

次世代組み込みビジョンシステムに柔軟性を与える MIPI CSI-2 インタフェース

ジェームズ・キャロル

モバイル／組み込みビジョンのアプリケーションに対して、MIPIアライアンスのインタフェースを採用するカメラメーカーはますます増加している。

MIPI CSI-2 (MIPI Camera Serial Interface 2) は、おそらく他のどのカメラインタフェースよりも、モバイル／組み込みビジョンアプリケーションにおけるポイントツーポイントの画像及び映像伝送に適している。

MIPIアライアンス (MIPI Alliance) によって開発されたMIPI CSI-2は、イメージセンサモジュールと、SoC (System on Chip) などのホストプロセッサの間のインタフェースを定義するもので、シングルセンサまたはマルチセンサの組み込みビジョンアプリケーションに適している。MIPI CSI-2は、モバイル、クライアント、モノのインターネット (Internet of Things: IoT)、自動車を含む、幅広い種類の製品プラットフォームに対して、イメージセンサモジュールとSoCの間のエンドツーエンドのコンジットソリューションを提供する。

マシンビジョン向けのMIPIイメージングソリューションは、モバイル製品プラットフォーム用に開発されたCSI-2イメージングコンジットインフラを基盤としている。MIPIカメラワーキンググループ (CWG) の加盟企業は、既存のCSI-2インフラを活用して、遅延削減や伝送効率を対象にほぼリアルタイムの認識と意思決定を行うアプリケーション、推論のためのスマート



図1 ベアボード、オープン筐体、クローズド筐体の各フォームファクタで製造されているアライドビジョン社の組み込みビジョンカメラAlviumには、組み込みビジョン処理用の独自のASICが搭載されている。

ROI (Region Of Interest : 関心領域)、リプレイプロテクションと高速BTA (バスターンアラウンド) を備えた統合シリアルリンクを実現し、コンジット配線を大幅に削減している。柔軟性の面では、MIPI CSI-2は、複数のシステムにわたるIPソリューションのクロスポリネーションやエンジニアリング作業の再利用を可能にすると、MIPIアライアンスのCWG会長を務めるハラン・タニガサラム氏 (Haran Thani gasalam) は説明した。

「CWGは引き続き、次世代マシンビジョン機能のためのソリューションをさらに推進していく。例えば、ISO-262262:2018に準じた機能安全、セキュリティ、常時オンの高度なマシンビジョンと周囲認識ニーズに対応する超低消費電力のAOSC (Always On Sentinel Conduit : 常時オンのセンチネ

ルコンジット) ソリューションなどである。またCWGは、CSI-2を補完するカメラコマンドセット (CCS) も開発した。これにより、複雑なマシンビジョンプラットフォーム上でイメージセンサモジュールを迅速に立ち上げて実装するための、統一されたイメージングドライバを開発することが可能になる」と同氏は述べた。

2013年の発表以来、MIPI CSI-2は、ますます広範囲にわたるアプリケーションに実装されるようになり、今では複数の企業が、スペースに制約のある、低コストで低消費電力のOEM組み込みビジョンシステムを開発するインテグレータのニーズに合ったインタフェースを備えた、ボードレベル及びモジュール式のカメラを開発している。例えば、独アライドビジョン社 (Allied Vision) は、組み込みビジョン処理用の独自の特定用途向け集積回路 (Application Specific Integrated Circuit : ASIC) を搭載する「Alvium」シリーズのカメラを製造している。OpenCVをサポートし、MIPI CSI-2とUSB3 Visionの各インタフェースを備えるこれらのカメラは、ベアボード(図1)、オープン筐体、クローズド筐体の各フォームファクタと、さまざまなレンズマウントオプションで提供されており、開発者に設計の柔軟性を与える一方で、

組み込みを容易にするために共通のドライバを共有している。同社によると、オンボードの画像処理とインテリジェントな電源管理が可能で、設計はコスト最適化されているという。

