

# (11) 点群データに含まれるノイズの統計的・幾何的手法を用いた自動的除去に関する研究

峰岸 樹<sup>1</sup>・江守 央<sup>2</sup>・佐田 達典<sup>3</sup>

<sup>1</sup>学生会員 日本大学大学院 理工学研究科 交通システム工学専攻 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)

E-mail: csta21007@g.nihon-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 日本大学准教授 理工学部 交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)

E-mail: emori.hisashi@nihon-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 日本大学教授 理工学部 交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)

E-mail: sada.tatsunori@nihon-u.ac.jp

近年、衛星測位技術の進歩やスマートフォン等の携帯情報端末の普及・高度化により、高精度な測位環境が整備された社会（高精度測位社会）の実現が見込まれている。奈良部らは屋内型 MMS を用いた 3 次元点群計測実験を行い、屋内ナビゲーションのための 3 次元モデルを作成した。しかし、点群の処理やモデリング作業の簡略化が課題として残った。そこで本研究では、歩行型 MMS を用いて取得した点群から屋内環境の 3 次元モデルを生成することを想定した上で、取得した点群に含まれるノイズの除去の自動化と、その手法に関する評価と考察を行い、点群データから 3D データを生成する作業の簡略化を行った。

**Key Words:** MMS, 3D point cloud, noise removal, Python, Open3D

## 1. はじめに

近年、衛星測位技術の進歩やスマートフォン等の携帯情報端末の普及・高度化により、高精度な測位環境が整備された社会（高精度測位社会）の実現が見込まれている。それに伴い、国土交通省では「高精度測位社会プロジェクト」<sup>1)</sup>として 3 次元地図や測位空間等の空間情報インフラの整備・活用に関する検討及び維持・更新を行っている。図-1 は国土交通省が公開している電子地図の一例である。このような平面的かつ情報量の多い地図は現在位置の把握や車いすなどの移動支援を必要とする利用者のル

ート選択が困難といえる。また、国土地理院は「3 次元総プロ」<sup>2)</sup>としてビル街や屋内の測位環境改善と屋内外測位の相互連携、公共的屋内空間を表現する 3 次元地図の整備・更新等に関する技術開発を行っている。しかし、衛星電波を受信できない屋内空間では統一的な測位手法が存在せず、未だ 3 次元地図の作成には至っていない現状にある。

このようななか、奈良部ら<sup>3)</sup>は屋内型 MMS を使用し 3 次元点群計測実験を行い屋内ナビゲーションのための 3 次元モデルを作成し、その結果から歩行者の移動支援等に点群データが活用可能である事を示した。しかし、点群の処理やモデリング作業の簡略化や自動化が今後の課題として挙げられている。

また、田中ら<sup>4)</sup>高橋ら<sup>5)</sup>は点群座標データから 3 次元モデルを自動生成する手法を提案した。しかし窓等の詳細な構造のモデリング手法の確立や点群に含まれるノイズの除去手法の提案が課題として挙げられている。

そこで本研究では、屋内型 MMS を用いて屋内環境の点群を取得することを想定し、屋内空間をモデリングする際に行う点群処理をすべて自動化することを最終的な目標として、取得した点群に含まれるノイズ除去の自動化と、その手法に関する考察を行うことを目的とする。

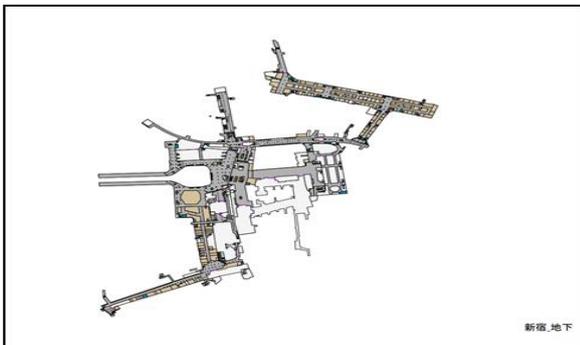


図-1 新宿駅地下空間の電子地図（出典：G 空間センター）

## 2. 点群データとノイズについて

### (1) 点群データとは

点群データとは、X,Y,Z の基本的な位置情報や色などの情報を持つ3次元データである。点群データを取得するには、UAV によるレーザー計測や SfM(Structure from Motion)など様々な方法が存在する。先行研究で奈良部らは、屋内型 MMS を用いて点群を取得した。屋内型 MMS は全方位カメラ、レーザーキャナ、IMU(慣性航法装置)、DMI(走行距離計)等で構成される。衛星電波の受信できない環境下での3次元点群計測が可能であり、人が押しながらか計測するシステムであることから、フロア間の移動が可能である。

