

無限回転型全方位三次元測域センサの開発

—回転軸を通した電源の供給と信号の伝送—

Development of Omnidirectional 3D LIDAR Using Unlimited Rotating Device

-Power Supplying and Signal Transmitting through Rotating Shaft-

○ 吉田 森彦 (筑波大), 渡辺 敦志 (筑波大), 正 大矢 晃久 (筑波大)

Morihiko YOSHIDA, University of Tsukuba

Atsushi WATANABE, University of Tsukuba

Akihisa OHYA, University of Tsukuba

Abstract— This paper describes the new scanning method of 3D LIDAR (Light Detection and Ranging) for high speed measurement with small blind area by using unlimitedly rotating 2D LIDAR. In scanning methods of 3D LIDAR with rotating 2D LIDAR, wiring connection of power supply and signal transmission have been a significant problem. In this paper, the authors propose the 3D LIDAR by using unlimitedly rotating 2D LIDAR by supplying power through rotating shaft and transmitting modulated carrier signal on power supply line. Also, the detailed design of a prototype of proposing 3D LIDAR and experimental result are shown.

Keywords: 3D LIDAR, 3D obstacle detection

1. はじめに

近年、移動ロボットの環境認識や、三次元の領域内への侵入検知、障害物検知のために、レーザ式測域センサが用いられている。レーザ式測域センサは、レーザを二次元的あるいは三次元的に走査し、反射光が帰ってくるまでの時間を計測することで走査した平面空間内における物体の形状を計測できる。特に、三次元的に空間内の広範囲の形状を計測できる三次元測域センサは、鉄道のホームドアのはさみ込み検出センサや、自動ドアの人間検知センサの空間検知センサへの応用が期待されている [1]。また、全方位を計測できる三次元測域センサは、移動ロボットの障害物検知、自己位置推定などに有効であると考えられる [2]。

三次元空間内を計測する測域センサとして、二次元レーザ式測域センサ自体を回転・揺動してレーザを三次元的に走査する手法が提案されている。移動ロボット用の三次元測域センサとして、松本らによる揺動機構を用いた手法がある [3]。これは、ジンバル機構に二次元測域センサを取り付けて揺動することで、レーザを三次元的に走査する手法である。この手法は、三次元空間内での形状を計測することができるが、センサの後方、上下など、死角が多い。また、揺動機構はボールジョイントを用いており、機械的な耐久性に乏しいなどの問題がある。

死角の少ない三次元測域センサに、大野らによる往復回転機構がある [4]。これは、パン・チルト機構に二次元測域センサを搭載し往復運動させることで、レーザを三次元的に走査させる方法である。この手法では、水平方向に全方位の視野が得られる。しかし、電源供給と信号伝送のケーブルの取り回しのため、往復の動作を必要とするため、計測が低速になる。

そこで本稿では、これらの問題の解決した無限回転型の三次元測域センサの実現を目的として、回転軸から電源の供給および信号の伝送を行う手法を提案する。

二次元測域センサを無限回転させて高速かつ広い視野で三次元全方位を計測する手法として、上田らの手法 [5] や、大竹らの手法 [6] がある。上田らによる手法は、電源の供給と信号の伝送に褶動式のスリップリングを用いるため、耐久性が低

い問題がある。大竹らによる手法は、水銀接点のロータリコネクタを用いているため、安全性の懸念から、コネクタの入手が難しくなっている。なお、水銀の代替として、RoHS 指令 [7] に対応したガリウム合金を用いたロータリコネクタが販売されている [8]。

本稿では、提案する手法の実現方法を述べ、実現可能であることを確かめるために試作したセンサを用いて実験を行った結果について述べる。

2. 回転軸を通して電源・信号を伝送する三次元測域センサの提案

二次元測域センサを無限回転させて三次元測域センサを実現するには、ケーブルの取り回し、すなわち電源の供給と信号の伝送方法が課題となる。本章では、この課題を解決するために、回転軸を経由して電源の供給と信号の伝送を行う手法を提案する。図 1 に提案する手法の概略を示す。

2.1 回転軸を通した電源の供給

本手法では、電源供給を回転軸を通して行う。上下 2 つの回転軸それぞれを、電源および GND の供給用の導線として用いる。これら 2 つの回転軸は、導電性のあるボールベアリングやモーターのギアヘッドを用いる。

2.2 電源への信号の重畳

計測された三次元データや空間検知センサの検知信号を出力するために、回転軸を通して供給されている電源に重畳する。センサ内部のマイコンで処理された信号で変調した交流電圧を電源の直流電圧に加えることで、電源を通して信号を伝送する。センサ内部の回転していない部分で電源と信号を分離して、信号の検出を行う。

