

平成 14 年度

修士学位論文

# P2P アーキテクチャによる多地点間双方向 AV 通信方式に関する検討

A study of multiple points bidirectional AV  
communication system based on P2P architecture

1055126 橋本 江里子

指導教員 島村 和典

2003 年 2 月 24 日

高知工科大学大学院 工学研究科 基盤工学専攻  
情報システム工学コース



# 要 旨

## P2P アーキテクチャによる多地点間双方向 AV 通信方式に関する検討

橋本 江里子

近年のネットワークの高速広帯域化に伴い IP 網を利用した AV 情報を用いたアプリケーションが数多く登場しつつある．本研究では，AV リアルタイムアプリケーションにおいて多地点間双方向の通信方式について検討を行った．従来の多地点間双方向 AV 通信方式では，集中処理形式の AV 合成装置を用い，1 度合成装置にユーザの情報が集められ，それぞれのユーザにすべてのユーザの情報を合成変換してから再配信を行っていた．この方法では，遅延や帯域集中等の問題がある．そこで，集中合成による構成を P2P アーキテクチャへ変更することで問題解決を目指している．既存の技術である DV 転送を評価対象とし，IP 網を想定した P2P アーキテクチャ多地点間双方向 AV 通信方式の要求条件や問題点の検討結果を報告する．

キーワード P2P, 多地点間双方向 AV 通信, マルチキャスト, QoS, リアルタイム,  
AV 転送



# Abstract

## A study of multiple points bidirectional AV communication system based on P2P architecture

Eriko Hashimoto

Nowadays, network is high speed and wide-band so that the many applications of AV appeared in the IP network. In this study, multiple points bidirectional communication system was discussed for AV real-time application. The traditional multiple points bidirectional AV communication are required for the special composition device. After all users' data are once collected in the synthetic equipment, all users' data synthesizes and these data are delivered to each them. However, this method has problems of delay and concentrating bandwidth. In order to solve these problems, the multiple points bidirectional P2P architecture is used. This paper reports the multiple points bidirectional P2P communication of requirement and investigation results as conventional architecture.

**key words** P2P, multiple points bidirectional AV communication, multicast, QoS, real time application, AV transport



# 目次

<b>第 1 章</b>	<b>はじめに</b>	<b>1</b>
1.1	目的	1
1.2	背景	1
1.2.1	AV 情報を用いたリアルタイムアプリケーション	2
1.2.2	動画像の品質と情報量の比較	5
<b>第 2 章</b>	<b>集中合成変換による多地点間双方向 AV 通信</b>	<b>7</b>
2.1	DVTS について	7
2.1.1	ネットワーク構成	7
2.1.2	システム構成	8
2.1.3	フレームレート調節機能	9
2.2	他符号化方式との比較	10
2.2.1	特徴のまとめ	10
2.3	現在の多地点間双方向 AV 通信方式	11
2.3.1	システム構成	11
<b>第 3 章</b>	<b>提案する多地点間双方向 AV 通信方式</b>	<b>13</b>
3.1	P2P アーキテクチャ	13
3.1.1	システム構成図	13
3.2	両方式の比較	14
3.3	符号化復号化処理遅延時間とアクセス回線帯域について	14
<b>第 4 章</b>	<b>実験</b>	<b>17</b>
4.1	複数 DVdata 送信における DV トラヒック特性	17
4.1.1	システム構成	17

4.1.2	詳細仕様 . . . . .	18
4.1.3	結果 . . . . .	19
4.1.4	考察 . . . . .	20
4.2	test packet トラヒック . . . . .	20
4.2.1	システム構成 . . . . .	20
4.2.2	結果 . . . . .	21
4.2.3	考察 . . . . .	21
4.3	多映像受信 . . . . .	22
4.3.1	システム構成 . . . . .	22
4.3.2	結果 . . . . .	23
4.3.3	考察 . . . . .	23
<b>第 5 章</b>	<b>多地点間双方向 AV 通信方式の提案</b>	<b>25</b>
5.1	新方式の提案 . . . . .	25
5.1.1	想定している環境 . . . . .	25
5.1.2	方式 1 . . . . .	26
5.1.3	方式 2 . . . . .	27
5.1.4	方式 3 . . . . .	27
5.2	まとめ . . . . .	28
<b>第 6 章</b>	<b>まとめ</b>	<b>31</b>
6.1	結論 . . . . .	31
6.2	今後の課題 . . . . .	31
	謝辞	<b>33</b>
	参考文献	<b>35</b>



付録 A	デジタルビデオフォーマット	37
A.1	フォーマット . . . . .	37
A.2	DV 構成例 . . . . .	38
付録 B	ピア・ツー・ピアアーキテクチャと通信方式	39
B.1	ピア・ツー・ピアアーキテクチャ . . . . .	39
B.1.1	種類 . . . . .	39
B.2	各アーキテクチャの通信方式について . . . . .	40
B.2.1	ハイブリッド P2P . . . . .	40
B.2.2	ピュア P2P . . . . .	41
B.2.3	グリッド・コンピューティング . . . . .	42
B.3	まとめ . . . . .	43



# 目次

2.1	DVTS ネットワーク系	8
2.2	DVTS システム構成	8
2.3	フレームレート調節機能の詳細について	9
2.4	集中合成変換型のシステム (4 地点の例)	11
3.1	P2P 型のシステム (4 地点の例)	13
4.1	実験システム環境と端末仕様について	17
4.2	DVdata 送信システムの詳細	18
4.3	DVTS 負荷 30Mbps と 20Mbps	19
4.4	DVTS 負荷 10Mbps	19
4.5	test packet 送信システムの詳細	20
4.6	test packet による負荷別パケットロス率	21
4.7	システム構成と端末仕様 (マシンスペック)	22
4.8	Decode Quality88 × 60 と Decode Quality720 × 480	23
5.1	想定しているネットワーク環境	25
5.2	方式 1	26
5.3	方式 2	27
5.4	方式 3	28
A.1	DV 規格 (映像と音声)	37
A.2	DV の構成例ブロック図 [7]	38
B.1	ハイブリッド P2P アーキテクチャ	40
B.2	ピュア P2P アーキテクチャ	41

B.3 グリッド・コンピューティングアーキテクチャ . . . . . 42

# 表目次

1.1	リアルタイムアプリケーション用途別比較 . . . . .	2
1.2	DV と他の主な符号化方式の比較 [1] . . . . .	3
1.3	動画像の品質と情報量 [1] . . . . .	5
2.1	DV と MPEG 比較 . . . . .	10
3.1	符号化復号化処理遅延時間と最大アクセス回線帯域 . . . . .	15
3.2	Composition 型と P2P 型での比較 . . . . .	15



# 第 1 章

## はじめに

本章で研究の目的と背景について述べる．ネットワークを通じてユーザ同士のコミュニケーションが増加しつつある背景の中で，コミュニケーションを行うことの出来るアプリケーションがどういった用途に使用されているのかについて述べる．また，それに伴う動画像の品質や符号化方式についても併せて説明する．

### 1.1 目的

IP 網を通じてユーザ同士が通信を行った場合，必ずしもリアルタイムでコミュニケーションを行えているとは限らない．本研究では，多地点間双方向 AV 通信での問題点に着目し研究を行い，リアルタイム通信の障害に繋がる要因の解決に向けて検討を行う．ここでは，遅延と一極負荷集中問題を重要と考え解決に向けて検討を行うことで，最終的にはリアルタイムアプリケーションを用いてユーザ同士がリアルタイムでのコミュニケーションを行うことが出来ることを目標としている．

### 1.2 背景

研究の背景としてコミュニケーションを行う為に用いられているリアルタイムアプリケーションがどのような用途で使われているのかと，その特徴と比較．また一般的にアプリケーションで通信を行う場合に用いられている，符号化方式や動画像の品質についても述べる．

### 1.2.1 AV 情報を用いたリアルタイムアプリケーション

本検討でいうリアルタイムアプリケーションとは、ユーザ同士がネットワークを介してなるべく実時間に近い状態で他ユーザと映像や音声などの AV 情報を用いてコミュニケーションすることを可能としているアプリケーションのことを指している。用途としては以下のような場合に用いられることが多い。

- テレビ会議
- 遠隔授業
- 遠隔医療
- ネットワークチャット
- ネットワークゲーム 等

それぞれの特性について表 1.1 に示した。各項目を地点数、1 地点のグループ全体の規模、ユーザの自由度に分けてそれぞれ記載している。(ここでの自由度とは、ユーザ個人が自身の意思で通信への参加・脱退を行えるかである。)

表 1.1 リアルタイムアプリケーション用途別比較

用途	地点数	規模	自由度
テレビ会議	多	少	少
遠隔授業	少	多	大
遠隔医療	少	少	大
ネットワークゲーム	多	少	大
ネットワークチャット	多	少	大

テレビ会議は同じ場所に集まることのできないユーザ同士が、共通の環境で通信を行うことが出来る。それぞれの地点ではユーザ数は 1 人で多地点間を結んでいることが多い。

