

2. ビデオカメラのデジタル化

正会員 西 澤 明 仁[†]

1. ま え が き

カメラ一体型ビデオは、小型・軽量化および高機能化により多くの人々に受け入れられた結果、各家庭に普及してきた。高性能化が進んできた要因としては、撮像素子やレンズおよびVTRメカ等の性能向上もさることながら、信号処理回路のLSI化に負うところが大きい。しかしながら、当初用いられていたアナログ信号処理システムでは、小型化や高機能化などに限界があり、デジタル信号処理システムの登場が待望された。

1990年に入ると、民生用映像機器に使用できる8～9ビットの低消費電力A/Dや、1～1.5 μm CMOS技術を用いたカメラ用デジタル信号処理LSI（以下、カメラDSPと記す）が開発され、デジタル化の幕が上がった。

本稿では、このカメラDSPを中心に信号処理のデジタル化について述べる。

2. カメラ信号処理のデジタル化

2.1 第1世代のカメラDSP

1～1.5 μm CMOS技術により開発された第1世代のカメラDSPは、コストの面から30kゲート規模の集積が限界であった。このため、第1世代の開発では、AGCやガンマ補正後にA/D変換を行う方式や色差線順次方式の採用により、カメラDSPに必要なビット精度を減らす工夫や、アナログ処理とデジタル処理のハイブリッド構成を採用することにより、内蔵する機能を厳選する等のゲート削減の工夫が数多くなされた¹⁾。

図1(次ページに掲載)は、最初に製品化されたシステム例であり、1.5 μm CMOS技術により開発された

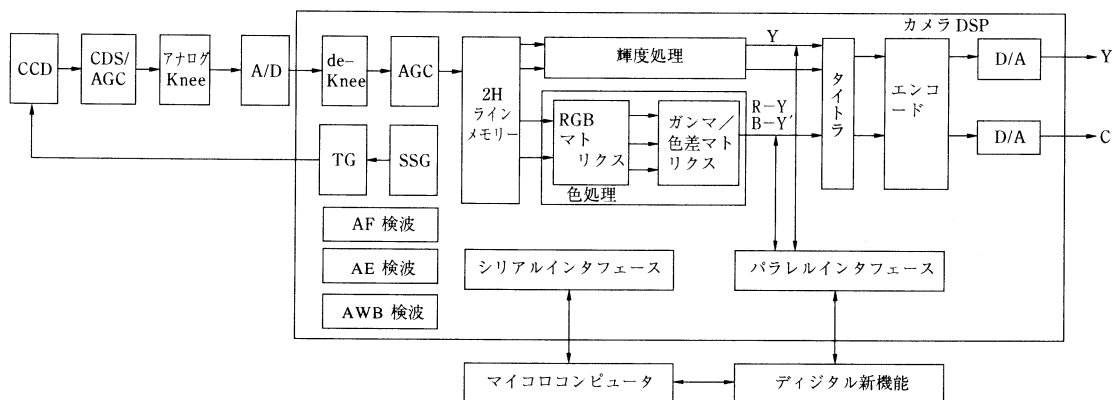
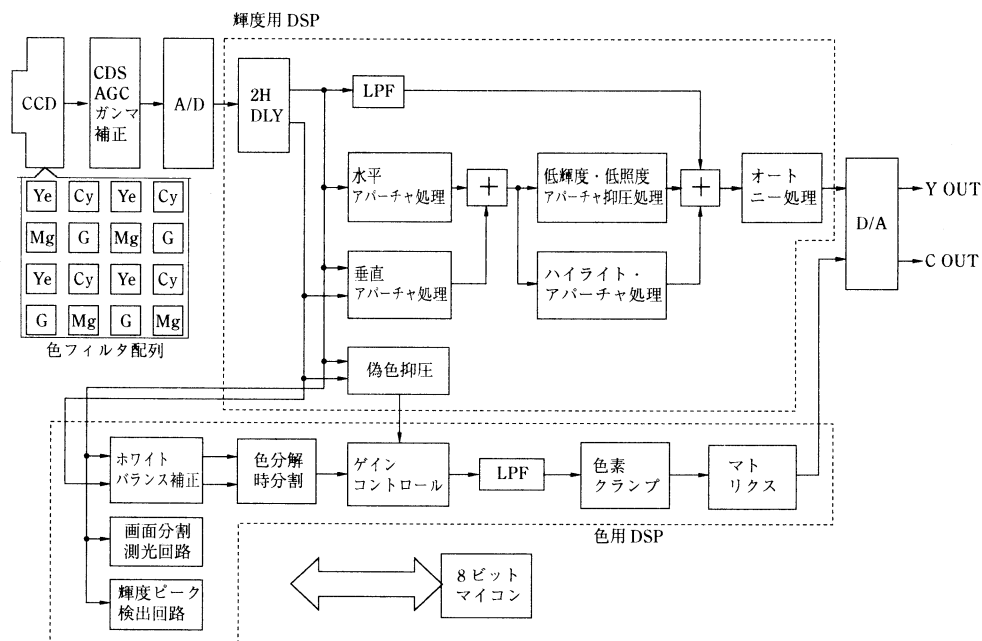
表1 デジタル信号処理ICの仕様¹⁾

