

動画像からの3次元モデルフィッティング*

5D-7

大田 佳人・速水 康晴・山本 正信†

新潟大学 工学部 情報工学科‡

1 まえがき

3次元モデルを物体に一致させ、物体の位置と姿勢を決定する問題はマシンビジョンのなかでも特に重要な課題である。この課題は、投影面上で物体の像にモデルの投影像を一致させることから始められたが[1]、3次元情報が容易に得られるようになってから、3次元情報に3次元モデルを直接一致させる方法も研究されてきた。3次元情報は、レンジファインダーやステレオビジョンなどから直接測定することが出来るが、動画像からでも（相対距離ではあるが）得られる。このとき、位置と姿勢の計算は距離情報を隔に求めなくとも、動画像から直接計算することができる。例えば、対象物体が平面のとき、面の傾きは面の3次元運動パラメータと共に算出することができる[2]。ただし、これは姿勢の一部を求めたにすぎない。本論文では、動画像から物体の位置と姿勢及び3次元運動パラメータを閉形式で同時に求める方法を提案する。

2 問題の設定

図1にカメラと物体のモデルを示す。カメラの運動は、カメラ座標系の座標変換と考がえることができる。カ

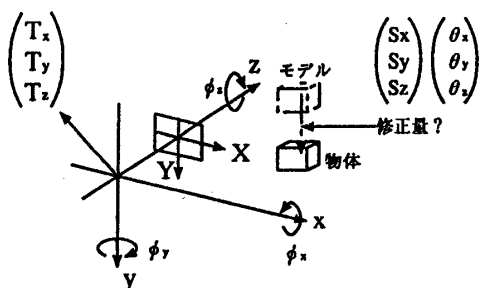


図1: カメラと物体のモデル

メラが \$x\$ 軸回り、\$y\$ 軸回り、\$z\$ 軸回りにそれぞれ \$\phi_x, \phi_y, \phi_z\$ 回転した後、\$x\$ 軸方向、\$y\$ 軸方向、\$z\$ 軸方向にそれぞれ \$T_x, T_y, T_z\$ 並進した時、カメラ座標系の点 \$(x, y, z)\$ は新し

いカメラ座標系では点 \$(x', y', z')\$ で表されたとする。カメラの移動が小さいとすれば、その差 \$u = x' - x, v = y' - y, w = z' - z\$ は、

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & \phi_x & -\phi_y \\ -\phi_x & 0 & \phi_z \\ \phi_y & -\phi_z & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{pmatrix} \quad (1)$$

で表わされる。点 \$(x, y, z)\$ は投影面上の点 \$(X, Y)\$ に透視変換式 \$X = x/z, Y = y/z\$ で投影されるとする。この式を時間で微分することにより、3次元的な動き \$(u, v, w)\$ が投影面上の動き \$(U, V)\$ に関係付けられる。すなわち、

$$U = \frac{1}{z}(u - Xw), \quad V = \frac{1}{z}(v - Yw) \quad (2)$$

3次元モデルを構成する平面パッチの一つを \$a_i x + b_i y + c_i z = d_i\$ とする。ここで、\$a_i, b_i, c_i, d_i\$ は既知である。この面を \$x\$ 軸回りに \$\theta_x\$、\$y\$ 軸回りに \$\theta_y\$、\$z\$ 軸回りに \$\theta_z\$ 回転後、\$x\$ 軸方向に \$S_x\$、\$y\$ 軸方向に \$S_y\$、\$z\$ 軸方向に \$S_z\$ 並進させたとする。移動量が小さいとすれば、移動した平面パッチモデルは次式で表わされる。

$$\begin{aligned} (a_i - b_i \theta_z + c_i \theta_y)x + (a_i \theta_z + b_i - c_i \theta_x)y + (-a_i \theta_y \\ + b_i \theta_x + c_i)z = d_i + a_i(S_x + \theta_z S_y - \theta_y S_z) \\ + b_i(-\theta_z S_x + S_y + \theta_x S_z) \\ + c_i(\theta_y S_x - \theta_x S_y + S_z) \end{aligned} \quad (3)$$

