

進化したスマートカメラ、 拡大するマシンビジョンのニーズに対応

ジェームズ・キャロル

さらに高解像度のイメージセンサと組み込み処理機能が、イメージングの新しい可能性を切り拓いている。

照明、イメージセンサ、ソフトウェア、I/Oで一般的に構成されるスマートカメラは、かなり以前からマシンビジョンシステムの設計作業の軽減に貢献している。スマートカメラの機能と仕様は拡大しており、さらに高解像度のイメージセンサを搭載するモデルや、スマートカメラとして機能する組み込みビジョンカメラ、ディープラーニングや人工知能(AI)の処理を実行できる新しいカメラなどが登場している。

さらに高解像度のセンサ

従来、マシンビジョン市場向けに提供されるスマートカメラには、VGAから2メガピクセルの範囲のイメージセンサが搭載されていた。より大きな部品の検査や、画像の中のより小さな欠陥の特定に対する市場需要の高まりを受けて、スマートカメラのイメージセンサの解像度にはパラダイムシフトが生じている。

「この12～18カ月間で、スマートカメラのイメージセンサ解像度は増加している」と、米インテグロ・テクノロジーズ社(Integro Technologies)のビジョンシステム主要アーキテクトを務めるデビッド・デホー氏(David Dechow)は述べる。「現在、5メガピクセルは高解像度のカテゴリに入るが、非常に近い将来、それは標準解像度となり、9、10、12、16メガピクセルや、20メガピクセルを超えるイメージセン



図1 12メガピクセルのCMOSイメージセンサを搭載する「In-Sight 9912」カメラは、画像内の小さな特徴の検出、大きな部品のイメージング、またはその両方を必要とする用途をターゲットとする。

サが、スマートカメラにおいても新たな高解像度になるだろう」(デホー氏)。

複数の企業から現在、5メガピクセルを超えるイメージセンサを搭載するスマートカメラが提供されている。例えば、米コグネックス社(Cognex)は、あらゆる解像度のイメージセンサを網羅する製品を提供している。

「In-Sight 2000」ビジョンセンサの画像解像度は最大1.2メガピクセルだが、同社はそれよりも高解像度のCMOSイメージセンサも複数提供している。「In-Sight 7000」シリーズには、0.3メガピクセル(VGA)から最大5メガピクセルまでのモノクロ/カラーのイメージセンサが搭載されている。「In-Sight 8000」シリーズのスマートカメラのイメージセンサも最大5メガピクセルで、「In-Sight 9912」システム(図1)には、

12メガピクセルのイメージセンサが搭載されている。ラインスキャンビジョンシステムである「In-Sight 9902L」は、ラインごとに2,000ピクセル、最大16,000ラインを取得し、32メガピクセルの画像を生成する。同社によると、非常に小さな特徴や欠陥でも検出できるという。

「ますます多くのマシンビジョン用途で、画像の中のさらに小さな特徴の検出や、非常に大きな部品のイメージング、あるいはその両方が求められるようになってきている。例えば、エンジンブロックやドアパネルなどの自動車部品だ」とIn-Sight製品マーケティング担当シニアマネージャーを務めるロブ・ロブレス氏(Robb Robles)は言う。

「従来は、そうした用途には複数のカメラが必要だった。しかし今では、単一のスマートカメラで、大きな視野の中の小さな特徴の検出を必要とする用途に対応できる」と同氏は続けた。

2018年9月に米イメージング・ソリューションズ・グループ社(Imaging Solutions Group)を買収した、米ジャダック社(JADAK)は現在、「Allegro」シリーズで一連のスマートカメラを提供している。これらのカメラには、多数のソニー製センサが搭載されている。3.2メガピクセルの「IMX252」と「IMX265」、5.1メガピクセルの「IMX264」、8.9メガピクセルの「IMX255」と「IMX267」、12メガピクセルの「IMX

304」などである。これに加えて、オーストリアのams社製のCMOSイメージセンサである「CMV2000」「CMV4000」「CMV12000」も採用されている。また、GigE Vision、NXP社「i.MX6」のカメラポートへの直接インタフェース、MIPI出力、顧客固有のインタフェースなど、さまざまなインタフェースとボードレベルオプションが提供されている。Allegroシリーズのスマートカメラは、マシンビジョン、医療／科学／顕微鏡法、セキュリティ／監視／交通、環境モニタリングなど、多種多様な用途をターゲットとしている。

