

移動ロボットのための三次元地図の獲得に関する研究

Acquisition of Three Dimensions Map for a Mobile Robot

○佐々木孔明*

釜谷博行**

○Koumei Sasaki*

Hiroyuki Kamaya**

*八戸工業高等専門学校 専攻科 **八戸工業高等専門学校

*Hachinohe National College of Technology Advanced Engineering Course

**Hachinohe National College of Technology

キーワード：移動ロボット(Mobile Robot), 測域センサ(Laser Range Finder)

三次元地図(3D Map), 自律制御(Autonomous Control)

連絡先：〒039-1192 八戸市田面木字上野平 16-1 八戸工業高等専門学校 電気情報工学科

釜谷博行, Tel.: 0178-27-7283, E-mail: kamaya-e@hachinohe-ct.ac.jp

1. はじめに

自律移動ロボットとは、外部からの指令を受けず、ロボットに内蔵されているセンサや、事前に記憶された情報だけを使用して行動するロボットである。近年ではショッピングセンターなどで道案内をするロボットや、工場で資材を運搬するロボットなど、徐々に身近な存在になってきている。

自律移動ロボットにとって、周囲の状況を正確に認識することは必須条件である。特に屋内を移動するロボットは、壁や机などの障害物を避けながら移動しなければならない¹⁾。測定方向の限られた超音波センサなどでは、机の細い脚や、床にある小さな物体を正確に測定することは困難である。一方、測域センサは水平方向の障害物を一度に測定することができるが、上下方向の障害物は測定することができない。

そこで本研究では、測域センサを移動ロボットに搭載し、センサを上下方向に傾けロボット周囲の障害物を立体的に測定し、ロボットの移動とともに同様な計測を繰り返すことで屋内環境の三次元地図を獲得することを目的とする^{2) 3)}。

2. 実験システム

本研究のシステム構成を図 1 に示す。システムの各部分について以下に説明する。

2-1. 測域センサ

今回障害物を検出するセンサとして、北陽電機製 URG-04LX 測域センサ(図 2)を用いる。測域センサとはレーザー光を使った距離センサである。レーザーを放射し、跳ね返ってきたレーザーの位相差から、物体までの方向と距離を検出する。センサの周囲 240 度の範囲を水平方向に 0.36° の分解能で測定でき、1 回の測定にかかる時間は 100ms、距離は最大 4,000mm まで、10mm の精度で測定することが可能である。

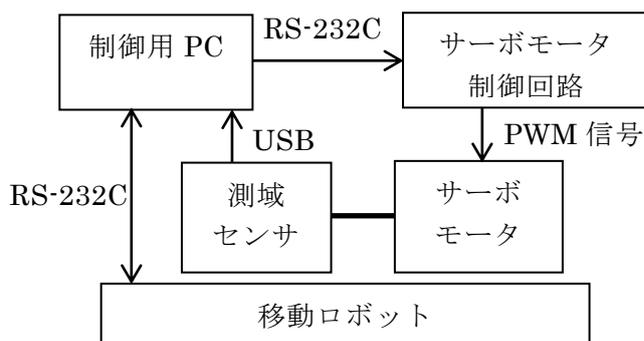


図 1 システム構成図

2-2. サーボモータ

測域センサを傾げるのに、サーボモータとして FUTABA 製 S3010 を使用した。サーボモータはアルミ製の土台で固定され、回転軸は測域センサに直結させており、角度の指定がそのまま測域センサの角度となっている。

2-3. サーボモータ制御回路

サーボモータの角度は入力される PWM 信号のパルス長で決定される。今回は、PWM 信号を生成するのに H8/3052 マイコンを用いた回路を作製した(図 3)。制御用 PC からシリアル通信(RS-232C)を用いて角度指令のデータを受信する。H8 マイコン側では、受信したデータに対応した PWM 信号を生成し、サーボモータを目的の角度に動作させている。



