ロボットシステム制御のためのセンサー

立命館大学　理工学部
ロボティクス学科　准教授
下ノ村　和弘

ロボットが実環境で適切に動作するためには、ロボット自身の状態を知るためのセンサー（内界センサー）や、ロボットが周りの状況を知るためのセンサー（外界センサー）が必要となる。例えば、産業用ロボットで一般的に用いられるティーチングプレイバック方式のように、ロボットがいつも同じ動きを繰り返せばよい場合には内界センサーが中心となるが、操作対象物の位置や姿勢が変化したり、複数の種類の対象物を扱ったりする場合には、これらの情報を知るために外界センサーが重要になる。ここではセンシング対象物の多様化や、新しいロボットメカニズムの制御に対応するためのセンサーとその利用について、我々のグループでの研究例を紹介する。

ロボット向けセンサー

ロボットに用いられるセンサーはロボットの外部に設置される場合もあるが、多くの場合、ロボットに組み込まれるため、小型、軽量であると使いやすい。またロボットシステムの特徴として、目的のタスクを実行する過程で複数の種類のセンサー情報が必要となる場合が多い。

例えば、ロボットハンドによる物体把持の過程を考える。対象物の位置や形状があらかじめ分かっていない場合、まず、視覚センサーや近接センサーの情報を用いて対象物の位置を特定し、ロボットハンドを対象物付近まで接近させ、対象物をどのように把持するか決定する必要がある。続いて、接触センサーや力覚センサーの情報を用いて対象物の把持状態を見ながら必要な操作を行う。一連の把持動作を実現するためには複数の種類のセンサーが必要になる。このような場合は通常、それぞれのセンサーを信号処理の手段も含めて個別に準備する必要がある。また一般的な近接センサーや力覚センサーは空間分解能を高くすることが容易ではないため、対象物の詳細な情報を得ることは難しい。

そこで、ロボット向けセンサーとして、一連の把持動作に必要な複数の情報を同時に取得し、なおかつ高い空間分解能を実現できる光学式の接触近接複合センシングデバイスを提案した（**写真1**）。このデバイスのキーとなるのは小型複眼カメラ（香川景一郎静岡大学准教授との共同研究）である。一つのイメージセンサー上に複数の小さなレンズが設置され、16ミリメートル角の筐体中に九つのカメラを持つ。これら複数のカメラを、接触検出、近接検出、形状判定および対象物の探索に割り当てて用いる。接触検出では、ロボットハンド把持面を光導波板として用いることで、把持面への物体の接触をカメラにより画像として検出する。

また別の二つのカメラを用いたステレオ視により、把持前に対象物までの距離や3次元形状を測定する。対象物の探索には、さらに別の広角カメラを用いる。これら全ての情報は1枚の画像から取り出すことができる。取得できる情報はそれぞれ高い空間分解能を持つため、微小物体や複雑な形状の物体、または柔らかい物体の把持制御などに利用できると考えている。

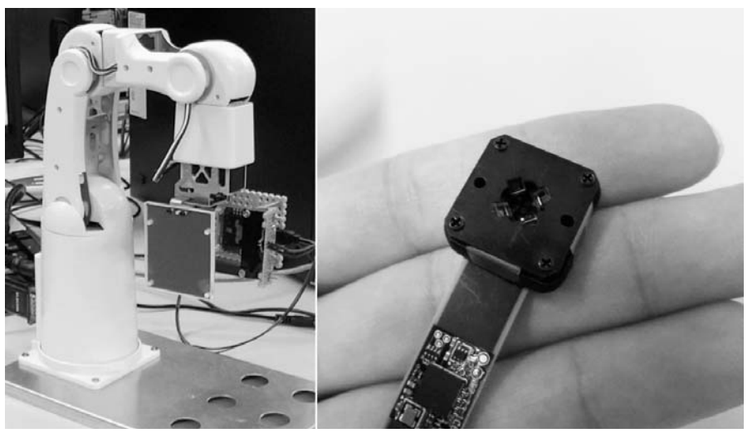

写真1　ロボットハンドに搭載した接触近接複合センシングデバイス㊧と小型複眼カメラ（香川景一郎静岡大学准教授との共同研究）㊨

センサーを使用したロボット制御

ロボットシステムでは多くの場合、センサーを用いて何かを計測するだけではなく、得られた情報を用いてロボットの動作を制御する。特に、センサー情報取得からロボットの制御までの時間を短くする必要がある場合（例えば、動く物体にリアルタイムで追従するなど）には、センサー情報取得と信号処理を高速に行い、かつできるだけ小さな遅延でロボット制御系にフィードバックする必要がある。これは高速に動作するロボットを制御する場合に限られたことではなく、フィードバック制御に速度情報を用いるような場合にも重要なことである。

