

## 民生用 AV 機器を用いた MPEG2-TS over IP の設計と実装

入野 仁志<sup>1</sup> 小川 晃通<sup>2</sup> 杉浦 一徳<sup>3</sup> 中村 修<sup>1</sup> 村井 純<sup>1</sup>

慶應義塾大学環境情報学部<sup>1</sup> 慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科<sup>2</sup> 独立行政法人通信総合研究所<sup>3</sup>

本研究では、民生用 AV 機器を利用した MPEG2-TS over IP システムの設計と実装を行った。IP ネットワークを通信路とし、映像入出力に民生用 AV 機器を利用した既存システムには、DV フォーマットを利用する DVTS がある。DV フォーマットは仕様が一定であるため、通信環境等の状況に応じた品質変更が難しい。本研究では DV フォーマットより高圧縮率で、かつ複数の圧縮率をサポートする MPEG2-TS フォーマットに注目した。MPEG2-TS に対応した民生用 AV 機器を利用して、機器から生成される映像データを IP ネットワークを用いて遠隔地へ転送する映像転送システムを設計・実装し、複数の圧縮率での動作を確認し評価した。本研究により、個々の通信環境に応じた品質で、IP ネットワークからの映像・音声のデジタルデータを一般に普及している民生用 AV 機器を用いて、視聴可能となった。

### MPEG2-TS over IP with Consumer VCR

Hitoshi Irino<sup>1</sup>, Akimichi Ogawa<sup>2</sup>, Kazunori Sugiura<sup>3</sup>, Osamu Nakamura<sup>1</sup>, Jun Murai<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Environmental Information, Keio University

<sup>2</sup>Graduate School of Media and Governance, Keio University

<sup>3</sup>Communications Research Laboratory

This paper introduces the design and implementation of transport system for video and audio stream based on MPEG2-TS. This system proved that a video stream could be sent through narrower bandwidth without lowering quality of the video. Existing system, DVTS is also capable of streaming video and audio with DV such as consumer digital AV appliances. DVTS use DV format, thus quality of video is difficult to change, significant amount of network bandwidth is required for transport. In this research, we focus on MPEG2-TS which support multiple data compression ratio. The system created in this research is able to transmit MPEG2-TS video and audio format generated by consumer digital AV appliance to the remote place through IP network. With contribution of this research, user can playback the MPEG2-TS video which is transferred from the IP network with considerable bandwidth and quality according to each communication environment.

## 1 はじめに

### 1.1 背景

広帯域データリンクが普及し、通信環境が向上している。WAN 環境におけるバックボーンの広帯域化のみならず、ラストワンマイルと呼ばれる一般家庭への接続回線において、ADSL などの広帯域かつ常時接続の環境が一般化した。広帯域化により、データ量の大きい比較的質の高い映像・音声情報の送受信が可能になる。広帯域データリンクの登場・普及により、これまでの環境と比べて帯域格差が広がる。デジタル放送の開始により、放送環境も向上した。

また、一般に販売される民生用の機器もデジタル化した。デジタル化された民生用機器は機器間や、計算機間のデータの送受や制御のために、デジタルインタフェースを持つ。

現在放送が開始されている BS デジタル放送では MPEG2-TS[1] フォーマットが用いられている。また、BS デジタル放送受信用途の機器はデジタルインタフェースとして IEEE1394[2] インタフェースを持つ。

### 1.2 本研究の目的

放送に用いられる通信路及び通信メディアは、放送メディア毎に、固定される。従って、より広帯域で効率的な通信メディアがある場合でも、変更することは出来ない。一方、通信は IP を用いた通信が

<sup>1,2</sup>Keio University Shonan Fujisawa Campus  
5322, Endo, Fujisawa, Kanagawa 252, Japan  
E-Mail: irino@sfc.wide.ad.jp

<sup>3</sup>4-2-1 Nukui-Kitamachi, Koganei, Tokyo, 184-8795 Japan

一般的になった。IP を用いた通信では、通信メディアを抽象化するため、通信メディアの変更が容易である。

従って、現在、特定の放送網で提供されているデジタル映像配信を IP ネットワーク上に展開することによって、通信メディアの制限がなくなり、広帯域データリンクも利用できるため、効率的な映像配信が可能となる。

