

高速フォトニクスを超えて： 超高速イメージングの主要な用途

ヴァレリー・コフィ・ロズィツヒ

商業用の高速イメージング(画像化)技術は、進化する高性能カメラの代表的な用途に見られるように、フレームレート、解像度、画像処理能力において継続的に向上している。

今日、ハイスピードカメラ(高速度カメラ)と言えば、離陸時のジェットエンジンのタービブレードのような高速で移動する物体の高解像度フリーズフレームを撮影できる、超高速デジタルイメージングが可能なるものを指す。

ハイスピードカメラは、毎秒数百万コマのフレームレートを実現し、高速化のニーズを満たしている。ただし、フレームレートが高いほど、他の機能が制限される。例えば、暗い場所で15マイル飛ぶゴルフボールを撮影したり、ボール上の1ミクロン未満の欠陥を検出したりするのに十分な高解像度が求められる。1つのイメージングシステムでこれらすべてを(まだ)実現できていないが、高解像度・高速化のニーズと、低消費電力・高感度・広視野・即時データ処理能力のニーズとの間の長年のトレードオフをいかに克服するかは、永遠の課題である。なぜなら、たとえカメラが超高速フレームレートで超高解像度のイメージングを実現できたとしても、それを省電力で、大きな立方体のデータをリアルタイムで画像判定して瞬時に処理することも求められるからである。

高速イメージングの主要な用途とその進化を次に示す。

「モーショントラッキングと解析」超音速の弾丸、爆発、ジェットエンジンのタービブレードなど、高速移動す

る被写体の高解像度フリーズフレームを記録するには、2万fps以上の高速撮影を短い積分時間で可能にするハイスピードカメラが必要である。また、広い視野が必要とされることも多い。ハイスピードカメラは、フレームレート(1秒あたりのフレーム数[fps]またはヘルツ[Hz]で測定)が高く、肉眼では見えないものを可視化する1つの手段である。

また、可視光線以外の波長を検出するセンサを使用する方法もある。米テレダイン・フリアー社(Teledyne FLIR)の研究・科学用高速中波長赤外線(MWIR)カメラ「X6900 sc」は、画

像を熱的波長でとらえ、29000fpsで撮影し、マイクロ秒レベルの積分時間で詳細に可視化できる。この次世代カメラは、1.5～5.0 μm でフル解像度の640×512ピクセル画像を高速撮影できるため、解像度を失うことなく高速被写体の熱力学的解析が可能である(図1)。

「科学」歴史的に、最高速度カメラは解像度が低すぎるため、ほとんどの科学的用途を満足させることができなかった。カメラメーカーの米ビジョンリサーチ社(Vision Research)は、スピードと解像度の基準を設定する新たな裏面照射型(BSI)センサを売り込ん

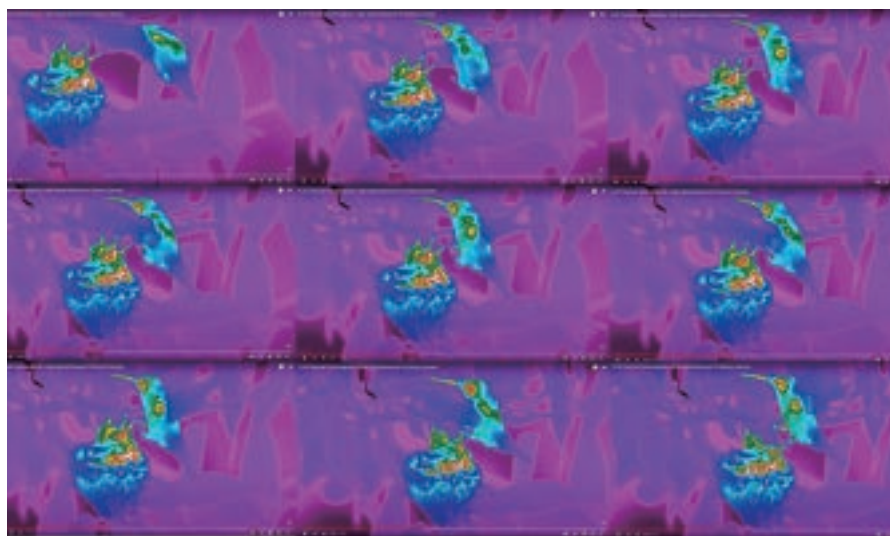


図1 北米のハチドリは、通常飛行の場合、毎秒平均約53回で羽ばたきする。テレダイン・フリアー社の研究・科学用高速度中波長赤外線カメラ「X6900 sc」を使用して、ハチドリの羽ばたきを熱的波長でとらえ、1000fpsで撮影している。(提供：テレダイン・フリアー社 <https://youtu.be/F5QbQqqMBuY>)

