

高速 3D スキャンデータの重ね合わせ処理による 高精度計測に関する研究

正会員 木村 元* 学生会員 中原 勇 登**
学生会員 岩内 也 樹**

High Precision Measurement by Superposition Processing of High-Speed 3D Scan Data
by Hajime Kimura, *Member* Hayato Nakahara, *Student Member*
Nariki Iwauchi, *Student Member*

Key Words: clustering, points clouds, registration, 3D-scanner

1. 研究の背景と目的

今日、造船業界では船舶を建造する際のブロックや大型構造物の精度管理や現場合わせ管の設計等に 3 次元リバーエンジニアリングという技術が用いられている。これは、レーザースキャナー等の計測機器を利用して、対象の物体の大きさや形等を計測し、獲得された点群データを解析して 3 次元 CAD モデルを作成するというものである。これは現場で対応していた作業の改善を行うことができ建造効率の上昇を目的としている。しかし、レーザースキャナーは非常に高価なものであり、計測時間も長いことが問題となっている。

この問題に対し本研究では、本格的なレーザースキャナーに比べ価格が約 200 分の 1 程度の安価で、計測速度も優れているマイクロソフト社の 3D スキャナーであるキネクトを利用することによりブロックの精度管理が可能な程度の精度での短時間の計測を目指す。キネクトによる計測データの誤差は一般的なレーザースキャナーより大きいと見られるため、対象物を複数回計測し、大量の点群データに統計処理を行うことにより高精度の形状・寸法の計測を目指す。本研究ではそのための計測点群の重ね合わせ処理法の提案を行う。計測速度が非常に早いという利点を生かして、様々な方向から計測した点群データを用いて重ね合わせ処理を行い、死角のない形状推定および大量データの統計処理により計測デバイスの持つ計測精度以上の計測精度を確保する。従来手法の点群重ね合わせ処理は点群のみを用いて行っていたが、本研究で提案する手法では計測対象が船舶内部のような平面や円筒状の部材ばかりで構成されている人工物であり、動植物等の存在するような自然環境ではない点を利用することにより、効率の良い処理が期待できる。一般的に重ね合わせ処理のことはレジストレーションと呼ばれるため、以降はレジストレーションとする。

2. キネクトについて

キネクト (Kinect for Xbox360) はマイクロソフト社が 2010 年に発売した Xbox360 用入力デバイスである。キネクトは RGB カメラ、深度センサー、マイク等で構成されており、カラー画像を取得するだけでなく、立体物の 3

次元形状を獲得する事ができる。本研究で今回用いるのは、2014 年に発売された Kinect v2 と呼ばれる前述したキネクトの新型であり、基本的には性能向上版である。Kinect v2 では計測方式に ToF (Time of Flight) 方式が採用されているため、深度値の計測誤差が出やすい。ToF 方式は光を対象物に照射し、反射して戻ってくるまでの時間から距離を計測する方式である。Kinect v2 では赤外線レーザを利用している。また、キネクトで撮影した時の端の部分や対象物の輪郭にも大きくぼらつきが存在する。深度値の誤差原因として考えられるものが対象物までの距離が遠い場合や対象物の赤外線反射率が低い場合である。おおよそ、1[m] で 3~5[mm]、2~3[m] では 30[mm] 以上のぼらつきが出てしまう。特に赤外線の反射率が低い場合では 50[mm] 以上のぼらつきが出てしまうことさえある。しかし、この深度値ぼらつきは時間軸方向にランダム性が高いため、100 フレーム程度の移動平均値を取ることによって解像度を 10 倍程度引き上げることが可能である。理論的には、 n フレームの移動平均処理によって \sqrt{n} 倍の改善を行うことが可能である。また、計測対象物の手前に反射しやすい物体があるとマルチパス（多重反射）ノイズの影響で深度値が実際より数ミリ程度遠くに出る現象がある。この点についても対策が必要である。

3. 重ね合わせ手法の提案

本研究で提案する手法は大規模な点群データから平面を取り出し、平面を取り出す段階において計測誤差である点のノイズを低減させ、取り出した平面を特徴量としてレジストレーションを行う方法である。処理手順は以下に示す。