その為地点数も 1 地点の規模も少ないがユーザ個人の意思で対象としている自分の参加するグループに参加や脱退を行えるという点では自由度は高いということがいえる。



次にネットワークゲーム，チャットについては IP 網上で不特定多数のユーザが参加自由という点では地点数は膨大になると予想される．1 地点の規模はこちらも 1 人であるといえるがユーザの自由度は高いといえる．このように，リアルタイムに AV 情報を用いて通信を行うという点ではほぼ同じコミュニケーションにおいても，それぞれの用途によりネットワーク全体の規模や使用する回線帯域の条件が変化するということがいえる．

表 1.2 DV と他の主な符号化方式の比較 [1]

方式名	符号化方式	ビットレート [bps]
DV	DCT	30M
MPEG-2	MC + DCT	10M
MPEG-4	MC + DCT	5k-4M
MPEG-1	MC + DCT	1.5M
H.261	MC + DCT	64k
H.263	MC + DCT	32k

一般に使用される画像圧縮方式について方式名，符号化方式，ビットレートについての分類を表 1.2 に示す.[1]

DV は符号化方式として DCT(discrete cosine transform:離散コサイン変換) が用いられており，ビットレートは 30Mbps である．( フレームレートの調節によりレート調節可能.) 品質はテレビ品質と同等であるといえ，主に高速インターネット，将来の IP 網上での伝送媒体として期待されている．

MPEG-1, 2 については符号化方式はどれも MC(motion compensation:動き補償) と DCT によって符号化が行われて，ビットレートはそれぞれ CD ROM, DVD などそれぞれ大きさが分かれている．

H.261 をもとにした H.263 についても符号化方式は同様であり，品質については TV 電話程度であり伝送媒体については ISDN となっている．

ここでいえるのが、DV のみが符号化方式について他符号化方式が MC + DCT で行っているところを DV は DCT のみでよい。

DV は映像の中で動いている部分を検出し、その検出部分と 1 つ前の画面から次の画面を予想するフレーム間での動き補償予測を行っていない。つまり、他符号化と比較してフレームを独立毎で編集することが容易であり、またさまざまな理由により、送信を行った DVdata が送信先に届いて再生が行われる場合に激しいパケットロスが起きていたとしても、他符号化に比べると映像に与える影響は最小であるということがいえる。[1]

## 1.2.2 動画像の品質と情報量の比較

動画像方式の品質と情報量について表 1.3 で示す。

表 1.3 動画像の品質と情報量 [1]

種別 (品質)	画素数	ライン数	フレーム数 [1 秒当り]	輝度・色差	情報量 [バイト/時間]	伝送速度 [bps]
VTR 品質	360	240	30	4:2:0	14G	30M
現行テレビ	720	480	30	4:2:0	54G	120M
現行テレビ	720	480	30	4:2:2	97G	216M
HDTV	1920	1080	30	4:2:2	540G	1.2G

デジタル動画像は、高さと幅を持ったフレームから構成されており、1フレーム中の画素数、ライン数、及び1秒ごとに伝送されるフレーム数がもとの動画像の持つ情報量となっている。以上表 1.3 に示している通り、動画像の品質と情報量はこのように分類される。[1]



## 第 2 章

# 集中合成変換による多地点間双方向 AV 通信

本検討では，多地点間双方向 AV 通信を行うにあたって，AV 通信リアルタイムアプリケーションとして DVTS を用いて評価を行う．評価基準として使用する DV 転送の条件及び従来方式と新方式の比較を行い，問題点について述べる．

### 2.1 DVTS について

DVTS(Digital Video Transport System) においてのネットワーク構成, システム構成, フレーム調節機能について説明をする．

#### 2.1.1 ネットワーク構成

DVTS においてユーザ同士が通信を行う場合のネットワーク構成について図 2.1 に示す．まず, DVTS の送信側 (Server application) では DV ビデオで画像が撮影される．撮影された映像は DV 符号化され，送信側の端末に IEEE1394 インタフェースを用いて DV data が入力される．送信側の端末では，DV データを IP パケット化 (RTP/UDP/IP パケット化) して IP 網上に転送する．受信側 (Client application) の端末では，送信側の端末から IP パケット化された符号化データを受信し，復号化が行われ受信側の端末では送信側から送られた映像が表示される．[1] ( 表示方法として受信端末で受け取ったデータはデジタルビデオデッキ, ビデオカメラなど DV 機器に出力される場合もある．)

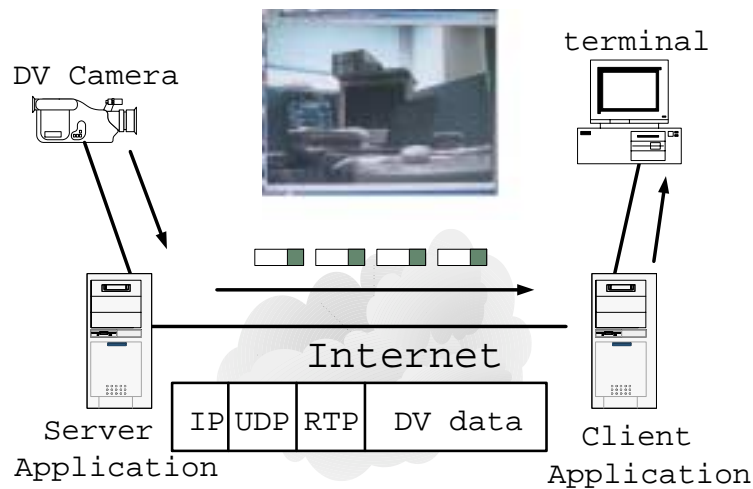


図 2.1 DVTS ネットワーク系

### 2.1.2 システム構成

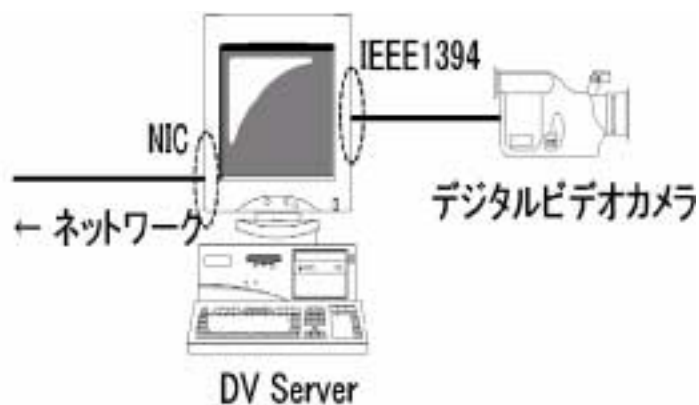


図 2.2 DVTS システム構成

DVTS のシステム構成について図 2.2 に示す。

デジタルビデオカメラから撮影された映像は、IEEE1394 インターフェースカードを用いて送信側の PC に入力される。送信側の PC では、DV データを RTP/UDP/IP パケット化してネットワーク上（インターネット上）へ送信する。データ受信側 PC では、DV 対応のデジタルビデオカメラ及びデジタルビデオデッキによって再生され表示が行われる。

## 2.1.3 フレームレート調節機能

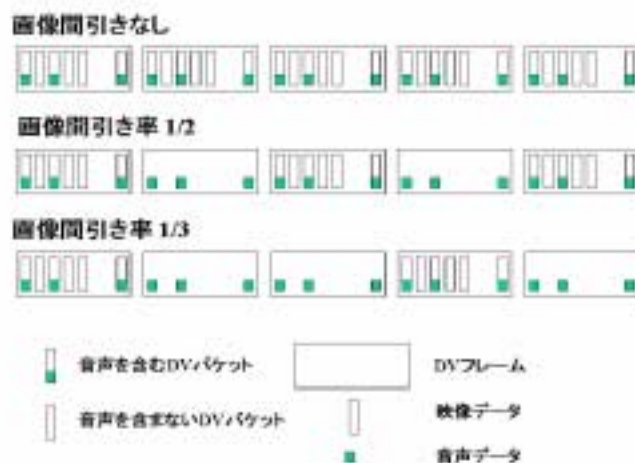


図 2.3 フレームレート調節機能の詳細について

DVTS の標準機能としてフレームレート調節機能がある。フレームレートを間引きすることで、DVdata のトラフィック量を削減することができる。図 2.3 に示している ” 画像間引きなし ” はフルレートで 30Mbps . ” 画像間引き率  $\frac{1}{2}$  ” は 15Mbps . ” 画像間引き率  $\frac{1}{3}$  ” は 10Mbps . となっている。ここでは、間引きを行う際に音声データはそのままにしておき、映像データのみを間引いていくことにより、全体のトラフィック量の調整を行っている。これは、映像データに比べて音声データを間引いてしまうと通信中に音声に乱れが生じ、映像の乱れと比較してユーザに不快感を与える可能性が大きいからである。

## 2.2 他符号化方式との比較

第一章での表 1.2 において、一般的な符号化の比較を行った。本節ではその中でリアルタイムアプリケーションとしての用途で使用されている MPEG - 2 に着目し比較した結果を表 2.1 に示す。また、本検討で DV を評価した理由について詳しく述べる。

表 2.1 DV と MPEG 比較

比較項目	DV	MPEG
所要帯域	30Mbps* <sup>1</sup>	2 ~ 30Mbps
圧縮率	約 3 分の 1	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
転送時の帯域変動性	調節可能	画像の動きに応じて変動

