

高速3DマシンビジョンをターゲットとするToFセンサ

ジェームズ・キャロル

小さなピクセルアレイから1.3メガピクセルまでのToFセンサによって、多様なイメージングが実現されている。

多くの企業が、市販のイメージセンサで画像取得を行う3Dマシンビジョン製品を開発する中、複数のメーカーが現在、3Dビジョンに特化して設計されたイメージセンサを提供している。近年ますます増加しているToF (Time of Flight) センサは、その1例である。

ToF技術は、変調光源でシーンを照射し、反射光を観測することによって機能する。照射光と反射光の位相のずれを測定し、距離に変換することができる。パルスに基づく測定手法が実装された製品も存在する。

複数の企業によって現在、32ピクセルから1.3メガピクセルまでのToFセンサが提供されている。ソニーが提供するDepthSense ToFセンサシリーズの1つである裏面照射型イメージセンサ「IMX556PLR」は、作動距離6m、フレームレート30fpsで、640×480の解像度を提供する。加ルシッド・ビジョン・ラブズ社(LUCID Vision Labs)は、このセンサを同社のToFカメラ「Helios」に搭載している(図1)。

「ソニーは、現行のセンサ技術を急速に進化させてきた実績を持つ。DepthSense ToFセンサであるIMX556PLRもその1つで、既存のToFセンサと比べて3D確度と精度が大幅に向上している。ルシッド社は、向上したこの3D性能をコンパクトなカメラデザインで活用することにより、Helios ToFカメラを迅速に市場に投入

し(2019年7月)、その後複数の業界にわたる用途に導入することができた」と、ルシッド・ビジョン・ラブズ社の創業者で社長のロッド・バーマン氏(Rod Barman)は述べている。

IMX556PLRセンサの性能を最大限に生かすために、ルシッド社は、正確で高精度な深度データを生成する、独自の深度処理パイプラインを開発した。この処理パイプラインは、Heliosカメラ内部のFPGAと、新しいToFモジュール「Helios Flex」用の米エヌビディア社(NVIDIA)製GPU上に実装されている。Helios Flexは、エヌビディア社の「Jetson TX2」を使用して組み込みシステムに接続する。ソニーの深度センシング技術を採用するこのモジュ

ールにより、開発者は高性能なToFカメラを、費用対効果の高いコンパクトな組み込みシステム上で活用することができる、バーマン氏は述べた。

独バスラー社(Basler)がまもなく提供するToFカメラ「blaze」にもIMX556PLRが採用されており、中国シード・テクノロジー社(Seed Technology)のToFカメラ「DepthEye Turbo」も、このセンサに基づいている。

バスラー社は、ソニー製センサに加えて、パナソニックのToFセンサを3Dカメラの1つに搭載している。このセンサは、640×480のToFセンサで、フレームレートは20fps、作動距離は最大13mである。パナソニックはこのセンサの他に、夜間でも250m先まで



図1 ルシッド・ビジョン・ラブズ社のToFカメラ「Helios」は、独自の深度処理パイプラインを搭載し、ソニーのIMX556PLR DepthSense ToFセンサを採用して、30fpsのフレームレートと6mの作動距離で、640×480の解像度を実現する。

の3D距離情報を画像化できる、25万ピクセルのアバランシェフォトダイオードに基づく長距離ToFセンサも開発している。

ソニーの「Polarsens」シリーズの偏光イメージセンサは、計算イメージング手法を利用して、大まかな3D画像を取得することができる。米インテグロ・テクノロジー社(Integro Technologies)のプリンシパルビジョンシステムアーキテクトを務めるデビッド・デホー氏(David Dechow)によると、センサに入射した光の4つの偏光角を復号して、対象物のフォトメトリックな3Dビューを生成することにより、これが行われるという。