1. 全ての点群からランダムに選んだ点を中心とする、ある小さい半径 r の球内の点を初期クラスタとする。
2. 初期クラスタを平面かどうか判定し平面であればクラスタを成長させ、平面クラスタを作成する。平面でなければクラスタ内の点群を取り除き処理 1 に戻る。クラスタリングには主成分分析と RANSAC 法を用いる¹²⁾。
3. クラスタリングした平面を基に、視点 1 では平面を点群データのまま用いる。視点 2 では平面毎に平面の方程式を求める。
4. 視点 1 の点群データを回転・平行移動の座標変換を行い、視点 2 で算出した平面の方程式との重なり具合を調べる (Fig. 1)。この時、回転処理にはクォータニオン法を、回転・平行移動の座標変換パラメータを探索するアルゴリズムには滑降シンプレックス法を用いる。また、

*九州大学 大学院工学研究院海洋システム工学部門

**九州大学 大学院工学府海洋システム工学専攻

原稿受付 (学会にて記入します)

秋季講演会において講演 (学会にて記入します)

©日本船舶海洋工学会

滑降シンプレックス法のコスト評価関数として、点と平面の2乗距離合計を用いる。

5. 処理3により得られた回転・平行移動の座標変換パラメータを用いて点群全体のレジストレーションを行う。

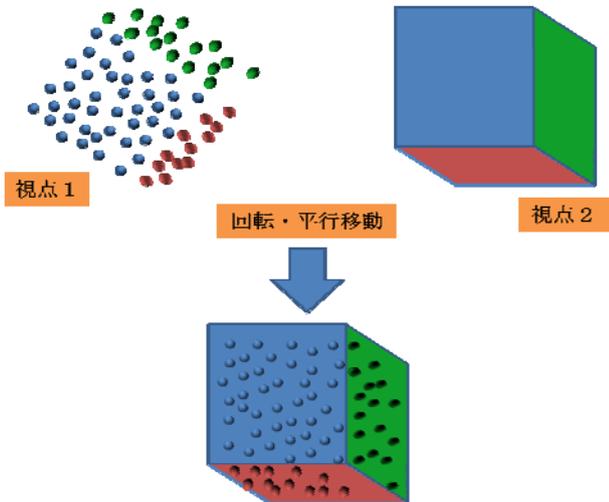


Fig. 1 Image of the proposed registration.

4. 提案手法の検証実験

今回、人工的に作成した点群データと、実際にキネクトで計測した点群データを用いて実験を行った。人工データの実験を実験1、キネクトによる計測の実験はカラーボックスの組立途中と組立後にて行い、前者を実験2、後者を実験3とする。作成した人工データの寸法は1000(H) [mm]×2000(W) [mm]×1000(D) [mm]であり、±3[mm]の誤差を一様分布でのせている。カラーボックスの寸法は890(H) [mm]×396(W) [mm]×290(D) [mm]であり、横に倒した状態で計測を行った。対象の計測環境は対象中心からキネクトまでの距離2000[mm]とし、キネクトを床から700[mm]の台座に置き行った。段ボールを計測した様子を例としてFig.2に示す。また、キネクトの座標取得の設定として、取得する点群はX軸、Y軸方向±0.7[m]、Z軸方向1.5~2.5[m]と制限している。

提案手法によるレジストレーションの実験の結果を以下に示す(Fig. 3~12, Table 1).

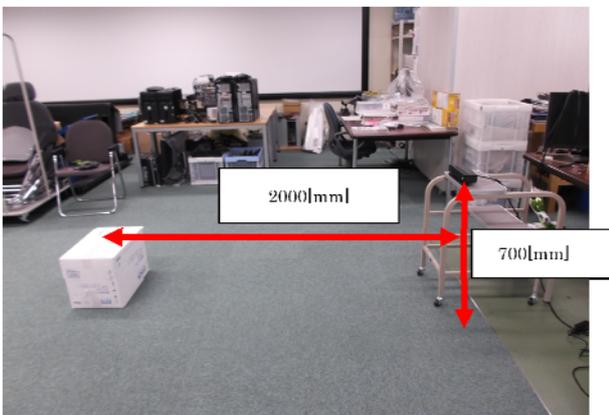


Fig. 2 The experiment's condition.