式(1)を式(2)に代入し、式(3)と関係式 \$X = x/z, Y = y/z\$ を利用し \$x, y, z\$ を消去すれば次式が得られる。

$$\begin{aligned} a_i U P_1 + b_i U P_2 + c_i U P_3 + a_i Y P_4 + b_i Y P_5 + c_i Y P_6 \\ + d_i Y P_7 + a_i X Y P_8 + b_i X Y P_9 + c_i X Y P_{10} \\ + d_i X Y P_{11} + a_i(X^2 + 1)P_{12} + b_i(X^2 + 1)P_{13} \\ + c_i(X^2 + 1)P_{14} + d_i(X^2 + 1)P_{15} \\ - (a_i X + b_i Y + c_i)X P_{16} - (b_i - c_i Y)X P_{17} \\ - (c_i X - a_i)X P_{18} - (a_i Y - b_i X)X P_{19} \\ + (a_i X + b_i Y + c_i)P_{20} + (b_i - c_i Y)P_{21} \\ + (c_i X - a_i)P_{22} + (a_i Y - b_i X)P_{23} \\ = -d_i U \end{aligned} \quad (4)$$

*Fitting 3-D Model to Structure from Motion

†Yoshito OTA, Yasuharu HAYAMI, and Masanobu YAMAMOTO

‡Faculty of Engineering, Niigata University

$$\begin{aligned} a_i V P_1 + b_i V P_2 + c_i V P_3 - a_i X P_4 - b_i X P_5 - c_i X P_6 \\ - d_i X P_7 + a_i(1 + Y^2)P_8 + b_i(1 + Y^2)P_9 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &+ c_i(1+Y^2)P_{10} + d_i(1+Y^2)P_{11} + a_iXY P_{12} \\
 &+ b_iXY P_{13} + c_iXY P_{14} + d_iXY P_{15} \\
 &- (a_iX + b_iY + c_i)Y P_{16} - (b_i - c_iY)Y P_{17} \\
 &- (c_iX - a_i)Y P_{18} - (a_iY - b_iX)Y P_{19} \\
 &= -d_iV
 \end{aligned} \tag{5}$$

P_{20} の式と式 (9), (10) より

$$T_x = P_{20} + P_5 - P_2P_7 \tag{14}$$

式 (10), (11), (12) で求めた $\theta_x, \theta_y, \theta_z$ を P_1, P_2, P_3 の式に代入して、 S_x, S_y, S_z について連立方程式を解けば S_x, S_y, S_z が求められる。

但し、 $P_1 \sim P_{23}$ は、中間パラメーターで次のようになる。

$$\begin{aligned}
 P_1 &= S_x + \theta_z S_y - \theta_y S_z, & P_2 &= -\theta_z S_x + S_y + \theta_x S_z \\
 P_3 &= \theta_y S_x - \theta_x S_y + S_z, & P_4 &= P_7 P_1 - T_y \\
 P_5 &= P_7 P_2 + \theta_z T_y, & P_6 &= P_7 P_3 - \theta_y T_y \\
 P_7 &= -\phi_z, & P_8 &= P_{11} P_1 - \theta_y T_y \\
 P_9 &= P_{11} P_2 + \theta_x T_y, & P_{10} &= P_{11} P_3 + T_y \\
 P_{11} &= -\phi_x, & P_{12} &= P_1 P_{15} + \theta_x T_y \\
 P_{13} &= P_{15} P_2 + \theta_y T_y, & P_{14} &= P_{15} P_3 + \theta_z T_y \\
 P_{15} &= \phi_y, & P_{16} &= T_z + \theta_x T_y \\
 P_{17} &= \theta_x T_z - T_y, & P_{18} &= \theta_y T_z + \theta_z T_y \\
 P_{19} &= \theta_z T_z - \theta_y T_y, & P_{20} &= T_x - \theta_z T_y \\
 P_{21} &= \theta_x T_x - \theta_y T_y, & P_{22} &= \theta_y T_x + \theta_x T_y \\
 P_{23} &= \theta_z T_x + T_y
 \end{aligned}$$

