

RGB-D センサの較正を目的とした補正テーブルの作成と評価

藤野 慎也[†] 石井 雅樹[†] 佐藤 俊太郎[†]

秋田県立大学[†]

1. 緒言

著者らは、屋内環境を移動するロボットを対象とし、自律的かつ高精度な3次元環境地図の構築を目的とした基礎研究^[1]およびRGB-D センサのキャリブレーション手法^[2]に関する検討を行ってきた。しかし、キャリブレーション手法では遠距離を対象とした深度データの歪みが大きいことため正確な補正が行われない、補正式に不連続点が存在するという2つの課題を残した。そこで本稿では、RGB-D センサのキャリブレーション手法に改良を加え、補正後の環境地図の精度について比較と検討を行う。

2. 提案手法

2.1 多項式近似によるキャリブレーション

本稿では、上述の課題を解決するため、深度の補正式を多項式近似により導出し、比較検討を行った。近似には最小二乗法を使用し、比較には1~7次関数の7つの補正式を対象として用いた。

具体的には、実距離 D と深度 Z の比率 D/Z を各距離で算出し、最小二乗法を用いた n 次関数による近似を行い、各係数 a_n を算出することにより、式(1)および式(2)の補正式を導出した。

$$D/Z = a_n Z^n + a_{n-1} Z^{n-1} + \dots + a_1 Z + a_0 \quad (1)$$

$$Z_t = (a_n Z^n + a_{n-1} Z^{n-1} + \dots + a_1 Z + a_0) \times Z \quad (2)$$

2.2 補正テーブル

RGB-D センサの有する歪み特性は画素毎に異なり複雑である。そのため先行研究では、画素毎に線形関数を導出し補正を行った。しかし、画素によって歪みの傾向が異なることから、画素毎に近似に使用する関数を設定する必要があると考える。そこで本稿では、2.1 節で導出した7つの補正式から各画素における最適な補正式を選択し、補正テーブルを作成した。具体的には、各画素における各補正式の決定係数を比較し、値が最も高い式をその画素の補正式として採用した。

3. キャリブレーションに関する実験

3.1 多項式近似による補正結果

2.1 節で述べた手法により平面深度画像を用いて補正式を導出し、深度画像の補正を行った。本研究では、RGB-D センサとして Xtion PRO LIVE(ASUS

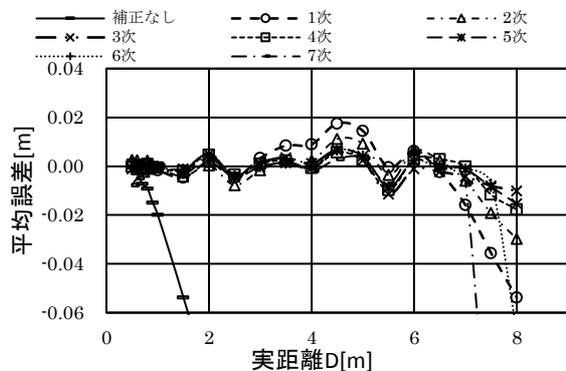


図1 各補正式の平均誤差(Xtion)

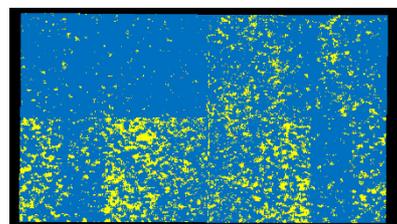


図2 補正テーブル

(一次: 赤, 二次: 黄, 三次: 青)

社製,以降 Xtion と表記)を使用した。

各補正式を用いた場合の深度の平均誤差を図1に示す。同図より、平均誤差は次数の増加に伴い減少していることがわかる。また、三次以降の平均誤差の改善は見られず、六次、七次においては平均誤差の増大が見られた。

この結果から、補正式は三次式までで十分な補正がなされていると考える。よって、補正テーブルは一次式から三次式までの3つの補正式を用いて作成することとした。

3.2 補正テーブルの作成結果

3.1 節で得られた知見を基に各画素で3つの補正式の決定係数を比較し、最も値の高い決定係数の補正式を選択して補正テーブルを作成した。作成した Xtion の補正テーブルを図2に示す。図2に示す色は各画素で選択された補正式を表し、赤の画素が一次式、黄が二次式、青が三次式を示している。

次に、Xtion の深度画像に補正テーブル、および各補正式を適用した際の平均誤差を図3に示す。補正テーブルの平均誤差はおおよそ三次式と一致しているが、6.0[m]以上の遠距離における誤差が改善されていることが確認できる。以上の結果は、提案手法がデータのばらつきが大きくなる遠距離の補正に有用であることを示唆している。