	輝度用DSP	色用DSP
基 本 機 能	輝度信号処理	色信号処理
形 式	1.5 μm CMOS フルカスタム IC	
形 状	80ピン0.5mmピッチQFP	
回 路 規 模	10,000ゲート +RAM 14.4 kbit	15,000ゲート
チップ面積 (mm ²)	58	58
電 源 電 圧 (V)	4.2～5.5	
消 費 電 力 (mW)	310 (9.6 MHz)	260 (9.6 MHz)

補色線順次カラー化方式に対応した2つのカメラDSPで、それぞれ輝度と色信号を別々に処理している²⁾。このシステムでは、DSPの前後段でAGCとガンマ処理およびエンコード処理をアナログで行い、前者により8ビット精度の処理を可能にし、後者によりデータレートの変換を不要にしている。さらに、低速演算部をマイコンで処理することにより、回路規模増大の問題を解決している。このカメラDSPの別の特徴としては、2チップ構成とすることにより、低輝度・低照度およびハイライトおける数多くの画質制御機能を内蔵した点と、アナログ処理とほぼ同等のコストおよび消費電力を実現した点である。この仕様を表1に示す。

約1年後には、1 μm CMOS技術を用い、輝度や色差信号のレベルを検出する検波回路を内蔵したカメラDSPが開発されている³⁾。このカメラDSPでは、色信号による輝度信号レベルの制御やエッジ部分の色消し等の高速の画質制御を極力なくし、さらに、検波結果に基づくAE、AWBおよび画質制御をフィールド周期のマイコン制御とすることで、回路規模増大の問題を解決している。また、上記の検波回路のほかに、ガンマ処理を含む輝度および色処理、エンコード処理、SSG回路を内蔵することにより、アナログ処理

[†] 株式会社日立製作所 映像メディア研究所
“Digital Signal Processing System for Video Camera” by
Akihito Nishizawa (Image & Media System Laboratory,
Hitachi Ltd., Yokohama)



と比べカメラ部分の部品点数、消費電力共に大幅に低減している。

カメラの信号処理をディジタル化することにより、小型・低消費電力化だけではなく、撮影シーンに応じた画質コントロール⁴⁾やディジタル手振れ補正⁵⁾、電子ズーム、電子フィルタ⁶⁾、キャラクタジェネレーションなどの数多くの付加機能を、マイコンを用いて容易に実現できるようになった。また、パソコンやマイコンによる回路の自動調整化が図られ、製造時の特性ばらつきも抑圧されるなど、信頼性が向上した。

2.2 第2世代のカメラ DSP

現在は 0.8 μm プロセスが妥当な価格で提供され、10 万ゲート規模の LSI が民生用映像機器にも採用できるようになった。これにより、カメラ DSP (第 2 世代のカメラ DSP) は、CDS・AGC 回路を除きカメラに必要な基本機能をすべて 1 チップに集積するに至っている⁷⁾⁸⁾。以下、日立において開発した LSI を例にしてカメラ信号処理について説明する。

(1) 第2世代カメラ DSP の構成

日立が開発したカメラ DSP に集積した機能は以下の通りである。構成と仕様を図 2、表 2 に示す。

表 2 デジタル信号処理 IC の仕様

プロセス	0.8 μm CMOS
パッケージ	QFP 120 ピン
電源電圧	3.3 V
消費電力	420 mW
ゲート数	70 k
内蔵 RAM	19 kb
内蔵 ROM	10 kb
対応 TV 方式	NTSC/PAL/SECAM
対応センサ	画素混合読出し CCD 任意画素数対応

