

AR マーカ付パレット上の積載物を対象とした RGB-D 画像からの 三次元形状復元

石津 元紀† 酒井 道‡ 宮城 茂幸‡

1. はじめに

物流業界において、積載物を管理する方法の一つに荷物のパレット化が挙げられる。この方法は、標準化された板状のものごとに積載物を管理する方法である。荷台後方から撮影し積載量を推定するシステムは存在する[1]。しかしパレットごとの積載物の品質管理が確立されていない状態にある。そのため、輸送前後間における各パレット上の積載物の形状を確認することが要求される。そこで、本論文では、側面に AR マーカを張り付けたパレットを用い、RGB-D 画像群から積載物を三次元形状復元する手法を提案する。本論文でのフレームごとの点群の位置合わせは、撮影結果の AR マーカと既知の AR マーカで行う。大まかな位置合わせは AR マーカのベクトル同士を合わせることで大まかに位置合わせを、AR マーカの点群同士に関して ICP をかけることで細かい位置合わせを行う。

2. 従来の復元方法原理

本研究をする前の復元方法として、Open3D に内蔵されている reconstruction_system の復元を試していた[2]。reconstruction_system は Make fragments、Register fragments、Refine registration、Integrate scene の 4 つの手順によってデータを三次元に再構成している、まず、Make fragments で入力画像群の一部分内の画像同士の位置を推定し、fragment という部分的シーンを作成している。次に Register fragments によって、Make fragments で作成した fragment を 1 つのシーンの global 空間に配置している。Refine registration では、fragment の位置をより正確な位置に移動させている。以上の手順によって移動させた fragment を Integrate scene で統合してメッシュを抽出して三次元に復元している。

しかし、積載物を段ボール箱と想定して撮影した場合、この手法によるパレット上の積載物の復元結果は安定せず、復元できない場合がある。図 1 は実際にパレット上の段ボールについて復元を試した際の fragment 例である。

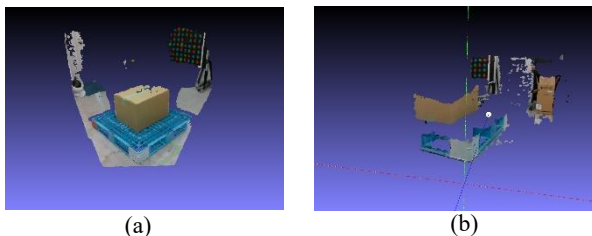


図 1 Make fragments での fragment 例

この結果を見ると Make fragments 時点では問題なく動作しているのが確認できる。しかし、Integrate scene での復元結果は図 2 のようになっていた。

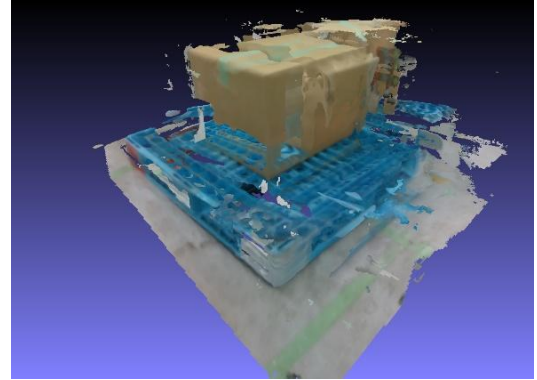


図 2 Integrate scene での復元結果

Register fragments では二つの fragment 間において近くの点から特徴点が近い点を対応付けて global 空間の位置を決める。しかし、積載物の表面が乱反射するため、ある地点の近くに色彩が似通った点が複数できてしまう。その結果、対応点を決定する際に本来の対応点とは別の対応点と対応付けをする可能性があると考えられる。これにより fragment 同士の位置合わせができず復元が安定しないと考えられる。

3. 提案する復元方法

本論文では提案する手法は大きく分けて四つの手順で構成される。

3.1 フレームの点群変換

まず、深度カメラによって得られた RGB 画像と、それに対応した Depth 画像一組ごとに点群への変換を行う。変換する際は、深度カメラの内部パラメータを用いる。

3.2 AR マーカによる位置合わせ

変換した点群は、AR マーカ[3]の法線ベクトル、および上辺のベクトルの向きを合わせることで大まかに位置合わせを行う。変換した点群中の AR マーカの位置を global 空間中に配置された既知の AR マーカ位置に合わせることで、変換した点群を global 空間へ移動させる。

まず、両者の法線ベクトルを合わせることで、変換した点群の AR マーカの表裏を一致させる。ベクトル同士の向きを合わせるための回転行列は四元数によって算出する[4]。算出した回転行列によって変換後の AR マーカを回転させた後、AR マーカ同士の中心点座標を使って平行移動する。その後、AR マーカ同士の辺を重ね合わせることで変換後の AR マーカの向きを一致させる。

†滋賀県立大学大学院

‡先端工学研究院

3.3 ICPによる位置合わせ

変換した点群中の AR マーカ部分の点と既知の AR マーカの点に対して ICP[5]を適用し、既知の AR マーカへの細かい回転行列および平行移動量を算出する。算出した結果を用いて、大まかな位置合わせした点群を移動させることで既知の AR マーカに細かく位置合わせを行う。