MPEG はフレーム間予測を門地板圧縮方法を適用しており、動きの大きい画像を転送し表示を行った場合パケット損失が 1% であっても映像の再生品質劣化が激しい。[1]

一方、DV の場合は映像の品質には MPEG に比べて劣化が少ない。IP ネットワークではパケットロス想定せざるを得ないため、DV は MPEG-2 と比較して画質劣化が小さいので、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た。よって本研究では DVTS を評価対象にする。

### 2.2.1 特徴のまとめ

以上ここまでの DVTS の特徴をまとめると以下ようになる

- DV は MPEG と比較してフレーム間予測でない為、パケットロスが発生した場合に受信側での再生に響きにくい。
- 符号化復号化に専用のハードウェアを必要としない。



- 多種類の OS 上で実装されている。(FreeBSD,Windows, Linux,Mac)

## 2.3 現在の多地点間双方向 AV 通信方式

### 2.3.1 システム構成

DV 転送方式 (DVTS) を用いて集中合成変換を使うと、多地点間双方向での AV 通信を行う場合、以下に示した図 2.4 のシステムアーキテクチャとなる。

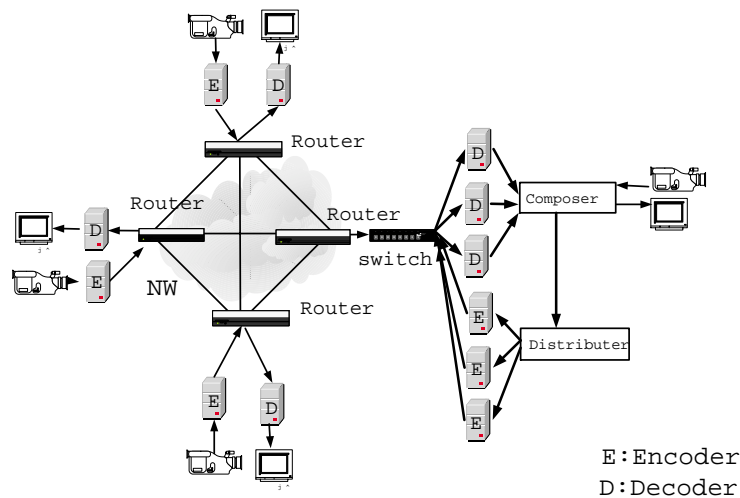


図 2.4 集中合成変換型のシステム (4 地点の例)

ここでは、各カメラから入力された画像が Encoder によって符号化が行われる。パケット化された DVdata は指定された送信先へと送信される。しかし相手先に送信される前に DVdata は、先に Decoder によって復号化された後、1 度画像合成装置 (図 2.4 参照: composer) へと送られる。画像合成装置では他地点から送られてきた他のユーザの画像情報と合成が行われる。他の画像と合成がおこなわれたあと、分配装置 (図 2.4 参照: distributer) によって相手先の端末で再び Encoder により符号化され DVdata が送信される。送信者からのデータを受け取ることが希望している全ての受信側では、受け取った DVdata を Decoder により復号処理を行って画面に表示される。多地点間双方向 AV 通信のように、送信者から送られた画像は図 2.4 で示すように一度専用装置で映像合成が行われ

る．よって，このシステムの場合の 3 地点からの画像と合成が行われ，自分を含めた 4 枚の画像が一枚の絵となった映像が各地点に送信され表示が行われる．

# 第 3 章

## 提案する多地点間双方向 AV 通信方式

### 3.1 P2P アーキテクチャ

#### 3.1.1 システム構成図

本節では、前節の集中合成変換型での問題点をもとに、P2P 型での多地点間双方向 AV 通信方式のアーキテクチャを提案する。この方式では、特定の専用装置に依存せず個々の端末がその機能を担うことにより通信を行うことができる。システム構成図を図 3.1 に示す。

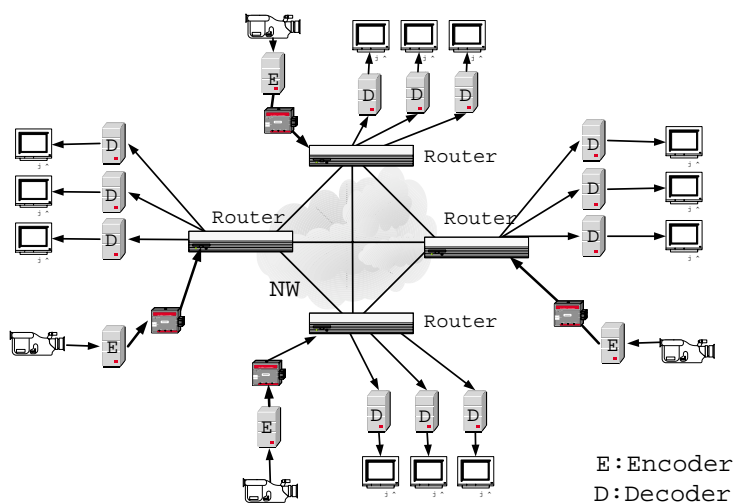


図 3.1 P2P 型のシステム (4 地点の例)

図 3.1 に示している P2P アーキテクチャによる多地点間双方向 AV 通信方式ではカメラから入力された DVdata は Encoder によって RTP/UDP/IP パケット化され相手先に送信

される．一地点で入力された一つの DVdata は専用装置により DVdata が複数地点分（ここでは 3 地点）に複製され送信される．送信されたパケットは直接相手先に届き表示される．その為、各地点より  $n$  地点分の映像がそれぞれの受信端末に到着する．

## 3.2 両方式の比較

本節では、前節において述べた従来の多地点間双方向 AV 通信である集中合成変換型と本検討で提案する P2P 型のアーキテクチャについて比較を行った．前節までの検討を整理すると、集中合成変換型の場合、送信側から受信者にむけて DVdata を送信した場合、一度専用装置に送られ、画像合成・分配装置（Composer・Distributer）を経由させてからそれぞれ相手の端末に送られていた．

そうすると、後者の P2P 型と比較して一度専用装置を通らなくてはならない為に起こる遅延と、符号化、復号化を多く行わなくてはならない為に起こる遅延の問題が発生する．

また、一度画像合成・分配装置を置いてあるエリアに全ユーザからの上りのみの場合 2 倍トラフィックが集中してしまうということがいえる．よって従来の集中合成変換型の場合だと以下のようなことが言える．

- 一箇所にトラフィックが集中しネットワークに負荷が集中する
- 一度専用装置を介さないといけない為に遅延が発生する

以上のことより、リアルタイムアプリケーションでの多人数双方向 AV 通信方式を行う場合アプリケーションにとって重要となる項目をまとめたの両者の比較を表 3.2 で行った．また上で述べた ”遅延” と ”負荷の一極集中” について評価式をまとめたので下の図 3.1 に示す．

## 3.3 符号化復号化処理遅延時間とアクセス回線帯域について

$n$  地点に点在するユーザ間で双方向通信を行う場合、その情報は直接各地点へ配信される．前節の問題点で挙げた遅延と負荷集中の問題について、両者の符号化復号化処理遅延時

間と最大アクセス回線の評価式の比較を表 3.1 に示す。

なお，ここでの変数は

$e$  = 符号化遅延時間； $d$  = 復号化遅延時間； $n$  = 通信地点数； $a$  = DV 送信に要する帯域；

である。

表 3.1 符号化復号化処理遅延時間と最大アクセス回線帯域

比較項目	Composition 型	P2P 型
符号化復号化処理遅延時間	$2(e + d)$	$e + d$
最大アクセス回線帯域	$2(n - 1)a$	$n(n - 1)a$

多地点間双方向 AV 通信システムを P2P アーキテクチャで構成した系を，表 3.1 に示す。符号化・復号化遅延は  $\frac{1}{2}$  になりアクセス系の転送帯域条件は均等となる。

表 3.2 Composition 型と P2P 型での比較

比較項目	Composition 型	P2P 型
遅延	有	無
回線容量	小さい	大きい
スケーラビリティ	無	有
映像品質劣化	多い	少ない
アプリケーション自由度	有	無

表 3.2 より P2P 型は Composition 型と比べ遅延については直接相手側に送信するだけでよく，理論上  $\frac{1}{2}$  の時間で良いということが言える。必要帯域については後節で詳しくふれる。以上をふまえて両システムの比較について表 3.2 にまとめる。

P2P ネットワークを実現するにあたり問題となるのは以下の点である。前節で述べた通り，P2P 型にすることにより遅延が減少することは証明された。しかし帯域については負荷集中は発生しないものの，帯域は  $n(n - 1)a(Mbps)$  必要であり  $n^2$  に比例して帯域が必要となってくる。よって P2P の問題点はネットワークで消費する総帯域の軽減であると言える。



# 第 4 章

## 実験

本章では実験用ネットワークを構築し，その中で，本研究の問題点に応じて必要と思われる DVTS のトラフィック特性を調査するために実験を行った．

### 4.1 複数 DVdata 送信における DV トラフィック特性

同じ回線に DVdata を 2 つ流すことにより DVdata の送信データの大きさ別で，もう一方の DVdata にパケットロスでどのような影響がでるのかを測定した．実験のシステム構成と端末仕様については 4.1.2 システム構成にて示す．

