

## エンタープライズドローンを対象とした高解像度マシンビジョンの実現

セドリック・マルタ

最近改訂されたMIPI Camera Serial Interface 2 (MIPI CSI-2)仕様は、エンタープライズドローン市場に特に関連がある。

IoTに含まれる広大な範囲の市場の中で、エンタープライズドローン分野には、特にマシンビジョンに関連して、他とは異なる機会と課題が存在する。

高解像度マシンビジョンは、電力線や電波塔の遠隔検査、農作物や家畜の監視、工業現場の検査、警察機関によ

る偵察など、この分野の多くの用途に不可欠な要素である。

マシンビジョンは、それよりもはるかに基本的な方法でも、エンタープライズドローン市場における最も高価値な用途の実現を支援しており、ドローンの目視外 (beyond the visual line of

sight : BVLOS)での飛行を可能にする。目視外飛行とは、ドローン操縦者の目視範囲をはるかに超えた場所で、広域セルラー及び衛星ネットワークを介して接続されたドローンが自律的に飛行することである。BVLOS飛行は、エンタープライズドローンの応用範囲



図1 マシンビジョンは、ドローンの目視外 (BVLOS)での飛行を可能にする。目視外飛行とは、ドローン操縦者の目視範囲をはるかに超えた場所で、広域セルラー及び衛星ネットワークを介して接続されたドローンが自律的に飛行することである

