

DVD システム用 LSI 技術

LSI Technologies for DVD System

大野 達之
T. Ohno

児山 元昭
M. Koyama

田村 正之
M. Tamura

DVD 規格がまとまり、各社から関連商品が発表された。DVD システム用 LSI は、これら商品のキーデバイスである。DVD 規格の物理階層や論理階層は、将来にわたるマーケットと半導体技術の動向の予測のもとに構築されている。今回開発した LSI 群は、この DVD システムを検証するために築かれた技術を IC としてまとめたものである。全体は、DVD-ROM/R (Recordable) ディスクが再生可能な“光ピックアップユニット”，サーボ処理とチャンネルデコードの“物理系ブロック”，映像・音声デコードの“アプリケーションブロック”から構成され、10 種の新規 LSI から成る。これらの LSI には RF 信号処理とサーボ技術，チャンネルデコードと ECC 技術，MPEG2 復号化技術，副映像処理技術などの新技術を内蔵している。

With the DVD format being finalized, product plans for DVD-related equipment have been announced by many manufacturers. One of the key devices is the LSI system. In determining the system architecture for the LSIs, we carefully considered the market trends and new semiconductor technologies for the coming new century.

Our newly developed DVD LSI system is a compilation of technologies developed for system evaluation. The system consists of three blocks: the “pickup unit,” for reproducing RF signals from the DVD-ROM/R disc; the “physical block,” for servo processing and channel decoding; and the “application block,” for audio and video decoding. These blocks are realized with 10 LSIs.

This paper provides an outline of the DVD system, and describes details of the LSI functions and the new technologies introduced for the new LSIs.

1 まえがき

DVD は、デジタル技術と光技術の急激な技術革新によって実現したものであるが、これを支えているのが半導体技術の進展である。マルチメディア時代の幕開けに伴い、DVD 用 LSI に対する市場の期待は大きく、また第一世代から高性能化とコストダウンを強く求められている。

今回、全システムの最適化の意味も含めて、10 品種の DVD 専用 LSI を開発した(図 1)。これらは、DVD ムービープレーヤ、DVD-ROM ドライブ、パソコン用 MPEG (Moving Picture Experts Group) ボードなどへの展開が考えられるが、ここでは図 2 に示す DVD ムービープレーヤの構成を中心に、各 IC の概要と技術について述べる。

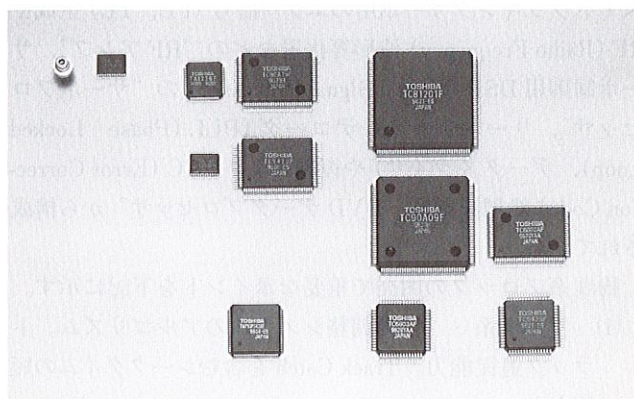


図 1. DVD LSI システム DVD システム用に開発した IC シリーズ。
DVD LSI system

2 DVD システムの機能概要と LSI 構成

2.1 機能概要

DVD システムは、ディスクから記録信号を読み取る“光ピックアップユニット”，リードチャンネルデコードやサーボ処理および復調&エラー訂正などから成る“物理系ブロック”，そしてビデオ・音声・副映像復号の“アプリケーションブロック”で構成されている。

2.1.1 光ピックアップユニット 光ピックアップユニ

ットは、LD (Laser Diode)，光学部品，フォトデテクタから構成され、高密度記録された光ディスクからデータを正しく読み出す。また、多種のディスクにも対応し、同一のプラットフォーム上で各種システムへの展開ができる必要がある。