#### 4.1.1 システム構成

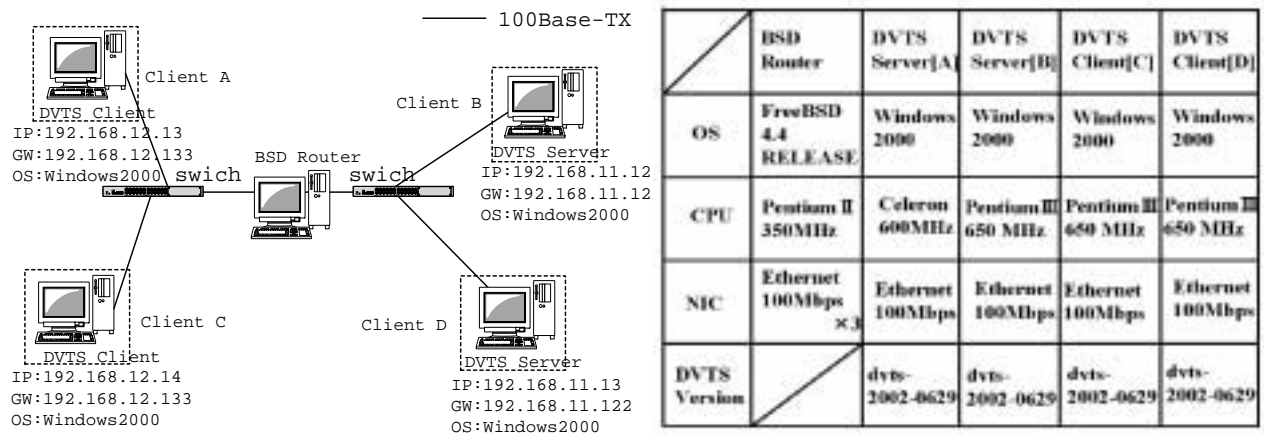


図 4.1 実験システム環境と端末仕様について

端末使用は図 4.1 の通りとなっている．

## 4.1.2 詳細仕様

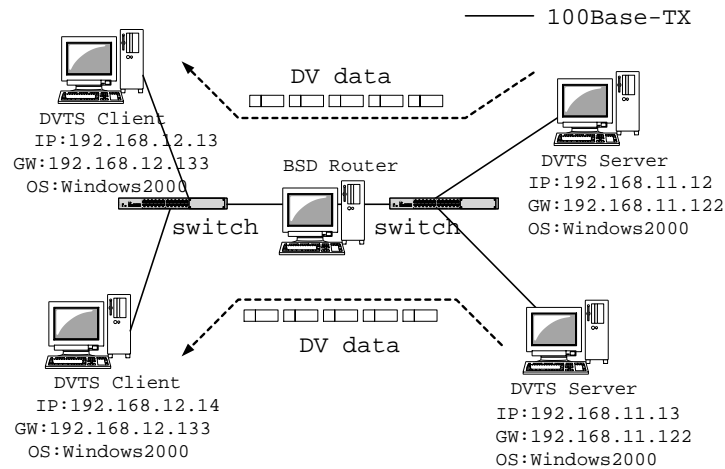


図 4.2 DVdata 送信システムの詳細

4台の端末を BSDRouter に接続して、ローカルエリア内での IP を割り当てた。このうち ClientA と B を、ClientC と D にそれぞれ 2 セットの DVdata を送った。こうすることにより、片方の端末同士で DVdata でのネットワークへの輻輳状態を作り、もう片方の端末同士で DVdata を送受信することによりパケットロス率について調査を行った。

( Client の分類については 4.1.2 での図 4.1 での実験システム環境と同じものとする。)



## 4.1.3 結果

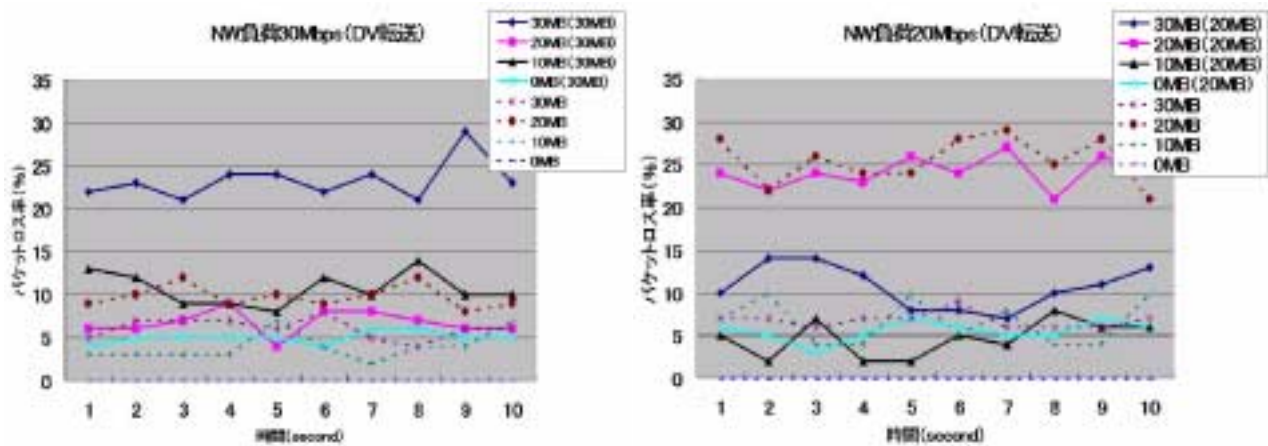


図 4.3 DVTS 負荷 30Mbps と 20Mbps

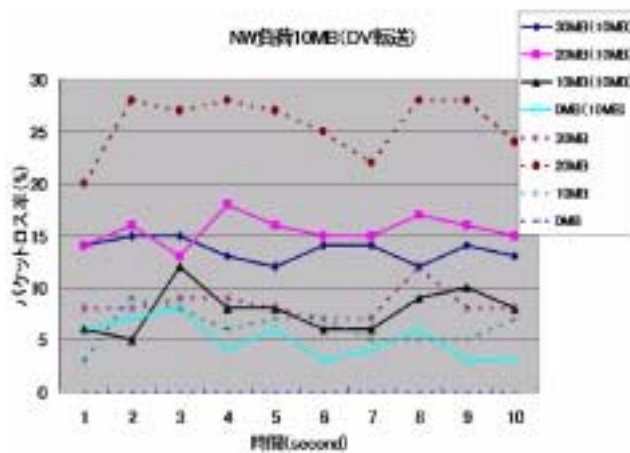


図 4.4 DVTS 負荷 10Mbps

結果は図 4.3 と図 4.4 に示した通りである。それぞれの状態において、パケットロス率が一定でない上に、負荷をかけた通信の方と、ロス率を見るために流したデータとでは特性がまるで一定でないという結果になった。そして、まったく負荷をかけてない状態で DVdata を送信した場合でもパケットロス率が最高で 5%前後出ているという結果になった。

#### 4.1.4 考察

この実験では DVTS を用いてストリームの大きさを変化させて、もう一方での DVTS のパケットロスを調査した結果、これは DVTS 自身の問題であり、原因については OS 間での相性の問題が起因している可能性があると考えられる。それ以外の問題では不規則的にパケットロスが発生している。よって、DVdata 同士で輻輳状態を作り出し、DVdata のパケットロス率をみた場合固定レートで負荷をかけた状態とレートを調節している状態、両者とも負荷が一定でないということが言える。

## 4.2 test packet トラヒック

### 4.2.1 システム構成

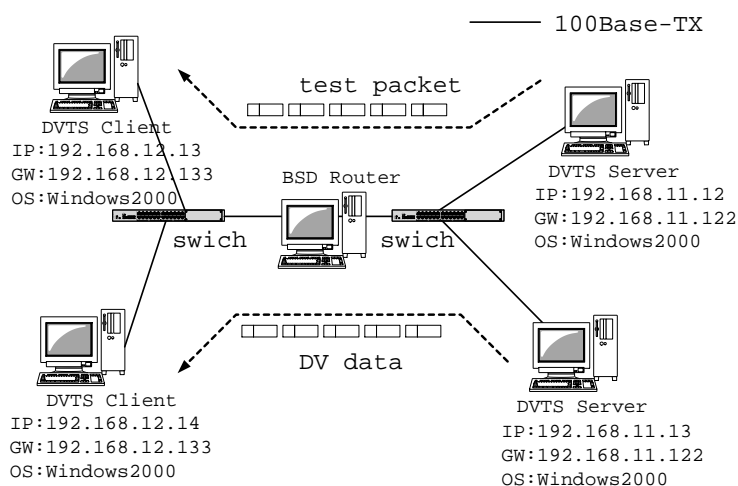


図 4.5 test packet 送信システムの詳細

端末を 4 台用意し、一対 (ClientB から ClientA へ) の PC は UDP のテストパケットを送受信し、もう一対 (ClientD から ClientC) の PC で 3 種類の DVTS data (10Mbps, 20Mbps, 30Mbps) を送受信しパケットロスについて計測を図 4.5 のシステムで行う。

( Client の分類については 4.1.2 での図 4.1 での実験システム環境と同じものとする。)

