

C-029

## 位置・姿勢制御可能な測域センサによる不整地移動ロボットの3次元環境計測 3D Environment Sensing by a Tracked Vehicle Based on Laser Range Finder Control

近藤 雄哉<sup>†</sup>  
Yuya Kondo

藤田 豊己<sup>†</sup>  
Toyomi Fujita

### 1. はじめに

被災地や危険な環境で人命救助等の活動を行うレスキューロボットへの期待が高まっており、近年数多くのレスキューロボットが開発・研究されている[1]。その背景から筆者らもレスキュー活動への応用を目指した不整地移動ロボットの開発・研究を行っている[2,3]。

移動ロボットの環境認識や環境地図作成などのために測域センサが近年多く用いられている。測域センサを用いることにより2次元平面上における正確な環境形状を計測することができる。さらに、これを3次元環境計測に拡張するためセンサへ回転機構を搭載した手法が考案されている[4,5]。回転機構を搭載することによりセンサ位置から全方位の3次元環境形状を取得することが可能となるため、移動ロボットの3次元環境認識には有効となる。しかし、この手法では設置位置から前方斜め下方向に対してオクルージョンが生じやすく、不整地での深い溝や谷などに対しては正確な情報が獲得できないことが考えられる。そこで、本研究では昇降可能なアーム機構の先端に回転可能な測域センサを搭載して3次元環境形状を計測する手法を考案した。この方式ではアーム先端の位置・姿勢を制御することで対象に応じた位置・方向からの計測が行える。そのため、例えば前方に延びる斜面に正対させて計測することが可能となり、複雑な形状に対する3次元計測が従来の回転機構のみの方式と比べより高精度に行えることが期待できる。また、センサを上下動させることにより均一なスキャン密度による計測が可能となり、従来の方式における集積点の問題も解決できるため、不整地移動ロボットによる3次元環境計測に有効な手法であると考えられる。

### 2. システム概要

#### 2-1. 不整地移動ロボット

本研究で用いる不整地移動ロボットを Fig.1 に示す。このロボットは東北工業大学「組込みシステム開発研修センター」で開発を進めているクローラ型不整地移動ロボットである。クローラはチェーンとスプロケットから成り、チェーンのアタッチメントへゴムブロックを装着した構造となっている。対角のスプロケットを DC モータで駆動し、2クローラの各速度を制御する。

測域センサには  $240[^\circ]$  の2次元平面上を  $0.36[^\circ]$  ピッチでスキャン可能な北陽電機社製の URG-04LX [6] を使用した。センサをアーム型昇降機の先端に設置し、ロボット上面中央へ搭載した。ロボット全体のサイズは  $L: 400[\text{mm}]$ ,  $W: 330[\text{mm}]$ ,  $H: 230[\text{mm}]$  (センサ下降時) で、総重量は約  $11[\text{kg}]$  である。

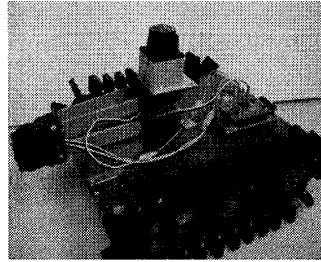


Fig. 1 Tracked Vehicle

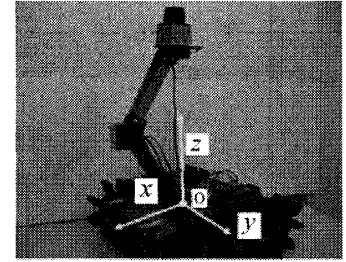


Fig. 2 Overview of Lifiable LRF

#### 2-2. アーム型センサ位置姿勢制御機構

2リンク3関節から成るアーム型センサ位置姿勢制御機構を設計・試作した。この概観を Fig.2 に示す。長さ  $160[\text{mm}]$  の同一リンク2本を結合した構造となっている。アームの関節には RC サーボモータを用いた。各関節のサーボモータをピッチ軸周りに回転させることによりセンサ位置と姿勢を変化させ環境形状をスキャンすることができる。センサ最下降時にセンサを水平かつ安定に保つため、リンク間に2つのサーボモータを使用した。本試作機ではセンサを  $340[\text{mm}]$  の高さまで昇降させることが可能である。Fig.2 はセンサを真上に約  $200[\text{mm}]$  上昇させたときの概観を示す。

