

デジタルカメラ用ISP：Milbeaut

Image Signal Processor: Milbeaut

● 遠藤謙太郎

あらまし

Milbeaut(ミルビュー)はデジタルカメラのシステムをワンチップで実現するISP (Image Signal Processor)である。各種イメージセンサからの信号を取り込み、高画質化処理、データ保存を20 Mpixel超の静止画およびフルハイビジョン動画で行うことができる。本稿ではMilbeautシリーズの第6世代となるMB91696AMについて紹介する。

MB91696AMは、新開発の高速信号処理プラットフォームにより高速連写撮影とフルハイビジョン動画撮影を可能とし、世代を重ねるごとにノイズ除去性能や光学補正機能を向上させ、そして市場要求に的確に応える汎用画像処理マクロを搭載している。本製品は高画素化、高速化、多機能化が求められるデジタルカメラにおいて、静止画からフルハイビジョン動画まで撮影者の要望に応える高性能・高画質を実現しており、多くのデジタルカメラに搭載されている。

Abstract

Milbeaut is an image signal processor (ISP) that realizes a digital camera system on one chip. It can capture signals from various types of image sensors and then enhance the image quality and store the data as still images of over 20 megapixels or full high-definition (HD) moving images. This paper presents MB91696AM, the sixth generation of the Milbeaut series. MB91696AM offers high-speed continuous shooting and full HD moving image shooting that have been enabled by the new high-speed signal processing platform developed, noise reduction performance and optical correction functionality enhanced generation by generation, and the general-purpose image processing macro that accurately meets the market's requirements. Camera users want digital cameras to have a higher pixel density, be faster and be multifunctional. This ISP product, which has realized high performance and high image quality that fulfill a range of camera users' demand for still images and full HD moving images, is used in many digital cameras.

まえがき

ミラーレス一眼カメラや動画機能対応などの機能進化によりデジタルカメラの市場は拡大しており、現在1億5000万台の市場規模を持つ。デジタルカメラは、主にイメージセンサと画像処理を行うISP (Image Signal Processor) で構成されており、イメージセンサの進化とともにISPの高速化、高画質化および多機能化の市場要求が加速している。今やISPの性能がデジタルカメラの性能を決めると言っても過言ではない。

今回開発したMB91696AMはノイズ除去をはじめとする高画質化処理を20 Mpixel超の画像サイズまで可能とし、高速イメージセンサと組み合わせることで約100 Mpixel/sの高速連写撮影と1920×1080 pixel/30 fpsのフルハイビジョン動画撮影への対応を図ったISPである。

製品概要

MB91696AMは、Milbeaut (ミルビュー)⁽¹⁾シリーズの最新製品である。Milbeautは2000年の初代M-1シリーズから画像処理アルゴリズムの進化を重ね、MB91696AMは第6世代となる。

ARM社のARMプロセッサ2個をCPUコアとして、センサ信号処理、JPEG圧縮伸張、HD動画圧

縮伸張、DDR3/DDR2対応のSDRAMコントローラ、ビデオインタフェース、USB2.0インタフェース、各カードインタフェースなどを搭載したデジタルカメラ専用のシステムLSIである。画像処理アルゴリズムの大幅な改良と新開発H.264フルHDコーデックエンジンの搭載を特長とし、静止画からフルハイビジョン動画まで撮影者の要望に応える高性能・高画質のデジタルカメラシステムをワンチップで実現できる。

MB91696AMのブロック構成を図-1に、外観を図-2に示す。また、主な仕様を以下に示す。

- ・プロセステクノロジー：65 nm CMOSプロセス
- ・CPUコア動作クロック (最大)：288 MHz
- ・画像処理部 (最大)：216 Mpixel/s
- ・動画コーデック：H.264/MPEG-4 AVC
- ・HDMIインタフェース：あり
- ・パッケージタイプ：FBGA-385
- ・パッケージサイズ：13 mm角

高速処理

イメージセンサの高画素化に伴い、静止画の高速連写やフルハイビジョン動画撮影における処理容量は指数関数的に増加する。これを高画質かつ高速に処理するには従来のテクノロジーのままでは困難であったため、MB91696AMの開発ではプ

