

マシンビジョン用の3Dイメージングの範囲を拡大する最新進歩

ジェームズ・キャロル

3Dビジョンの最新イノベーションにより、速度、精度、解像度は著しく向上している。

3Dイメージング製品の進歩により、エンドユーザーはますます容易に、製造、品質管理、計測などのマシンビジョン分野にこの技術を組み込めるようになっており、産業オートメーションにおける主流技術としての基盤はさらに強固なものとなっている。本稿では、この1年間の進歩と、それらの製品の実際の利用状況について解説する。

加マトロックス・イメージング社 (Matrox Imaging) は、デュアルカメラ/シングルレーザの3Dプロファイルセンサ「Matrox Altiz」の発売によって、3Dハードウェア市場に参入した(図1)。検査処理を対象とするこのセンサは、同社製またはサードパーティ製のマシンビジョンソフトウェアに対応する。このプロファイルセンサは、赤色(660nm)または青色(405nm)のレーザを使用し、GigE Visionインタフェ

ースを装備する。センサ内部で実行する独自のアルゴリズムにより、搭載する2つのイメージセンサからのピクセルデータを結合または選択することによって得られる、さまざまな種類の3Dデータ(個別プロファイル、奥行きマップ、ポイントクラウド)を自動的に生成する。データは、一定の水平解像度で自動的にサンプリングされる。このプロファイルセンサは、IP67に適合し、M12コネクタを備え、GenICamとPower over Ethernetに対応する。

「マトロックス・イメージング社が3Dセンサ分野に参入することにしたのは、以前からこの機能に対する要望が顧客から挙がっており、ソフトウェアとハードウェアを含むエンドツーエンドのソリューションができるだけ単一のベンダーによって提供されることを、多くの主要顧客が望むためだ」と、

製品管理担当ディレクターを務めるピエラントニオ・ボリエロ氏(Pierantonio Boriero)は述べた。同社はMatrox Altizにおいて、3D再現時に隙間や割れ目を生成するオクルージョン効果を抑えることによって忠実度を高める、デュアルカメラ/シングルレーザ設計を採用している。

ノルウェーのシビッド社(Zivid)は、カラー3Dカメラ「Zivid Two」の発売によって同社の技術を前進させた。このカメラはストラクチャードライトを使用して、2.3メガピクセル(MP)の解像度、3Dフレームあたり13回の露光、60msの最小取得時間でイメージングを行う。このカメラ(図2)は、300~1500mmの柔軟な動作距離、700mmで60 μ mの解像度、754×449×700mmの視野を備え、寸法は169×56×122mm、重量は880gで、10GigEインタフェースに対応する。

シビッド社によると、温度安定性と機械的安定性の向上とフローティング・キャリブレーションによって、寸法精度の誤差は0.2%未満となり、特許取得済みの3D HDRイメージングとアーチファクト低減技術によって、光を反射または吸収する製品や微小部品のキャプチャが可能になっているという。また、カメラのネイティブカラーにより、色違いや類似形状のSKUを区別することができる。Zivid Twoカメラは、物流や製造分野をターゲットとし、ピンピッキングやマシンメンテナンスなどの用途において、ロボットアームに実装することが可能である。



図1 検査処理向けに設計されている3Dプロファイルセンサ「Matrox Altiz」は、デュアルカメラ/シングルレーザ設計を採用し、同社製またはサードパーティ製のマシンビジョンソフトウェアに対応する。

「Zivid Twoは、ピックアンドブレース用ロボットに現在使われているほとんどのマシンビジョンに見られる主要な制約を解消する。解像度、アーチファクト、精度誤差などの制約は、部品や対象物の最適な検出、ピッキング、プレーシング(配置)を制限する。新しいZivid 3Dカメラは、ディープラーニング、AI、オブジェクト検出アルゴリズムによって、より多くの物体を認識し、より適切な握り方を計画し、より高い信頼性で部品を配置することができる」と、南北米地区セールス及びマーケティング担当副社長を務めるラマン・シャルマ氏(Raman Sharma)は述べた。

同氏は続けて、「Zivid Two 3Dカメラは、革新的なフォームファクタの中に、視野、取得速度、高品質なポイントクラウド出力を併せ持っている」と述べた。

独IDSイメージング開発システムズ社(IDS Imaging Development Systems)は、3Dカメラの2種類の新モデル「Ensenso N40/45」を発売した(図3)。プラスチック複合材の使用によって軽量化された新しいカメラは、IP65/67保護等級のハウジングを備え、ロボットアームや協働ロボットへの実装などをターゲットとしている。新モデルはそれぞれ、2台のモノクロCMOSイメージセンサ(グローバルシャッター、1280×1024ピクセル)と、トリガとフラッシュ用のねじ止め式GPIOコネクタを搭載し、Power over Ethernetに対応する。また、改良された赤外線プロジェクターによって、光出力が強化され、熱管理が最適化されており、その結果として、データ品質が改善され、クロックレートが高くなっていると、同社は述べている。プロジェクターはオプションとして、