- ・アナログニー、デジタルデニー機能
- ・デジタル AGC
- ・画素欠陥補正処理
- ・3 ライン RGB 色信号処理
- ・輝度信号処理
- ・PAL/NTSC エンコーダ
- ・TG/SSG
- ・AE, AF, AWB 検波
- ・D/A
- ・タイトラ
- ・パラレルインタフェース
- ・マイコン用シリアルインタフェース

(2) カメラ DSP の信号処理

(a) アナログニー、デジタルデニーシステム

アナログニー回路で定格レベル (100%レベル) 以上の信号を $1/2$ に圧縮し、A/D 変換を施した後、圧縮した信号を再びデジタルデニー回路で伸長する構成とした。このようにすることで、量子化エラーの増加や色再現性の劣化を伴うことなく、入力ダイナミックレンジを 200%から 300%に拡大している⁷⁾。

(b) デジタル AGC

カメラに必要とされる AGC ゲインは大略 24 dB である。ゲインが高い場合、入力信号の S/N が悪く、カメラ DSP に必要とされるビット精度は少なくすむ。そこで、アナログ AGC で 0 から 12 dB までゲインコントロールを施し、12 dB 以上はデジタル AGC (デジタル AGC は最大で 18 dB) で行うようにしている。これにより、アナログ回路の簡素化と電力の低減を図っている。

(c) 3 ライン RGB 色信号処理³⁾

1.5 μm 程度のプロセスを用いる場合、図 3 に示す 3 ライン RGB 処理を内蔵するとチップサイズが大き

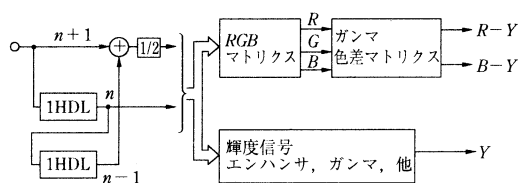


図 3 3 ライン RGB 処理

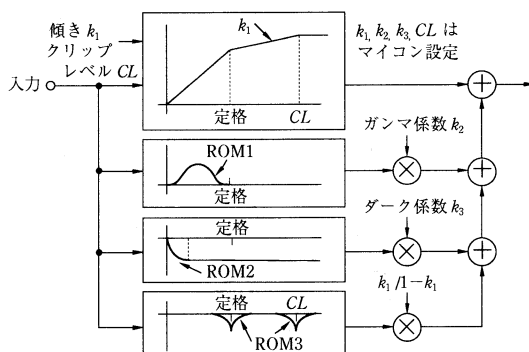


図 4 ガンマ回路の構成例

くなりすぎるといった問題があったが、プロセスの微細化と共にこの問題が解決され、現時点では、色再現性に優れモアレが少ないという特徴が広く受け入れられ、ほとんどのカメラ DSP がこれを採用している。今回開発したカメラ DSP もこれを採用し、さらに、色信号と輝度信号を生成する時に使用する RGB ゲインコントロールを分け、用途に応じたホワイトバランス制御も可能にしている。また、画質の設計をする上で重要な演算係数などのパラメータは、すべてマイコンにより設定できるプログラマブルな構成を採用し、用途に応じた最適な画質制御を可能にしている。

(d) 輝度信号処理

撮影シーンに応じた S/N 重視の画質制御と輝度再現性重視の画質制御の両立を可能にするために、撮像素子の出力にローパスフィルタをかけて生成した S/N が良い輝度信号と、ホワイトバランスの取れた RGB 信号より生成した輝度再現性の良い輝度信号とを任意の割合で混合できる構成にしている⁷⁾。また、図 4 に示すように、ガンマ補正回路を定格レベルでゲインが変わるニー回路と ROM により構成することで、黒部分の特性、定格レベル以内の特性および定格レベル以上の特性を自由に変えられるようにすると共に、ゲインが急峻に変化することで生じる波紋状のノイズ発生の問題を解決している。

その他、エンハンサの特性を任意に設定できるなど、色処理回路と同様にプログラマブルな構成を採用している。

(e) PAL/NTSC エンコーダ

エンコーダ回路は、変調時に撮像素子の駆動周波数からサブキャリアの4倍の周波数($4f_{sc}$)へデータレートを変換することにより実現している。ただし、NTSCの27万または41万画素の撮像素子を用いる場合は、撮像素子の駆動パルスを生成する回路の動作周波数を $8f_{sc}$ に設定することにより、1つの水晶発振器で駆動パルスとサブキャリアを生成できるようにしている⁹⁾。