Allegroシリーズ以外にも、ジャダック社は、5メガピクセルの「SC-6V」、5メガピクセルの高輝度照明付きカメラ「SC-6L」、640 x 480の「VIBE」、0.5メガピクセルの「FM-5V」と「FM-6V」を提供している。これらの固定マウント式カメラは、マシンビジョン、バーコード読み取り、OEM、宝くじ、医療機器、ロボティクス、キオスクなど、幅広い用途に適している。

加マトロックス・イメージング社(Matrox Imaging)は、「Iris GTR」スマートカメラ(各種標準モデルが提供されており、「Matrox Design Assistant X」ソフトウェアを搭載)において、さまざまなイメージセンサオプションを備え、「Intel Celeron N2807」組み込みプロセッサを搭載するカメラを提供している。モノクロまたはカラーで提供されているこのスマートカメラは、さまざまなマシンビジョン検査をターゲットとし、GigEインタフェースを備え、米オン・セミコンダクター社(ON Semiconductor)のCMOSイメージセンサ「PYTHON」(0.3メガピクセル/PYTHON 300、1.3メガピクセル/PYTHON 1300、2.3メガピクセル/PYTHON 2000、5.3メガピクセル/

PYTHON 5000など)を搭載する。

独アイ・ビジョン・テクノロジー社(Eye Vision Technology)は、5メガピクセルを超えるセンサを搭載する多数のスマートカメラを製造しており、Eye Check 2000/3000/4000/5000/ZMの各シリーズのスマートカメラを提供している。5000シリーズには、6.2メガピクセル(「EC5700」)と19.9メガピクセル(「EC5900C」)のCMOSイメージセンサを搭載するモデルもある。カラーとモノクロのバージョンで提供されているこのスマートカメラには、ARM Cortex-A8プロセッサ、デュアルコアのARM Cortex-A9プロセッサ、クアッドコアのIntel Atom CPU、プログラマブルFPGAなど、さまざまな処理オプションが用意されている。

同社は、1秒間に20本のボトルを検査する高速システムなど、さらに処理要件の高い用途に対応できるように、最新モデルにはさらに高速な新型プロセッサを搭載している。シングルコアプロセッサを搭載する古いモデルのスマートカメラは、1秒あたり3個の部品を検査する標準的なマシンビジョンシステムなど、より低速な用途に適している。

最大12メガピクセルのイメージセンサを搭載するスマートカメラを開発する伊タッティレ社(Tattile)は、12メガピクセルのarms社製CMOSイメージセンサ「CMV12000」を搭載する「S12MP」カメラを提供している。667MHzのデュアルコアCortex-A9 CPU、米ザイリンクス社(Xilinx)のプログラマブルFPGA「Zynq 7030」、GigEポート、300fpsのフレームレート、Linuxに加えて、GigE Visionプロトコル管理のためのGigEサーバーをオンボードに搭載するこのカメラは、半導体、医薬品、表面検査の他、計測や分析な

どの用途をターゲットとしている。

米ナショナル・インスツルメンツ社(National Instruments)は、GigEポートを備えるスマートカメラを、カラーとモノクロのオプションで提供している。0.3～5.3メガピクセルのイメージセンサと、Intel Celeron N2807プロセッサコアを搭載する。また、プログラマブルロジックコントローラ(PLC)、ヒューマンマシンインタフェース(HMI)、ロボティクス、センサ、産業機械などの産業用オートメーション機器と通信して統合するための、内蔵デジタルI/Oと産業用通信オプションを含めることができる。

その他の企業が開発する、5メガピクセルのイメージセンサを搭載するスマートカメラとしては、伊データロジック社(Datalogic)の「T49」スマートカメラ、米オムロン・マイクロスキャン社(Omron Microscan)の「Micro HAWK」シリーズ、印ソリトン・テクノロジー社(Soliton Technologies)の「NUERA」カメラシリーズ、加テレダイン・ダルサ社(Teledyne DALSA)の「BOA2 XA5」カメラ、独ビジョン・コンポーネンツ社(Vision Components)の「VCSBC nano Z-RH 0012」「VCSBC4012 nano」「VCSBC6212 nano」「VCSBC6212 nano」「VC4012 nano」「VC6212 nano」の各カメラ、米バナー・エンジニアリング社(Banner Engineering)の「VE205G1A」モデルなどがある。