MIPI CSI-2 インタフェースをベースとする「Alvium 1500 C」シリーズのカメラには、米オン・セミコンダクター社(ON Semiconductor)の「PYTHON 480」(0.5メガピクセル、116fps)から「AR0521」(5メガピクセル、67fps)までのCMOSイメージセンサが採用されている。MIPI CSI-2 インタフェースを備える「Alvium 1800 C」シリーズには、ソニー製の「IMX287」(0.4メガピクセル、280fps)から「IMX183」(19.7メガピクセル、25fps)までのCMOSセンサが採用されている。

「当社のAlviumカメラシリーズのCSI-2バックエンドは、センサ非依存の画像補正／前処理機能の標準セットを提供することにより、そうしたカメラを要件の厳しい組み込みアプリケーションに簡単かつ素早く組み込めるようにすることを目指している。すべての機能が当社のオープンソースドライバを介して利用できるため、システム設計者は、自分のアルゴリズムに集中することができ、基本的なカメラ機能の組み込みに時間を費やす必要はない」と、同社の製品マネージャーを務めるギオン・ピッチェン・グロス氏



図3 カラー、モノクロ、NIR、RAW Bayerの各フォーマットで提供されている、イーコン・システムズ社の組み込みビジョンカメラは、この図に示されているエヌビディア社のJetson Nanoなどの組み込みビジョン開発キットとともに使用できるように設計されている。

(Gion-Pitschen Gross)は述べた。

産業用カメラを製造する独バスラー社(Basler)は、さまざまなSoCと互換性のある組み込みビジョン製品を設計している。「dart BCON for MIPI」カメラモジュールは現在、蘭NXPセミコンダクター社(NXP Semiconductor)の「i.MX 8」アプリケーションプロセッサに対応している。同社は、米エヌビディア社(NVIDIA)との提携関係もさらに拡大している。dart BCON for MIPIカメラモジュールを、「Jetson」プラットフォーム(NanoやTX2など)に組み込むことにより、開発者はAI対応の組み込みビジョンアプリケーションを構築することができる。

バスラー社の組み込みビジョンカメラには、MIPI CSI-2接続を備えるシステム向けに特別に設計された、独自のBCON for MIPIインタフェースが提供されている。組み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・ラーデマッヘル博士

(Thomas Rademacher)によると、同社はこれらの製品を、従来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(図2)は、5～13(5、8、13)メガピクセルの解像度を備え、Sマウントまたはマウントなしで提供されている。画像前処理は、それぞれの宿主SoCのイメージシグナルプロセッサ(ISP)で行われるか、カメラ上で直接行われる。ISPは、NXP社の新しい「i.MX 8M Plus」か、米クアルコム社(Qualcomm)の「Snapdragon」である。

BCON for MIPIインタフェースをベースとし、カメラ内で画像前処理を行うモデルとしては、4種類のカメラモジュールが提供されており(カラーで、ベアボードレベルまたはSマウントが選択可能)、オン・セミコンダクター社の5メガピクセル(60fps)または13メガピクセル(30fps)のいずれかの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、これらのカメラには直ちに使えるドライバパッケージが付属している。

開発者が簡単に作業を開始できるように、同社は、NXP社、エヌビディア社、クアルコム社のプロセッサを対象に、BCON for MIPIベースのさまざまな組み込みビジョンキットも開発している。これらのアセンブリキットには、



図2 バスラー社のBCON for MIPI 組み込みビジョンキットは、NXP社、エヌビディア社、クアルコム社のプロセッサ向けに設計されており、組み込みビジョンシステム開発を簡単に開始できるようにすることを目的としている。

バスラー社のdartカメラモジュールと各プロセッサプラットフォームを評価して、組み込みビジョンシステムを簡単に構築できるようにするための重要なコンポーネントがすべて含まれている。

「われわれの目標は、顧客に対して最適な組み込みビジョンソリューションを構築することにある。バスラー社のdart BCON for MIPIカメラモジュールは、さまざまなSoCの処理能力を活用することにより、顧客が画質を落とすことなくリッチなシステムを実現できるようにする。従ってdart BCON for MIPIは、要件の厳しい組み込みビジョンシステムとIoTアプリケーションに対する理想的なカメラであるといえる」とバスラー社のマーケティングモジュール事業を統括するゲリット・フィッシャー氏(Gerrit Fischer)は説明した。

