

2系列のビデオ映像による3次元運動の推定（1）

5M-1

— 協調推定アルゴリズム —

木村 聡<sup>†</sup> 神岡孝幸<sup>†</sup> 古田重信<sup>†</sup>

<sup>†</sup>関西電力（株）総合技術研究所

亀井克之<sup>‡</sup> 瀬尾和男<sup>‡</sup>

<sup>‡</sup>三菱電機（株）産業システム研究所

1. はじめに

計算機とのインタラクションを図る上で、画像から対象（人、物）の3次元運動を推定することは重要なテーマであり、多くの研究がなされている。実用的に画像に弱中心射影を仮定して、画像間の特徴点の追跡から回転運動を復元する方式の報告もなされている。この場合、2枚の画像からでは回転量が求まらないという点が課題となる。そのため、3枚の画像で処理を行う手法[1][2]、対象の形状を仮定する手法[3]が提案されている。これに対し、本稿では、2台のカメラを用いて回転運動を推定する手法を提案する。対象の仮定なしにその回転運動を一意に定めることを特徴とし、並進運動も得られるという利点を有する。

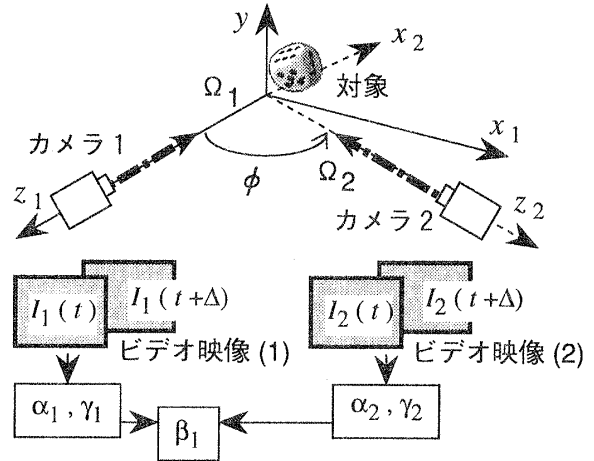


図1 回転運動の推定方式概要

2. 推定アルゴリズム概要

対象の回転 $R$ はオイラーの角を用いて以下のように表現できる。

$$R = \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma & 0 \\ \sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

この変数 $\alpha, \beta, \gamma$ のうち、 $\alpha$ と $\gamma$ は2枚の弱中心射影画像間でのエピポーラ方程式により得られることが示されている[1]。提案方式では、残りの変数 $\beta$ を2系列の画像を用いて決定する。概要を図1に示す。

座標系 $\Omega_1$ に対し、それを $y$ 軸まわりに $\phi$ だけ回転させたもうひとつの座標系 $\Omega_2$ を考える。2台のカメラは、それぞれの座標系の $z$ 軸上に置かれ、光軸は原点方向を向いている。回転運動の推定は以下

のように行う。

- (1) 座標系 $\Omega_1$ （カメラ1）と $\Omega_2$ （カメラ2）において、同期させてそれぞれ2枚の画像（ $I_1(t), I_1(t+\Delta)$ および $I_2(t), I_2(t+\Delta)$ ）を取得する。 $t$ は時刻、 $\Delta$ はその間隔を示す。
- (2)  $I_1(t)$ と $I_1(t+\Delta)$ により、座標系 $\Omega_1$ で観測される回転 $R_1$ を構成するオイラーの角の $\alpha_1, \gamma_1$ を計算する。
- (3) 同様に、 $I_2(t)$ と $I_2(t+\Delta)$ により、座標系 $\Omega_2$ で観測される回転 $R_2$ の $\alpha_2, \gamma_2$ を計算する。
- (4)  $\alpha_1, \gamma_1$ および $\alpha_2, \gamma_2$ を用いて、 $\beta_1$ を求め、これにより対象の回転 $R_1$ を復元する。 $\beta_1$ の算法について次章で詳述する。

