ロボットシステムにおけるセンサーの役割

九州工業大学 大学院工学研究院
准教授　脇迫 仁

産業用ロボットで使われる主なセンサーにはアーム駆動用モーターのエンコーダー、作業時の手首にかかる力を検出する力センサー、カメラなどを使った視覚センサーがある。エンコーダーは、その分解能によってロボットの位置決め精度に影響し、絶対値型を用いることで立ち上げ時の原点復帰が不要となる。力センサーは、はめ合い作業などの細かい力作業が可能になり、視覚センサーはロボットの目となる。ここでは作業の自動化で最も利用されている視覚センサーについて紹介する。

視覚センサーの重要性

位置決め補正

産業用ロボットの制御方式はティーチング・プレイバックと呼ばれ、事前に作業者が教示（ティーチング）した位置に基づいて、リンク動作や直交動作による自動運転（プレイバック）を実行している。ここでは決められた位置の移動しかできないため、作業対象のワークの位置がずれると正常な作業ができなくなる。そこでワークの位置ズレ補正にカメラなどを使った視覚センサーが用いられる。

視覚センサーは、ワークの状態によって2次元センサーと3次元センサーに分類できる。2次元センサーはカメラを用い、ワークとカメラの距離が一定でワークのズレ方向はカメラの撮像面と並行になる。

例えばコンベヤー上を流れるワークの場合、コンベヤーに置くワークの向きが一定（逆さまに置かないなど）で、そのズレ方向はコンベヤー面上に限定される。この時、カメラはコンベヤー上部に設置され、コンベヤー上のワークの画像から画像処理によってワークの位置と方向を求める。ここでは一般の画像処理手法である幾何学形状マッチング、正規化相関、ブロッブ解析などが活用できるように、固定治具や整列機構などでカメラ・ワーク間の位置関係を限定しており、同手法は生産ラインでよく用いられる。

3次元センサー

ただしユーザーにとっては、これらの治具や機構はコストアップにつながり、ワークがどんな状態でも検出できるセンサーが望ましい。これが3次元センサーであり、各メーカーがさまざまな方式で取り組んでいる。このセンサーはワークまでの距離が変わるだけでなく、ワークがどんな姿勢、例えば表裏反転していてもその位置と姿勢を検出できることが望ましい。

代表的な応用例としてビンピッキングがある。この作業はワークが箱の中に山積みされており、それをロボットで取り出す作業である。箱の上と下ではセンサーヘッドからの距離が変わり、ワークの置かれ方もランダムである。このようなワークの検出には、センサーからの奥行き（距離）情報を用いる。センサーシステムの構成は、ワークの距離情報を得るセンサーヘッドと、その距離情報からワークの姿勢を求める検出部からなる。

ワークの距離（形状）計測にはさまざまな手法がある。市販の3次元計測装置では接触式のポイント計測でワーク表面をなぞりながら測定する方式もあるが、センサー用では非接触で短時間の計測が要求される。

最も代表的な方式は、スキャン機構付きのレーザースリット光と受光カメラの組み合わせである。ワークに照射したスリット光の位置を画像処理によって求め、三角測量の原理から距離を計算し、この処理をスリット光をずらしながら繰り返す。ただし、100ミリメートル間のワーク表面を1ミリメートル間隔でスリット光を走査すると100枚の画像を取得することになり、通常のカメラは1枚の画像取得に約30ミリ秒かかり、全ての画像取得だけで3秒かかることになり、高速化のために受光カメラの工夫が必要となる。

図1に安川電機の3次元センサーとその計測データを示す。このセンサーは高速の受光素子を用い、しかもスリット光の照射位置をハード的に求めており、最新の仕様では約1メートル角の範囲を約1秒で走査し、0・5ミリメートルの距離精度である。

画像取得の高速化の別の手段として、スリット光の代わりにパターン照明、例えば間隔の異なる複数枚の縞模様パターンを照射する手法がある。実際は複雑であるが、ここでは分かりやすくするため、縞模様の間隔を画面の2分の1、4分の1、8分の1などの白黒パターンとすると、8枚の白黒パターンで測定領域を256のラインで分割することになり、8回の画像取得で済む。そのほかの距離情報取得方式として、複数台のカメラを用いたステレオ方式などがある。

