

大規模 3D 点群データから高精細移動経路検出手法 High Resolution Path Detection from Large 3D Point Cloud

件 小軍¹⁾ 谷田 隆一¹⁾
Xiaojun Wu Ryuichi Tanida

1 はじめに

近年、LiDAR など高精細 3D 計測デバイスを搭載した車やドローンによる移動式 3D 点群収集システムが開発され、大規模な点群データの収集が普及し始めている。このようなデータはリアルワールドのデジタルツインとして注目され、都市開発、インフラ保守、自然災害対策などへの応用が広がりつつある。VR/AR などの分野において、点群データをダイレクトにサイバー空間に取り込み、様々な映像表現や映像体験が考えられる。図 1 にその一例を示す。このように、点群データは新たなリッチコンテンツとしての可能性も秘めていると言える。この可能性を実用的にするには、以下の技術課題が考えられる。

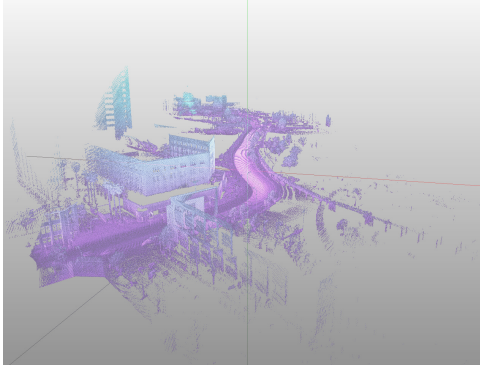


図 1 点群データの CG 描画例: 横浜みなとみらいエリアの実測データを高さに沿ってカラーリングを行った。

計算リソースの課題 GPU の搭載メモリ量や処理能力に限界があり、一度に描画可能な点の数に上限がある。これを回避するため、一般的には、データ分割や間引きなどのプレ処理が欠かせない。点群が膨大になるにつれ、これらのプレ処理の煩雑さが増し、根本的な解決にはならない。

操作性の課題 3DCG では、仮想カメラを 6DoF モデルに沿って制御する設計が一般的である。この設計のメリットは自由度が高く、原理的に任意の画角設定が可能である。デメリットは仮想カメラが独立した座標系を持つため、手動で対象を安定して撮ることが困難である。特に、広域な点群内の視点移動は煩雑になりがちで、対象シーンの画角が安定しにくい課題がある。

これらの課題を解決するに当たり、文献 [1] では、階層的な八分木 (OCTREE) データ構造に基づき、階層的な解析アルゴリズムを提案した。図 2 に八分木構造化の例を示す。この構造化は各階層における点群座標値の量子化を意味すると言える。量子化することにより、大ま

かな形状を維持しつつ、描画や解析などの処理コストが削減できる。本論文では、階層的モデル解析の考え方をを用いて、広域大規模な街点群から高精細移動経路の検出手法を提案する。2 節で RANSAC を用いた階層的モデル解析の基本アルゴリズムを説明し、3 節では大規模点群データに適用する処理フローを紹介する。

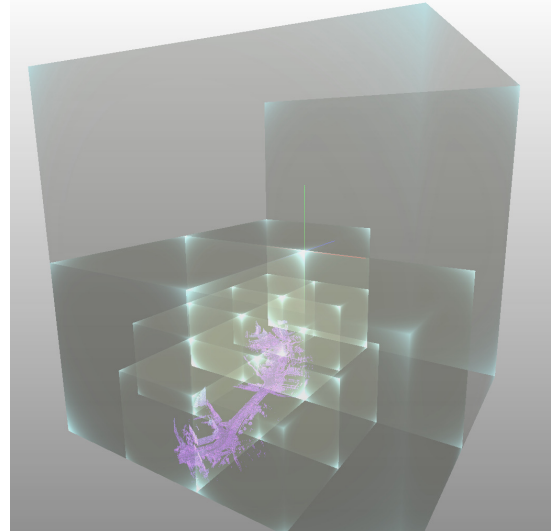


図 2 八分木構造の CG 描画例: 図 1 の点群を八分木構造化し、3 つの階層のボクセルを描画した。各階層のボクセルサイズはそれぞれ、全点群を含む立方体の $(1/8)^0, (1/8)^1, (1/8)^2$ になる。

2 階層的 RANSAC

街の点群データでは、建物などは高さ为非均等であるのに対し、道路面は穏やかな起伏をもつ曲面とみなすことができる。この曲面の近似として平面モデルを用いた表現が可能と考える。つまり、平面を検出することにより、道路面が検出できる。

八分木構造の階層を n とし、この階層のボクセル群を集合 $\{V_n\}$ で表す。 $n+1$ 階層はより高い解像度とし、 $\{V_{n+1}\}$ は $\{V_n\}$ を 1 階層八分割して得られる。これを式 $\{V_{n+1}\} = D(\{V_n\})$ で表す。 $\{V_n\}$ について平面モデル推定を RANSAC[2] で行い、結果を P_n とする。これを式 $P_n = \text{RANSAC}(\{V_n\})$ で表す。平面 P_n と交差するボクセルは $\{C_n\}$ とし、交差を求める処理を式 $\{C_n\} = P_n \otimes \{V_n\}$ で表す。階層的 RANSAC アルゴリズムは次のようになる。

1. 初期階層を n とし、推定対象の点群を $\{W_n\} = \{V_n\}$ とする。
2. $P_n = \text{RANSAC}(\{W_n\})$
3. $\{C_n\} = P_n \otimes \{W_n\}$
4. $\{C_{n+1}\} = D(\{C_n\})$
5. $\{W_{n+1}\} = P_n \otimes \{C_{n+1}\}$

1) NTT 人間情報研究所 NTT Human Informatics Laboratories

6. 表記 $n \rightarrow n + 1$ に更新し, 上記 (2) へ指定回数繰り返す.

