

# 自己位置推定のための正規分布地図の圧縮に関する一検討

## A Study on Normal Distributions Map Compression for Localization

松崎 康平<sup>†‡</sup>

田坂 和之<sup>‡</sup>

川西 康友<sup>†‡</sup>

村瀬 洋<sup>†‡</sup>

Kohei MATSUZAKI<sup>†‡</sup> Kazuyuki TAsAKA<sup>‡</sup> Yasutomo KAWANISHI<sup>†‡</sup> and Hiroshi MURASE<sup>†‡</sup>

<sup>†</sup> 名古屋大学

<sup>†</sup> Nagoya University

<sup>‡</sup> 株式会社 KDDI 総合研究所

<sup>‡</sup> KDDI Research, Inc.

**Abstract** In this paper, we propose a data compression method for environmental maps constructed by 3D NDT. The proposed method vectorizes normal distribution parameters of voxels and applies vector quantization to them. Experiments showed that the proposed method reduces map data size by two orders of magnitude while maintaining localization accuracy.

### 1. はじめに

測域センサを用いた自己位置推定は高い位置推定精度を達成する一方で、地図データ量の大きさが課題となる。本稿では、データ量の小さい地図を用いて高精度な自己位置推定を実現する手法である 3D Normal Distributions Transform (NDT) 法[1]によって構築された地図に対し、ベクトル量子化を適用することによって地図データ量を低減する手法を提案する。本稿の実験では、提案手法が自己位置推定の精度を維持しつつ地図データ量を 2 桁低減することを示した。

### 2. 関連研究

測域センサを用いた自己位置推定は、予め構築した環境地図と現在位置で測定したスキャンデータをマッチングさせることによって実現される。一般的には Iterative Closest Point (ICP) 法[2]が使用され、この手法では 3 次元点群を環境地図とする。しかしながら、3 次元点群は大量の点データの集合として表現されるため、大規模な環境を表す環境地図はデータ量が膨大となる。したがって、ストレージ容量や通信帯域に制限がある場合にも自己位置推定を実現するためには、環境地図のデータ量を低減する必要がある。

この課題に対処するために、よりデータ量の小さい形式に変換した環境地図を用いて自己位置推定を行う手法が提案されている。最も代表的な手法は正射投影に基づく手法[3]と 3D NDT 法[1]である。前者の手法は 3 次元点群を正射投影された俯瞰画像として表現する。後者の手法は空間を粗いボクセルで分割し、ボクセル毎に点群を正規分布のパラメータに変換する。そして、よりデータ量の小さい形式に変換された地図とスキャンデータをマッチングさせることより、自己位置を推定する。しかしながら、これらの手法は 3 次元点群に比べてデータ量を 2 桁低減する程度であり、大規模な環境地図に対してはデータ量の低減率が十分ではない。

そのため、変換後の地図にデータ圧縮を適用するこ

とによって、更にデータ量を低減する手法も提案されている。X. Wei ら[4]は正射投影画像にデータ圧縮を適用することにより、自己位置推定精度を維持しつつ地図データ量を 2 桁低減した。しかしながら我々の知る限り、3D NDT 法によって構築された環境地図にデータ圧縮を適用する試みは無い。

### 3. 提案手法

本稿では、3D NDT 法によって構築された地図データを圧縮する手法を提案する。3D NDT 法では、3 次元点群を粗いボクセルで分割し、ボクセル毎に内部の 3 次元点群を正規分布  $\mathcal{N}(\boldsymbol{\mu}, \boldsymbol{\Sigma})$  に変換する。ここで、 $\boldsymbol{\mu}$  は平均、 $\boldsymbol{\Sigma}$  は分散共分散である。また、各ボクセルは自身の座標  $\mathbf{c}$  を持つ。したがって、3D NDT 法によって構築された地図は、ボクセルのパラメータ  $\Theta = \{\mathbf{c}, \boldsymbol{\mu}, \boldsymbol{\Sigma}\}$  の集合として表現される。