図2 Zivid Two 3Dカメラは、0.2%未満の寸法精度誤差と、ネイティブなHD 3Dカラーイメージングにより、ピンピッキングにおけるピックアンドブレースの成功率向上に貢献する。

可視領域の青色光線(465nm)または赤外線(850nm)で使用できる。

同社は、Ensenso N 3Dステレオビジョンカメラの既存モデルを改良したことも発表した。850nmの赤外線照射モデルは、新しいLEDによって光出力が向上しており、露光時間が最大35%短縮し、データ品質や環境光に対する堅牢性が高まっている。また、新しい熱設計により、N30/N35 Rev.2の全モデルで、プロジェクターのデューティサイクルの上限が最大10%向上したことで、画像撮影が高速になり、クロックレートが向上している。同社によると、このアップデートに伴い、既存システムのカメラを交換する際に、

カメラパラメータを調整しなければならない可能性があるという。青色光(465nm)モデルも、2021年1月にRev.2に移行した。

「何よりもまず、新しいEnsensoカメラは非常に軽量で、ロボット用途に最適である」と、IDS社の3Dカメラ担当製品マネージャーを務めるマーティン・ヘンネマン博士(Martin Henne mann)は述べた。「IP65/67の保護等級を備えるため頑丈で、高い品質を提供し、ステレオビジョン技術に基づいて1.3MPのポイントクラウドを生成する。このカメラは、オブジェクトの分類や採寸、ロボットピッキング、梱包、パレタイジングなど、高速で正確な3D



図3 プラスチック複合材でできたIDS社のEnsenso N40/45 3Dカメラは、軽量化されており、IP65/67保護等級のハウジングを備え、1280×1024ピクセルのモノクロCMOSイメージセンサを2台搭載する。



図4 3Dプロファイルセンサシリーズ「Gocator」に追加された青色レーザーモデルは、2MPのカメラや組み込みデュアルコアプロセッサを搭載し、多様な用途における光沢のある金属表面の3Dスキャンをターゲットとしている。

ボリュームカバレッジが求められる、製造や物流オートメーションの3Dビジョン用途に対するコスト効率の高いソリューションである」(ヘンネマン氏)。

加LMIテクノロジーズ社(LMI Technologies)は、3Dプロファイルセンサシリーズ「Gocator」に、新しい青色レーザーモデルを追加した(図4)。電気自動車(EV)用バッテリーの検査やレール検査、小～中サイズの電子機器や自動車用部品、一般的なファクトリーオートメーションなどの用途における、光沢のある金属表面の3Dスキャンを、特にターゲットとしている。Gocator 2430/40/50 Blue Laserの全モデルが、2MPのカメラ、組み込みデュアルコアプロセッサ、最適化された光学系を搭載し、320～5000Hzの検査速度に対応する。対象用途のニーズに応じて、2430と2440のモデルは1500データポイント/プロファイル、2450モデルは1800データポイント/プロファイルを提供し、測定距離はそれぞれ80、

210、550mmである。

同社によると、すべてのGocator 3Dセンサと同様に、2400 Blue LaserモデルもIP67保護等級の産業用ハウジング、ウェブベースのユーザーセットアップ、内蔵の3D視覚化機能、ドラッグアンドドロップ式の測定ツールを備え、多数の通信プロトコルに対応するという。

「これら3つの新しいラインプロファイラにより、高感度の青色レーザースキャン機能が2400シリーズに追加された。速度、高解像度データ、広い視野がバランス良く提供されており、顧客は、できる限り費用効果の高いセンサ構成で、光沢のある表面の精密な3Dスキャンと検査を実行することができる」と、LMI社の最高経営責任者(CEO)を務めるテリー・アーデン氏(Terry Arden)は述べた。

加テレデザイン・イメージング社(Teledyne Imaging)も、「Z-Trak2」シリーズで新世代の3D製品を発売した(図5)。同社によると、エレクトロニクス、半導体、自動車、ファクトリーオートメーションの各市場分野における検査、検出、識別、ガイダンス用のインライン高さ測定をターゲットとしているという。S-2KとV-2Kの各シリーズのスキャン速度は、それぞれ45,000プロファイル/秒と1万プロファイル/秒である。Z-Trak2の全モデルが、1プロファイルあたり2,000ポイントを測定でき、工場校正済みで、IP67準拠の筐体に収められており、青色または赤色のアイセーフレーザーを採用している。また同社によると、どちらのモデルも、1、2.5、または5GigEインタフェースを備え、反射補正アルゴリズムを内蔵し、マルチセンサを同期し、ハイダイナミックレンジ(HDR)イメージングを行うという。



