

2-3 信号処理

阪 口 知 弘[†], 正会員 小 沢 直 樹^{††}

1. ま え が き

デジタルスチルカメラの信号処理には、ビデオカメラの信号処理で培われてきたシステム技術、回路技術が生かされている。特に、撮像部に CCD を用い、最終的な出力信号が輝度信号と色差信号であることから、本線信号系の処理はビデオカメラのものとほぼ同一である。これに加えて、AE (Auto Exposure), AF (Auto Focus), AWB (Auto White Balance) などの自動調整機能、データ圧縮部へのインタフェース機能、ファインダ表示のための再生機能などを備えているのが、一般的なデジタルスチルカメラの信号処理である。これらの機能をどのような形態で実現するかは、カメラのグレード、あるいは使用する CCD に依存する。

本稿では、デジタルスチルカメラの信号処理に必要な機能と構成の概要を、実例をとりあげて説明する。また、デジタルスチルカメラでは通常、4:2:2 の出力信号を扱うので、家庭用ビデオカメラにくらべてクロマ信号の高解像度化が必要である。これを実現する、将来の信号処理技術が研究されているので、あわせて紹介する。

2. 信号処理部の構成

デジタルスチルカメラは、すでに各種グレードのものがあるが 30 機種以上製品化されている。その信号処理回路の内容と構成は、製品コンセプトを反映して様々である。一般向けモデルとハイエンドモデルの全体構成の一例を、それぞれ図 1¹⁾、図 2²⁾ に示す。図 1 の一般向けモデルは、補色系色フィルタと 38 万画素の IT-CCD を用いた、ポケットカメラタイプのものである。図 2 のハイエンドモデルは、原色系色フィルタと 130 万画素の VT-CCD を用いた、一眼レフタイプのものである。

[†] 株式会社リコー パーソナル事業部

^{††} ビーテック

“Signal Processing” by Norihiro Sakaguchi (Personal Products Division, Ricoh Co., Ltd., Tokyo) and Naoki Ozawa (B. Tech Ltd., Tokyo)

以下、これらの構成を例にとり、デジタルスチルカメラに必要な信号処理の内容を説明する。

3. 信号処理の機能

3.1 アナログ処理部

CCD の出力信号をデジタル化するまでに行うアナログ処理の内容は、CDS、非直線処理などである。

CCD の出力信号は、CCD のリセット雑音と低周波雑音を低減する CDS (関連 2 重サンプリング) 回路を経て、一般的には、ガンマ回路あるいは定格レベル以上の信号を 1/2 程度に圧縮するニー回路などに加えられる。高輝度部を非直線処理で圧縮してから A/D 変換器に加えると、量子化誤差を増加することなく、9~10 ビット程度の限られた量子化数の A/D 変換器で、200~400% 程度の信号を扱える³⁾。

なお、非直線処理の前のリニアな信号にシェーディング補正を施す例⁴⁾、リニアな信号のままデジタル化し、色信号毎に分離してから分光感度補正のマトリクス演算を行うことによって、良好な色再現性を強調した例もある⁵⁾。

3.2 DSP と周辺回路

デジタル化された信号は、図 1 では IPP、図 2 では Y/C プロセッサと示した DSP (デジタル信号処理) 用の LSI に加えられる。DSP の主な機能は、CCD の画素信号を色毎に分離し、マトリクス回路、フィルタ回路などを経て輝度信号、クロマ信号を合成することである。各メーカーは、このほかに次のような機能を搭載した独自の LSI を開発して、回路の小型化や高機能・高性能化に務めている。

(1) 動画/静止画対応

DSP はフルフレーム静止画とフィールドインタレースの動画の両方に対して、信号復調が可能であることが望ましい。

図 1 の DSP では、動画駆動時には通常のビデオカメラと同様に、垂直方向に隣接した 2 画素を混合して垂直 CCD に読出し、混合する 2 画素をフィールド毎に上下に組み替えることで、インタレース動作を実現する。これに対して、フルフレーム静止画では、

