

近年、高速通信や高性能コンピュータの技術進歩は目覚ましく、映像監視や遠隔会議のような通信サービスにおいても映像の高品質化が期待されている。高品質の映像符号化と多重分離の標準である MPEG2 (Moving Picture Experts Group2) は、通信・放送・蓄積メディアとしても共通のインフラ技術であり、多方面への利用が考えられるが、通信分野への適用のためには、同期通信を考慮した映像・オーディオ情報の多重分離をコンパクトに行う必要がある。開発した CODEC (符号・復号器) のエンコーダは、仮想的なデコーダモデルを参照しながら TS (Transport Stream) の多重化を行い、デコーダでは、コンパクトな実装で高品質の映像とオーディオの分離再生を実現している。

With the remarkable progress made in high-speed communications and high-performance computer technologies in recent years, there is demand for high-quality video in such services as video monitoring and remote conferences. MPEG2 is a picture coding and multiplexing specification which will be increasingly used in various applications in the communications, broadcasting and computer fields. However, in order to apply it to communications, a compact multiplexing and demultiplexing method for synchronous communications must be realized.

We have developed a codec containing an encoder which carries out multiplexing of the transport stream (TS) while referring to a virtual decoder model, and a decoder with compact dimensions which realizes high-quality demultiplexing of video and audio signals.

### 1 まえがき

高速専用線や高速 LAN 導入による通信速度の向上や、RISC (縮小命令セットコンピュータ) 技術などを用いたコンピュータの性能向上は目覚ましい。しかし、現在、映像監視や遠隔会議用の符号化方式として主流となっている H.261 (ITU: 国際電気通信連合標準)<sup>(1)</sup> は、動画が不連続になるなど品質の面で不満が残る、動画をより高品質化することが期待されている。

高品質の映像符号化と多重分離の標準として、ISO/IEC (国際標準化機構/国際電気標準会議) で規格化されている MPEG2 は、通信・放送・蓄積メディアの共通のインフラ技術である。したがって、DVD プレーヤ、ディジタル衛星放送、映像監視など、多方面への利用が考えられている。

図 1 に基本的な通信サービスを実現する場合の構成例を示す。エンコーダから、符号化された映像とオーディオのストリームが多重され出力される。多重ストリームを受信したデコーダでは、映像ストリームとオーディオストリームを分離し再生を行う。

DVD のような蓄積メディアへの応用では、DVD にはあらかじめ符号化されたデータが記憶されており、DVD プレーヤは自分で管理する時刻に合わせて、必要な分だけ読み出して再生する。しかし、道路監視やテレビ会議など通信

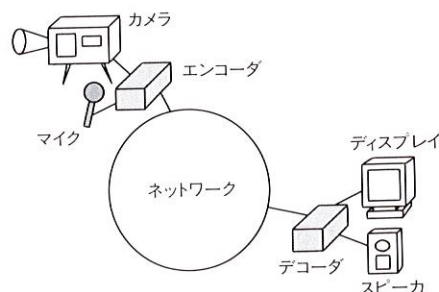


図 1. 通信サービスの実現例 映像・オーディオはエンコーダで多重され、デコーダで分離される。

Example of communications service

サービスへの応用では、エンコーダが符号化したデータがそのまま蓄積されずに伝送され、デコーダは受信したデータをそのまま復号化して出力する。この場合、エンコーダ、デコーダ間の同期が損なわれると、いずれかの通信バッファでオーバフローあるいはアンダフローが発生しデータは失われる。したがって、同期を十分考慮して多重・分離を図る必要がある。

MPEG2 の多重・分離の方法としては、主に蓄積メディアを対象とした PS (Program Stream) と、通信・放送サービスを対象とした TS がある。PS は可変長で大きなサイズを



もつパケットであるのに対し、TS は 188 バイト固定長の小さいパケットサイズをもつ。このため TS は伝送時の誤り発生時の影響は少なく、比較的容易に誤り訂正を実現できる。

ここでは通信用 CODEC を実現するため、TS の多重・分離技術に絞って、仮想的なデコーダモデルを利用した多重分離の概要について説明し、実現例を紹介する。

## 2 MPEG2 多重・分離の概要

### 2.1 パケットフォーマット

MPEG2 の多重分離方法は、ISO/IEC および ITU-T<sup>(2)</sup> で標準化されている。

TS パケットは、図 2 のような階層構造をもつ。符号化標準<sup>(3)</sup>にしたがって圧縮された映像およびオーディオのエレメンタリストリームに、ヘッダが追加されて PES (Packetized Elementary Stream) が生成される。TS パケットは固定長 (188 バイト) のサイズをもち、PES が分割されて乗せられる。

PES パケットのヘッダには、パケットの区切りを示すパケットスタートコード、映像・オーディオ情報を識別するためのストリーム ID、パケット長と、復号および表示が行われる時間情報などが含まれる。

