

自然特徴点の3次元復元を用いたマーカレスARに関する研究

○旭川工業高等専門学校生産システム工学専攻 林 宙佑
旭川工業高等専門学校システム制御情報工学科 戸村豊明

要 旨

本研究では、Web カメラを用いて、あるシーンに対する2枚の画像を取得し、両画像における自然特徴点の3次元位置を復元することにより、これらの特徴点を3次元空間におけるマーカの代わりとして利用できるマーカレスARアプリケーションの開発を行う。

1. はじめに

近年、現実世界の映像にコンピュータで作られた情報を重ね合わせるにより、知覚情報を強化する技術である拡張現実感(AR: Augmented Reality)が活発に研究されており、コンピュータゲームなどに利用されている。

多くのARアプリケーションは、正方形の枠内に点対称にならない模様が描かれたマーカというものを使用している。そのため、予めARアプリケーションにマーカを登録しておく必要がある[1]。そのため、予めマーカを登録することなく、自然特徴点を用いてマーカの位置と姿勢を得る手法が望まれており、既に幾つか提案されている。

そこで本研究では、web カメラから取得した画像における自然特徴点の3次元復元[2]を行い、これらの特徴点を代用マーカとして利用することができる、マーカレスARアプリケーションを開発し、その代用マーカの検出精度の評価を行う。

2. マーカレスARアプリケーションの概要

本研究で開発するARアプリケーションのフローチャートを図1に示す。本アプリケーションは、web カメラから取得した画像を入力とし、入力された画像にARの情報が付加された画像を出力とする。以下に本アプリケーションの処理手順を示す。

- (1) web カメラからの画像を取得する。
- (2) 1フレーム目の場合は、画像内の自然特徴点を抽出し、ユーザがこれらから8点以上を選択する。2フレーム目以降の場合は、1フレーム目の画像で選択された自然特徴点を追跡する。
- (3) 連続した2枚の画像において、(2)で選択された自然特徴点の座標を用いて、これらの3次元復元を行う。本研究では、山田らが提案した手法[2]を用いて、3次元復元を行う。
- (4) (2)で選択された自然特徴点のうち、初めの4点の3次元復元結果を用いて、カメラ座標系における代用マーカの位置・姿勢を計算する。
- (5) 代用マーカの位置・姿勢を用いて、3Dオブジェクトを画像内の代用マーカ上に表示する。
- (6) (1)~(5)を繰り返す。

3. 自然特徴点の3次元復元

3.1 基礎行列の計算

本節では、山田らが提案した3次元復元の手法[2]について述べる。これは、ユーザによって選択された自然特徴点の3次元位置を得るために用いられる。

まず、カメラから取得した画像における特徴点の座標から、Taubin法を用いて基礎行列 F の初期値を得る。

次に、ステレオ画像の三角測量法を用いて、2画像間の対応する特徴点(対応点)を補正し、かつ、再投影誤差が

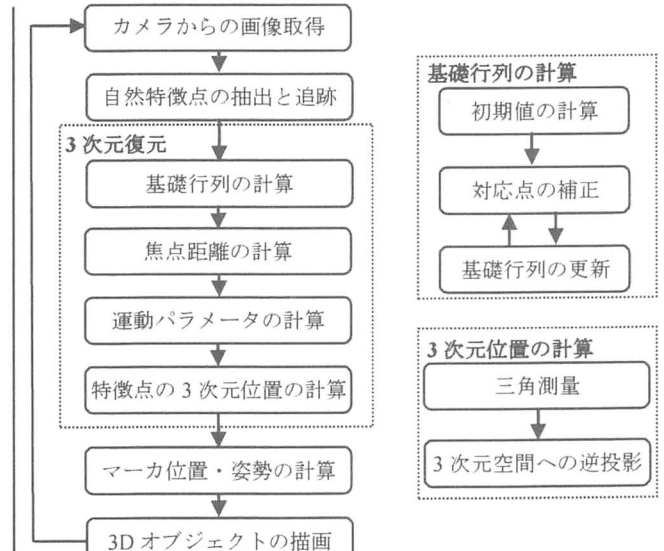


図1 マーカレスARアプリケーションのフローチャート

充分小さくなるまで、 F の更新を繰り返す。 F の更新においては、拡張FNS法を用いる。

3.2 焦点距離の計算

撮影環境やカメラの機能によっては、撮影時に焦点距離が変化する場合があるので、本手法では動的に焦点距離の計算を行う。連続する2枚の画像それぞれの焦点距離 f と f' の計算方法は以下の3通りである。

