

## マシンビジョンにおける伝送規格

アルノー・デストルエルス

ソニーヨーロッパ(Sony Europe)のイメージ・センシング・ソリューションズ部門が、USB 3.0規格を採用する同社初のマシンビジョン・カメラモジュールをリリースすると発表したことを受け、主要な伝送規格とそれぞれのトレードオフの概要について、同社に話を聞いた。

マシンビジョンは、製品の品質と生産速度の両方を向上させるうえで大きな役割を果たし、不具合検出とコンポーネント配置の能力はますます高まっている。この現象は、製造、製薬、農業、高度道路交通システム(ITS: Intelligent Transportation System)、電子基板の組み立てなど、多岐にわたる業界で生じている。また、その適用範囲は工程の一部にとどまらず、リコールのリスクを最小限に抑える自動車検査システムから、食品の選別や、さらには、これまで優れた職人の腕を信じるしかなかった高級腕時計の製造にいたるまで、ほぼ無限に広がっている。

技術の進歩にともない、精度だけでなく、コストと速度も重視されるようになった。偽陽性や偽陰性の誤検出だけでなく、生産ラインの速度の低下も引き起こしてはならない。

センサそのもの、センサの能力を最大限に活用するためにカメラモジュールをどのように最適化するか、また、マシンビジョンシステムをどのように設計するかといった、複数の要因がこれに影響を与える。たとえば、照明の制御方法や、複数のカメラを用いた複数アングルの撮影、マルチキャプチャやコンピュータイメージング、後処理機能、画像データの伝送方法などである。

要するに、優れた画像は、複数の要因と、センサを最大限に活用する包括的な設計手法の産物である。この設計

の主要な要素の1つが、カメラからの画像データを、紛失したり速度を低下させたりすることなく、いかにして伝送するかということである。

### 主要な規格

EMEA(欧州、中東、アフリカ)地域では、2019年はGigE Vision、Camera Link、USB Vision(2.0と3.0の両方を合わせたもの)のわずか3つの規格が、売上高でハードウェア市場の85%を占めるシステムに採用されると予測されている(図1)。図2では、それ以外の部分までさらに詳しく分類し、USB 2.0/3.0を含めて最もよく使われている規格を、上位12位まで示した。

### トレードオフのバランス

すべてのプロジェクトで検討される最大のトレードオフの1つが、帯域幅と距離の間のトレードオフである。コストと複雑さも重要な検討項目である。図1と図2に示したように、マシンビジョンの分野で採用される主要な伝送規格は、GigE、Camera Link、USBの3つである。図3aは、3つの主要規格の帯域幅と複雑さの関係、図3bは、帯域幅とケーブル長の関係を比較したもので、規格はコストの高い順に左から右に並んでいる。

帯域幅が大きいほど、多くの機能を実装することができる。たとえば、ソニーの「XCL-SG510」は、Camera

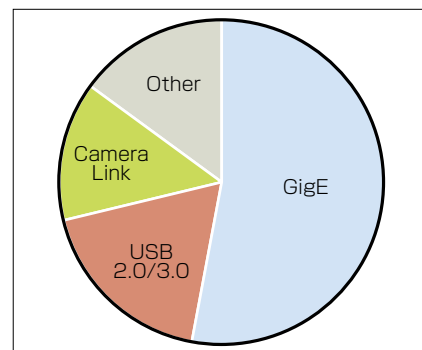


図1 GigE、USB、Camera Linkの3つの主要規格が、売上高でマシンビジョン市場の85%のシェアを占める。CoaXPress(売上高で第4位)やFireWire(同5位)など、それ以外の規格の市場シェアは、どれも2%に満たない。

Link規格の帯域幅を使用して510万画素の画像を154fpsで送信しつつ、広ダイナミックレンジなどの機能が実装されており、複数の画像を異なる露光レベルで撮影し、合成画像を作成することによって細部を明らかにする。新しいUSBモジュール(XCU-CG160)を利用すると、使用可能帯域幅は大幅に拡大する。XCU-CG160は、2018年4月から量産されている。

