

# 無限回転機構を用いた3次元測域センサ

上田 達朗 川田 浩彦 富沢 哲雄 大矢 晃久 油田 信一（筑波大）

## 3D SOKUIKI Sensor Using Unlimited Rotating Device

Tatsuro UEDA, Hirohiko KAWATA, Tetsuo TOMIZAWA, Akihisa OHYA, Shin'ichi YUTA  
(University of Tsukuba)

**Abstract**— This paper describes the fast 3D scanner by unlimetedly rotating a super small sized laser range fider. The feature of the scanner is that it can scan envirnment accurately even if the sensor rotates fast. Two scanning experiments shows its advantage.

### 1. はじめに

測域センサはマニピュレータや移動ロボットに搭載され、環境認識や形状認識、障害物回避等に広く用いられている。特に移動ロボットのための二次元や三次元の環境地図を作成する場合、測域センサを用いるのが一般的である。

測域センサを用いて環境地図を作成する場合、環境をくまなくスキャン<sup>1</sup>する必要があり、そのためにはセンサを移動させなければならない。そして、正確な環境地図を作成するためにはセンサからの距離データに対して、それがスキャンされた時のセンサの位置と姿勢情報を知る必要がある。一般に、センサがスキャンを行った時の位置と姿勢を知るためには、位置・姿勢を求める装置と同期を取るために、スキャンを行った時刻を知る必要がある。しかし外部からセンサに測定の要求を出してから測域センサが応答するまでの時間は一定ではないため、センサがスキャンを行った正確な時刻を知ることはできない。

また、従来の測域センサを用いたシステムの多くは、1 スキャン分の距離データ中の全ての計測点は同時刻に計測されたものとして扱っている。しかし実際は計測点は1つ1つ順番に計測されている。正確な地図を作成するためには各計測点1つ1つに対して、それらが計測された位置と姿勢の情報を知る必要がある。従来のシステムでは、センサを静止させてからスキャンを行うことで、各計測点が計測された時のセンサの位置を求めている。しかしスキャンの度にセンサを静止させると、環境地図、特に三次元地図を作成するために非常に多くの時間が必要となってしまう。

我々は、これまでに測域センサからの同期信号を利用して距離データの各計測点毎に、それが計測された瞬間のセンサの位置と姿勢情報を割り当てる移動測域センサシステムを開発した。そして、このシステムを用いた二次元の環境地図作成における有用性を確認した<sup>1)</sup>。本稿では、移動測域センサシステムと、このシステムを発展させた三次元測域センサについて述べる。

### 2. 移動測域センサシステム

#### 2.1 基本方針

従来の測域センサは、1 スキャン中に以下の3つの動作を行い、電源が入っている間は常にスキャンを繰り返している。

返している。

1. 各方向の計測点を実際に計測
2. 計測した距離データの補正
3. 1 と 2 の処理を行っている間に距離データ要求があれば距離データを転送

我々が必要なのは 1. が行われたそれぞれの時刻であるが、従来の測域センサでは外部からそれを知ることはできなかった。北陽電機社製の測域センサである URG<sup>2)</sup> は 1. の処理を終了後、同期信号を発信することができる。この同期信号を使えば、センサが実際に計測を行った時間帯を知る事ができるため、本システムではこのセンサを用いている。

また、位置推定モジュールでセンサの位置・姿勢情報を常に記録し、それら蓄積しておく。そしてセンサの実際の計測を行っている時間帯が分った時、その時間帯の位置・姿勢情報と距離データの各計測点を整合させる。具体的なシステム構成と整合方法は次節以降で説明する。

#### 2.2 システム構成

Fig.1 に移動測域センサシステムの構成を示す。測域センサと我々が開発した位置推定モジュールは Note PC と USB で接続している。そして、位置推定モジュールはセンサから同期信号を受信し、さらにセンサ駆動機構からはモータのエンコーダパルスを受信する。

測域センサはセンサ駆動機構によって移動する。位置推定モジュールは移動機構のエンコーダパルスからセンサの位置と姿勢を推定し、それらを蓄積する。そして、位置推定モジュールは測域センサから同期信号を受信することによって、センサがスキャンを行っていた正確な時間を知ることができる。Note PC は測域センサから距離データを、位置推定モジュールからセンサがスキャンを行っている間のセンサの位置と姿勢を受け取り、それらを整合する。

