

VVVを使ったロボット視覚のキャリブレーション

～ロボットと視覚センサのマッチングについて～

Calibration for a Robot Vision with the VVV

宮野 善弘

Yoshihiro MIYANO

川田工業(株)機械システム事業部
ロボティクス部

平井 正之

Masayuki HIRAI

川田工業(株)技術研究所
情報機械研究室係長

はじめに

ロボットの外界センサとして視覚（マシンビジョン）を使用したときの、現在使用している視覚センサの概要、キャリブレーション、および運用時の補正方法について紹介します。

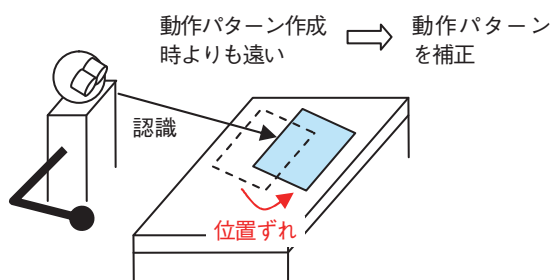
1. ロボットの視覚について

機械システム事業部ロボティクス部では、HRP-2、HRP-3のような人間型ロボット、およびその技術を利用した機械の開発を行っています。

産業用ロボットは、予めプログラミングされた動作を作業現場に合わせて調整しています。作業時は周辺に配置したセンサを利用して対象となるワークの認識、作業環境の変化の認識などを行い、動作の補正を行っています。

最近では、視覚センサを用いた認識技術が主流になり、視覚によるワークや環境の認識、動作の補正などが行われています。

我々が現在手掛けているロボットにおいても、視覚センサを採用しています。このような、視覚センサの撮像結果をコンピュータで処理し、その結果を機械の動作に利用するシステムを「マシンビジョン（システム）」と言います。



周囲状況の把握

2. 使用する視覚センサ

視覚センサとしては、独立行政法人 産業技術総合研究所が開発したVVV（Versatile Volumetric Vision）というシステムを採用しています。

VVVとは高機能3次元視覚システム（主にソフトウェアライブラリ）のことで、2眼以上のカメラを使用することにより、三角測量の原理で3次元の位置計測を行うことができます。この三角測量の原理で位置計測を行う視覚を「ステレオビジョン」と言います。

VVVでは、ステレオビジョンにより求められる3次元点群と事前に作成された物体データのマッチングを行い、カメラから見た物体の3次元位置・姿勢（x, y, z, roll, pitch, yaw）を取得することができます。

3. 視覚のキャリブレーション

カメラを使用するには何らかのレンズが必要ですが、そのため画像に歪みが生じる場合があります（光学系の歪み）。ステレオビジョンにおいては、三角測量の原理を適用するため、2台のカメラの位置関係を把握しておく必要があります。さらにカメラで取得した位置・姿勢を元にロボットを動かすには、カメラ基準の位置・姿勢をロボット基準へ変換する必要があります。

これらを補正・算出することをキャリブレーションと言い、以下の項目があります。

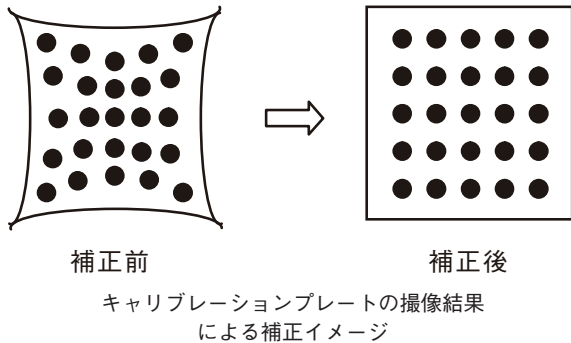
- ・ 光学系キャリブレーション
- ・ ステレオキャリブレーション
- ・ 座標系キャリブレーション