例として、視覚センサーを用いた空気圧駆動軽量マニピュレーターの制御を紹介する。一般的な多くのロボットは高い剛性の材料を用いて高精度、高速、大出力での動作を行うのに対して、極めて軽量なロボットや、人間に親和性の高いロボットを実現するために、プラスチック膜材料を用いた空気圧駆動ロボットの研究が行われている（**写真2**）。このようなロボットの動作を制御するためには、何らかのセンサーを用いて関節角度や角速度の情報を取得する必要があるが、ソフトマニピュレーター本来の特徴である柔軟性や軽量性を損なわないために、視覚センサーを用いてロボット外部から非接触で変位や速度情報を取得する制御システムを構築している。

フィードバック制御に速度情報を用いるためには、ロボットが動いてからその情報を取得し制御入力信号を生成するまでにかかる遅延時間ができるだけ小さいことが望ましい。そこで、本システムでは毎秒200枚の画像を取得する高速カメラとFPGA（Field Programmable Gate Array）から構成される視覚センサーを用いた。関節角度および角速度情報を用いたロボット制御入力信号生成の周期は5ミリ秒、遅延時間は平均7・5ミリ秒となった。

また複数の種類のセンサーを同時に用いて制御を行うことが有効な場合もある。例えば、小型飛行ロボットに搭載したカメラにより地上の目標物を捉える場合、ロボットの空中での揺れにより、カメラ画像内の目標物も揺れる。飛行ロボット本体を制御して揺れを完全に抑えることは難しいため、カメラにパン・チルト回転機構をもたせる構成をとった（**写真3**）。このカメラの視線方向を、カメラ画像上での目標物位置をフィードバックして制御することができるが、さらに、より応答速度の速いジャイロセンサーを用いて飛行ロボットの姿勢変化を検知し、この情報を使ったフィードフォワード制御を併用することで、ロボットの移動や外乱による画像上での目標物の揺れを極めて小さく抑えることができた。カメラ画像やセンサー情報の処理にはFPGAを用いている。ロボット搭載カメラにより目標物を安定して捉えることで、この情報を飛行ロボットの空中での位置や姿勢の制御に利用できる。

今後、ロボット応用分野の拡大に合わせて、ロボットシステム制御の高度化や新しいロボットメカニズムの制御を実現するためには、センサー技術の発展が不可欠である。個々のセンサーの性能向上、小型・軽量化だけでなく、用途に合わせて新しい特徴をもったセンサーの開発や、ハードウエア構成も含めたセンサー信号処理技術の高度化が期待される。

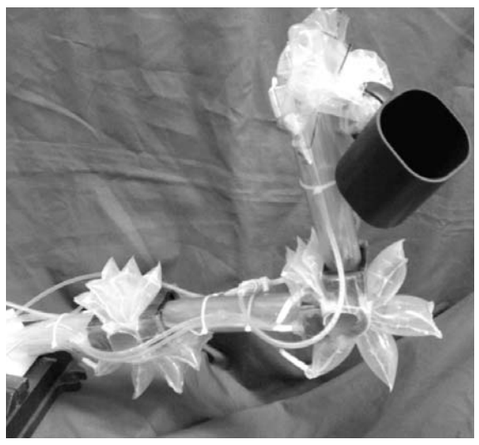

写真2　空気圧駆動軽量マニピュレーター（立命館大学ロボティクス学科川村貞夫研究室提供）

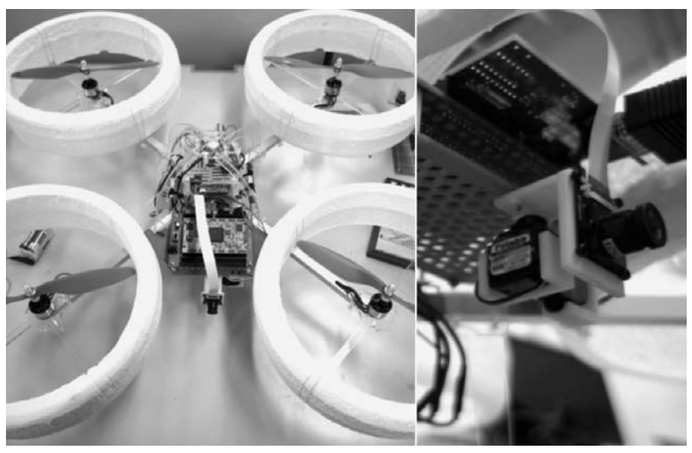

写真3　小型飛行ロボットに搭載したパン・チルト機構付き視覚センサー

2013国際ロボット展