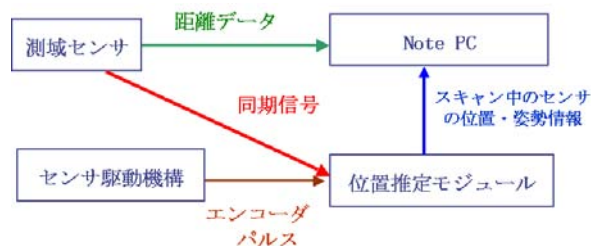


Fig.1 移動測域センサシステムの構成

<sup>1</sup>本稿では測域センサのレーザが 360 度回転し計測を行うことをスキャンと呼び、1 スキャン中の各方向の計測点の距離を計ることを計測と呼ぶ。

### 2.3 整合方法

Fig.2 に測域センサの位置・姿勢情報と距離データの整合方法を示す。位置推定モジュールは 5ms 毎にセンサの位置・姿勢を推定し、それらを蓄積している。測域センサは、2.1 節でも述べたように距離の計測とその距離データの補正を繰り返しており、Note PC から距離データの要求があれば補正終了後に距離データを転送する。データの整合は以下の手順で行われる。

1. Note PC が測域センサに対して距離データを要求する。
2. 測域センサは計測が終わった瞬間に移動測域センサモジュール同期信号を発信する。
3. 測域センサが NotePC に距離データを送信する。
4. NotePC が位置推定モジュールにセンサの位置と姿勢の情報を要求し、モジュールはセンサが計測を行っていた間の位置と姿勢の情報を NotePC に送る。
5. 各計測点にそれらが計測された瞬間のセンサの位置と姿勢を対応付ける。

このようにして距離データの各計測点それぞれに対して、それらが計測された瞬間のセンサの位置・姿勢情報を対応させていく。尚、センサの位置・姿勢情報の更新が 5ms であるのに対し、各計測点は約 0.1ms 間隔で計測されるので、測域センサの計測点全てに位置・姿勢情報を割り当てることはできない。そこで、本システムではセンサの位置・姿勢情報を 5ms の間について補間することによってこれに対応している。

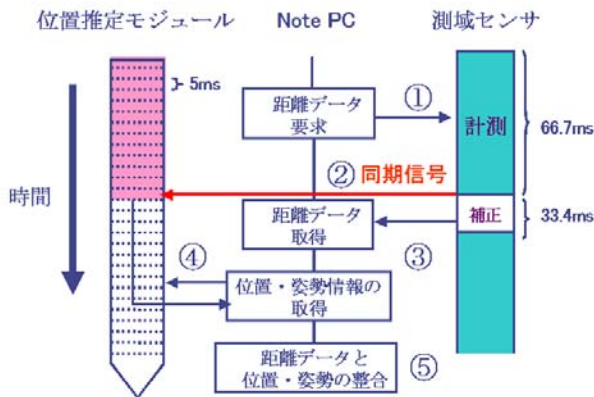


Fig.2 センサの距離データと位置・姿勢の整合

## 3. 環境の三次元計測手法

### 3.1 三次元駆動機構

本章では環境の三次元計測の方法および、三次元駆動機構について述べる。測域センサは二次元平面の距離データを得ることしかできない。測域センサを用いて環境の三次元計測を行うためには、スキャン面を三次元的に移動させることが必要である。本研究ではセンサのスキャン面を回転させることで、三次元計測を行う。回転方法は数種類あるが<sup>3)</sup>、Fig.3(a)のようにスキャン面が床に垂直になるようにセンサを回転させることとした。計測点の分布は Fig.3(b) のようになる。

Fig.4(a) に回転機構を示す。モータには maxon 社製の DC モータを使用している。そして回転軸には Fig.4(b)

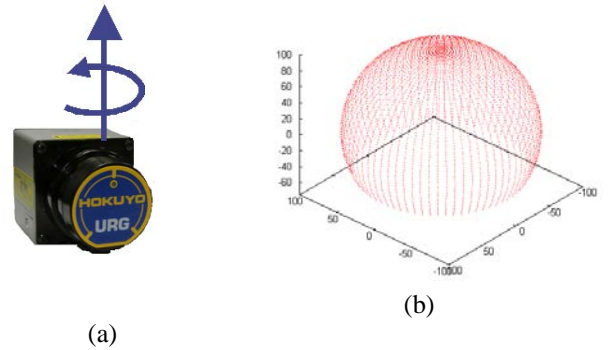


Fig.3 (a) センサの回転方法.(b) 計測点の密度

に示すスリッピングを取り付けている。センサへの電源供給ケーブルやデータ転送用の USB ケーブル、さらに同期信号線などのセンサに接続されているものは全てスリッピングを介して接続されている。そのため、センサを無限回転させることが可能となっている。ただし、このスリッピングの許容回転数は 60rpm である。無限回転機構だけでは環境の 1 箇所からしか計測を行うことができないので、これを移動ロボットに搭載することにより環境中を移動できるようにした (Fig.4(c))。無限回転機構とロボットを合わせて三次元駆動機構とする。位置推定モジュールはロボットの両輪のモータエンコーダと無限回転機構のモータエンコーダの情報から、測域センサの環境中での位置と姿勢を推定する。