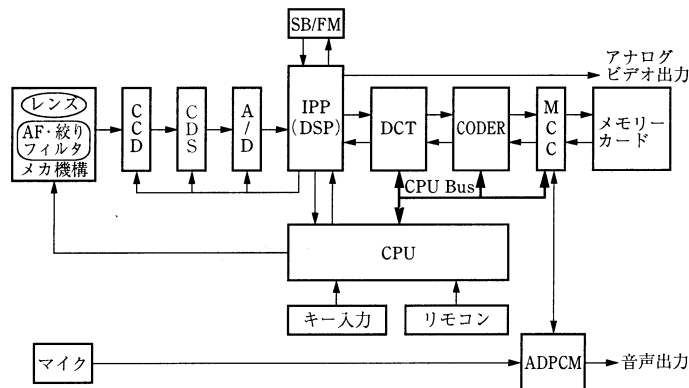


図 1 一般向けモデルの全体構成例¹⁾

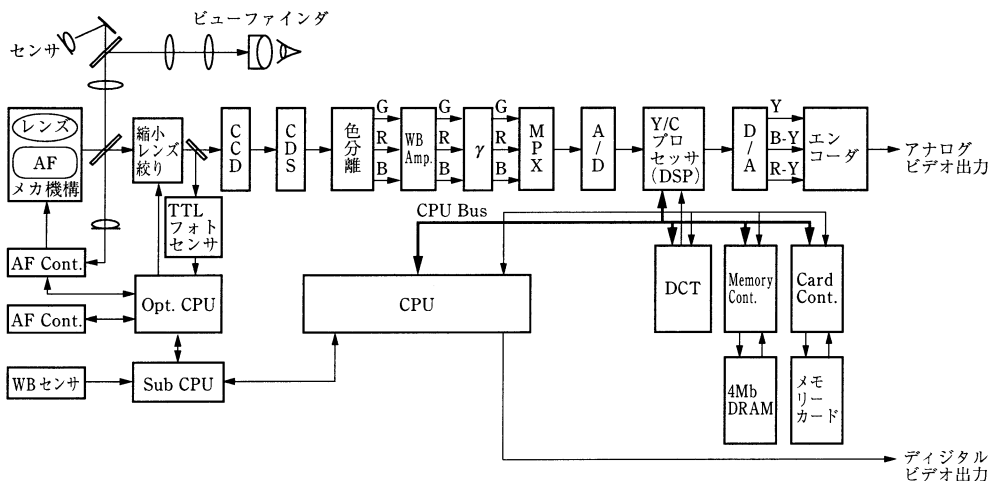


図 2 ハイエンドモデルの全体構成例²⁾

CCDの垂直転送路で画素混合をせずに、奇数ラインの画素と偶数ラインの画素を、2フィールド期間かけて別々に読出す。このとき、奇数フィールドと偶数フィールドの蓄積期間を一致させるために絞りと兼用のメカシャッタを用いるとともに、FMと示したフレームメモリー上で並べ替えることによって、フレーム画像を組み立てる。

また、図2のDSPでは、 1280×1001 画素の全画素を1/6秒かけて独立に読出して静止画とする。これに対して、1/60秒で垂直4ライン毎の 1280×250 画素をインタレースで読出すムービモード駆動、1/60秒で垂直8ライン毎の 1280×125 画素を読出すAEモード駆動、AFモード駆動による動画を得よう、駆動方法を工夫している。

動画は、ビューファインダへの表示や、オート機構用の制御信号検出に利用される。図1のカメラでは、フィールド画像を記録する機能も備えている。

(2) エンハンサ

デジタルスチルカメラでは、画質の中でも解像度が重要であるが、限られた画素のCCDから解像感の高い画像を得るには、エンハンサが欠かせない。

図1のDSPは、2H分のラインメモリーを搭載し、フレームメモリーから0.5H分ずつ読出すことによって、静止画に対して5ライン処理を可能にしている。これによって垂直のエンハンサ回路の周波数特性を最適化することで、垂直解像度を改善すると同時に、補色型の欠点である色再現性の改善を達成している。また、図2のDSPは、多画素で空間周波数が高い利点を生かして、水平方向のブースト周波数をきめ細かく設定できるエンハンサ回路を組み込んでいる。

(3) オート機構制御信号

動画駆動が可能なデジタルスチルカメラでは、ビデオカメラと同様の方法⁶⁾で画像信号からAE、AF、AWB用の制御信号を得ることができる。

AE は、映像信号を画面の中央部、周辺部のエリア毎に積分し、CPU(制御マイコン)で処理して露光制御する。銀塩カメラのシステムをそのまま利用した露光制御も可能である。図1、図2とも露光制御にはメカニカルな絞りを利用しているが、CCDの電子シャッタのみを用いるものもある。CCDのラチチュードは銀塩フィルムに比べて狭いので、より高精度の露光制御が必要であるが、マイコンによるきめ細かな制御を行う技術がビデオカメラで開発されている⁷⁾。