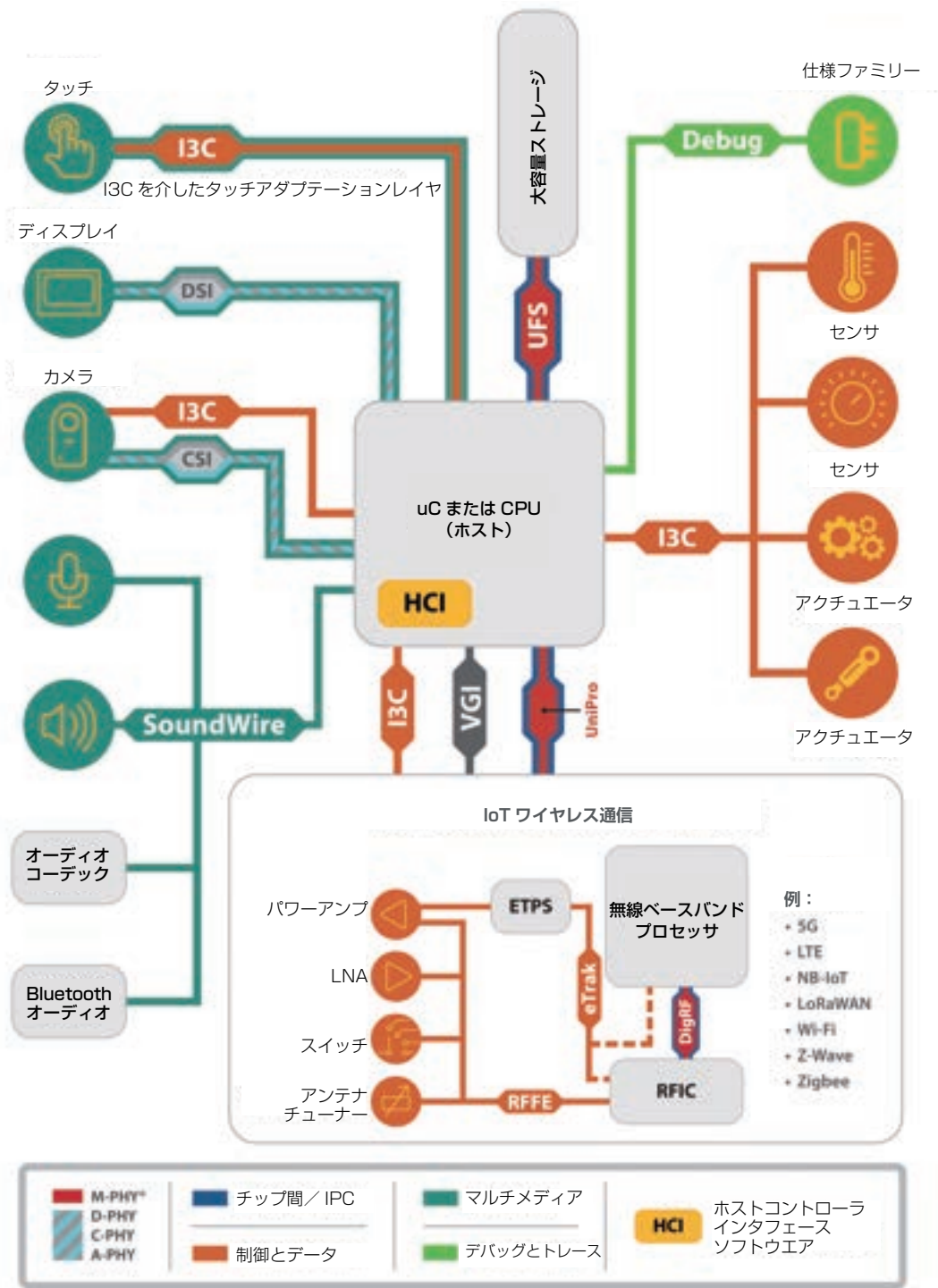


図2 IoTワイヤレス通信(図提供:MIPIアライアンス)

を大幅に拡大する。

### BVLOS 飛行の さまざまな課題への対応

ドローン専門家は、検出、検知、回

避(detect, sense, and avoid : DSA)システムの開発が、ドローンのBVLOS飛行に必須であることを強調している。これらのシステムは、ドローンがさまざまな環境において安全に飛行

し、他の航空機などの障害物を回避できるようにすることにより、空中衝突のリスクを低減する。

これらのソリューションには、高解像度カメラ、ライダ、レーダーの搭載

### MIPI CSI-2の機能

機能	仕様バージョン						
	v1.1	v1.2	v1.3	v2.0	v2.1	v3.0	v4.0
短いフレーム同期パケット、長いデータパケット、1つ以上の仮想チャンネル、MIPI PHY 物理層を使用する、基本的なイメージフレーム伝送	●	●	●	●	●	●	●
MIPI D-PHY バージョン参照 * /レーンあたりビットレート	v1.1/1.5 Gbps	v1.2/2.5 Gbps	v1.2/2.5 Gbps	v2.1/4.5 Gbps	v2.1/4.5 Gbps	v2.5/4.5 Gbps	v3.0/9.0 Gbps
MIPI C-PHY バージョン参照 * /レーンあたりビットレート	-	-	v1.0/3.9 Gbps	v1.2/8.0 Gbps	v1.2/8.0 Gbps	v2.0/13.7 Gbps	v2.1/13.7 Gbps
MIPI A-PHY バージョン参照 * (PAL/CSI-2 v1.0 を使用)	-	-	-	-	-	-	v1.1/16 Gbps
D- または C-PHY シリアルリンクあたりのデータレーン数の上限	4	None	None	None	None	None	None
I2C 高速モードのカメラ制御インタフェース (CCI)	●	●	●	●	●	●	●
I2C 高速モードプラスの CCI サポート	-	-	-	-	●	●	●
I3C SDR 及び HDR-DDR モードの CCI サポート	-	-	-	-	●	●	●
ショートパケットのデータタイプ 同期 : Frame Start/Frame End, Line Start/Line End、汎用ユーザー定義 (8つのデータタイプ)	●	●	●	●	●	●	●
ロングパケットのデータタイプ ピクセル : ユーザー定義のバイトベースデータ (8つのデータタイプ) Null、プランキング、組み込みデータ	●	●	●	●	●	●	●
その他の RAW ピクセルデータタイプ	-	-	-	16, 20	16, 20	16, 20, 24	16, 20, 24, 28
汎用でユーザー定義のロングパケット (4つのデータタイプ)	-	-	-	-	●	●	●
DPCM 圧縮 : 10-[8,7,6]-10 and 12-[8,7,6]-12	●	●	●	●	●	●	●
DPCM 圧縮 : 12-10-12	-	-	-	●	●	●	●
仮想チャンネルとデータタイプの ロングパケットインターリーブ	●	●	●	●	●	●	●
仮想チャンネルの最大数 (D-/C-PHY を使用)	4/4	4/4	4/4	16/32	16/32	16/32	16/32
遅延低減と伝送効率 (LRTE)	-	-	-	●	●	●	●
送信終了ショートパケット (EoTp) 付きの LRTE	-	-	-	-	-	●	●
ロングパケットのデータスクランブル	-	-	-	●	●	●	●
スマート ROI (SROI)	-	-	-	-	-	●	●
ユニバーサルシリアルリンク (USL)	-	-	-	-	-	●	●
常時オンのセンチネルコンジット (AOOSC)	-	-	-	-	-	-	●
マルチピクセル圧縮 (MPC)	-	-	-	-	-	-	●
機能安全サポート (CSE v1.0 仕様による)	-	-	-	-	-	-	●

\* MIPI CSI-2 リリースで参照されている MIPI PHY 仕様  
リリースは、表記されている PHY の他のバージョンとも上位/下位互換性を持つ場合がある。

