E-7

ＬＲＦを用いた階段形状同定に基づくレスキューロボットの姿勢制御の研究

Research on Posture Control of Rescue Robots based on Shape Identification of Stairs with LRF

○北原佑樹[1]，　羽多野正俊[2]
*Yuki Kitahara[1], Masatoshi Hatano[2]

Abstract: This paper is concerned with a proposal of a posture control method for rescue robots running over stairs. We have constructed rescue robots and performed experiments in rescue fields (in RoboCup). Then, one of problems which were clarified is the posture control for running over stairs. In this report, we propose a method for identification of shapes of stairs using LRF and show experimental results to confirm the validity of the proposed method.

１．緒言

本研究の目的は，レスキューロボットの自律化において必要な階段踏破能力について，センサにより階段形状を同定し，それに基づいたロボットの姿勢制御手法の提案である．

災害現場は瓦礫等の障害物により走行路面形状が複雑化するため，人間が遠隔操作をする場合には搭載カメラなどの限られた情報からロボットの高度なコントロール技能を要求される．さらに複雑な環境に対応するためにロボット機構が複雑化する傾向にあり，操作パラメータの増加によっても高度な技能を要求される．このような問題に対して、操縦者の技量や訓練に依らず，容易に操縦操作を行えるようなシステムの構築や，さらにはロボットの完全自律化を考慮した開発研究が必要である．

本研究では走破対象の障害物のうち建物内に存在する階段をターゲットとし、障害物走破用のサブクローラを持つロボットが階段を走行する際に，センサを用いて階段形状を同定し，特に階段エッジ部分により構成される傾斜角に合わせてサブクローラの角度制御を行う手法を提案する．センサにはLRF(Laser Range Finder)を用い，三次元計測により階段形状同定を行った．本手法の有効性を実験により確認したので報告する．

２．計測装置概要及び構造

本研究で使用した計測装置について述べる．

本来，LRFはロボットに搭載されているが，提案する手法の基礎特性実験を行うために，平面の距離計測用LRFのUBG-04LX-F01をFigure 2.1のように単体で設置し，またサーボモータによる首振りを行う事により階段形状の3Dデータを取得する．またLRFと階段との相対関係および測定範囲についてFigure 2.2に示す．

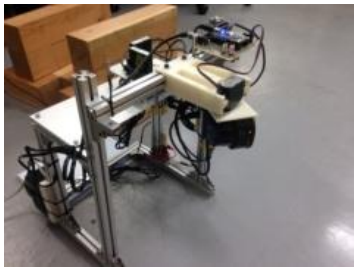
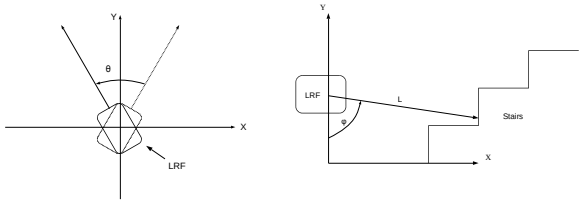


Figure 2.1　Overview of experimental equipments

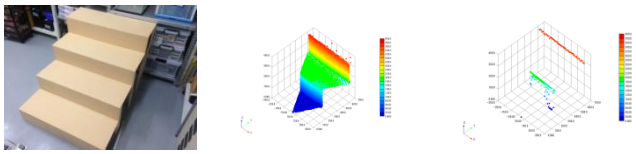


(a)Top view　　(b)Side view

Figure 2.2　Image of stairs scan

３．階段形状の認識及び傾斜角度推定法

階段の各エッジを結んだ平面の角度を求める為には各エッジの情報が必要となるが、過去の研究[1][2]における手法では階段の「踏面」の情報も必要であった事から、LRF の取り付け位置以上の高さに存在する段のエッジの推定が困難となる問題が有った．よって「けあげ」のみに依存するエッジ推定を行った．



(a) The stairs　　(b) 3-D data　　(c) Edge of the stairs

１：日大理工・院（前）・精機　２：日大理工・教員・精機

Figure 3.1 The stairs data

Figure 3.1(a)に示すような実験用の理想的な階段形状を LRF を用いて測定すると，Figure 3.1(b)のようなデータが取得できる．LRF によって得られた階段の形状データを Y 軸方向に 10㎜刻みでスライスした空間に存在する測定点の数をカウントする事で各段差のエッジを検出する．そして Figure 3.1(c)のように得られたエッジから代表となる 3 点(A,B,C) をエッジ処理後のデータよりランダムに Figure 3.2 のように抽出しその 3 点(A,B,C) による平面の傾きを求める．