独ifmエフェクター社(ifm efector)の子会社である独pmdテクノロジー社(pmdtechnologies)は、独インフィニオン・テクノロジー社(Infineon Technologies)と共同で、独自のpmdピクセルマトリックスをベースとするCMOS 3D ToFセンサを開発した。3Dピクセルが1個から640×480個までの解像度のToFセンサ「REAL3」が、インフィニオン社によって販売されている(図2)。

pmdテクノロジー社はさらに、PCベースの開発キットを販売している。「pico flexx」モジュールは、解像度224×172のセンサを搭載し、フレームレートは最大45fps、測定距離は0.1～4mで、「pico monstar」モジュールは、センサ解像度が352×288、フレームレートは最大60fps、測定距離は0.5～6mである。同社は現在、組み込みシステム用の開発キットも提供している。

民生電子機器やモバイル設計に対し、pmd社とインフィニオン社が共同開発した深度モジュールは、複数の企業から提供されている。例えば、韓国LGイノテック社(LG Innotek)は、2019



図2 pmdテクノロジー社はインフィニオン・テクノロジー社と共同で、3Dピクセルが1個から640×480個までのCMOS 3D ToFセンサを開発した。写真は、640×480のカメラモジュールである。

年初頭に発売されたスマートフォン「LG G8」において、3D顔認証用のToFモジュールを提供した。2020年には、両社の深度モジュールを搭載するさらなるスマートフォンが発売され、今後も新製品が予定されている。

「スマートフォン向けの設計の需要が高いことから、pmd社とインフィニオン社は、すべてのユーザーに低価格化をもたらす、この技術の能力とスループットを高めている」と、pmdテクノロジー社のビジネス開発担当バイスプレジデントを務めるミッチェル・ライフェル氏(Mitchell Reifel)は述べた。

スイスのエスプロスフォトンクス社(ESPROS Photonics)は、3種類のToF SoC(システムオンチップ)を製造し、同社の一連のToFモジュールに搭載している。主力製品である「epc660」は、完全統合型の3D ToFイメージャチップで、解像度は320×240ピクセルである。チップには、実際のCCDピクセルフィールドとは別に、デバイスを操作するための完全な制御ロジックが含まれている。このチップは、1秒あたりフルフレームToF画像65枚の速度と、12ビットの平行レビデオインタフェースを備える。

「epc63」は、160×60ピクセルアレイで類似の設計が採用されており、フル3D ToFモードで最大128fpsの速度を提供する。一方、「epc611」は、光学距離測定と物体検出を対象とした汎用の完全統合型CMOSデバイスで、8×8のCCDアレイを搭載する。すべてのToFチップが、905nmで70%以上の量子効率、最大130Kルクスの周囲光抑制、最大250MHzの転送速度を備える。

米テキサス・インスツルメンツ社(Texas Instruments)のToFセンサ「OPT8241」には、ToFセンシングに、アナログ/デジタル(A/D)コンバータと、リセット、変調、読み出し、デジタル化シーケンスを制御するプログラマブルタイミングジェネレータが組み合わされている。このCMOSデバイスは、最大150fpsのフレームレートで320×240の解像度を備え、内蔵されたタイミングジェネレータによって、パワー、モーション堅牢性、信号対雑音比、環境キャンセレーションなどの深度センシング性能指標を最適化することができる。

米ブロードコム社(Broadcom)の「AFBR-S50MV85I」は、光学距離と

モーション測定をターゲットとした32ピクセルのToFセンサーで、赤外レーザー光源とクロック源が内蔵されている。同社のセンサーは、相関(位相シフト)を利用するToF測定原理に基づいている。同社は、中程度の距離範囲での高い速度(最大3,000fps)と精度に加えて、小さなサイズと低い消費電力(5V)を必要とする用途を対象に、センサーを開発している。同社によると、AFBR-S50のすべてのセンサーが、昼光下で卓越した性能を示し、1%未満(全範囲)という高い精度を備え、他のセンサーと干渉しないという。AFBR-S50センサープラットフォームには、光源(850nm、680nm、光源なし)、最大距離(3m~30m)、解像度、視野がそれぞれ異なる、複数のセンサーが含まれている。

ブロードコム社は、「AFBR-S50 MV85G」も製造している。同じToFセンサーに基づき、850nmのVCSELレーザー光源を搭載し、5Vの単電圧電源を使用する。また、「AFBR-S50MV85G-EK」評価キットには、レーザークラス1のアイセーフレーザ、ARM Cortex M0+ ボード、センサーがはんだ付けされたアダプタボード、USBケーブルが付属しており、最大16照射ピクセルで最大400fpsをサポートする。

