

AR マーカを用いたロボットアームに対する モーションキャプチャの提案と評価

A Motion Capture System for Robot Arms Using ArUco Markers

南原 勇輝¹ 中嶋 洸介¹ 植村 渉^{1*}

YSotaro Takeuchi¹, Kosuke Nakajima¹, and Wataru Uemura¹

¹ 龍谷大学

¹ Ryukoku University

Abstract: This study proposes a motion capture system for robot arms using a single camera and ArUco markers to prevent collisions between mobile manipulators in automated factories. By calculating representative coordinates from multiple markers attached to each joint and integrating them with link length data, the 3D pose of the robot arm is estimated. Experimental results using a COBOTTA robot demonstrate that the estimation remains stable within a measurement range of 30–70 cm, showing no significant correlation between distance and error. The findings suggest that the observed joint-specific errors are primarily due to physical attachment offsets, providing a basis for future self-calibration techniques.

1 はじめに

近年の工場の生産体制について自動化が進んでおり、多品種少量生産が注目されている。これに伴い、工場における生産ラインでは素材や製品の運搬、協調作業が可能なモバイルマニピュレータが注目されている。モバイルマニピュレータは、移動式ロボットとロボットアームを一体化することで、従来の据置型ロボットアームのような空間的な固定制限を解消している。これにより、広範な可動範囲を確保できるとともに、生産ラインの変更にも柔軟に適応可能な機動性を有している。

モバイルマニピュレータは、据置型に比べ広範な移動や作業が可能である一方、工場内で複数台が同時に稼働する環境下では、各個体の作業空間が互いに重複する機会が増大する。その結果、意図しないロボットアーム同士の衝突を招く危険性が生じる。具体的には、限られた作業スペース内で複数の個体が同一の対象物を扱う際、アーム同士が物理的に干渉するリスクが高まる。この衝突を未然に防ぐためには、自機だけでなく、周囲で作動する他機の動的な形状や姿勢をリアルタイムで把握するための視覚情報が必要となる。

本研究では、この問題点に対して、AR マーカを用いてロボットアームに対してモーションキャプチャを行うことを提案する。ロボットに搭載しているカメラで相手ロボットの AR マーカを認識し、各関節の 3 次

元位置をリアルタイムで計測することで、対象となるロボットアームの姿勢を同定できる。これにより、その姿勢情報を基にしたロボットアーム同士の衝突回避行動が可能となる。

2 光学式モーションキャプチャ

モーションキャプチャの方法の 1 つとして、光学式モーションキャプチャ[1]がある。光学式モーションキャプチャは対象物にマーカを取り付け、その周りに複数台のカメラを設置し、マーカをカメラで見つけ、座標を解析する。しかし、自由に動き回るモバイルマニピュレータの周りにカメラを設置するのは困難であり、工場内に複数配置するのも難しい。

3 AR マーカを用いたモーションキャプチャ

3.1 ArUco マーカ

本研究では ArUco マーカを使用し、カメラ 1 台でロボットアームのモーションキャプチャを行うことを提案する。ArUco マーカは、図 1 に示すような 2 次元バーコードの 1 種で OpenCV というオープンソースライブラリによってカメラから検出、認識が可能である。外

*連絡先：龍谷大学先端理工学部電子情報通信課程
〒520-2194 滋賀県大津市瀬田大江町横谷 1-5
E-mail: wataru@rins.ryukoku.ac.jp

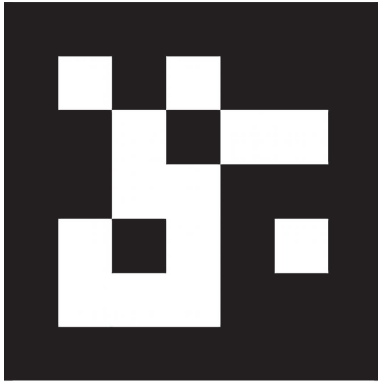


図 1: ArUco マーカ ID0

側の黒枠と内側の白黒パターンによって ID 番号が異なり、個々のパターンによって番号が決まる。

また、ArUco マーカは、画像処理により 3 次元位置や向きを計算できる。まず、ArUco マーカの物理的な 1 辺の長さを L とする。マーカ平面を $Z = 0$ とすると、マーカの 4 隅は $(0, 0, 0)$, $(L, 0, 0)$, $(L, L, 0)$, $(0, L, 0)$ の 3 次元座標で表される。カメラでマーカを撮影すると、画像内からマーカ 4 隅の 2 次元座標 (u_i, v_i) が検出できる。3 次元座標と 2 次元座標の関係は、カメラ内部のパラメータ行列 K 、回転行列 R 、および並進ベクトル t を用いて式 1 で表される。

$$s = \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ 1 \end{bmatrix} = K[Rt] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式 1 において、ArUco マーカの 3 次元座標とカメラ内部パラメータ行列 K は既知である。したがって、画像上から検出された 2 次元座標との対応関係を用いることで、カメラ座標系に対するマーカの位置並進ベクトル t および回転行列 R を算出できる。

