

DXを実現する3次元デジタルデータの 歪み自動補正に関する技術開発*

坂本潤嗣*¹ 青木勝彦*² 竹前和幸*² 田中 清*³

Technology Development of Automatic Distortion Correction of 3D Digital Data to Realize DX

Junji SAKAMOTO, Katsuhiko AOKI, Kazuyuki TAKEMAE and Kiyoshi TANAKA

ものづくりやインフラ測量におけるDXを実現するため、3次元データの活用が急速に普及している。株式会社AB.doと信州大学では、3次元データの歪み補正技術に関して特許技術を保有している。この技術の実用化を目的とした研究を、長野県工業技術総合センターの産学官連携技術開発推進事業の枠組みで実施した。その結果、点群データ生成に関する計算環境構築、簡易3次元データ取得装置の開発、観光用2次元マップへの応用などの発展・応用が実現できた。

キーワード：インフラ測量、3次元データ、歪み補正、産学官連携、点群データ

1 結 言

ものづくりやインフラ測量の現場において、製品形状、構造物、地形等の計測データのデジタル化、3次元(以降3D)化が急速に普及している。しかしながら、3Dセンサや、カメラ画像をもとに作成された3Dデータは、測定機の精度や、ノイズ、変換誤差などの影響により取得したデータそのものに精度が保証されない場合が多い。

(株)AB.doと信州大学では、AIにより3Dデジタルデータの寸法を補正する技術¹⁾を開発した。具体的には、3Dデータ取得時に、あらかじめ寸法が既知の指標となるマーカー等を配置する。そのマーカーをAIで検知して、歪み度合いを計算することで、マーカーに囲まれた領域全体のデータを補正する。

本研究では、この技術をベースとした応用展開、補正サービスの提供などの実用化に向けた各種研究を行った。本稿では、その研究の一部の具体的事例や検証結果を示す。

2 目 的

本研究のシーズである3Dデータ(点群データ)のゆがみ補正技術を軸に、実用化を目的とした下記の研究を実施する。補正技術を適用する対象の3Dデータ生成や取得方法に関する研究である。

(1) フォトグラメトリによる3Dデータ生成のための計

算環境の構築

(2) 簡易デバイスによる取得3Dデータのゆがみ補正

本稿では、それぞれの研究について方法と結果を報告する。(1)については3章に記す。当センターのAI学習用並列処理コンピュータに静止画像から高密度3D点群データを生成可能な画像処理ソフト(Agisoft社製MetaShape)を導入した。その性能評価を実施する。

(2)については4章に記す。簡易的に3Dデータを取得する手法について、ステレオカメラと3Dスキャナの性能評価を行う。

最後にその他の応用・発展研究の実施事例についても取り組み結果を示す。

3 フォトグラメトリ環境構築

3.1 フォトグラメトリ計算実験方法

3Dデータを取得する手法として、フォトグラメトリがある。フォトグラメトリとは、対象物をさまざまな角度から撮影した複数の写真から、カメラと対象物の3D座標を計算、推定し3Dデータを合成する技術である。要求する精度により、必要な写真点数は数十枚から数百枚になる。また画像の解像度も高いほど高精度な復元ができる。解像度が高い画像を大量に処理するには、高速処理可能なコンピュータが必要なため、長野県工業技術総合センター(以降当センター)所有のAI学習用並列処理コンピュータ²⁾(NVIDIA社製DGX-1,以降AIサーバ)を利用し、データ生成の効率化を検証した。(株)AB.doが保有するワークステーションと当センターのAIサーバで同じサンプルの生成を試みる。

復元対象はトートバックとし、図1に示す異なる角度

* 産学官連携技術開発推進事業

*¹ 情報システム部

*² (株)AB.do

*³ 信州大学 工学部



図1 3D形状復元対象のトートバック

表1 GPUの性能 諸元

機器	CPU型番 性能	GPU型番 性能	GPU 搭載数
NVIDIA社製 DGX-1 当センター所有 AIサーバ	Intel Xeon Processor E5- 2698 v4 2.2GHz 20core	NVIDIA Tesla V100 80unit 1530MHz 32.5GB	8
TEGARA社製 TEGSTAR (株)AB.do所有	Intel Xeon Gold 6230 2.1GHz 40core	NVIDIA GeForce RTX 2080 Ti 68unit 1545MHz 11.2GB	3

から撮影した複数の画像を用いる。合成には、8256×5504ピクセルの画像 300 枚の画像を用いた。計算比較対象を表 1 に示す。当センターの AI サーバは、8 個の GPU を搭載している。複数の GPU を並列計算させた場合の計算処理時間について写真アライメント (複数の写真の共通点から写真の位置合わせを行う処理) および 3D 点群データ作成の処理時間、データの品質比較について比較検証を行った。