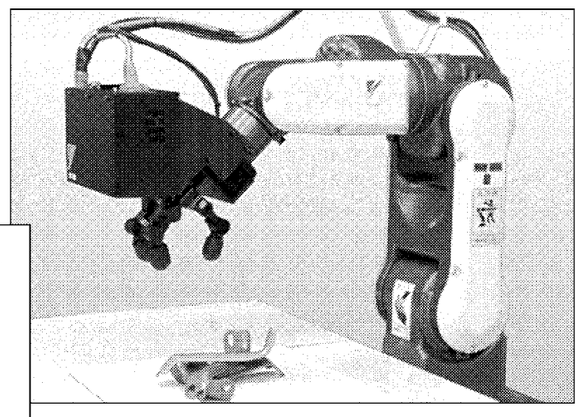
このような手法で距離情報が得られると、この情報から対象ワークを検出する。これにはワークの特徴的な形状、例えば平面部や円筒部を基にしてワークを検出する。一方、距離情報から特徴を求めるのに対し、ステレオ方式では個々のカメラ画像からワークの直線部や円筒部（画面中では楕円形状）などの特徴を先に求めて、画像間の関係から特徴の3次元位置を求める手法なども見られる。いずれにしても、これらの検出方式は対象ワークの形状に依存した手法となる。

検出処理はソフトウエアで実行され、一般の画像処理以上に処理が複雑なため処理の高速化が課題となるが、これらの処理は単一命令マルチデータ（SIMD）が多く並列処理やFPGA処理が有効と考えられる。近年、マルチコア中央演算処理装置（CPU）が主流となり並列処理が簡単に実装できるようになったこと、またFPGAも開発環境が整備されていることによる。我々の実施例として、ソリトンシステムズのFPGAボード「Expresso G4」（**図2**）上でカメラ画像での物体検出処理を実行したところ、100万画素の画像で回転サーチが約2ミリ秒で実行できた。

今後の課題

以上、ロボットのセンサーの中で最も期待されている3次元視覚センサーについて主に紹介した。これらのセンサーは個々の用途（ワーク）によって、メーカーの開発者が作り込んでおり、用途ごとに開発工数が発生するため、メーカーにとっては任意の形状が検出できる汎用的なセンサーが望ましい。ただし、実際の生産ラインでは事前にワークの形状は分かっており、また産業用の部品では平面や円筒、丸穴など似通った形状が多いため、基本形状の検出処理をモジュール化しそれらを組み合わせて全体の検出処理を構築することが現実的な対応と考えられる。

また、このようなセンサーシステムはハード・ソフトともに処理が複雑で、メーカー側が内容を公開しないこともあるが、ユーザーにとってブラックボックスとなるため、正常動作している時は問題とならないが、何らかの要因で誤動作した時、再調整をメーカーに頼るしかない。そういった点で、単に機能するだけでなくロバストでユーザーにとって使いやすいインターフェースも今後の課題となる。