提案手法は、 $\Theta = \{\mathbf{c}, \boldsymbol{\mu}, \boldsymbol{\Sigma}\}$  の集合に対してデータ圧縮を適用する。座標  $\mathbf{c}$  に対しては、ボクセルの様な規則的なデータに対して高い圧縮効率を持つ八分木圧縮法[5]を適用する。そして、平均  $\boldsymbol{\mu}$  と分散共分散  $\boldsymbol{\Sigma}$  に対しては、類似するパターンを持つデータに対して高い圧縮効率を持つベクトル量子化[6]を適用する。

具体的には、各ボクセルの持つ  $\boldsymbol{\mu}$  と  $\boldsymbol{\Sigma}$  の要素を一列に並べることによってベクトル化する。ここで、 $\boldsymbol{\Sigma}$  の要素の単位は  $\boldsymbol{\mu}$  の要素の単位の二乗となるため、 $\boldsymbol{\Sigma}$  の要素に対しては平方根をとることによって単位を正規化する。ただし、共分散の要素は負の値をとる可能性があるため、符号付き平方根をとる。また、 $\boldsymbol{\mu}$  と  $\boldsymbol{\Sigma}$  は異なる種類の特徴量であるため、値のスケールが異なる可能性がある。そのため、min-max 正規化法を用いて値のスケールを  $[0, 1]$  の範囲に統一する。この最、ベクトル毎に正規化パラメータを求めるとデータ量が大きくなるため、訓練データの集合から正規化パラメータを求め、全てのベクトルに対して共通の正規化パラメータを用いて min-max 正規化を行うものとする。そして、

予め学習したコードブックを用いてベクトル量子化を適用することにより、地図データを圧縮する。

データを復元する際には、圧縮と逆の処理を行う。すなわち、コードブックを用いてベクトルを復元した後、正規化パラメータを用いてベクトルを逆正規化することにより、ボクセル毎の $\Theta = \{\mathbf{c}, \boldsymbol{\mu}, \boldsymbol{\Sigma}\}$ を得る。

#### 4. 評価実験

評価用データセットとして、都市部をLiDARセンサで計測した3次元点群データを含むKITTIデータセット[7]を利用する。また、コードブックはMUデータセット[8]の3次元点群を用いて学習した。本実験では、ICP法[2]、3D NDT法[1]、提案手法に要する地図のデータ量と自己位置推定精度を比較する。自己位置推定精度の指標としてRMSE (Root Mean Square Error) を使用する。ここでは、ランダムに選択した100通りのスキャンデータに対し、真値から離れる姿勢変換を施した位置姿勢を初期値としてそれぞれ100回の自己位置推定を行い、RMSEを求めた。姿勢変換では、半径2[m]以内のランダムな平行移動とz軸周りに $\pm 5^\circ$ のランダムな回転を組み合わせた。3D NDT法および提案手法では、ボクセルの解像度をメートル単位の $r \in \{1, 2, 3\}$ に設定した。また、提案手法のコードブックサイズを $K \in \{2^1, 2^2, \dots, 2^{18}\}$ に設定した。

図1は、3次元点群地図のデータ量を基準とした地図データの圧縮比を横軸、RMSEを縦軸として測定結果をプロットしたグラフを示している。ICP法は3次元点群を環境地図とするため、圧縮比は1となる。3D NDT法はボクセル解像度 $r$ が大きいかほど点群を粗く近似するため、圧縮比が改善する一方で自己位置推定精度が悪化する。提案手法 (Prop) は、全ての解像度 $r$ において3D NDT法より圧縮比を2桁改善する一方で、自己位置推定精度をわずかに悪化させた。これは、ベクトル量子化による圧縮と、復元によって生じる量子化誤差のためである。

また、図2に正規分布を緑色の楕円体で表現することによる正規分布地図の可視化結果を示す。この図では、正規分布の元となる3次元点群も白色で重畳する。図2(a)は $r=2$ の場合の無圧縮の正規分布地図を表しており、図2(b)はサイズ $K=2^{18}$ のコードブックを用いて提案手法で圧縮と復元を行った正規分布地図を表している。これらを比較することにより、提案手法が形状的に類似する楕円体を復元できていることがわかる。