3. 提案したセンサの実装

提案した回転軸を通した電源供給と信号伝送の手法が実現可能であることを確認するために、試作を行った。本章では、試作したセンサの構成を述べる。

この試作では、基本的な動作を確認するため、センサからある指定した範囲を検出して 1 ビットでその有無を出力する機能を実装することとした。

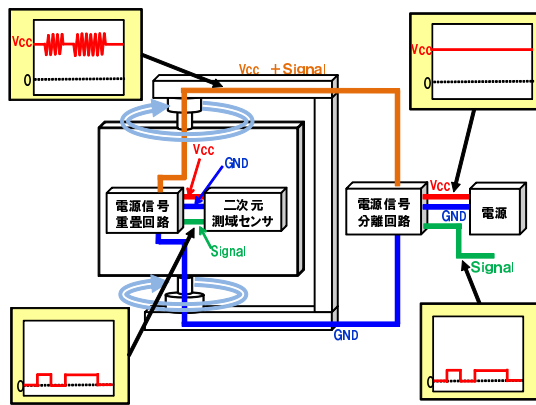


Fig. 1 Power supply and signal transmission through rotating shaft

3.1 全体の構成

図2に、試作したセンサの外観を示す。回転部に、二次元測域センサ、モーター、マイコン、モータードライバ、信号重畳回路を搭載している。土台側には、信号分離回路、電源、信号検出回路を搭載している。回転分への電源は、土台から回転軸を通して供給する。回転部の二次元測域センサから得られる距離データは、マイコンで処理し、予め指定した範囲内に物体が検出された場合に信号を出力する。マイコンからの出力信号は、信号重畳回路で変調して、電源の電位に重畳する。土台側の電源信号分離回路は、電源に重畳された変調信号を分離し、信号検出回路で復調した信号を出力する。

回転部の筐体および、土台部の筐体はアルミ材で構成している。

回転部分に搭載する二次元測域センサは、北陽電機社製のURG-04LXを用い、URG04-LXのデータを処理するマイコンは、ルネサスエレクトロニクス社製のSH7125を用いた。

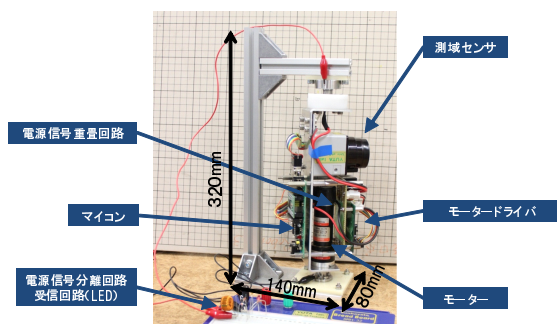


Fig. 2 Appearance of prototype

3.2 電源供給のための回転軸

提案した無限回転型全方位三次元測域センサでは、回転部への電源供給のために回転軸を導線として用いる。試作したセンサでは、モーターのギアヘッドとボールベアリングを用いた。導電性ボールベアリングは片シールドタイプのボールベアリングに、導電性グリスを注入して作成した。導電性グリスは、銅のコンパウンドを含有するMolyslip社製COPASLIPを使用した。

試作したセンサでは、2つの回転軸それぞれを電源および

GNDの供給用の導線として用いるため、この2つの回転軸は互いに絶縁する必要がある。

図3にギアヘッド側の回転軸、図4に導電性ボールベアリング側の回転軸の構造を示す。モーターのギアヘッド側で回転軸は、回転分の筐体にネジで固定している。導電性ボールベアリング側の回転軸は、電源が短絡しないように、樹脂でできたベアリングホルダで固定して、回転部の筐体から絶縁した。