3. 回転運動の復元

回転変換 $R_1$ と $R_2$ は、同一の回転運動を異なる座標系で観測したものであるから、座標系 $\Omega_1$ から $\Omega_2$ への変換を $T$ で表せば、

$$R_1 = T^{-1}R_2T \quad (2)$$

となる。また、定義より $T$ は $y$ 軸まわりの $-\phi$ の回転、すなわち、

$$T = \begin{pmatrix} \cos(-\phi) & 0 & \sin(-\phi) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(-\phi) & 0 & \cos(-\phi) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \phi & 0 & -\sin \phi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \phi & 0 & \cos \phi \end{pmatrix} \quad (3)$$

である。(1),(3)式より(2)式から、

Motion Estimation by a Couple of Image Sequences (Part 1): Algorithm of 3D Motion Estimation

Satoshi KIMURA<sup>†</sup>, Takayuki KAMIOKA<sup>†</sup>, Shigenobu FURUTA<sup>†</sup>, Katsuyuki KAMEI<sup>†</sup> and Kazuo SEO<sup>†</sup>

<sup>†</sup>The Kansai Electric Power Company, Inc.

3-11-20 Nakoji, Amagasaki, Hyogo 661-0974 Japan

<sup>‡</sup>Mitsubishi Electric Corporation

8-1-1 Tsukaguchi-honmachi, Amagasaki, Hyogo 661-8661 Japan

$$\begin{aligned}
 R_1 &= \begin{pmatrix} \cos \beta_1 \cos \alpha_1 \cos \gamma_1 - \sin \alpha_1 \sin \gamma_1 & & & & & \\ \cos \beta_1 \sin \alpha_1 \cos \gamma_1 + \cos \alpha_1 \sin \gamma_1 & & & & & \\ & -\sin \beta_1 \cos \gamma_1 & & & & \\ & -\cos \beta_1 \cos \alpha_1 \sin \gamma_1 - \sin \alpha_1 \cos \gamma_1 & \sin \beta_1 \cos \alpha_1 & & & \\ & -\cos \beta_1 \sin \alpha_1 \sin \gamma_1 + \cos \alpha_1 \cos \gamma_1 & \sin \beta_1 \sin \alpha_1 & & & \\ & & & \sin \beta_1 \sin \gamma_1 & & \\ & & & & & \cos \beta_1 \end{pmatrix} \\
 &= \begin{pmatrix} \cos \phi & 0 & \sin \phi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \phi & 0 & \cos \phi \end{pmatrix} \\
 &\times \begin{pmatrix} \cos \beta_2 \cos \alpha_2 \cos \gamma_2 - \sin \alpha_2 \sin \gamma_2 & & & & & \\ \cos \beta_2 \sin \alpha_2 \cos \gamma_2 + \cos \alpha_2 \sin \gamma_2 & & & & & \\ & -\sin \beta_2 \cos \gamma_2 & & & & \\ & -\cos \beta_2 \cos \alpha_2 \sin \gamma_2 - \sin \alpha_2 \cos \gamma_2 & \sin \beta_2 \cos \alpha_2 & & & \\ & -\cos \beta_2 \sin \alpha_2 \sin \gamma_2 + \cos \alpha_2 \cos \gamma_2 & \sin \beta_2 \sin \alpha_2 & & & \\ & & & \sin \beta_2 \sin \gamma_2 & & \\ & & & & & \cos \beta_2 \end{pmatrix} \\
 &\times \begin{pmatrix} \cos \phi & 0 & -\sin \phi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \phi & 0 & \cos \phi \end{pmatrix} \quad (4)
 \end{aligned}$$

を得る。右辺をさらに展開し、その各要素を結んで得られる等式は、 $\sin \beta_1, \cos \beta_1, \sin \beta_2, \cos \beta_2$ に関する一次の線形方程式となる。よって、これを解くことで $\sin \beta_1, \cos \beta_1$ が求まる。これより $\beta_1$ 、つまり、 $R_1$ を一意に決定することができる。

