

二次元スキャン面の角度を変更可能な三次元測域センサの開発

Development of 3-D range sensor which can change the angle of its 2-D scan plane

正 吉田 和哉 (東北大), 正 永谷 圭司 (東北大), 徳永 直木 (東北大)

Kazuya YOSHIDA, Tohoku University, yoshida@astro.mech.tohoku.ac.jp

Keiji NAGATANI, Tohoku University, keiji@astro.mech.tohoku.ac.jp

Naoki TOKUNAGA, Tohoku University, tokunaga@astro.mech.tohoku.ac.jp

It is useful for mobile robot navigation or mapping to use three-dimensional environment information. To obtain such information by sensor, one of conventional methods is to rotate two-dimensional laser-range-finder. The method has advantages of (1) wide angle of visibility and (2) small effect of light quantity. However, it has disadvantages of (3) slow-scan speed and (4) existence of limit point. To improve these disadvantages, our research group proposes a novel scanning method. One of the features of the method is that a scanning plane (of the two-dimensional range sensor) is not perpendicular to revolving plane of the sensor. To verify the validity of the method, we performed a basic experiment using a three-dimensional range sensor whose scanning angle can be changed. In this paper, we introduce the scanning method, and report the basic experiment in real world.

Key Words : Range sensor, Three-dimensional environment

1 はじめに

近年, 移動ロボットによる未知環境探索や, 三次元環境マッピングを行うために有用な, 三次元の距離情報を獲得するセンサが注目を集めている.

この三次元情報を獲得するセンサを実現する手法として, 主にステレオ視を用いたパッシブな方法と, レーザ光を投影して距離を測定するアクティブな方法に大別される. 前者は, テクスチャの無い物体に対する距離精度が悪くなるという根本的な問題の解決は難しい. 一方後者は, 三次元的にレーザ光を照射するための機構が必要となるため, 測定に時間がかかるという問題がある. 後者の問題を解決するために, MEMS ミラー技術を利用した高速三次元レーザ距離センサECO SCAN (<http://www.signal.co.jp/vbc/mems/index.html>) も開発されているが, ミラーの可動範囲の限界により, 測距範囲を広く取ることが困難である. そこで, これまでに多くの研究機関では, 測定に時間をかけても測距範囲を広く確保するため, 市販の二次元距離センサに一回転自由度を付加し, 三次元的に環境をスキャンするセンサを試作してきた. 本研究グループ内においても, 遠隔操作型レスキューロボットの周囲の環境情報を取得するため, 測域センサ (レーザ距離センサ) [1] を回転テーブルに載せることで, 三次元情報を獲得するセンサを構築した[2]. しかしながら, このセンサによって距離情報を獲得するためには, ロボットをしばらく停止させる必要があり, さらに回転テーブルの回転軸方向に集積点 (スキャン中に同一方向の距離を何度も測定してしまう冗長な測定点) が発生する. この集積点付近では, 本来一回の平面スキャンで情報獲得を行うことができる距離情報を何度もスキャンして情報を得るため, 本来必要のないセンサ情報を大量に保存してしまうという問題がある.

そこで, 本研究では, 市販のセンサを回転台に設置する際に角度を持たせることで, 集積点の問題を回避すると同時に, スキャンスピードを向上させる手法を考案した. また, この手法の有用性を検証するため「二次元スキャン面の角度を変更可能な三次元測域センサ」を開発した. 本稿では, この手法を説明し, 開発したセンサを用いた提案手

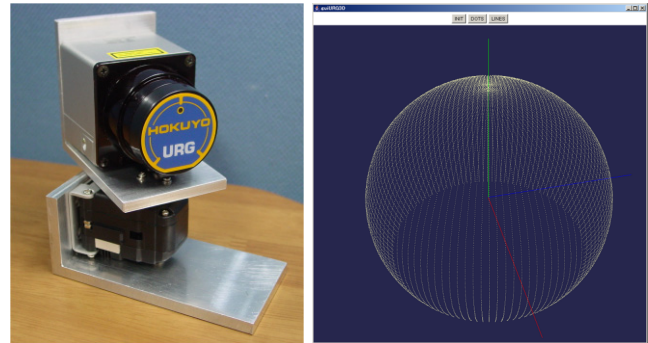


Fig. 1 Conventional 3-D range sensor and scan area

法の有用性について検討する.

2 三次元距離情報獲得手法の提案

2.1 三次元距離情報獲得の従来手法

二次元平面内の距離が測定できるレーザ距離センサを, 一自由度のアクチュエータを用いて回転させることで三次元距離情報を獲得する手法は, 比較的多くの研究機関で開発されてきた. センサ自体を回転させるための軸の取り方については, 幾つかのバリエーションはあるが, 基本的には, 筆者らの研究グループで開発した図1 (左) に示す三次元距離センサと同様の構造である.

