

産業用三次元センサー

Where is the journey going to?

Dr. Matthias Rottenkolber, ShapeDrive GmbH CEO

三次元センサー市場は今後どのように変化していくのだろうか。本稿では、既存技術、および現在の技術傾向といくつかの経済的要因に基づき、将来の展望を示す。

1 開発の歴史

革新的な製品開発が続くだろう

三次元センサーの開発は、常に産業用画像処理の技術開発とリンクしてきた。過去30年、多くの技術革新によって、産業アプリケーションに画像処理機能が随時導入されてきた。80年代のデジタルセンサーカメラへの移行、90年代のローコストPCシステムの演算能力の劇的な向上、そして、2000年代に起こった、デジタルセンサとエレクトロニクス的高速化は、特にレーザースキャニングシステムに産業用アプリケーションへの道を開いた。すべての三次元計測手法が、明確な低価格化とともに進んでいるメインストリームマーケットにおけるイノベーションを活用して実現されていることは、この三次元センサー開発の歴史において特徴的である。レーザダイオードの機能強化や、ストラクチャーライト技術の進化のような、多くの技術革新に加え、ソフトウェア開発者の可用性と、画像処理およびその応用市場の小規模構造は、3Dセンサーの開発に貢献してきた。主に他の市場で開発された製品をインテリジェントに組み合わせることで、三次元計測市場にイノベーションがもたらされる。この構造は将来に渡っても変わらないだろう。

2 先端技術

ここでは、大量生産、大量活用される可能性を持つ3Dシステムおよび3Dメソッドに限って考察を進める。いくつかの超高精細なメソッド（例えば **deflectometry** (モアレ偏向法), **shape from shading** (フォトメトリックステレオ)) を除き、2種類の計測原理が存在する。それは、三角測量と光干渉 (**white-light interferometry** (白色干渉) と **time-of-flight**) である。三角測量は、大きく光切断システムと縞投影システムに分けられる。詳しくは [1] を参照いただきたい。レーザを用いた光切断システムは、低い反射率の対象物を安全にサンプリングできるという利点を持つ。しかしながら、計測対象物が移動する必要がある。また、レーザのスペククルコントラストに起因して、技術面での計測のバラつきは10ミクロンレベルである ([2] 参照)。そして、その精度は、空間的平滑化処理のみによって改善される。一方、縞投影システムは、複数の白色縞パターンを対象物に投影する。オブジェクトが移動する必要は無い。この手法の利点は、より小さな計測バラつきで、より密な3D点を一回の計測で計測でき、より広い視野を計測できる可能性があることである。**White light interferometry** は最も普遍的な手法 (分解能が高く、同軸配置可能) だが、工場現場のアプリケーションでは、主にその取得時間の長さによって、運用は制限される。

3 経済的要因 - 市場構造

高い市場フラグメンテーションに起因する保守的な振る舞い

ヨーロッパでは、売上が 10Million Euro (約 10 億円) を下回る画像処理ハード・ソフトメーカーが数百社存在する。この乱立の理由は、参入のしきいが比較的安く、顧客ニーズが非常に高く専門化されている(ニッチマーケットが多く存在する)からである。同じシナリオが、ドイツだけでも 400 以上あるシステムインテグレータ(以下、SI)にも適用できる。その結果、各社の相対的なマーケットパワー(市場支配力)が低くなり、低いバイイングパワー(購入意欲)が画像処理ハード・ソフトの価格を押し下げる。この状況が、多くのメーカーと SI をニッチマーケットから抜け出しにくくしている。マーケットを広げるためのソリューション開発を行うための十分な資金が、彼らには無いのである。