図5 「Z-Trak2」シリーズの3Dプロファイルセンサモデルは、1プロファイルあたり2,000ポイントを測定でき、工場校正済みで、IP67準拠の筐体に収められており、青色または赤色のアイセーフレーザーを採用し、最大45,000プロファイル/秒のスキャン速度を達成する。

「Z-Trak 3Dプロファイルセンサは、高精度なリアルタイム測定が可能で、1秒間に最大45,000プロファイルのスキャン速度を達成する5GigEインタフェースを備え、1回のスキャンで処理を行うためのHDRを内蔵するなど、最も信頼性の高い3D産業用ビジョンソリューションを実現するための多数の機能を兼ね備えている点において、他とは一線を画す」と、シニア製品マネージャーのインダー・コリー氏(Inder Kohli)は述べている。

Time of Flight (ToF)分野では、加ルシッド・ビジョン・ラブズ社(LUCID Vision Labs)が、3D ToFカメラ「Helios2」を提供している(図6)。初代Heliosと比べて、光透過率は2.5倍、3D精度は50%以上向上している。Helios2は、0.3MPのソニーの裏面照射型ToF CMOSイメージセンサ「IMX556PLR」と、4つの850nmのVCSEL(垂直共振器型面発光レーザー)を搭載し、最大8.3mの動作距離に対応して、30fpsのフレームレートで640×480の

深度解像度を提供する。またルシッド社によると、GigE Vision対応のこの3Dカメラは、オンカメラ処理を搭載し、距離、強度、信頼度データ、フィルタのオプションを提供するため、高価なホストシステムの必要性が低減されるという。

その他の特長としては、6つの動作距離モード、最大100mのケーブル長に対応する産業用M12コネクタ、サブミリメートル精度(1mの距離で1mm未満の測定が可能)、IP67保護等級、産業レベルのEMC耐性、環境光フィルタ、マルチカメラサポート、カラーカメラからのRGBデータを付加する機能などがある。

「第1世代のHelios ToFカメラが、3D検査、自動マテリアルハンドリング、ロボットなどの分野で広く採用されたことが、ToFの性能をさらに改善しようというわれわれの動機付けになった。新しいHelios2 ToFカメラは、さらに高い3D奥行きデータ精度と正確度、レンズ保護付きのIP67準拠の堅牢な筐体、非常に競争力の高い価格を備えている」と、ルシッド社の創設者で社長のロッド・バーマン氏(Rod Barman)は述べている。

米コグネクス社(Cognex)は、物流分野を特に対象とした、モーション対応のスマートカメラ「3D-A1000物品検出システム」を発表した(図7)。製造ラインの速度で移動する多種多様なソーター上の物品の有無を識別することができる。同社によると、このシステムは「Symbolic Light」(シンボリック照明)という特許技術によって、1枚の画像にモーションを取り込んで3D/2D情報を収集し、エンコーダやフィールドキャリブレーションは不要だという。工場校正済みのこのカメラは、画像取り込みとオンボード処理を含め



図6 3D ToFカメラ「Helios2」は、初代モデルと比べて光透過率は2.5倍、3D精度は50%以上向上しており、最大8.3mの動作距離に対応して、30fpsのフレームレートで640×480の深度解像度を提供する。

て3Hzの速度を達成する。また、コグネクス社のソフトウェアビジョンツール、GigEインタフェース、IP65保護等級を備え、15分程度で設置とプログラムが可能だという。

「正確な3D画像と2D画像の統合、コグネクス社の高度なビジョンツール、UX設計によって、通常ならば専門家でなければ調整してシステムに組み込めないような技術を、初心者でも15分以内で設定できるようにした」と、コグネクス社の製品マーケティングマネージャーを務めるドリュー・パレット氏(Drew Parrett)は述べている。「その結果、システムは簡単に拡張可能であるとともに、性能の低下やメンテナンスの問題を引き起こす衛生上の問題など、業界共通の課題に対してより堅牢な結果を示す」(パレット氏)。

米インテル社(Intel)のデプスカメラファミリー「RealSense」に新たに加え

られた、ステレオベースのカメラ「D455」は、従来モデルよりも長距離かつ高精度で、2倍の測定距離を達成する。米オムニビジョン・テクノロジーズ社(OmniVision Technologies)製の1280×800のカラーグローバルシャッターCMOSイメージセンサ「OV9782」を搭載し、最大1280×720の深度解像度と90fpsのRGBフレームレートを備え、USB 3.1接続に対応し、推奨される動作距離範囲は0.4~6mである。また、独ボッシュ社(Bosch)の慣性計測ユニット(Inertial Measurement Unit: IMU)である「BMI055」を搭載する。Intel RealSenseビジョンASICにより、深度エラーは4mで2%未満となっている。インテル社の最新カメラは、ロボットやドローンの衝突回避やオブジェクト検出など、屋内/屋外の両方のアプリケーションに対応する。

