

3次元環境地図の精度向上を目的とした 距離画像センサのキャリブレーション手法

佐藤 俊太郎[†], 石井 雅樹[†], 下井 信浩[†]
秋田県立大学[†]

1. 緒言

近年, Kinect に代表されるような安価な距離画像センサを使用した 3次元環境地図の構築に関する研究が行なわれている. しかし, 上記の距離画像センサは精度の高い計測を目的としたセンサではないため, 正確な環境地図の構築が困難である.

著者らは従来研究において, 距離画像センサを用いた 3次元環境地図の構築および距離画像センサのキャリブレーション手法に関する検討を行ってきた[1][2]. しかし, 3次元環境地図の構築手法では, 地図構築時の処理時間に課題を残した. これは, 取得した距離画像データに歪みが生じており, 正確なスキャンマッチングが行えないためと考える. 本稿では, 距離画像センサのキャリブレーション手法に改良を加え, 歪み補正後の距離画像データを用いて構築した 3次元環境地図の精度と処理時間について考察する.

2. 提案手法

2.1 キャリブレーション手法の改善

本研究では, 距離画像センサとして Xtion PRO LIVE(ASUS 社製, 以後, Xtion と表記する)を使用した.

従来手法では取得した距離画像の歪みを軽減させることを目的とし, Xtion から得られた点群データに対して, 画素毎に最小二乗法を用いて補正のための線形関数を導出した. 近距離用(short)および遠距離用(long)の 2種類の補正式を用いることにより, 距離画像センサから得られる点群データの高精度な補正が可能であることを示した. しかし, 遠距離のデータではばらつきを抑えることが難しいことが判明した. そこで本稿では, 遠距離に対して異なる補正式を導出し比較を行なった. 比較した補正式の詳細を以下に示す. なお, 括弧内は補正式を算出する距離の範囲を示している.

- ① 従来手法の補正式
(short: 0.0~3.5[m], long: 3.5~10.0[m])
- ② 遠距離の範囲を 2 パターンに分けた補正式
(short: 0.0~3.5[m], middle: 3.5~8.0[m],
long: 3.5~10.0[m])
- ③ 遠距離の範囲を二次関数の最小二乗法とした補正式
(short: 0.0~3.5[m], long: 3.5~10.0[m])
- ④ 全ての補正を二次関数最小二乗法で行なった補正式
(補正式範囲: 0.0~10.0[m])
- ⑤ ④の補正式を遠距離(3.5[m]~)のみに適用した補正式
(short: 0.0~3.5[m], long: 0.0~10.0[m])

上記①および②の補正式では, 画素 i に注目し, 取得した平面とセンサ間の実距離を D , 取得した z 座標を Z として距離に応じた比率 D/Z を求め式(1), 補正後の z 座標 Z_t

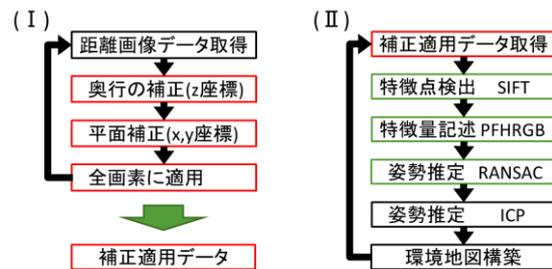


図1 3次元環境地図の構築手順

を算出した式(2). また, ③~⑤の補正式では式(3)および式(4)を用いて Z_t を算出した.

$$D/Z = a_i Z + b_i \quad (1)$$

$$Z_t = (a_i Z + b_i) \times Z \quad (2)$$

$$D/Z = a_i Z^2 + b_i Z + c_i \quad (3)$$

$$Z_t = (a_i Z^2 + b_i Z + c_i) \times Z \quad (4)$$

その後, Xtion からの画素毎の X 軸方向, Y 軸方向の角度 α , β を用いて補正後の X 座標 X_t , Y 座標 Y_t を算出した.

$$X_t = Z_t \tan \alpha \quad (5)$$

$$Y_t = Z_t \tan \beta \quad (6)$$

誤差は画素毎に異なるため, 上記の処理を全画素に対して行なった. なお, 測定範囲外のデータは外れ値が多いため, 点群データのばらつきを抑えるために 10.0[m]以上のデータについては処理対象から除外した.

2.2 3次元環境地図の構築

本稿では従来手法を用いて 3次元環境地図を構築した (SIFT+PFH/RGB 手法と ICP スキャンマッチングを用いた環境地図構築手法). また, 距離画像は 2.1 で示したキャリブレーション手法の中で最良の結果が得られた補正式を用いて補正した. 地図構築手順を図 1 に示す.

3. 比較実験および考察

3.1 キャリブレーション比較実験

表 1, 表 2 に各補正式を適用した場合の実距離との誤差および標準偏差を示す. 表の網かけ部は各実距離地点での最小値を示している. 表 1 より平均誤差はいずれも各距離の 1[%]未満であり, 値が小さいことがわかる. 一方, 表 2 の標準偏差に着目すると, 補正式⑤の値が小さく, ばらつきが抑えられていることがわかる. これは, 近距離の場合は距離間の変化が小さいことから, 従来手法で対応できるため, また, 遠距離の場合はセンサからの距離が離れるにつれて距離間の変化が大きいため, 2次関数での最小二乗法の適用が有用であるためだと考える. したがって, 本稿ではキャリブレーションに用いる補正式として⑤を採用した.