TS パケットには、パケットの区切りを示す同期パターン、パケットの識別情報 (PID)、エンコーダとデコーダの同期を実現するためプログラムごとに共通となる PCR (Program Clock Reference) 情報などが含まれている。映像・オーディオの各 PES パケットは、それぞれ同じ PID をもつ TS パケットのペイロードに分割して多重される。

TS において、PID 情報と映像・オーディオのストリーム、およびクロック情報との対応づけは、プログラム仕様情報 (PSI) によって行われる。PSI 情報は、エンコーダで映像やオーディオ情報とともに多重され、デコーダはそれを最初に分析して、ストリームの分離が可能となる。

### 2.2 パケット多重制御

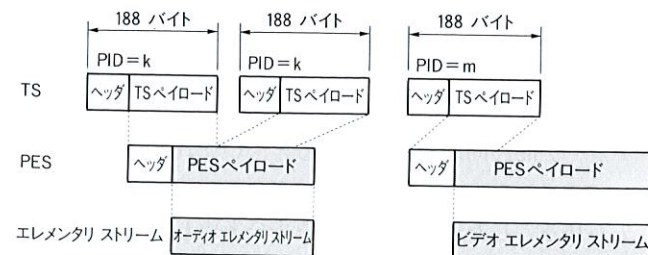


図2. パケットフォーマット エレメンタリストリーム、PES、TS の3階層の多重化構造をもつ。ストリームの種類ごとに、TS のPID は同一の値をもつ。

Packet format

符号化されたビデオ情報は、映像の動きに応じて変動するが、その変動を吸収するためのバッファを介して一定レートに変換される。符号化されたオーディオ情報も一定レートで入力される。入力情報は、いずれも一定レートであるが、出力レートは一般的に通信路に依存して決定されるため、レートの違いを吸収して、効率よく多重するような制御が必要となる。

エンコーダは、各ストリームを多重するにあたって図3のような、仮想的なシステムターゲットデコーダ (STD) モデルを利用して多重化を行う。

このSTDモデルは、多重ストリームを分離し、各圧縮情報 (映像・音声など) を取り出し、個々のデコーダにおいて同期再生を行うための理論的なデコーダバッファモデルである。エンコーダは多重にあたって、このモデルの各バッファ占有量を管理し破綻 (たん) が生じないように多重順序を決定する。

ビデオデコーダの前段にあるエレメンタリストリームバッファ  $EB_i$  は、ビデオのレート変動を吸収するためのバッファで、変動量の最大値の大きさに設定する。

ビデオ PES の分離処理を行うための多重バッファ  $MB_i$  の大きさと出力速度は、ストリームのプロファイル、レベル、レイヤごとに設定される最大の映像ビットレートに応じて一定値に決定される。

ビデオ TS の分離処理を行うためのトランスポートバッファ  $TB_i$  にデータがある場合、出力速度は、ストリームのプロファイル、レベル、レイヤに依存する最大の映像ビットレートに応じて一定値に決定される。  $TB_i$  にデータがない場合は、出力速度が0となる。バッファの大きさはストリームの種類によらず固定値となる。

オーディオデコーダの前段にあるメインバッファ  $B_n$  の出力速度は、符号化のレートによって決定されるが、大きさ

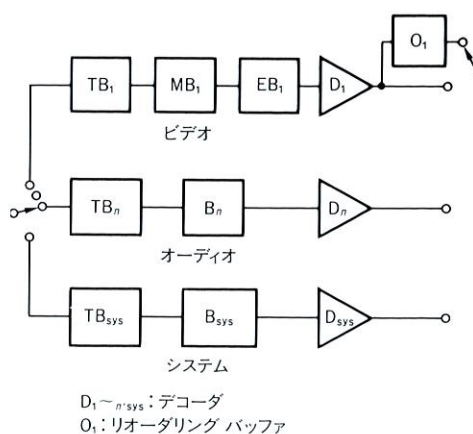


図3. システムターゲットデコーダ エンコーダが多重処理を行うために管理する仮想的なデコーダモデルを示す。

System target decoder



は固定値となる。

オーディオ TS の分離処理を行うためのトランスポートバッファ  $TB_n$  にデータがある場合、出力速度は固定値となるが、 $TB_n$  にデータがない場合は、出力速度は 0 となる。 $TB_n$  の大きさは固定値をとる。

PSI 情報などシステムの制御情報をデコードするためのトランスポートバッファ  $TB_{sys}$  は、データがある場合の出力速度は固定値となるが、データがない場合は出力速度が 0 となる。 $TB_{sys}$  の大きさは固定値をとる。また、メインバッファ  $B_{sys}$  の大きさは固定であるが、出力速度は制御データの伝送レートが高い場合、それに依存する。