3.2 ArUco マーカでのモーションキャプチャ手法

ArUco マーカをロボットアームに設置し、カメラ 1 台でモーションキャプチャを行う方法について述べる。ロボットアームなどの各関節付近に ArUco マーカを複数枚貼り付け、ArUco マーカの ID 番号と各関節との紐づけを行う。認識した複数の ArUco マーカの重心を算出し、これを当該関節の代表座標として扱う。次に、隣接する関節間の代表座標から方向単位ベクトルを算出する。この単位ベクトルに、URDF (Unified Robot Description Format) ファイルから取得した各リンクの設計上の長さを乗算することで、各関節の 3 次元座標を同定し、ロボットアームの姿勢を推定する。



図 2: マーカを貼り付けた COBOTTA

4 実験と評価

4.1 実験概要

本実験では、提案するモーションキャプチャ手法の推定精度を評価する。推定精度の評価にあたり、モーションキャプチャにより算出した関節座標と、真値であるロボット本体の関節座標との偏差を dx , dy , dz とする。このとき、各軸の偏差に基づく 3 次元的な距離誤差 e を式 2 に示す。

$$e = \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2} \quad (2)$$

計算した誤差より推定精度の評価を行う。

4.2 アーム型ロボット COBOTTA

本実験では、デンソーウェーブ社製の 6 軸の協働作業用アームロボットである COBOTTA を使用する。また、実際に ArUco マーカを設置した COBOTTA を図 2 に示す。

4.3 実験手順

第 1 関節から第 5 関節において、各関節の円柱状の外壁に対し、4 枚から 6 枚の ArUco マーカを貼り付け



図 3: モーションキャプチャ元画像

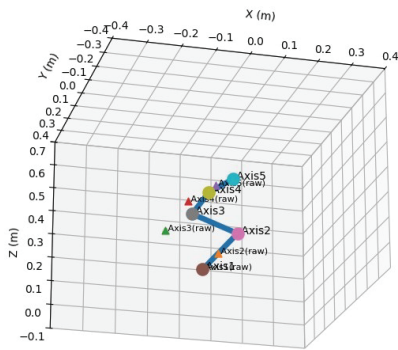


図 4: モーションキャプチャ再現画像

る。貼り付けの基準として、各関節の回転軸に対して垂直な断面を想定し、その円周上の 0 度、90 度、180 度、270 度の 4 箇所を基本位置とする。一部の関節については、視認性を確保するために軸方向にずらして追加のマーカを配置する。なお、COBOTTA の構造上、エンドエフェクタ付近に第 5 関節と第 6 関節が存在するため、第 6 関節は今回 ArUco マーカ貼り付けず、第 5 関節まで貼り付ける。本実験では、初期姿勢から把持動作に至る一連の動作プロセスから、代表的な複数の静止姿勢（ポーズ）を選定し、評価対象とする。計測距離を 30cm から 70cm の範囲で 5cm ずつ段階的に変更し、各条件下における関節座標の推定精度を評価する。その際、各関節に対して連続する 50 フレームの検出結果をサンプリングし、真値座標との偏差から各計測誤差を算出する。推定した各関節の座標値と、COBOTTA が出力した真値座標の差を算出することで、それぞれの計測誤差を求める。本手法では第 1 関節を座標系の原点と定義しているため、評価対象は第 2 関節以降の各関節とする。

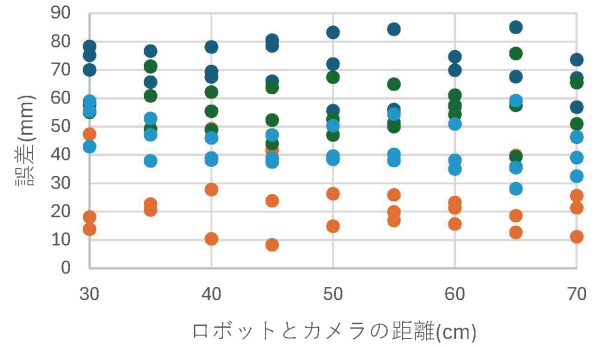


図 5: 距離と誤差の関係

4.4 結果と評価

提案手法によるアーム姿勢の推定結果の一例として、実機の写真を図 3 に、算出した 3 次元モデルを図 4 にそれぞれ示す。また、3 つのポーズに対して行ったモーションキャプチャの座標誤差とカメラ距離との関係を図 5 に示す。

カメラとロボット間の距離が 30cm から 70cm の範囲においては、計測距離と誤差 e との間に明確な相関は確認されなかった。このことから、本実験の距離範囲内では、提案手法は距離に依存せず安定した精度で姿勢を推定できているといえる。また、関節ごとに算出した誤差が一定の範囲内に収まっていることから、誤差の要因はカメラからの距離といった外部要因よりも、関節の物理的形状やマーカの貼付状態など、関節ごとの個別条件に起因する可能性が示唆される。

5 おわりに

本研究では、カメラと ArUco マーカを用いたロボットアームのモーションキャプチャ手法を提案し、その推定精度および計測距離との相関を評価した。実験の結果、30cm から 70cm の距離範囲において安定した姿勢推定が可能であることを確認した。今後の課題として、カメラに対するマーカの傾きや照明環境に起因する誤差の抑制、ならびにマーカの隠蔽によって一部の関節が検出不能となった際の推定アルゴリズムの構築が挙げられる。

参考文献

- [1] 中澤篤志, モーションキャプチャ, 映像メディア学会誌 63 巻 9 号 pp.1224-1227