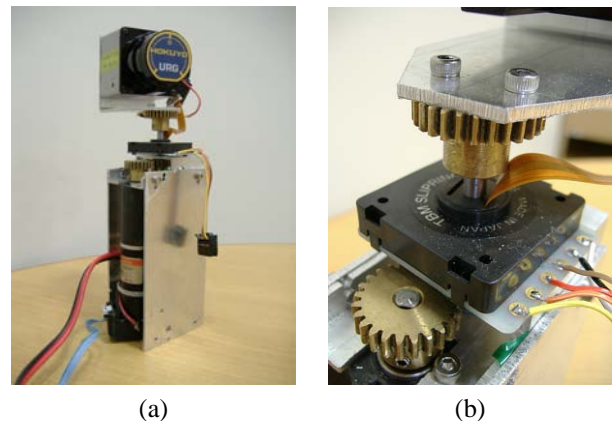


Fig.4 (a) 無限回転機構, (b) スリッピング, (c) 三次元駆動機構

### 3.2 無限回転機構の回転速度

従来の三次元計測の多くは以下の手順で行われる。

1. 計測地点まで移動
2. 三次元計測
3. 1と2を繰り返す

さらに三次元計測を行っている時も、1 スキャン毎にセンサを静止させる必要があった。これでは計測に膨大な時間が掛かってしまう。本研究で目指す環境の三次元計測はセンサを静止させることなく計測を行う事である。すなわち、ロボットが移動しながら三次元計測を行い、さらに1 スキャン毎にセンサを静止することなく計測を行う。

従来の三次元計測の多くでは測域センサのスキャン面を一定の速度でゆっくりと回転させて計測を行っていた。この方法で三次元計測を行う場合の計測点の密度の変化を Fig.5(a) に、それを真上から見たものを Fig.5(b) に示す。Fig.5(b) の数字は計測点群が計測された順番を表している。Fig.5 から分るように、計測点の分布は二つの方向から徐々に広がっている。測域センサのスキャン面を一定の速度で速く回転させて計測を行う場合の計測点の密度の変化を表したものが Fig.6 である。Fig.6(b) から分るように、計測点の分布は多方向から計測点の分布が広がっていることが分る。

本研究ではロボットが移動しながら三次元計測を行う。そのため前者の方法だと、計測点に偏りが出来てしまう。後者の方法ではロボットが移動しても計測点の偏りを防ぐことができるため、こちらを採用することとした。