自由焦点距離の方法は、 f と f' を異なる値として計算する。平均焦点距離の方法は、自由焦点距離の方法で得られた f と f' の重み付き平均を焦点距離とする。固定焦点距離の方法は、 f と f' を同じ値として計算する。

それぞれの方法には計算が破綻する場合があるため、これら3通りの方法全てで焦点距離の計算を行う。複数の焦点距離が得られた場合、3.4節で述べる対応点の補正の再投影誤差が最小となる焦点距離を採用する。

3.3 運動パラメータの計算

3.1節と3.2節で得られた F 、 f 、 f' を用いて、カメラの相対的な並進ベクトル t 、回転行列 R を計算する。

はじめに、基本行列 E を以下のように定義する。

$$E = \text{diag}\left(1, 1, \frac{f_0}{f}\right) F \text{diag}\left(\frac{f_0}{f'}\right) \quad (1)$$

ここで、 f_0 は数値計算を安定化させるための係数である。

このとき、 t は対称行列 EE^T の最小固有値に対する単位固有ベクトルとして得られる。ただし、この時点では t の符号が不定なので、符号を定める処理を行う。

次に、 t と E の各列のベクトル積を列とする行列 $-t \times E$ を特異値分解し、これによって得られた行列 U, V を用いて、 R を以下のように計算する。

$$R = U \text{diag}(1, 1, \det(UV^T)) V^T \quad (2)$$

ただし、 t のノルムは 1 として得られるので、実寸の復元をするためには、選択された自然特徴点のうちの 2 点間の距離（単位は[m]）を与える必要がある。

3.4 特徴点の 3 次元位置の計算

2 フレーム間のカメラの相対的な並進ベクトルと回転行列により、三角測量を用いて特徴点の 3 次元位置が得られる。しかし、対応点に誤差がある際は、正しく得られないので、対応点の補正を行う必要がある。

そこで、まず、基礎行列 F を以下のように計算する。

$$F = \text{diag}\left(1, 1, \frac{f'}{f_0}\right) (t \times R) \text{diag}\left(\frac{f'}{f_0}\right) \quad (3)$$

次に、ステレオ画像の三角測量法を用いて対応点の補正を行う。ただし、 F の更新は行わない。

次に、 3×4 投影行列 P, P' を以下のように計算する。

$$P = \text{diag}\left(1, 1, \frac{f'}{f_0}\right) (I \ 0), P' = \text{diag}\left(1, 1, \frac{f'}{f_0}\right) (R^T \ -R^T t) \quad (4)$$

最後に、以下の 1 次方程式を解くことにより、カメラ座標系における特徴点の 3 次元位置 $(X_\alpha, Y_\alpha, Z_\alpha)^T$ が得られる。

$$\begin{pmatrix} \hat{x}_\alpha P_{31} - f_0 P_{11} & \hat{x}_\alpha P_{32} - f_0 P_{12} & \hat{x}_\alpha P_{33} - f_0 P_{13} \\ \hat{y}_\alpha P_{31} - f_0 P_{21} & \hat{y}_\alpha P_{32} - f_0 P_{22} & \hat{y}_\alpha P_{33} - f_0 P_{23} \\ \hat{x}'_\alpha P'_{31} - f_0 P'_{11} & \hat{x}'_\alpha P'_{32} - f_0 P'_{12} & \hat{x}'_\alpha P'_{33} - f_0 P'_{13} \\ \hat{y}'_\alpha P'_{31} - f_0 P'_{21} & \hat{y}'_\alpha P'_{32} - f_0 P'_{22} & \hat{y}'_\alpha P'_{33} - f_0 P'_{23} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_\alpha \\ Y_\alpha \\ Z_\alpha \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} \hat{x}_\alpha P_{34} - f_0 P_{14} \\ \hat{y}_\alpha P_{34} - f_0 P_{24} \\ \hat{x}'_\alpha P'_{34} - f_0 P'_{14} \\ \hat{y}'_\alpha P'_{34} - f_0 P'_{24} \end{pmatrix} \quad (5)$$