#### 3. 3次元計測点の算出

センサからスキャン角  $\theta_s$  における検出距離  $d_s$  が得られたときの3次元計測点を算出する。Fig.2 に示す座標系を基準座標系  $\Sigma_0$  とし、各モータ回転軸およびセンサ原点における座標系を Fig.3 に示すように設定する。このとき、 $\Sigma_0$  座標系における3次元計測位置ベクトル  $\mathbf{X}$  は式(1)により得られる。

$$\begin{pmatrix} \mathbf{X} \\ 1 \end{pmatrix} = {}^0\mathbf{P}_1 {}^1\mathbf{P}_2 {}^2\mathbf{P}_3 {}^3\mathbf{P}_4 {}^4\mathbf{P}_5 \begin{pmatrix} \mathbf{X}_s \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

ここで、 $\mathbf{X}_s$  はセンサ座標系における計測点の位置ベクトルであり、

$$\mathbf{X}_s = d_s (\cos \theta_s, \sin \theta_s, 0)^T \quad (2)$$

である。

${}^i\mathbf{P}_{i+1}$  ( $i=0, \dots, 4$ ) は  $\Sigma_i$  座標系から  $\Sigma_{i+1}$  座標系への同次変換行列であり、回転行列を  ${}^i\mathbf{R}_{i+1}$ 、並進ベクトルを  ${}^i\mathbf{T}_{i+1}$  とすると

$${}^i\mathbf{P}_{i+1} = \begin{pmatrix} {}^i\mathbf{R}_{i+1} & {}^i\mathbf{T}_{i+1} \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (i=0, \dots, 4) \quad (3)$$

となる。

${}^i\mathbf{R}_{i+1}$  は  $y_i$  軸回りに  $\theta_{i+1}$  回転する行列を表し、

<sup>†</sup>東北工業大学 工学部 知能エレクトロニクス学科  
Department of Electronics and Intelligent Systems, Tohoku  
Institute of Technology

$${}^iR_{i+1} = \begin{pmatrix} \cos \theta_{i+1} & 0 & \sin \theta_{i+1} \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta_{i+1} & 0 & \cos \theta_{i+1} \end{pmatrix} \quad (i=0, \dots, 4) \quad (4)$$

である。各並進ベクトルは

$${}^iT_{i+1} = (0 \ 0 \ \ell_i)^T \quad (i=0, \dots, 4) \quad (5)$$

となる ( $\ell_0 = 0$ )。

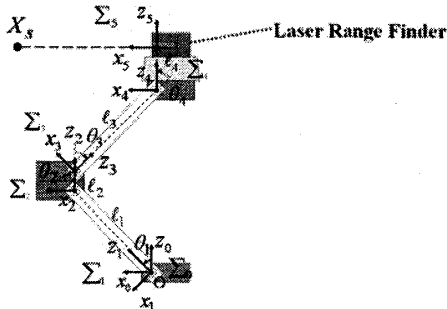


Fig. 3 Coordinate system

## 4. 実験

### 4-1. 上り階段の3次元形状計測

はじめに、上り階段に対する3次元環境形状計測を行った。実験環境を Fig.6 に示す。図中左は概観、右は形状図である。今回は高さ 80 [mm], 奥行き 80[mm]の段差を正面前方 700[mm]にセンサ基準位置の高さから設置した。センサを初期位置から真上へ垂直に上昇させるようアームを可動させた。センサの姿勢は水平に保ち、高さ 68[mm]毎に計測した。

