

組み込みシステム設計者を ターゲットとした、 低コストの周辺デバイス

アンドリュー・ウィルソン、欧州エディター

高集積のカメラモジュールやプロセッサにより、組み込みビジョンシステムの構築にかかるコストは低下している。

組み込みビジョンシステムの定義はいまだあいまいだが、そのようなシステムが一般的に4つのカテゴリに分類されることは、広く認められている。4つのカテゴリとは、スマートカメラ(プロセッサ、照明、ソフトウェア、I/Oを組み込んで1つの製品にしたもの)、組み込み「ビジョンプロセッサ」(ビジョンシステム開発者向けに設計されたプロセッサ、I/O、ソフトウェアを搭載)、低コストのSoC (System on a Chip) モジュール (PCI Expressなどのバスインタフェースとフォームファクタをベースとする)、高度に統合された組み込みビジョンシステム (単一用途の量産用に設計されたホームセキュリティシステムなど) である。

すべてのケースにおいて、組み込みシス

テムは、低コストのプロセッサ、周辺デバイス、インタフェース規格の能力を活用する。また、マシンビジョン/画像処理システムのコストを引き下げするために、オープンソースの画像処理/マシンビジョンソフトウェアを採用する機会が多い。それと同時に、自動車、ドローン、携帯型医療機器、低コストでインテリジェントなセキュリティシステムなどの製品に搭載できるように、システムのフットプリントは縮小される。

インテリジェンスをカメラに追加

ファクトリ・オートメーションをターゲットとするシステム開発者は、スマートカメラの導入により、生産ライン工程のさまざまなステージにおいて、複数の画像処理ステーションで合否判

定、I/Oパーツの却下、ネットワーク接続された管理作業を行うことができるようになった (Vision Systems Design 誌2017年9月号の記事「Smart cameras challenge host-based systems in industrial applications」(産業分野におけるホストベースのシステムの代替に挑むスマートカメラ)、<http://bit.ly/VSD-SCC>を参照)。

興味深いことに、ビジョンシステム設計のほかの多くの側面と同様に、システム設計者は2つのいずれかの道を選択することができる。1つは、独自のソフトウェアを使用して特定のマシンビジョン/画像処理タスクを実行する、スマートカメラを利用することだ。このようなスマートカメラとしては、**図1**に示したキーエンス (www.keyence.com) の「Vision Sensor IV」シリーズのほか、オムロン (www.omron.com) の「FQ2」シリーズや、米バンナーエンジニアリング社 (Banner Engineering, www.bannerengineering.com) の「VE」シリーズなどがある。

あるいは、多数のソフトウェアパッケージをサポートするカメラを選択できる。たとえば、台湾エーディーリンク・テクノロジー社 (ADLINK Technology, www.adlinktech.com) の「NEON-1021」は、独エムブイテック社 (MVTec, www.mvtec.com) の「MERLIC」と



図1 キーエンスの「Vision Sensor IV」シリーズなどのスマートカメラは、独自のソフトウェアを使用して特定のイメージング処理を実行する。

「HALCON」、独ステマイメージング社 (Stemmer Imaging, www.stemmer-imaging.com) の「Common Vision Blox」、米コグネックス社 (Cognex, www.cognex.com) の「VisionPro」、加マトロックス・イメージング社 (Matrox Imaging, www.matrox.com) の「MIL」、加テレダイン・ダルサ社 (Teledyne DALSA, www.teledynedalsa.com) の「Sherlock」に加えて、OpenCV (<https://opencv.org>) などのオープンソースパッケージをサポートする。

たとえば、米国カリフォルニア州サンタクララで5月21～24日に開催された「Embedded Vision Summit 2018」において、独ビジョン・コンポーネンツ社 (Vision Components, www.vision-components.com) は、HALCONをベースとするマシンビジョンライブラリに同社の「VCSCB Nano Z OEM」ボードや搭載用カメラなどの組み込みシステムを組み合わせたマシンビジョンライブラリ「VC LibQ」を含む、同社の最新組み込みビジョン製品を出展した。ARM/Linuxスマートカメラは、デュアルコア ARM Cortex A9モジュールとFPGAを搭載する米ザイリックス社 (Xilinx, www.xilinx.com) の「Zynq」をベースとし、ソニーの「Pregius」シリーズのCMOSイメージセンサ (IMX 252) を採用したものが、現在提供されている。

オープンソースとトレードオフの関係にあるのが、必要なサポートレベルである。しかし、特定用途向けの低コストでロイヤリティフリーのアプリケーションを開発したいという場合は、サードパーティのカメラとオープンソースのソフトウェアを使用したカスタムアプリケーションの開発に必要なエンジニアリングコストは、費やす価値が十分にあるかもしれない。実際、ス