米D3エンジニアリング社(D3 Engineering)は、MIPI-CSI2、LVDS、パラレルビデオの直接デジタルセンサ出力を備えた、ボードレベルのセンサモジュールを製造している。これらの「D3SM」モジュールは、組み込みシステムへの組み込みをターゲットとし、ボードレベルコネクタ、レンズマウント、アクティブアライメントレンズをボード上に備える。D3SMモジュールは、D3社の「DesignCore Camera Mezza

nine Board」、米アロー・エレクトロニクス社(Arrow Electronics)の「Dragon Board Camera Kit」、米テキサスインスツルメンツ社(Texas Instruments)の「BeagleBoard」など、広く採用されている開発ボードをサポートしている。

米イーコン・システムズ社(e-con Systems)は、組み込みビジョンモデル用のカメラボードとして、MIPIインタフェースをベースとする18種類のオプションを提供している。カメラは、2～13メガピクセルのCMOSイメージセンサを搭載し、カラー、モノクロ、近赤外(NIR)、RAW Bayerで提供されている。30～120fpsのフレームレートに対応するこれらのカメラは、エヌビディア社のJetson Nano(図3)／Xavier／TX1／TX2、加コネクト・テック社(Connect Tech)の「Rogue」キャリアボード(AGX101)、イスラエルのバリサイト社(Variscite)の「DART-MX8M-MINI」、中国ロックチップ社(Rockchip)の「RK3399」、米グーグル社(Google)の「Coral」開発ボードなどの組み込みビジョン開発キットとともに使用できるように設計されている。

イーコン・システムズ社はその他に、GMSL SerDes技術をベースとする「NileCAM」カメラシリーズを製造している。これらのカメラは、3またはは

15mの同軸ケーブルをサポートする。「NileCAM30」カメラには、オン・セミコンダクター社の3.4メガピクセルのCMOSイメージセンサ「AR0330」が搭載されている。このカメラは、MIPIとUSBの両方のインタフェースに対応する。

3D ToF(Time of Flight)機能を搭載する加ルシッド・ビジョン・ラブズ社(LUCID Vision Labs)の「Helios Flex」カメラモジュール(図4)には、ソニーの新しい0.3メガピクセルのCMOSイメージセンサ「DepthSense IMX556」が搭載されている。カメラのMIPIインタフェースをエヌビディア社のJetson TX2組み込みボードに接続することにより、Helios Flexは、Jetson TX2のGPU上のCUDAアクセラレーション処理に向けて、未加工データをオフロードする。開発者やインテグレータは、カメラの拡張MIPIポートを使用することにより、追加のデバイスやセンサをUSB3ポートやイーサネットポートに接続することができる。3D ToF画像を30fpsで出力するこのカメラは、カメラモジュール、カメラアダプタボード、ケーブル、AC電源からなるバンドルで提供されている。エヌビディア社のJetson TX2は別売りとなっている。

米オムロンセンテック社(Omron



図4 ルシッド・ビジョン・ラブズ社のHelios Flexカメラは、ソニーのDepthSense IMX556センサを搭載し、Jetson TX2のGPU上のCUDAアクセラレーション処理に向けて未加工データをオフロードする。



図5 イメージング・ソース社のボードレベルのMIPI CSI-2カメラは、エヌビディア社のJetson Nano／TX2／AGX XavierとRaspberry Piに直接アクセス可能で、ソニーの0.3～8.3メガピクセルのPregiusまたはSTARVISセンサを搭載する。

Sentech)のMIPIカメラは、ボード版とケース版で提供されており、ソニーの1.3メガピクセルCMOSイメージセンサ「ISX017 STARVIS」を搭載する。このカラーカメラのフレームレートは60fpsで、複数のレンズマウントオプションが提供されている。