エンコーダでは、以上のような STD モデルの状態を管理し、各バッファで破綻が生じないように制御する。たとえば、 $TB_1$ 、 $TB_n$ 、 $TB_{sys}$ 、 $B_n$ 、 $MB_1$  はオーバフローしてはいけないし、 $B_n$ 、 $MB_1$  はアンダフローもしてはいけない。 $EB_1$  は低遅延モードで符号化されないかぎり、アンダフローしてはいけない。

## 2.3 タイムスタンプ制御

エンコーダが仮想的な STD モデルに基づいてストリームを多重しても、デコーダがその動作に合っていないければ、品質の良い再生はできない。

仮想的な STD モデルと実際のデコーダの動作を一致させるため、エンコーダはタイムスタンプ情報を多重し、デコーダはそれを見て映像やオーディオを再生する。

MPEG2 のトランスポートストリームで伝送されるタイムスタンプ情報には、エンコーダのシステムクロックをデコーダで再生するための PCR 情報と、ビデオとオーディオの PES にそれぞれ含まれる復号時刻情報 DTS (Decoding Time Stamp)、および表示時刻情報 PTS (Presentation Time Stamp) がある。ここで、PCR は 27 MHz の精度があるが、DTS、PTS は 90 kHz の精度をもつ。

エンコーダでは、符号化に使用するシステムクロック (27 MHz) で STC (System Time Clock) カウンタがインクリメントされており、TS パケットを生成した時刻のカウント値が、PCR 情報として多重される。この PCR 情報は、エンコーダと同期したクロックがデコーダで安定して生成できるように、一定周期以下 (0.1 s 以内) で多重されている。

デコーダでは、受信した PCR を基に図 4 のような、PLL

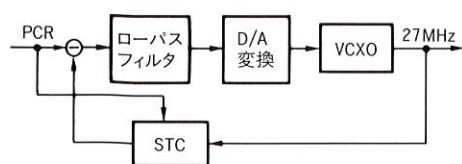


図 4. システムクロック同期用の PLL 回路 デコーダが、エンコーダのシステムクロックと同期したクロックを生成するために使用する。  
PLL circuit for system clock synchronization

(Phase Locked Loop) 回路でシステムクロックを生成する。

デコーダで最初に受信した PCR 値は、デコーダの STC カウンタにロードされる。その後、STC カウンタは、VCXO (Voltage Controlled Crystal Oscillator) から出力されるクロックでインクリメントされる。PCR が受信されるごとに、受信した PCR 値と STC カウンタ値が比較され、その差分値がローパスフィルタを通して、VCXO に入力される。これにより、エンコーダのシステムクロックと同期したクロックがデコーダで生成される。

エンコーダでは、自己の STC カウンタを基準とし、STD モデルを参照して、ビデオあるいはオーディオの PES がデコードされる時刻と、表示される時刻を推定し、それぞれの値を DTS 情報および PTS 情報として多重する。

デコーダでは、自己の STC カウンタを基準とし、受信した PES の DTS 値と STC カウンタ値が一致した場合デコードを行い、PTS 値と一致した場合、表示を行う。

これにより、エンコーダで管理する仮想的な STD モデルと、実際のデコーダの状態は一致し、安定した通信品質を保つことが可能となる。

## 3 CODEC の実現例

### 3.1 エンコーダ

エンコーダの具体的な構成例を図 5 に示す。エンコーダは、映像を入力する A/D 変換部、ビデオエンコーダ、圧縮されたビデオデータを蓄積するバッファ、オーディオを入力する A/D 変換部、オーディオエンコーダ、圧縮されたオーディオデータを蓄積するバッファ、多重処理部、多重出力を行うバッファから構成される。

映像およびオーディオ情報が入力されると A/D 変換が行われ圧縮されて、それぞれエレメンタリストリームがバッファに記憶される。

多重処理部は、2.2 節で説明した STD モデルの状態を、1 TS 処理するごとに更新し、仮想的 STD モデルの各バッファの状態を管理する。

さらに多重処理部は、一定周期で以下の処理を繰り返す。

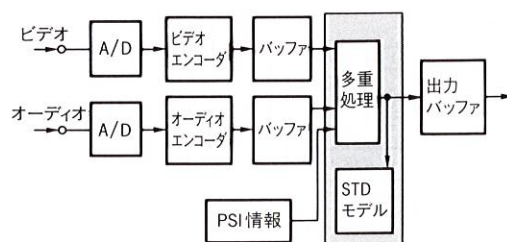


図 5. エンコーダの構成例 STD モデルを参照しながらビデオ、オーディオ、PSI 情報を多重する。

Example of encoder configuration



- (1) 映像のシンタックスを解析し、PES ヘッドを生成する。
- (2) 音声のシンタックスを解析し、PES ヘッドを生成する。
- (3) STD モデルの各バッファで破綻が起きないように、多重する PES 情報、あるいは PSI 情報を選択する。
- (4) 一定周期に出力される TS パケットの生成と送出を行う。