でいる。このセンサには、ウエハの裏側からバルクシリコンを取り除き、フォトダイオードを光源の近くに配置するという困難な製造工程が必要となる。この撮像素子を使用した最初のデモカメラでは、76000fpsで解像度1280×800ピクセル画像の撮影を実証した。最高のフレームレートはその10倍で、175万fpsを1280×32ピクセル、640×64ピニングで実現した。2月に発売された「Phantom TMX」シリーズは、燃焼、デジタル画像相関(DIC)、イメージングサイトメトリ、マイクロ流体工学、粒子画像流速測定など、センサの解像度が制限要因となる多くのアプリケーションで利用できる(図2)。

「セキュリティと防衛」長波長赤外線(LWIR)センサを搭載したハイスピードカメラは、発射体の飛行、爆発、燃焼、エンジン性能などの防衛と監視イメージングにおける動体追跡で重要な役割を担っている。また、小型化により、カメラやイメージセンサには困難な要求が課せられている。加テレダイン・ダルサ社(Teledyne DALSA)の「MicroCalibir LWIR」カメラは、ポケットサイズ(21×21×12mmコア)、軽量、低消費電力のカメラプラットフォームで、ドローン、ヘルメット、携帯端末への搭載に有用で、重量は20g未満である。低エネルギー動作により、カメラは冷却されず、体積、重量、コストを削減できる。「MicroCalibir」は、320×240ピクセル、640×480ピクセルの解像度で、それぞれ30Hz、60Hzのフレームレートを実現する。LWIR検出器は非常に感度が高く、低エネルギーで長波長を検出するため、夜間や暗い場所でのイメージングに最適である。

「マシンビジョン」インダストリー4.0やモノのインターネット(IoT:



図2 ミツバチやスズメバチは、ハチドリよりもはるかに多く、1秒間に最大250回も羽ばたきする。ウルトラハイスピードカメラ「Phantom v2512」は、スズメバチの羽ばたきの一部を25000fpsで9フレームを連続撮影している。(提供: ビジョンリサーチ社 <https://bit.ly/3aXOsM1>)

Internet of Things)と呼ばれる、スマート工場への急激なシフトが進行中である。ハイスピードカメラの最大の用途はマシンビジョンである。この用途では、ハードウェアと人工知能(AI)ソフトウェアを用いて、検査や工程管理、オートメーションのガイドを行う。装置メーカーは、より鮮明で高品質な画像を実現する高速・超解像マシンビジョンカメラの開発し、ファクトリーオートメーションや検査の要求に応えている(図3)。このカテゴリーの具体的な用途としては、電子機器製造(3Dはんだペースト検査など)、半導体ウエハ製造(表面・バンプ検査)、ソーラーパネル検査などが挙げられる。

マシンビジョンのサブカテゴリーは検査で、通常、食品や部品などの対象物がベルトコンベアなどのプラットフォーム上を素早く通過し、高速イメージングシステムがそれらを画像処理する。マシンビジョンのアルゴリズムは、パターンの変化、色、質感、形状の違いを探し、システム内の対象物に「はい/いいえ」「合格/不合格」などのタグを付ける。さらに、フレームグラバ(画像入力ボード)やビジョンプロセッサ(画像処理ボード)のハードウェアとソフトウェアツールを使用すると、品質管理システムを操作できる。

「装置メーカーには、高速検査におい

て多くの課題がある。課題はフレームレートの向上や画素サイズの拡大だけではなく、他にも多数ある。1枚の画像を撮影するのに必要な時間を短縮し、1つの物体を並行して複数回通過させ、視野全体を驚くほど鮮明かつ奥行きのある形で撮影することである」と、テレダイン・ダルサ社のシニアプロダクトマネージャーであるマニー・ロメロ氏(Manny Romero)は述べている。