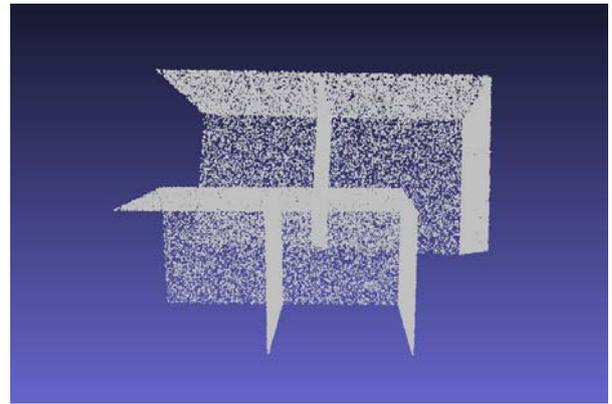


Fig. 3 Before registration (Experiment 1)

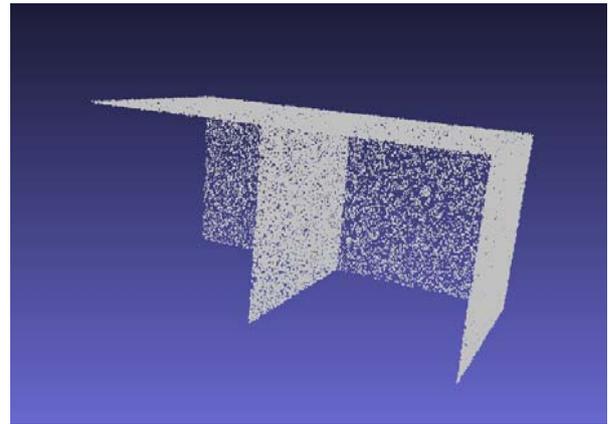


Fig. 4 After registration (Experiment 1).

Table 1 Simulation results (Experiment 1).

		Theoretical value	Experimental value	Difference
Axis angle[rad]	α	0.1	0.10000	0.00000
	β	0.2	0.20000	0.00000
Rotation angle[rad]	γ	0.3	0.30000	0.00000
Parallel movement distance[mm]	dx	400	399.99999	-0.00001
	dy	500	500.00043	0.00043
	dz	600	600.00013	0.00013

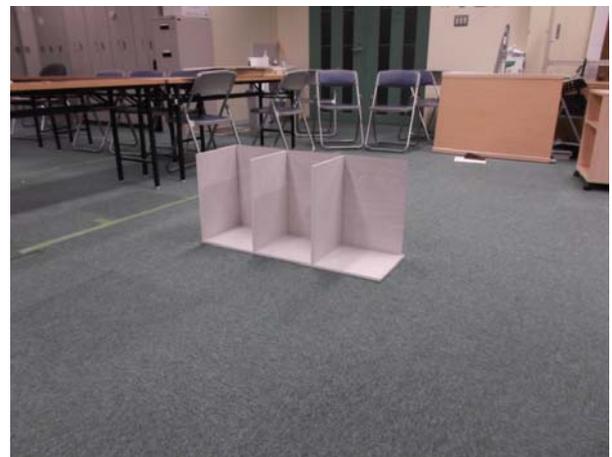


Fig. 5 View from 30 degrees (Experiment 2).



Fig. 6 View from 45 degrees (Experiment 2).



Fig. 9 View from 30 degrees (Experiment 3).

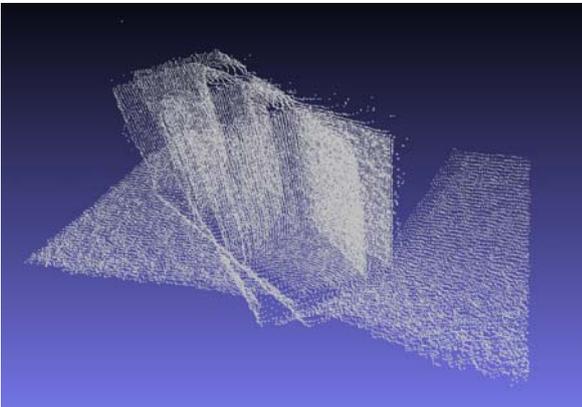


Fig. 7 Before registration (Experiment 2).



Fig. 10 View from degree 45 degrees (Experiment 3).

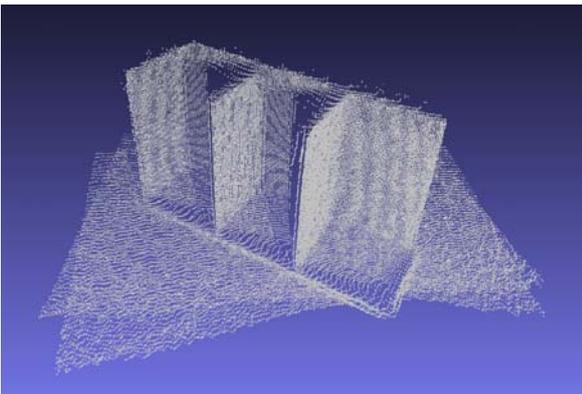


Fig. 8 After registration (Experiment 2).

