

機械学習による変形 AR マーカの位置・姿勢推定

榎元 洋平*, 山内 悠嗣(中部大学)

Position and Pose Estimation of Deformed AR Markers by Machine Learning

Yohei Enomoto, Yuji Yamauchi (Chubu University)

1. はじめに

QR コードやマーカに代表される 2 次元コードは、キャッシュレス決済や物品管理、広告、ロボットの認識等の分野において活用されている。平面に貼り付けられた 2 次元コードを認識することで、高精度に 3 次元位置と姿勢を推定することができるが、2 次元コードが変形すると認識に失敗する問題がある。そこで、本研究では変形が生じた 2 次元コードの検出と 3 次元姿勢の推定方法を提案する。

2. 提案手法

本研究は、Single Shot Multibox Detector(SSD) (1)による変形 AR マーカの検出と Augmented AutoEncoder(AAE) (2)による 3 次元姿勢推定の 2 つの処理に分けられる。Fig.1.に提案手法の流れを示す。まず、SSD により画像から AR マーカを検出する。次に、SSD により検出した AR マーカに対して AAE を適用することで変形を含まない AR マーカの画像を生成する。最後に、変形を含まない AR マーカの潜在変数と事前に用意したあらゆる姿勢の AR マーカデータベースの潜在変数を照合し、最も類似する AR マーカに対応する姿勢をテスト画像の姿勢として出力する。なお、本稿では円柱に貼り付けることにより変形した AR マーカを変形 AR マーカとして扱う。

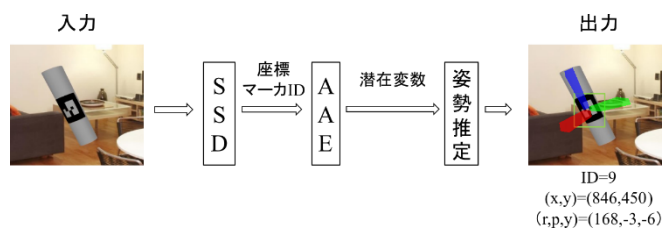


Fig.1. Overview of the proposed method.

2. 1. SSD の概要

変形した AR マーカを検出するために本研究では SSD を採用する。SSD は画像から物体の位置とクラスを推定する物体検出アルゴリズムである。

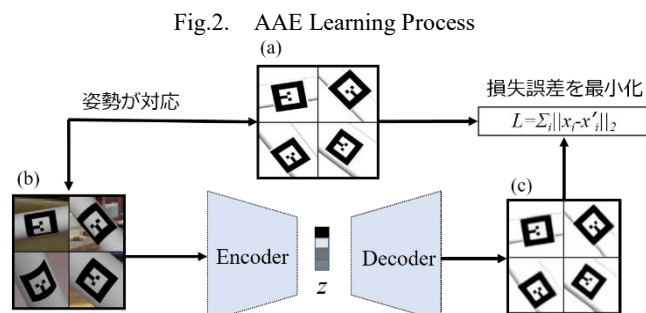
本研究では、学習に必要な学習用画像とアノテーションデータをロボットシミュレータ Gazebo により作成する。仮想空間内で半径が異なる 7 種類の円柱に AR マーカを貼り、仮想カメラで様々な視点から撮影して学習用画像とアノテーションデータを自動的に生成する。自動的に生成した画像とアノテーションを用いて、変形が生じた AR マーカの検出とマーカ ID を出力する検出器を学習する。

2. 2. AAE の概要

SSD によって検出した AR マーカの位置と大きさの情報から AAE により AR マーカの変形を除去し、エンコーダから得られる潜在変数を用いて姿勢を推定する。まず、ロボットシミュレータ Gazebo により変形を含まない AR マーカ画像(Fig. 2. (a))と変形を加えた AR マーカ画像(Fig.2.(b))を生成する。そして、オートエンコーダ (AE) に変形を加えた AR マーカ画像を入力し、変形を除去した AR マーカ画像 (Fig.2.(c))を生成する。変形を含まない AR マーカ画像と変形を除去した AR マーカ画像の違いを吸収するようなオートエンコーダを学習するために、式(1)で示す損失関数 L を最小化する。

$$L = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \|x_i - x'_i\|_2 \quad (1)$$

x は変形を含まない画像、 x' はオートエンコーダにより出力した画像を表す。



変形が生じた AR マーカの姿勢は、入力画像をエンコーダに入力して得られる潜在変数 z に基づいて推定する。事前にあらゆる姿勢の AR マーカ画像を Gazebo により生成し、姿勢データベース(DB)の潜在変数群 Z として用意する。テスト時には、SSD により検出した変形 AR マーカを AAE により入力することで得られる潜在変数 z と DB の潜在変数群 Z のコサイン類似度式(式(2))を計算し、最も類似度が高い潜在変数に対応した姿勢を出力する。

$$\arg \min \cos_i = \frac{Z_i \times z_{\text{test}}}{|Z_i| |z_{\text{test}}|} \quad (2)$$

Z_i は DB から得た潜在変数、 z_{test} は推定したい画像から得た潜在変数を表す。DB には、AR マーカの姿勢を roll[0, 360]、pitch[-35, 35]、yaw[-15, 15] を分解能 3[°] に設定して AR マーカを撮影する。