なお、当センターの AI サーバは SSH によるセキュアなファイルアップロード環境を提供し、(株)AB.do からリモート操作で実験を行った。

3. 2 結果及び考察

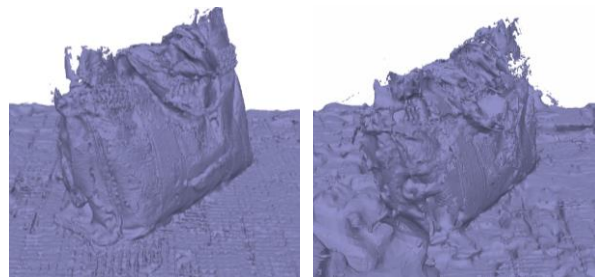
3. 2. 1 写真アライメント処理

写真アライメント処理結果については、2台のマシンで使用GPU数を変更する、CPU有効モードにするなど複数条件実験を行ったが、実験の結果、処理時間は11分と条件による違いはなかった。

このことから、使用したソフトウェアにおける写真アライメント処理は、GPUの性能や並列数に依存しない。また、ソフトウェア上で指定するCPU有効モードも処理時間の差がない。このことから主に写真アライメント処

表2 点群データ生成処理時間比較

機器	使用 GPU数	CPU有効	処理時間 [min]
NVIDIA社製 DGX-1 当センター所有 AIサーバ	8	○	50
	3	—	39
	4	—	35
	8	—	35
TEGARA社製 TEGSTAR (株)AB.do所有	3	○	55
	2	—	48
	3	—	40



(a) 合成結果 1

(b) 合成結果 2



(c) パラメータを最終調整した 3D データ

図2 合成した 3D データ

理はCPUに依存すると考えられるが、比較した機器のCPU性能はほぼ同等のクロック数で、差異がなかったものと考えられる。

3. 2. 2 3D点群データ生成処理

3D点群データ生成処理結果について表 2 に示す。CPU 有効モードで3Dデータ処理を行うと、使用しない場合と比較して処理時間が長くなることが確認できる。当センターのAIサーバでは、GPU4台利用時が最も処理時間が短く、GPUを過剰(8台)に増やしても処理時間短縮しなかった。(株)AB.do所有コンピュータではGPU3台を稼働させるのが最適であった。それぞれの機器の最適条件を比較すると、当センターのAIサーバが12.5%早い結果が得られた。

3. 2. 3 3Dデータの品質比較

フォトグラメトリによる3Dデータの出力結果は、パラメータの設定次第で品質が変化する。処理する写真の品質、ペア画像をつなぎ合わせるアルゴリズム、演算処理

設定など最適なパラメータがあり、対象物や復元したい精度により調整にはノウハウが必要であるが、今回はソフトウェアの初期設定で比較検証を実施した。

フォトグラメトリから合成した3Dデータの例を図2に示す。(a)はセンターAIサーバで合成したデータ、(b)は(株)AB.do所有のワークステーションで合成したデータである。

本検証では、同一条件にもかかわらず当センターのAIサーバのほうが、品質がよい結果が得られた。このことについて、使用したソフトウェアのバージョンは1.8と同じであり、GPUの使用個数および演算能力が関係している可能性がある。

具体的には、GPUのメモリが多いほど一時的により多くの画像情報を保持できるため、一度に解析(写真の位置合わせ)できる量が多くなり、結果的に複数写真の共通点が多く発見されることで、位置合わせの精度が向上し、綺麗な3Dデータになったものと推測する。なお、最終的にパラメータを調整しテクスチャを張り付けた3Dデータが(c)である。数多くの画像と適切な合成時のパラメータの設定により、精細な3Dデータを出力できている。

以上の検証のほか、同時に稼働できるかテストしたところ、当センターのサーバでは1つのソフトウェア起動時より処理速度よりは遅くなるが、3つまで同時にソフトウェアを並列稼働することも確認した。

MetaShapeで3Dデータを作る場合、機械処理が大半を占め、人間によるオペレーションはプロパティを設定する程度である。そのため、夜間に複数データを同時に自動処理するなどすれば効率的な運用ができる。

以上の結果から、処理時間、3Dデータの品質、同時稼働数の全てにおいて、当センターのAIサーバを使用する優位性が確認できた。

4 簡易3Dスキャン装置の性能評価

4.1 性能評価方法

フォトグラメトリは、必要な機材はカメラと合成ソフトウェアのみで、汎用性が高い。一方で画像から3Dデータを生成するため、画像枚数が多いほど高精度な3Dデータが必要で、合成に計算コストがかかる。それに対して、ステレオカメラは2つのカメラの視差から奥行を推定することで容易かつ瞬時に3D情報が得られる。また、3Dスキャナはパルス状の赤外線光を照射し、対象物に当たって戻るまでの時間から距離を検出するTime of flight(略称 ToF)などの手法があり、ダイレクトに3Dデータを得ることができる。