「ロボットビジョン」マシンビジョンと重なる領域として、ロボットビジョンがある。ハイスピードカメラと特殊なアルゴリズムにより、さまざまな用途でロボットをガイドする。ロボットビジョンシステムは、ロボットが物理的にどこに行き、何をすべきかを決定するのに役立つ。ピックアンドプレイス作業の場合、ロボットは2Dカメラで物体を検出し、識別し、ピックアップし、作業する。高速3Dステレオカメラを搭載したロボットは、どのような向きでも作業することができ、3Dはんだ印刷検査装置やデジタル3Dシネマに利用されている。機械学習やAIを搭載した高度な視覚誘導型ロボットの初期世代では、木目の微細な異常の検出など、これまで不可能とされていた品質分析作業を実現する。また、新しいディープラーニング技術は、時間をかけて判断や行動を改善するの

に有用である。

自動化されたロボットビジョンは、インダストリー 4.0の進化においてますます不可欠な役割を果たしている。例えば、自動車製造において、ガイド付きロボットビジョンシステムは、塗料やプラスチックの変色や亀裂などの欠陥を検出したり、組立ラインでのスチールシャーシの溶接をガイドしたりすることができる(図4)。その他にも、ロボット誘導型外科手術から、人間の操作なしで雑草を刈り取る自律走行型トラクターまで、ロボットビジョンの応用は進化している⁽¹⁾。

トルコの産業オートメーション企業の Kibele-PIMS社 は、英ユニリーバ社(Unilever)のブランドのノール(Knorr)とリプトン(Lipton)の全自動選別システムに、テレダイン・ダルサ社の「Genie Nano M1920」ハイスピードカメラを選定した。「Genie Nano」シリーズは、モノクロ、カラー、近赤外イメージセンサ、240万画素の解像度、GigE(ギガビットイーサネット)インターフェース、38.8Hzの画像撮影機能を備えている。この新装置では、1.5~2秒ごとに箱を仕分けられる。食品パッケージの破損を確認し、バーコードを読み取ってスープやソース、お茶などの種類



図3 高フレームレートカメラ「Falcon4-CLHS」は、最大4480ピクセル、2496ラインの大視野と609fpsのフレームレートを実現し、超高速・超解像の産業オートメーション検査において重宝される。(提供：テレダイン・ダルサ社)



図4 ハイスピードカメラ「Falcon4-CLHS」を使用すると、車両組立ラインにおけるSUVフレームの溶接や溶接部の検査など、人間には物理的に困難な精密作業をロボットビジョンシステムで行える。(提供：テレダイン・ダルサ社)

を分類し、それぞれの梱包ステーションに送ると、ロボットがパレットに積み込み、包装して出荷する。

将来的には、3Dプリント、インテリジェント交通管制、航空地形、鉄道検査などの、応用にハイスピードカメラが使用されるようになるかもしれない。ハイスピードカメラの用途には、「ニーズ」と「ウォンツ」の両方がある。高速フレームレート、大きなメガピクセル画角、超クロズアップ解像度、低消

費電力、高感度などはどれも、適切なイメージングシステムで、簡単に操作できなければならない。メーカーは、顧客がその用途に最適なカメラを選択できるよう十分なサポートを提供し、場合によってはカスタムメイドのカメラを設計することも必要とされる。

「優れたメーカーは、顧客の声に耳を傾けながら、画像ソリューションの開発に取り組み、現実的で困難な問題に対処している。使いやすさが重要な鍵を握っているのである。お客様が当社の技術を簡単にイメージングシステムに組み込めるようにしたい。つまり、すべてが可能な限り明確で、直感的、論理的でなければならない」と、ロメロ氏は述べている。

参考文献

(1) G. Dising, Quality Magazine, 96807 (Jan. 2022); <https://bit.ly/3NPZYr4>.

著者紹介

ヴァレリー・コフィ・ロズイッチは、Laser Focus World誌の寄稿記者。
e-mail: stellaredit@gmail.com

LFWJ