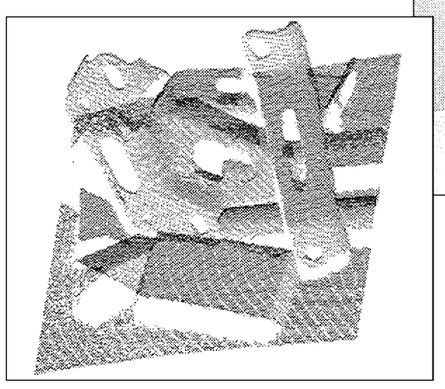
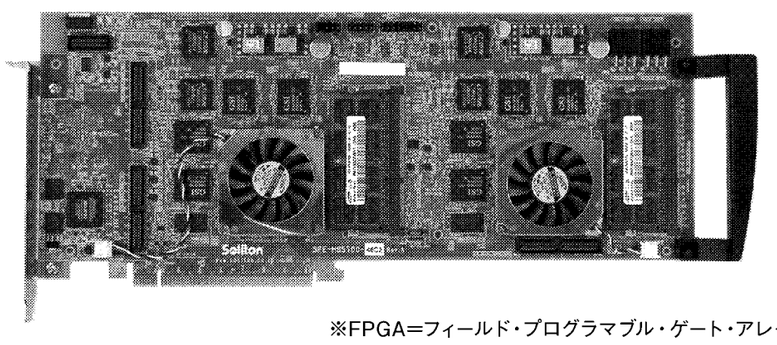
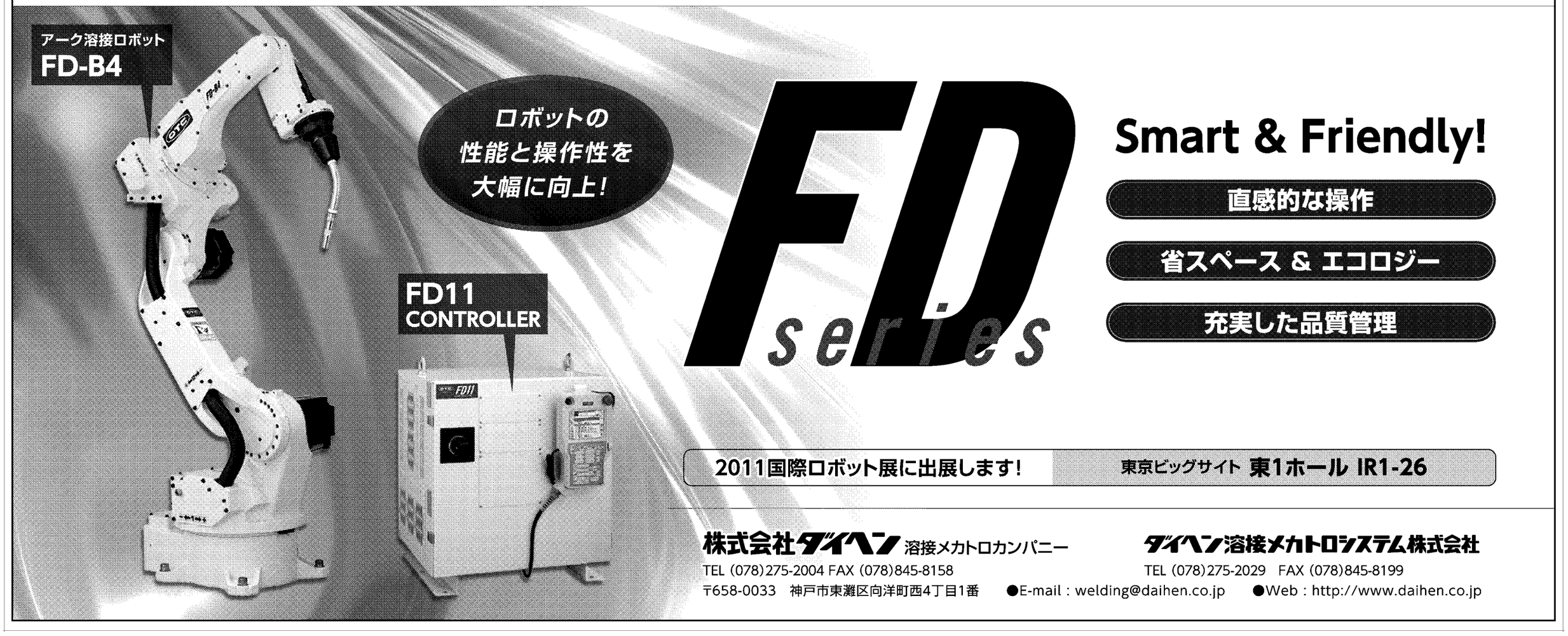


図1　3次元視覚センサーと測定データ



※FPGA=フィールド・プログラマブル・ゲート・アレイ

図2　FPGA基板

iREX 2011 INTERNATIONAL ROBOT EXHIBITION

DAIHEN　溶接の自動化へ最適なソリューションをご提供!