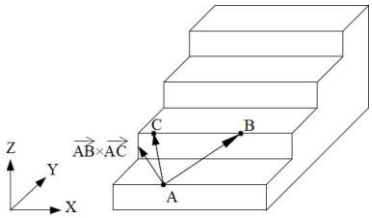


Figure 3.2 Model of stairs

抽出した任意の 3 点を△ ABC としその座標を A：(a1,a2,a3)，B：(b1,b2,b3)，C：(c1,c2,c3) とおき，ベクトル AC と AB の外積を求めると

$$
\begin{aligned}
&\mathrm{AC}\times\mathrm{AB} = \\
&\{(c2-a2)(b3-a3)-(c3-a3)(b2-a2); \\
&(\mathrm{c3}-\mathrm{a3})(\mathrm{b1}-\mathrm{a1})-(\mathrm{c1}-\mathrm{a1})(\mathrm{b3}-\mathrm{a3}); \qquad (3.1) \\
&(c1-a1)(b2-a2)-(c2-a2)(b1-a1)\} \\
&= (\mathrm{N1};\mathrm{N2};\mathrm{N3})
\end{aligned}
$$

となり、このベクトルよりロボットの走行面となる平面と現在測定装置が存在する平面との相対角度を推定出来る．

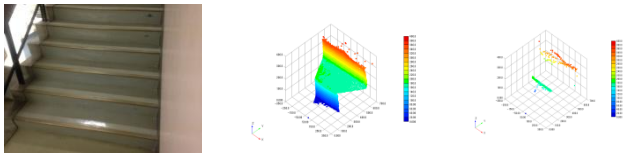
なお(i1, i2, i2)(i=a, b, c)はそれぞれ x, y, z 軸方向の座標を表す．

この手法を用いて Figure 3.1(a)に示す階段の傾斜角推定の基礎実験を行った結果，誤差１°以下の精度で傾斜角度を推定できた．

４．実験

以下に実際の階段を計測した場合を以下に示す．

計測対象とした階段は，Figure 3.3(a)に示すような，エッジ部分に金属が貼り付けられており、測定データ上では一段目中央付近が凹むような形状として取得された．また，「けあげ」が直角ではなくオーバーハングしているため，Figure 3.1(a)に示した理想的な階段形状では直角であった場合と比べて，エッジが存在すると推定される領域の奥行きが多く取られる現象が生じた．そのため，本来エッジではない部分もエッジとして認識され，推定された傾斜角は実際の角度に対して−10%程の誤差を生じた．



(a) The stairs　(b) 3-D data　(c) Edge of the stairs

Figure 3.3 The stairs data

これらの実験により，以下のことが明らかとなった．

1. 上り階段の推定において，LRF の設置位置よりも高所に存在する階段のエッジ位置を計測することにより，傾斜角の推定精度が向上する．
2. 表面の反射が少ない素材で製作した実験用の階段に対しては高い精度での傾斜角推定が行えたが、金属部分や逆スラントなどが存在する実際の階段に対しては，レーザー光の反射を利用した LRF の特性による測定精度の劣化により傾斜角の推定精度が劣化する問題が明らかになった．

５．結論

本研究では，LRF を用いたレスキューロボットのための階段形状の認識及び階段の傾斜角の推定法を提案した．推定実験を行い，傾斜角を推定しサブクローラの姿勢制御を行い，階段踏破できることを確認した．

今後，種々の階段形状を対象とした実験を行い，推定精度の向上や推定した階段形状を走行するのに最適な姿勢を求める手法について研究をおこなう予定である．

６．参考文献

[1] 大宮隆，羽多野正俊，レスキューロボットの階段踏破のための最適姿勢制御に関する研究，日本大学理工学部修士論文，2014

[2] 癸生川光太郎，羽多野正俊，探索型レスキューロボットにおける階段等走破時の最適姿勢制御の研究，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，2011