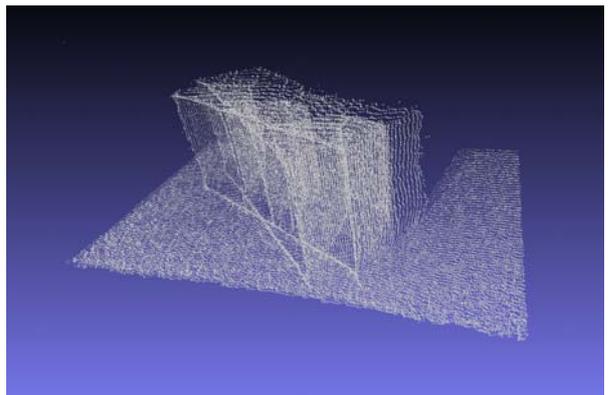


Fig. 11 Before registration (Experiment 3).

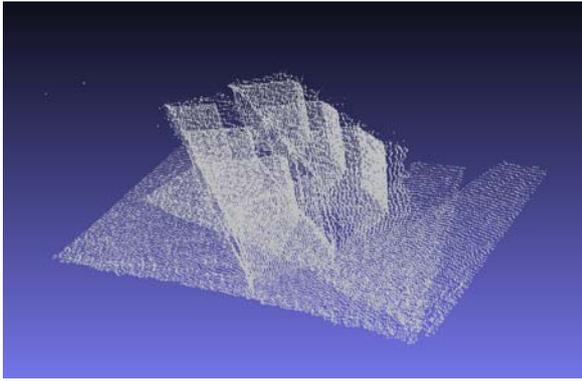


Fig. 12 After registration (Experiment 3).

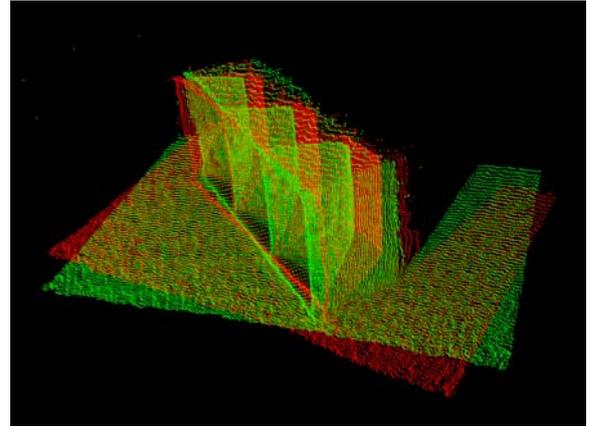


Fig. 15 After registration by PCL (Experiment 3).

最後に無料で利用できる点群処理ライブラリである PCL³⁾による ICP(Iterative Closest Point)アルゴリズムを用いたレジストレーションを従来手法として紹介する。ICP アルゴリズムは、対応した点群の距離を最小にする剛体変換パラメータを得る手法であり、点群の位置合わせの剛体パラメータを得るための特徴量として、点群の座標のみを利用する手法である。

この従来手法を用いて提案手法と同じ点群データを用いて行ったレジストレーションの結果を以下に示す(Fig. 13~15)。

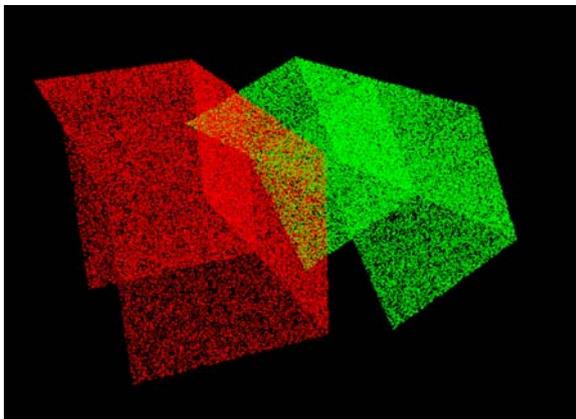


Fig. 13 After registration by PCL (Experiment 1).

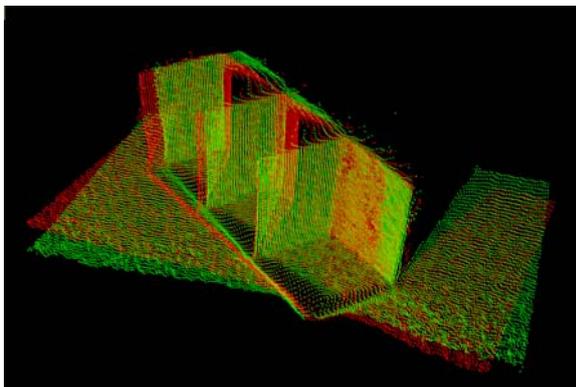


Fig. 14 After registration by PCL (Experiment 2).