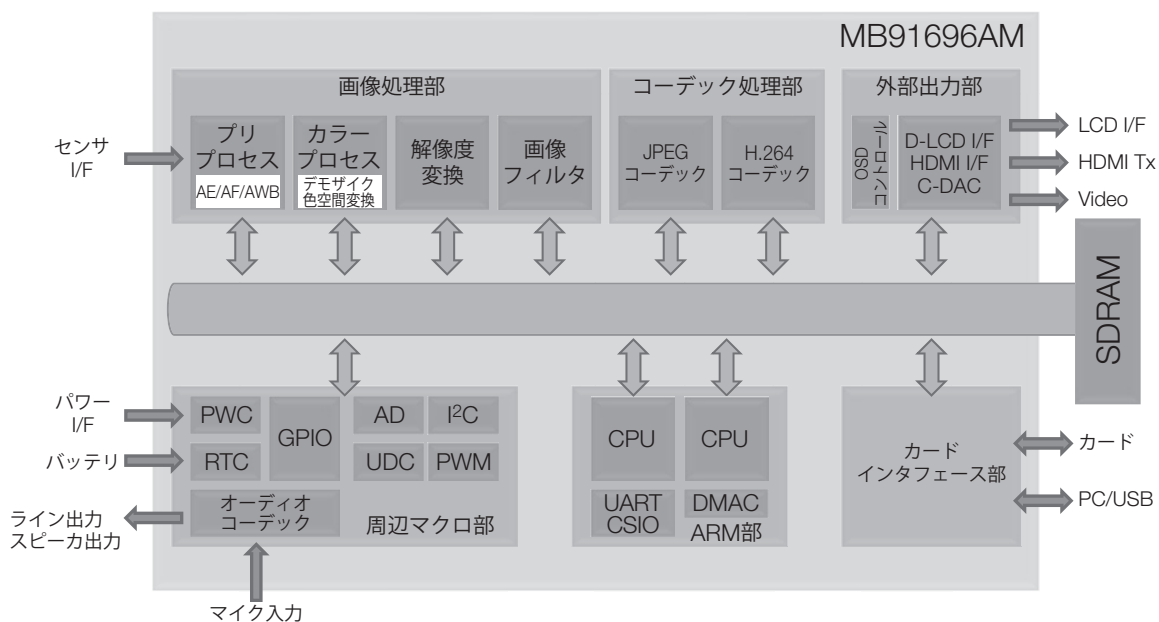


図-1 MB91696AMブロック構成

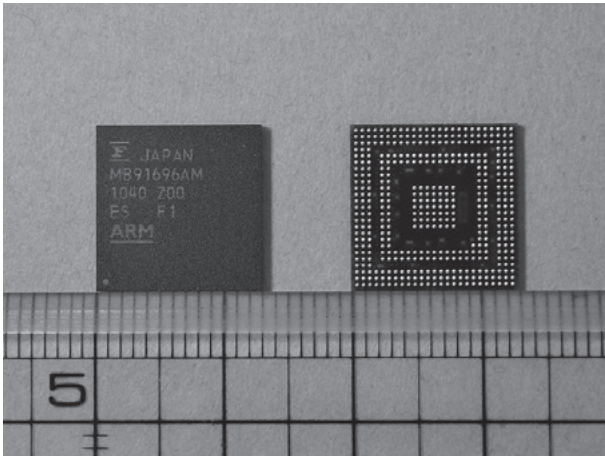


図-2 MB91696AMの外観

プラットフォームの見直しと徹底的な処理プロセスの最適化を図った。

● ARMプロセッサを2個搭載

MB91696AMは携帯機器などで広く使用されているARM社のARMプラットフォームを用いてベースファームウェアを開発した。これによるメリットは、

- (1) 複数顧客に対する開発効率の向上
 - (2) 顧客ごとのカスタマイズの簡易化
 - (3) 多彩なアプリケーションの実装が可能
 - (4) 豊富なミドルウェアや開発環境を利用した開発工数の短縮
- である。

またARMプロセッサを2個搭載しており、それぞれのコアが独立して動作する。例えば、ベースファームウェアではメインCPUにシステム制御、OS制御、そしてサブCPU制御を割り当て、サブCPUには一部制御のみを割り当てる以外は画像処理アプリケーションを実行する専用CPUとしている。これにより静止画撮影時は顔認識、シーン認識、パノラマ撮影、HDR（High Dynamic Range）撮影などの画像アプリケーションを同時に複数起動でき、並列処理による高速画像処理を行っている。動画撮影時は1920×1080 pixel/30 fpsのフルハイビジョン撮影と顔検出、顔認識、手ぶれ補正などのアプリケーションを同時に起動できる。