Creation and Evaluation of a Correction Table for Calibration of an RGB-D Sensor

[†]Shinya Fujino, Masaki ishii, Shuntaro Sato: Akita Prefectural University

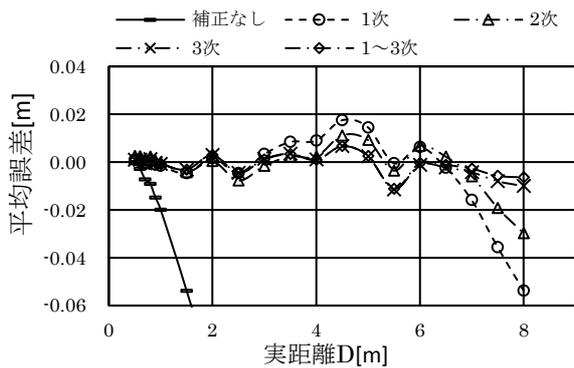


図3 各補正式および補正テーブルの平均誤差 (Xtion)

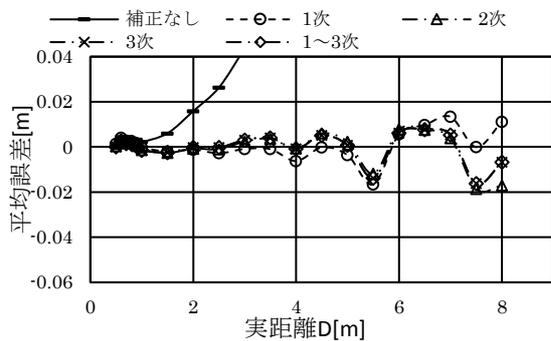


図4 各補正式および補正テーブルの平均誤差 (Kinect)

また、Kinect(Microsoft 社製)を対象として同様の解析を行い、補正テーブルの作成および評価を行った。Kinect の深度画像に補正テーブルおよび各補正式を適用した際の平均誤差を図4に示す。ほぼすべての画素で三次式が選択され、平均誤差もほぼ三次式と一致していた。補正前に比べて大きく平均誤差が減少していることから、提案手法は他の投影光方式のセンサに対しても有用であることが確認できる。

4. 環境地図構築に関する実験

提案手法の地図構築に対する有用性を評価するために、補正テーブルを適用した深度画像を用いて地図構築を行った。実験は秋田県立大学ロボット工学研究室で行った。実験環境の概略図を図5に示す。先行研究で歪みが比較的小さかった直線経路(図5, ①)と歪みが大きかった曲がり角(図5, ②)を対象として実験を行った。XtionをiRobot社製のRoombaに搭載し、移動速度を約0.3[m], 旋回速度を約0.12[rad/s], データ取得間隔を0.7[FPS]として深度データを取得した。補正前後の環境地図構築結果を図6に示す。補正後の直線経路の画像では補正前の地図に見られた歪みや全体の収縮が軽減されていることがわかる。また、曲がり角では全体に発生していた大きな歪みが補正されている。これらの結果より、本稿で提案したRGB-Dセンサのキャリブレーション手法は地図構築に対して有用であると言える。

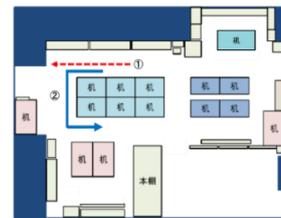
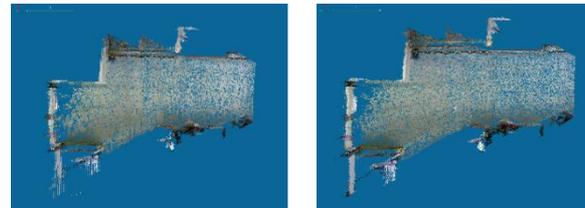
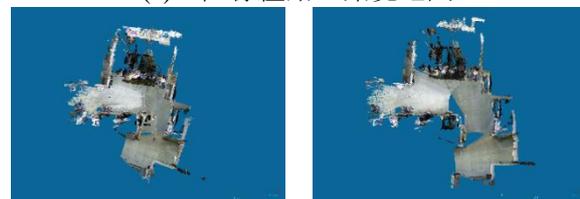


図5 実験環境概略図



(a) 直線経路の環境地図



(b) 曲がり角の環境地図

図6 補正前後の環境地図構築結果 (左図：補正前、右図：補正後)

5. 結言

本稿ではRGB-Dセンサのキャリブレーション手法に改良を加え、高精度な深度情報の取得を目的とし、多項式近似による補正式の作成と補正テーブルの作成を行った。その結果、連続した一つの関数を用いて近似を行うことにより、従来手法が抱えていた不連続点の問題を解決した。また、補正テーブルを作成し、画素毎に最適な補正式の選択を行うことにより精度が向上することを確認した。さらに、地図構築実験では、補正テーブルを用いた深度補正によって地図の歪みが軽減され、提案手法の有用性を確認することができた。

今後は誤差の累積が予想される広域な環境で地図構築を行い、提案手法の有用性を評価する予定である。

参考文献

- [1] 藤枝舜, 石井雅樹:「距離画像センサを用いた3次元環境地図の構築に関する基礎検討」, 情報処理学会第75回全国大会講演論文集(2), pp.593-594, (2013)
- [2] 石井雅樹, 佐藤俊太郎, 平山真都:「3次元環境地図の構築を目的とした距離画像センサのキャリブレーション手法」, 画像電子学会誌, Vol.44, No.3, pp.426-435,(2015)