三次元システム活用の現時点での注意喚起

SI と、3D システムを直接購入するようなエンドユーザは、2 つのゴールに焦点を当てる。(1) 与えられたタスク(多くの場合、厳しい価格目標を伴う)に対する満足いく技術ソリューションを考え出すことと、(2) このソリューションを最も効率的に実装することである。SI はしばしばこの面を考え、顔をしかめて答える。「伝統的な画像処理ソリューションと比較して、3D メソッドを使うことにメリットが出てくるのはいつですか?」「新しいテクノロジーを使いこなすためにどれだけのコストがかかるのですか?」3D システムに対する SI の反応は懐疑的なものであり、たとえマージンが小さくても、おなじみの画像処理手法が適用できるのならば、SI は 3D メソッドではなく伝統的な画像処理手法を採用することがある。小規模なインテグレータは、3D メソッドの適用が避けられない場合、プロジェクト自体をキャンセルすることもある。特殊な 3D システムと関連が深くなることによるコスト障壁が、プロジェクトの利益をむしばむ可

能性が疑われるからである。多くの SI は、特殊なシステムを活用する仕事にはリスクを感じる。なぜならそれは開発努力が更なるプロジェクトで再利用できるかどうかや、その時期が不明瞭であるためである。その結果、3D システムメーカーのいくつかは、完全なインライン制御装置を提供するようモデルを拡張している。一方、興味深いことに、同様のことを考えているカメラメーカーは存在しない。

4 3D のニーズの高まり

品質意識の向上に伴う 3D 市場の広がり

いくつかの要因が、不良ゼロ/シックスシグマのような、品質の意識の向上につながっている。その要因の一つとして、アウトソースされるサブコンポーネントの増加が挙げられる。例えば、自動車産業において、品質コントロールが必要なサプライヤ/OEM インタフェースの数は着実に増加している。加えて、特に大企業は、品質上の問題が発生した場合に起こる、深刻なコストと威信の損失を避けるために、高品質コントロールを切望している。結果として、100%全数検査を行うインライン品質制御システムが導入され、3D メソッドは、重要な役割を果たすことになるだろう。基板や電子部品製造に関しても、フットプリントの微細化とハイブリッドコンポーネントのレベルの向上により、3D 検査計測システムのニーズがさらに高まるだろう

自動化の要望

自動化の経済的価値が増加している。例えば、これは高速な 3D 計測と認識能力が必要とされる複雑なロボット搬送(「ビンピッキング」として良く知られている)などを実現することの価値は非常に高い。

5 今後のシナリオ

テクノロジー

三次元計測技術は、着実に改善されていくだろう。LED プロジェクタの技術革新によって、縞投影計測システムは今後も確実に性能向上していくだろう。レーザスキャナーは、例えば有り無し検査、溶接開先制御など、よりシンプルな品質管理タスクに用いられる。超高速、超高解像 CMOS 画像センサが現実的な価格で利用可能になる（しかしながらこのメインマーケットは見えていない。1 章参照）。白色干渉計測はインライン品質管理において注目されていく可能性がある。現在空間解像度に制限がある TOF システムは、運転者支援システム、障害物認識、ゲームアプリケーションのような多数のアプリケーションで活用されるようになるだろう。

また、ソフトウェア開発は重要な役割を果たすだろう。現在、三次元処理が品質プロセスに対する基準として確立されるのは、工業用画像処理メソッドと比較して簡単ではない。高速な形状マッチングアルゴリズム、すなわち、計測した 3D データとマスターデータの高速重ね合わせは、これを実現する重要なファーストステップであり、それはすでに実現されている（図 2）。ソフトウェアデベロッパーは、使いやすく、堅牢で適切に構造化されたツールを提供する必要がある。

低コストと高いパフォーマンスが、新たな市場やアプリケーションを作成する

3D システムへの需要は現実的に存在するが、画像処理産業として成熟していない。高いコストと複雑性を鑑み、90 年代、三次元データの適用は、非常に深刻な品質管理トピック（一つの例として、車全体がペイントされた後に初めて見つけることができるドアの小さな凹みの問題など）だけに対して検討されるものであった。現在、三次元システムは低コストで実現でき、品質向上に対するコストパフォーマンスは非常に高くなっている。ロボットビジョンだけでなく、食品加工産業や医療系アプリケーションなど、新しい市場