図3 MIPI CSI-2の機能

が必要である。DSA センサからのデータが、セルラー接続を使用して、他の無人航空機 (Unmanned Aerial Vehicle : UAV) または地上システムからのデータと融合されることによって、ドローンは周辺環境を十分に理解して、その範囲内を安全に飛行することができる。しかし、必要な性能、サイズ、重量、消費電力の制約の範囲内で、センサとその関連コンポーネントを設計して統合する事は、決して小さな課題ではない。

そこで、エンタープライズドローン市場の継続的な進歩を大きく後押しするのが、米 MIPI アライアンス (MIPI Alliance) によるインタフェース仕様である。MIPI 仕様は、電子デバイスの中のカメラ、ディスプレイ、センサ、通信モジュールといった、組み込み電子コンポーネントの間の標準化された接続を定義する。それは、設計と統合プロセスの大幅な簡素化につながる。また、MIPI 仕様は、マシンビジョンと DSA ソリューションの独特のニーズに適切に対応する、以下の主要特性に基づいている。

- ・ 広い帯域幅 – MIPI 仕様は、高速性、高拡張性、超低遅延を特長とする、ドローンやその他のシステムの中の電子システムとコンポーネントを接続するためのインタフェースを、詳しく定めている。これらのインタフェースを使用することで、非常にデータ効率の高い動作モードが可能となる。その結果、非常に高度なカメラから低速センサに至るまでの、幅広い種類のイメージング及びセンシングコンポーネントがサポートされる。
- ・ 低い電磁干渉 – ドローン設計者は、電磁両立性 (electromagnetic com-

patibility : EMC) に関する、各分野特有の非常に厳しい規制を満たさなければならない。MIPI 仕様は、高速物理層における低電圧振幅や、スルーレート制御のサポートといった手法を組み合わせ、電磁干渉 (electromagnetic interference : EMI) を低減することにより、これらのニーズを満たす。この柔軟性によって開発者は、物理層インタフェースの EMI プロファイルを、エンドデバイスの EMI ニーズに合致させることができる。付加的なメリットとして、製品の軽量化が可能で、それは、必要な EMI シールドが低減されることを意味する。

- ・ 低い消費電力 – MIPI 仕様は、複数の使用モードにおいて、ドローンコンポーネント間の柔軟で非常に電力効率の高いデータ伝送を促進する。これは、データの送受信が行われる「アクティブ」モード、データ伝送が少なく割り込み駆動となる「アクティブスタンバイ」モード、データ伝送が行われない「フルスタンバイ」モードのいずれかにコンポーネントがある場合でも、消費電力が低く抑えられることを意味する。
- ・ セキュリティ – ドローン市場のデバイスは、厳しい機能安全規格にも準拠する必要があるため、セキュリティは非常に重要である。MIPI Security Working Group (セキュリティ作業部会) は、セキュリティフレームワークの構築を統括しており、まずはカメラを対象に、プロトコルレベルでのセキュリティを実現できるようにすることで、データストリーム全体にわたる完全なエンドツーエンドの保護を提供する。
- ・ 小型化と軽量化 – MIPI 仕様には、導線数を最小限に抑えた高性能シリ

アルインタフェースが含まれており、設計者がピン数を最小化できるようになっている。これにより、チップ上とプリント回路基板全体の相互接続数が減少する。コンポーネントをより高密度にパッケージ化することが可能となり、設計が全体的に軽量化される。これは、ドローン市場において特に主要なメリットである。

- ・ 5G 対応 – MIPI 仕様は、高速大容量 (enhanced Mobile Broadband : eMBB)、多数端末接続 (massive Machine Type Communication : mMTC)、超高信頼低遅延 (Ultra-Reliable and Low Latency Communications : URLLC) などの 5G サービスを既にサポート可能で、新たに出現する通信及び技術要件に対応するための移行パスを、ドローン設計者に提供する。

## 最新の MIPI 組み込みカメラとイメージングインタフェースにおける高度な機能

最近改訂された MIPI Camera Serial Interface 2 (MIPI CSI-2) 仕様は、エンタープライズドローン市場に特に関連がある。CSI-2 は、静止画と動画をセンサからアプリケーションプロセッサに送信するための高速プロトコルである。多くの異なる応用分野における、単一または複数のカメラ実装に適している。

CSI-2 インタフェースには、エンタープライズドローンの高まるニーズに関連する、多数の特性と機能が含まれている。例えば、差分パルス符号変調 (Differential Pulse Code Modulation : DPCM) の 12-10-12 圧縮は、帯域幅を減少させつつ、高品質の信号雑音比 (signal to noise ratio : SNR) を備えた、圧縮アーチファクトのない画像を提供