このため、フォトディテクタの微弱電流信号を増幅し、広帯域の信号伝送を可能にする高性能 電流/電圧変換アンプ IC (以下、I/V 変換アンプと略記) をユニットに内蔵する

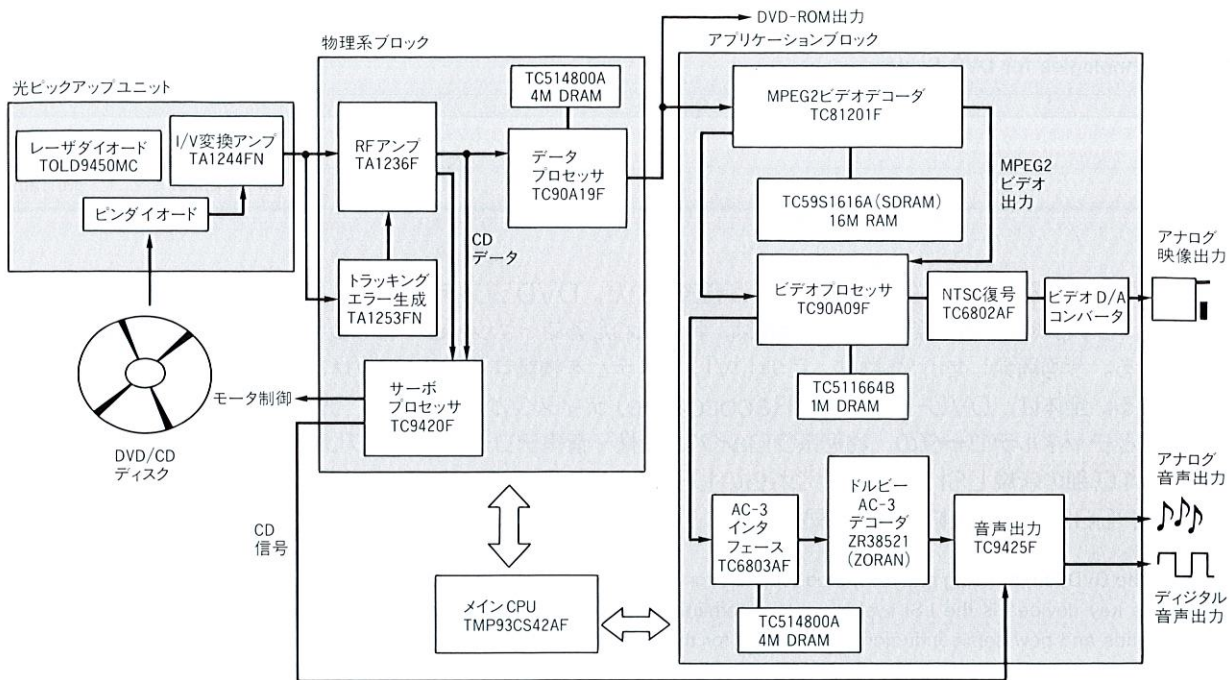


図2. DVDプレーヤLSIの構成 DVDシステムICを用いて構成したDVDプレーヤの例。
Configuration of DVD player LSIs

ことが不可欠である。今回、ディスクの種別に合わせてゲイン制御が可能な広帯域増幅ICを開発した。

2.1.2 物理系ブロック 物理系ブロックは、フォーカス・トラッキングサーボ用のエラー信号 (FE, TE) 生成やRF (Radio Frequency) 波形等化器などの“RFアンプ”, サーボ制御用DSP (Digital Signal Processor) の“サーボプロセッサ”, リードチャンネルデコーダ (PLL (Phase Locked Loop), データスライサ) や復調およびECC (Error Correction Code) 処理を行う“DVDデータプロセッサ”から構成されている。