### (2) 点群データに含まれるノイズ

点群データの計測にはレーザー光が用いられ、照射したレーザー光が物体に反射し、それを受け取ることで位置座標を取得し3次元形状を計測する。その際に様々な要因によってレーザー光の屈折や反射といった現象が起き、誤った位置に座標を取得してしまう事がある。そういった誤った位置座標に生成された点群データをノイズと呼ぶ。ノイズを発生させる主な要因としては、ガラス面がある。無色透明な物体は光を透過する性質を持つ。そのためレーザー光が反射せず、透過してしまうためノイズが多く発生する。図-2 は点群を取得した際に発生したガラス面のノイズである。支柱の間のガラス面に余分な点群が含まれているのが分かる。また、本研究は3次元モデル生成のための点群処理を目的としているため、計測の際に映り込んでしまった人の点群やモデリングに不要な構造物などもノイズとして扱う。

## 3. 研究概要

### (1) 研究対象

本研究では、研究対象データとして屋内型 MMS を用いて取得した日本大学工学部船橋キャンパス測量実習センター1階および渋谷駅地下空間の点群データを一部切り取り、ノイズ除去を行った。測量実習センター1階の点群データからはそれぞれ「階段」「壁面」「エントランス全体」を切り取り、ノイズ除去を行った。図-3 は実際の測量実習センター壁面の写真である。測量実習センターの点群は、

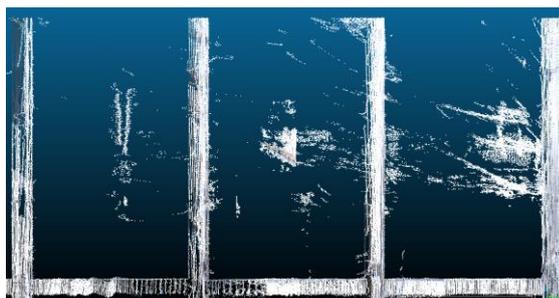


図-2 ガラス面に発生するノイズ

奈良部らの研究で取得した点群を用いた。壁面にガラスが多く使用されていることから、レーザー光がガラスに壁面反射して発生したノイズが多く含まれているのが特徴である。渋谷駅地下空間の点群は、太田ら<sup>6)</sup>の研究で取得されたデータから東京メトロ半蔵門線券売機前を一部切り取り、ノイズ除去を行った。渋谷駅地下空間は窓や鏡などのノイズを発生させるガラス面はあまり存在しないが、点群を取得する際に写り込んだ人や、モデリングに不要な構造物が多く含まれているのが特徴である。

### (2) 除去手法

本研究では、ノイズ除去プログラムに Python Open3D ライブラリを用いた。Open3D ライブラリは3D データを扱うソフトウェアの開発をサポートする目的で作られたオープンソースライブラリである。主な機能としては、基本的な3D データ処理アルゴリズムやPythonのバインディングなどが可能である。

はじめに、対象点群のダウンサンプリングを行い、取得した点群データの間引きを行う。ダウンサンプリング手法には Voxel ダウンサンプリングと Uniform ダウンサンプリングの2つの手法を用いた。

図-4 および図-5 はダウンサンプリング手法のイ



図-3 実際に撮影した測量実習センター壁面の写真

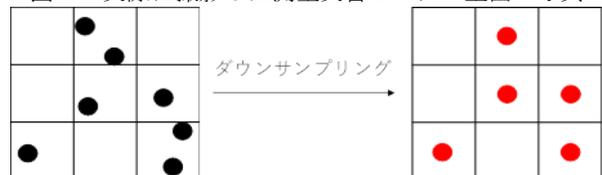


図-4 Voxel ダウンサンプリング手法のイメージ図

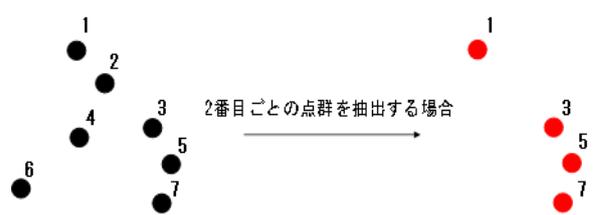
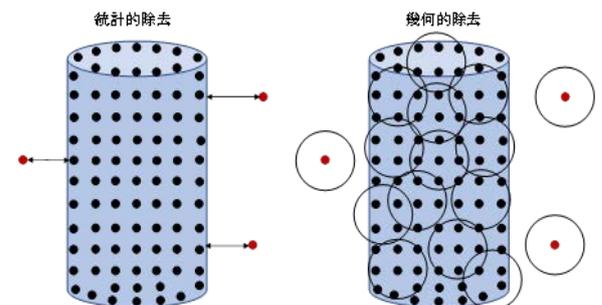


