

単眼視カメラによる移動物体の高さ推定とトップビュー軌跡の描画

Height Estimation of Moving Objects and Drawing Top View Trajectory from Single Video Camera Images

辻村俊博¹
Toshihiro Tsujimura

北澤仁志¹
Hitoshi Kitazawa

東京農工大学工学部¹
Tokyo University of Agriculture and Technology

1 はじめに

単眼視カメラの画像処理では、奥行きを観測できないため、人物などの3次元位置情報を得ることはできない。本研究では、HITLab at the University of WashingtonのHirokazu Kato, Mark BillinghamらによるARToolKitに関する研究[1]を参考に、大きさが既知の物(以下:マーカー)を撮影画像内に収めることで、マーカー面上の移動物体の3次元位置を推定した。また、設置されているカメラは高い位置に存在することが多く、人物の顔や頭を捉えることはできるが、足元は他の物体に隠れてしまう場合がある。そこで、人物がマーカー面上に垂直に立っていると仮定することで、高さ推定を行う。高さが推定できれば、頭さえ写っていることにより3次元位置検出が可能となる。また、検出された3次元軌跡をトップビューの画像に描画を行うことで、その有効性を示す。

2 3次元位置推定

2.1 カメラキャリブレーション

カメラキャリブレーションには、レンズによって生じる輝度特性歪みを推定する光学的キャリブレーションと、焦点距離や画像中心などのカメラ固有の内部パラメータおよびカメラの位置・姿勢を表す外部パラメータを求める幾何学的キャリブレーションがあるが、本稿では後者を扱うので文献[1]を参考に、図1のように格子板を複数撮影し、同一平面上にない既知の点を6点以上観測した。それによりキャリブレーションパラメータCを求め、それからカメラパラメータPを求めた。



図1 カメラキャリブレーション

$$\begin{bmatrix} hxc \\ hyc \\ h \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Xm \\ Ym \\ Zm \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & 0 \\ 0 & P_{22} & P_{23} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} & T_1 \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} & T_2 \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} & T_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

2.2 マーカーの3次元位置推定

撮影画像に寸法が既知のマーカーを収めることで、その4頂点のスクリーン座標からマーカーの回転移動成分Rが求まり、カメラパラメータPを代入することで、平行移動成分Tが求まる。

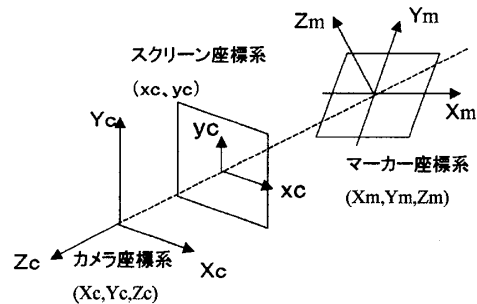


図2 3次元位置推定

$$\begin{bmatrix} hxc \\ hyc \\ h \\ 1 \end{bmatrix} = P \begin{bmatrix} Xc \\ Yc \\ Zc \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & 0 \\ 0 & P_{22} & P_{23} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Xc \\ Yc \\ Zc \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} Xc \\ Yc \\ Zc \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{3 \times 3} & T_{3 \times 1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Xm \\ Ym \\ Zm \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} & T_1 \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} & T_2 \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} & T_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Xm \\ Ym \\ Zm \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

2.3 移動物体の3次元位置推定

グランド面の方程式を求め、それによりマーカー面上の移動物体の位置推定を行う。すでに、回転移動成分R, 平行移動成分T, カメラパラメータPは求まっているので、式(2)に代入することで、キャリブレーション行列C'が求まる。よって、式(5),(6)が求まる。

$$\begin{cases} hxc = C'_{11}Xm + C'_{12}Ym + C'_{13}Zm + C'_{14} \\ hyc = C'_{21}Xm + C'_{22}Ym + C'_{23}Zm + C'_{24} \\ h = C'_{31}Xm + C'_{32}Ym + C'_{33}Zm + C'_{34} \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} (C'_{11} - C'_{31}xc_o)Xm_o + (C'_{12} - C'_{32}xc_o)Ym_o \\ + (C'_{13} - C'_{33}xc_o)Zm_o = C'_{34}xc_o - C'_{14} \\ (C'_{21} - C'_{31}yc_o)Xm_o + (C'_{22} - C'_{32}yc_o)Ym_o \\ + (C'_{23} - C'_{33}yc_o)Zm_o = C'_{34}yc_o - C'_{24} \end{cases} \quad (6)$$