このセンサは, 二次元平面をスキャン可能な測域センサ [1] のスキャン面を地面に対して垂直に設置し, そのセンサ自体を下部のスマートモータを利用して回転させることで, 三次元空間をスキャンする機能を有する. このセンサが獲得するスキャン範囲を図1 (右) に示す. ただしこの図は, 全ての獲得距離を一定と仮定したときのスキャン情報をプロットしたものである.

この例からもわかる通り, この種の手法で獲得する三次元情報には, 回転テーブルの回転軸方向に集積点 (冗長な測定点) が発生することがわかる (ただし, 上記の例では, 利用したセンサの測距範囲が $-120^{\circ} \sim 120^{\circ}$ なので, 下面に集積点は存在しない.) 一方, スキャン時間については, 上述のセンサを利用した場合, 測域センサの一ス

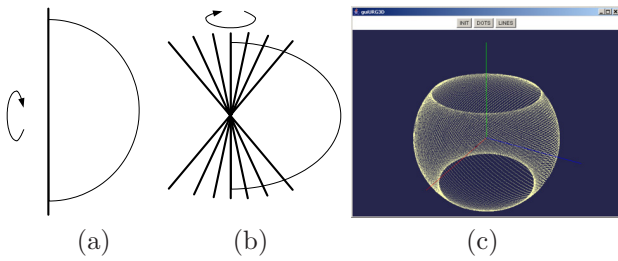


Fig. 2 An explanation sketch of proposed scan method

キャン面の距離情報を獲得するのに100[msec]要するため、 0.5° 毎に測域センサを回転させてデータを獲得する場合には、およそ36[sec]のスキャン時間を要する。

2.2 提案手法

従来手法では、広範囲の三次元データを獲得できるという利点はあるが、集積点の問題と、スキャン全体に時間がかかるという問題がある。そこで、本研究では、回転させる二次元距離センサのスキャン面を傾けることで、集積点をなくし、同時にスキャン時間を短縮させる三次元距離取得手法を提案する。

まず、センサを中心とする円の半分の領域を、二次元距離センサのスキャン面と仮定する(図2-(a)参照)。次に、半円の線分部分に傾きを持たせ(図2-(a)の半円を紙面奥行き方向に傾ける)、その状態でスキャン面を回転させる。すると、スキャン面は、図2-(b)に示すように回転し、最終的に図2-(c)に示すような、上下の円錐部分が切り取られた三次元スキャン領域を獲得することができる。なお、この図は、スキャン面を 45° 傾けた場合の結果である。

この図2から分かるとおり、スキャン面を傾けることで、集積点が上部の縁の部分に均等に分散される。また、スキャンを行うデータポイント数を変化させずに、三次元測距を行うエリアを狭めているため、(1) 同じスキャン速度ならばより大きな情報量が、また(2) 同じスキャン密度であれば、より高速なスキャン動作が可能となる。特にスキャン速度について、次節で詳しく検討する。

2.3 スキャン速度の検討

図3は、スキャン面内において 1.0° 毎に距離情報を獲得可能な二次元距離センサを利用した場合の測距点を角度座標で表したイメージ図である。(a)は、従来手法でスキャン面を縦方向にとり、それを 1.0° 毎に回転したもの、(b)は、スキャン面を斜めにして、それを 1.0° 毎に回転したもの、(c)は、スキャン面を斜めにして、角度座標において(a)と同じ密度になるように、スキャン間隔を広げたものである。この図から分かるとおり、二次元距離センサを回転させる速度が一定であれば、スキャン面の角度が大きくなるほど(センサを傾けるほど)、角度座標上における測距点の密度は上がる。逆に、角度座標上において、同密度で測距点を獲得すれば良い場合には、スキャン面の角度が大きくなるほど(センサを傾けるほど)、スキャン間隔を広げる(つまり二次元距離センサを回転させる速度を上げる)ことが可能となる。

図4は、図3-(c)におけるスキャン間隔の計算手法の模式図である。幾何学的拘束条件から、スキャン面を傾ける角度を α とおくと、スキャン間隔は、 $\frac{1}{\cos \alpha}$ 倍となるため、スキャンスピードを $\frac{1}{\cos \alpha}$ 倍にすることができることを意味する。

