

# LiDAR と車輪移動ロボットによる 3D 空間計測自動化とその応用

福島 寛之<sup>†1</sup> 鈴木 雄介<sup>†1</sup>

**概要**：VR 専用デバイスの発達で、仮想現実/拡張現実（VR/AR）の実務的応用が急速に進んでいるが、より広くこの技術を活用するためには、CAD データなどのデジタルな情報だけでなく、実世界の情報を取り込み、コンテンツ化するための仕組みが必要である。我々は LiDAR と車輪移動ロボットを用い、主に屋内情報を 3D データ化するシステムを試作した。本論ではシステムの構成と機能、想定しているアプリケーションと、今後の活用イメージについて述べる。

## Application of Automated Three-Dimensional Space Measurement with LiDAR and Wheel Based Robot.

HIROYUKI FUKUSHIMA<sup>†1</sup> YUSUKE SUZUKI<sup>†1</sup>

**Abstract**: Practical applications of VR (Virtual Reality) and AR (Augmented Reality) technology have been developed recently along with a rapid growth of hardware. In order to expand that application further, the system that can capture the 3D information of the real world and make VR contents easily have become more important. We have developed the system composed of LiDAR (Light Detection and Ranging) and wheeled robot base and enables users to digitize indoor structure information. In this paper, we described the system overview, its functions, possible applications and future works.

### 1. はじめに

スマートフォンアプリのポケモン GO[1]の世界的な流行により、VR/AR 技術がより身近に感じられるようになってい一方、VR/AR デバイスの先駆けとなった Oculus Rift、スマートフォンをディスプレイとして利用する SAMSUNG Gear VR、完全無線化が可能な Microsoft HoloLens のようなデバイスの登場により、ゲームやエンタテインメント領域意外、例えば、製造現場において環境を理解し、適切な位置に情報表示を行うといった作業支援の領域においても VR/AR 技術の実利用が加速している[2][3]。このように実空間と仮想空間の情報融合が進む中、実空間の状態に則した仮想空間を構築する、つまり、実空間をデジタル化するための 3D 空間計測技術の重要性が高まってきている[4]。

### 2. 関連研究

実空間の各所で計測したデータを仮想空間上に再構築する際は、計測時の位置情報を元にデータ同士を結合するため、計測時の自己位置情報の取得が重要な要素となる。すでに実利用されている Google ストリートビュー[5]や UAV（ドローン）による地形計測のように GPS により位置

情報の取得が比較的容易な屋外環境での空間計測と異なり、屋内環境での空間計測では位置情報を得ることが難しく、また、空間形状が屋外の道路と異なり複雑になり、より小型かつ移動性能の高い計測機器が必要になるといった技術的困難があるため屋内環境での空間計測は一般的には普及していない。

3D 空間計測には物体表面を点データの集合として計測可能な LiDAR (Laser Imaging Detection and Ranging) センサーの利用が増えてきている。現在 LiDAR は高価であるが、自動車の自動運転に利用するセンサーとして見込まれているため開発競争が盛んであり、低価格化、および、自動運転以外の用途への利用が期待されている。

SfM (Structure from Motion) あるいは、Visual SLAM と呼ばれる LiDAR を使用せず、複数の視点から撮影した複数の画像から 3D 形状を計測する技術[6]もあるが、撮影視点として制限の多い屋内環境においては十分な精度が出せないことも多い。

また、実空間に則した仮想環境構築について考えると、計測データの更新頻度が高い方が望ましいため、計測にかかるコストの大きさも重要な要素となる。

<sup>†1</sup> 沖電気工業(株) 研究開発センター  
Oki Electric Industry Co., Ltd. Corporate Research and Development Center

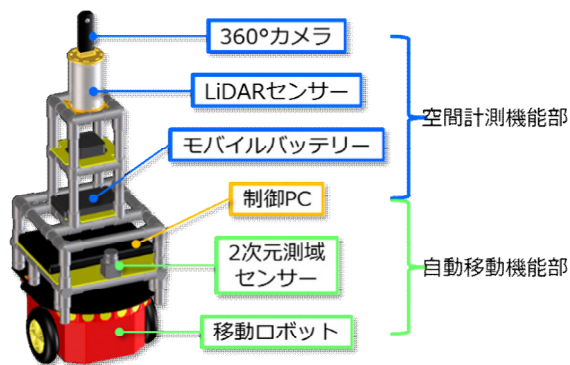


図 1 システム構成

Figure 1 Configuration of system

### 3. 3D 空間計測システム

前節のような状況を踏まえ、本論では、屋内空間において LiDAR を用いた 3D 空間計測を自動的に行う仕組みを提案し、その計測データの利用法の 1 例として“高度な屋内空間地図：屋内 Google ストリートビュー”について紹介する。