組み込みスマートカメラ

従来型のスマートカメラではないが、MIPIインタフェースを備える組み込みビジョンカメラは、画像の前処理を含めて、それと同じ機能の一部を提供する。例えば、独バスラー社(Basler)は、MIPI CSI-2対応システム向けに特



図2 「Alvium」シリーズのカメラは、組込みビジョン処理用の独自のASICを備えている。

別に設計された、独自の「BCON for MIPI」インタフェースを提供している。画像の前処理は、米クアルコム社 (Qualcomm) の「Snap dragon」SoC (System on Chip) のイメージシグナルプロセッサ (ISP) で実行される。同社の組込みビジョンカメラモジュール担当製品マネージャーを務めるトーマス・ラーデマッハ博士 (Thomas Rademacher) によると、バスラー社は、従来型のスマートカメラに代わるコンパクトで低コストのシステムとして、これらの製品を開発したという。

BCON for MIPIインタフェースを備える同社の「dart」カメラは、Snap dragon SoCをサポートし、Sマウントモデルとマウントなしモデルの2種類で提供されている。どちらも、オン・セミコンダクター社製の5メガピクセルのカラー CMOS センサ「AR 0521」を搭載し、最大フレームレートは60fpsである。

BCON for MIPIインタフェースに基づくカメラ内前処理を備えるモデルとしては、4つのカメラモジュール (ベアボードまたはSマウントで、カラー) が

あり、オン・セミコンダクター社製の5メガピクセル (60fps) または13メガピクセル (30fps) のCMOSイメージセンサが搭載されている。プロセッサ固有のドライバが必要であるため、NXP社の「i.MX 8」アプリケーションプロセッサシリーズ用の直ちに使えるドライバパッケージがカメラに付属している。

バスラー社が開発した独自規格のLVDS (Low Voltage Differential Signaling) インタフェースはBCONと呼ばれている。同社によると、これによってdartカメラモジュールをSoCやFPGAに直接接続し、ステレオビジョンや認識アルゴリズムベースのアプリケーションを開発するためのムダのないシステムを構築できるという。モノクロとカラーのモデルで提供されるこのカメラには、オン・セミコンダクター社の1.2メガピクセルCMOSイメージセンサ「AR0132」、英テレダインe2v社 (Teledyne e2v) の2メガピクセルのCMOSイメージセンサ「EV76C570」、オン・セミコンダクター社の5メガピクセルCMOSイメージセンサ「MT9P031」が搭載されている。

独アライドビジョン社 (Allied Vision) は、「Alvium」シリーズ (図2) で、



図3 VisualAppletsが組み込まれた「LX」カメラは、複雑なアルゴリズムの実装が可能で、PCで処理するために送信するデータ量を減らすことができる。

組込みビジョン処理用の独自のASIC (Application Specific Integrated Circuit: 特定用途向け集積回路) を備えるカメラを提供している。OpenCVをサポートし、MIPI CSI-2またはUSB3 Visionのインタフェースに対応するこれらのカメラは、ベアボード、オープンハウジング、クローズドハウジングの筐体オプションと、さまざまなレンズマウントの選択肢を用意することで、開発者に設計柔軟性を与えつつ、共通のドライバを共有することで統合を容易にしている。また、オンボードの画像処理、インテリジェントな電源管理、コストが最適化された設計を備えていると、同社は説明している。

MIPI CSI-2インタフェースを備える「Alvium 1500 C」シリーズのカメラには、オン・セミコンダクター社のCMOSイメージセンサである0.48メガピクセルの「PYTHON 480」(120fps)、1.2メガピクセルの「AR0135CS」(54fps)、2メガピクセルの「AR0230CS」(60fps)、5メガピクセルの「AR0521」(60fps) が搭載されている。

「Alviumは、産業グレードのカメラには既に搭載されている、多数の画像最適化機能を備えており、リソースを多用する画像最適化によってボードに負荷を与えることなく、画像をオンボードで処理する。さまざまなレベルの最適化機能が提供されているが、すべてのAlviumカメラに対する標準的な制御によって、評価や実装の時間は大幅に短縮される」と、製品マネージャーを務めるギオン・ピッチェン・グロス氏 (Gion-Pitschen Gross) は述べた。

画像処理をカメラのFPGAで実行できる、スイスのバウマー社 (Baumer) の「LX」カメラには、組込みVisual Applets技術が搭載されている (図3)。VisualAppletsは、独シリコンソフト