ベルギーのメレキシス社(Melexis)は、複数のToFセンサーとチップセットを製造している。例えば、640×480ピクセル解像度の「MLX75027」は、自動車用ToFセンサーである。このモデルは、最大135fpsのフレームレートを備え、850nmと940nmの両方の波長をサポートし、最大100mHzの変調周波数による光源制御を搭載する。同社のもう1つの自動車用ToFセンサーである「MLX75024」は、320×240ピクセルで、850nmと940nmの両方の波長をサポートする。MLX75024は、

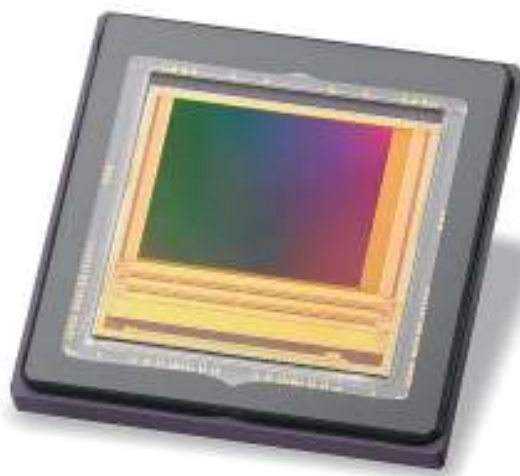


図3 テレダインe2v社が製造する、1.3MピクセルのCMOS ToFセンサー「Bora」は、30fpsを超えるリアルタイムの3D画像キャプチャが可能である。同社は評価キットも提供している。これには、1インチの光学フォーマット校正済みモジュール、近赤外照射用光源、5mまでの短距離または10mまでの中距離用のToFキャプチャをターゲットとした光学系が含まれている。

ToFコンパニオンチップ「MLX75123」と連動する。MLX75123は、最大40mHzの変調周波数ですべての制御信号と光源制御を提供する。どちらのセンサーのピクセルにも、ソニーのDepth Sense ToF技術が採用されている。

さらに高解像度の製品を提供する仏テレダインe2v社(Teledyne e2v)は、1.3MピクセルのCMOSイメージセンサーである「Bora」ToFセンサーを製造している(図3)。このセンサーのピクセルサイズは10 μ m、解像度は1280×1024、ゲーティングタイムは42nsである。同社はこのセンサーの特長として、大きな視野での2Dと3Dの両方のシーンキャプチャ、30fpsを超えるリアルタイムの3D画像キャプチャ、独自のHDR機能に基づき周辺光侵入に対して高い堅牢性を示すという短距離および長距離機能を挙げている。

テレダインe2v社は、このセンサー用の評価キットも提供している。これには、コンパクトな1インチの光学フォーマット校正済みモジュール、近赤外照射用光源、5mまでの短距離または10mまでの中距離用のToFキャプチャをターゲットとした光学系が含まれている。

「当社の最新ToFセンサーは、1.3Mピ

クセルの高い空間分解能を備え、大きな視野をカバーする。これは、システムの最適化とコストの削減を求める当社の顧客にとって、重要なことだ。また、このセンサーは、真の1.3Mピクセルの深度解像度で卓越した3D測定精度と確度を達成し、屋外条件下で短距離と長距離(10m以上)の両方のキャプチャを処理することができる」と、3Dビジネスチームのマーケティングマネージャーを務めるHa Lan Do Thu氏は述べた。

米マイクロソフト社(Microsoft)は、最新Kinectカメラである「Azure Kinect」に、独自の1MピクセルのToFセンサーを採用している。このセンサーは、3.5mmのピクセルサイズ、512×512のアナログビニング、30fpsで640×576または512×512、15fpsで1024×1024の解像度を備える。

マシンビジョンにおけるトレンドや技術の進化のペースは速い。3Dイメージングカメラとその応用分野を再定義する、新しいイメージセンサー技術が近いうちに出現する可能性がある。そこで、Vision Systems Designの本誌7/8月号では、3Dイメージングカメラとその応用分野を支える、新しいイメージセンサー設計を取り上げた。