図-5 Uniform ダウンサンプリング手法のイメージ図



●: ノイズではない点群  
●: ノイズとして除去する点群

図-6 ノイズ除去手法のイメージ図

メージ図である。Voxel ダウンサンプリングは、点群内にボクセルを生成し、その中に含まれる点群を一つの点群としてまとめ上げダウンサンプリングを行う。ダウンサンプリング後の点群はボクセルを用いるため全体的に均一に配置される傾向にある。一方、Uniform ダウンサンプリングは n 番目ごとの点群を抽出してダウンサンプリングを行う。ボクセルで均一化される Voxel ダウンサンプリングに比べ、密度の高い箇所は密度の高いまま、密度の低い箇所はより低くなるため、元点群の特徴をより引き立たせる傾向にある。

その後、ダウンサンプリングされた点群データからノイズの除去を行う。ノイズ除去手法には統計的除去と幾何的除去の2つの手法を用いた。図-6 は除去手法のイメージ図である。統計的除去は点群全体の平均距離と比較して、隣接する点から離れている点群を削除する。一方、幾何的除去は点群データ内に球体を生成し、その球内に隣接点がほとんどない点群を削除する。これらの手法を用いてノイズ除去を行い、全ての除去結果に対して除去性能の評価を行う。

### (3) 評価方法

本研究の評価方法として、各対象点群のノイズを手作業で除去し、その点群を正解点群として、各除去結果から以下の式(1)、(2)、(3)より適合率(Precision)・再現率(Recall)・F値を算出して定量的な除去性能の評価を行った。

適合率は除去結果の中にどの程度正解点群が含まれているかを示し、正解点群と一致した点群数 (TP) を除去結果の点群数 (TP + FP) で割ることで算出する。適合率が高いほど除去結果の中に含まれる余分な点群が少ないことになる。一方、再現率は正解点群のうち、どの程度除去点群が含まれているかを示し、正解点群と一致した点群数 (TP) を正解点群数 (TP + FN) で割ることで算出する。再現率が高いほど除去結果に含まれる正解点群が多いことになる。また、F値は2つの調和平均を取った値である。この値が高いほど除去性能が高いとして評価を行う。

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (1)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (2)$$

$$F値 = \frac{2Recall * Precision}{Recall + Precision} \quad (3)$$

## 4. 研究結果

各除去結果のF値を以下の表-1および表-2に示す。階段の点群のF値は、どの手法においてもほとんど差がなかった。ガラス面のノイズを多く含む壁面や



図-7 除去前の壁面の点群



図-8 除去前の壁面の点群



図-9 除去前の券売機前の点群

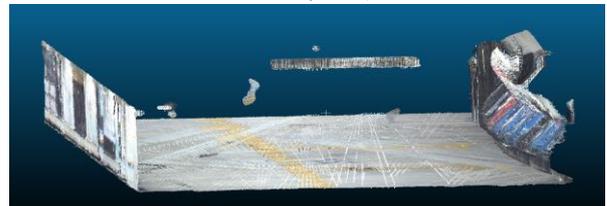


図-10 除去後の券売機前の点群

表-1 Voxel ダウンサンプリングにおける各除去結果のF値

	Voxel ダウンサンプリング	
	統計的除去	幾何的除去
階段	0.99	0.98
壁面	0.94	0.91
部屋全体	0.69	0.64
渋谷駅	0.99	0.97

表-2 Uniform ダウンサンプリングにおける各除去結果のF値

	Uniform ダウンサンプリング	
	統計的除去	統計的除去
階段	0.98	0.98
壁面	0.86	0.86
部屋全体	0.60	0.60
渋谷駅	0.94	0.94

部屋全体の点群では、Voxel ダウンサンプリングと統計的除去の組み合わせが最も除去性能が高かった。また、不要な構造物や人の点群が含まれた渋谷駅券売機前の点群においても、わずかではあるもののVoxel ダウンサンプリングと統計的除去の組み合わせが最も除去性能が高かった。図-7 および図-8 はノイズを除去する前の点群と統計的除去を行った壁面の点群であるが、ガラス面のノイズを除去しきれないことがわかる。また、図-9 および図-10 はノイズを除去する前の点群と統計的除去を行った渋谷駅券売機前の点群であるが、渋谷駅券売機前の点群においても、点群を取得する際に映り込んでいる人の点群を完全に除去しきることは出来なかった。