ClientB から ClientA に UDP の test packet を送信する。データサイズを指定してデータの負荷の調節を行ったこの data はシステム内にて DVdata を送信する経路のネットワークに負荷をかける。UDP の test packet での負荷の大きさは、平均して 9, 18, 27, 36, 44, 53, 62, 70, 76Mbps を送信した。その間、ClientD から ClientC に向けて DVdata を送信して test packet 負荷による DV パケットのロス率について測定した。送信した DVdata については 30Mbps, 20Mbps, 10Mbps で

ある。

## 4.2.2 結果

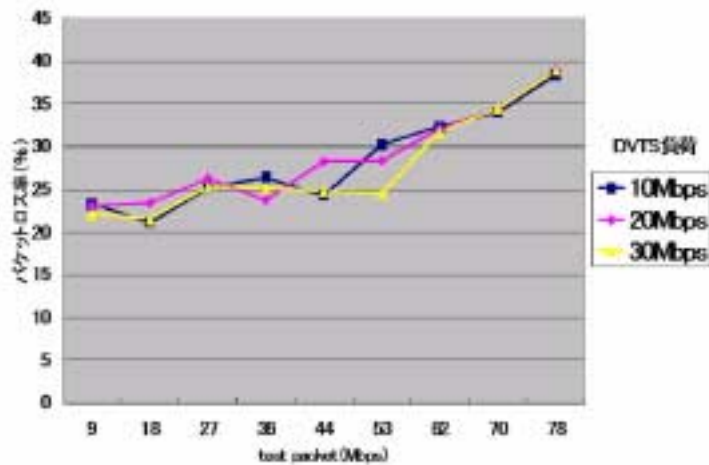


図 4.6 test packet による負荷別パケットロス率

結果について図 4.6 に示す。test packet 負荷が 9Mbps の場合,DVTS 負荷の 3 種類 (10Mbps,20Mbps,30Mbps)ともパケットロス率 25%弱である。DVTS 負荷は 3 種類 (10Mbps,20Mbps,30Mbps)ともパケットロス率は同じであり,それは test packet による負荷を増加させた場合でも同じ事がいえる。3 種類ともばらつきがあり一定的ではないものの増加の一途をたどっている。

## 4.2.3 考察

ここでは,リアルタイムアプリケーションが IP 網上で転送された場合, DVdata と同じく,UDP パケットのような実時間性の高いパケットが先にネットワーク上で輻輳状態を起こしていた場合を想定しての実験であった。結果は,負荷かけた 9Mbps の状態でパケットロスが約 25%も発生した。これは,実験系ネットワーク内において同じ経路に輻輳状態を高めた為であると考えられる。その後負荷を上げていくと同時にパケットロス率も増加していることから,ネットワークの輻輳状態が高ければ高いほどパケットロス率も高くなるということがこの結果よりいえる。

## 4.3 多映像受信

ここでは、P2P での多地点間双方向 AV 通信の実現の為に、将来図 3.1 で DVdata を送信する場合、一つのカメラから入力された DVdata を専用装置を通すことで 3 地点間に送信した。各エリアの受信端末では 1 地点に端末を 3 台用意して各地の映像を受信するようになっていた。ここでは、その受信端末が 3 台必要な問題について、DVTS の機能として実装されている PORT を指定して DVdata を受信することで、現在の 1 台の端末においてどれだけの DV 映像を同時受信できるかを把握することを目的としている。また受信端末の CPU 負荷を計測することで、将来 P2P において受信端末のコストの問題に関係してくると考えている

### 4.3.1 システム構成

多画面受信におけるシステム構成図 (左図参照) とそのシステムにおける端末仕様 (右図参照) を図 4.7 に示す。構成は一台のルータを中心とし、switch を介することで 5 地点に端末を設置した。その

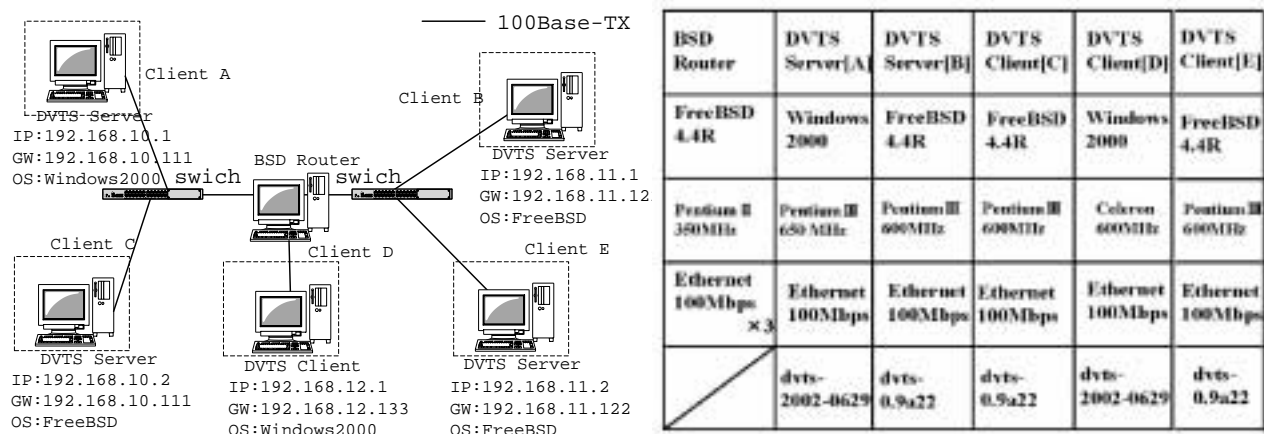


図 4.7 システム構成と端末仕様 (マシンスペック)

うち ClientA,B,C,E は DVTS Server として DVdata を送信した。送信した DVdata は ClientD によって受信され、CPU 負荷の計測を行った。各端末のスペックは上記右図のとおりとなっている。測定方法については、DVTS の受信機能である、DecodeQuality を  $720 \times 480$  と  $88 \times 60$  の 2 パターンを計測することで、一番映像のきれいに表示される条件 ( $720 \times 480$ ) とすこし映像が荒く表示される条件 ( $88 \times 60$ ) でのデータを取り比較を行った。結果については次ページ図 4.8 に示す。

## 4.3.2 結果

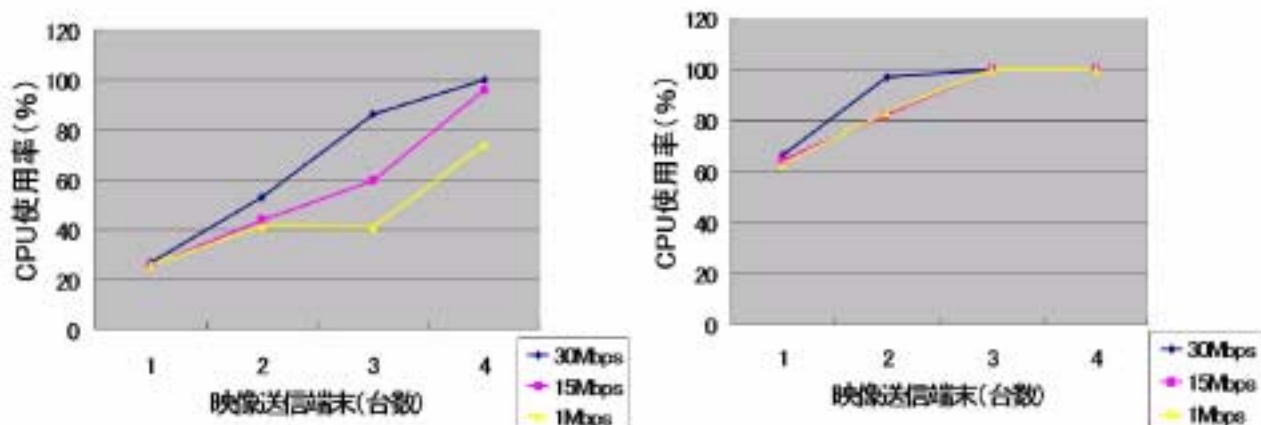


図 4.8 Decode Quality88 × 60 と Decode Quality720 × 480

図 4.8 は映像送信端末の増加による受信端末での CPU 負荷率について示したものである。両図において全端末を DVdata30Mbps,15Mbps,1Mbps に合わせて送信したものである。左図では DVdata による負荷が 1Mbps で 4 台からの映像を受信端末 1 台で受けた場合 CPU 使用率が 80%弱である。他の 15Mbps と 30Mbps を最大 4 台より同時送信した場合、最終的には CPU 使用率が 100%近くに達してしまった。右図においては DecodeQuality が 720 × 480 と高いため、左図での DecodeQuality88 × 60 よりも多くの CPU パワーを必要とした。結果としては、3 種類の DVdata のうち全て 3 台目から CPU 使用率が 100%に至り PC 端末自体はフリーズを起こした。