● 処理プロセスの最適化

ISPはイメージセンサからBayer配列^(注1)の信号を受けて、様々な画像処理を行っている。高速処理が求められる高速連写やフルハイビジョン動画撮影時にはイメージセンサから入力される信号を次々に処理する必要があるため、パイプライン処理を行っている。MB91696AMの画像処理部はBayer配列のままに信号処理を行うプリプロセスブロック、デモザイク処理^(注2)を含むカラープロセスブロック、解像度変換ブロック、そして画像フィルタブロックなどに分けられており、これらの処理プロセスは時分割処理を必要としないことで高速処理が実現できるように最適化が図られている。

また、従来は画像処理部内の異なるマクロブロックで処理していた回路を一つのマクロブロックに取り込んだ。これにより双方のマクロブロック間で行われていたSDRAMへのデータ格納と参照処理を省くことができる。

更にアプリケーションのハードウェア化も進めた。ハードウェア化によって、処理の高速化とCPUに負荷をかけずに処理を行えるので低消費電力化が見込める。CPUへの負荷が重いフルハイビジョン動画撮影時の顔検出処理では特に効果的である。

● 高速連写

高速連写を実現するためには、イメージセンサからのBayer配列信号の取込み、高画質化信号処理、データ保存という一連の信号処理全てでスループットを確保する必要がある。

従来製品のセンサインタフェースはパラレルインタフェースのみであったが、MB91696AMは差動信号方式のシリアルインタフェースも備えて、最新のイメージセンサと接続できる。高速イメージセンサとの接続時には最大216 Mpixel/sでBayer配列信号を取り込むことが可能である。また、DDR3/DDR2対応のSDRAMコントローラを内蔵している。DDR3 SDRAMと組み合わせたときはデータバンド幅が従来製品比で約2.5倍となり、約100 Mpixel/sの画像処理性能を持つ。更にUHS-I規格のSDR50モードをサポートしているSDカードイ

(注1) 赤 (R)、緑 (G)、青 (B) それぞれのカラーフィルタをモザイク状に配置した配列。

(注2) Bayer配列信号からRGB信号を得る補間処理。

ンタフェースを備えており、JPEGデータの高速保存が可能である。

以上のことで、MB91696AMは従来製品比で約5倍となる毎秒約8コマ（14 Mpixel時）の高速連写を実現している。

高画質化技術

デジタルカメラではイメージセンサの高画素化がトレンドの一つである。コンパクトデジタルカメラに多く採用されているイメージセンサは1/2.3型である。6.2 mm×4.6 mmという指先ほどの大きさの中に1500万個を超える受光素子が実装されている。コンパクトデジタルカメラで使われているイメージセンサの総画素数と1画素あたりの面積の推移を図-3に示す。年々微細化が進み、2011年発売モデルでは1画素あたりの面積は1.7 μm²である。集積化に伴い、発熱量が増えることで熱雑音が発生し、イメージセンサの出力データはS/N比が悪くなる傾向がある。更にコンパクトデジタルカメラは小型化や薄型化への対応、売価の落込みによる光学部品のコスト削減で光学設計の難易度が上がり、歪みやシェーディングなどの光学的な問題が

発生する可能性が高い。

このためISPのノイズ除去性能や光学補正機能に対する要求は高く、Milbeautシリーズは世代を重ねるごとに性能と機能を向上させてきている。

● Bayer配列信号に対する高画質化処理

画像処理部で行うデモザイク処理の前後で最適な信号処理は異なる。MB91696AMにおける高画質化処理を紹介する。まず、前段にあたるプリプロセスブロックで主なものを三つ挙げる。

一つ目は欠陥画素補正である。Bayer配列信号に含まれる欠陥画素を補正できる。遮光した状態で撮影したフレーム画像からノイズ画素の判定をし、SDRAMに登録されている画素欠陥情報に従い補正する静的処理とリアルタイムに補正する動的処理があり、連続欠陥も補正できる。

二つ目はノイズ除去である。複数のノイズ除去フィルタを備え、イメージセンサやハードウェアから出てくるノイズだけでなく、Bayer配列信号特有の色モアレ、格子状ノイズ、色むらも除去可能である。MB91696AMのアルゴリズムの特長は被写体の高周波成分を保持したまま、長波長の輝度ノイズを除去することができる点である。これ