## 5. 考察

本研究で、各手法を用いてノイズ除去を行い定量的な評価を行った結果、ノイズ除去自動化性能として Voxel ダウンサンプリングと統計的除去の組み合わせが最も高かった。理由としては、Voxel ダウンサンプリングはボクセルを用いるため点群が比較的均一に配置され、構造物部分とノイズ部分で平均距離の分散に差が生じた。統計的除去は平均距離を用いて外れ値を除去する手法であるため相性が良く、高い除去性能を得られたと考えられる。図-11 および図-12 に構造物部分とノイズ部分の点群を示す。

また、どの手法においてもガラス面や人のノイズを完全に除去する事が出来なかった。構造物部分の点群は均一に配置される一方、ガラス面や人のノイズは高密度かつ乱雑に配置される特徴がある。以下の図-13 は測量実習センター壁面の一部を拡大した図である。緑の枠で囲われた部分が構造物で、それ



図-11 構造物部分の点群



図-12 ノイズ部分の点群

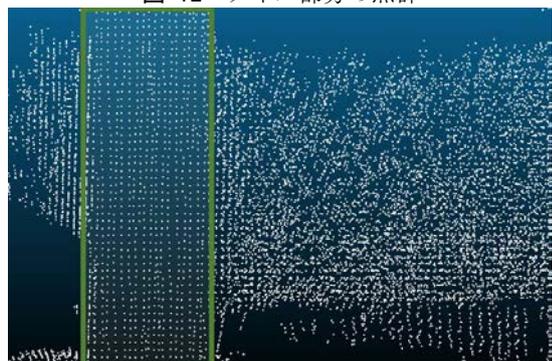


図-13 測量実習センター壁面の拡大図

以外がガラス面のノイズとなる。この画像からも、ガラス面のノイズが構造物部分よりも密度が高い事が見て取れる。本手法は構造物よりも密度の低い点群を抽出し削除する手法であるため、構造物よりも密度の高いノイズ部分をノイズとして判定出来なかったのが原因であると考えられる。

## 6. おわりに

本研究では、屋内型MMSで取得された点群データに対していくつかの手法を用いて機械的にノイズ除去を行った結果、ガラス面のノイズを多く含んだ点群に対しては Voxel ダウンサンプリングと統計的除去の組み合わせが最も効果的だが、そうでない点群に対してはあまり差がないことがわかった。

今後の課題として、ガラス面や人の構造物よりも密度の高い点群を除去する新たな手法を提案する必要がある。また、今回階段や壁面など、対象となる点群を手動で切り取ったが、機械的に点群データの属性を分類し切り取る手法を提案し、より点群からモデリングを行う作業の簡素化につなげる必要がある。

謝辞：実験や解析を行うにあたり、ご協力いただきました奈良部昌紀様に心より御礼申し上げます。

さらに、実験にご協力いただいた、株式会社ニコン・トリンプルの岩上弘明氏に心より謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 国土交通省：高精度測位社会プロジェクト1，<[https://www.mlit.go.jp/kokudoseisaku/kokudoseisaku\\_tk1\\_000091.html](https://www.mlit.go.jp/kokudoseisaku/kokudoseisaku_tk1_000091.html)>（入手 2021.06.06）
- 2) 国土地理院：3次元総プロ，<<https://www.gsi.go.jp/chirijoho/chirijoho40073.html>>（入手 2021.06.06）
- 3) 奈良部昌紀, 佐田達典, 江守央：屋内型MMSを用いた世界測地系に基づく点群データによる屋内空間の3次元モデル作成，土木学会論文集 F3(土木情報学), Vol.74, No.2, pp.II\_48-II\_54, 2018.
- 4) 田中成典・今井龍一・中村健二・川野浩平：点群座標データを用いた3次元モデルの自動生成に関する研究，知能と情報（日本知能情報ファジィ学会誌），Vol.23, No4, pp.572-590, 2011.
- 5) 高橋勇斗・伊達宏昭・金井理：レーザー計測点群からの規則性を考慮した屋内環境モデリングー共平面と等間隔を考慮したモデリングー，2018年度精密工学会学術講演会講演論文集，pp.79-80, 2018.
- 6) 太田耕介・江守央・佐田達典：MMSを用いた3次元データにおけるサイン評価への適応可能性の検討，土木学会論文集 F3（土木情報学），Vol.74, No.2, pp.I\_29-I\_37, 2018.