(1) 光学系キャリブレーション

一般にカメラキャリブレーションと言われる作業です。

レンズ歪みの補正、実際の焦点距離など、実空間の座標を求める上で必要となるパラメータ（内部・外部カメラパラメータ）を求めます。

方法としては、歪み補正用に作成されたキャリブレーションプレートを様々な角度から撮像し、プレート固有のデータ（模様の実座標）を VVV のキャリブレーションコマンドに与えます。その後は VVV コマンド内で補正データが生成されます。



レンズ歪みに限らず、カメラパラメータは光学系の設定（レンズのピント・絞りなど）に影響を受けます。そのため、マシンビジョンの世界においては、ピント・絞りを変更する度にキャリブレーションを行う必要があるため、オートフォーカスカメラ（レンズ）が使用できないことになります。そこが通常のカメラの使用方法とは大きく異なる点です。

(2) ステレオキャリブレーション

三角測量が成り立つよう、2台のカメラの相対位置関係を算出します。この作業により、カメラ基準での位置・姿勢が取得可能になります。

現在使用している VVV のパッケージにおいては、前述の光学系キャリブレーションも含めた作業になり、ステレオキャリブレーションにより光学系の歪みも取り除くことができます。また、ステレオビジョン用のカメラパラメータも得られます。

作業方法自体は光学系キャリブレーションとほぼ同一です。異なるのは、2つのカメラが同時に撮像できるようにキャリブレーションプレートを動かす、ということです。

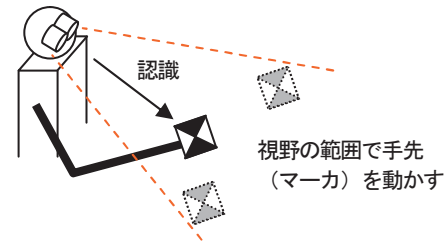
(3) 座標系キャリブレーション

カメラ基準による位置・姿勢を、ロボット基準へ換算する計算式（行列など）を算出します。

算出にあたって、カメラ・ロボットそれぞれを基準とした3次元座標の対比データ（10～20点）が必要となります。そのため、マーカをロボットの手先に取り付け、以下の操作を10～20回繰り返します。

- a) マーカがカメラ視野に入る範囲でロボットの手先を動かす、ロボット基準のマーカ3次元座標を取得・記録します。
- b) 上記a)の状態でも撮像・画像処理し、カメラ基準のマーカ3次元座標を取得・記録します。

以上で得られた対比データを VVV のコマンドに与えることにより、キャリブレーション時のロボットとカメラの位置関係における、対象物のロボット基準の位置・姿勢が取得可能となります。



座標系キャリブレーションのイメージ

各位置・姿勢の基準空間を「座標系」と言います。本節のキャリブレーションは、位置・姿勢の基準となる空間の変換方法を求めるため、座標系キャリブレーションと称することにします。

4. キャリブレーション後の補正（補外計算）

3章の各キャリブレーションを行うことで、ロボット座標系における対象物の位置・姿勢を取得可能になりますが、カメラとロボットの位置関係が座標系キャリブレーションの時と異なる場合、正しいデータを得ることができません。

人間型ロボットのように、頭の位置にカメラを搭載した場合、腰・首軸が動くときと前述のような位置関係の差異が発生します。

本来は、個々の姿勢において座標系キャリブレーションを行う方が正確なデータを得られるのですが、カメラとロボットの位置関係のパターンは無限に存在するため（腰・首軸が連続的に動作するため）、現実的ではありません。そこで我々は、座標系キャリブレーション時点のカメラ姿勢を基準とした位置・姿勢に対して、その姿勢から現在への差異の分だけ引き戻す補外計算を行い、ロボット基準における位置・姿勢を算出しています。

以上をまとめますと、最初に視覚のキャリブレーションを行い、対象物を認識できるようにします。さらにカメラの姿勢変化に対しては、補外計算によってロボット基準の位置・姿勢に変換することで、視覚センサによるデータをロボット動作に利用する、という流れとなります。

参考文献

- 1) MVTec Software GmbH, 他：画像処理アルゴリズムと実践アプリケーション, (株)リンクス 訳, 3.9章, 2008