図 2 測域センサ

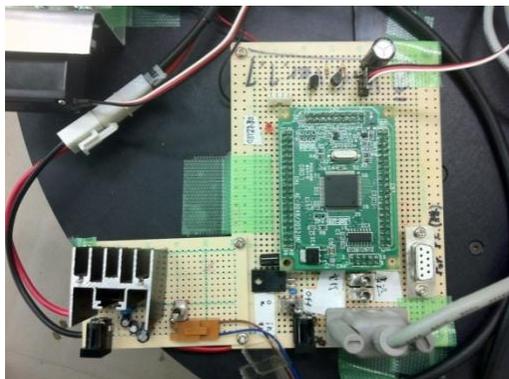


図 3 サーボモータ制御回路



図 4 実験用ロボット

2-4. 移動ロボット

移動ロボットとして、MobileRobots 社の PIONEER 3-DX を使用した。このロボットの特徴を以下に示す。

- ・外寸 44cm×38cm×22cm のアルミボディに直径 16.5cm の車輪を二つ搭載。後部にはキャスターを搭載し、三輪でロボットのバランスを取る。
- ・左右二つのモータには分解能 500p/r のエンコーダを搭載。
- ・平地では 1.6m/s で移動でき、25° までの傾斜、2.5cm の段差を乗り越えることが可能。
- ・差動駆動で自由に移動、旋回、定位置旋回が可能。

ロボットの上部が平坦になっているため、地図生成に必要な測域センサ、サーボモータ、サーボモータ制御回路、制御用 PC をすべて搭載した(図 4)。

3. 三次元地図生成手法

地図は以下の手順で作成される。

- ・Step1. 測域センサを任意の角度に傾け、距離を測定する。水平方向-45°～45°まで 1° 刻みで、計 90 回繰り返す。
- ・Step2. 獲得した距離データを極座標系から直交座標系に変換し、保存する。
- ・Step3. 次の測定位置までロボットを移動させる。
- ・Step4. ロボットに搭載されたロータリーエンコーダから移動距離と旋回角度を推定し、三次元地図上でロボットの位置を同期させる。

上記の Step1～Step4 までを繰り返すことで、三次元地図の生成範囲を拡大していく。

・ Step1

測域センサは前方の水平方向(xy平面上)の距離を一度に測定することが出来るが、単体では同一方向の距離しか測定することができない。この問題を解決するため、測域センサをサーボモータで任意の角度に傾けて測定することで、センサ前方の距離を立体的に測定することが可能となる。サーボモータで動かせる角度の関係から、本実験では角度 α が下方

向 -45° から上方向 45° までの合計 90° の範囲を 1° 刻みで測定する(図 5)。

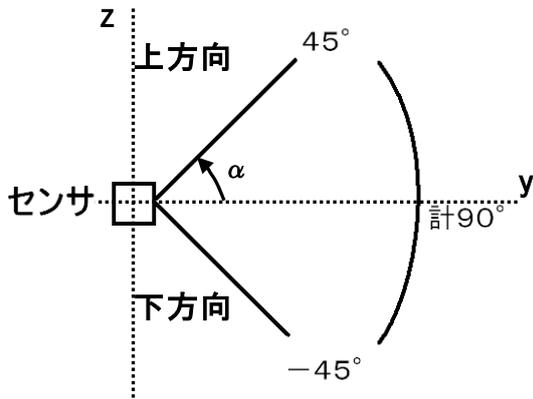


図 5 測定方向

・ Step2

今回使用した測域センサは、水平方向に 0.36° の分解能を持っているが、すべての角度のデータを地図生成に使用すると、計算量が膨大になり、処理に時間がかかる。そのため、地図生成に使用するのは 1° 刻みの合計 180° とした。測定で得られるデータは、物体までの距離 r 、 xy 平面の角度 ϕ ($0^\circ \sim 180^\circ$)、 yz 平面の角度 θ ($-45^\circ \sim 45^\circ$) の極座標系である(図 6)。センサのレーザー受光部からみた物体の位置 (x', y', z') は(1)式で得られる。