独イメージング・ソース社(The Imaging Source)のボードレベルのMIPI CSI-2カメラ(図5)は、エヌビディア社のJetson Nano/TX2/AGX XavierとRaspberry Piに直接アクセスするように設計されており、カラーとモノクロで提供されている。0.3～8.3メガピクセルのソニー製CMOSイメージセンサ「Pregius」または「STARVIS」を搭載し、モノクロカメラは最大240fps、カラーカメラは同じセンササイズで最大120fpsのフレームレートを達成する。カラー版もモノクロ版も、独エムブイテック社(MVTec)の「HALCON」マシンビジョンソフトウェアによって直ちに実装することができる。同社はさらに、FPD-Link IIIブリッジを備える筐体付きまたはボードレベルのカメラを提供している。FPD-Link IIIブリッジはMIPIを拡張して、接続距離が短いというMIPIの欠点を補い、ケーブル長を最大15mにまで延長するものである。

「MIPI CSI-2インターフェースを採用する最新のカメラ及びビジョンセンサに、エヌビディア社の完全にスケラブルなJetsonプラットフォームを組み合わせるにより、非組み込み型のコンピュータベースのシステムと比べて、サイズは大幅に縮小し、コストは低下する。またMIPIインターフェース規格によって、共通のソフトウェアアプローチが開発者に提供され、組み込みシステムの統合が簡素化される」と、EMEA地区担当セールスディレクター



図6 エヌビディア社、ラズベリー財団、ロックチップ社、アロー社、NXPセミコンダクター社などのCPUボードに対応する、ビジョン・コンポーネンツ社のVC MIPIモデルには、ソニーのPregiusまたはSTARVISセンサが採用されており、ピクセルサイズは0.3～20.2メガピクセルである。

を務めるローランド・アッカーマン氏(Roland Ackermann)は述べた。

「ただし、克服しなければならない障害がまだ存在する。カメラセンサごとに独自のカーネルモードドライバとISP設定が必要で、ザ・イメージング・ソース社は、組み込みビジョンアプリケーションの可能性を最大限に引き出すためのノウハウを顧客に提供している」とアッカーマン氏は続けた。

独ビジョン・コンポーネンツ社(Vision Components)は、エヌビディア社、英ラズベリー財団(Raspberry Pi)、ロックチップ社、アロー社、NXPセミコンダクター社のCPUボードと互換性のある、カラーまたはモノクロの複数の異なるMIPIベースのカメラを製造している(図6)。

ほとんどの「VC MIPI」モジュールに、ソニーのPregiusまたはSTARVISセンサが採用されているが、2つのカメラには米オムニビジョン社(OmniVision)のセンサが採用されている。センササイズは0.3～20.2メガピクセル、フレームレートは24～530fpsである。

「MIPIインターフェースはもともと民

生市場向けであったため、そのサイズから大きな技術製品を対象としている。VC MIPIカメラモジュールはMIPI CSI-2インターフェースを採用しているため、想像し得るあらゆるアプリケーションに対して利用可能で適切な、幅広い組み込みプロセッサアーキテクチャとともに使用することができる」と、セールス担当副社長を務めるジャン-エリック・シュミット氏(Jan-Erik Schmitt)は述べた。

「MIPIの高い柔軟性により、開発者は市場投入期間を大幅に短縮して、組み込みビジョンソリューションの構築に必要な2つの主要要素(画像取得デバイスと処理ユニット)に基づく結果をすばやく取得することも可能だ。しかも、最初からコストを抑えることができる」と同氏は付け加えた。

タニガサラム氏によると、MIPI C WG(<https://bit.ly/VSD-MCWG>)の加盟企業は今後に向けて、マシンビジョンにおける、人と人との間のコラボレーションの劇的な改善と、人と機械の間の摩擦の緩和を目指して、CSI-2インターフェースの改良に取り組んでいるという。

編集者注記
MIPI CSI-2については<https://bit.ly/VSD-CSI2>、MIPIアライアンスの最新情報については<https://bit.ly/VSD-MIPINEWS>を参照のこと。