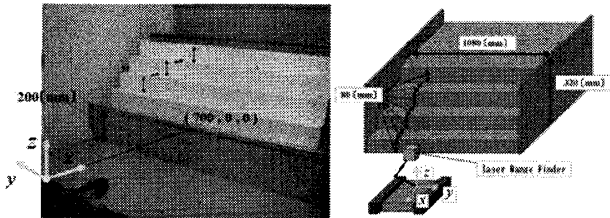


Fig.6 Experimental environment for a stair configuration

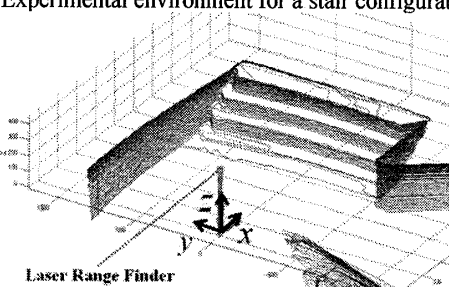


Fig.7 Measurement result of a stair configuration

この計測によって得られた形状を Fig.7 に示す。この結果から、一般的な上り階段の形状を計測することができることを確認した。

### 4-2. 下り階段の3次元形状計測

次に下り階段に対する3次元環境形状計測を行った。この実験環境を Fig.8 に示す。図中左は概観、右は形状図および参照点の座標を示す。段差は実験 4-1 で使用した段差

と同じものをロボットの下方向に設置した。計測方法は Fig.3 内のアームの角度  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$  を変えずセンサ位置を固定し、 $\theta_4$  のみを  $0^\circ$  から  $63^\circ$  の範囲で  $1.8^\circ$  刻みに変化させてセンサを回転した。センサのスキャンは各回転角ごとに計 35 回行った。

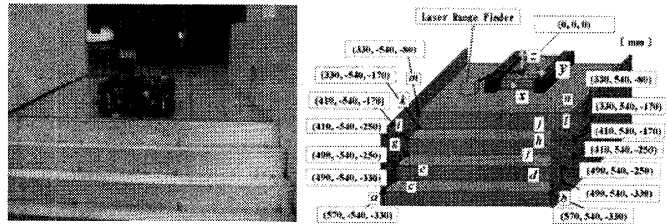


Fig.8 Experimental environment for a downward stairs

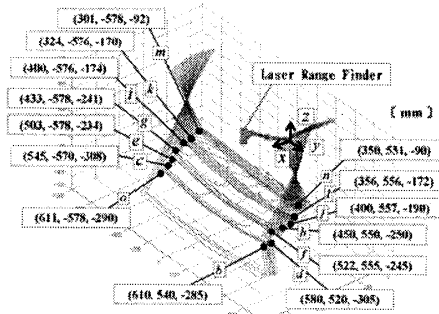


Fig.9 Measurement result of a downward stairs

計測結果を Fig.9 に示す。実験環境内で任意に定めた参照点 a ~ m における計測距離の誤差を算出したところ、最大 38.7[mm]となり、すべての参照点において誤差割合は 5.5[%]以下になることが分かった。この結果から、本研究の計測手法により、下り階段形状に対して高精度な 3 次元計測が可能であることを確認した。

## 5. おわりに

本稿では、不整地移動ロボットに有効となる 3 次元環境計測のために、測域センサをアーム型位置姿勢制御機構に搭載して対象に応じてセンサの位置・方向を変化させて計測する手法を提案した。試作機で実験を行い、上下方向の階段に対する 3 次元形状計測を行い、本計測手法の有効性を確認した。

今後はより複雑な環境での計測を行い、本手法の有効性をさらに検証する。また、ロボットのオドメトリと連動した 3 次元環境マッピングを目指す。

## 文献

- [1] 田所諭, 大須賀公一, 天野久徳, “レスキューロボット”, 日本ロボット学会誌, Vol.19, No.6, pp.685-688, 2001.
- [2] 近藤雄哉, 千葉裕太, 藤田豊己, “測域センサを用いた不整地移動ロボットの走行制御”, 平成 21 年東北地区若手研究者発表会, 講演予稿集, pp25-26, 2009.
- [3] 近藤雄哉, 藤田豊己, “昇降可能な測域センサによる不整地移動ロボットの 3 次元環境計測”, ROBOMECH'09, IA1-D20, 2009.
- [4] 上田達朗, 川田浩彦, 富次哲雄, 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”, 日本機械学会, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 講演論文集, 2006.
- [5] 河原豊和, 大野和則, 田所諭, “2次元測域センサを用いた広範囲の蜜な形状計測のための 3次元スキャナーの開発”, ROBOMECH'07, 1P1-K03, 2007.
- [6] 北陽電機株式会社 <http://www.hokuyo-aut.co.jp/>