

正六角格子の拡張 DEM による三次元測域センサを用いた 屋内環境のモデリング

水内 健祐 永谷 圭司 吉田 和哉 (東北大学)

Indoor Environment Modeling with Extended DEM of Regular Hexagonal Grids using 3D Scanning Sensor

K. Mizuuchi, K. Nagatani, and K. Yoshida (Tohoku University)

Abstract: In order to operate indoors or in the disastered areas, mobile robots need appropriate data structures that provide a compact and accurate representation of the environment. Digital Elevation Map (DEM) technics have been known for years. However, they cannot represent indoor environment well because of ceilings and more complicated objects, and using rectangular grids for DEM is less accurate than regular hexagonal grids. In order to solve this issue, we implement Multi-Level Surface Maps based on regular hexagonal grids. In this paper, we develop and evaluate this data structure.

Key Words : Digital Elevation Map, 3D Scanning Sensor, Regular Hexagonal Grids

1 はじめに

近年、地震や異常気象による災害への防災意識が高まる中、災害地での情報収集にレスキューロボットを導入しようという研究開発が活発におこなわれている。災害で被災した建物内を探索する移動ロボットにとって、未知環境の地図を構築していくことは、その後の被災者救助につながる重要な課題である。しかしながら、広域な三次元地図を構築するとき、データが膨大になり、データ処理や3次元環境の表現に、時間が必要になる。そのため、少ないデータ量で正確に環境を表現することは、広域地図を生成する上で重要な技術と言える。

少ないデータ量で三次元表現を行う手法として、Digital Elevation Map (DEM) がある。これは、グリッド面に高さ情報を与えることで凹凸を表現するため、データ量を大幅に削減できるが、天井や机といった複雑な形状を持つ物体が多数存在する屋内環境を正確に表現することができない。また、DEMは一般的に正方形格子を基準としてデータを格納しているが、正六角格子を基準とすることにより、より正確に環境を復元できる特性を持つ [1]。

そこで、本研究では、屋内環境をより正確に、かつ少ないデータで表現する手法について提案を行う。具体的には、三次元環境を、R.Triebelらによって提案された Multi-Level Surface Maps(以下、MLS Maps と略す。)[2] で表現することで、データ量を削減し、さらに、正六角形の基準格子を組み合わせたグリッド平面にデータを格納することで、より正確な環境表現を実現する。また、この手法を、三次元測域センサを用いて獲得した三次元環境データに適用し、屋内環境表現に対する評価を行った。

本稿では、本手法の紹介ならびに、この手法を用いた環境表現に対する評価結果の一例を示し、手法の有用性について検討する。

2 正六角格子の Digital Elevation Map

2.1 Digital Elevation Map の生成

DEM は 2.5 次元の表現手法とも言われるもので、地形を水平面内の基準格子で分割し、各セルに高度情報が付加された地形情報である。DEM を用いて、データを削減するとき、重要なパラメータは格子の大きさである。

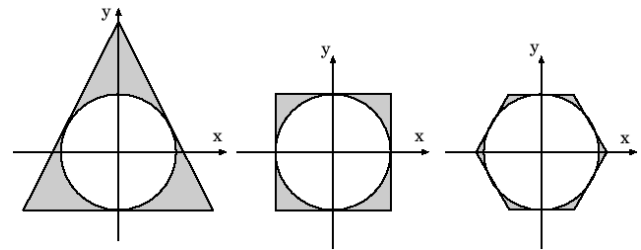


Fig. 1: Regular polygons which have the same size incircle.

格子の大きさを大きくすると、集積される代表点と実際の点との位置の誤差(丸め誤差)が大きくなる半面、データ量を大きく削減することができる。逆に、格子の大きさを小さくすることで、データ量は大きくなるが、より正確に環境を表現できる。

2.2 Digital Elevation Map の基準格子

一般に、平面を一種類で埋めつくせることができる正多角形は、正三角形、正方形、正六角形の3種類である。つまり、これらの正多角形を基準格子として、DEMを生成することができる。通常のDEMは、正方形で平面充填をおこない、それを基準格子としてデータを集積している。

等しい半径の内接円を持つ正三角形、正方形、正六角形(図1)を基準格子とするDEMを生成するとき、それぞれのDEMの丸め誤差は、内接円外部の格子(斜線部)の面積に依存する。それぞれの格子に対する面積比は、39.6%、21.5%、9.4%となり、正六角形が最も丸め誤差を小さくデータを格納することができる。よって本研究では、少ないデータで可能な限り正確に環境を表現することに着目するため、DEMの基準格子に正六角形を利用する。

