

ARのためのエッジ認識による半自動位置合わせシステムの開発

大澤 想†

三菱電機(株) 情報技術総合研究所†

1. はじめに

工場のラインにロボットアームを導入した様子を AR(Augmented Reality)表示することで、ラインを止めずに導入後のイメージや動線の確認ができ、迅速な導入に繋がる。AR表示時には、現実とCG空間の位置合わせが重大な課題の1つである。位置合わせ手法として、マーカや自然特徴点を使う方法の他、事前にスキャンした対象環境の点群とリアルタイムに獲得した点群を比較して位置合わせを実施する方法がある。工場ではAR活用する際には、マーカを配置できないケースや、配置換え等で特徴量に変化して自然特徴点が使えないケースがあり、点群同士の位置合わせを採用することも多い。この場合、大雑把な概形の位置合わせをするグローバルレジストレーションと、その後2つの点群空間がある程度マッチしていることを条件に精度の高い位置合わせをするローカルレジストレーションが段階的に行われることが一般的である[1]。本研究では、工場を対象とした点群同士の高精度な位置合わせを実現する新たな手法を開発した。

2. 従来の位置合わせ手法の課題

グローバルレジストレーションには、手動と自動の位置合わせ方法がある。手動の場合、両点群で最低でも3点以上の対応点の入力が必要で、ユーザ負担が大きい。自動で位置合わせする手法[2]では、点群間に相対的に大きな変動がないことが前提であり、スキャン時の環境とAR表示時の環境に大きな配置換えや物体の移動があると適応が難しい。このような問題に対して、平面形状を用いて点群同士の一部が変形・欠損していても精度よく位置合わせを行う手法[3]も提案されている。ただし工場でのARの場合、平面領域を十分にスキャンできないこともあり、位置計算に十分な平面特徴量が含まれない危険がある。そこで本研究では、工場のラインにロボットアームを導入するという設置条件を利用した半自動的位置合わせ手法を提案した(図1)。



図1 提案手法概要

3. エッジによる半自動位置合わせ手法

3.1. 点群の獲得

ロボット導入予定のベルトコンベア周辺を事前にLiDARでスキャンする。このデータはロボット導入時の配置や動線生成、干渉判定にも用いる。AR表示時には、iPad搭載のLiDARを用いることで、AR表示と点群の獲得を同時に行う。

3.2. ロボット設置予定位置の大雑把な獲得

事前スキャンデータでは、配置情報をシミュレート実施者が入力している。AR表示時には、AR確認者のタップで配置位置を獲得する。iPad画面上での指示となるため、カメラ映像上で3次元位置を示す必要がある。本研究では、タップ位置から奥行き方向1mを配置位置とした。タップによるロボット設置予定位置は、ある程度正しければ後々計算されて補正されるため、精度が高い必要はない。

3.3. ベルトコンベアのエッジの自動獲得

ロボット設置予定位置を基準に、その周辺点群から先行研究[4]に従ってエッジ点群のみを抽出する。抽出された点群に直線フィッティングによる点群のクラスタ分析を実施し、得られた直線クラスタのうち、最も長い直線を持つクラスタをベルトコンベアのエッジ点群であると仮定し、その直線を得る(図2)。



1. エッジ化された点群からロボット設置位置周辺の(半径0.7m程度)点群を抽出
2. 抽出点群で直線フィッティングをおこない、点群をクラスター化
3. 一番長い(に含まれる点群数が多い)直線に含まれる点群を抽出
4. 両端の点を求める

図2 エッジ獲得手法概要

3.4. 幾何学的な位置合わせの実施

得られた直線とロボット設置予定位置で幾何学的な位置合わせをする。点と線による位置合わせでは、直線を反転した2パターンの可能性がある。ベルトコンベア上面を中心に上下方向が対称な構造とは考えにくいため、一方の結果はもう一方に比べ、各点群が大きくずれると仮定できる。よって、両点群間に含まれる一番近い特徴点同士の距離の総和が小さい方を採用する。

3.5. ローカルレジストレーション

以上のベルトコンベアエッジを用いたグローバルレジストレーションを入力として、先行研究[5]によるローカルレジストレーションを実施し、最終的な高精度の位置合わせを行う。

4. 評価実験

4.1. 精度評価実験

ベルトコンベアを模した長机を置いたシンプルな実験室環境で評価した。まず環境を事前にスキャンし、ロボット設置位置を設定し、正しく位置合わせした場合に AR 物体が表示される位置に目印を置いた。事前準備後、実装した AR システムで実験環境をスキャンし、ロボット設置予定位置をタップし、提案手法またはグローバルレジストレーションを従来手法[2]に変更した手法で位置合わせをして AR 物体を表示した。その後、表示された AR 物体の目印からのずれをメジャーで測定した。これを 10 試行繰り返し、手法間比較を行った。なお、点群は位置合わせに十分な量をスキャンした。メジャーで測定できないレベルで位置がずれる場合には測定不能としたが、従来手法の 3 試行が測定不能であった。