また、土台部は、それぞれの軸を固定する部分にABS樹脂製の板を挟むことで、筐体と電源を絶縁している。

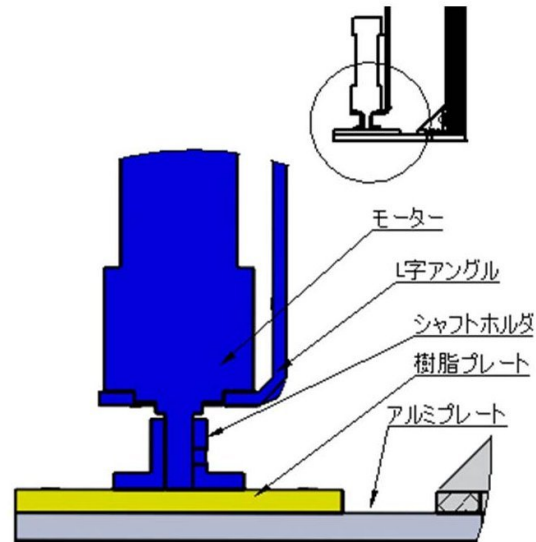


Fig. 3 Isolation of the gearhead of the prototype

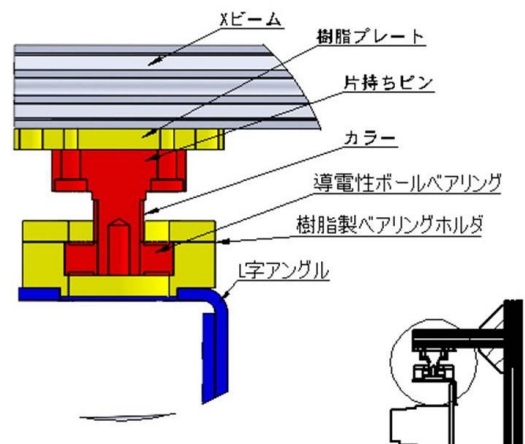


Fig. 4 Isolation of the ball bearing of the prototype

3.3 信号重畳回路と、信号分離・検出回路

回転部のマイコンで生成した物体検出信号は、回転軸を通して供給される電源に重畳して伝送する。図5に作成した電源信号重畳回路と分離回路の回路図を示す。回転部の二次元測域センサ、マイコン、モーターへの電源は、回転軸からLPFを通して直流成分のみ供給する。発振回路で発生した矩形波を搬送波として、伝送する信号との論理和をとることで振幅

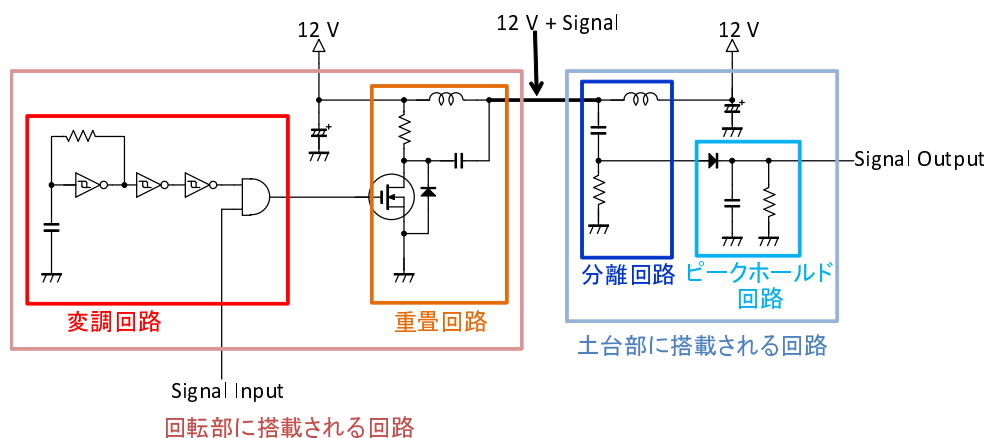


Fig. 5 The circuit mounted on the prototype

変調された信号を生成し、これを電源に交流的に接続することで、信号を重畳した。土台部では、変調信号が重畳している電源から、ハイパスフィルタで交流成分のみを分離している。分離した信号をピークホールド回路で復調することでマイコンから出力された信号をセンサから出力する。

3.4 ソフトウェアの実装

試作したセンサを近接センサとして動作させるために、一定の距離範囲に物体が検出されると信号を出力するプログラムをマイコン上に実装した。ここでは、検知する範囲を、回転部に搭載した二次元測域センサから 15 [cm] 以上 40 [cm] とした。15 [cm] 以内を検知しても信号重畳回路に信号を出力しないのは、回転軸を支えている支柱を検知する範囲から除外するためである。

通信する信号は、指定した空間内に物体を検知したかどうかの 1bit とする。これにより、回転部を搭載したモーターで回転させながら計測をすると、測域センサの周辺 15[cm] ~ 40[cm] の物体を検知する近接センサとしての動作を実現できる。

4. 実験による動作の確認

試作したセンサで、回転軸を通しての電源の供給と信号の伝送ができることを確認するために、実験を行った。

図 6 に、実験環境を示す。センサの出力を確認するために LED を取り付けけた。

試作したセンサを動作させ、回転部が無限回転している状態で、手を近づけ、40[cm] 以内に近づくと、LED が発光することが確認できた。手を近づけると、回転部に搭載された二次元測域センサの走査平面が通過したときだけ LED が発光する。また、回転部の二次元測域センサにさらに手を近づける。これらより、試作したセンサが実装した通りに動作していることが確認された。