ここで、 $P_{ij}, P'_{ij} (i=1,2,3, j=1,2,3,4)$ は(4)式の各要素であり、 $\hat{x}_\alpha, \hat{y}_\alpha, \hat{x}'_\alpha, \hat{y}'_\alpha$ は(3)式を用いてステレオ画像の三角測量法を行った結果得られた対応点の座標である。

4. 代用マーカの位置・姿勢計算

3 節で得られたカメラ座標系における自然特徴点の 3 次元位置のうち、初めに選択した 4 点に対応する位置ベクトルを $P_1 \sim P_4$ とし、図 2 のようにカメラ座標系における代用マーカの位置 P_G と姿勢 $\left(\frac{X}{\|X\|}, \frac{Y}{\|Y\|}, \frac{Z}{\|Z\|}\right)$ が得られる。

5. 代用マーカの検出精度の評価

本研究で開発した AR アプリケーションを用いて、代用マーカの検出精度の評価を行う。

撮影対象は図 3(a)のような格子模様と、図 3(b)のような模様のついた立方体である。撮影方法は、図 4(a)のようにカメラは動かさず、カメラの向きのみを変える方法と、図 4(b)のようにカメラは並進移動し、カメラの向きは撮影対象に対して注視する方法の 2 つである。

上記の条件に加えマーカとカメラの間に一定間隔の距離をあけて、評価実験を行う。表 1 は 7 種類の格子模様を、表 2 は立方体を代用マーカに使用した場合の検出成功率である。また図 5 は検出の成功例と失敗例である。

表 1 より、特徴点の数と検出精度が比例することが明らかとなった。また、マーカからカメラが離れると検出精度が低下する傾向が見られるが、これは、自然特徴点の追跡精度の低下が原因だと考えられる。

一方、表 2 では、撮影方法による検出精度の差は少ない。表 1 (特徴点数=36) と比べた場合、カメラ回転の場合において、検出精度が低下していることが明らかとなった。

ゆえに、自然特徴点数が多く、かつ、立体的よりも平面的な撮影対象の方が、検出精度が良好だと言える。

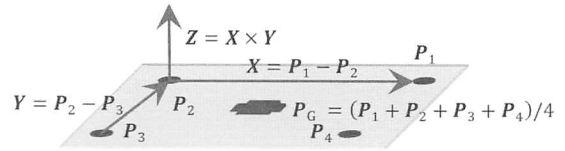


図 2 代用マーカの位置・姿勢

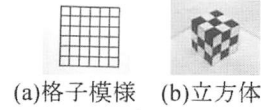


図 3 撮影対象

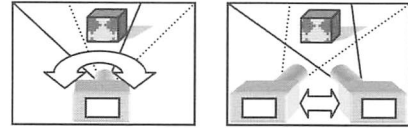


図 4 撮影方法

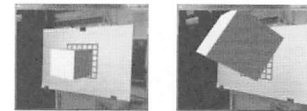


図 5 検出の成功例と失敗例

表 1 格子模様で各 100 回試行した場合の検出成功率[%]

特徴点数	撮影方法とマーカ・カメラ間距離			
	カメラ回転		カメラ並進と注視	
	30 cm	45 cm	30 cm	45 cm
9	23	10	13	10
16	29	21	19	15
25	36	24	25	21
36	45	27	28	24
49	50	30	32	28
64	54	31	34	32
81	58	36	39	35

表 2 立方体で各 100 回試行した場合の検出成功率[%]

特徴点数	撮影方法とマーカ・カメラ間距離			
	カメラ回転		カメラ並進と注視	
	20 cm	30 cm	20 cm	30 cm
37	29	20	28	26

6. まとめと今後の課題

本研究では、web カメラから取得した画像における自然特徴点の 3 次元復元を行い、これらの特徴点を代用マーカとして利用できるマーカレス AR アプリケーションを開発した。さらに、本アプリケーションを用いて、代用マーカの検出精度の評価実験を行った結果、検出率は最大で約 60% となった。

今後は、基礎行列の計算速度を向上させることで、3 次元復元の実行速度を向上させ、特徴点の追跡に関しては、より高精度に追跡できる手法を採用する予定である。

参考文献

- [1] 橋本直：ARToolKit拡張現実感プログラミング入門，株式会社アスキー・メディアワークス，2008.
- [2] 山田健，金澤靖，金谷健一，菅谷保之：2 画像からの 3 次元復元の最新アルゴリズム，情報処理学会研究報告，2009-CVIM-168-15 (2009-8)，pp. 1-8, 2009.