 6 月にリリースされた 4.0 では本格的にインターネット対応を強化し、動画や音声をダウンロードしながら再生するストリーミング機能のサポートや、Java 版クライアントの追加などが行われた。

### 2. Windows Media Technology

音声や動画などのマルチメディアコンテンツを統一的に扱うことができるストリーミングフォーマット「ASF」形式のコンテンツを作成・再生するための基本的なソフトウェアのセット。バージョン 4.0 からは、高画質の動画フォーマットである MPEG-4 と、高音質の音声圧縮フォーマットの「WMA」(コードネーム「MS Audio」) のサポートが追加された。WMT は Windows Media Rights Manager と呼ばれるコンテンツ管理システムを備えており、コンテンツを暗号化して使用・配布条件などと共に配布することができるため、音楽を有料コンテンツとして配布したり、海賊版がインターネットで配布されるのを防いだりすることができる。

### A.3 既存の映像配信システム

これらの映像配信システムは WWW のサイトなどで広く利用されている。また、フリーソフトとして利用できる映像配信システムも存在している。今後は個人レベルでの映像配信がさらに進むと予想される。



# 付録 B

## DVTS 導入手順

### B.1 準備

- Free BSD 4.x がインストール済みのマシン
- カーネルパッチ
- DVTS のソース

### B.2 FreeBSD の導入

DVTS アプリケーションが FreeBSD4.x 用なので、このバージョンをインストールする。同時に、IEEE1394 インターフェイスボードの取り付けもする。

### B.3 DVTS へパッチをあてる

カーネルファイルのバックアップをとり、その後カーネルファイルに対して、必要な項目を書き加え、FireWire 対応にする。

このファイルを使用して、カーネルを再構築を行う。

再構築が終了したら、マシンを再起動させる。

### B.4 デバイスのチェック

IEEE1394 インターフェイスボードが正常に認識されているか確認する。

## B.5 DVTS のインストール

### B.5 DVTS のインストール

WIDE による DV over IP のサイトから FreeBSD 用の dvts パッケージ群をダウンロードし、インストールする。

### B.6 動作確認

DV カメラと PC を IEEE1394 ケーブルで接続する。DV カメラは、受信側を「ビデオ」モードに、送信側を「カメラ」モードに設定する。

受信側で dvrecv を起動する。

送信側では引き数として IEEE1394 インターフェイスボードのデバイス名と通信相手のホスト名を指定する。

停止する場合は、送信側から先に Ctrl+C でプログラムを停止させ、その後、受信側を同じように停止する。

# 付録 C

## トラフィック測定技術

### C.1 受動的測定

決められた測定点においてそこを通過するパケットをキャプチャし、必要な品質を求める測定技術。幾つか代表的な受動的測定ツールを挙げる。

1. tcpdump ネットワーク上のパケットをモニタリングする受動的測定ツール。ネットワーク上で問題が発生した時に、パケットのシーケンスや、ヘッダ情報を調べる為に使用する。条件を指定することで、特定のパケットだけをモニタリングすることができる。
2. MRTG 観測地点のトラフィック量などをリアルタイムに可視化するツール
3. ntop MRTG と似ているが、トラフィック状況の可視化ツールである

### C.2 能動的測定

試験用パケットをネットワークに注入し、その振る舞いを見ることで測定対象の品質を測定する技術。

能動的測定は、任意のホスト間の品質を測定できる点が特徴であり、netperf、pchar といったツールにより、スループット・遅延・リンク容量といった品質を得ることができる。