

3次元センシング技術に関する研究*

隈本 武*1

Study on Three-Dimensional Vision Measuring Technique

Takeshi KUMAMOTO

人体の動作解析を行うためには、奥行き情報や運動情報を得ることが必要不可欠である。そのためには、何らかの方法で3次元情報をセンシングしなければならない。そこで、本研究では、人や物体の画像（2次元情報）から3次元情報を復元する3次元画像計測技術の確立を目的とした。計測手法は、最も代表的なステレオ画像法を採用し、2次元画像から3次元空間の座標情報を復元することを試みた。その結果、3次元復元が可能となった。

キーワード：3次元、画像計測、ステレオ画像法

1 はじめに

近年、コンピュータのCPUの高速化やグラフィックス性能の向上等により、3次元計測は低コストで実現できるようになった。現在では、工業分野のみならず、医療、ヒューマンインターフェース、アミューズメント、3次元CG、アパレル等、数多くの分野で用いられるようになってきている。今後、コンピュータの発展と相まって、他の分野においても3次元計測のニーズが高まってくるものと予想される。

当センターでも、ヒューマン・コミュニケーション機器の開発において3次元センシング技術の研究に取り組んでおり、今回は、人や物体の画像（2次元情報）から3次元情報を復元できる3次元画像計測技術の確立を目的とした。

2 実験方法

2-1 ステレオ画像法の基本原理

3次元画像計測法には様々なものがあるが、今回は最も代表的な計測法であるステレオ画像法を採用し、2次元画像から3次元空間の座標情報を復元することを試みた。

ステレオ画像法とは、人が左右の目で物を立体

的に見るのと同じように、両眼に対応する2枚の画像に三角測量を適用して3次元位置を求める手法である。本計測法は、対象に対して何の影響も与えることがなく、また画像データが取得可能な環境であれば適応できるという意味で汎用性が高くなっている。

では、ステレオ画像法の原理を説明していく。本手法の基本的な原理は、先ほども述べたように三角測量であり、異なる視点から同一の対象物を観測し、それぞれの画像上への投影位置の違いから、対象物の3次元位置情報を得ようとするものである。本手法の最もシンプルな構成は、焦点距離が等しいカメラ2台が、光軸が互いに平行でかつ各々の画像面が同一平面上に配置される場合である（図1）。

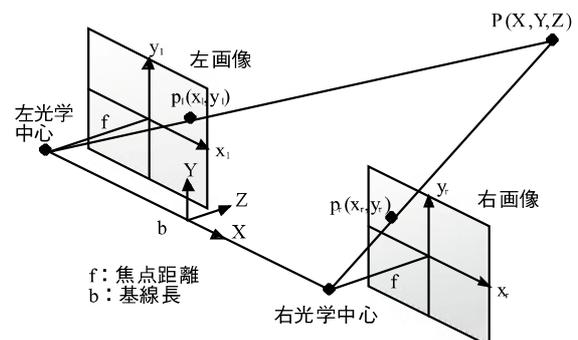


図1 ステレオ画像法の基本的配置

* 3次元センシング技術に関する研究（第1報）

*1 機械電子・デザイン部

図1に示すように、世界座標系 $[X, Y, Z]$ とそれぞれの画像における画像座標系 $[x_l, y_l]$ $[x_r, y_r]$ を定めた時、空間中にある点 $P(X, Y, Z)$ が、左右画像面の点 $p(x_l, y_l)$ $p(x_r, y_r)$ に投影されたとすれば、以下の関係式が成立する。

$$X = \frac{b(x_l + x_r)}{2d} \quad (1)$$

$$Y = \frac{b(y_l + y_r)}{2d} \quad (2)$$

$$Z = \frac{b \cdot f}{d} \quad (3)$$

ただし、 f は焦点距離、 b は基線長、 d は視差で、

$$d = x_l - x_r \quad (4)$$

である。

したがって、 f, b が既知のもとで、左右の画像上の投影座標から元の3次元位置 $P(X, Y, Z)$ が計算できる。ここで、奥行き Z は視差のみから決定される。

2-2 射影変換の理論式

そこで、カメラの配置に制約を生じさせないようにするため、射影変換による2次元平面から3次元空間への理論式を導き出し、その式より3次元復元を行うこととした。

図2に示すように、カメラ座標系を回転・平行移動させて世界座標系を得るとすると、3次元空間中の点 M が2次元画像上の点 m に投影される射影変換の式は、以下のように導くことができる。

$$\tilde{m} \cong P\tilde{M} = A[R \ t]\tilde{M} \quad (5)$$

$$\lambda \tilde{m} = P\tilde{M} \quad (\lambda \text{ は } 0 \text{ 以外の実数}) \quad (6)$$

ただし、 m は2次元画像上の点、 M は次元空間中の点、 P は射影行列、 A はカメラ内部行列、

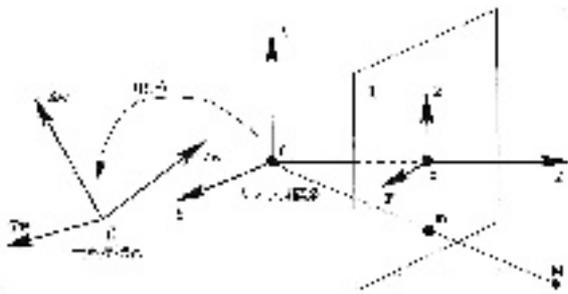


図2 カメラ座標系と世界座標系

R は回転行列、 t は並進ベクトルで、

$$\tilde{m} = [u \ v \ 1]^T \quad (7)$$

$$\tilde{M} = [X \ Y \ Z \ 1]^T \quad (8)$$

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{24} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & p_{34} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_1^T & P_{14} \\ P_2^T & P_{24} \\ P_3^T & P_{34} \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$A = \begin{bmatrix} fk_u & -fk_u \cot \theta & u_0 \\ 0 & fk_v / \sin \theta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_u & \alpha_u \cos \theta & u_0 \\ 0 & \alpha_v / \sin \theta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$R = [r_1^T \ r_2^T \ r_3^T]^T \quad (11)$$

$$t = [t_x \ t_y \ t_z]^T \quad (12)$$

である。

3次元空間の座標は、式(6)を用いて求めていくことになるが、射影行列 P は未知数であるため、カメラの校正より射影行列を求める必要がでてくる。

2-3 カメラの校正(キャリブレーション)

