

## 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。既に機械学習により 2 次元コードを検出する方法が提案されているが、2 次元コードの 3 次元姿勢を推定するまでには至っていない。

そこで、本研究では機械学習による 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。提案手法は 2 次元コードの検出と姿勢推定の 2 つの処理に分けられる。本稿では 2 次元コードの姿勢推定について述べる。

## 2. 提案手法の概要

本研究は、SSD による変形 AR マーカの検出と AAE による 3 次元姿勢推定の 2 つの処理に分けられる。まず、画像から SSD により AR マーカを検出する。次に、SSD により得られた 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 マーカと AR マーカを照合することで 3 次元姿勢を推定する。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。



図 1：提案手法の概要

### 2.1. AAE による変形を除去した AR マーカの生成

前段の処理により検出した AR マーカの位置と大きさの情報から Augmented AutoEncoder(AAE)[1] 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で姿勢を推定する。

ロボットシミュレータ Gazebo により事前に変形やノイズを含まない AR マーカ画像 (図 2(a)) と変形やノイズを加えた AR マーカ画像 (図 2(b)) を生成する。そして、オートエンコーダ (AE) に変形やノイズを加えた AR マーカ画像を入力し変形を除去した AR マーカ画像 (図 2(c)) を生成する。変形やノイズを含まない 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にするために、式 (1) に示す損失関数  $L$  を最小化するように学習する。

AAE は、訓練データにノイズや変形を加えて学習し、ノイズの影響を除去した画像を生成する手法である。AAE の流れを図 2 に示す。提案手法では、オートエンコーダ (AE) に図 2(b) を入力し、出力された図 2(c) が図 2(a) に近くなるように学習を行う。図 2(a) と図 2(b) は AR マーカの姿勢がペアとなるようセンサシミュレーションを用いて作成する。AAE の学習方法は、はじめに、図 2(b) をエンコーダに入力し畳み込みを行い、128 次元まで圧縮された実数で表現される潜在変数  $z$  を得る。次に、潜在変数をデコーダに入力し、図 2(c) を出力する。図 2(a) とデコーダから出力された図 2(c) の損失誤差を式 (1) により求め、損失誤差が小さくなるように学習を行う。

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

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

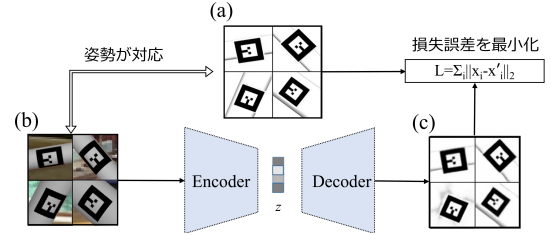


図 2：AAE の学習の流れ

### 2.2. AR マーカの 3 次元姿勢推定

オートエンコーダに入力した際に得られる潜在変数  $z$  に基づき姿勢を推定する。事前にあらゆる姿勢の AR マーカ画像を Gazebo により生成し、潜在変数群を姿勢データベース (DB) として用意する。テスト時には、SSD により検出した AR マーカ画像をエンコーダに入力し、潜在変数を得る。両者の潜在変数のコサイン類似度を計算し、最も類似度が高い DB 中の潜在変数に対応した姿勢を出力する。

DB には、roll[0, 360], pitch[-35, 35], yaw[-15, 15] の範囲を分解能 3[°] 生成した 264,124 枚を用意する。

### 3. 評価実験

提案手法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を平均絶対誤差 (MAE) を用いて評価する。評価を行う画像は、センサシミュレーションよりランダムな姿勢となる半径 20, 30, 40[mm] の円柱に貼り付けた AR マーカを SSD により検出した 100 枚を使用する。

評価結果を表 1 に示す。提案手法による 3 次元姿勢推定精度は約 2.89[°] となった。DB の角度の分解能が 3[°] であるため、姿勢推定精度は妥当だと考えられる。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いためだと考えられる。

表 1：提案手法における姿勢推定精度 MAE

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

### 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。その中でも、本稿では変形した AR マーカの姿勢推定について述べた。本研究では AAE に基づき、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。

### 参考文献

- [1] Martin Sundermeyer *et al.* : "Implicit 3D Orientation Learning for 6D Object Detection from RGB Images", Proc. of ECCV, 2016.