当然ながら、これがトレードオフの全体像というわけではない。そのほかに、コスト、ネットワーク上に配置できるカメラ台数、ケーブルの追加によって伝送速度を上げる能力などの要素が関連してくる。たとえば、CoaXPress CXP-6 Quad規格では、4本のケーブルを使用して25Gbps(4×6.25Gbps)の伝送速度を得ることができる。Camera Linkでも複数のケーブルを使用して伝送速度を上げることができるが、合計速度は構成設定(Base、Medium、Full、Extended-Full)に依存し、単純に2本で2倍になるわけではない。さらに、

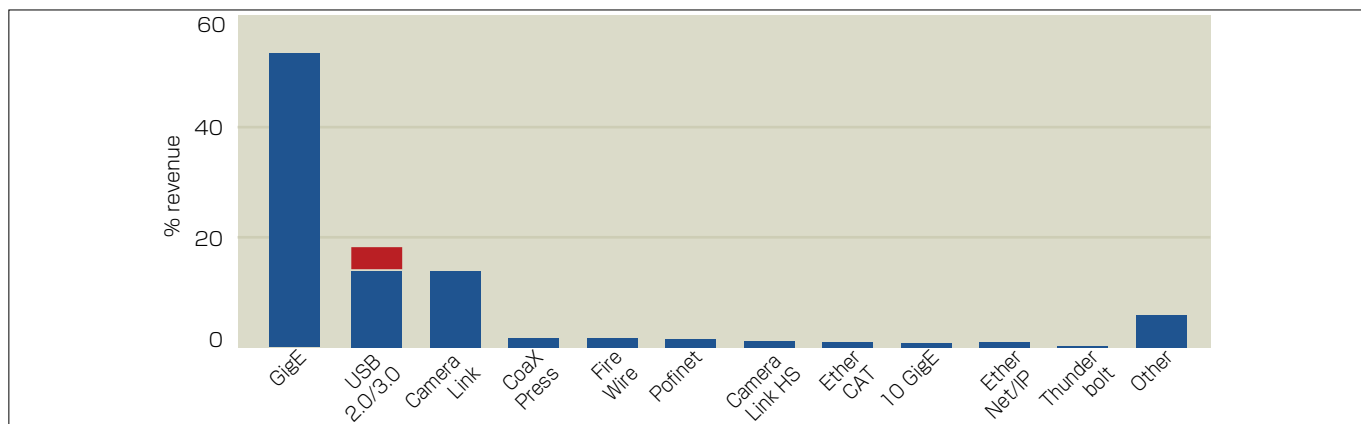


図2 3つの主要規格の次によく使われる8つの規格を合わせても、売上高は全体の10%に満たない。USBのうちのUSB3.0の市場シェアを赤で示した。

IEEE1394bなど、複数のケーブルが使用可能だが、ダイジーチェーン接続の目的でしか使用できない規格もある。

これに加えて、GigE VisionではIEEE1588規格を使用することにより、追加のハードウェアを不要として、全体的なシステムコストを抑えることができる。たとえば、複数のカメラやシステムコンポーネントの間で同期が必要な場合のGPSタイミングチップを、省くことができる。

## 次世代規格

また、既存のインフラにも対応する伝送規格を選択しなければならない。先ほどEMEAの市場シェアを示したが、市場シェアは地域によって大きく異なる。極東ではCamera Linkが最も一般的に使用されているのに対し、欧州ではGigE Visionが50%以上のシェアを占めている。しかし、顧客は実利を重んじる傾向にあり、アプリケーションで許容されるならば、卓越したフレームレートをサポートするCamera Linkへの移行を検討する可能性がある。