本研究の目的は IP ネットワーク上で転送された映像・音声情報を、民生用 AV 機器で視聴可能にすることである。既に IP ネットワーク上では各種ストリーミング技術が存在するが、これらは、計算機上で再生するため、既存の放送を鑑賞する環境とは独立している。本研究は一般に入手しやすい民生用 AV 機器を映像入出力に用いることで、安価かつ、高品位な映像転送を可能にすると同時に、既存放送の鑑賞環境を活用可能である。

また、品質の変更により複数の帯域幅で利用可能とし、様々な通信環境が考えられる、IP ネットワークとの親和性を高める。

## 2 関連技術:DVTS

民生用デジタル AV 機器を用いた既存の技術として DVTS(Digital Video Transport System)[3] がある。

DVTS は DV(Digital Video) 機器から IEEE1394 インタフェースを用いて DV フォーマット [4] のデータを読みだし、そのデータに対し IP データグラム化を行い、転送を行うシステムである。受信者はリアルタイムかつ高画質の映像を受信し、鑑賞出来る。

### 2.1 DV フォーマット

DVTS は SD(Standard Definition) 仕様の DV フォーマットを扱う。DV フォーマットは DCT(Discrete Cosine Transform) と VLC(Variable Length Coding) を利用した定レートのフレーム内圧縮を行っている。フレーム内圧縮方式では、個々のフレーム情報のみで復号できる。仕様は一定であり、画質は  $720 \times 480 \times 29.97\text{fps}$  で、データ量は約 25Mbps となる。

フレーム内圧縮方式を利用しているため、フレーム毎に独立しており、個々のフレームで再生、編集が可能となる。

### 2.2 フレーム間引き

DVTS は DV フォーマットデータを送受するため、フルフレーム時に 30Mbps を超えるデータ量を使用する。DVTS は DV の映像フレームを間引く機能を持つ。DV フォーマットがフレーム内圧縮方式で個々

のフレーム毎に操作できるため、フレーム間引きが実現できる。

フレーム間引きを行うと、使用するデータ量の削減が可能となる。30Mbps のデータ送受が不可能な狭帯域でも、フレーム間引きにより、DVTS の利用が可能となる。例えば、フレーム数を 10 分の 1 にすると、DVTS のデータ送信量は、約 5Mbps となる。

### 2.3 DVTS の問題点

DVTS は DV フォーマットを利用しているため、仕様が固定されている。圧縮率を初めとする品質の変更が不可能である。従って通信環境や用途・目的に応じた品質変更が出来ない。例えば DVTS を利用して SD 仕様以外の品質の映像を扱うことは不可能である。狭帯域環境に対しては、データ量を減少させる必要がある。データ量の削減は、フレーム間引きで実現できるが、フレーム間引きを行うと、映像は断続的で不自然になる。

## 3 設計

### 3.1 MPEG2-TS の利用

既存技術である DVTS の問題を、以下に整理して述べる。

- 動作に必要な帯域幅がフルフレーム時で 30Mbps と広い
- 圧縮率を初めとする品質が一定であり、変更が出来ない。
- フレーム間引きで動作に必要な帯域を狭くできるが、映像が断続的で不自然になる。

これらの問題は、DV フォーマットの特徴に起因する。

動作に必要な帯域幅を狭くするためには、より高圧縮な方式を用いる方法が挙げられる。DV フォーマットはフレーム内圧縮であるが、フレーム間圧縮のフォーマットを採用することで、より高圧縮になる。フレーム間圧縮は、複数のフレームをまとめて扱い、フレーム間の映像の差分情報のみを保持する方法である。フレームの差分情報のみを持つので、フレーム個々の情報を持つフレーム内圧縮方式より同等画質を表現する際、データ量が小さくなる。

フレーム間圧縮を用いると、複数フレームをまとめて扱うため、編集用途に不向きになる。本研究では IP ネットワーク上で転送された映像・音声情報を、民生用 AV 機器で視聴可能にすることを目標としているので、映像編集の可否は対象外とする。

本研究ではフレーム間圧縮方式、圧縮率を初めとする品質の変更が可能なフォーマットの両条件を満

たすフォーマットとして、MPEG2-TS に着目した。MPEG2-TS は、複数の圧縮率を持ち、様々な品質が規定されている、MPEG2 フォーマットの中で、転送用途に設計されたデータ構造を持つフォーマットである。

MPEG2-TS を利用した民生用デジタル AV 機器には、BS デジタル放送受信機、D-VHS(Digital VHS)[5]、MICROMV がある。これらの機器はデジタルインタフェースとして IEEE1394 インタフェースを持つ。