3.2 3次元環境地図構築における比較実験

実験は秋田県立大学ロボット工学研究室で行った. 距離画像センサを iRobot 社製の Roomba に搭載し, 移動速度を約 0.3[m/s], 旋回速度を約 0.12[rad/s], データ取得間隔を

Calibration method of the RGB-D camera for accuracy improvement of the three-dimensional environmental map
[†]Shuntaro Sato, Masaki Ishii, Nobuhiro Shimoi: Akita Prefectural University

表1 各補正式の平均誤差(単位:[%])

D[m]	補正無	①	②	③	④	⑤
1.0	1.738	0.205	0.187	0.187	0.249	0.187
2.0	4.196	0.537	0.496	0.496	0.400	0.496
3.0	6.974	0.147	0.112	0.112	0.012	0.112
4.0	8.736	0.238	0.374	0.365	0.355	0.355
5.0	10.528	0.540	0.360	0.286	0.358	0.358
6.0	12.519	0.398	0.349	0.334	0.427	0.427
7.0	14.339	0.203	0.273	0.409	0.482	0.482
8.0	16.048	0.078	0.107	0.068	0.095	0.095
9.0	17.232	0.231	0.198	0.162	0.121	0.121

表2 各補正式の標準偏差(単位:[m])

D[m]	補正無	①	②	③	④	⑤
1.0	0.003	0.003	0.002	0.002	0.003	0.002
2.0	0.020	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
3.0	0.049	0.018	0.018	0.018	0.020	0.018
4.0	0.091	0.036	0.033	0.031	0.034	0.034
5.0	0.138	0.072	0.068	0.066	0.066	0.066
6.0	0.196	0.075	0.070	0.069	0.069	0.069
7.0	0.259	0.108	0.100	0.106	0.102	0.102
8.0	0.313	0.155	0.141	0.139	0.140	0.140
9.0	0.367	0.223	0.197	0.197	0.195	0.195

表3 使用した PC 仕様

OS	Windows 7 Home Premium 64bit
CPU	Intel® Core™ i7-3770 3.4GHz
Graphics	AMD Radeon HD 7570
Memory	16.0 GB

表4 地図構築に要した処理時間

	補正前[s]	補正後[s]
直線経路	671	562
曲がり角	7680	4813

3.0[FPS]としてデータ取得を行った。図2に実験環境の簡略図を示す。なお、同図中の矢印はデータ取得経路を示している。また、使用したPCの仕様を表3に示す。

本稿では従来研究において歪みが比較的小さかった直線経路(図2,①),歪みが大きかった曲がり角(図2,②)のデータを使用した。両環境における補正前後の地図構築結果を図3および図4に示す。また、両環境において地図構築に要した処理時間を表4に示す。

図3および図4より、補正後の距離画像データを用いた場合は壁面等の歪みが軽減されており、より正確な環境地図が構築されている。また、表4より補正適用後における地図構築時間は大幅に短縮されていることがわかる。これは距離画像の歪みが軽減されたため、正確なスキャンマッチングが行なわれたこと、また、一定距離以上の情報を削減したため、扱う情報量が少なくなったことに起因していると考えられる。

4. 結言

本研究では従来提案した距離画像センサを用いた3次元地図構築手法に対して、同センサに対するキャリブレーション手法の改良を行った。提案手法を用いることにより距離データのばらつきが軽減されることを示した。また、補正後の距離画像データを用いることは地図構築における精度の改善および処理速度の向上に有用であることを示した。

今後は、広域な環境を対象として提案手法の評価実験を行なう予定である。

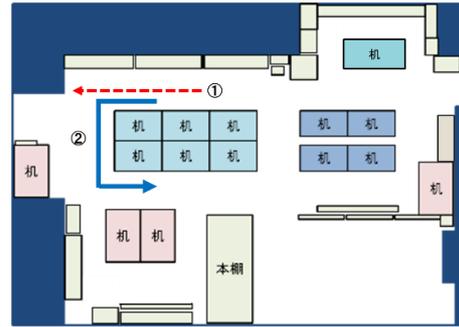
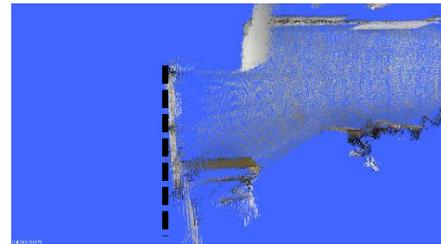
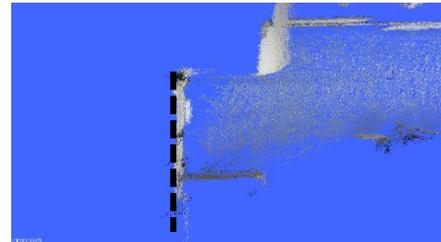


図2 実験環境簡略図

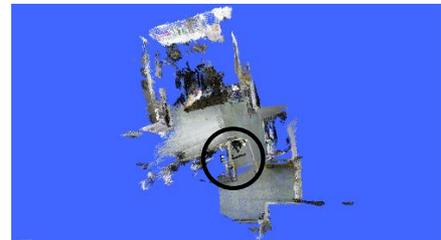


(a) 補正前

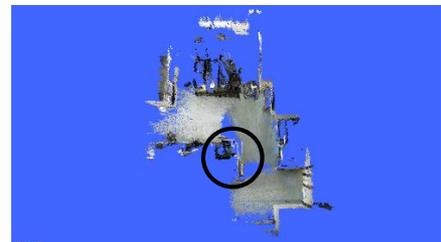


(b) 補正後

図3 直線経路(3.0[m])における環境地図



(a) 補正前



(b) 補正後

図4 曲がり角における環境地図

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, 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歪み補正に関する検討」, ロボティクス・メカトロニクス講演会2014講演論文集(ROBOMECH2014), 1P1-W10(1-2), 2014.