#### 5. おわりに

本稿では、3D NDT法によって構築された環境地図にデータ圧縮を適用することによって、データ量を低減する手法を提案した。公開データセットを用いた実験では、提案手法の有効性が示された。今後は、自己位置推定以外の課題への応用を検討する。

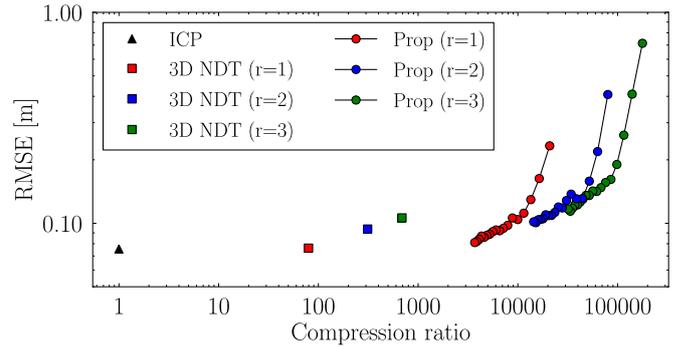


図1 自己位置推定精度と圧縮比の関係

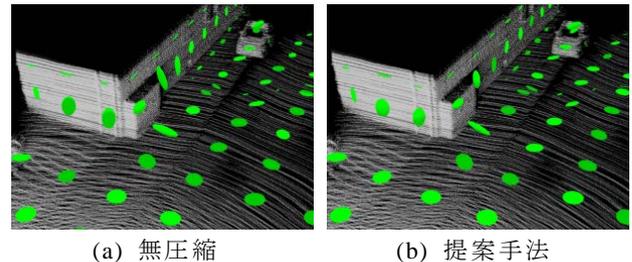


図2 正規分布地図の可視化

#### 文 献

- [1] M. Magnusson, A. Lilienthal, and T. Duckett, "Scan Registration for Autonomous Mining Vehicles using 3D-NDT," JFR, vol. 24, no. 10, pp. 803–827, 2007.
- [2] P. J. Besl and N. D. McKay, "A Method for Registration of 3-D Shapes," IEEE Trans. on PAMI, vol. 14, no. 2, pp. 239–256, 1992.
- [3] J. Levinson, M. Michael, and T. Sebastian, "Map-Based Precision Vehicle Localization in Urban Environments," Proc. RSS, 2007.
- [4] X. Wei, I. A. Bârsan, S. Wang, J. Martinez, and R. Urtasun, "Learning to Localize Through Compressed Binary Maps," Proc. CVPR, pp. 10316–10324, 2019.
- [5] A. Hornung, K. M. Wurm, M. Bennewitz, C. Stachniss, and W. Burgard, "Octomap: An Efficient Probabilistic 3D Mapping Framework based on Octrees," Autonomous Robots, vol. 34, no. 3, pp. 189–206, 2013.
- [6] R. M. Gray, "Vector Quantization," IEEE ASSP Magazine, vol. 1, issue 2, pp. 4–29, 1984.
- [7] A. Geiger, P. Lenz, and R. Urtasun, "Are we ready for Autonomous Driving? The KITTI Vision Benchmark Suite," Proc. CVPR, pp. 3354–3361, 2012.
- [8] J.-L. B.-Claraco, F.-Á. M.-Dueñas, and J. G. Jiménez, "The Málaga Urban Dataset: High-rate Stereo and LiDAR in a Realistic Urban Scenario," IJRR, vol. 33, no. 2, pp. 207–214, 2014.

† 名古屋大学大学院情報学研究科

〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町

‡ 株式会社KDDI総合研究所メディア認識グループ

〒356-8502 埼玉県ふじみ野市大原2丁目1番15号

E-mail: ko-matsuzaki@kddi-research.jp