また、タイムスタンプ情報の設定についても、STD モデルを基準に行う。

PCR 値は、TS パケットが STD モデルに送信される時刻の STC カウンタ値を設定する。この値は TS パケットが、出力バッファに送信される時刻を示している。

DTS 値は、PES パケットがデコードされる時刻を STD モデルで管理し、その値を設定する。PTS 値に関しては、PES パケットが表示される時刻を STD モデルで管理し、その値を設定する。

出力バッファは、多重制御部の出力と、外部出力の位相差を吸収するためのバッファで、出力バッファからの出力レートと STD モデルの入力レートは一致する。

### 3.2 デコーダ

デコーダの具体的な構成を図 6 に示す。

フレーム制御部は、TS パケットのヘッド位置を検出する。パケットの先頭を示す同期パターンは定義されているが、ユニークではなくほかでも存在する。そのため、同期検出にあたっては、188 バイト間隔で連続して検出したときにだけ、それと判断するような同期制御を行う。

分離制御部は、TS パケット受信開始時、PSI 情報だけを受信し、それ以外のパケットは廃棄する。PSI 情報が解析されると、PSI テーブルが生成される。PSI テーブルには、映像およびオーディオパケットの PID 値と、PCR 情報を含むパケットの PID 値が含まれており、それ以後、各ストリームの分離が可能となる。

PCR 値は、その PID 値とヘッドに含まれるフラグ情報か

ら検出され、2.3 節の PLL 回路でシステムクロックを生成し、STC カウンタに入力する。

ビデオデコーダは、自己の STC カウンタの値が PES デコーダで検出した DTS 値と一致したときにデコードを行い、PTS と一致したときに表示する。オーディオデコーダについても同様に制御する。

デコードには図 6 で示したように、いくつかのバッファが存在するが、これらのバッファは、図 3 の STD モデルに対応している。

例えば  $TB_1 \sim TB_{n,sys}$  のトランスポート バッファは、バッファ A で共有した構成となっている。ビデオ PES デコード前の多重バッファ  $MB_1$  はバッファ B に相当する。可変レートのデータを出力する  $EB_1$  はバッファ C に相当し、オーディオのバッファ  $B_n$  は、バッファ D とバッファ E に対応する。システムデータのバッファ  $B_{sys}$  は、バッファ F に対応している。

### 3.3 コンパクト設計への対応

RISC など高性能プロセッサ技術の向上により、エンコーダの STD モデル管理や TS 多重処理、およびデコーダの TS 分離、システムクロック同期のフィルタ制御など、かなりの部分がソフトウェア処理可能となっている。今回の設計では、積極的にソフトウェア処理を取り入れることで、開発期間短縮と低コストな設計が実現されている。

## 4 あとがき

多重・分離機能を含む MPEG2 エンコーダ・デコーダが、パソコンの拡張スロットに実装できる程度の大きさで実現できるようになった。今後、通信コストの低下で、高品質な映像への要求も顕著化し、これに関連する事業規模の拡大が期待されている。この技術を利用した CODEC システムは、1997 年 3 月から運用が始められている。

## 文 献

- (1) ITU-T H.261 : Video Codec for Audio Visual Services at p×64 kbit/s
- (2) ITU-T H.222.0 (ISO/IEC. 13818-1) : Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio : System
- (3) 藤原 洋, 他 : 最新 MPEG 教科書, pp.231-252, アスキー出版

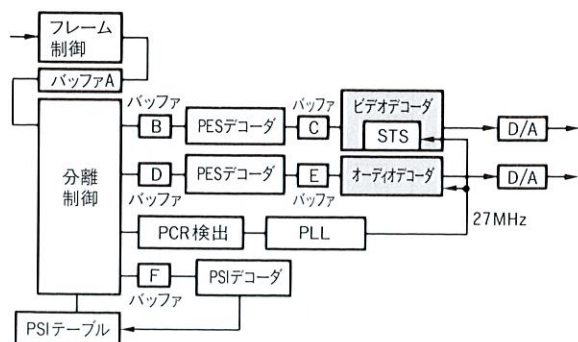


図 6. デコーダの構成例 実際のデコーダ回路の設計例を示す。  
Example of decoder configuration



藤澤 栄蔵 Eizo Fujisawa

情報・通信システム技術研究所 開発第二部主務。  
ネットワークおよび画像通信関連の開発に従事。電子情報通信学会会員。  
Information & Communications Systems Lab.



山口 武史 Takeshi Yamaguchi

情報・通信システム技術研究所 開発第二部主務。  
デジタル技術応用通信システムの開発に従事。  
Information & Communications Systems Lab.