### 3.2 設計要件

本研究の設計要件は、映像の入出力に MPEG2-TS に対応した民生用 AV 機器を利用し、転送経路に IP ネットワークを用いた、映像転送システムを実現することである。以後このシステムのことを MPEG2-TS 転送システムと呼ぶ。また、IP ネットワークとの親和性を高めるために、送信側の機器が複数の圧縮率を利用できる場合、その全ての圧縮率で動作する必要がある。

### 3.3 設計概要

MPEG2-TS 転送システムは、送信側と受信側に分かれて動作する。双方において、計算機と MPEG2-TS 対応民生用 AV 機器を利用する。計算機と MPEG2-TS 機器間は IEEE1394 で接続しアイソクロナス(同期)転送を用いて、データの送受を行う。計算機間は IP を利用してデータの送受を行う。映像音声情報は実時間情報であり、情報を欠損なく伝達するためには、時間あたりに一定のデータ量を送信する必要がある。そのため輻輳制御を持たない UDP を利用して通信を行う。本システムの概要を図 1 に示す。

送信側の MPEG2-TS 機器から送出されるデータ量はその機器の設定状態によって変わる。一方 IEEE1394 インタフェースがアイソクロナス転送を行う回数は毎秒 8000 回と定まっているため、データ量によって IEEE1394 アイソクロナスパケットのデータ長は変化する。

受信側において、計算機は MPEG2-TS 機器に対して、送信側の MPEG2-TS 機器が行うアイソクロナス転送を再現する必要がある。本設計では機器から受信したアイソクロナスパケットをそのまま UDP パケット化する。この方法で、圧縮率の変更によるアイソクロナスパケットの変化に対処できる。

### 3.4 送信部

送信部分は IEEE1394 からデータを受信する部分と、IP ネットワークに対してデータを送信する部分に分かれる。IEEE1394 から受信されたアイソクロ

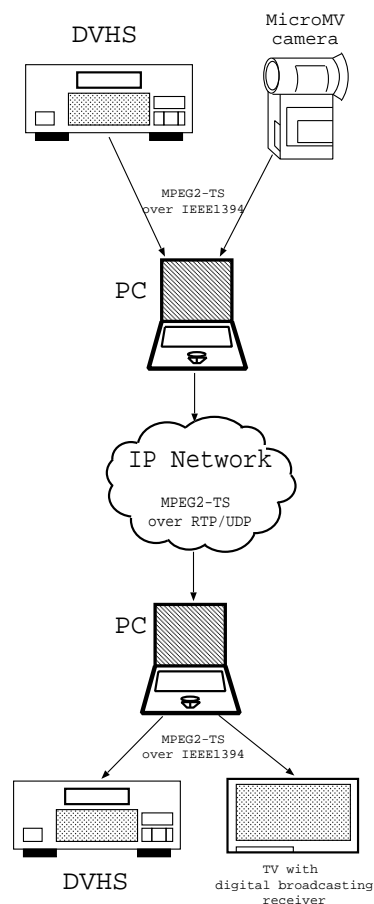


図 1: MPEG2-TS 転送システムの概要図

ナスパケットは IP ネットワークへの送信を行う部分で、複数個まとめられた後、IP ネットワークへ送信される。

#### 3.4.1 IEEE1394 からのデータ受信

計算機は MPEG2-TS 機器から IEEE1394 のアイソクロナス転送を用いて、IEEE1394 アイソクロナスパケットを受信する。

IEEE1394 アイソクロナスパケットの構造を以下の図 2 に示す。

受信する IEEE1394 アイソクロナスパケットは以下の 3 つの部分から構成される。

- IEEE1394 アイソクロナスヘッダ  
IEEE1394 パケットの長さや種類等の情報を持つ。
- CIP(Common Isochronous Protocol) ヘッダ  
CIP ヘッダは IEEE1394 上を流れるデータの種類によって規定されている。IEEE1394 上を MPEG2-TS のデータが流れる場合は、MPEG2-TS 用の CIP ヘッダが用いられる。
- データ部分