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r \sin \theta \cos \phi \\ r \sin \theta \sin \phi \\ r \cos \theta \end{pmatrix} \quad (1)$$

サーボモータで角度を変更する際の回転軸とレーザー光の受光部の距離 45mm 、ロボットが旋回する際の旋回中心軸からのオフセット 125mm 、床面とセンサ回転軸の高さ 250mm を考慮すると(図 7、図 8)、ロボットの原点から見た物体の位置 (x, y, z) は(2)式で表される。ただし、ロボットの原点はロボットの旋回中心、床面を基準とする。

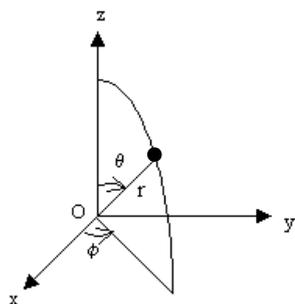


図 6 極座標系

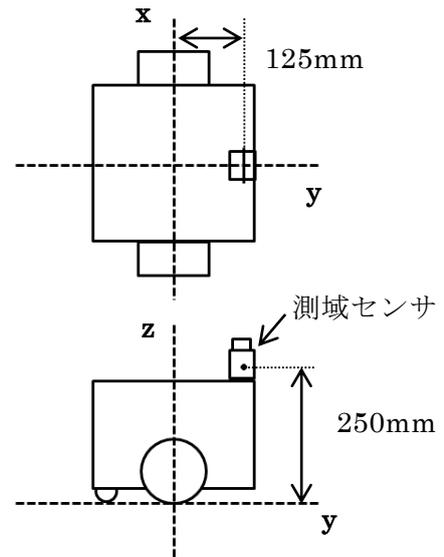


図 7 ロボット原点から測域センサまでの距離

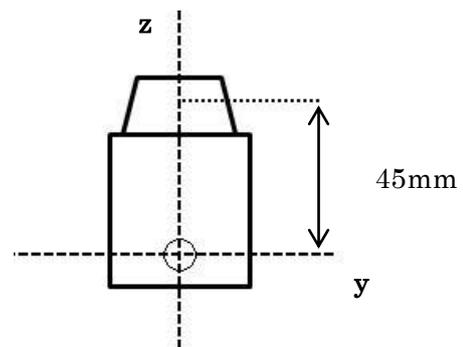


図 8 測域センサの回転軸と受光部の距離関係

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x' \\ 125 - 45 \sin \alpha + y' \\ 250 + 45 \cos \alpha + z' \end{pmatrix} \quad (2)$$

ただし、 $\alpha = \frac{\pi}{2} - \theta$

・ Step3

障害物の陰になって距離が測定できなかった場所や、距離が遠すぎてセンサの測定範囲外となり測定できなかった場所までロボットを移動させ、再度測定することで地図の生成範囲を広げていく。移動ルートは、獲得した地図から床の連続性、障害物の有無を検出することで決定することになるが、今回はユーザーが指示することにした。

・ Step4

ロボットに搭載されたロータリーエンコーダから得られるオドメトリより、移動量と旋回角度を地図に反映させていく。得られるオドメトリは x 、 y 座標の移動量と、 z 軸を中心とした旋回量であり、ロボットの傾きや z 座標のオドメトリは測定しない。

4. 実験環境

八戸工業高等専門学校電気情報工学科棟5階の廊下のL字コーナーで、実際に地図を生成する実験を行なった。実験環境の概要図を図9に示す。

ロボットが壁に沿って走行し、壁の直角の部分が認識できるか確認する(図10)。また、左に設置してあるソファも確認する(図11)。測域センサの計測地点を以下に示す。

- ① スタート地点で1回目の測定。
- ② 1m前進し2回目の測定。
- ③ 1m前進後右に 90° 旋回し3回目の測定
- ④ 1m前進して4回目の測定。

5. 地図の補正

測定して重ね合わせられた地図には、タイヤに装着されたエンコーダによる移動距離のオドメトリと、ロボットの実際の移動距離との誤差がある。この誤差により、複数拠点で計測した地図を重ね合わせるときにずれるという問題が生じる。この問題を解決するために、各測定ごとのずれを調べ、補正することでより正確な地図にしている。