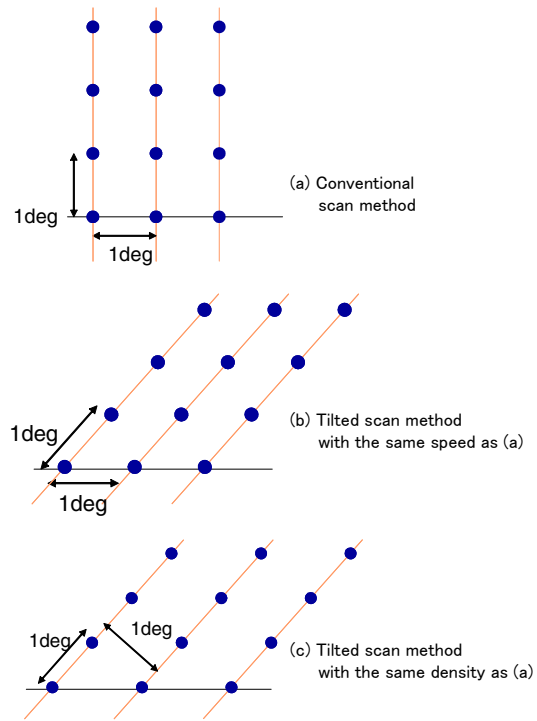


Fig. 3 Comparison of scan-speed and scan-density

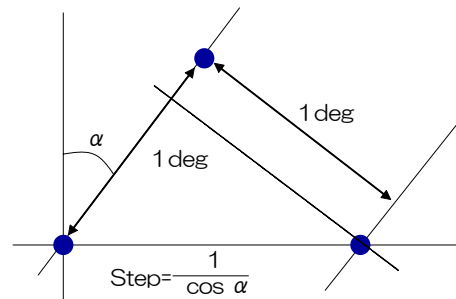


Fig. 4 Scan interval for constant density of scan

3 検証実験

3.1 スキャン面の角度変更が可能なセンサの試作

前節で紹介したスキャン手法の有用性を確認するため、スキャン面の角度を任意に変更することが可能な三次元距離センサを試作した。このセンサの概観を図5に示す。

このセンサは、二次元距離センサ、二次元距離センサのスキャン面の角度を変更可能なアクチュエータ、センサ全体を回転させるアクチュエータから成る。二次元距離センサには、北陽電機社製の測域センサ(URG-04)を採用した。このセンサは、 240° の範囲において768ポイントの距離情報(最大測定距離はおよそ5[m])を測定することが可能である。また、アクチュエータには、Dynamixel社のスマートモータ(DX-117)を採用した。このスマートモータは、モータ内部に角度・角速度制御を行うコントローラを有している。ただし、このアクチュエータでは、角度測定にポテンショメータを利用しているため、角度分解能がおよそ 0.3° と低い。そこで本実験では、レーザ距離センサの情報を間引くことで、スキャン平面内の測距点間の角度と、各スキャン面がなす角度(すなわち角度座標系における縦方向・横方向の分解能)を、共に 2.0° とした。

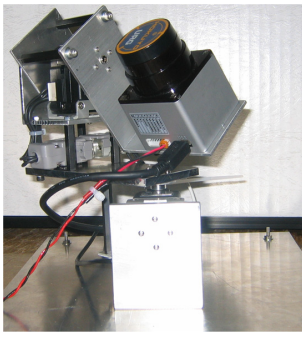


Fig. 5 3D range sensor that changes the scan-plane-angle

3.2 実験環境と実験

スキヤンの密度や速度を評価するため、本実験では、平らな廊下の壁を用いて三次元距離情報取得実験を行った。

スキヤン面については、 $\alpha = 0^\circ$ (従来手法と同じ：パターンA)、 $\alpha = 45^\circ$ (パターンB)、 $\alpha = 75^\circ$ (パターンC)の三パターンで、情報獲得を行った。なお、パターンBにおいては、センサ筐体の回転速度をパターンAと変更しない場合 (パターンB1) と、筐体の回転速度を1.4 ($= \frac{1}{\cos 45^\circ}$) 倍したもの (パターンB2) で情報獲得を行い、パターンCにおいては、センサ筐体の回転速度をパターンAと変更しない場合 (パターンC1) と、センサ筐体の回転速度を3.9 ($= \frac{1}{\cos 75^\circ}$) 倍したもの (パターンC2) で情報獲得を行った。各パターンにおいて獲得したセンサ情報の、壁面におけるデータの拡大図を図6に示す。また、パターンAならびにパターンC2で獲得した廊下の壁の三次元距離情報を図7に示す。