ウェア社 (Silicon Software) によって開発された FPGA プログラミング用のグラフィカル開発環境で、バウマー社によると、複雑なアルゴリズムの実装が可能で、PCで処理するために送信するデータ量を減らすことができるという。

「LX VisualApplets」カメラは GigE インタフェースを備え、2Dカメラ、3Dカメラ、JPEG画像圧縮付きカメラが提供されている。2Dカメラは、カラーまたはモノクロの2～20メガピクセルのams社製CMOSイメージセンサを搭載し、VisualAppletsを使用する場合の最大フレームレートは338fpsである。3Dカメラは、モノクロの2または12メガピクセルのams社製CMOSイメージセンサを搭載し、VisualAppletsの画像前処理に基づくレーザ三角測量を利用して3Dデータをキャプチャする。JPEG画像圧縮付きLXカメラは、カラー／モノクロの2～25メガピクセルのams社／オン・セミコンダクター社製CMOSイメージセンサを搭載し、最大フレームレートは140fpsである。

米インテル社傘下の米モビディウス



図4 インテル・モビディウス社のVPUを装備するスマートコードリーダー「MV-IM1013-12MWG」には、QRやData Matrixなどのフォーマット用の、ディープラーニングに基づくコード読み取りアルゴリズムが提供されている。



図5 「IDS NXT」カメラは、特別に開発されたAIビジョンアプリによって、FPGAベースの人工ニューラルネットワークアクセラレータを搭載する高性能推論カメラである。

社 (Intel Movidius) のビジョン処理ユニット (VPU) を装備する、中国ハイビジョン社 (HIKVISION) のスマートコードリーダー「MV-IM1013-12MWG」(図4)には、モノクロの1.3メガピクセルCMOSイメージセンサPYTHON 1300が搭載されている。このカメラには、QRやData Matrixなどのフォーマット用のコード読み取りアルゴリズムが提供されている。

「ディープラーニングに基づくバーコード位置検出と識別が可能このコードリーダーのVPUは、傷んだコードや、低コントラストのコード、光を反射するコードであっても、デコード速度と認識率を大幅に改善する」と、ハイビジョン社のマシンビジョン担当国外製品ディレクターを務めるポール・ジョー氏 (Paul Qiu) は述べた。

「X86」スマートコードリーダーファミリーの5つのモデルには、PYTHON 1300、PYTHON 2000 (2.3メガピクセル)、PYTHON 5000 (5.3メガピクセル) の各CMOSイメージセンサに加えて、ソニーの8.9メガピクセルCMOSイメージセンサ「IMX267」が搭載されている。すべてのモデルが、モノクロセンサとGigEインタフェース

を備える。同社はX86オープンプラットフォームにおいて、PYTHON 1300/PYTHON 2000/PYTHON 5000とソニー製の6.44メガピクセルCMOSイメージセンサ「IMX178 STARVIS」を搭載する、8つのモデルを提供している。

米国ベースのダーファ・テクノロジーUSA社 (Dahua Technology USA) も、インテル・モビディウス社の「Myriad 2」VPUを装備するスマートカメラを、「5000」シリーズのカメラとして提供している。イーサネットまたはUSBのインタフェースで提供されているこのカメラには、オン・セミコンダクター社のPYTHON 300 (0.3メガピクセル)、同500 (0.5メガピクセル)、同1300 (1.3メガピクセル)、同2000 (2.3メガピクセル)、同5000 (5.3メガピクセル) の各CMOSイメージセンサを採用するもののほか、6.44メガピクセルのソニーのIMX178センサを搭載する2つのモデルがある。

これらのカメラには、バーコード読み取り、ビジョン位置決め、テンプレート・マッチング、計測、光学文字認識 (OCR) のアルゴリズムが搭載されており、同社によると、VPUによって、カメラの演算性能が向上しているととも

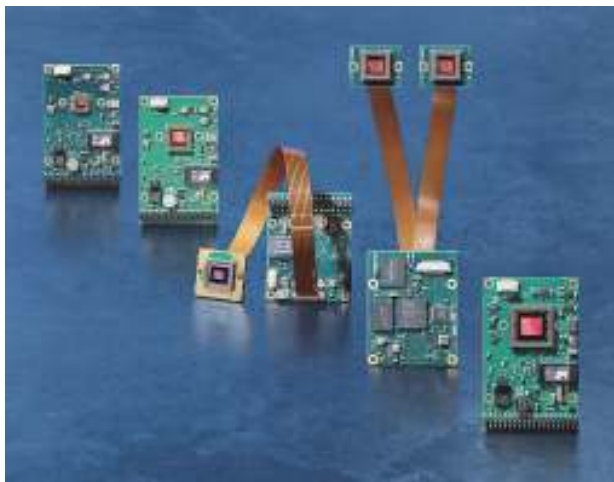


図6 MIPIインターフェースを装備するビジョン・コンポーネツ社の組込みビジョンカメラは、オムニビジョン社とソニーのCMOSイメージセンサを搭載し、幅広い種類のCPU基板に対応する。