図2 アライドビジョン社の「1」シリーズのカメラモジュールには、オンボード・プロセッサが搭載されており、搭載用カメラよりもコンパクトな設計となっている。

マートカメラのベンダーは、ファクトリ・オートメーション・システムのコストを引き下げてきたことにもなっており、自分たちにも組み込みアプリケーションによる機会がもたらされていることに気づいた。

そこで、独アライドビジョン社 (Allied Vision, www.alliedvision.com) や 独バスラー社 (Basler, www.baslerweb.com) などの企業は、ノイズ除去やカラー・デベイヤ処理などの機能をオンボード・プロセッサにオフロードしつつ、従来搭載されていたマシンビジョンカメラよりもサイズと重量を抑えた、インテリジェントカメラモジュールを発表している。

たとえば、アライドビジョン社の「1」シリーズには、OpenCVをサポートし、MIPI CSI-2とUSB3 Visionの両方のインタフェースを搭載する、同社独自の組み込みビジョンプロセッサ「Alvium」が採用されている (図2)。一方、バスラー社の「dart」カメラモジュールには、米クアルコム社 (Qualcomm, www.qualcomm.com) のSoC「Snap dragon」と、MIPI CS-2とUSB 3のインタフェースが採用されている。

これらのカメラモジュールは、MIPI

CSI-2などのモバイルカメラインタフェースと、PCやマシンビジョンシステムでより一般的に使われるUSB 3などのインタフェースをサポートするが、アナログ/デジタルカメラインタフェースはほかにも多数存在する。たとえば、NTSCやPALといった昔ながらのアナログ放送規格や、RGBやHDMIインタフェースに加えて、GigE、Camera Link、CoaXPressなどのデジタル規格がある。

プロセッサボードとインタフェース

カメラインタフェースの選択は重要だが、それと同等に重要なのが、カメラとカメラインタフェースをサポートするために使用するプロセッサボードの選択である。プロセッサと、組み込みシステムの構築に必要なI/Oのサイズ (とコスト) を抑えるために、開発者は3つの異なるアプローチをとることができる。

1つめは、フレームグラバ、プロセッサ、I/Oモジュールを含む、さまざまな種類のボードをスタックして、コンパクトな組み込みコンピュータシステムを構成可能な、PC/104やその派生形などのオープン規格を選択することである (Vision Systems Design誌2013年2月号の記事「Small-form-factor frame grabbers enable embedded applications」(組み込みアプリケーションを可能にするスモールフォームファクタのフレームグラバ)、<http://bit.ly/VSD-SFF>を参照)。

現在、最初のPC/104規格の派生版が数多く存在する。1992年に策定された最初のPC/104に加えて、PC/104-Plus、PCI-104、PCI/104-Express、PCIe/104などがあり、そのすべてが90×96mmのフォームファク

タで提供されている。PC/104規格の最新版であるPCI/104-ExpressとPCIe/104には、どちらもPCI Expressバス(PCIe)が採用されている。しかし、PCI/104-Expressの仕様にはPCI ExpressバスとPCIバスが組み込まれているのに対し、PCIe/104のボードは、ボード上の使用可能面積を広げるために旧式のPCIバスがサポートされていない。

フレームグラバを提供する多くの企業が、PCI-104バスのすべての派生形を、さまざまなカメラインタフェースをサポートする多種多様な製品でサポートしている。PC/104-Plusについては、英アクティブシリコン社(Active Silicon、www.activesilicon.com)がBase Camera Link構成をサポートする「Pho

enix PC/104-Plus」を提供しているほか、米センサレイ社(Sensoray、www.sensoray.com)が、PAL / SECAM / NTSC / RS-170方式をサポートする4入力のフレームグラバ「Model 311」をレガシー製品として提供している。

英アドバンスド・マイクロ・ペリフェラルズ社(Advanced Micro Peripherals、www.ampltd.com)の「HDGrabberX」シリーズのボードには、最新世代のPCIe/104規格が採用されており、HDMI/DVI、RGB、HD-SDI信号のキャプチャに使用できる。一方、米エピックス社(Epix、www.epixinc.com)とベルギーのユレシス社(Euresys、www.euresys.com)は、それぞれCamera Link規格とCXP規格をサポートするボードをマシンビジョン市場向けに提供している(図3)。

これらのボードは、加コネクトテック社(Connect Tech、www.connecttech.com)などの企業から提供されている、

ほかの多数のPCIe/104ベースのCPU、I/O、拡張ボードと組み合わせることが可能で、スモールフォームファクタのマシンビジョン/画像処理システムが構築できるようになっている。