の創出も可能である。三次元システムの低コスト化と性能向上は、各市場のアプリケーションにとって魅力となっている。この傾向は今後も継続するだろう。

ユーザー

プロジェクトの成功事例数の増加に伴い、3D システムの要望は増加していく。しかし、これは徐々に進んでいくだろう。

インテグレータ

システムインテグレータは、効率的な実装ソリューションを学ぶことで、三次元を差別化技術として活用することができる。三次元のような差別化技術を持たなければ、SI は今後、より受動的な役割を担うことになっていくだろう。

メーカー

製品を実装時に扱いやすくするための努力を続ける必要がある。オープンな三次元システム（標準化されたソフトウェアインタフェース、標準的な三次元計測手法ポートフォリオ）を提供していくメーカーだけが今後成功するだろう。これにより、SI が一社の製品を扱うことによるリスクは低減する。SI によって開発された品質管理システムが、修正なしに、もしくはわずかな修正で、再利用されるようになる。

ShapeDrive は縞投影に基づくセンサープラットフォームを開発した。これはいくつかの既存のマーケットニーズを実現するものである。高速でオープンな三次元システムであり、かつ、インラインでの活用を現実的にする非常に低コストなセンサである（図 1、図 2）。

標準化への取り組み

今後 5 年以内に、メーカー、VAR（付加価値再販業者）、インテグレータ、エンドユーザ、すなわちバ

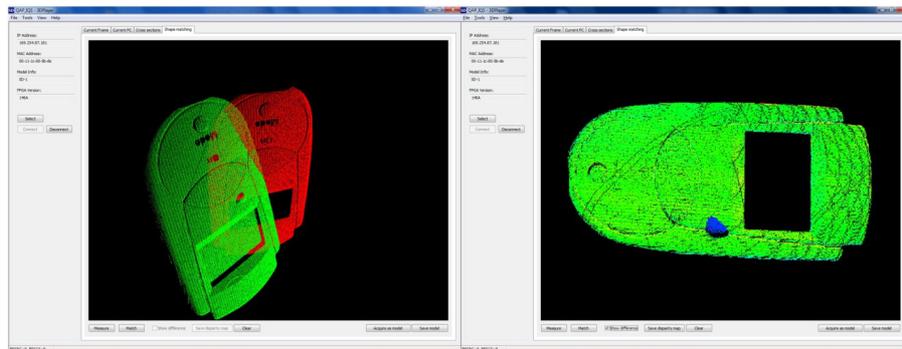


図 2: リアルタイム品質管理タスクの例。ShapeDrive で取得、形状マッチングした結果。左: マスター (赤)、小さな欠損を含む計測データ (緑)。右: 自動重ね合わせ後の高さ差分マップ。欠陥部分が明確に検出できている (青)。緑は差が 50um 以下であることを表している。このプロセスは 1 秒以下で実行される。



図 1: ShapeDrive @Sensor

リユーチェーンへのすべての参加者が一丸となって、ハードウェア、ソフトウェアのインターフェースとソフトウェアツールの標準化に取り組み、規格化を成し遂げるだろう。これにより、SI およびエンドユーザに、三次元アプリケーションを安心して活用できる環境を提供することができる。

統合/集中

購買力とセールスシナジーのために発生する小規模な合併 (フェーズ 1 : 垂直統合 (SI がハードウェアおよび/またはソフトウェアメーカーを購入)、フェーズ 2 : 水平統合 (カメラメーカーが 3D メーカーを購入)) の数は限られているだろう。もし実現可能性が高い 3D アプリケーションが登場することが予測できれば、大

規模な買収が発生するだろう。ロボットビジョンは複雑なマーケットだが、そのような新興アプリケーションマーケットになりうる。

参考文献

- [1] Norbert Bauer(Hrsg.), “Handbuch zur industriellen Bildverarbeitung”, Fraunhofer Allianz Vision, 2. Auflage, 2008.
- [2] Gerd Häusler, “Three Dimensional Sensors - Potentials and Limitations”, in Handbook of Computer Vision and Applications, 1999.



ShapeDrive GmbH
CEO
Dr. Matthias Rottenkolber