に、消費電力が低減されているという。

これらのカメラに加えて、ダーファ社は、0.3～6.2メガピクセルのCMOSセンサを搭載する一連のスマートカメラと、X86シリーズのスマートカメラとコードリーダー（どちらもセンサのラインアップは同じ）を提供している。

独IDSイメージング・デベロップメント・システムズ社 (IDS Imaging Development Systems) も、「IDS NXT」シリーズを投入した(図5)。同社によると、開発者は、「Smart GenICam」によって新しいカメラ機能をビジョンアプリとしてカメラにアップロードするだけで、さまざまな画像処理タスクを素早く設定することができるという。

ファームウェアによって、アプリケーションコードがカメラの機能に組み込まれる。制御と機能のパラメータや、独自にプログラムしたアプリケーションの結果は、GenICam準拠の各アプリケーションに対するデバイス固有のXML記述ファイルによって、標準化された形式で提供される。「HALCON」や、ナショナル・インスツルメンツ社の「LabVIEW」などのサードパーティソフトウェアでは、これらの機能がカメラの標準機能の一部であるかのように使用されている。

同社は現在、3つのモデルを提供している。「vegas」は、カラーまたはモノクロの1.3メガピクセルのCMOSセンサ、内蔵液体レンズ、LED照明、距離測定用ToF (Time of Flight) センサを搭載し、RS-232インターフェースを備えている。「rio」と「rome」は、romeの保護クラスがIP65/67であることを除き、仕様が等しい。デザインインサンプルとして現在発売されており、さまざまなCMOSセンサ、産業用M12コネクタ、Cマウントのレンズマウント、GigEインターフェース、PoE (Power over Ethernet)、シリアルRS232インターフェース、REST Webインターフェース、オンボード処理用のデュアルコアCPU、FPGA、HALCONランタイムライセンスを装備することができる。また、特別に開発されたAIビジョンアプリによって、FPGAベースの人工ニューラルネットワークアクセラレータを搭載する推論カメラとして機能する。

「IDS NXTは、産業用カメラをスマートフォンのように汎用的なものにすることを目指している。ビジョンアプリをインストールして切り替えることによって、単一のデバイスで多数の異なる画像処理に対応できる。また、人工知能

によってそのレベルがさらに引き上げられる」と、同社のIDS NXT担当製品マネージャーを務めるカイ・ハートマン氏 (Kai Hartmann) は述べる。

同氏はさらに、「IDS NXT rio & romeモデルは、トレーニング済みのニューラルネットワークをカメラにアップロードすることが可能で、これまではまず不可能だった画像処理タスクが解決できるようになる」と続けた。

ビジョン・コンポーネツ社も最近、MIPI CSI-2インターフェースを備える、一連の組込みビジョンカメラモジュールを発表した(図6)。これらのカメラには、米オムニビジョン社 (Omni Vision) や、ソニーの「STARVIS」と「Pregius」の各モデルからの、0.4～12.4メガピクセルのCMOSイメージセンサが搭載されている。また、幅広い種類のCPU基板に対応する。

その他の製品

低解像度のイメージセンサを搭載し、従来型のスマートカメラとして分類される、その他の企業が提供するカメラとしては、キーエンスの「IV」シリーズ、独ジック社 (SICK) の「CVS」「Inspector」「midiCam」「picoCam」「IVC-2D」「Lector」シリーズ、台エーディーリンクテクノロジー社 (ADLINK Technology) の「x86 NEON」クアッドコアシリーズ、独マトリックスビジョン社 (MATRIX VISION) の「mv Blue GEMINI」シリーズのスマートカメラなどがある。

より大きな部品の検査や、画像の中のより小さな欠陥の特定に対するニーズの高まりと、さらに高い処理能力を必要とするさらに高速なアプリケーションが、スマートカメラの進化を促進しており、その動向からは今後も目が離せない。