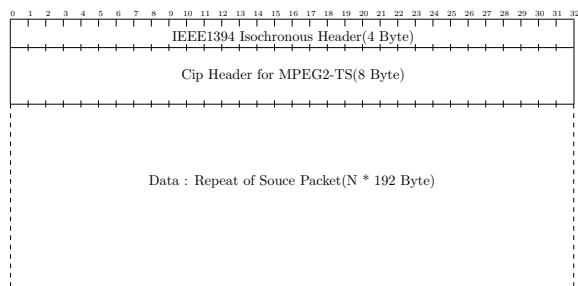


図 2: IEEE1394 アイソクロナスパケットのデータ構造

時間情報を持つソースパケットヘッダと映像音声情報などが格納された MPEG2-TS パケットから構成される。

ソースパケットは 1 つのアイソクロナスパケットの中に 0 個以上含まれる。圧縮率によってソースパケットの数は変化する。そのため、IEEE1394 アイソクロナスパケットのデータ長は可変長である。

### 3.4.2 IP ネットワークへのデータ送信

IP ネットワークへのデータ送信を行う部分では、送信用バッファの先頭に、実時間通信に用いられる RTP ヘッダを付加し、送信用バッファに可能な限りデータを挿入する。

送信用バッファが溢れないように IEEE1394 インタフェースから受信したデータを挿入するために、送信用バッファにデータを挿入する前に、IEEE1394 アイソクロナスヘッダのデータ長を示す data length フィールドの値を調べ、送信用バッファにデータを挿入するか否かを決定する。IEEE1394 アイソクロナスヘッダを以下の図 3 に示す。

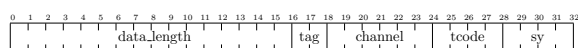


図 3: IEEE1394 Isochronous Header

アイソクロナスパケットの場合パケットの種類を表す tcode の値は 10 となる。また機器から受信する MPEG2-TS パケットを含んだアイソクロナスパケットは必ず CIP ヘッダを含む。CIP ヘッダを含む場合は tag の値は 1 になる。IP ネットワークに送出されるパケットフォーマットを以下の図 4 に示す。

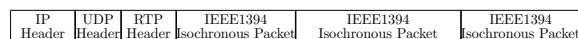


図 4: 全データ送信方式の場合の送出されるパケットフォーマット

## 3.5 受信部

受信部は IP ネットワークからデータを受信する部分と、IEEE1394 ヘッダを送信する部分に分かれる。

バッファは IP パケット受信用のバッファと IEEE1394 への送信用バッファの 2 種類を用意する。IP パケットを受け取った後、受信バッファの内容を IEEE1394 送信用バッファへコピーする。

バッファリングとして IEEE1394 送信用バッファに一定量のデータが溜った後は、IEEE1394 への送信と IP パケットの受信を同時並行で行う。

IEEE1394 送信用バッファはアイソクロナスヘッダ、CIP ヘッダ、1 つのソースパケットの合計のデータ長である 204byte 区切りで利用する。

### 3.5.1 IP ネットワークからのデータ受信

受信した IP パケットを脱 RTP パケット化した後、IP パケット内に含まれている IEEE1394 アイソクロナスパケット毎に、IEEE1394 への送信用のバッファにコピーする。受信バッファから IEEE1394 送信用バッファへのコピーを図 5 に示す。図中の IEEE1394 アイソクロナスパケットの後に続く ( ) 内の数字は、その IEEE1394 アイソクロナスパケット内に含まれる MPEG2-TS Packet の数をあらわす。処理を単純化するために、IEEE1394 送信用バッファに IEEE1394 アイソクロナスパケットをコピーする際、その IEEE1394 アイソクロナスパケットに含まれる MPEG2-TS パケットの数 × 204byte の範囲を利用する。例えば MPEG2-TS が 2 個含まれるアイソクロナスパケットはデータ長が 396byte であるが、送信用バッファでは 204byte の 2 個分にあたる 408byte の範囲を利用し、次のアイソクロナスパケットとは 12byte の空きを作る。

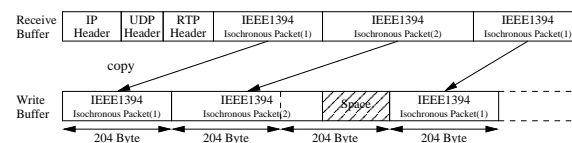


図 5: IP パケット受信用バッファから IEEE1394 送信用バッファへのコピー

### 3.5.2 IEEE1394 へのデータ送信

IEEE1394 への書き込み用のバッファからアイソクロナス転送を用いて IEEE1394 アイソクロナスパケット送信する。

## 4 実装

### 4.1 実装概要

MPEG2-TS 転送システムの実装を Linux 上で行った。IPv4 だけでなく、今後より一層の普及が見込まれる IPv6 に対応するために、IPv6 スタックとして USAGI を用いた。また IEEE1394 インタフェースを利用するために /dev/raw1394 デバイスファイルと libraw1394 を用いた。実装に用いたソフトウェアの環境を表 1 に示す。