図 3 は測定できた AR 物体の正解位置からのずれ量の平均値である。この図から従来手法に比べ、提案手法はずれ量が全ての軸方向で小さいことが分かる。片側ウェルチの t 検定より、提案手法-従来手法間で、X 軸 $p = 0.0072$, Y 軸 $p = 0.0037$, Z 軸 $p = 0.0070$ の有意差が見られた。全軸方向で従来手法と比べて約 5 倍以上の精度向上である 3cm 以下のずれ量を実現できた。

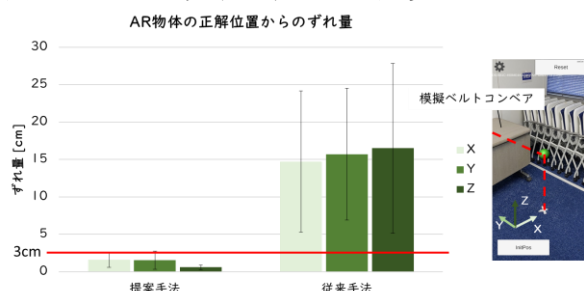


図 3 位置ずれ量評価結果

4.2. エッジ検出評価実験

実際の工場を模したベルトコンベアとロボットシステム、その他周辺環境を含んだ環境で評価した。精度評価実験同様の事前準備をし、十分な点群スキャンと提案手法での位置合わせを行った。これを 15 回実施し、エッジ検出成功率と位置合わせ成功率の目視での評価を行った。エッジ検出成功率は、抽出されたエッジが想定したエッジを正しく抽出した率である。位置合

わせ成功率は、位置合わせに成功した率である。

評価の結果、エッジ検出成功率約 67%(10/15 回)、位置合わせ成功率 100%(15/15 回)であった。失敗したエッジ検出 5 回の内 3 回は、ベルトコンベア周辺の安全柵やベルトコンベア逆端のエッジを抽出しており、正しいエッジと平行かつ非常に近いものだった (図 4)。残り 2 回もベルトコンベア面上を斜めに抽出しており、全てのケースで正しいエッジ付近のエッジが抽出されていた。位置合わせに 100%成功していることから、エッジ検出に失敗しても正しいエッジに近いエッジで十分な精度の幾何学的位置合わせがなされ、ローカルレジストレーションによる高精度な位置合わせが成功したと考えられる。

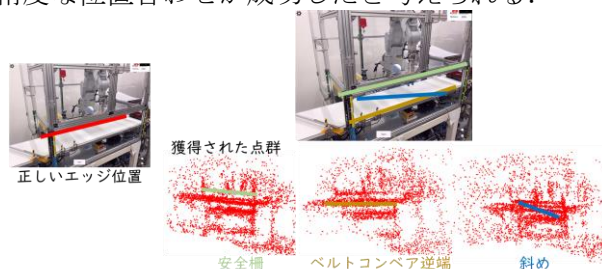


図 4 抽出したエッジの失敗例

5. おわりに

ベルトコンベアのエッジを使った新たな位置合わせ手法を開発し、従来比 5 倍の平均誤差 3cm 以下の精度と模擬環境での 100%の位置合わせ成功を実現した。今後は、提案手法が事前スキャンからどこまで環境が変わっても位置合わせに成功するかを明確にし、実環境での評価も行う。

参考文献

- [1] Zhou, Qian-Yi, et al. "Fast global registration." European Conference on Computer Vision. Springer, Cham, 2016.
- [2] Rusu, R. B., et al. "Fast point feature histograms (FPFH) for 3D registration." 2009 IEEE international conference on robotics and automation. IEEE, 2009.
- [3] 須崎純一, 出口翔理. "欠損に頑健な多時期地上 LiDAR データの精密位置合わせ." 土木学会論文集 F3 (土木情報学) 74.1 (2018): 1-10.
- [4] Bazazian, D., et al. "Fast and robust edge extraction in unorganized point clouds." 2015 international conference on DICTA. IEEE, 2015.
- [5] Gao, W., and Tedrake, R. "Filterreg: Robust and efficient probabilistic point-set registration using gaussian filter and twist parameterization." IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2019.

Semi-automatic registration with edge recognition for AR
 †So Osawa, Information Technology R&D Center, Mitsubishi Electric co., Ltd