上記アルゴリズムでは, 各階層について 1 つの平面モデルだけを推定する. 階層が深くなるにつれ, 解像度が高くなり, 道路の起伏のため, 単一平面モデルの推定精度が下がる. 精度向上のため, $\{W_n\}$ を複数の子集合に分割し, 複数の平面モデル推定を行うよう, アルゴリズムの拡張を行った (詳細は文献 [1] 参照). 拡張アルゴリズムでは, 階層 n の推定平面 P_n に, 階層 $n + 1$ の各ボクセル中心座標を射影し, ボクセルの 2D マップを構成することで, 八分木構造のノード間距離計算 [3] を回避し, 高速な分割推定が行える. 以下に分割推定アルゴリズムを示す.

2.1 分割推定アルゴリズム

$\{W_n\}$ の VoxelMap を M_n とし, M_n を生成する処理は式 $M_n = p(\{W_n, P_n)$ で表す. M_n を分割した部分画像集合を $\{r_{n_i}\}$ とし, 画像分割処理を式 $\{r_{n_i}\} = s(M_n)$ で表す. r_{n_i} に対応するボクセル群は w_{n_i} とし, $\{W_n\}$ を空間分割した集合群 $\{w_{n_i}\}$ を求める処理は式 $\{w_{n_i}\} = f(\{r_{n_i}\}) = f(s(M_n))$ で表す. VoxelMap を用いた階層的 RANSAC アルゴリズムは次のように拡張される.

1. 初期階層を n とし, 推定対象の点群を $\{W_n\} = \{V_n\}$ とする.
2. $P_n = \text{RANSAC}(\{W_n\})$
3. $M_n = p(\{W_n, P_n)$
4. $\{w_{n_i}\} = f(s(M_n))$
5. すべての要素 w_{n_i} について 2 節の階層的 RANSAC を行う.

初期 VoxelMap 及び分割推定の実行イメージを図 3 に示す.

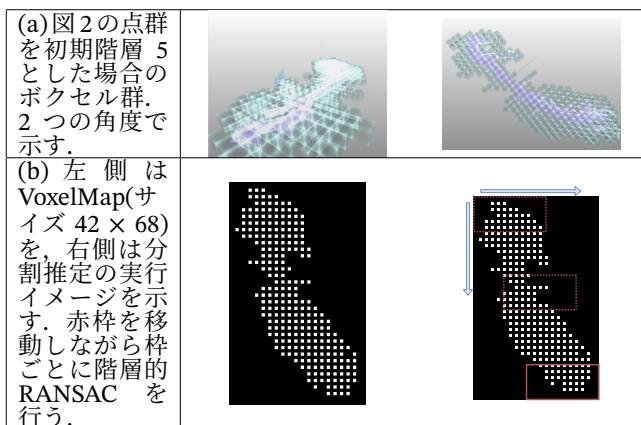


図 3 階層 RANSAC の初期化

3 大規模点群への適用

今までの議論では, 検出できる道路面は空間的に連続することが望ましい. 段差が存在する道路では, 道路面の一部しか検出できない. 実際の街では, 車道, 歩道, 歩道橋など通行可能な道路面が立体的に交差して存在する. このような大規模な点群データから, 高精細に移動経路をもれなく検出するには, 段差に対応し, 反復検出を行う必要がある.

2.1 節のアルゴリズムを実行した場合, 検出結果が最終階層のボクセルの集合であることに注目した. 初期階層を n とし, 最終階層を m とする. 最終結果が集合 $\{w_{m_i}\}$ になる. $\{w_{m_i}\}$ を含む n 階層の親ボクセル集合は八分木構造をたどれば容易に求まり, これを $\{V_n^m\}$ で表す. 集合 $\{V_n\} - \{V_n^m\}$ を新たな推定対象とし, 2.1 節のアルゴリズムを適用すれば, 段差で区切られる別の道路が検出される. 以下にアルゴリズムをまとめる.

1. 初期階層を n とし, 推定対象の点群を $\{W_n\} = \{V_n\}$ とする.
2. 2.1 節のアルゴリズムを実行し, 最終階層を m とする.
3. 実行結果から, n 階層の親ボクセル集合 $\{V_n^m\}$ を求める.
4. 新たな推定対象を $\{W_n\} = \{V_n\} - \{V_n^m\}$ をとし, ステップ 2 へ繰り返す. ただし, 推定対象の個数が一定値以下なら, 終了する.

4 まとめと今後の課題

本論文では, 階層的モデル解析のアルゴリズムを踏まえ, 大規模点群データについて, 自動的に高精細移動経路の検出のアルゴリズムを提案した. 有効性を検証するため, 初期階層, モデル分割サイズ, 反復推定の回数などのパラメータについて評価実験を行う予定である.

参考文献

- [1] 件小軍, 谷田隆一, 島村潤: “階層構造に基づく大規模 3D 点群データのインタラクティブ可視化”, 映像情報メディア学会技報, Vol. 47, No. 9, pp. 43–46 (2023).
- [2] M. Fischler and R. Bolles: “Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography”, Communications of the ACM, Vol. 24, No. 6, pp. 381–395 (1981).
- [3] Bertram H. Drost and Slobodan Ilic: “Almost constant-time 3D nearest-neighbor lookup using implicit octrees”, Machine Vision and Applications, Vol. 29, No. 2, pp. 299–311 (2018).