(f) TG/SSG⁹⁾¹⁰⁾

信号処理のプログラマブル化と合わせて、撮像素子駆動回路(TG)とSSG回路もプログラマブルな構成を採用している。このプログラマブル化は、パルス毎に位相もしくは周波数をマイコンにより指定することで実現し、TGでは任意の画素数に、また、SSGではPAL/NTSC/SECAMに対応したパルスの生成を可能にしている。

(g) インタフェース機能

インタフェース機能としては、上述したパラメータをマイコンで設定するためのシリアルインタフェースと、輝度および色差信号を出力するパラレルインタフェースを持っている。付加機能は、このパラレルインタフェース部分に機能LSIを接続することにより簡単に実現することができる。

(3) デジタル新機能

デジタル新機能の代表的な例として電子ズームと自動追尾があるが、電子ズームに関しては3章で扱われるため、ここでは今後の興味深い技術である画像抽出を用いた自動追尾に関する信号処理についてに述べる。

大きな音の出ている方向を検出したり、特定の色を映像信号から検出して、自動追尾を行うカメラが製品化されている。自動追尾はこれから発展が期待される技術のひとつであり、画像抽出技術を用いた例が報告されている¹¹⁾。画像抽出の処理は以下の手順により実現している。

(i) C/Y平面に変換した映像信号を抽出条件に従い2値化し、抽出候補領域を決める。

(ii) 複数の候補領域から目的の被写体だけを選択するために、初期領域としてのコアを目的の被写体上にセットし、このコアを抽出候補領域より一回り大きくなるように成長させる。これによ

り常に同じ被写体を抽出することができ、抽出した被写体が画面の中心に来るように雲台等を制御することにより、精度の高い自動追尾を実現することができる。

3. む す び

カメラDSPの変遷と内蔵されている機能、および別のLSIとの組合せで実現している新機能の概要について一例を説明した。カメラの信号処理をデジタル化することにより、基本機能を充実させながら小型・低電力化、特性の安定化が得られ、さらに、オート機能(AE, AWB, AF等)や画質制御のインテリジェント化を達成している。今後は、マイコンを含めた更なる集積化と合わせ、信号処理回路のプログラマブル化が進み、マルチメディアなどの用途にソフトウェアで幅広く対応できるような、より汎用的な画像処理LSIに発展するであろう。また、現在付加機能のLSIとして試作検討されている画像抽出や認識も、カメラDSPのソフトウェアで実現できるようになり、カメラは知能を持った人工の目として広い分野で応用されていくものと思われる。(1994年9月27日受付)

【参 考 文 献】

- 1) 田村ほか：“単板ビデオカメラのデジタル信号処理”，テレビ学技報，15，7，CE-7，pp.37-42 (Jan. 1991)
- 2) A. Morimura：“A Digital Video Camera System”，IEEE Trans. C. E., 36，4，p.866 (Nov. 1990)
- 3) 大坪ほか：“カメラ信号処理のデジタル化”，テレビ学技報，15，7，CE 91-5，pp.25-30 (Jan. 1991)
- 4) 垂水ほか：“ビデオカメラの環境適応処理”，テレビ年次大(1992)
- 5) 西田ほか：“デジタルカメラシステムの開発”，シャープ技報，55，pp.51-55 (1993)
- 6) 西村ほか：“ビデオカメラ用電子フィルタの開発”，テレビ年次大(1992)
- 7) 西澤ほか：“カメラ用高画質・高集積デジタル信号処理LSIの開発”，テレビ年次大(1993)
- 8) 西田ほか：“第二世代デジタルカメラシステムの開発”，シャープ技報，58，pp.61-65 (1994)
- 9) 衣笠ほか：“A Flexible Scanning System For Multi-format Video Camera”，IEEE Trans. C. E., 40，3，p.605 (Aug. 1994)
- 10) 古塩ほか：“プログラマブルTG内蔵ビデオカメラ用デジタル信号処理LSIの開発”，テレビ年次大(1994)
- 11) 田中ほか：“画像抽出LSIの試作”，テレビ年次大(1994)



にしざわ あきひと
西澤 明仁 昭和60年、東京電機大学工学部電機通信工学科卒業。同年、(株)日立製作所に入社。映像メディア研究所にて、ビデオカメラの研究開発に従事。正会員。