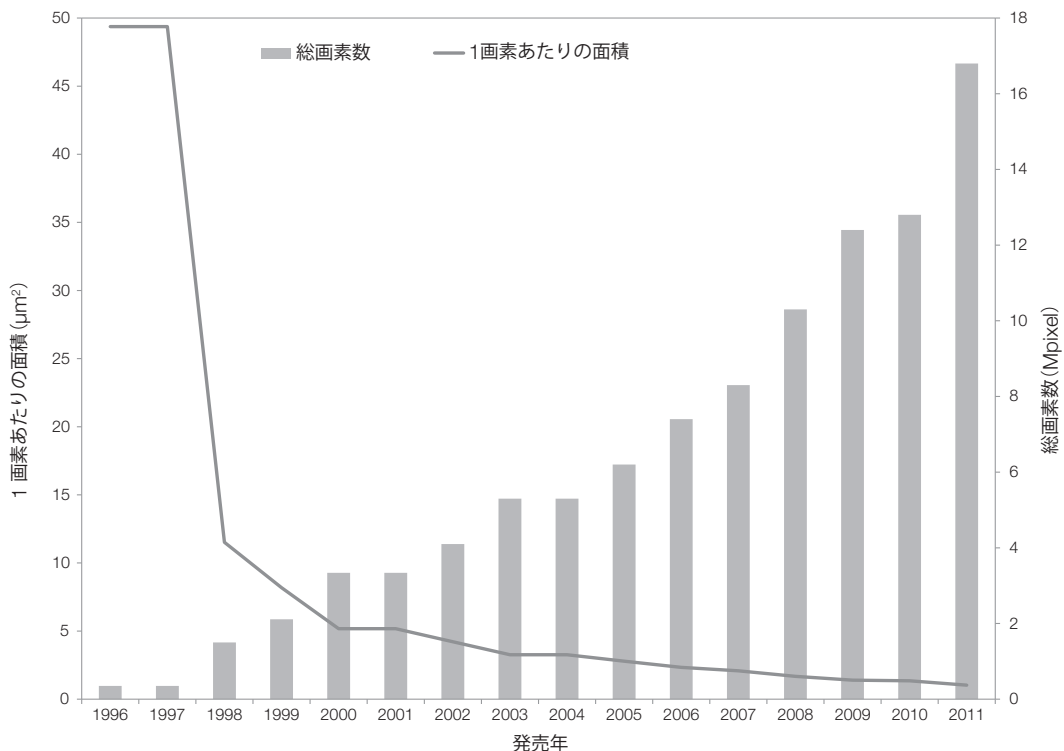


図-3 イメージセンサの総画素数と1画素あたりの面積の推移

により解像感を失わずにノイズ成分だけを効率的に除去することができる（図-4）。また、光学ゼロレベルを検出して、入力信号に対して光学的ゼロレベル分を考慮したノイズ除去処理を行っている。これにより、信号レベルが小さい暗部における補正精度を上げている。

三つ目はセンサ出力およびレンズ補正機能である。画素間隔、リニアリティ、シェーディング、ディストーション、倍率色収差などを補正する機能を内蔵しており、先述した光学的な問題へ対応している。ディストーション補正効果を図-5に示す。

● デモザイク後の高画質化処理

次に、後段に当たるカラープロセスブロックではRGB信号をYC信号に変換して、輝度信号とクロマ信号（色度信号）に分けてノイズ除去を行っている。例えば、輝度信号は信号レベル（明るさ）に着目した処理を行う。画像の明るい部分では輝度信号のレベルは大きく、ノイズレベルも相対的に大きい。そこで適応的処理を施し、ノイズ除去性能と解像度感の両立を図っている。また、クロマ信号のみにLPF（Low Pass Filter）をかけるこ

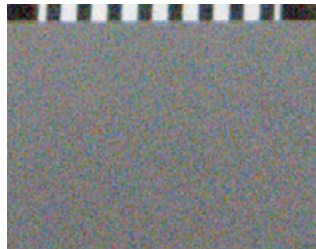
とで輪郭部を保ちながら、偽色や低彩度部分で目立つ色ノイズの除去を行うことができる。

そして、ノイズ除去処理をした画像に対して輪郭強調補正成分を加える。従来はHPF（High Pass Filter）による補正成分の抽出を行っていたが、輪郭部の画素に対して補正成分の乱れを低減させるアルゴリズムを開発した。これによりエッジの効いたシャープな画像を実現している。

フルハイビジョン動画対応

● デジタルカメラ専用コーデックエンジン

2008年にフルハイビジョン動画撮影機能が搭載されたデジタル一眼レフカメラが発売された。コンパクトデジタルカメラへも搭載されることを予測して、MB91696AMはMilbeautシリーズで初めて1920×1080 pixel/30 fpsのフルハイビジョン動画撮影に対応した。フルハイビジョン動画撮影時は静止画に比べて膨大なデータを処理、保存することが必要となる。そこで富士通研究所が独自開発し、多くのAV機器に採用実績のあるH.264コーデックアルゴリズムを基に、デジタルカメラ専用