カメラの校正は校正器具を用いて行う。校正手順は、校正したいカメラで既知の3次元形状物を観察し、3次元空間座標と対象物の2次元画像座標を与えて行っていく。これにより、3次元空間座標とその2次元画像間の射影を定める射影行列 P を求めることができ、3次元復元が可能となる。以下、校正の結果を示す。

$$P_{left} = \begin{bmatrix} 3.349867 & 0.007086 & -0.186070 & 98.262361 \\ 0.000043 & 3.391027 & -0.367343 & 57.914882 \\ 0.000053 & -0.000018 & -0.001258 & 1.000000 \end{bmatrix}$$

$$P_{right} = \begin{bmatrix} 3.273552 & 0.003715 & -0.502342 & 80.357384 \\ -0.026752 & 3.348781 & -0.364350 & 69.237866 \\ -0.000060 & -0.000022 & -0.001253 & 1.000000 \end{bmatrix}$$

$$R = \begin{bmatrix} 769.691213 & 2.493439 & -44.340029 \\ 0.010050 & 792.972902 & -85.901010 \\ 0.000053 & -0.000018 & -0.001258 \end{bmatrix}$$

$$t = \begin{bmatrix} 23383.217595 \\ 13542.980899 \\ 1.000000 \end{bmatrix}$$

$$\alpha_u = 0.004205$$

$$\alpha_v = 0.004276$$

$$u_0 = 0.000411 [mm]$$

$$v_0 = 0.000401 [mm]$$

$$\theta = 1.569777 [rad]$$

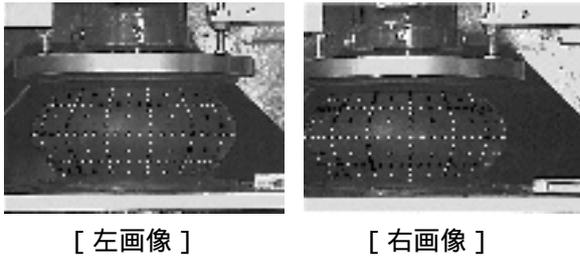


図3 ゴムフェンダーの画像

なお、 P_{left} は左カメラの射影行列， P_{right} は右カメラの射影行列を表している。

3 結果及び考察

カメラの校正後、3次元復元の実験を行った。

対象物は、変位が分かりやすいゴムフェンダーとし、ゴムフェンダーを上部から押さえつけて変形させた。その時の左右のカメラから取り込んだ各画像を図3に示す。

式(6)に、校正で求めた射影行列 P_{left} 、 P_{right} を代入し、その後、2次元画像の座標点 (u_i, v_i) を与えることで、それに対応する3次元空間中の点 (X_i, Y_i, Z_i) を算出した。算出結果の一部を表1に示す。

また、その点群を3次元CGとして表したのが図4である。3次元復元がほぼできていることが分かる。

なお、測定誤差は0.5~1.0mmであったため、3次元計測システムとしては、十分機能していると考えられる。

表1 算出結果(一部)

(単位: mm)

点番号	X座標値	Y座標値	Z座標値
1	9.915622	48.51634	122.2226
2	14.72355	48.56618	127.73
3	21.45351	48.49262	132.9433
4	29.57338	48.30052	138.011
5	38.38527	48.17963	141.0845
6	48.35037	48.30907	144.2048
7	58.4816	48.32884	143.6168
8	68.54101	48.17598	141.2829
9	77.91445	48.51248	139.1774
10	86.02638	48.36706	133.2102
11	93.2532	48.65645	125.1744

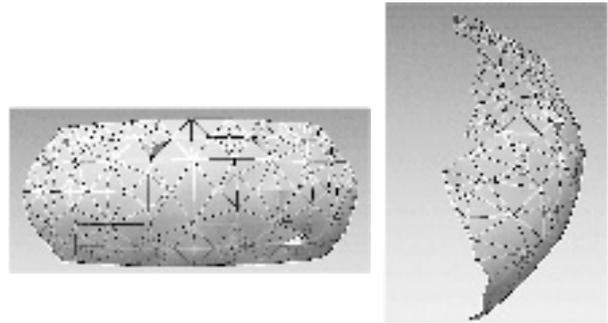


図4 3次元CGによる復元結果

4 まとめ

本研究により、非接触で、2次元画像から3次元空間の情報取得ができるようになったため、人体の動作解析が必要なヒューマンコミュニケーション技術への応用が可能となった。また、工業分野だけでなく、他の分野での応用も期待できると考えられる。

今後は、カメラ1台による3次元画像計測システムの確立及び3次元動画像解析へと研究を展開していく予定である。

5 参考文献

- 1) 井口征士, 佐藤宏介. 3次元画像計測. 昭晃堂, 1990
- 2) 徐 剛, 辻 三郎. 3次元ビジョン. 共立出版, 1998