## 4.3.3 考察

以上の結果より考察を行う。DecodeQuality88 × 60 の左図の場合、15Mbps や 30Mbps の DVdata と比較して 1Mbps の場合は、例えば 5 台目の送信端末を増加し映像を送信したとしても、でもこの結果から予想すると 5 台目も可能である可能性が高い。しかし、1Mbps というのは DVTS での標準送信レート 30Mbps から考えると  $\frac{1}{30}$  でありほぼ静止画に近い。よってリアルタイムコミュニケーションを行う上では、不適切であると考えられる。しかし、この実験結果からいえることとして DecodeQuality の品質を下げることで受信する映像（送信台数）を増加させることが可能である。よって、今後の展望としては多地点間双方向 AV 通信を P2P で行う場合に受信端末の PORT を指定することで 1 台の端末で多地点間の映像を受信することができる。また将来 PC 端末の処理性能の向上に伴い益々多数の端末からの映像を受信することが可能になっていくと考えられる。



# 第 5 章

## 多地点間双方向 AV 通信方式の提案

本検討ではマルチキャストを用いることで問題解決の提案を行う。マルチキャストはパケット転送方式の一つで、複数のユーザが一つのグループに属することで、単一のパケットを送信すると各ポイントとなるルータでパケットが複製され送り手に届けられる。よってネットワークにかかる総負荷を軽減することが出来る。

### 5.1 新方式の提案

本節ではここまでの議論を整理し、P2P アーキテクチャにおける多地点間双方向 AV 通信において今後の環境を想定し新方式にむけて検討を行ったので報告する。

#### 5.1.1 想定している環境

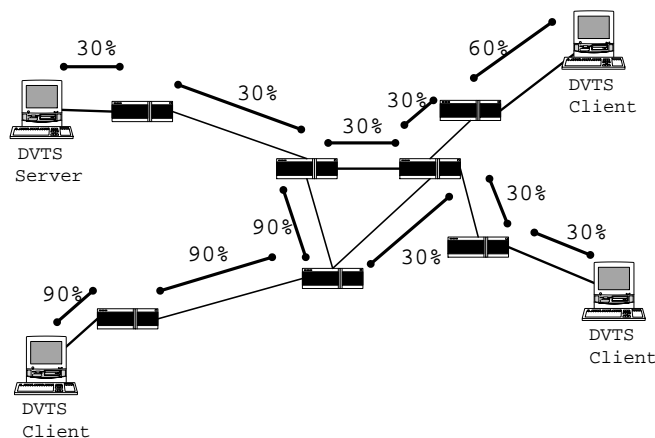


図 5.1 想定しているネットワーク環境

ネットワークを環境例として図 5.1 想定する。このネットワークは多地点間（4 地点）を結んだネットワークである。それぞれの回線の輻輳度が違っており、図 5.1 に示したとおりである。例とし

て 30%と記してある部分は全体の回線の容量の割合からして 30%輻輳していると考えてもらいたい。端末 4 台の内訳としては、図左上にある DVTS Server 1 台から他端末 DV Client 3 台に向けてマルチキャストで DV packet を送信すると仮定する。その場合の方式について以下に 3 つの方式について提案し検討を行う。

### 5.1.2 方式 1

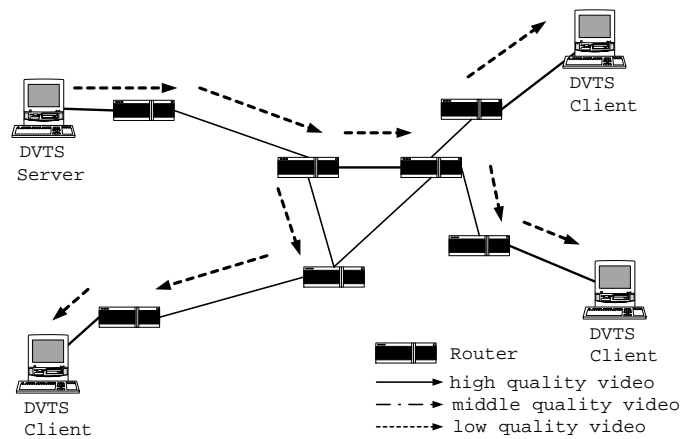


図 5.2 方式 1

図 5.2 の方式について説明する。まず、送信する映像である DVdata は仮に high quality video, middle quality video, low quality video の 3 種類用意しているものとする。Data の大きさとしては、高いものから順に 30Mbps, 20Mbps, 10Mbps としておく。

この方式は、送信する帯域を全体的に比較して、一番輻輳しているネットワークに送信する映像の大きさを合わせる。すなわち、この図 5.1 を見ると、DVTS Server から残り 3 台の DVTS Client に向けて DVdata を最短で送信しようとした場合、ネットワークの輻輳状態として一番数値が高いのが図左下の DVTS Client への経路にあたる輻輳状態 90%の帯域がネックになっていると考えられる。この方式の場合、この最大輻輳度 90%に合わせて、全体に一番小さい容量の映像を送信する。あらかじめ用意しておいた、映像 3 種類 (high quality, middle quality, low quality video) のうちの一番フレームレートを間引いている状態の DVdata を送信する。

[ポイント]

- 直接送るのでリアルタイム性が高い
- 一番高い輻輳状態に合わせてるので条件によって他ネットワークに余裕を残すことができる



## 5.1.3 方式 2

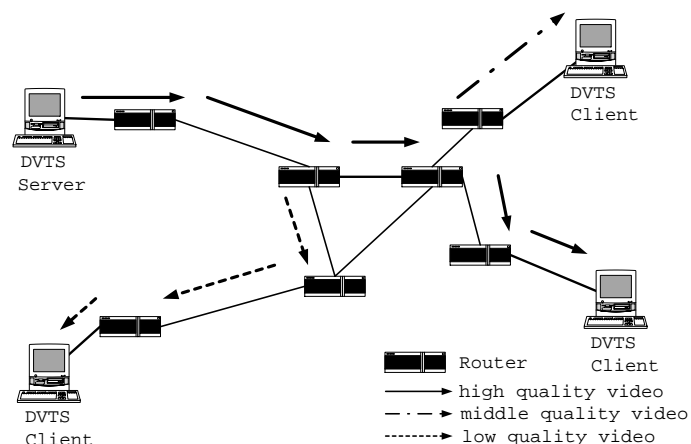


図 5.3 方式 2

図 5.3 の方式について説明する. この方式は, 図 5.1 でのそれぞれの輻輳状態に応じた DVdata を送信する. DVTS Server より送信された Data はマルチキャストルータを経由していく過程においてフレームレートを調節することで大きさを変化させるものとする. このネットワークの場合, 輻輳度 30%の部分には high quality video を送り, 60%の帯域には middle quality video を送り, 90%の部分には low quality video を送ることで, それぞれのネットワークに適応させる.

[ポイント]

- それぞれの帯域に応じて最大限品質の良い映像を届けることができる
- 直接送るのでリアルタイム性が高い

## 5.1.4 方式 3

この方式は, 方式 2 と同じでそれぞれのネットワークの状況に応じて送信される DVdata が輻輳状態に対応したものに調節されるものとしていたが, この方式 3 の場合, 最低ラインの映像品質を指定することでその指定されている品質を下回る条件の帯域の場合は, それ以上の条件のいい経路を探索して相手先に DVdata を送り届けるというものである.

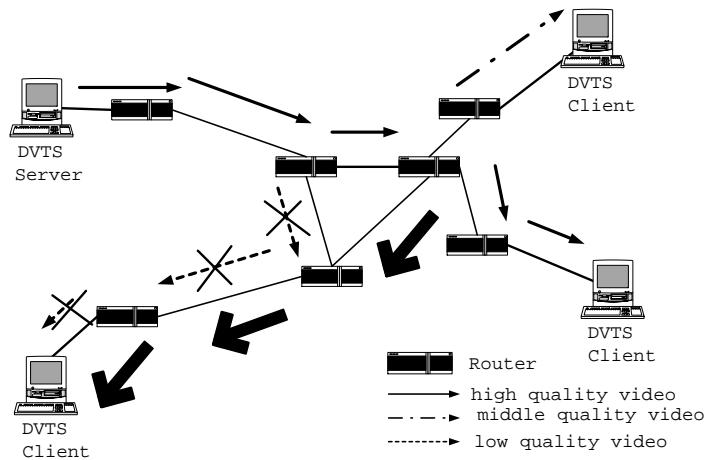


図 5.4 方式 3

## [ポイント]

- 良い条件の経路を検索し Data が送信される為高品質な映像が届く
- 条件によっては経路を選択するためにリアルタイム性に乏しい

## 5.2 まとめ

以上, 3つの方式を提案した.

全方式とも, ネットワークの状態により送信 DVdata をネットワークの輻輳状態に応じて変化するというものであった. ここで本検討においての前提条件について整理をする. 条件は以下の通りである.

- リアルタイムによる通信が行える
- 通信を行っているユーザは通信を行っているグループに参加・脱退は自由に行える

以上の条件により, リアルタイムに注目をするると方式 1, 方式 2 は直接送信するからよいが, 方式 3 については, 輻輳状態が込み合っていない状態のネットワークを探索して経路を決定する為, 最短経路を通る可能性は低く, 本方式には好ましくないといえる.

また, 前章の実験結果より輻輳しているネットワークに DVTS のような大きいデータを送信してしまうと, 高いパケットロスを引き起こしてしまう可能性が高いということが検証によって証明された.

本研究では多人数での多地点間双方向 AV 通信を前提としており, たとえネットワークの輻輳状態に応じた DVdata を送信したとしてもグループに参加している人数が増加することが簡単に予想される.