実験 1, 2 (Fig. 3~8) を見ると本手法はレジストレーションに成功していることが分かるが、実験 3 (Fig. 9~12) ではレジストレーションに失敗している。Table1 を見ると平面を構成する点群に ± 3 [mm]のノイズをのせていることに対して、角度では小数点第 5 位までで誤差無し、平行移動距離では平均 0.0003[mm]程度のずれであり、座標変換パラメータの理論値との差が非常に小さいことから、人工データでは精度よくレジストレーションできていることが分かる。また、実験 2 では探索した座標変換パラメータにおける回転角度が約 $13.876[^\circ]$ であり、 $15[^\circ]$ ずらして計測しているため、計測誤差を考えると妥当な結果だと言える。実験 1 (Fig. 4,13) を見比べると従来手法 (PCL) のレジストレーションは全くうまくいっていないことが分かる。今回全てのケースで 15 回ずつ実験を行ったが、実験 1, 2 は 15 回全て同等の結果が得られた。実験 3 は全てに奥行き方向のずれの大きさは有るものの、回転角度は全て探索に成功した。

5. 考察

本研究で提案したレジストレーション方法では、Table1 より探索した座標変換パラメータの誤差は非常に小さい。また、実験 2 の実際の計測実験でのレジストレーションにも成功している。このことから 2 視点で異なる方向の法線ベクトルを持つ 3 つの平面が一致するような座標変換パラメータが求められれば十分な精度でレジストレーションを行うことができると考えられる。また従来手法 (PCL) でレジストレーションの精度が低いのは、2 視点間の位置のずれの大きさや計測誤差の影響が考えられる。実験 3 では、座標変換のパラメータを探索する際に用いた平面は Fig.11, 12 を見ると分かるように $45[^\circ]$ 方向からは 2 方向の異なる法線ベクトルを持つ平面しか計測できていなかったため、平行移動部分のパラメータがうまく探索できていなかった。この原因の 1 つとして、キネクトの計測方式によるマルチパスノイズの影響から対象物の形状を正確に取得できなかったためと考えられる。人工データのようなきれいな 3 つの独立した平面を計測することができれば、レジストレーションを行うことが可能だと考えられるが、実験を重ねて検証する必要がある。

本実験では、各方向からの点群データに対して高々 3~

5 コの平面を検出して点群データの重ね合わせの手掛かりとなる対応付けを行ったが、実問題のブロックなどを対象にする場合、点群から検出される平面は数十～数百となり、異なる方向間での平面の対応付けは組合せ爆発を起こす。この問題に対する対処法については今後の課題である。

6. 結論

本研究では、キネクトを用いて対象物の深度データを取得し、平面や円筒状の部材で構成される船舶内部のような人工物の特徴を活かした新たな点群データの重ね合わせ手法の提案・検証を行った。提案手法は点群から部分的な平面集合を検出し、異なる角度から計測された点群間でそれらの平面の対応関係を推定することを手掛かりにしてノイズの多い点群データの高精度な重ね合わせ処理が期待できる。実験の結果、計測対象物を構成する3つ以上の平面の法線ベクトルがそれぞれ独立した方向で取得できれば十分な精度が得られることを確認した。今後の課題として、キネクトの計測精度について、3つの独立した平面が存在しない場合についての重ね合わせ手法、計測した対象物の点群から寸法を推定する方法を考える必要がある。また、キネクトを実際に現場で使うために、平面だけでなく曲面にも対応したフィッティングと屋外における日射が計測機器の計測精度に与える影響についても今後検証する必要がある。

謝 辞

本研究は、日本造船工業会造船学術研究推進機構より平成27年度研究助成金の補助を受けました。ここに感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 河内基樹：深度計測デバイスによるデータからの3D図面自動生成に関する研究，2014年九州大学大学院工学研究院海洋システム工学専攻修士論文
- 2) M. A. Fischler, R. C. Bolles. : Random Sample Consensus A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography. Comm. of the ACM, Vol.24, .381-395(1981)
- 3) 山本晃：KinectとPCLを用いた立体物の3次元モデリング，2013年、京都産業大学コンピュータ工学部特別研究報告書