

マルチカメラ映像からの球追跡のための一手法

A Method for Sphere Tracking from Multi-Camera Video Sequences

山根 知之†

黒木 修隆†

沼 昌宏†

Tomoyuki Yamane

Nobutaka Kuroki

Masahiro Numa

1. まえがき

カメラに映る人物の顔の位置を画像処理によって求める技術は、ロボットビジョンにおける表情認識や、顔による個人認証を行うシステムの前処理として不可欠な技術である。本稿ではそのような頭部位置計測システムを、安価なマイコンベースのハードウェアで実現し、カメラ等の小型筐体内に組み込むことを目的として、2台のCMOSカメラの映像のみから、画像処理によって頭部の3次元座標を出力するシステムについて述べる。本システムは監視カメラによる人物追跡などに利用できる他、個人の識別や表情の認識までは行わないものの、それらの認識システムの前段の処理として利用できると考える。

2. 従来手法の問題点

2次元の画像から顔の位置を検出する手法として、フレーム間差分と Hough 変換 (円検出用) を利用する手法がある [1], [2]。この手法は、頭部がほぼ球形状であることを利用しているため、歩行者の監視など、比較的遠方のカメラによって頭部の方向が分かっていない人物を撮影する場合に有効である。しかし、円検出用の Hough 変換は投票空間が3次元 (半径 R および中心座標 X と Y) であるため、膨大なメモリを用意しなければならない。また、この手法ではフレーム間差分の大きさによって投票の回数が増えるため、フレーム毎に演算量が変化し、取り込み映像のフレームレートが安定しないという問題がある。さらに2台のカメラ映像を用いて三角測量を行うためには、両映像間で対応点探索を行わなければならないので、リアルタイム処理は困難になる。

3. 提案手法の原理

従来手法ではフレーム間差分によって得られた差分情報をもとに円を検出し、その後三角測量を行うことになるが、提案手法では、3次元の球候補群から2次元のカメラ映像上への射影 (円) を求めた後、フレーム間差分をもとに最も尤度の高い球を検出する。ここでは、処理時間に関する制約から、対象とする球を1つとしている。

まず、3次元空間中のある球がカメラに映り込む際に得られる円形状の半径と位置をカメラ毎に求める。次に、求めた円上のフレーム間差分を計算し、その大きさによって球の尤度を定める。そして、この尤度が最大となる球の3次元座標を球の中心座標として出力する。本手法では、射影された円上の画素のみフレーム間差分を計算すればよいので、処理が軽減できる。また円上のサンプリング画素数を固定すればフレーム毎の演算量が変化しな

いので、取り込み映像のフレームレートが安定する。さらに2台のカメラ映像上の円探索が同期しているので、対応点探索の必要がない。以下、提案手法について詳しく述べる。

3.1 座標系の定義

各カメラの位置や球の位置を示す任意の点を原点とする座標系をワールド座標系と定義し、この座標系から見た点は (x_w, y_w, z_w) で表す。これに対し、カメラを原点とする相対的な座標系をカメラ毎に定義する。カメラ座標系はカメラ位置を原点とし、左右方向を x 軸、上下方向を y 軸、光軸方向を z 軸として定義され、カメラ座標系から見た点は (x_c, y_c, z_c) で表す。

3.2 探索用球の定義とその射影

まず球を探索する3次元空間をあらかじめ離散化しておく、これを R と定義するとともに、ボクセルと呼ぶ。各ボクセルを中心に持ち、探索したい球の半径 r と等しい半径を持つ球群を探索用の球とする。今、座標 (x_w, y_w, z_w) を中心とする探索用球を考えると、カメラ座標系におけるこの球の中心座標は

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_c \\ \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix} \end{bmatrix} \quad (1)$$

を用いて算出できる。ここで行列 A_c はカメラキャリブレーションによって、各カメラごとにあらかじめ決定された行列である。カメラ座標系における球の位置が決定すれば、映像に射影される球の位置と半径が算出できる。カメラから球の中心までの距離を l 、カメラから見える球の輪郭の半径を r_c 、カメラから輪郭の中心までの距離を l_c とすると以下の関係が成り立つ。

$$l = \sqrt{x_c^2 + y_c^2 + z_c^2} \quad (2)$$

$$r_c = r \sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2}} \quad (3)$$

$$l_c = l - \frac{r^2}{l} \quad (4)$$

図1, 図2に l および l_c, r_c の様子を示す。カメラへ射影される物体の大きさは距離に反比例することから

$$\frac{r_c}{l_c} = \frac{r}{\sqrt{l^2 - r^2}} \quad (5)$$

が成り立つ。以上の式より、球がカメラから遠い位置では球と同じ位置に中心を持ち、球と同じ半径を持つ円の投影で近似できるが、球がカメラに近い位置にある場合、

† 神戸大学 工学部 電気電子工学科

Department of Electrical and Electronics Engineering
Faculty of Engineering Kobe University.