以上のことより、ネットワークの輻輳状態を調べ、全体の輻輳度を比較し一番輻輳していないネットワークに合わせた DVdata を全端末に送信する方式が一番好ましいという結論に至った。



# 第 6 章

## まとめ

### 6.1 結論

DV 転送方式における多地点間双方向 AV 通信を集中合成変換型のアーキテクチャから P2P 型に変更を行った場合の遅延と負荷の問題について述べた。マルチキャストを最小配信パス帯域に応じた DVdata 転送することによりパケットロスの影響を抑えることができる AV 通信方式について検討を行い、マルチキャストを用いて送信レート制御を行いネットワークに適応したレートを送信することでネットワーク負荷を最小限に抑えることの出来る多地点間双方向 AV 通信方式について見通しをつけることが出来るという結論に至った。

### 6.2 今後の課題

マルチキャスト時の配信パスの帯域をどのように知り、送レートを適応制御するかが重要となってくる。今後はマルチキャストを実装したネットワークを構築し、帯域制御をどのように行うかについて検討が必要である。



# 謝辞

本研究を進めるにあたり、終始適切な助言をもって丁寧に指導して下さい、時には厳しく、時には暖かく見守って下さった島村和典教授に深く感謝します。

そして、副査として有益なアドバイスをしていただいた情報システム工学コースの岡田守教授ならびに岩田誠教授にも感謝いたします。

同じく有益な議論をしていただき、実験設備も利用させて下さった、通信・放送機構 高知通信トラヒックリサーチセンターギガビットネットワーク研究開発プロジェクトの加藤寛治研究員、高松希匠研究員をはじめとするメンバーの皆様にも感謝致します。

同研究室博士2年生である中平拓司さんには本研究の基礎方向性について熱心に相談にのっていただきました。また、技術的なサポートもしていただきました。ここに感謝いたします。

同研究室修士2年生である浦西慶規さんには本研究の方向性ならびに実験データ収集のまとめ方や考察の方法細部にわたる議論、ならびに相談にのっていただきました。ここに感謝いたします。

愛媛大学大学院医学部修士2年である坂田青児さんには研究を行っていく上での相談にのっていただきました。この場をお借りして深く感謝いたします。

最後に島村研究室のメンバーの皆様にも感謝いたします。





# 参考文献

- [1] 勝野聡, 浅見徹, 江崎浩, “ IP バージョン 6 を用いたデジタルビデオ映像の転送 ”, 電子情報通信学会論文誌, VOL.J85-B, NO8, pp.1323-1330, Aug.2002.
- [2] アカミネエクトル, 若宮直紀, 宮原秀夫, “ アクティブネットワークにおける輻輳適応型動画マルチキャスト ”, 電子情報通信学会進学技法.
- [3] 向山繁喜, 植野誠史, 加藤聰彦, 鈴木健二, “ PIM SM と BGMP を用いたスケーラブルなマルチキャスト QoS ルーティングプロトコルの提案 ”, マルチメディア通信と分散処理,
- [4] 尾上裕子, “ QoS に基づくマルチキャスト通信 ”, 情報処理学会
- [5] 高橋周平, 細谷篤, 佐藤文明, “ 信頼性マルチキャストにおける輻輳制御に関する研究 ”, マルチメディア, 分散, 強調とモバイル (DICOMO) シンポジウム)
- [6] 久保田幸雄編著,1995, “ デジタルビデオ読本 ”, オーム社,171
- [7] 映像情報メディア学会編,1999, “ デジタルメディア規格ガイドブック ”, オーム社,254
- [8] W・リチャード・スティーヴンス著, 橘康雄訳, 井上尚司監訳, “ 訓解 TCP/IP Vol.1 プロトコル ” ピアソンエデュケーション,632
- [9] Philip Miller 著, 苅田幸雄完訳, “ マスタリング TCP/IP 応用編 ” オーム社,632
- [10] “ (Digital Video)over IP ”, <http://www.sfc.wide.ad.jp/DVTS/> 2003 年 1 月 31 日現在
- [11] “P2P アーキテクチャ”[http://www.cac.co.jp/softechs/images/st2501\\_7.pdf](http://www.cac.co.jp/softechs/images/st2501_7.pdf) 2003 年 1 月 31 日現在



# 付録 A

## デジタルビデオフォーマット

### A.1 フォーマット

映 像	入力信号	輝度信号: 13.5MHz (8bit/sample) 色差信号: 6.75MHz (8bit/sample)	
	1ライン内の有効サンプル数	720 samples	
	1フレーム内の有効ライン数	480 lines (525/60 system)	576 lines (625/50 system)
	圧縮前の標準化周波数比	4:1:1 (525/60 system)	4:2:0 (625/50 system)
	圧縮方式	1フレーム内処理 (フィールド内/フレーム内適応DCT) 情報量先読み適応量子化, 2次元可変長符号化	
音 声	チャンネル数	2 ch または 4 ch	
	サンプリング周波数	48 / 44.1 / 32 kHz (2 ch) , 32kHz (4 ch)	
	量子化ビット数	16bit (2 ch) , 12bit (4 ch)	

図 A.1 DV 規格 (映像と音声)

図 B.3 に現行 TV 信号を記録する場合の映像と音声部分のフォーマットについて示している.[7] 映像入力信号は 4.2.2 コンポーネント信号 (アナログ入力時は A/D 変換を行う必要有) であり, 音声信号入力は CD などと同等のサンプリング周波数 48kHz, 量子化精度 16bit, 2 チャンネルとはじめとする 4 種の形式で記録をすることが可能である.[7]

またデジタルビデオの圧縮アルゴリズムについて図 B.3 に示す.

## A.2 DV 構成例

デジタルビデオにおいて DV フォーマットがどのように構成されているのか説明する。

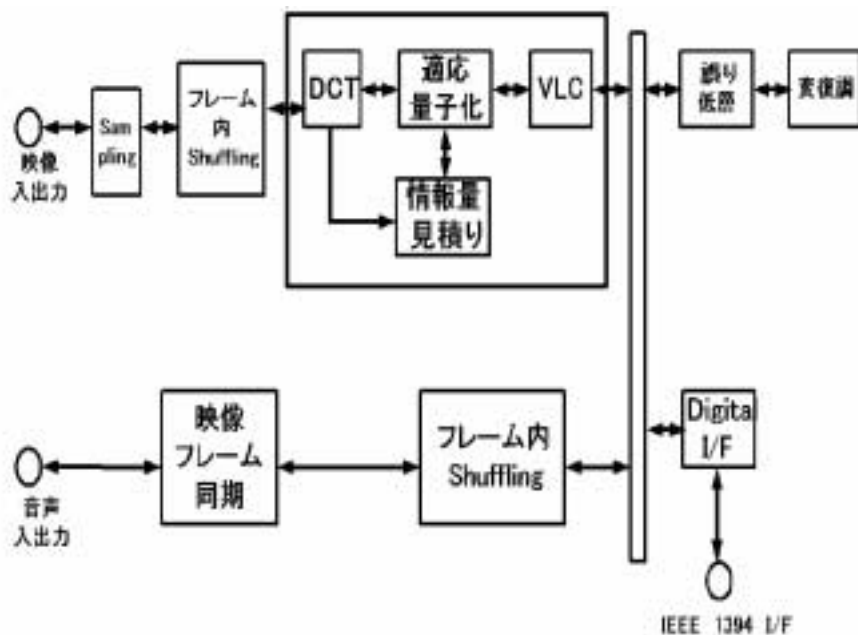


図 A.2 DV の構成例ブロック図 [7]

以下手順について説明する。

入力された信号は輝度と色差でありそれぞれサンプリングが行われる。

サンプリングされた信号はサンプリング周波数の比から 4:2:2 信号と呼ばれる。

次に水平方向と垂直方向にそれぞれサブサンプリングが行われる。これにより入力情報は削減される。

次に所定のルールによりシャッフリングが行われる。シャッフリングをする目的は固定長化の単位であるビデオセグメント内の 5MB に含まれる情報を均一化するためである。

シャッフリングにより構成された各ビデオセグメント (5MB) はその中の各 (8 × 8) ブロックごとに DCT 変換される。

すべてのブロックが DCT 変換されたビデオセグメントはいったんバッファに格納される。

ビデオセグメントは量子化される。

量子化された後は、クラス分けが行われ可変長符号化が行われる。

音声も同じく入力されてから映像フレームとの同期がとられ、シャッフリングが行われる。

# 付録 B

## ピア・ツー・ピアアーキテクチャと 通信方式

本節ではピアツーピアアーキテクチャと通信方式について説明する。

### B.1 ピア・ツー・ピアアーキテクチャ

ピアツーピア (以下 P2P) のピアとは同等という意味を指す。この言葉のとおり、同じネットワークで繋がった端末同士が通信を行う場合に同等の能力を持ち、個々で通信を行うということが可能である状態を指す。資源を共有するという意味もあり、ネットワーク内の端末同士で忙しい PC の処理を何もしていない PC の資源を割り当てて分散して処理を行うなど、お互いの資源を最大限生かした処理が行えるという特徴も持つ。