物理系ブロックの開発で重要なポイントを下記に示す。

- (1) サーボ系 自動調整システムのアルゴリズム。トラック追従能力。Track Catchを含むシークタイムの短縮など。
- (2) リードチャンネルデコーダ部 RF信号の2値化(データスライサ)。RLL (Run Length Limited) 変調信号からチャンネルビットクロックを生成するPLL構造。
- (3) DVD信号復調とエラー訂正部 フレーム・セクタ同期の検出と補償アルゴリズム(エラー訂正の能力は、検査行列復元の正確さに依存する)。リードソロン符号のエラー訂正処理。ディスク再生レートとアプリケーション系レートのずれを吸収するトラックバッファの処理構造。

2.1.3 アプリケーションブロック アプリケーションブロックは、MPEG2で圧縮された主映像信号の復号用“MPEG2復号化LSI”, 副映像復調, 主・副映像のミキシ

ング, CGMS-A (Copy Generation Management System-Analog), 映像出力処理のPAL・NTSC (現行テレビ方式) エンコーダがまとめられた“ビデオプロセッサ”, およびドルビー^(注1) 5.1チャンネルAC-3^(注2)やリニアPCM (Pulse Code Modulation) などの処理を行う“音声処理LSI”で構成されている。

アプリケーションブロックに入力される信号は、MPEG2のプログラムストリームに準拠しており、映像や音声その他プライベートパケットの分離を行う、システムストリームデコーダを各ICに分散配置し、カスケード接続で複数ICにデータを伝送している。

2.1.4 DVD-ROMドライブシステム ROMドライブシステムの構成は、物理系ブロックに、SCSI (Small Computer System Interface) などのインタフェースICを接続することで構成される。

同様に、パソコンにDVDドライブを接続してムービーディスクを再生する場合のパソコン内蔵用MPEGボードには、アプリケーションブロックのICで構成できる。

2.2 LSIの特長

以下に、各ICの機能と特長を述べる。

- (1) TA1244FN : I/V変換アンプ

6チャンネルのI/V変換アンプで、以下のような特長がある。

- (a) 帯域内特性がフラットな低ノイズ高gmアンプ

(注1), (注2) ドルビーおよびAC-3は、Dolby Laboratories Licensing Corporationの商標。

- (b) シングル・デュアルレイヤディスク対応ゲイン切換え (0 dB/+10 dB)
 - (c) ばらつき補償用ゲイン切換え (-2/+2/+6 dB)
- 出力波形例を図 3 に示す。

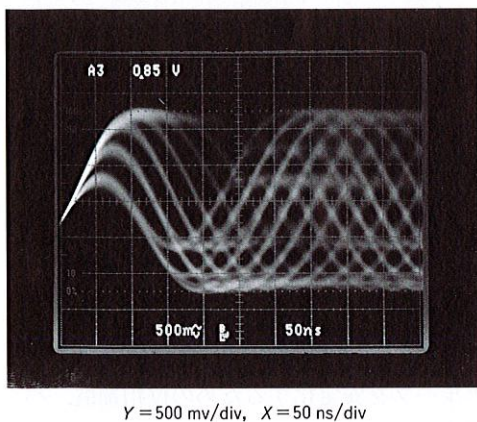


図 3. DVD 再生時の RF 波形 I/V 変換アンプの出力にはこのような波形が現れる。

DVD RF waveform

- (2) TA1253FN (位相差 TE 生成 IC)
 - 1 ビーム位相差トラッキングエラー信号を生成する。
 - (a) 位相差オフセット特性補償機能内蔵
 - (b) トラッキングエラーバランス調整機能内蔵
 - (c) 不良波形検出と誤動作除去機能内蔵
 - (d) ノイズパルス除去機能内蔵
- (3) TA1236F (RF アンプ)
 - 波形等化、サーボ誤差信号生成とレーザの制御を行う。
 - (a) DVD/CD 用 RF 波形等化处理機能内蔵
 - (b) DVD/CD 用フォーカスエラー信号生成機能内蔵
 - (c) CD 用 3 ビームトラッキング信号生成機能内蔵
 - (d) DVD/CD 用トラッキングエラー信号切換え機能
 - (e) レーザ出力自動制御回路内蔵
- (4) TC9420F (サーボプロセッサ)
 - DVD/CD サーボ処理および、Audio CD 再生処理を行う。
 - (a) フォーカス・トラッキングサーボ自動調整機能内蔵
 - (b) RF ゲイン自動調整機能内蔵
 - (c) CD サーボ用デジタル位相補償回路内蔵
 - (d) デュアルレイヤディスク用レイヤジャンプ機能内蔵
 - (e) 音声再生用 8 倍オーバーサンプリング 1 ビット D/A コンバータ内蔵
- (5) TC90A19F (データプロセッサ)