本システムは図 1 に示すように対象空間を計測するための空間計測機能部と対象空間内を移動するための自動移動機能部から構成され、ROS (Robot Operating System) [7]環境の制御 PC により車輪移動ロボットを制御する。対象空間内を移動しながら各所で空間計測を行い、取り貯めた計測データから対象空間の 3D モデルを構築する。

#### 3.1 空間計測機能部

本システムは空間計測センサーとして 360° カメラと LiDAR を搭載している。

360° カメラはライブストリーミング解像度 1920×1080 の RICOH 社製の THETA S を使用しており、一定の間隔で画像キャプチャを行っている。

LiDAR は水平全方位 360°、垂直視野 41.3° (32 方向) を計測領域とした Velodyne 社製の HDL-32e を使用しており、図 2 のように 1 周約 7 万点の座標データ (x, y, z) の集合=点群データとして計測領域内に存在する物体表面を計測することができる。

それぞれセンサーは、図 2 のように相対位置が固定されており、LiDAR 以下の各々が 360° カメラの死角領域に収まるようにしている。

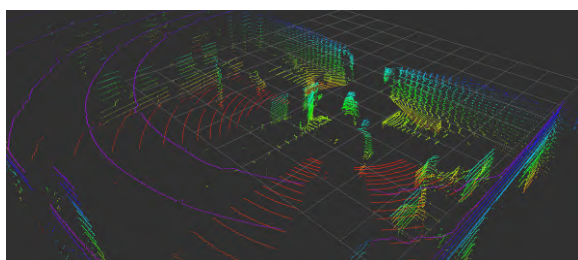


図 2 LiDAR による点群データの例

Figure 2 Point cloud data by a LiDAR sensor

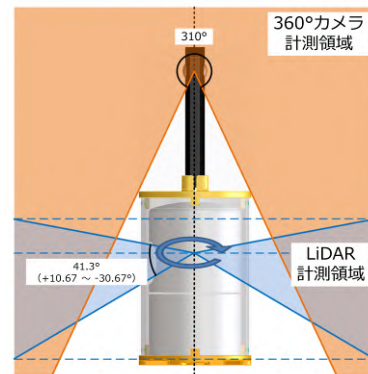


図 3 センサーの計測領域

Figure 3 Measurement range of sensors

#### 3.2 自動移動機能部

本システムの自動移動機能は車輪移動ロボット：MobileRobots 社製の Pioneer-3DX と 2 次元測域センサー：北陽電機社製の URG-04LX-UG01 から構成される。

本システムの対象空間内における自動移動は地図ベースの自律ナビゲーションにより実現している。ベースとなる地図は手動走行により事前に生成し、自動移動時の移動ルート (複数の中継点) についても事前に与えている。車輪移動ロボットはベース地図と 2 次元測域センサーの計測情報から対象空間内における自己位置推定を行いながら、与えられたルートに沿って走行する。

#### 3.3 3D モデル化

LiDAR は、計測データとして RGB 値を持たないため、座標変換により LiDAR と 360° カメラの原点 (視点) を一致させ、その際に LiDAR の各点データの位置に相当する画像データの画素の持つ RGB 値として当てはめている。

また、空間計測機能部と自動移動機能部の相対位置も固定されているので対象空間計測時の空間計測センサーの位置情報は、自律ナビゲーションの際の自己位置推定結果とすることができる。各計測地点のデータを位置情報データにより補正し、重ね合わせることで、対象空間を RGB 値有りの点データの集合として 3D モデル化することができる。

### 4. 利用例

3D 空間計測により実空間を 3D モデル化することは、実空間をデジタル空間に再構築することを意味し、モデルデータを介した採寸、機器配置シミュレーションといった空間デザイン、モデルデータの 3D コンテンツ利用など様々な用途が考えられる。ここでは、一例として“高度な屋内空間地図：屋内 Google ストリートビュー”について紹介する。

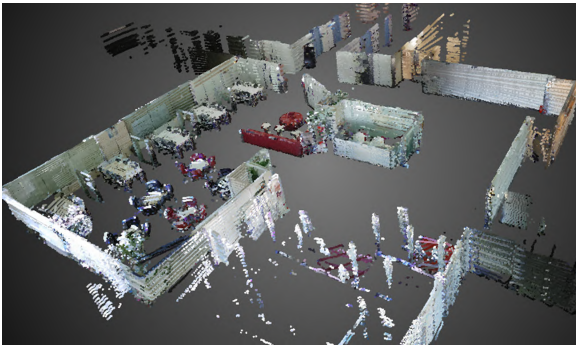


図 4(a) 3D 地図による表現 (自由視点)

Figure 4(a) 3D map (Free viewpoint)