#### B.1.1 種類

P2P アーキテクチャは大別すると 3 つの方式に分けられる。

- ハイブリッド P2P
- ピュア P2P
- グリッド・コンピューティング

次節より、各アーキテクチャの方式による特徴と動作について説明し考察を行う。

## B.2 各アーキテクチャの通信方式について

### B.2.1 ハイブリッド P2P

ハイブリッド P2P とは、必要に応じて用意したサーバを利用しそれ以外では個々の端末同士の Peer な通信をノード間で行う。図 B.1 に示したシステムでは、まずネットワーク内に端末が 4 台存在し 1 台サーバの役割を果たす端末を用意しておく。

#### [動作説明]

ClientA はサーバに最初の欲しい情報をもっている端末を探すためにサーバに自分の要求の request を出す。

サーバはその要求に応じた端末を探しだし ClientA に response を返す。

もらった情報に該当する端末と通信を行う。

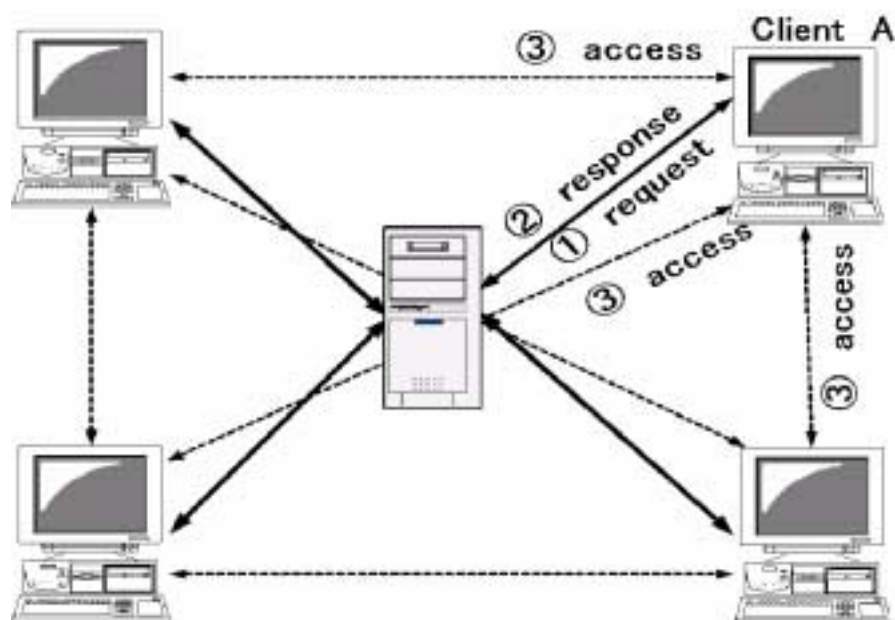


図 B.1 ハイブリッド P2P アーキテクチャ

[考察] この方式の場合中央のサーバに情報を集約し、個々の端末はそこにアクセスをし欲しい情報についての情報を得ると、その端末と直接 P2P で通信を行うというものである。この場合、サーバが情報を一括で管理を行っている為、そこにアクセスを行う端末の一括での集中管理が行うことができる。しかし、一括で情報を所有しているため、そこへのアクセスが集中してしまう。情報でなくインデックス

をサーバは所有しているもののサーバがダウンしてしまった場合、個々の端末がどのような情報を所有しているかが一切分からなくなってしまう。よって、ハイブリッド P2P アーキテクチャについては障害が起きてサーバにアクセスできなくなると全ての端末が通信することが出来なくなる。

## B.2.2 ピュア P2P

ピュア P2P アーキテクチャは中心となるサーバを持たず、全端末が同等の役割を果たす。よって通信も直接ノード間で通信が行われる。

[動作説明]

端末間で情報を探するために、直接アクセスを行う。

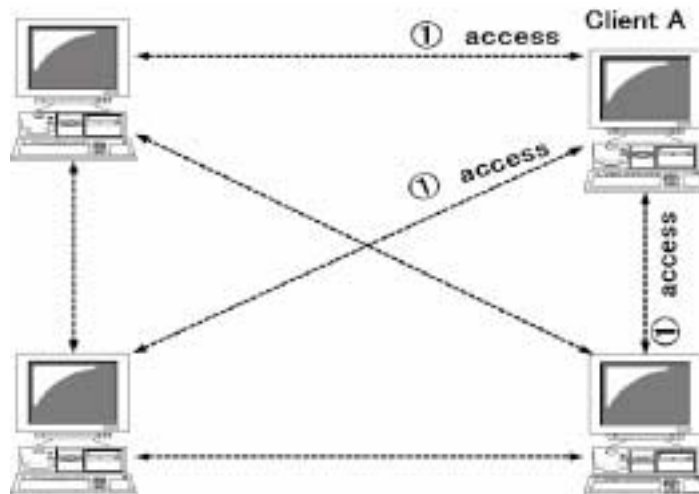


図 B.2 ピュア P2P アーキテクチャ

[考察] この方式では、特定のサーバを必要とせず端末と端末が同等に通信を行っている。端末同士が直接通信を行えるので、例えば必要なファイルを探していた場合に障害が起きたとしても他端末に検索をすぐ切り替えられるので、そういう意味では障害に強いといえる。しかし、ハイブリッド型と違い中央のサーバでどの端末にどのような情報があるのか一切知りえることが出来ないため検索に要する時間は必要であるといえる。

### B.2.3 グリッド・コンピューティング

グリッド・コンピューティングのアーキテクチャの場合は、サーバが用意されており、その PC が使用されていない端末にアクセスし自身が行っている膨大な計算を使用されていない端末に処理を分散させ、仕事を割り振ることができる。よって、ノード同士は通信しないがサーバからの仕事を使われていない資源を用いて主要な計算を行っている。

[動作説明]

サーバは現在資源を余している端末を見つけると、自分の Manage を送る。

端末ではその処理の計算が行われ、結果が返される。

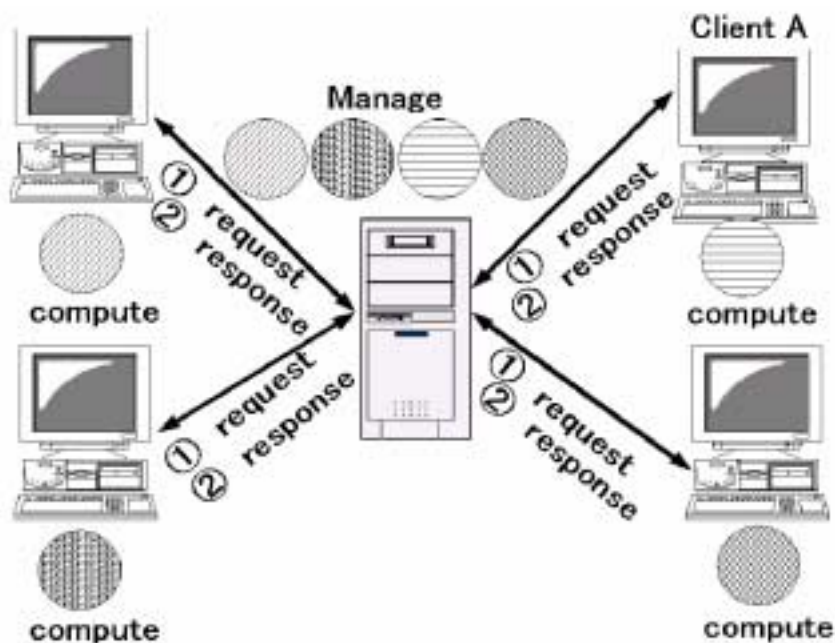


図 B.3 グリッド・コンピューティングアーキテクチャ

[考察] この方式の場合、サーバ自身でおこなっている何らかの計算を現在使用されていない端末、すなわち資源をあましている端末にその計算をふりあてることで処理時間を早くし最終的に計算結果を再びサーバに戻すというものである。従来の方式としてあったサーバ/クライアント型の逆であり、この方式が一般的にも普及すれば現在増加の一途を辿る一般 PC を共有することで莫大な利益を得ることが可能であるといえる。



## B.3 まとめ

以上,P2P アーキテクチャの種類と特徴についてまとめた. ここからは,P2P アーキテクチャの長所と短所. また今後の展望についてまとめる. 全体を見て, 長所としていえるのがスケーラビリティ性の高さである. これは, 個々の端末がネットワークを介して同等のものとして通信を行うことが可能である. よって特定の管理サーバを介さずに直接通信できる P2P 型は大変スケーラビリティ性が高いといえる. 逆に短所として挙げられるのが個々の端末が直接通信をおこなうため, システム全体に一貫性をもたしたセキュリティ等の管理が行えないという点である.

以上のことをふまえて,P2P はこれから益々活発化することが予想される. 現時点で, ファイル交換ソフト等でそのアーキテクチャとしての特性が活かされユーザ数が爆発的に増加の一途を辿っている. その反面, 個々の端末の処理機能を上回ったデータ通信を常時行うことによるハード面での影響が心配である. ネットワークが高速広帯域化が進む中, 映像や音声などの大容量のデータがこのような画期的なアーキテクチャによりやり取りが可能となった今,PC の処理性能または周辺機器への配慮必要であると考えられる.