補正前



補正後

図-4 ノイズ除去効果



補正前



補正後

図-5 ディストーション補正効果

のH.264フルHDコーデックエンジンを新規開発した。このエンジンは、画像データの転送量を大幅に削減するアーキテクチャによる低消費電力が特長である。MB91696AMでは、映像データの圧縮符号化を効率良く行う本エンジンにより、クリアでノイズが少ない高精細なフルハイビジョン動画撮影を実現している。更に顔検出、手ぶれ補正、ノイズ除去、動き検出、WDR（Wide Dynamic Range）補正など多彩なアプリケーションとの同時動作が可能である。

● ノイズ除去

上記の専用ハードウェアに時間軸フィルタを搭載して、H.264動画圧縮時にノイズ除去を行っている。連続するフレーム間の情報を時間軸で比較して適応的に α ブレンドを行い、時間的に変動するランダムノイズを低減させる効果がある。また、ランダムノイズが消費していた分のビットレートを映像信号自体へ割り当てることができるようになるため、圧縮効率の改善効果もある。

更に、静止画の画像処理で行っている色ノイズ除去を動画撮影時にも展開した。従来は単独のハードウェアマクロによる処理を行っていたが、フルハイビジョン動画撮影時には処理帯域に余裕がなく、処理速度も足りなかった。そこで処理を高速化したものを新たに動画用として加えて、動画撮影時に発生する色ノイズ除去をしている。通常では非常に除去しづらい低周波数帯の色ノイズを低減することができ、室内など高感度撮影環境での動画撮影時に効果が高い。これは非搭載の製品に対して大きなアドバンテージとなっている。

多機能化

近年、コンパクトデジタルカメラは性能と機能を向上させているにもかかわらず、価格下落が続いている。そのためカメラメーカーはコストを抑えながら、新機能を追加した製品を短いサイクルで市場へ投入する必要がある。MB91696AMでは更新が容易なソフトウェア処理による機能に加えて、処理時間と消費電力の面で優れるハードウェア処理が可能な汎用画像処理マクロを搭載している。これにより求められる多機能化に対して柔軟な対応が可能である。多数用意しているアプリケーションの一部を紹介する。

● 顔検出

デジタルカメラの必須機能となったと言える。MB91696AMはただ顔を検出するだけでなく、大人と子供の区別、更に笑顔や瞬きの検出が可能である。また、顔の小じわやシミ、くすみなどを自動的に補正する美顔機能を備えている。これらの処理は専用ハードウェアを搭載したことで実現している。

● 自動シーン認識

入力画像をデータベースに保存されているシーンデータと比較してシーン認識を行っている。その結果から露出、フォーカス、フラッシュなどを認識されたシーンに適するように制御する。例えば、人物や風景、マクロといった撮影シーンの認識や夕景、夜景、逆光、そして低照度といった撮影環境の認識ができる。

● HDR補正

シャッター速度を変えて撮影した複数の画像を合成することでダイナミックレンジを拡大させる技術である。被写体のハイライト部撮影に適したシャッター速度で撮影することでハイライト部の階調を写すことができ、シャドウ部撮影に適したシャッター速度で撮影することでシャドウ部の階調を写すことができる。これらの画像をMB91696AMの画像フィルタ処理で合成することでハイライト部が飽和することなく、シャドウ部の視認性を向上させて、ダイナミックレンジを拡大することができる。

む す び

本稿では、デジタルカメラ用に開発したISPであるMB91696AMについて紹介した。本稿で述べた高画素化・高速化・多機能化については更に高い処理能力が求められる傾向にあり、それにより消費電力が増加してしまうことに対する対策が急務である。本稿では具体的に触れなかったが、消費電力を削減する技術開発にも力を注いでいる。また、高速通信インフラの整備に伴い、ネットワーク化への対応など従来のデジタルカメラという枠を越える視点からの要求が強くなると予想される。

今後も市場要求を的確に見極め、画像処理アルゴリズムを進化させた高性能・高画質なMilbeautシリーズを投入していく。

参考文献

- (1) 富士通：イメージングプロセッサ「Milbeaut」.
<http://jp.fujitsu.com/microelectronics/products/assp/milbeaut/>

著者紹介



遠藤謙太郎 (えんどう けんたろう)

富士通セミコンダクター（株）
イメージング事業部 所属
現在、画像処理アルゴリズムの開発に
従事。