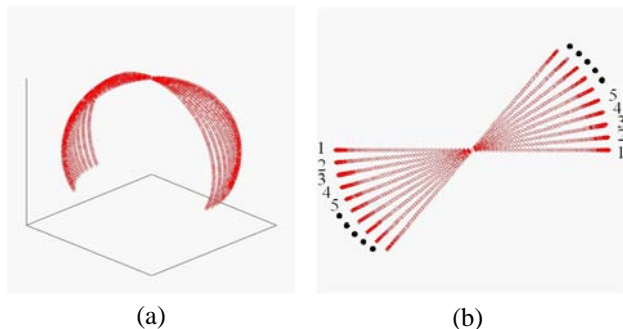


Fig.5 (a) 測域センサを低速で回転させた場合の計測点の密度, (b) 計測点群がスキャンされた順番

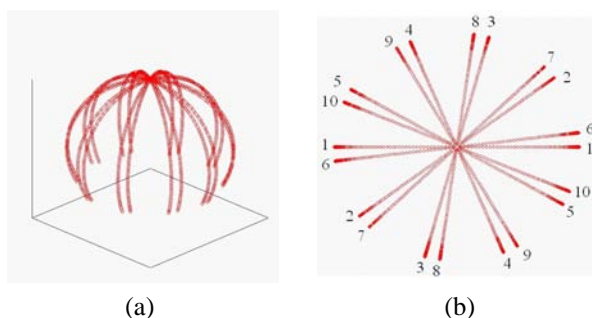


Fig.6 (a) 測域センサを高速で回転させた場合の計測点の密度, (b) 計測点群がスキャンされた順番

## 4. 環境の三次元計測実験

前章までに説明したシステムを用いて、環境の三次元計測実験を行った。まずは、ロボットを移動させることなく、無限回転機構のみを使って環境の三次元計測を行った。無限回転機構は約 60rpm の速度で回転させた。Fig.7(a) に実験環境を、Fig.7(b), (c), (d), (e) にそれぞれ計測開始から 2 秒後、5 秒後、15 秒後、30 秒後の計測結果を示す。そして、Fig.7(f) に移動測域センサシステムを用いないで計測した結果を示す。移動測域センサシステムを用いなければ、計測を行った時のセンサの正確な位置と姿勢が分らない。そこで Fig.7(f) では Note PC が距離データを受け取った直後のセンサの位置と姿勢を用いた。また、見やすさのために、計測結果には天井部分を表示していない。

Fig.7(b), (c), (d), (e) から、時間の経過と共に計測点の密度が徐々に濃くなっていくことがわかる。そして、Fig.7(e) と (f) を比べると、Fig.7(f) は中央の人間の形がブレてしまっており、また、左右の壁も歪んでしまっている。それに対して、Fig.7(b) は正確に計測できていることがわかる。

次にロボットが環境中を移動しながら三次元計測実験を行った。実験環境は Fig.7(a) と同じで、環境中をロボットが秒速 300mm で走行しながら計測を行った。計測結果を Fig.8(a), (b) に示す。Fig.8(a), (b) は同じ計測結果を二つの視点から表示したものであり、Fig.8(a) は天井のデータを、Fig.8(b) は天井と片側の壁を表示していない。Fig.8(a), (b) より、ロボットが走行しながらでも正しく計測できていることがわかる。

## 5. まとめ

本稿では同期信号を用いて、測域センサが実際に計測を行った正確な時間を求める方法を提案し、これを用いた移動測域センサシステムの実装について述べた。そしてこれを応用した三次元測域センサの有用性を検証した。本システムはいろいろな応用場面での高速な三次元環境の計測に応用可能である。

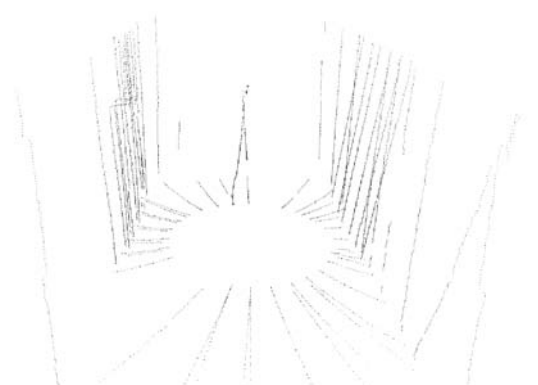
三次元測域センサの平面移動は移動ロボットによって行われており、センサの二次元的位置はロボットのオドメトリに依存している。従ってロボットのオドメトリの累積誤差が蓄積されると正しい計測を行うできない。この問題に対処することは今後の課題である。

### 参考文献

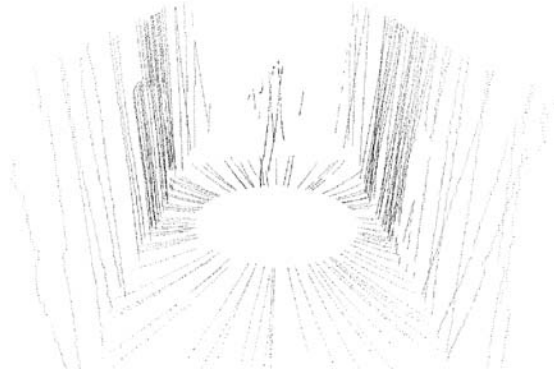
- 1) 上田達朗, 川田浩彦, 富沢哲雄, 大矢晃久, 油田信一 : “移動測域センサ-走行中も正しい計測が可能な移動ロボット用測域センサシステム-” 第 6 回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門学術講演会 予稿集, 2D2\_1, 2005
- 2) Hirohiko Kawata, Toshihiro Mori, and Shin'ichi Yuta : “ Design and Realization of 2-Dimensional Optical Range Sensor for Environment Recognition in Mobile Robots”, Journal of Robotics and Mechatronics pp.116-120 (April 2005)
- 3) Oliver Wyly and Bernardo Wagner : “Fast 3D Scanning Methods for Laser Measurement Systems”, Proceedings 2003 International Conference on Control Systems and Computer Science (July 2003)