またAFは、動画駆動時の映像信号の高周波成分を検出して最大にする、ビデオカメラの方法⁸⁾を利用できる。しかし、図2のように光学系に銀塩カメラのシステムをそのまま利用したものも多く、パッシブタイプの位相差AFモジュールを使用したものや、一般向けモデルには固定焦点としたものもある。

AWBは、CCDから得られる画像信号のうち、輝度レベルの高い部分を無彩色と仮定して、R/G信号の比とB/G信号の比から色温度を検出する方法が主流である。広い範囲の色温度に対応できるように、制御方法に改善がなされている⁹⁾。また、デジタルスチルカメラでは色再現性を重視する立場から、リアルタイムのAWBを解除できるものが見られる⁴⁾。

(4) その他の機能

図1のDSPは、DCTとのインタフェース機能を持っている。CCDからの出力であるラスタデータは、SBと示したストリップバッファの制御でブロック毎に4:2:2のYYUVデータとなって読出され、DCTチップに出力される。再生時には記録時のほぼ逆で、DSPによりブロックデータからラスタデータに変換する。再生画像に対しては、圧縮・伸長処理によって発生するブロックノイズ、モスキートノイズの除去フィルタ処理を行っている。

また、図1のものをはじめ、ビデオエンコーダやD/A変換器を搭載したものが多い。画像データの一部を拡大して表示する電子ズームの機能を搭載するDSPも多く見られる¹⁰⁾。そのほか、CCDの駆動パルスを発生するTG、SSG、メモリーコントローラなど

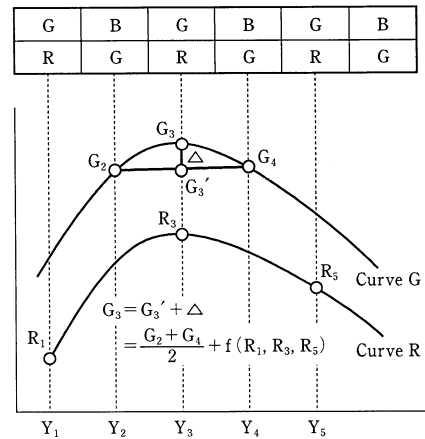


図3 原色型での補間処理方法¹¹⁾

を内蔵して、回路の小型化を図った例もある。

3.3 将来の信号処理

デジタルスチルカメラでは、家庭用ビデオカメラにくらべてクロマ信号の高解像度化が必要であるが、これを実現する将来の信号処理技術が研究されている。

図3に示す方法は、いわゆるベイヤー配列の原色フィルタを用いたデジタルスチルカメラ用に開発された¹¹⁾。5×5画素程度の範囲では、例えばGの変化の度合いとRの変化の度合いが等しいと仮定する。すなわち、ライン状に並んだY₁～Y₅の位置にR₁, G₂, R₃, G₄, R₅が配置しているとき、中央のY₃でのG₃を予測するに際して、図3に付記した式のように両側のGだけでなく、R₁, R₂, R₃の放物線カーブの変化量Δを利用するものである。さらに、5×5画素範囲のGから被写体の境界の方向を検出して、演算に用いる画素を変更する。これは、信号処理をすべてホストコンピュータで行う機種に採用されているが、効果の程度は明らかにされていない。

また、図4に示す方法は、補色型の色フィルタを用いたビデオカメラ用に開発されたものである¹²⁾¹³⁾。まず、画素の信号を色毎に分離して、それぞれの低周波成分の大きさを求める。これらの比を、補間位置の信

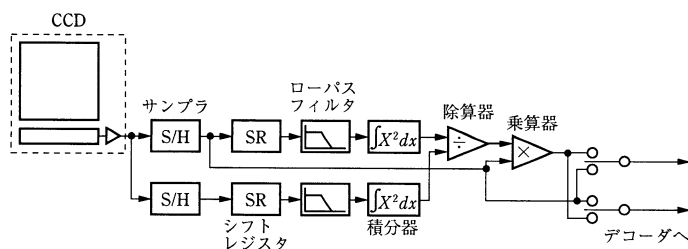


図4 補色型での補間処理方法¹²⁾



(a) 処理なし

(b) 処理あり

図 5 補色型での補間処理による再生画像¹²⁾

号に掛け合わせて、補間位置にない色の補間信号を合成する。この方法も、狭い領域内では各色信号の変化は相似形に近いことを仮定している。信号処理の有無による再生画の違いは、図 5(a), (b)のようにシミュレーション画像で示されている。細かい文字に発生した偽信号が改善されており、高解像度化が期待できる。