ここで、移動物体の足元はグランド面上に存在するのでZm = 0とすれば、グランド面上を移動する物体の3次元位置推定が可能となる。

3 移動物体の高さ推定

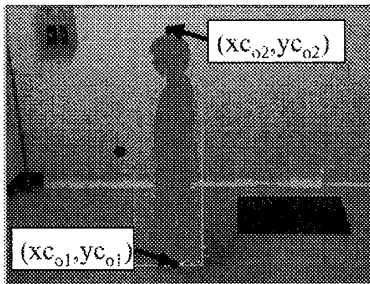


図3 高さ推定

移動物体の足元のスクリーン座標 $(xc01, yc01)$ を式(6)に代入することにより3次元位置 $(Xmo1, Ymo1, Zmo1)$ を求める。また、移動物体がグランド面上に垂直であると仮定することで、

$$Xmo1 = Xmo2, \quad Ymo1 = Ymo2 \quad (7)$$

となり、頭頂のスクリーン座標 $(xc02, yc02)$ を代入することで、高さ $Zmo2$ が求まる。

4 実験

棒と人物の高さ推定の実験結果を示す。



図4 棒と人物(正面・側面)の高さ推定

表1 棒と人物(正面・側面)の高さ推定

	棒 [cm]	人物(正面)[cm]	人物(側面)[cm]
実際の値	100.0000	161.5000	161.5000
測定値	98.2520	165.5053	166.2781

棒の誤差は小さいが、これに対し人物では大きな誤差が検出された。これは、人物には奥行きがあり撮影画像の足元の最下位の座標と頭頂の座標とでは、垂直でないためと考えられる。このため、人物を検出する際には、実際より5~6cm大きく検出された。

5 トップビュー軌跡の描画

5.1 実際の撮影と身長推定

実際に足元が隠れるシーンを撮影し、身長推定を行った。足元が隠れるときには身長が低く検出されるので、混合ガウス分布を用いて一番高い位置にある分布の平均を推定身長とした。

$$N_i(x, \mu_i, \sigma_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i} e^{-\frac{1}{2}(x-\mu_i)^T \Sigma^{-1}(x-\mu_i)} \quad (8)$$

表2 混合ガウス分布により求めた推定身長

平均 [cm]	標準偏差 [cm]	実際の身長 [cm]
18.9734	13.9283	
140.1308	13.6734	
167.2132	1.3070	161.5000

5.2 撮影画像をトップビューに射影変換

画像上の特徴点(4点以上)を手動で抽出し、トップビューとなるように変換後の点を与え変換行列Hを求めた。変換行列Hにより画像を射影変換した。画像の生成には bi-linear 補間を用いた。

$$\begin{bmatrix} fx \\ fy \\ f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & h_3 \\ h_4 & h_5 & h_6 \\ h_7 & h_8 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} fx' \\ fy' \\ f \end{bmatrix} \quad (9)$$

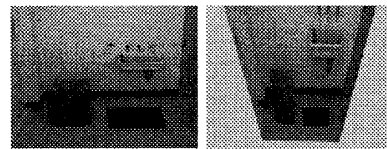
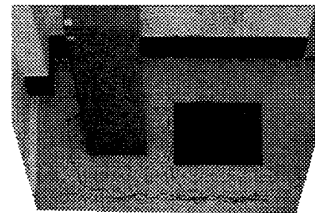


図5 トップビューに射影変換前と後

5.3 トップビューに軌跡を描画

移動物体の足元のスクリーン座標を3次元変換し、マーカー座標系での3次元軌跡をトップビューに射影変換した画像に描く。また同様に、移動物体の推定身長を用いて頭頂のスクリーン座標を3次元変換し、マーカー座標系における3次元軌跡を求め、トップビューに移動軌跡を描いた。



赤:足元座標からの3次元軌跡
青:頭頂座標からの3次元軌跡

図6 トップビューに軌跡を描画

6 まとめ

移動物体の足元が物陰に隠れてしまう場合でも、頭頂と推定身長から移動軌跡を得ることを可能にした。しかし、人物など奥行きがある場合、頭頂とその垂直線上にある足元の座標を検出できないため、高さ推定の際に大きく検出してしまう誤差があるので、今後改善していく予定である。また、場合により足元の座標を用いるか、頭頂の座標を用いるか選択する必要がある。応用として、今回の頭頂と推定身長からの3次元軌跡検出を利用して移動物体同士が重なったときの分離、高さ推定からの人物の状態検出が挙げられる。

参考文献

[1] 加藤博一, Mark Billingham, 浅野浩一, 橘敬八郎, "マーカー追跡に基づく拡張現実感システムとそのキャリブレーション", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.4, No.4, 1999