表 1: 実装ソフトウェア環境

OS (ディストリビューション)	Linux Usagi 2.4.19 Kernel (gentoo linux 1.4rc1)
IPv6 Stack	Usagi snap (20021111)
必要ライブラリ	libraw1394 0.90
プログラミング言語	C 言語
コンパイラ	gcc 3.2

MPEG2-TS 機器としては D-VHS デッキを利用した。

### 4.2 送信部

本実装では、libraw1394 で IEEE1394 を扱うために必要な handle 及び port の設定を行う。その後、*raw1394\_loop\_iterate* を用いて、IEEE1394 からデータを受信する毎に、送信 IP パケット用のバッファへのデータ追加処理と IP パケットを送信処理を行う。

#### 4.2.1 IEEE1394 利用のための準備

linux 上で libraw1394 を用いて IEEE1394 のを取り扱う場合以下の処理が必要となる。

##### 1. handle の取得

libraw1394 を用いる場合ファイルディスクリプタの代わりに handle と呼ばれるデータ構造を利用して IEEE1394 機器との通信を行う。handle の取得は関数 *raw1394\_new\_handle()* を利用する。

##### 2. port の情報の取得と設定

1 台の計算機には、複数の 1394 バスがある。これらを libraw1394 では port と呼ぶ。通信をする際には、どの port で通信するかあらかじめ指定する必要がある。

port の情報は *raw1394\_get\_port\_info()* を用いて取得し、port の存在を確認した後利用する port 番号を *raw1394\_set\_port()* を利用して設定する。

##### 3. handle への関数の設定

libraw1394 の関数である *raw1394\_loop\_iterate()* は IEEE1394 上を流れるパケットを受け取った

際に任意の関数を呼び出すことができる。関数 *raw1394\_set\_iso\_handler()* を用いて設定する。

### 4.2.2 IEEE1394 アイソクロナスパケットの受信と IP ネットワークへのパケットの送信

*raw1394\_loop\_iterate()* から呼び出された関数内では以下の処理を行う。受信したアイソクロナスパケットのデータ長からバッファに追加可能か判断する。不可能な場合は以下の処理を行う。

- *sendto()* システムコールによるパケットの送信
- バッファの初期化

バッファの追加位置を示す変数を 0 に戻し次の送信時のために、RTP ヘッダの情報を更新する。

### 4.3 受信部

IEEE1394 へのアイソクロナスパケット送信は、125 $\mu$  秒毎に必ず行う必要がある。そのため、IP ネットワークからのパケット受信と、IEEE1394 へのアイソクロナスパケット送信を逐次処理で行うことは出来ない。IEEE1394 へのアイソクロナスパケット送信と、IP ネットワークからのパケット受信を、同時並行に行うために pthread を利用する。

#### 4.3.1 IP パケット受信部

IP パケット受信を行い、IEEE1394 への送信用のバッファにデータを *memcpy()* を用いてコピーする。IP ネットワークを用いたデータ転送ではパケットの到着時間が保証されず、パケット到着時間のジッタ (揺らぎ) が起こる。受信側で一定量のデータをバッファに蓄積し、蓄積されたデータから消費する、バッファリングを行うことで、ジッタを吸収できる。

本実装では pthread を用いて、IP パケット受信処理と IEEE1394 への送信処理を同時並行に行う。IP パケット受信処理が IEEE1394 送信処理より先に行われる保証はないため、一定量データが溜るまで、IEEE1394 送信処理を停止させ、バッファリングを行う。

受信した MPEG2-TS パケットの数と IEEE1394 へ送信した MPEG2-TS パケットの数を比較してこの値が等しい場合は、バッファが空であるとみなし、*usleep()* を呼び出し、一定時間処理を停止させる

#### 4.3.2 IEEE1394 への送信

送信を行うためには送信すべき IEEE1394 アイソクロナスパケットのパケット長を知る必要がある。IEEE1394 アイソクロナスヘッダの data length フィールドを参照してパケット長を求める。