3.3 実験に対する考察

図6より、P-A、P-B1、P-C1と α が大きくなる (つまりスキヤン面が地面と平行な直線に近くなる) にしたがって、測距点の分布が密になっていくのが分かる。また、センサ筐体の回転速度を適切に設定することで、P-A、P-B2、P-C2に示す通り、データの密度がほぼ同じと見て取れる。ただし、アクチュエータの最小分解能の問題から、本実験では、精度の良い格子を描くことができなかった。

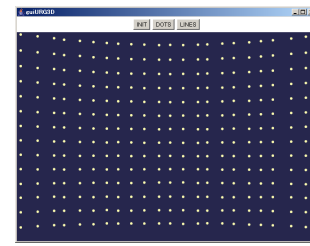
一方、図から分かるとおり、従来手法P-Aと比較し、 $\alpha = 75^\circ$ まで傾けた場合のP-C2は、測定範囲が非常に狭くなる。しかしながら、スキヤン速度は従来の4倍弱となり、三次元情報を獲得するスピードは大きく向上した。この角度 α と獲得スピードは、トレードオフの関係にあるので、用途に応じて α を設定することで、スキヤンスピードの向上を図ることが可能となる。また、P-C2では、集積点が存在しないことも見て取れる。

以上の結果より、2章で示した「スキヤン面を傾ける」ことで、集積点をなくし、同時にスキヤン時間を短縮させることができることを、実センサを用いて示すことができた。

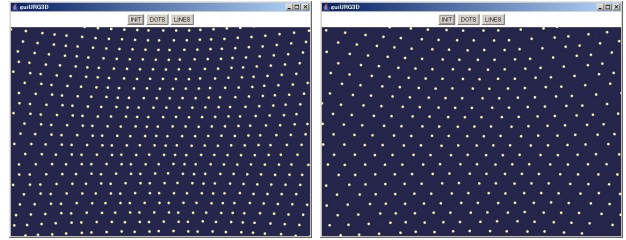
3.4 おわりに

本研究では、市販のセンサを回転台に設置する際に角度を持たせることで、集積点の問題を回避すると同時に、スキヤン速度を向上させる手法を提案した。また、二次元スキヤン面の角度を変更可能な三次元測域センサを利用し、この手法の有用性を実機を用いて検証した。

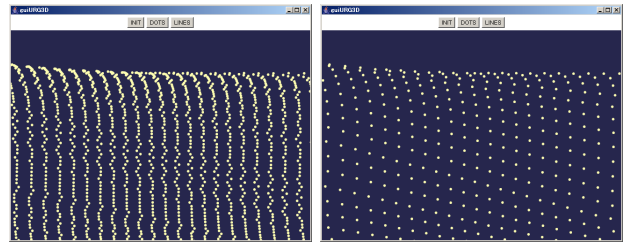
実際に、この種のセンサを移動ロボットに搭載して環境情報取得を目指す場合、二次元スキヤン面の角度をリアルタイムに変更する必要性は、それほど大きくない。むしろ



A ($\alpha=0^\circ$, interval= 2.0°)

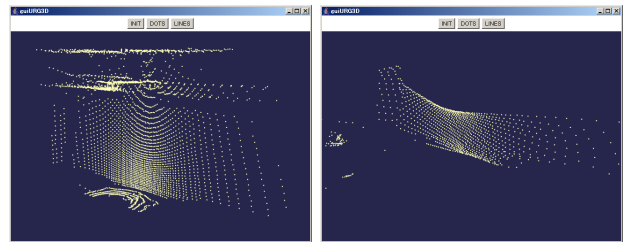


B1($\alpha=45^\circ$, interval= 2.0°) B2($\alpha=45^\circ$, interval= 2.8°)



C1($\alpha=75^\circ$, interval= 2.0°) C2($\alpha=75^\circ$, interval= 7.7°)

Fig. 6 Obtained data at near wall



A($\alpha=45^\circ$, interval= 2.0°) C2($\alpha=75^\circ$, interval= 7.7°)

Fig. 7 An overview of obtained data

る、本研究で構築したセンサは、用途に応じたスキヤン面の角度 α とスキヤン速度を選定するための「ツール」として利用することが期待できる。また、今後の課題として、現在利用しているスマートモータ (DX-117) の角度分解能が高くないため、高分解能のアクチュエータを利用した回転装置による実験を進める予定である。

文献

- [1] 川田 浩彦, 森 利宏, and 油田 信一. 移動ロボットの環境認識用『測域センサ』urg シリーズの設計と開発. In ロボティクス・メカトロニクス講演会 '05 講演論文集, pages 2A1-N-032(1)-(4), 2005.
- [2] Andres E. Mora Vargas et.al. Development of a networked robotic system for disaster mitigation -navigation system based on 3d geometry acquisition-. In *Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS '06)*, pages 4821-4826, 2006.