2つめの方法として、PC/104などのマルチスタック・アーキテクアの代わりに、組み込み設計者は現在、多数のコンピュータオンモジュール(COM: Computer On Module)の中からいずれかを選択して、組み込み設計を実装することもできる。組み込みコンピュータの機能を備えるCOMボードには通常、I/Oの実装に必要なI/O機能がないので、必要なI/O機能を提供するキャリアボード上に搭載する必要がある。ここで、組み込みシステムの開発に用いられる規格は数多く存在する。

たとえば、米PICMG(PCI Industrial Computer Manufacturers Group、www.picmg.org)が策定したCOM Expressや、独リッペルト・エンベデッ



図3 (a)アドバンスド・マイクロ・ペリフェラルズ社の「HDGrabberX」シリーズのボードには、最新世代のPCIe/104規格が採用されており、HDMI/DVI、RGB、HD-SDI信号のキャプチャに使用できる。(b)一方、ユレシス社は、CXP規格をサポートするボードをマシンビジョン市場向けに提供している。



図4 (a)マトロックス社は、「4Sight GPM」シリーズのビジョンコントローラを「Design Assistant」統合開発環境とともに提供している。(b)一方、テレダイナミクス社が提供する産業用コントローラ「GEVA」は、デュアルコアプロセッサとギガビットイーサネットのカメラインタフェースを備え、同社のアプリケーションソフトウェア「iNspec」または「Sherlock」で設定可能だ。

表1 組み込み画像処理システムの開発者に対し、NTSCやPALなどの放送規格から、HD-SDIなどのデジタル規格や、Camera Linkなどのマシンビジョン・カメラインタフェースにいたるまでの、さまざまな種類のカメラインタフェースをサポート可能な、多数のフレームグラバーが提供されている。

メーカー	ウェブサイト	製品名	カメラインタフェース
アドバンスド・マイクロ・ペリフェラルズ社	www.ampltd.com	AVC8000nano	8個のライブNTSC/PALビデオ入力 Windows、Linux用ドライバ
台湾アバーメディア社 (AverMedia)	www.avermedia.com	CM313B	3G-SDI 入力による HD ビデオキャプチャ H.264 H/W エンコードの Mini-PCIe
エピックス社	www.epixinc.com	PIXCI EB1mini	Base Camera Link フレームグラバー
独ハソテック社 (HaSoTec)	www.hasotec.com	FG-38-III	Mini PCI Express フレームグラバー 8個のコンポジット入力 4個の Y/C 入力
		HC-38 HD-38	Camera Link Mini PCI Express フレームグラバー HD-SDI/HDSDI Mini PCI Express フレームグラバー
米インパレックス社 (Imperx)	www.imperx.com	HD-SDI Mini-PCIe	720p/1080/1080p ビデオ用の SD および HD-SDI 入力フォーマット
センサレイ社	www.sensoray.com	Model 1012	YUYV、UYVY、RGB555、または RGB565 をキャプチャする 8個の NTSC/PAL 入力

ド・コンピュータズ社 (LIPPERT Embedded Computers、www.lipperedded.com) によって元々開発されたものを米 Small Form Factor Special Interest Group (www.sff-sig.org) が標準化した CoreExpress、PC のコアコンポーネントを 70mm × 70mm または 40mm × 70mm のフォームファクタに統合した COM で独 SGET (Standardization Group for Embedded Technologies、www.sget.org) が標準化した Qseven などがある。これらを含むコンピュータフォームファクタの一覧については、<http://bit.ly/VSD-CFF> を参照してほしい。

これらの COM をベースとするプロセッサを採用してシステムを構築する場合、必要な I/O の供給には、キャリアボードが使用されることが多い。多くのキャリアボードで PC/104 などの標準インタフェースがサポートされて

いるため、フレームグラバーを簡単にそれらに追加することができる。しかし、米アクセス I/O プロダクツ社 (ACCESS I/O Products、www.accessio.com) のジョン・ヘンチズ氏 (John Hentges) が自身の記事「mPCIe Takes on Shrinking Footprints/Growing Challenges」(縮小するフットプリントの縮小と増大する課題に挑む mPCIe、<http://bit.ly/VSD-mPCI>) で指摘しているように、そうしたインタフェースは、最新の PCI Express Mini Card (mPCIe) と比べて大きい。

このインタフェースをサポートするキャリアボードの 1 例が、コネクテック社の「COM Express Type 10 Mini Carrier Board」である。84mm × 55mm のフォームファクタで、ギガビットイーサネットポート 2 個、USB ポート 6 個、DisplayPort/HDMI/DVI/VGA ディスプレイインタフェース、mini

PCIe スロット 2 個を装備する。

組み込み画像処理システムの開発者に対し、NTSC や PAL などの放送規格から、HD-SDI などのデジタル規格や、Camera Link などのマシンビジョン・カメラインタフェースにいたるまでの、さまざまな種類のカメラインタフェースをサポート可能な、多数のフレームグラバーが提供されている。現在提供されている中で最も人気の高い mPCIe カードの一部を、表 1 にまとめた。