DVD 信号復調/ECC 処理, DVD スピンドル制御を行う。

- (a) ECC 処理回路, PLL 回路内蔵
- (b) 8/16 変調信号の復調機能内蔵
- (c) バッファメモリ管理機能内蔵
- (d) DVD 用ディスクモータ制御機能, PWM (パルス幅変調) 回路内蔵
- (e) 4 M ビット DRAM 対応メモリインタフェース付
- (6) TC81201F (MPEG2 ビデオデコーダ)
 - 復号, 副映像・Audio パケットの分離を行う。
 - (a) MPEG2 MP@ML, SP@ML, MP@LL に対応
 - (b) プログラムストリーム, PES (Packetized Elementary Stream) 対応 (NTSC 専用)
 - (c) 水平・垂直フィルタ内蔵 (自動切換え機能付)
 - (d) パンスキャン・レターボックス処理機能内蔵
 - (e) 出力信号は, 4:2:2 または 4:2:0 の 8 ビットまたは 16 ビット輝度・色信号
- (7) TC90A09F (ビデオプロセッサ)
 - 副映像信号を復号し, 主映像信号と混合出力処理を行う。
 - (a) 副映像信号復号 (カラーパレット 16 色対応) 機能内蔵
 - (b) 主映像信号と副映像信号との混合機能内蔵
 - (c) デジタル映像信号出力 (ITU-R656) 機能内蔵
 - (d) オンスクリーン表示用インタフェース回路内蔵
 - (e) 音声パケットの分離・転送機能内蔵
 - (f) オンスクリーン表示用カラーパレット内蔵
- (8) TC6802AF (コピーガード付ビデオエンコーダ)
 - アナログコピーガード, NTSC エンコード処理を行う。
 - (a) ITU-R656 フォーマットのデジタル信号入力に対応
 - (b) Y/C/コンポジットビデオ, 10 ビットデジタル出力 (NTSC)
 - (c) アナログコピーガード機能内蔵
 - (d) CGMS-A 信号重畳 (マイコン制御可能)
- (9) TC6803AF (ドルビー AC-3 インタフェース)
 - 音声パケットのバッファリングとシリアル変換を行う。
 - (a) 音声パケットデータのバッファリング機能内蔵
 - (b) 音声パケットデータの平行・シリアル変換
 - (c) 外部 RAM として 256 K ビット SRAM/4 M ビット DRAM 選択可能
- (10) TC9425F (音声出力処理 IC)
 - アナログ・デジタル音声出力信号の作成を行う。
 - (a) 2 チャンネルの 2 次 Σ - Δ 変調方式 (256 fs) D/A を内蔵

- (b) デジタル音声信号を IEC-958 形式で出力
- (c) PLL 用 VCO (Voltage Controlled Oscillator)(512 fs) を内蔵

3 RF 信号処理とサーボ技術

DVD プレーヤでは、一つのディスクドライブで CD から DVD のデュアルレイヤまで、多様なディスクを再生しなければならない。これらのディスクは、ビット幅・ビット深さ・反射率・読取り光学系などがそれぞれ異なるために、サーボを最適な方式や状態に柔軟に切り換えるシステムが必要である。また、特に DVD ディスクでは記録密度がきわめて高いため、従来よりもフォーカスサーボとトラッキングサーボの残留エラーを小さく、またリードチャネル信号の雑音・ひずみを低く抑えることが要求される。