式 (4), (5) からカメラの動き $T_x, T_y, T_z, \phi_x, \phi_y, \phi_z$ 、モデルの位置と姿勢の修正量 $S_x, S_y, S_z, \theta_x, \theta_y, \theta_z$ を求めるのが問題である。

3 方程式の解法

12 点の見かけの速度 (U, V) が与えられれば式 (4), (5) から成る 24 個の方程式が得られる。中間パラメーター $P_1 \sim P_{23}$ はそのうちの 23 個の線型方程式から、それらが独立ならば求めることができる。さらに $P_1 \sim P_{23}$ からカメラの動きと物体の修正量を次の様に求めることができる。まず P_7, P_{11}, P_{15}, P_4 より

$$\phi_z = -P_7 \tag{6}$$

$$\phi_x = -P_{11} \tag{7}$$

$$\phi_y = P_{15} \tag{8}$$

$$T_y = P_7 P_1 - P_4 \tag{9}$$

式 (9) をパラメーター P_5, P_6, P_9 の式に代入して

$$\theta_z = (P_5 - P_2 P_7) / T_y = \frac{P_5 - P_2 P_7}{P_7 P_1 - P_4} \tag{10}$$

$$\theta_y = (P_7 P_3 - P_6) / T_y = \frac{P_7 P_3 - P_6}{P_7 P_1 - P_4} \tag{11}$$

$$\theta_x = (P_9 - P_{11} P_2) / T_y = \frac{P_9 - P_{11} P_2}{P_7 P_1 - P_4} \tag{12}$$

P_{16} の式と式 (9), (12) より

$$T_z = P_{16} - P_9 + P_{11} P_2 \tag{13}$$

4 解の一意性

23 個の線型方程式から中間パラメーターを求める際の解の一意性について考察した。速度ベクトルを観察する物体の平面の数が 3 面以下の場合、面の方程式によらず解を一意に求めることができなかつた。4 面の場合それぞれ独立な平面であれば、1 面につき 3 点から速度ベクトルを観測した際、解が一意に決まることがあることがわかつた。その例を表 1 に示す。カメラの動きは $T_x = 10, T_y = 12, T_z = 6, \phi_x = (1/4)^\circ, \phi_y = (1/3)^\circ, \phi_z = (1/11)^\circ$ 、物体の修正量は $S_x = 7, S_y = 9, S_z = 4, \theta_x = (1/7)^\circ, \theta_y = (1/5)^\circ, \theta_z = (1/12)^\circ$ で与えた。

モデルの平面の式	投影面上の点 (X, Y)		
$x+2y-2z=11$	(-2,4)	(2,3)	(6,3)
$x+2y-2z=9$	(-2,-4)	(1,-3)	(4,-1)
$-3x+y-4z=-7$	(-7,2)	(-8,1)	(-9,1)
$3x+y+4z=-4$	(7,2)	(8,1)	(9,0)

表 1: 解が一意に決まる平面と投影面上の点

5 あとがき

カメラの運動量とモデルの修正量を求めるための線型方程式を導出し、中間パラメーターを求めた後、各運動量、修正量を求めた。また解が一意に決まるためには物体の平面が 4 面以上必要であることもわかつた。閉形式で解を得るために、未知数の総数 (12 個) より多くの方程式 (23 個) を用いている。これはノイズの影響を受け易くなっていることを意味する。今後の課題としては、ノイズに対する影響を調べるとともに、実画像の実験を行うことである。

参考文献

- [1] D.G.Lowe: Solving for the parameters of object models from image description, Proc. ARPA Image Understanding Workshop, pp.121-127, (1980)
- [2] M.Subbarao: Closed form solutions to image flow equations for planar surfaces in motion, CVGIP, Vol.36, pp.208-228, 1986.