システム設計者は、幅広い種類の中からベースボードとアドインモジュールを選択して、イメージングやマシン処理の組み込みシステムを実装することができるが、複数の企業から現在、必要な機能のほとんどを実行する既製のハードウェアが提供されており、これを利用するのが 3 つめの方法である。

たとえば、米エヌビディア社 (NVIDIA、www.nvidia.com) の「Jetson



図5 ビジョン・コンポーネンツ社の「VCSBC Nano Z OEM」ボードレベル・スマートカメラは、LinuxベースのOSを搭載しており、ユーザーはOpen CVで独自のアプリケーションを開発するか、HALCONをベースとするマシンビジョンライブラリ「VC LibQ」を使用することができる。

TK1」は、192ドルの組込みLinux開発プラットフォーム (https://elinux.org/Jetson_TK1) で、「Tegra K1」SoCを搭載し、USBポート、HDMIポート、mPCIeカードスロットを装備する。蘭NXPセミコンダクターズ社 (NXP Semiconductors、www.nxp.com) の「NXP i.MX 8MQuad」評価キット (EVK: Evaluation Kit) は、10/100/1000イーサネットポート、USB 3.0コネクタ、PCIeインタフェースを装備し、クアルコム社の「Dragon Board 820c」開発ボードは、USB、GigE、MIPI CSIカメラインタフェースを備える。

MIPI CSIインタフェースを備えるその他のスモールフォームファクタのコンピュータとしては、英ラズベリーパイ財団 (Raspberry Pi Foundation、www.raspberrypi.org) が開発した「Raspberry Pi 3 Model B+」がある。このシングルボード・コンピュータは、最近では眼底カメラの設計に採用されるなど、多数の組込み設計で使用されている (Vision Systems Design誌2018年4月号の記事「Low-cost components make portable fundus cameras a reality」(低コストのコンポーネントによる、ポータブル眼底カメラの実現)、<http://>

bit.ly/VSD-LCEを参照)。

ビジョンプロセッサ

こうした低コストハードウェアの実装を検討する一方で、マシンビジョンシステムの設計者は、システムの開発に必要なソフトウェア投資のトレードオフを慎重に検討する必要がある。OpenCVなどのオープンソースのソフトウェアパッケージは、有効だがサポートされておらず、組込みビジョンシステムを導入する際には、ハードウェアとソフトウェアの両方のより多くのビジョンベンダーによるサポートが求められる可能性がある。コグネックス社、マトロックス・イメージング社、テレデザイン・ダルサ社など、このニーズを認識する大手ベンダーは各社とも、マシンビジョン向けに設定可能な、スマートカメラや組込みPCベースのビジョンシステムを提供している。

低コストのハードウェアのみを実装する代わりに、そうした製品を選択すれば、設定済みのハードウェアと、ハイレベルのGUI (Graphical User Interface) をベースに簡単に構成可能なソフトウェアを使用して、カスタマイドの画像処理/マシンビジョン・アプ

リケーションを開発することができる。たとえば、コグネックス社のビジョンシステム「In-Sight VC200」は、4基のIn-Sightギガビットイーサネット/PoEカメラ、I/O、イーサネット、USBポートに加えて、マシンビジョンプログラムをグラフィカルに設定可能なIn-Sightビジョンツールをサポートする。

同様にマトロックス・イメージング社は、「4Sight GPM」シリーズのビジョンコントローラを「Design Assistant」統合開発環境 (IDE: Integrated Development Environment) とともに提供している。4個のギガビットイーサネット/POEポートと4個のSuperSpeed USBポートを搭載する同システムは、ファクトリ・オートメーション向けにディスクリットなI/OとUSBポートを装備する。最後に、テレデザイン・ダルサ社の産業用コントローラ「GEVA」は、デュアルコアプロセッサ、ギガビットイーサネットのカメラインタフェース、ディスプレイ、USBポート、検査タイミング専用のトリガ入力、照明制御専用のストロブ出力を備え、同社のアプリケーションソフトウェア「iNspect」または「Sherlock」で設定可能だ (図4)。

組込みシステムの開発者には現在、システムを開発する際のハードウェアとソフトウェアとして、幅広い選択肢が提供されている。ハードウェア設計、ソフトウェア設計、光学設計、機械設計のあらゆる側面をすべて経験した開発者ならば、ドローン、ロボット、自動車などの量産分野向けに、1000ドル未満で低コストの組込み製品を実装することができる。しかし、より複雑な検査用にハイレベルなアプリケーションサポートが必要になる可能性がある場合は、マシンビジョンのハードウェアとソフトウェアの両方に精通した企業の力を借りるのが得策かもしれない。