

画像でモノの位置をはかるための技術

- カメラキャリブレーション -

キーワード：画像計測，画像処理，位置計測，ロボットビジョン

概要

テレビカメラで撮影した画像から、そこに映っている物の位置を計測するための技術について紹介します。立体物が画像化されると、空間内での物の配置といった奥行き情報は失われますが、複数の場所から撮影した画像や対象物の形状データを利用することで、空間内での物の配置情報を復元することができます。この復元作業には、カメラパラメータという撮像時のカメラ位置やレンズ焦点距離の値が必要で、画像からこれらの値を計算するのがカメラキャリブレーションです。この技術を用いることで、画像中の対象物の概算位置を計る簡易的な測量や、実写中にコンピュータグラフィックスを仮想的に描画する画像合成、複数の商品の写真から3次元形状を得て、様々な視点からの商品の見え方をネットワークを媒介して陳列するといった応用が期待されます。

カメラキャリブレーションの方法

図1を使って、代表的なカメラキャリブレーションの方法を紹介します。図1は、3次元シーンを図上から下向きに撮影しています。3次元シーンの点は、レンズを通して画像面に投影されます。レンズは通常、撮像面とシーンの間に在りますが、便宜上、図1のような配置を用います。キャリブレーションには、幾つかの座標系を用います。まず、3次元シーンの世界座標系 $ow-xwywzw$ を設定し、レンズの中心を原点としたカメラ空間座標系 $o-xyz$ 、撮像面の画像座標系 $o1-xy$ を設定します。空間座標系の原点 o はカメラの位置を表しています。いま、世界座標系で見た点 $P(xw, yw, zw)$ から、カメラ空間座標系の点 $P(x, y, z)$ への変換は、「原点 o を中心とした回転」+「 o から ow への平行移動」と考えることができます。これを式で表すと、

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} xw \\ yw \\ zw \end{bmatrix} + T \quad \dots (1)$$

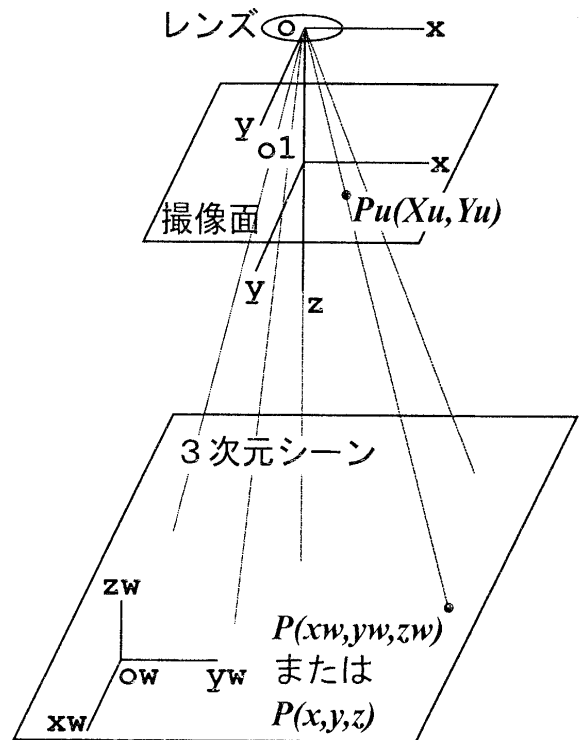


図1 カメラキャリブレーションの原理

ただし、 R は回転を表す行列、 T は平行移動を表すベクトルです(R と T により、カメラ位置がわかります)。

$$R \equiv \begin{bmatrix} r1 & r2 & r3 \\ r4 & r5 & r6 \\ r7 & r8 & r9 \end{bmatrix}, \quad T \equiv \begin{bmatrix} Tx \\ Ty \\ Tz \end{bmatrix}$$

次に、カメラ空間座標系の点 $P(x, y, z)$ から画像座標系の点 $Pu(Xu, Yu)$ への変換を考えます。レンズの焦点距離を f とすると、次の式で変換を表すことができます。