適切な規格を選択するというこの問題にさらに絡んでくるのが、次世代伝送規格の出現である。たとえば、10GigEとCamera Link HSは、どちらも（構成

によっては）最大10Gbpsの伝送速度が、これまでよりも長い距離で利用でき、10GigEは最大100mの距離に対応する。

ただし、これらの新しい規格のすべてが後方互換性を備えているわけではなく、それが最終的には普及に影響を与える可能性がある。10GigEなどの規格は後方互換性があるので、既存インフラとシームレスに統合可能だが、Camera Link HSは2.0の単なる進化形ではないので、普及には時間がかかる可能性がある。

## 統制のとれたシステム動作

農業や、ITS機能や、工場用ロボットなど、より多くの情報を含む画像を取得するために複数のカメラ（とシステム全体）が互いに通信できることが不可欠な分野は非常に多く、その数はますます増加している。

たとえば、（土が付いた果物が連続的に流れてくる）コンベアから不良な果物を取り除く検査ロボットは、スーパーマーケットの基準を満たすもの、許容範囲だが完璧ではないもの、ジュースに使えるもの、損傷／感染／カビがあるものを、正確に選別するために、複数のカメラによる画像を必要とする。

偽陽性を減らし、偽陰性はそれ以上に少なくなるようにそれを行うには、カラーの近赤外線センサや、偏光センサ／ハイパースペクトルセンサを搭載した複数のカメラによって、正常なマーク、キズ、感染、さらには表皮の下に隠された物体を区別しなければならない。従って、正確に同じ時間に撮影を行い、正確に同じ画像を取得するカメラの能力が必須である。

標準カメラには、クロックが内蔵されている。クロック速度はまちまちでカメラ毎に異なり、デバイス間のリンクはない。ネットワーク上の各デバイスが独自にクロックを持つので、特定の時間に撮影するようにモジュールをプログラムすることはできない。従来は、これを管理するために、GPSなどの技術に基づくハードウェアトリガが使用されていた。これはナノ秒レベルまで正確だが、コストがかなり増加し、また、システムの単一障害点にもなってしまう。

代替策はソフトウェアを使用して、IEEE 1588 PTP (Precision Time Protocol) を使用することである。GigE v2.0通信規格でこれを実装することができる (Vision Systems Design誌2017年4月号の記事「IEEE1588