5. 今後の課題

本稿で提案した無限回転型全方位三次元測域センサの実用化や、三次元データの取得を実現するためには、以下の 3 点を更に検討する必要があると考えられる。

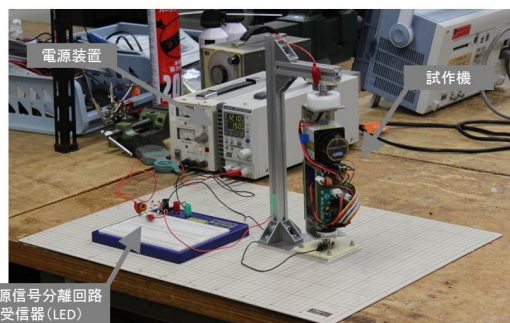


Fig. 6 The view of experiment environment

• 信号伝送の情報増大

本稿で述べた試作では、出力する信号は検知範囲内に物体が検出された否かの 1bit としたが、計測点の三次元距離データを全て取得できることが望ましい。そのためには、信号伝送の情報量を増やす必要がある。

• 回転軸の導電性の持続性

本手法では、モーターのギアヘッドとボールベアリングを導線として用いている。販売されている導電性グリスを用いた導電性ボールベアリングは、主に印刷機の静電気の除電に用いられ、定期的な交換が必要な部品として扱われている。本研究で作成した導電性ボールベアリングは、除電用の製品とは電機抵抗や動作範囲が大きく異なるため、導電性の持続性を確認する必要がある。

• 死角となる支柱

本稿で述べた試作では回転部の上下に回転軸を設けていたため、それらを保持する支柱が必要となり、計測可能範囲に死角があった。死角を減らすためには、回転軸を片持ちにすることが効果的と考えられる。ただし、電源の供給、信号の伝送のためには電源供給と GND 供給の互いに絶縁された導通部分が必要となる。そのためには、ボールベアリングを 2 つ用いて、お互いに絶縁するなどの手法を検討する必要がある。

6. おわりに

本稿では、回転軸を通して電源の供給と信号の伝送を行うことで無限回転型全方位三次元測域センサの実現方法を提案し、試作したセンサを用いてこの動作を確認した結果を述べた。

三次元空間内の形状を計測できる三次元測域センサは、侵入検知センサ、近接センサなどに利用させるほか、移動ロボットの環境認識、障害物回避などにも有効であると考えられる。

二次元測域センサを回転させて三次元空間内を計測する三次元測域センサとしては、ジンバル揺動機構を用いる手法、パン・チルト機構を用いる手法が提案されている。ジンバル機構を用いると、センサの後方、上下など、死角が多いなどの問題がある。回転機構を用いると、ケーブルの取り回しが問題となり、往復回転の動作となり、計測された点群に時間的な偏りが生じてしまう。

また、二次元測域センサを無限回転させる三次元測域センサも提案されているが、スリップリングや水銀ロータリーコネクタを用いるため、耐久性や安全性の問題があった。

本稿では、回転軸を通して電源を供給し、信号は電源に重畳することで伝送する手法を提案した。本手法を用いたセンサの動作を確認するために、提案手法を用いた近接センサを試作した。実験の結果、提案する回転軸を通して電源供給と信号の伝送ができることが確かめられた。

今後の課題としては、伝送する信号の情報量を大きくする手法の検討、導電させる機械部品の導電性の持続性の検証、センサの死角をなくすために片持ちの回転軸にする手法の検討などが挙げられる。

参考文献

- [1] 大谷 洋介, 富沢 哲雄, 工藤 俊亮, 末廣 尚士: "LRS を用いた移動体の進路予測", 第 13 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 3F2-3, 2012.
- [2] 友納 正裕, 吉田 智章, 入江 清, 小柳 栄次: "つくばチャレンジにおける屋外ナビゲーションの問題分析と基本設計", 日本ロボット学会誌 Vol.30 No.3, pp.30-38, 2012
- [3] 松本光広, 吉田 智章, 小柳 栄次, 川田 浩彦, 嶋地 直広, 大矢 晃久, 油田 信一: "回転式揺動機構による測域センサの三次元化", ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 20082P1-G17, 2008
- [4] 大野 和則, 桜田 健, 竹内 栄二郎, 小山 順二, 田所 諭: "高速で密な形状計測を行う小型 3 次元スキャナーの開発", ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2009, 1A1-E04(1)-1A1-E04(2), 2009.
- [5] 上田 達朗, 川田 浩彦, 富沢 哲雄, 大矢 晃久, 油田 信一: "無限回転機構を用いた 3 次元測域センサ", ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2006, 2P1-C16(1)-2P1-C16(4), 2006.
- [6] 大竹 一樹, 徳永 直木, 永谷 圭司, 吉田 和哉: "移動物体検知のための高速三次元距離情報取得システムの構築", ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2010, 1P1-E01, 2010.
- [7] "Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment", <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32002L0095:EN:HTML>
- [8] アジアンツール社 ロータリコネクタ, <http://www.asiantool.com.tw/product.php>