今回の実験では、ロボットが旋回する時に誤差が発生し、障害物が不連続に認識されてしまった。図12は補正をする前の地図の一部である。本来繋がっていないといけない壁が二重になっていることが確認できる。そこで旋回後の3回目、4回目の測定データを、 x 方向に3cm、 y 方向に2.5cm平行移動させることで壁が連続になるように補正した(図13)。

6. 実験結果

生成された地図と、実際の環境の正確性を比較する。実験結果を図14、図15に示す。この図は、生成された三次元地図を射法投影で表示している。

まず、生成された地図が実際の環境をどの程度再現できているか確認する。図14、図15より、ロボットの進行方向右側で直角に交わる壁が正確に再現できていることが確認できる。進行方向左にあるソファとテーブルの形もほぼ正確に測定できていることが確認できる。

次に、定量的な評価を行う。壁と障害物である椅子の距離を測定する。実際の壁とソファの間の距離は1,760mmであったのに対し、生成された三次元地図上では1,850mmとなり、90mmの誤差が生じた。実測値と実験値に誤差が生じている。測域センサの測距精度は $\pm 10\text{mm}$ であるため、機械的な誤差とは考えられない。今後の検討課題としたい。

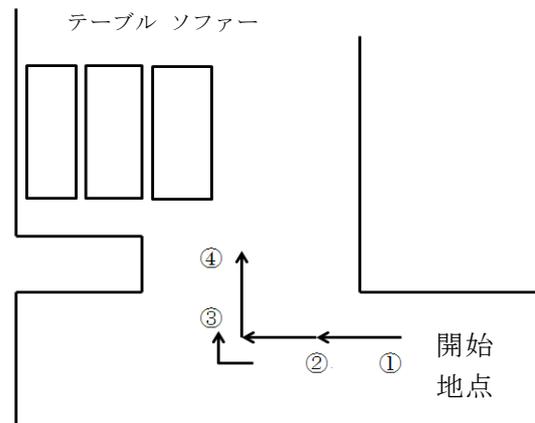


図9 実験環境の概要図



図10 実験環境

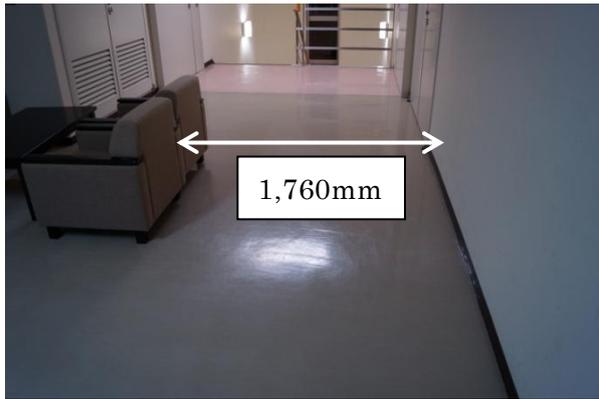


図 11 実験環境(計測対象)

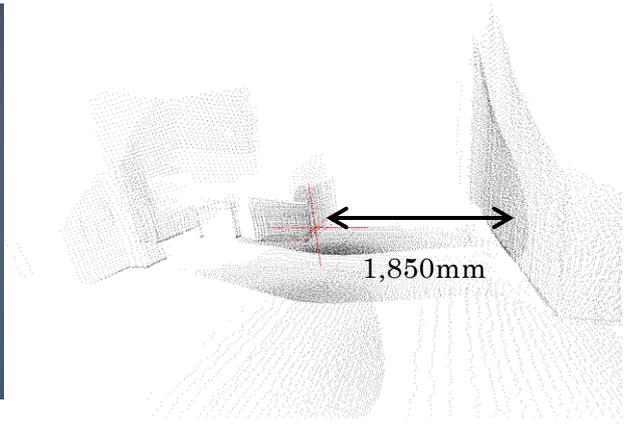


図 15 実験結果(計測対象)