「Intel RealSense製品ファミリーは、



図7 物流分野を対象に設計された「3D-A1000物品検出システム」は、特許取得済みの「Symbolic Light」という技術に基づく、モーション対応のスマートカメラである。



図8 サッカード・ビジョン社の多次元3Dイメージングシステムは、完全にプログラム可能で、動かすことのできるストラクチャードライトを利用することにより、部品やカメラを動かすことなく画像を取得することができる。

開発者にさらに多くの選択肢を提供するようになった。D455はこのステレオカメラシリーズの機能を拡大して、長距離で使用する幅広い用途に対応するもので、ユーザーは自分のニーズに最も適したソリューションを設計することができる」とIntel RealSense Groupで製品管理及びマーケティングを統括するジョエル・ハグバーク氏 (Joel Hagberg) は述べた。

3D ラインスキャン分野では、独クロマセンス社 (Chromasens) が最近、「3DPIXA」を発売した。ピクセルサイズが $5.6\mu\text{m}$ の15K RGB CMOSイメージセンサを3つ搭載する、 $10\mu\text{m}$ のデュアルカメラである。Camera Link対応のこのステレオラインスキャンカメラは、3Dデータとカラー画像を同時に取得し、1ピクセルあたり $10\mu\text{m}$ の光学分解能、150mmの視野、18.4kHzのライン周波数を備え、同社の「Corona II」シリーズのLEDラインスキャン照明とともに使用するように設計されている。

「小さな3D分野として私たちが現在力を入れているのは、Dual 15k 3DPIXAを用いた、コネクタピン、BGA、消費者向けエレクトロニクス製品筐体の検査などのエレクトロニクス

分野である」と、クロマセンス社の南北米セールス及びビジネス開発担当ディレクターを務めるジェレミー・ジョワーズ氏 (Jeremy Jowers) は述べている。「大きな3D分野としては、3DPIXA 200 μm Dual HR (7k) と最大4.4mのFOVを備えた特殊OEMカメラを用いた、地球科学やリサイクルの用途に着目している。また、道路検査はシンガポールと日本で検討されているが、カナダで最初に開始され、順調に進行している」(ジョワーズ氏)。

イスラエルのサッカード・ビジョン社 (Saccade Vision) は、インライン計測と検査向けの新しい3Dシステムを提供している。多次元3Dスキャンカメラ「Saccade-MD」には、完全にプログラム可能で、動かすことのできるストラクチャードライトを利用した、独特の技術と実装が採用されており、部品やカメラを動かすことなく画像を取得することができる(図8)。プログラム可能な光線を、画像の特定領域にさまざまな角度から当てることにより、ポイントクラウドの精度を最大限に高めていると、サッカード・ビジョン社CEOのアレックス・シュルマン氏 (Alex Shulman) は述べている。

またこのカメラは、個々の対象物に

的を絞ることによって、局所的に最適化されたスキャンを実行し、画像の特定領域の解像度を大幅に向上させる。これにより、動きと全体画像の取得を必要とする方法よりも、高い精度と測定速度が得られる。同社によると、局所的なスキャン最適化と全体的なアプリケーション設定は、設定時間を短縮して使いやすさを向上させることを目的に設計された、ソフトウェアを使用して行われるという。

米オムロン・オートメーション・アメリカズ社 (Omron Automation Americas) は2021年3月、「FH-3D」ビジョンシステムの提供を開始した。同社の既存ビジョンシステムである「FH5050」に、新しい3Dカメラ「FH-MDA」と新しい3Dアプリケーションソフトウェアを組み合わせたこのシステムは、3Dピンピッキングをターゲットとしている。このGigE 3Dカメラは、500mmを中心とする測定動作距離、 $400 \times 300 \times 200\text{mm}$ (X,Y,Z)の測定範囲、0.2mmのZ軸再現性、0.5秒の検出時間を備える。システムには、同社のActive One Shot (AOS) 技術が採用されている。AOSとは、複数の照明パターンを対象物に投影して、1回の撮影で対象物の3D画像を取得する技術である。またオムロン社は、物体の位置と向きを高速に認識する、3D認識技術用アルゴリズムを開発した。

マシンビジョン技術を扱うシステムインテグレータとエンドユーザーには、3D画像を取得するための無数の選択肢が存在し、その数は増加する一方である。マシンビジョンコミュニティは、そうした多種多様な3D技術を利用して、ピックアンドプレースからオブジェクトの検出や採寸に至るまでのさまざまな処理の高速化と改善を図ることができる。