光ピックアップのフォトディテクタ出力電流は図 4 に示すように、ピックアップに搭載された低雑音・広帯域 I/V 変換アンプ TA1244FN で増幅する。ここでは、各種の光学系に最適なゲイン設定と、2 層ディスク再生時のゲイン増加を行うことができる。

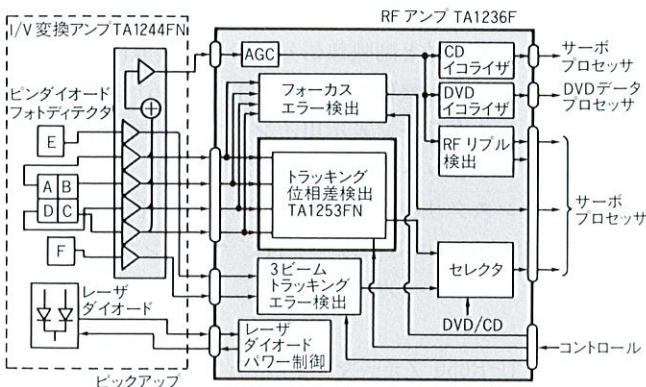


図 4. I/V 変換アンプ、RF アンプ、トラッキングエラー生成 I/V 変換アンプで電圧に変換された RF 信号は RF アンプで波形等化される。

Configuration of I/V amplifier, RF amplifier and TE detector

I/V 変換アンプ出力の RF 信号は、次に TA1236F で AGC (Automatic Gain Control) をかけた後、波形等化を行う。誤り率がディスクに合わせてつねに最小となるよう、波形等化器の制御特性には三つの自由度をもたせてある。さらに TA1236F では、各種サーボ信号を生成する。フォーカスエラー信号、CD 用 3 ビームトラッキングエラー信号、またトラックサーチ制御のための RF リプル信号などである。

DVD ディスクのトラッキングサーボには、1 ビーム位相差方式を採用した。TA1253FN で、このトラッキングエラー信号を生成し、また、ディスクのばらつきによって発生するオフセットの補償を行う。

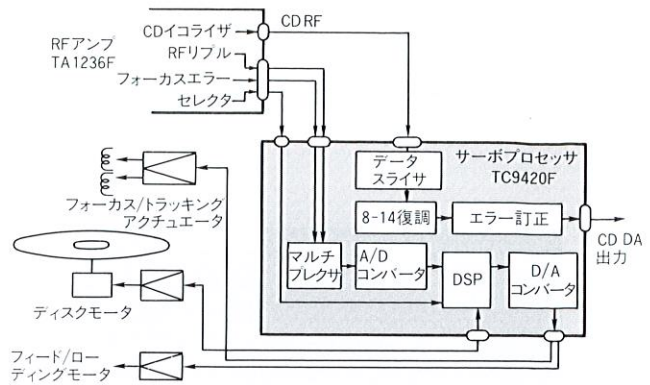


図 5. サーボプロセッサ サーボプロセッサ TC9420F は DVD プレーヤ、CD プレーヤどちらにも使用できるように設計されている。

Configuration of servo processor

サーボループを安定化するための位相補償、バランス・ゲイン調整、サーチコントロールなどはすべて TC9420F によってデジタルで処理する(図 5)。また、2 層ディスクのレイヤ間ジャンプ、さらに CD 再生では、ワイドレンジキャプチャ PLL、スピンドルサーボ、訂正処理を行う。

4 チャンネルデコーダと ECC 技術

RF アンプで波形等化された再生 RF 信号は、TC90A19F のリードチャネルデコーダ部で、スライスレベル信号と比較し 2 値化する。これはデータ復調部に供給するとともに、スライスレベル生成器と位相検出器および RLL 検出器に供給する。IC 内部の構成を図 6 に示す。