そこで本研究では、簡易3Dスキャナ装置開発にあたり、ステレオカメラ(Luxonis OAK-D Depth AI camera, 以降 Depth AI)および3Dスキャナ(Microsoft Azure Kinect, 以降 Kinect)この2台を比較し性能を評価した。2台の機種を比較を表3に示す。2機種とも開発環境が提供されており、ユーザー側で柔軟にカスタマイズが可能である。

表3 3Dスキャナ 比較表

機器	方式	対応開発環境 提供SDK
OAK-D Depth AI Camera	ステレオカメラ モノクロ	Python ROS DepthAI SDK & API
Microsoft Azure Kinect	ToF方式 赤外線 受動型	Python C C++ ROS Azure Kinect Sensor SDK



図3 スキャン実験対象写真



図4 取得3Dデータ(ステレオカメラ)



図5 取得3Dデータ(3Dスキャナ)

参考価格として、2機種とも5万円以下で入手性もよい。計測対象を図3に示す。透明なコップや陶器、マウスなど身近にあるものをスキャン対象とした。

4.2 性能評価結果および考察

4.2.1 評価結果

取得した3Dデータそれぞれ図4および図5に示す。初期設定では、図4のステレオカメラ(Depth AI)よりも図5の3Dスキャナ(Kinect)の方が高精度に取得できていることが確認できる。ステレオカメラは原理的に深度が浅く、取得できた点群も粗い。一方3Dスキャナは、計測精度がよく、ステレオカメラより広範囲のデータが取得できる。しかし、赤外線を計測に使用しているため、対象物の反射率の影響を受ける可能性がある。さらに、2台と

もに透明なガラスや、尖ったものの取得は困難であった。壁は、一様でない模様があれば取得可能であった。

この比較結果をもとに、本研究では比較的計測精度の良いKinectを採用した。

4. 2. 2 考察

本研究のシーズである3Dデータの歪み補正技術は、一辺10cmの立方体キューブマーカー(以後キューブ)2個以上を配置し、その内側のスキャン対象物を同時に取得する必要がある。その後、取得データについて、AIが自動検出したキューブの歪み情報をもとにスキャン対象物の補正を行うことで、キューブで囲われた領域の寸法精度が保証される。

本装置でキューブを取得した例を図6に示す。スキャン対象は急須とした。本来立方体であるキューブのエッジや平面が歪んでおり、物体の境界付近には後方に伸びる実際には存在しないノイズが含まれることが確認できる。このままのデータはキューブ検出精度が著しく低下する可能性がある。また、1方向からのスキャンでは裏側は欠損状態となる。

このことから、正しくキューブ検出を行うには、ノイズ除去と複数視点で取得した3Dデータの重ね合わせ(レジストレーション)の前処理が必要と考える。

4. 3 簡易3Dスキャン装置の試作開発

4. 2節の結果を踏まえて、本研究では簡易3Dスキャン装置に次の機能を実装した。

- (1) スキャンデータに含まれる外れ値(ノイズ)除去機能
- (2) 2個のデータの簡易位置合わせ機能
- (3) 撮影処理、上記操作のGUI機能

(1)については、プログラミング言語PythonのライブラリOpen3D³⁾の統計的外れ値除去を行うアルゴリズムを実装した。統計的外れ値処理は、まず、任意の点とその近傍点との距離の平均を求め、この平均値に基づいてあるしきい値を決定し、近傍点との距離がしきい値以上になる点を除去する。図7に外れ値検出例を示す。ユーザーは近傍点の個数としきい値を決定するパラメータを調整して、適切な外れ値(点線で囲われた領域)の除去が可能である。(2)については、点群のFPFH特徴量⁴⁾を抽出し、それぞれの対象の特徴点マッチングで、自動位置合わせを行う。

開発した簡易3Dスキャン装置の外観を図8に示す。Kinectはマルチプラットフォームに対応したSDKが公開されており、本研究では、LinuxディストリビューションUbuntuを搭載した小型ボードコンピュータ(NVIDIA社製Jetson Nano)と組み合わせた。本装置は、データ取得からノイズ除去、簡易位置合わせまで操作可能である。また、モバイルバッテリーで駆動が可能のため、電源の確保できない現場でのデータ取得作業も可能である。