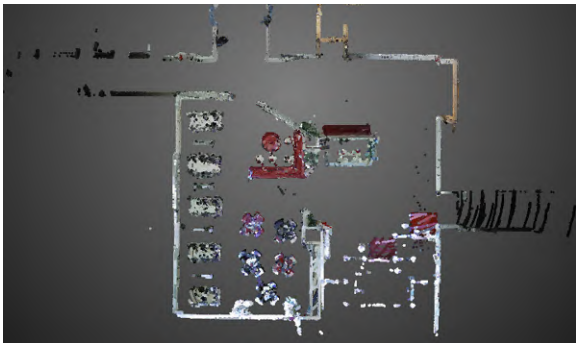


図 4(b) 2D 地図による表現

Figure 4(b) 2D map



図 4(c) 360° カメラ画像による表現

Figure 4(c) Spherical view

図 4(a)~(c)はある空間を本システムにて計測したデータから得られる空間地図の表示形態である。

図 4(a)は、3D モデル化した色付点群データの例であり、対象空間を現実では見ることができない視点を含む自由な位置から眺めることができるため、広範囲をより現実に近い形で把握するのに適した表示形態である（空間内部の見やすさを考慮して天井面の点群データは省いている）。

図 4(b)は、図 4(a)の点群データを天井面に平行な 1 平面上に投影し 2D 化した例であり、現在提供されている一般的な地図と同様に対象空間を把握するのに適した表示形態である。

図 4(c)は対象空間のある地点における 360° カメラのキャプチャ画像の例である。実際に対象空間にいる人が目にしている映像に最も近い外見であり、現在地とこれから進

むべき方向の関係を把握するのに適した表示形態である。

図 4(a)~(c)の表示形態を用途に応じて切り替えることで、一般的な 2D 地図よりも対象空間の把握が容易となる。

また、本システムは対象空間を自動計測できるため定期的なデータ更新を行いやすいといった利点があり、既存の地図情報と比べ、常に現実に近い状態を把握できる空間地図を作成することが可能である。

## 5. まとめ

屋内空間において LiDAR および車輪移動ロボットを用いた 3D 空間計測を自動的に行う仕組みを提案し、その計測データの利用法の 1 例として“高度な屋内空間地図：屋内 Google ストリートビュー”について紹介した。

実際に本システムを用いて空間計測を行い、3D モデル化してみたところ、図 5（実空間において橙色矢印の視点から矢印方向を見たときの外見は図 4(c)となる）の赤丸で囲まれた空間に示すように、LiDAR の発する赤外光が透過してしまうガラスのような透明物体部分については計測およびモデル化することが困難であることがわかった。この透明物体部分については、計測可能なガラス枠部分を認識してモデルデータを当てはめる、あるいは RGB 画像からのモデル化などの対処法を考えている。

また、現在は床面が平らで滑らかな環境での計測しか行っていないが、斜面や凹凸の激しい床面環境での 3D 空間計測についても検討して行きたい。

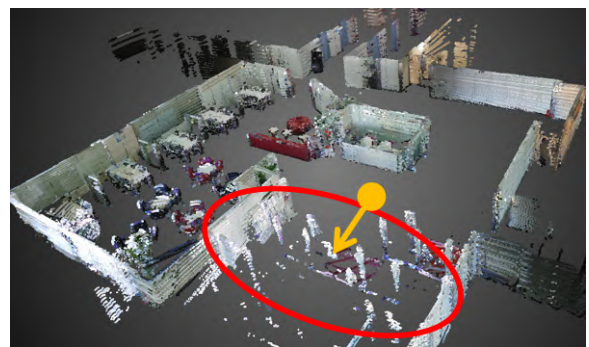


図 5 計測が難しい領域

Figure 5 The area where measurement is difficult

## 参考文献

- [1] “『Pokémon GO』公式サイト”. <http://www.pokemongo.jp/>, (参照 2016-12-26).
- [2] S. Orts-Escolano, C. Rhemann, S. Fanello, et al. Virtual 3D Teleportation in Real-time. UIST '16 Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology, 741-754.
- [3] 山本, 大槻, 葛岡, “遠隔作業指示における身体動作提示がよきに及ぼす効果”, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), 2016-HCI-167(17), 1-8 (2016).
- [4] Kanade, T., Rander, P., & Narayanan, P. J. (1997). Virtualized

reality: Constructing virtual worlds from real scenes. IEEE multimedia, 4(1), 34-47.

- [5] D. Anguelov et al.: Google Street View: Capturing the world at street level; Computer Vol.6 pp.32-38. (2010).
- [6] Ros, G., Sappa, A., Ponsa, D., & Lopez, A. M. (2012). Visual slam for driverless cars: A brief survey. In Intelligent Vehicles Symposium (IV) Workshops.
- [7] “ROS ポータルサイト”, <http://wiki.ros.org/>, (参照 2016-12-26).