スライスレベル生成器ではコンパレータ出力の DSV (Digital Sum Value) がゼロとなるようなスライス値を DAC

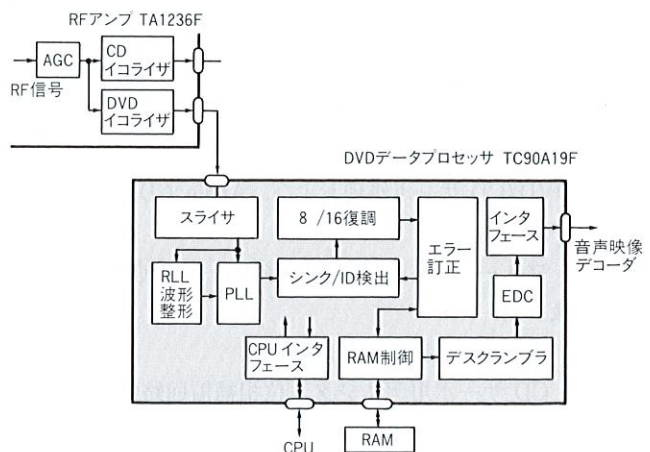


図 6. チャンネルデコーダと ECC の構成 DVD 再生信号はサーボプロセッサ内で 8-16 復調、エラー訂正処理をされ、アプリケーション回路へ送られる。

Configuration of channel decoder, ECC

(D/A Converter) 入力に与え、位相検出器では再生クロックと2値化データとの位相差を検出して位相誤差信号を生成する。また RLL 検出器では、再生 RF 信号に含まれる特定パターン情報から再生データレートを検出し、再生クロック周波数の補正信号を生成する。位相誤差信号と再生クロック周波数補正信号の加算信号によって再生クロック生成用 VCO を制御する。

DVD では、フレーム同期信号が 91 データシンボルごとに挿入され、26 フレームで 1 セクタが構成されている。

8 種類存在するフレーム同期信号は、発生順序を検査することによってフレーム位置が判断できるように配置されている。判断結果からバッファメモリへの書込みアドレスの設定と修正を行うが、誤判定によるフレームずれが発生すると、結果的に長いバーストエラーとなる。これを防止するために、TC90A19F では、アドレス修正条件を厳しくしている。

2 値化ビット列からデータシンボルを切り出すタイミングは、検出したフレーム同期信号を基準に決めるが、フライホイール回路による保護窓を利用した誤検出保護対策と、パターン欠落時の内挿処理を行っている。また、同期外れ後の再同期の確度を高めるために専用の保護窓を別途用意してある。

DVD 信号データ復調部では、全 749 種類の変換を実現するために、まず 16 ビットデータを 768 ワードの空間に割り付ける特殊な演算を行い、この演算結果から復調データを参照できる ROM テーブルを用いて復調処理を行う。

エラー訂正部は 16 セクタ完結であり、2 系列 (PI/PO (Parity of Inner-code/Outer-code)) の誤り訂正符号を用いている。訂正実施系列の順序とエラーフラグの生成方式は、バーストエラー時の訂正能力を高め、また、ビットスリップ発生時の誤検出・誤訂正を低減する観点から決めた。訂正・トラックバッファには共通の汎(はん)用 DRAM を利用した。高速ページモード動作下で、PI/PO 系列ともに 16 ビット単位で連続アクセスが可能となるようメモリ割付けを行い、訂正演算サイクルを削減している。誤り訂正処理は、2 重 (PI/PO)~4 重 (PI/PO/PI/PO) までの対応とした。

エラー発生状況に応じて訂正能力を切り換える通常モードに加え、実装メモリ容量/入力データレート/出力データレート/クロック周波数などによって変化するトラックバッファの使用状況に応じて訂正能力を自動調整するモードを用意した。エラーフラグの生成には、まず最終実施系列のエラー訂正結果からセクタエラーフラグを生成し、次に EDC (Error Detection Code) 演算結果をセクタエラーフラグに加え、最後にエラー訂正後の ID データを期待値と比較した結果をセクタエラーフラグに加えて、エラー訂正処理後のデータ出力に同期して送出する。