3.4 Integrate scene による統合

ICP により位置合わせした点群は、reconstruction_system で使用されていた、Integrate scene によって統合することで三次元復元することを本論文では提案する。

4. 実験

4.1 実験装置

実験に使用したパレットは図 3 の通りである。パレットは底面が 110cm 四方、厚さ 14.4cm であった。図 3 のように、各面の中央に 9.9cm 四方の AR マーカを一枚ずつ貼り付けた状態のパレットで撮影を行った。図 4 は実際に貼り付けた AR マーカの例である。積載物として用意した段ボール 6 つの規格を表 1 に示す。撮影に使用したカメラは Intel 社の RealSenseD435 であって、このカメラの性能は表 2 の通りである。図 5 は一つの側面に対する撮影の概略図である。AR マーカに対して正面上方から撮影した後、パレットを左右に回転させて撮影した。この一連の流れに四面一セットとし、回転角 θ は 30° と 45° の二種類を一回ずつ行った。実験に使用したフレームは各面に対して 3 フレーム合計 12 フレームを、回転角 θ は 30° と 45° の 2 セット行った。



図 3 実験に使用したパレット



図 4 AR マーカ例

表 1 使用した段ボール箱の実測値

段ボール番号	長さ[cm]	幅[cm]	高さ[cm]
1	57.6	38.0	23.4
2	61.3	46.1	41.1
3	46.9	18.9	25.8
4	47.2	19.0	25.8
5	46.9	18.9	25.6
6	47.2	19.0	25.8

表 2 Intel 社 RealsenseD435 の仕様

深度カメラ	解像度	最大 1280×720@90fps
	視野角(H×V)	87°×58°
	認識範囲	0.2m～10m
RGB カメラ	解像度	最大 1920×1080@30fps
	視野角(H×V)	69°×42°

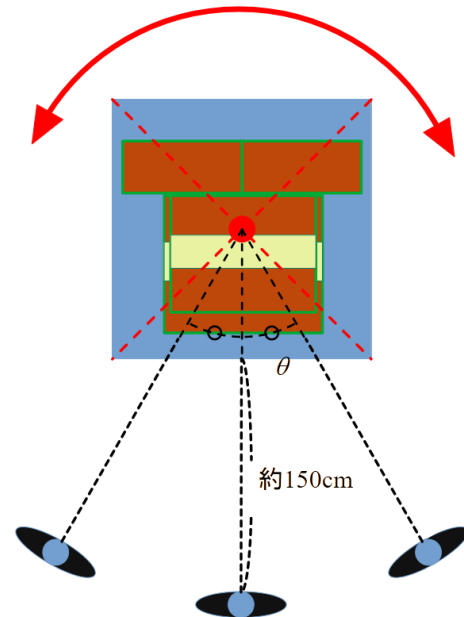
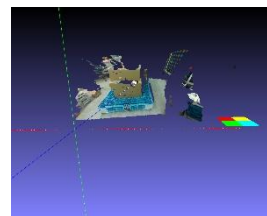


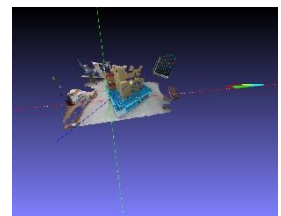
図 5 側面に対する撮影の概略図

4.2 実験結果

現在 AR マーカによる位置合わせまでを試した状態であるため、図 4 に示した AR マーカの、回転角 30° における、既知の AR マーカへの位置合わせ結果を示す。各図に示させている四色の四角形は、global 空間に配置した AR マーカであり、左上を赤色に、右上を黄色に、左下を緑色に、右下を水色に色付けした。まず、図 6(a)および図 6(b)はフレームから変換した点群と既知の AR マーカの位置関係の図である。



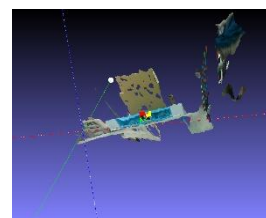
(a)正面からの撮影データ



(b)左からの撮影データ

図 6 変換した点群と既知 AR マーカの位置関係

次に、図 7(a)および図 7(b)は、それぞれの点群を対応する既知マーカへ大まかに位置合わせした後の位置関係の図である。



(a)正面からの撮影データ



(b)左からの撮影データ

図 7 位置合わせした点群と既知 AR マーカの位置関係

これらの図を確認すると分かるように、点群を global 空間に移動させることができた。ICP による位置合わせ以降の結果は論文発表当日に示す。

参考文献

- [1]creanovo, ” WABCO - CargoCam ”, <https://creanovo.de/portfolio/wabco-cargocam/>, June 11, 2019, 参照 July 25, 2025.
- [2]Open3D, “System overview – Open3D 0.19.0 documentation”, https://www.open3d.org/docs/release/tutorial/reconstruction_system/system_overview.html, January 25, 2025, 参照 July 25, 2025.
- [3]神原誠之, “拡張現実感 (Augmented Reality: AR) 概論,” 情報処理, vol.51, no.4, April 2010
- [4]理数アラカルト, “四元数と回転行列の関係,” <https://risalc.info/src/quaternion-rotation.html>, 参照 July 25, 2025.
- [5]増田健, ”ICP アルゴリズム,” 情報処理学会研究報告, vol.2009-CVIM-168, no.23, September 2009.