4. 並進運動の復元

本手法では、ビデオカメラを2台用いているので2眼視によるステレオ計測が実行でき、対象の並進運動を推定することも可能である。ただし、 $\phi$ が大きい場合は双方の視差も大きくなるので、 $I_1(t)$ と $I_2(t)$ 間での画像の対応付けは行わない。双方の画像にて推定した対象の重心位置座標（検出した特徴点の重心）を用いて3次元位置を推定する構成とした。計算機とのインタラクションを行う上では、まずは十分な値が得られるものとする。

5. 実験結果

上で述べた手法を用いて、対象の3次元運動の推定を行った。一例を図2に示す。「さいころ」を対象として三脚上に乗せ、雲台を回転（パン）させて撮影したテスト画像を用いて、その運動を推定した。特徴点として「さいころ」の目を抽出、上記の手法により運動を復元している。計算式を簡単にするため、 $\phi = 90$ 度として行った。表1に、回転運動（ $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$ を回転軸と回転角度に変換）と並進運動の推定結果を示す。ほぼ正しい数値となっている。ただし、この実験においては、さいころとカメラとの位置関係によって十分な数の「目」が視界に入らず、十分な値を得られない

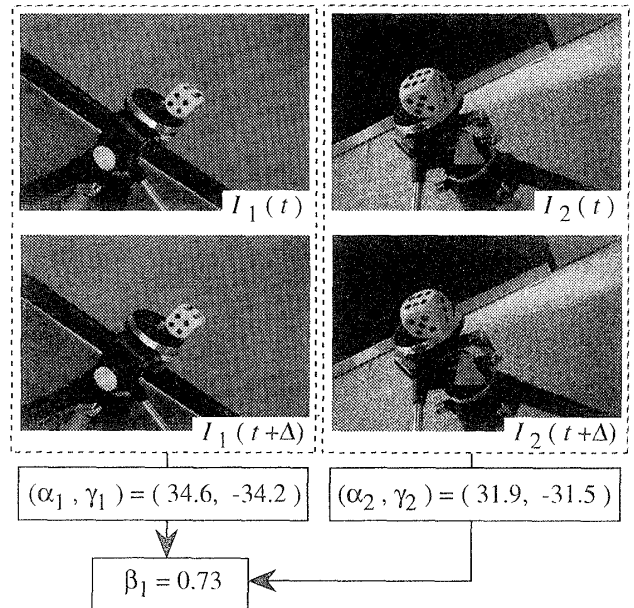


図2 3次元運動の推定例

表1 実験結果

	実験値	実測値*
回転軸	(0.50, 0.74, 0.45)	(0.53, 0.72, 0.45)
回転角度	0.82 deg.	0.83 deg.
並進ベクトル	(0.02, 0.03, -0.04)	(0.0, 0.02, -0.02)

\* 画像から座標値を読み取って算出した値

ケースが多く発生した。安定した特徴点の設定と検出が課題である。

6. おわりに

2系列のビデオ映像を用いて対象の3次元運動を推定する方式を示した。処理の安定化、リアルタイム化を図るとともに、計算機への動作入力としての応用[4]を進めていく。

参考文献

[1] 杉本, 徐: 弱中心射影画像からオイラー角を利用したモーション復元の線形アルゴリズム, 信学論, Vol.J81-D-II, No.4, pp.681-688 (1998).  
 [2] 小林, 井上, Quan, L., 大田: 3視点のアフィン画像を用いた線形的手法によるカメラ姿勢の推定, 信学技報, PRMU98-245 (1999).  
 [3] 大塚, 大谷: 弱透視エピポラ幾何を用いた実時間頭部動き推定に関する検討, 信学ソサイエティ大会, D-12-84 (1998).  
 [4] 木村, 小泉, 神岡, 古田, 亀井, 瀬尾: 2系列のビデオ映像による3次元運動の推定 (2) - 運動入力インタフェースとしての応用 -, 本大会論文集, 5M-02 (1999).