4. 4 歪み補正のためのキューブ検出実験

欠損のない360°の3Dデータを得るには、少なくとも2つ以上の視点から取得したデータを合成する必要がある。

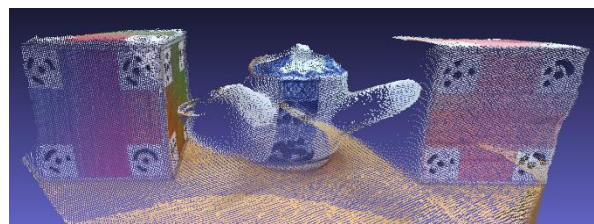


図6 キューブ スキャン結果



図7 外れ値検出機能



図8 簡易3Dスキャン装置外観



図9 2方向のスキャンデータ合成

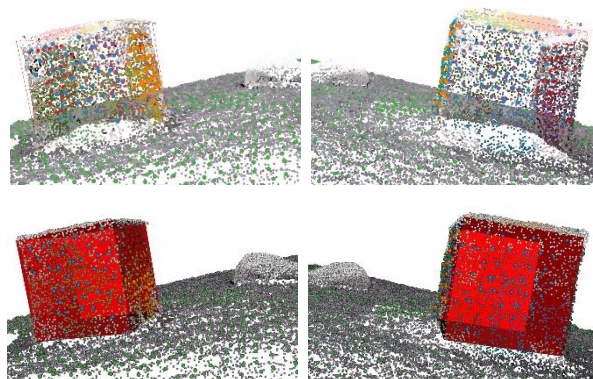


図10 歪み補正プログラムによるキューブ検出

そこで、スキャン時に平面と2つのキューブの3面が映るように位置を調整して、表、裏の2回のスキャンデータを合成したデータについて検証を行った。

合成した結果を図9に示す。スキャン対象として中央にマウスを配置している。本データは、前記の外れ値除去および位置合わせの前処理を行い、1つのデータに結合した。

歪み補正プログラム上でキューブを検出した結果を図10に示す。左右のキューブの平面を正しく検出できている。なお、上記の前処理を行わない場合は正しく検出できなかった。

以上の方法で、わずか2点の異なる視点のデータから補正システムが認識可能な3Dデータを効率的に作成することができた。最終的に本装置と補正技術の組み合わせにより、寸法精度が保証された3Dデータ作成できる。

5 結 論

本研究では、3Dデータ(点群データ)のゆがみ補正技術を軸に、実用化を目的とした研究を実施。それぞれ次の結論を得た。

- (1) フォトグラメトリ環境構築では、当センター保有のAIサーバを用いて、各種性能比較を行ったところ、処理時間、3Dデータの品質、同時稼働数の全てにおいて、当センターのAIサーバの優位性が確認でき、本サーバを用いることで高精度な3Dデータを短時間に生成でき、生成作業時間の短縮化が可能となった。このフォトグラメトリ生成ソフトウェアは、各種研究や設備利用等で一般利用できる。
- (2) 簡易3Dスキャン装置の試作開発では、ステレオカメラとKinectのデータ精度評価を実施し、Kinectと小型ボードコンピュータを用いた装置を開発した。データ取得からスキャンデータのノイズ(外れ値)除去、異なる視点のスキャンデータから特徴点による重ね合わせ、これらをGUI操作可能なソフトウェアを実装した。
- (3) さらに、最低表裏2回のスキャンデータ(キューブ3面が映り込む状態)で合成した3Dデータで、キューブを

正しく検出でき、歪み補正プログラムが適用可能であることが分かった。

- (4) 緒言に示した理由から一般的には3Dスキャナ等で取得した3Dデータには計測ノイズや歪みが含まれる。本装置と補正技術により簡易な装置で、効率よく寸法精度が保証された3Dデータが作成できるため、導入コスト、スキャンデータの取得作業量の低減、現場での有効活用が期待できる。

なお、その他の応用研究では、縮尺や距離が正確でない観光用2Dマップ等を補正し、正確な地図と位置情報を対比して表示するシステムを(株)AB.doで開発し、当センターでは試験的にそのwebサーバ環境を構築公開した。また、(株)AB.doにてオンプレミスで運用していた3Dデータ補正のwebサービス公開に向け、webサーバ環境を整えた。

以上のとおり当センター産学官連携技術開発推進事業の推進により、多面的に研究シーズの応用、可能性検討が実施できた。今後、(株)AB.doでは、引き続き信州大学、当センターと連携し本研究の成果をもとに、さらなる実用化検証をすすめる予定である。

参考文献

- 1) 青木勝彦ほか. 株式会社AB.doおよび国立大学法人信州大学. 三次元データスケール付与方法及び三次元データスケール付与プログラム. 特開2020-161034. (2020).
- 2) 坂本潤嗣, 山田哲靖. 長野県工業技術総合センターAI-Cloudの構築. 長野県工技センター研報.No.15, p. E26-E27 (2020).
- 3) Qian-Yi Zhou, et al. "Open3D: A Modern Library for 3D Data Processing". Open3D.org. <https://www.open3d.org/paper.pdf>, (参照日 2023-06-01)
- 4) 金崎朝子ほか. "詳解 3次元点群処理 Pythonによる基礎アルゴリズムの実装". 東京, 講談社. 2022, p.93-103.