表 1. TC81201F の機能一覧

Functions of TC81201F

	TC81201F
プロファイル@レベル	MP@ML, SP@ML, MP@LL デュアルプライム予測をサポート
入力ストリーム	プログラムストリーム, PES パケット, Video エレメンタリ, NTSC (720×480×30)
最大入力ビットストリーム	40 Mbps
ビットストリーム入力	専用 8 ビットパラレルまたはホスト I/F
ビットストリーム出力	指定されたストリームIDのストリームを専用8ビットパラレルから
接続メモリ	16 M ビット (1 M×16 ビット) SDRAM 1 個
垂直フィルタ	3/4 (レターボックス用), 2/1 の 2 種と自動
水平フィルタ	8/9, 4/3, 3/2, 16/9, 8/3, 2/1 の 6 種と自動
映像出力	(4:2:2)または(4:2:0)。(4:2:2)の色差信号はフィルタ補完 8 ビット輝度・色信号 (ITU-R601 または ITU-R656) また は 8 ビット輝度+8 ビット色信号
エラーコンシールメント	マクロブロック, スライス, ビクチャ
ホスト I/F	アドレス5ビット データ8ビット, IntelまたはMotorolaタイプ
バンスキャン	1/16 ビクセル精度
3:2 ブルダウン	あり
内蔵 STC	42 ビット @27 MHz, 33 ビット @90 kHz
特殊再生	高速再生, スロー再生 フリーズ(デコード停止または継続。フレームまたはフィールド)
システムレイヤ	MPEG2 システム, MPEG1 システム。DTS, PTS は 33 ビット
入力クロック	27 MHz
外囲器	プラスチック 160 ピン QFP (Quad Flat Package)
電源電圧	単一 3.3 V ± 5%。入力端子は 5 V 耐圧
消費電力	1.2 W

5 MPEG2 復号化技術

TC81201F は DVD システムのキーコンポーネントとして開発されたもので、表 1 に示すように、DVD システムに必要な機能を備え、厳しいコスト要求に答えるために回路規模・チップサイズ・消費電力を削減した。

DVD システムではビデオ、オーディオのビットストリームは MPEG2 Program_stream (PS) フォーマットで記録されている。少ない部品数で DVD システムを実現するために、TC81201F では PS からオーディオストリーム、プライベートストリームを分離可能である。外部のオーディオシステムなどと同期をとるためには、MPEG2 のシステムレイヤの解読が必要である。TC81201F は PES_packet レイヤを解読し、デコード開始時刻、表示開始時刻を指定する DTS (Decoding Time Stamp), PTS (Presentation Time Stamp) を抽出できる。また、内部時計に相当する STC (System Time Clock) カウンタと抽出した DTS を比較し、STC が DTS を越えたところでデコード開始するよう制御することで、外部のオーディオシステムなどとの同期がとれる。

TC81201F の世代では 16 M ビット SDRAM のほうが 4 個の 4 M ビット DRAM より安価になると予測し、メモリインタフェースを 16 ビット幅の 16 M ビット SDRAM とした。

TC81201F ではデコードのためのフレームメモリのほかに分離したプライベートデータやオーディオデータを格納する領域を用意している。

3:2 プルダウン、パンスキャンについては、MPEG2の規格に沿ったサポートをしている。後述する水平フィルタを用いて1/16画素単位のパンスキャンが可能である。

パンスキャン機能で720×480画素のワイド画面(縦横比16:9)から通常画面分540×480画素の部分を取り出し、720×480画素の通常モニタに表示させるために、540画素を720画素に変換する水平フィルタが必要である。TC81201Fはこのための4/3フィルタを含めて1/2、2/3解像度から通常画面に変換する2/1、3/2フィルタ、通常画面をパソコンのスクウェアピクセル画面に変換するための8/9フィルタ、欧州のデジタル衛星放送システム(DVB: Digital Video Broadcasting)用の16/9倍、8/3倍フィルタを内蔵している。また、通常モニタにワイド画面をパンスキャンなしに表示するための垂直方向3/4倍フィルタも内蔵している。