する。また、v3.0で導入されたCSI-2のスマートROI(Smart Region of Interest)機能は、画像の解析、アルゴリズムの推論、より良い演繹を可能にする。この機能によってドローンは、例えばパイプラインを監視して、破損などの異常の可能性を迅速に特定することができる。

2021年終盤にリリースされた同仕様の最新版であるMIPI CSI-2 v4.0は、さらに高いマシン認識能力を持つデバイスの開発を促進するものとなっている。以下の機能は、エンタープライズドローンを含む、多数の応用分野にわたって有用であることが明らかになっている。

- ・ 常時オンのセンチネルコンジット(Always-On Sentinel Conduit : AOSC)。ドローンやその他のデバイスによる、常時オンのマシンビジョンシステムの使用を可能にする機能。超低消費電力のイメージセンサとビデオシグナルプロセッサ(VSP)の組み合わせによって、周辺環境を連続的に監視し、何か重大な事象が生じた場合に、より消費電力の高いホストCPUをウェイクすることができる。AOSCは、ドローンのイメージセンサからVSPまで、低消費電力のMIPI I3Cバスを介してイメージフレームを非常に効率的にストリームすることも可能で、さらなるI3Cレーンと帯域幅をI3C仕様の定義に従って追加する、スケールアップオプションを備える。
- ・ マルチピクセル圧縮(Multi-Pixel Compression : MPC)。マルチピクセルのカラーフィルタアレイ(CFA)によって、最先端イメージセンサのピクセル圧縮を最適化する機能。
- ・ RAW28色深度ピクセル符号化。次世代の高ダイナミックレンジイメ

ジセンサにおける、新しい画質とより良い信号雑音比(signal-to-noise ratio : SNR)をサポートする機能。RAW28が、これまでに導入されているCSI-2 v2.0のRAW 16及びRAW 20と、CSI-2 v3.0のRAW 24に追加された。

### 関連仕様ファミリー

CSI-2 v4.0は、低コストで低ピン数の2線式インテリジェントシリアルインタフェースである、MIPI I3C/I3C Basicを介したイメージフレームの伝送もサポートする。MIPIカメラ制御インタフェース(Camera Control Interface : CCI)は、I3C/I3C Basicに対応して、オートフォーカスや光学式手ぶれ補正(optical image stabilization : OIS)といった高度なイメージング性能要件など、さまざまなアプリケーションに対応する。イメージング性能におけるこれらの改善はどちらも、詳細な調査と監視に対するドローンの利用を支えるものである。

MIPIにはその他にも、エンタープライズドローン分野にメリットをもたらす、以下のような多数の仕様が定められている。

- ・ MIPI C-PHYとMIPI D-PHYは、低ピン数のシリアルインタフェースで、ライン長が50cm未満の小型ドローンにおける、高速センサの接続に適している。
- ・ MIPI A-PHYは、高いノイズ耐性を備えた信頼性の高いシリアルインタフェースを提供する。同軸ケーブルまたはSTPケーブルを使用して、大型ドローンにおける高速センサを最大15mの距離にわたって接続する。

- ・ MIPI UniProとMIPI M-PHYは、ドローン上にローカルに高解像度動画を格納するためのJEDECのUniversal Flash Storage(UFS)に対応する。
- ・ MIPI RFFEは、ワイヤレス通信モジュール内のRFフロントエンドコンポーネント(パワーアンプ、低ノイズアンプ、フィルタ、スイッチ、アンテナチューナーなど)を制御する。
- ・ MIPI CSEは、ドローンや航空などのような、カメラを使用する用途における、イメージセンサと関連制御インタフェースに対する、機能安全などのサービスを定義する拡張機能セットである。

### 今後の見通し

欧州航空安全機関(European Union Aviation Safety Agency : EASA)や米連邦航空局(Federal Aviation Administration : FAA)の規制活動によって、ドローン飛行に関する法規制が整備されたことにより、世界エンタープライズドローン市場は、著しい成長に向けた体制が整った状態にある。各種アナリストレポートによると、その市場価値の大半を生み出すのはエンタープライズ市場で、最も著しい成長が予想されるのは、農業、建設と採鉱、保険、メディア、通信、法執行といった分野だという。

MIPI仕様は、複雑さの緩和や軽量化から、EMIや安全性に関する規制への準拠にいたるまで、エンタープライズドローンの設計者が直面する広範囲にわたる課題を解決して、急成長するこの機会を捉えられるように、支援する役割を今後とも担っていく。

#### 著者紹介

セドリック・マルタ(Cedric Marta)は、米MIPIアライアンス(MIPI Alliance)のCamera Working Group(カメラ作業部会)の副会長。URL: [www.mipi.org](http://www.mipi.org)