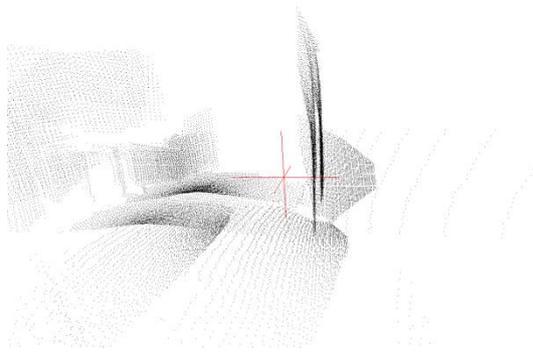


図 12 補正前の壁の様子

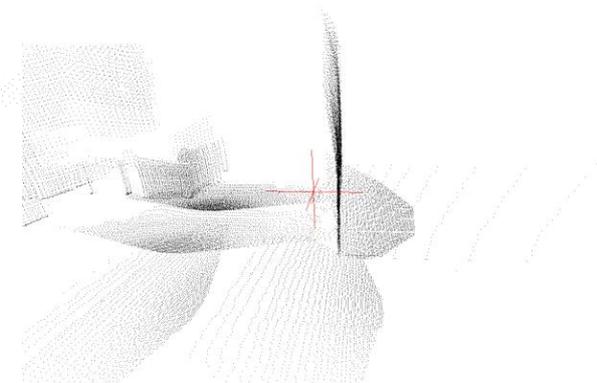


図 13 補正後の壁の様子

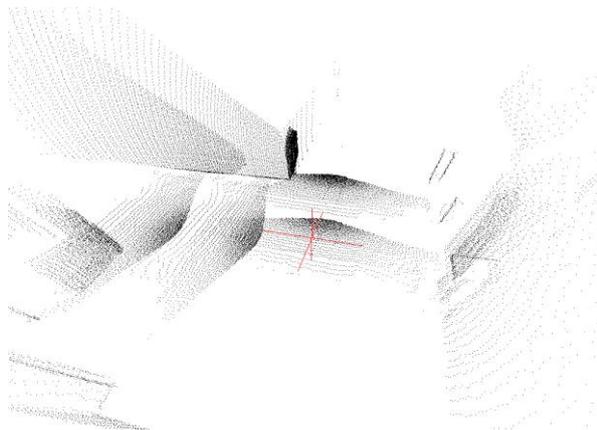


図 14 実験結果

7. おわりに

今回の実験では、移動ルートは事前に決定されたものであったが、目的通りに三次元地図を生成することができた。また、実際に完成した地図はロボットが移動するたびに誤差が蓄積し、補正がなければ実用レベルの地図にはならないことが分かった。

今後の予定として、ロボットが移動するたびに蓄積される誤差を前後の測定結果から自動補正し、完全な地図を自動で生成可能にする。また、その地図をもとに障害物を自動検出し、進入可能領域、不可能領域、未測定領域を判別し自動で屋内の地図を完成させるシステムの開発を行うことなどが挙げられる。

参考文献

- 1) 荒木天外,竹村憲太郎,怡土順一,松本吉央,高松淳,小笠原司:汎用三次元環境地図を用いた移動ロボットナビゲーションのための地図生成,日本ロボット学会誌,Vol.28, No.1,106-111, 2010
- 2) 河合克也,中澤篤史,清川清,竹村治雄:移動ロボットによる災害地の三次元構築のポテンシャル場を用いた経路検索:電気情報通信学会, Vol.105, 85-90, 2006
- 3) 岩科進也,山下淳,金子透:レンジセンサ搭載移動ロボットによる動的環境における3次元地図生成,ロボティクスシンポジウム講演予稿集, Vol.14, 300-305, 2009