

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AR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。

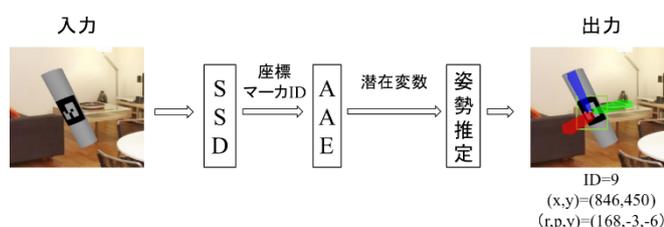


Fig.1. Overview of the proposed method.

2. 1. 変形 AR マーカの検出

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. 変形 AR マーカの姿勢推定

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、変形を加えたARマーカ画像をオートエンコーダに入力し、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。

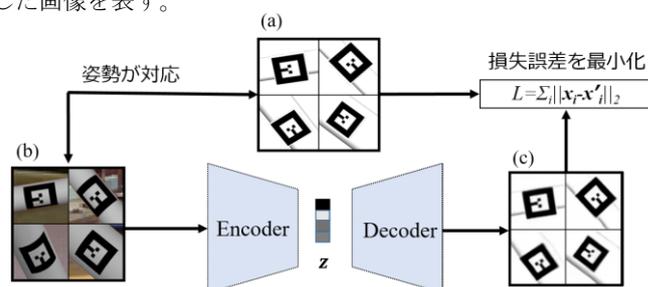


Fig.2. AAE Learning Process.

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、式(2)で示すように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_{test} とDBの潜在変数群 Z のコサイン類似度を求め、最も類似度が高い潜在変数 \hat{z} を求める。

$$\hat{z} = \arg \min_{z \in Z} \frac{z \cdot z_{test}}{\|z\| \|z_{test}\|} \quad (2)$$

そして、潜在変数 \hat{z} に対応した姿勢を出力する。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マーカの検出精度とAAEの姿勢推定の精度を検証するために評価実験を行う。

3. 1. 変形 AR マーカの検出性能の評価

SSDを用いた変形 AR マーカの検出精度を検証する。Robot Operating SystemにてAR マーカ認識ツールとして幅広く利用されている ar_track_alvar(3)と提案手法の精度を比較する。AR マーカは、一辺が 50[mm]の大きさとなる 10 種類を使用し、円柱に貼り付ける。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。AR マーカとカメラの距離を 0.4[m]から 0.8[m]まで 0.1[m]間隔で撮影し、評価用画像として使用する。評価指標として、AR マーカの ID 認識精度を mean Average Precision(mAP)、AR マーカの位置の検出精度を Intersection over Union(IoU)を採用する。ただし、ar_track_alvar は画像上での大きさを出力しないため、mAP による評価のみとする。

Table1 に提案手法と ar_track_alvar の mAP と IoU を示す。ar_track_alvar では AR マーカに変形が生じると認識が難しくなるが、提案手法は高精度に検出できていることがわかる。

Table 1 Comparison of the proposed method and ar_track_alvar.

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

次に、カメラと AR マーカの距離を変えた際の mAP を Fig.3. に示す。提案手法は離れた AR マーカでも高精度に検出可能であることが確認できる。

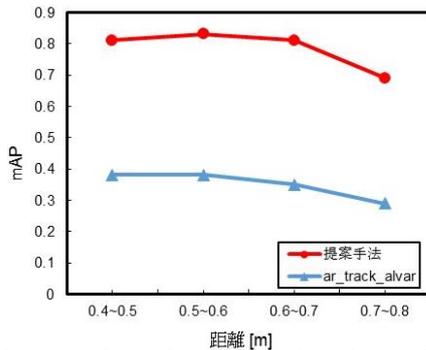


Fig.3. Comparison of mAP for each method at different distances.

最後に、Table 2 に円柱の半径を変えた際の認識結果を示す。半径 30[mm]以下の円柱に貼り付けた AR マーカは変形が大きくなるため、ar_track_alvar では検出が不可能であった。一方、提案手法は変形の大きな場合においても僅かに性能が低下するが高い検出性能であることを確認した。

Table 2 Comparison of the results for different radius of the cylinder.

円の半径[mm]	提案手法		ar_track_alvar	
	mAP	IoU	mAP	IoU
20	0.79	0.68	0.00	-
30	0.83	0.71	0.00	-
40	0.85	0.73	0.56	-



Fig.4. Examples of detection 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

次に、AAE による姿勢推定結果を評価する。変形 AR マーカの姿勢推定結果を平均絶対誤差(MAE)により評価する。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を切り出した画像 100 枚に対して評価する。

評価結果を Table 3 に示す。提案手法による 3 次元姿勢推定の MAE は 2.89[°]であった。DB の姿勢角度の分解能が 3[°] であることから妥当な結果が得られた。また、円柱の半径が小さいほど MAE が大きくなる傾向が得られた。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。

Table 3 MAE of pose estimation by the proposed method.

円柱半径[mm]	roll	pitch	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

最後に、SSD により AR マーカを検出した際の位置ずれへの影響を検証するため、意図的に 0[%]から 20[%]まで位置ずれを発生させた際の姿勢推定結果を Table 4 に示す。位置ずれが 10[%]の誤差を含む場合においても提案手法では高精度に姿勢推定が可能である。しかしながら、20[%]の位置ずれを含む場合には大幅に姿勢推定精度が低下することを確認した。

Table 4 MAE of pose estimation results in the case of including misalignment.

円柱半径[mm]	0%	10%	20%
20	3.40	4.73	37.36
30	2.74	3.65	28.59
40	2.53	3.41	25.11



Fig.5. Examples of pose 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 マーカにおいても高精度に姿勢が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。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, 2016.
- (2) M. Sundermeyer et al. : Implicit 3D Orientation Learning for 6D Object Detection from RGB Images, ECCV, 2019.
- (3) ar_track_alvar, https://wiki.ros.org/ar_track_alvar.