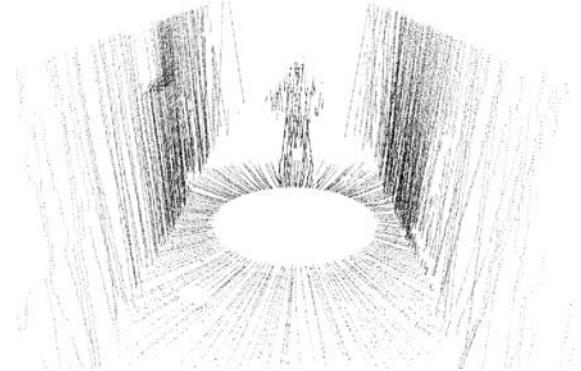
(a)



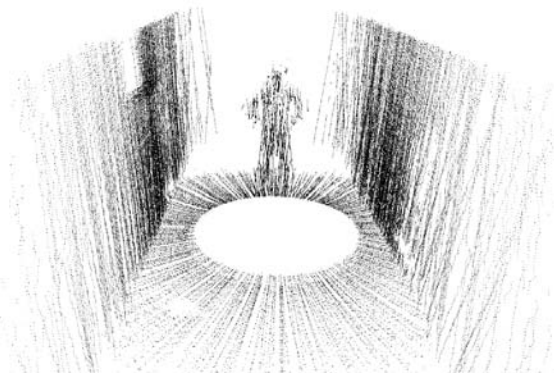
(b)



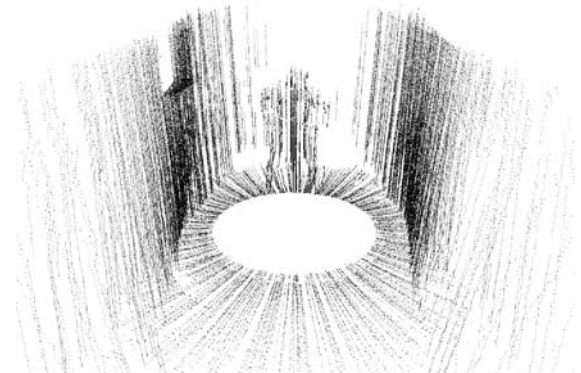
(c)



(d)

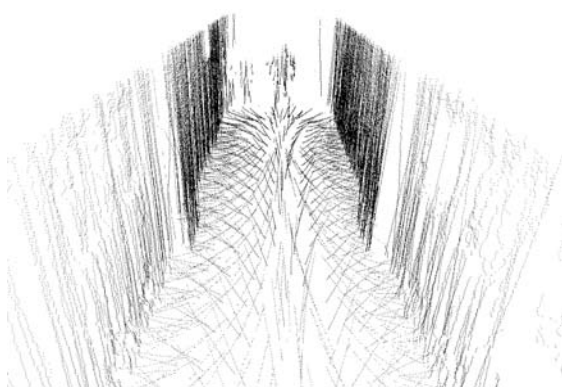


(e)

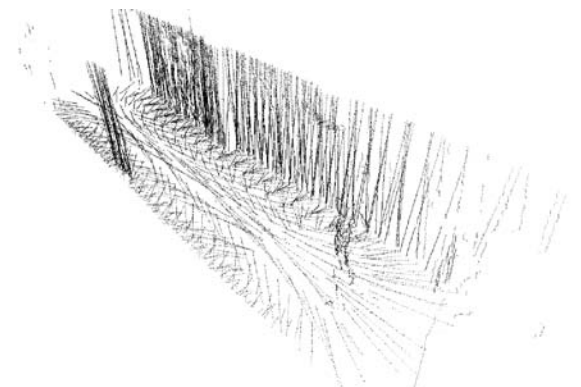


(f)

**Fig.7** ロボットが静止して行った環境の三次元計測結果：(a) 実験環境, (b) 2 秒の間計測を行った結果, (c)5 秒間の計測を行った結果, (d)15 秒間の計測を行った結果, (e)30 秒間の計測を行った結果, (f) 移動測域センサシステムを用いなくて 30 秒間の計測を行った結果



(a)



(b)

**Fig.8** ロボットが移動しながら行ったの環境の三次元計測結果：(a) 視点 1 からの表示, (b) 視点 2 からの表示