6 副映像処理技術

副映像データは、字幕データとその表示位置や色を制御する制御データから構成される。

まず1TVフレーム内に一つの枠(最大は主映像サイズ)が定義され、字幕データはその枠内の1H(1水平ライン)ごとにランレングス符号化され、定義されたV(垂直ライン)数のデータとなる。同様に位置や色変化などの制御データがテーブルで示される。次にこれらの字幕データと制御テーブルが時間軸方向に整列され、表示時刻・制御時刻のパラメータに従って遷移していく。

MPEG-プロセッサで分離された副映像と音声データは、図7に示すようにビデオプロセッサの構文解釈部(シンタックスデコーダ)で、副映像と音声分離され、副映像データはそのままメモリに書き込まれる。STCとメモリ上の時刻データが一致する時刻で、メモリから字幕データ・制御データを読み出す。字幕データはランレングス復号した後、色パレット、および主映像とのミキサ部に送られ、主映像に加算してテレビ上に表示される。

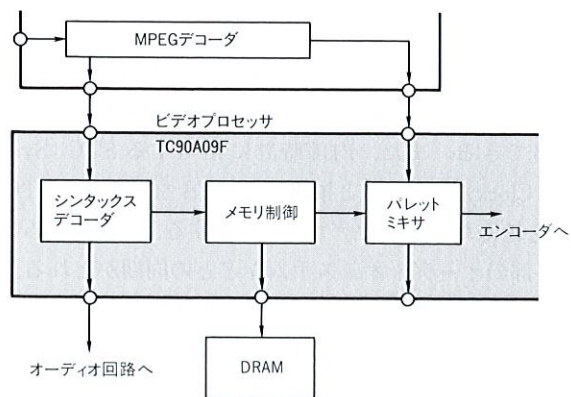


図7. 副映像処理 副映像信号はビデオプロセッサ内で主映像信号と混合される。

Configuration of sub-picture processor

データを読み出す。字幕データはランレングス復号した後、色パレット、および主映像とのミキサ部に送られ、主映像に加算してテレビ上に表示される。

副映像データは、主映像など他のデータに比べてフォーマット上の自由度が大きいことが特長である。反面、開発者にとっては、設計後の検証数、特にメモリ制御の動作検証の多さが問題であり、フォーマットを満たす多様な入力データに対して、検証データをどこまで考え得るか、どこまで作成できるかが重要となる。言い換えれば、検証の数を削減できるようLSIを構成することが、技術的なポイントとなる。しかし、構成に配慮した設計をしてもなお、フォーマットの構造上動作検証数の削減は困難であり、多くの特殊な入力データを作成してこれに対処した。

7 あとがき

今回、“第一世代”として開発したDVDシステム用LSIについて紹介した。応用商品として現在DVDムービープレーヤやDVD-ROMドライブおよびパソコン用MPEG2ボードを商品化した。DVDシステムは、マルチメディアの中核として期待が大きい。また、メディア関係でDVD-RAMなど、応用面ではDVD-Audioなどが展開されようとしている。これらの実現と発展には、システムLSIの開発が不可欠である。

今後は、最先端半導体技術とシステム技術を駆使して、性能面の向上も含め、応用展開と使いやすいシステムLSIを開発していきたい。

文献

- 鍋島大樹: DVD, 東芝レビュー, 51, 1, pp.10-13 (1996)
- 北垣和邦: MPEG2デコードLSI TC81201F, 東芝レビュー, 51, 4, pp.71-74 (1996)
- DVDフォーマット振興フォーラム コンファレンス: Dec 12 1995
- DVD FORUM IN THE USA: Apr 10 1996



大野 達之 Tatsuyuki Ohno

半導体システム技術センター 映像情報システムLSI技術部主務。
DVDシステムLSIの応用技術の開発に従事。
Semiconductor System Engineering Center



児山 元昭 Motoaki Koyama

半導体システム技術センター 情報システムLSI技術部主務。MPEGデコードの応用技術の開発に従事。IEEE ASSP 会員。
Semiconductor System Engineering Center



田村 正之 Masayuki Tamura

マルチメディア技術研究所開発第七部主務。
DVD用LSIのシステム設計に従事。
Multimedia Engineering Lab.