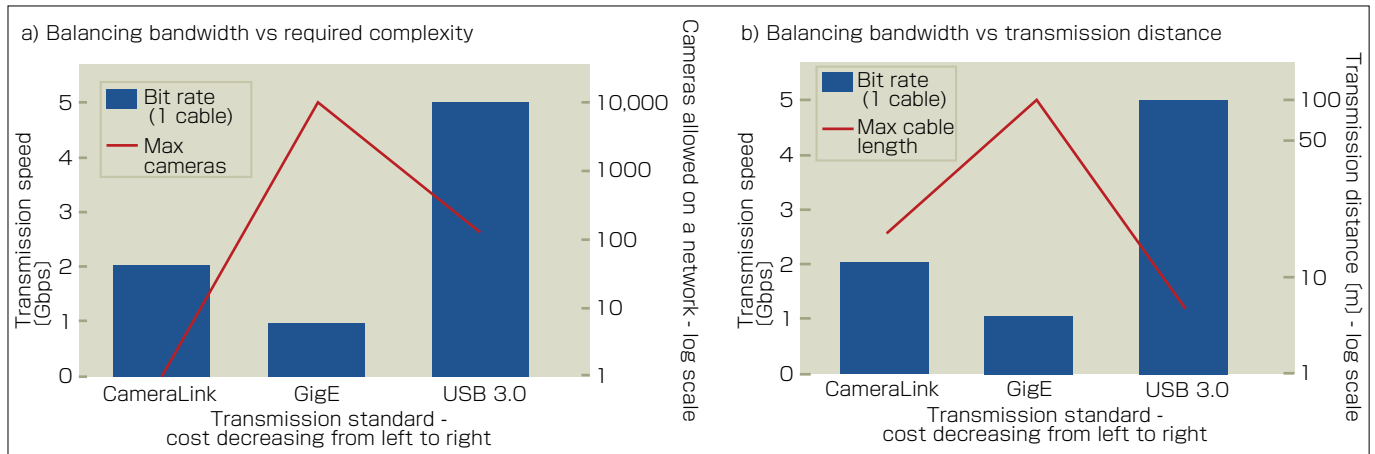


図3 3つの主要規格の帯域幅、伝送距離、複雑さのトレードオフ。規格はコストの高い順に左から右に並んでいる。

simplifies camera synchronization」(IEEE1588によるカメラ同期の簡素化)、<http://bit.ly/VSD-1588>を参照)。マスタークロックを動的に割り当てて(コンポーネントの障害に対応するため)、一定の間隔でシステム内のすべてのコンポーネントを同じクロックに同期することが行われる。このプロトコルを使用することにより、マイクロ秒までの精度が得られる。GPSチップのナノ秒レベルの同期よりは精度が劣るが、それでも、ほぼすべてのマシンビジョンアプリケーションに対して十分に正確である(図4bと4b)。

このプロトコルはさらに、カメラだけでなく、ロボットやカメラレンズや照明など、システムのそのほかの要素のリンクに用いられる。個々のコンポーネントは、イーサネットを介してパラメータを交換でき、イーサネットを介してトリガされる。つまり、たとえば、光パルスとカメラリングを正確に同期して、その場ですばやく調整することができる。

マシンビジョンシステムにおいて、カメラは従来、IEEE1588のスレーブデバイスとしてのみ動作可能で、マスターとしての専用ハードウェアと、障害が発生した場合のバックアップが必

要だった。これもコストの増加につながっていた。しかし、ソニーは2016年、マスターとして動作可能な初のマシンビジョンカメラをリリースした。

ソニーが2017年にリリースした「XCG-CG510」と「XCG-CG240」は、このコンセプトをさらに進めて、アクイジションスケジューラ、ソフトウェアトリガ、GPO制御、ユーザー設定ロードの各種アクションコマンドを統合した。これによってソニーのGS CMOSマシンビジョンカメラは、事前にスケジューリングされた正確な画像

取得同期を実環境において実現し、競合モジュールよりも数百倍高い精度レベルを提供することができる。

### まとめ

マシンビジョンが、製品の品質と生産速度の両方を向上させるうえで大きな役割を果たしてきたことに議論の余地はなく、不具合検出とコンポーネント配置の能力はますます高まっている。複数の要因が、画像を正確に取得するカメラモジュールの能力に影響を与え、センサからできる限り優れた画像を取得するには、包括的な設計手法が必須である。カメラモジュールの設計は、センサに合わせて最適化しなければならない。システム全体についても同様である。また、伝送規格は、サイズや画像伝送速度だけでなく、照明の同期、ロボティクス、カメラのトリガなど、それによって実現される機能や、広ダイナミックレンジを可能とするための帯域幅も考慮して、選択する必要がある。

### 著者紹介

アルノー・デストルエルス(Arnaud Des truels)は、英国を拠点とするソニーのイメージ・センシング・ソリューションズ部門(Sony Image Sensing Solutions)所属。URL: [www.image-sensing-solutions.eu](http://www.image-sensing-solutions.eu)

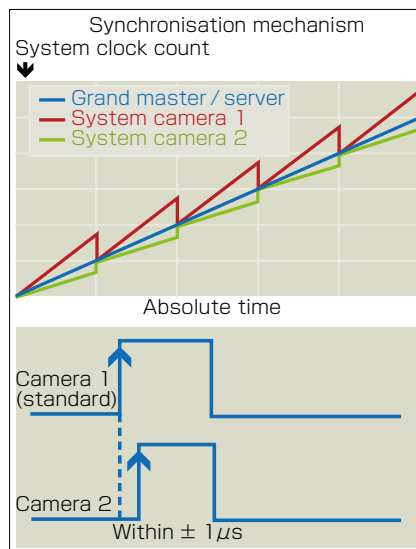


図4 IEEE 1588 PTPを用いた高速カメラと低速カメラのマスターとの再同期。