機器へのアイソクロナス転送は *raw1394\_iso\_write()* を利用して行う。

## 5 評価

先に述べた設計要件から以下の点に置いて本システムを評価する。

- 複数の機器での動作
- 複数の圧縮率での動作及び送出データ量の計測

### 5.1 複数の機器での動作

本システムが複数種の MPEG2-TS 機器で動作するかを検証した。実装に用いた DVHS だけではなく、MICORMV カメラでも動作が確認できた。動作を確認した組合せを以下の表 2 に示す。

表 2: 動作を確認した組合せ

送信側		受信側	
種類	機種	種類	機種
D-VHS	DT-DR20000	D-VHS	HM-DR10000
MICORMV	DCR-IP7	D-VHS	HM-DR10000

### 5.2 複数の圧縮率での動作及び送出データ量の計測

一部の民生用 AV 機器では、利用者が圧縮率を指定できる。今回用いた、日立の D-VHS デッキである DT-DR20000 は IEEE1394 に送出するデータ量を 4Mbps, 6Mbps, 12Mbps, 14.4Mbps と段階的に変更できる。この全ての圧縮率での動作を確認した。

さらに、それぞれの圧縮率において送信側の計算機のネットワークインタフェースの送出データ量を 10 分間、1 秒毎に測定した。

測定時の機器及び計算機の接続図を以下の図 6 に示す。

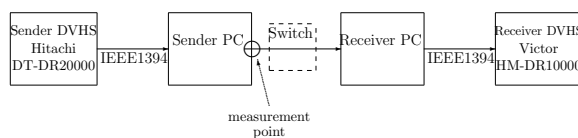


図 6: 測定時の接続トポロジ

測定結果を以下の表 3 に示す。

表 3: 平均送出データ量

圧縮率	4Mbps	6Mbps	12Mbps	14.4Mbps	DVTS (参考)
画質 (参考)	480i	480i	480i	1080i/725p	525i
平均データ量 (IPv4)	4.87 Mbps	6.94 Mbps	13.06 Mbps	15.61 Mbps	30.47 Mbps
平均データ量 (IPv6)	4.94 Mbps	7.04 Mbps	13.23 Mbps	15.85 Mbps	31.70 Mbps

様々な圧縮率での動作を確認できたことから、品質変更が可能になったといえる。これにより、通信

環境に適した映像転送が可能になったと言える。また、本システムは既存技術である DVTS と同等の画質をより少ないデータ量で実現し、狭帯域での動作を可能にした。

## 6 まとめ

本研究は、MPEG2-TS に対応した民生用 AV 機器を利用して、IP ネットワーク上で動作する映像転送システムを設計、実装を行い、送出データ量を測定し評価した。本研究により、通信環境に応じた品質変更が可能な映像転送システムが実現した。さらに既存技術である DVTS と比べて狭帯域なネットワークにおいても連続的な映像の転送が可能である。

民生用 AV 機器を利用することで、既存放送の鑑賞環境で、IP ネットワークからの映像音声のデジタル情報を鑑賞可能である。さらに品質変更をすることで使用する帯域幅を変更可能なため、様々な通信環境が考えられる IP ネットワークと親和性が高い。

今後は映像音声情報と直接関係する MPEG2-TS パケットのみを送信する方式の実装を進める。この方法により、より送出データ量が少なくなる。また、MPEG2-TS はフレーム間圧縮方式であるためパケット損失が映像に与える影響は大きい。パケット損失に対する対策を考慮した実装を行うことで、本機構はより実用的になる。

## 参考文献

- [1] MPEG-2 Generic coding of moving pictures and associated audio information. <http://mpeg.telecomitalialab.com/standards/mpeg-2/mpeg-2.htm>, Oct 2000.
- [2] Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. IEEE Std 1394-1995 High Performance Serial Bus. Aug 1996.
- [3] Akmichi Ogawa. DVTS(Digital Video Transport System). <http://www.sfc.wide.ad.jp/DVTS/>.
- [4] HD DIGITAL VCR CONFERENCE. Specifications of Consumer-Use Digital VCRs PART2 SD Specifications of Consumer-Use Digital VCRs. *Specifications of Consumer-Use Digital VCRs using 6.3mm magnetic tape*, pages 1-380, Dec 1994.
- [5] JVC. D-VHS MPEG Transport stream specification Ver1.0-. Jan 2001.