3 Multi-Level Surface Maps による環境モデリング

3.1 Multi-Level Surface Maps

DEMは、地形や物体の形状を提示するために、様々な分野で用いられている。しかし、DEMは一つの格子

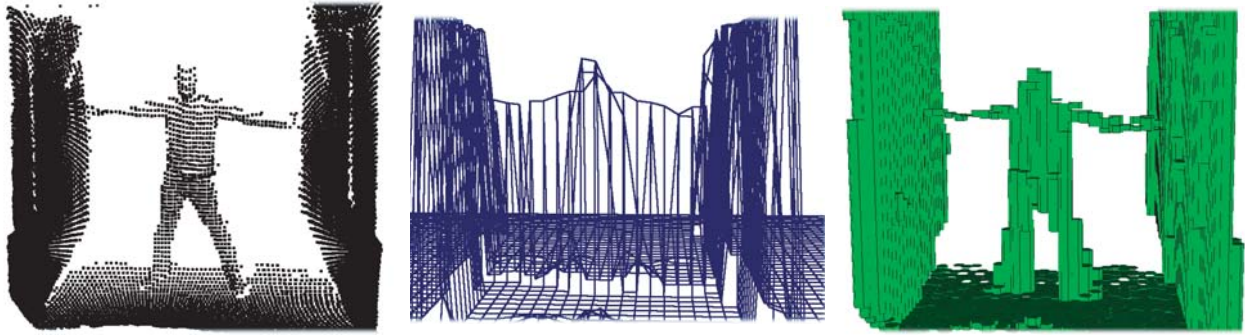


Fig. 4: (a) Left: Scan (point set) of human in the corridor, (b) Center: Standard elevation map computed from this data set, (c) Right: Multi-Level Surface Maps based on regular hexagonal grids

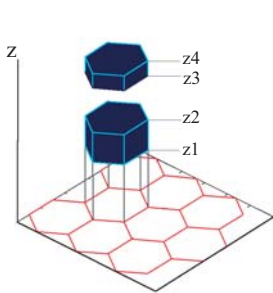


Fig. 2: Example of different grids in MLS Maps



Fig. 3: 3D Scanning sensor

に一つの高さ情報しか持たないため、一つの格子の上の不連続な物体が存在する空間を表現するには不向きである。特に災害で被災した建物の中は、机や棚などが倒れており、その隙間の表現するには、DEMを直接利用することができない。そこで本研究では、一つの格子に複数の高さ情報を保持する、MLS Mapsを用いて、屋内の三次元環境を表現する。MLS Mapsは、格子の上に分布する点について、点が連続するところの始まりと終わりの端点を、物体の情報として格納していく手法である(図2参照)。図2において、DEMでは z_4 の高さ情報しか格納しないところを、MLS Mapsでは z_1 から z_4 までの複数の高さ情報を保持させる。そのため、DEMでは表現できない、机と床の隙間なども表現することができる。またMLS Mapsの基準格子を正六角格子にすることにより、データ格納時の丸め誤差を小さくし、より正確に環境の復元をおこなう。

3.2 計測と評価

MLS Mapsによる物体表現の評価を行うため、三次元測域センサを利用した計測を行った。三次元測域センサは、二次元平面内の距離を測定可能な北陽電機製の測域センサ(URG)を、Robotis社製のサーボモータを用いてチルト回転させることで、三次元距離情報を計測するものである(図3参照)。分解能にもよるが、およそ15秒で、センサを中心とした半球内のおよそ10万点の距離情報を獲得することが可能である。三次元測域センサを使い、廊下にいる人の距離情報を取得したときのデータを図4に示す。計測した全ての点データをプロットしたものを左図(a)に、標準的なDEMにデータを格納して表現したものを中央図(b)に、また、データを正六角

Table 1: Sampling information of Fig.4

	Points	DEM	MLS Maps
総点数 [個]	98890	518	3628
格子の内接円半径 [cm]	0.0	5.0	5.0
平均丸め誤差 [cm]	0.0	4.1	2.9

形の格子に格納し、MLS Mapsを用いて表現したものを右図(c)に示す。また表1には、図4のデータにおける、総点数と格子の内接円の半径と、前節で述べた格子の代表点と実際の点との距離である、丸め誤差の平均値を示す。図4より、DEMでは表現できない、物体の存在しない自由空間を表現できていることがわかる。また、正六角格子を基準格子として用いることにより、正方形格子と比べて、平均丸め誤差が小さいことを確認した。

4 まとめと今後の課題

本稿では、屋内環境を少ないデータで可能な限り正確に表現するため、正六角格子を基準とした、Multi-Level Surface Mapsを用いる手法を提案し、実際に計測したデータから、評価をおこなった。本手法を用いることにより、データ量を大きく削減しつつ、かつ従来の手法と比較し、計測環境をより正確に表現できることを確認した。

今後の研究目標は、本手法を用いた広域地図の構築である。そのためには、複数地点において計測した地形環境の位置合わせを行う必要があるが、これを実現するための環境内の特徴点抽出が、次の課題と言える。

参考文献

- [1] L. Sousa, F. Nery, R. Sousa, J. Matos. Assessing the accuracy of hexagonal versus square tilled grids in preserving DEM surface flow directions. In *7th Int. Symp. on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences*.
- [2] R. Triebel, P. Pfaff, W. Burgard. Multi-Level Surface Maps for Outdoor Terrain Mapping and Loop Closing. In *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Robotics & Automation (ICRA)*, 2006.