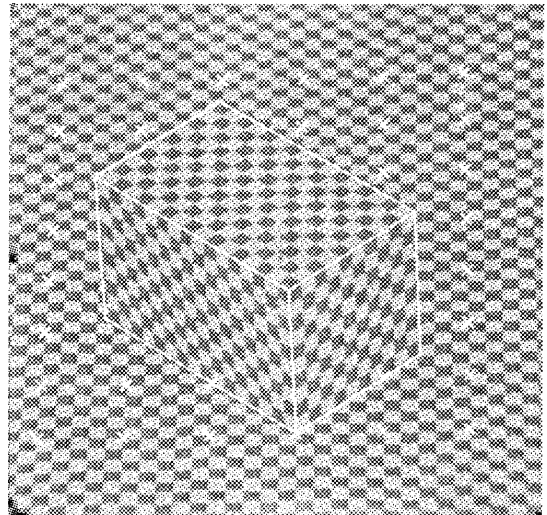
$$Xu = f \frac{x}{z} \quad \dots (2)$$

$$Yu = f \frac{y}{z}$$

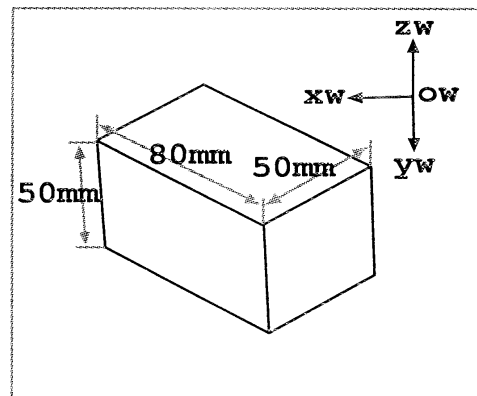
ここで用いたレンズ焦点距離 f は、一般に市販されているカメラ用レンズに記された焦点距離とは異なります。理由は、カメラ用レンズの場合、焦点調節やズーム機能を組み込むために複数のレンズ群で構成されているのに対し、キャリブレーションで用いるレンズは、その複雑なレンズを簡単なピンホールとしてモデル化しているからです。また同じ理由から、キャリブレーションの結果得られる R 、 T の値が、実際に配置されたカメラの位置と大きく異なる場合があります。以上の2式に、値がそれぞれ既知の複数のキャリブレーション点の世界座標 (x_w, y_w, z_w) 、画像座標 (x_u, y_u) を代入し、連立方程式を作成します。得られる方程式を計算機上で非線形最適化手法によって繰り返し演算し、回転行列 R 、移動ベクトル T 、焦点距離 f を求めます。これらが求めれば、3次元空間上の点と画像座標上の点の対応関係が求まったことになり、カメラキャリブレーションができたこととなります。

図2は実際にカメラキャリブレーションを行った結果です。座標が既知のグリッドパターン平面上に、表面に同じグリッドパターンを持った立方体を図2(b)のように配置し、カメラパラメータを求めました。カメラキャリブレーションには、(a)の \times で示した31ヶ所の世界座標点 - 画像座標点ペアを用い、先に述べた方法により R 、 T 、 f を計算しています。計算結果を図2(c)に示します。またこの結果を用いて、立方体の輪郭のCGを図2(a)の画像上に重合させて描きました。画像中の立方体に精度よく重なって描かれていることから、カメラキャリブレーションが良好に行われていることが分かります。

現在、このように、画像から元の3次元情報を復元するための基礎となるカメラキャリブレーション技術を、視覚を持ったロボット(ロボットビジョン)の動作教示システムに応用することを検討しています。



(a) キャリブレーション点と立方体の重合表示



(b) 立方体サイズと世界座標系

$$R = \begin{bmatrix} -0.998830 & -0.013335 & -0.046489 \\ 0.029611 & 0.591403 & -0.805832 \\ 0.038239 & -0.806266 & -0.590316 \end{bmatrix}$$

$$T = \begin{bmatrix} 56.744224 \\ -42.123404 \\ 1949.891573 \end{bmatrix}$$

$$f = 79.054611$$

(c) 算出したカメラパラメータ

図2 カメラキャリブレーションの結果

参考文献

R.Y.Tsai, "A Versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-shelf TV Cameras and Lenses", IEEE JOURNAL OF ROBOTICS AND AUTOMATION, Vol. RA-3, No. 4, Aug, 1987.