3. 評価実験

SSD による変形 AR マーカの認識精度と AAE の姿勢推定

の精度を検証するためにそれぞれに対して評価実験を行う。

3.1. 変形 AR マーカの検出性能の評価

SSD を用いた変形 AR マーカの認識精度を検証する。カメラから AR マーカまでの距離と AR マーカを貼付した円柱の半径が認識精度にどのように影響するか ar_track_alvar(3) と比較する。AR マーカは一辺 50[mm] 大きさとなる 10 種類を用いる。AR マーカを張り付けた円柱は半径 20[mm] から 50[mm] までを 5[mm] 間隔で 7 種類作成した。実験は AR マーカの ID 認識精度を mean Average Precision(mAP)、AR マーカの位置の推定精度を Intersection over Union(IoU) により評価する。また、ar_track_alvar は画像上での大きさを推定していないため、mAP による評価のみとする。実験 1 は、AR マーカとカメラとの距離を 0.4[m] から 0.8[m] まで 0.1[m] 間隔とし評価する。実験 2 は、半径 20、30、40[mm] の円柱に貼付した AR マーカの評価する。実験 1 の評価結果を Table 1 に示す。

Table 1 Comparison of evaluation indicators.

評価指標	mAP	IoU
提案手法	0.78	0.69
ar_track_alvar	0.35	-

ar_track_alvar に比べ提案手法は 2 倍以上の mAP であることが確認できる。また、実験 1 の各距離の評価結果を Fig.3. に示す。

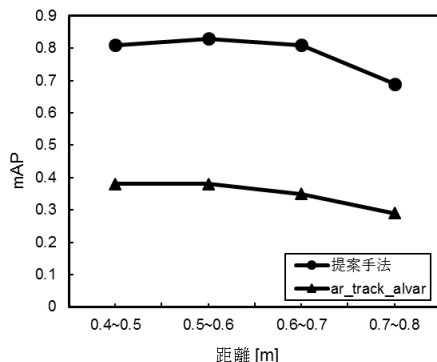


Fig.3. Comparison of the distance between the camera and the AR marker.

提案手法は、AR マーカとカメラの距離が離れることにより若干の性能の低下が見られることが確認できた。

実験 2 の結果を Table 2 に示す。ar_track_alvar では半径 30[mm] 以下は AR マーカの変形が大きくなるため検出が不可能であることを確認した。一方、提案手法は、変形の大きな場合においても若干の性能低下がありながらも、高い検出性能であることを確認した。

Table 2 Comparison by Radius.

円の半径[mm]	提案手法		ar_track_alvar	
	mAP	IoU	mAP	IoU
40	0.79	0.68	0.00	-
50	0.83	0.71	0.00	-
60	0.85	0.73	0.56	-



Fig.4. Examples of detection results by the proposed method.

Fig.4.に提案手法により AR マーカを検出した例を示す。変

形した AR マーカを高精度に検出できていることがわかる。

3.2. AAE の評価実験

AAE による姿勢推定の有効性を確認するために評価実験を行う。変形 AR マーカの姿勢推定結果と擬似的に位置ずれを与えた評価データの姿勢推定結果をそれぞれ平均絶対誤差 (MAE) により評価する。評価を行う画像は、センサシミュレーションより半径 20、30、40[mm] の円柱に貼り付けた AR マーカを SSD により検出し、AR マーカを中心とした一定領域の画像 100 枚を使用する。

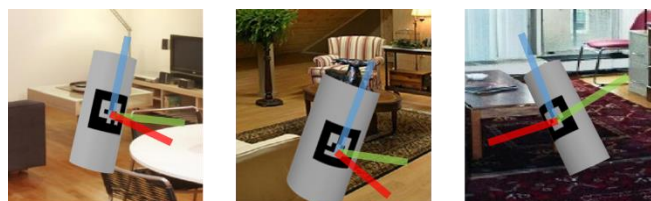
評価結果を Table 3、Table 4 に示す。提案手法による 3 次元姿勢推定の平均精度は約 2.89[°] となった。DB の角度の分解能が 3[°] であることから、姿勢推定精度は高いと考えられる。また、円柱の半径が小さいほど推定精度が低下する傾向が得られた。これは円柱の半径が小さいほど AR マーカの変形が大きいためだと考えられる。位置ずれが起きた場合には、10% までは姿勢推定が可能であるが、20% の位置ずれがあると推定が不可能になることが確認できる。

Table 3 Pose estimation error in the proposed method.

円柱半径[mm]	roll	pichi	Yaw	平均
20	4.39	3.06	2.77	3.40
30	2.76	2.88	2.58	2.74
40	2.52	2.65	2.43	2.53

Table 4 Pose estimation error assuming misalignment.

円柱半径[mm]	0%	10%	20%
20	3.40	4.73	37.36
30	2.76	2.88	2.58
40	2.53	3.41	25.11



(r,p,y)=(2,2,4) (r,p,y)=(5,7,5) (r,p,y)=(345,4,-2)

Fig.5.Example of posture estimation by the proposed method.

Fig.5.に提案手法により AR マーカの姿勢推定した例を示す。変形した AR マーカを高精度に姿勢推定できていることがわかる。

4. おわりに

本研究では、変形 AR マーカの検出及び姿勢推定法を提案した。高速かつ高精度な物体検出法である SSD により変形した AR マーカの検出と、AAE による、変形した AR マーカにおいても高精度に 3 次元の姿勢を推定できることを確認した。今後は実環境における提案手法の有効性を検証する予定である。

文 献

- (1) W. Liu et al. : SSD: Single Shot MultiBox Detector, ECCV, 17,2016.
- (2) Martin Sundermeyer et al. : Implicit 3D Orientation Learning for 6D Object Detection from RGB Images, Proc. of ECCV, 17, 2016
- (3) Scott Niekum, ar track alvar, http://wiki.ros.org/ar_track_alvar