このほか、ビデオカメラの高解像度化処理には、図 4 に示した方法を 2 次元の低周波成分に対して処理する方法や¹⁴⁾、ペイヤー配列の単板カメラにおいて、被写体の境界部分の方向を検出して、変化の小さい方向で線形補間を行う方法¹⁵⁾などが発表されている。

4. む す び

CCD の出力信号から輝度信号、クロマ信号を生成するまでのデジタルスチルカメラの信号処理を、周辺機能を含めて述べたが、個々の技術はビデオカメラで培われたものである。デジタルスチルカメラの製品化では、どのような LSI を開発して全体のシステムを形成するかに重点が置かれている。

また、ビデオカメラの画像と一線を画するためには、高画質化のための信号処理が切望される。ビデオカメラでもデジタル記録タイプが主流になりつつあることから、こうした技術のハード化にも注力されるであろう。高画質が望まれるデジタルスチルカメラで信号処理方式の開発が進められ、大きな需要を持つビデオカメラでハード化が促進されるという、良い関係で発展していくことを期待する。

(1996 年 5 月 13 日受付)

【参 考 文 献】

- 1) 阪口：“デジタルカメラ DC-1 の開発”，テレビ学技報，**19**，45，pp. 15-20 (Sep. 1995)

- 2) 小田ほか：“130 万画素 VT 方式 CCD を用いたデジタルスチルカメラの開発”，テレビ学技報，**19**，60，pp. 1-5 (Nov. 1995)
- 3) 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，5-9(1993)
- 4) 荒井ほか：“130 万画素 VT-CCD を用いた 3 板高精細静止画入力カメラ”，テレビ学技報，**20**，23，pp. 7-11 (Mar. 1996)
- 5) K. Parulski, et al.: “High-Performance Digital Cameras using Still Optimized Sensors”, SPSTJ '95 Symposia on Fine Imaging, DI-1 (1995)
- 6) 川口ほか：“民生用カメラ技術/オート機能”，テレビ誌，**49**，2，pp. 145-149 (1995)
- 7) 例えば，春木ほか：“画面分割を用いたデジタル AF・AE システム”，テレビ学技報，**13**，11，ED89-12 (1989)
- 8) 石田ほか：“山登りサーボ方式によるテレビカメラの自動焦点装置”，NHK 技術研究，**17**，1 (1965)
- 9) 久野ほか：“産業用カラーカメラの色再現性改善”，テレビ誌，**49**，2，pp. 204-211 (1995)
- 10) 井口ほか：“マルチメディア対応デジタル画像信号処理 LSI の開発”，テレビ年次大，1-6 (1995)
- 11) 清水ほか：“新開発の圧縮及び補間処理を用いたデジタルカメラ”，SPSTJ Symposia on Fine Imaging, D-4 (Oct. 1995)
- 12) 小沢：“CCM 補間処理による単板カラーカメラの色モワレ抑圧”，テレビ誌，**46**，9，pp. 1153-1160 (1992)
- 13) 杉浦ほか：“単板カラービデオカメラ用新輝度信号生成方式”，テレビ誌，**48**，2，pp. 210-216 (1994)
- 14) 米山ほか：“高画質単板デジタルカメラ方式”，テレビ年次大，8-5 (1994)
- 15) 岡田ほか：“相関判別色分離方式による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，1-5 (1995)



さかぐち のりひろ
阪口 知弘 1984 年，早稲田大学理工学部卒業。同年，(株)リコーに入社。デジタルカメラの CCD 周辺回路の設計に従事。現在，同社パーソナル事業部設計部 DC 設計グループに所属。



おざわ なおき
小沢 直樹 1974 年，慶應義塾大学工学部電気工学科卒業。同年，(株)日立製作所に入社，中央研究所に勤務。1992 年，日立電子(株)に転属，1996 年，(有)ビーテックを設立し，現在に至る。撮像装置の開発に従事。正会員。