射影される円の半径は r/l に比べて大きくなる．この計算については，実際のカメラと頭部位置の関係によっては考慮する必要があるが，カメラと頭部がそれほど接近しない状態であれば，計算量を考慮して $r_c=r$, $l_c=l$ と近似してもよい．

3.3 尤度による球の決定

短時間で処理されたフレーム間差分は物体の輪郭と等価である．空間中に動く球が存在すれば，その差分がカメラ映像中に円として現れるはずである．球から射影された円周上をサーチし，円周上の差分の量が大きければそれは空間に球が存在していると考えられる．

ここで図3のように，ボクセル $B_{x,y,z}$ を中心とする球から射影された各カメラ映像における円周上の差分量をそれぞれ $V_{1,x,y,z}$, $V_{2,x,y,z}$ とすると，ボクセル $B_{x,y,z}$ が球の中心である尤度 $V_{x,y,z}$ は式(6)で表すものとする．ただし， $(x, y, z) \in R$ である．

$$V_{x,y,z} = V_{1,x,y,z} \cdot V_{2,x,y,z} \quad (6)$$

式(6)のように尤度は各映像における尤度の積として，確率的に計算する． $V_{x,y,z}$ のうち最大値をもつボクセルの座標 (x, y, z) を検出された球の中心として出力とする．

4. 実験と考察

4.1 実験環境

以上のアルゴリズムを基に，アプリケーションの作成を行った．実験環境は以下の通りである．

P C : CPU Intel PentiumIII 866MHz, RAM 256MB
 開発環境: Boland C++Builder6 professional
 取込画像サイズ: 160 × 120
 カメラ: モノクロ CMOS

4.2 評価方法

本実験では，球の探索範囲をボクセルで離散化するにあたり，ボクセルの数を 1000, 4000, 7000, 10000 の 4 パ

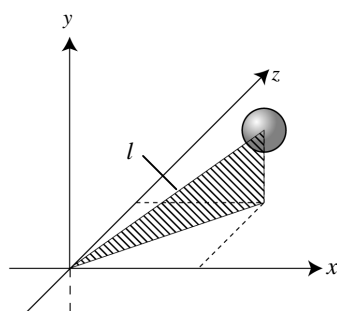


図1 カメラ座標系と球

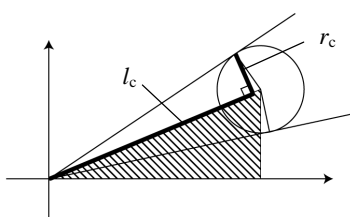


図2 l_c と r_c

表1. ボクセル数と処理時間

ボクセル数	1000	4000	7000	10000
処理時間[msec/frame]	43.6	63.5	83.3	102

ターンを作成し，処理時間の変化を調べた．なお，検出率については観測条件に依存するので，今回は議論しない．

4.3 実験結果と考察

実験結果を表1に示す．プログラム中における処理時間はやはり，ボクセルごとの球から射影した円上のサーチが大半をしめており，その結果，ボクセル数が多いほど処理速度が低下したものと考えられる．従来手法にみられた，フレーム間差分量に依存した処理時間の変化はいずれのボクセル数においてもみられず，フレームレートは安定していた．検出率については，ボクセル数が少ない場合では，隣接するボクセルの間での誤りが大きくなることが予想される．しかし，ボクセル数は多ければ良いとは限らず，処理速度が遅くなるとフレーム間隔が大きくなり，差分が物体の輪郭情報と一致しなくなることが問題である．このプログラムでは映像による情報はフレーム間差分の計算のみに利用しており，これ以外の判断事項が存在していない．しかし，球の輝度や移動量を考慮すれば，より高い検出率を得られる可能性がある．

5. まとめ

本論文ではマルチカメラからの球追跡手法として，空間から映像への球の射影からフレーム間差分情報によって球を追跡する手法を提案した．

今後は，実際にマイコンへの実装を行いその動作を確認するとともに，実時間での動作実現を目指す．

参考文献

- [1] 馬場 功淳, 大橋 健, 乃万 司, 松尾 英明, 江島 俊郎, "HeadFinder: フレーム間差分をベースにした人物追跡", 画像センシングシンポジウム, pp.329-334, 2000.
- [2] S.Ghidary, Y.Nakata, T.Takamori, and M.Hattori, "Head and Face Detection at Indoor Environment by Home Robot," Proceedings of ICEE2000 (Iran, May 2000).

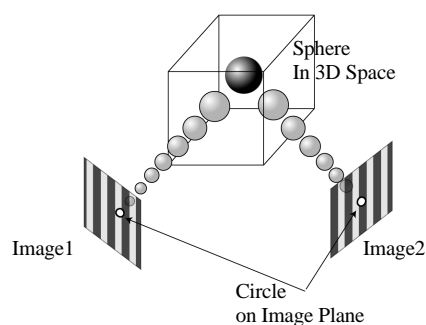


図3 ボクセル空間と球投影