

サブクローラに小型測距モジュールを搭載したクローラ型移動ロボットの階段走行の自律化

Autonomous stair climbing/descending method for a tracked vehicle based on small range sensors mounted on its subtracks

○学 幸村 貴臣 正 永谷 圭司 正 吉田 和哉 (東北大学)

Takaomi KOUMURA (Tohoku Univ.) , koumura@astro.mech.tohoku.ac.jp
Keiji NAGATANI, Kazuya YOSHIDA (Tohoku Univ.)

When a disaster occurs, there is a risk of secondary disasters for rescue crews. To use a robotic technology for search and rescue is a good solution to reduce the risk. Recent tracked vehicles for search and rescue missions have some additional actuators to improve traversability on rough terrains. However, it is very hard for operators to control such robots remotely because of the additional control of actuators. So, assist system of remote control of a tracked vehicle is effective. In this research, we proposed a method of autonomous stair climbing/descending method for a tracked vehicle based on small range sensors mounted on its subtracks. The method was implemented on one of the tracked vehicles called “Quince”, and was evaluated by some indoor environments. In this paper, we introduce our system, and report the results of the experiments.

Key Words : Rescue Robot, Tracked Vehicle, Subtrack

1 緒言

地震などの自然災害や、テロ行為などの人為的災害が発生した場合に、救助隊員による救助活動が重要であるが、2次災害などの懸念から、救助活動を行うことが困難な状況が発生しうる。このような場合、人間の代わりに、災害救助ロボットを用いることで、作業及び調査を行うことが期待されている。そのため、数多くの研究機関が、災害救助ロボットに関する研究開発を現在も進めている。中でも、サブクローラを有するクローラ型移動ロボット(以下ロボットとする)は、その不整地走破能力の高さから、災害救助ロボットとしての活躍が期待されている。

ロボットを用いた災害現場の無人探査では、遠隔操作による不整地の走行が、操縦者への大きな負担となることが知られている。そのため、ロボットの動作を一部自律化し、操縦者の負担を軽減する遠隔操縦支援システムが有用となるため、これまでもいくつかの研究が行われてきた [1][2]。著者らのグループでも、レーザ測域センサを用いて、地面形状を検出し、サブクローラの自律制御を行う研究が行われた [3]。この手法により、ロボットは、高い不整地走行能力を獲得したが、高価なレーザ測域センサを用いる必要があるという課題が存在した。また、ロボット上部の空間を一部占有するため、ロボット上部にマニピュレータを搭載した際に、動作可能範囲が狭まるという問題も存在した。

一方、災害探査の対象環境を屋内に限定すると、ロボットの移動が困難であるのは、階段である。そこで、本研究では、サブクローラ前方及び下方の測距データと、本体ピッチ角を用いて、低コストのセンサのみで、階段の走行を自律化する手法を提案する。さらに、提案手法を実ロボットに搭載して、実環境での動作を走行試験にて確認し、提案手法の有用性を評価する。

2 提案手法

ロボットが走行する際の状態は、平面走行、上り階段走行、下り階段走行の3つに分類できる。また、階段を走行する際の状態は、平面から階段への遷移、階段の進行、階

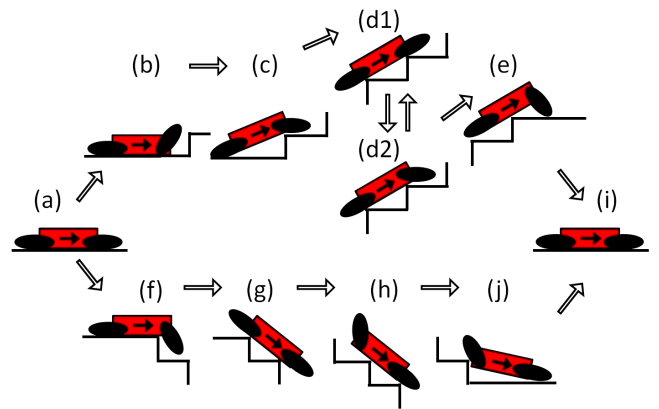


Fig. 1 A transition diagram of proposed motion

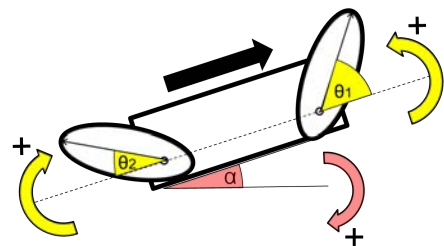


Fig. 2 Definition of pitch and subtracks angles

段から平面への遷移、の3つに分類できる。本研究では、ロボットがこれらのうち、現在どの状態かを判断し、サブクローラを適切に制御することで、階段走行の自律化を行う。なお、提案手法において、状態の判断には、前方サブクローラの、前方及び下方の測距データと、本体ピッチ角(以下ピッチ角と呼ぶ)を用いる。

図1に、提案手法全体の動作遷移図を示す。また、以降、前後サブクローラ角 θ_1 , θ_2 及びピッチ角 α の、零点と回転方向を、図2のように定義する。

以下に、各状態における遷移条件について述べる。なお、英文字の遷移は、図1中の状態に対応する。

- 1). 平面走行時の上り階段の検知 (a) → (b)
 平面走行時(図 1-a), 前方測距データが, ロボット形状に依存する閾値 (以下閾値と呼ぶ) よりも小さい場合に, 上り階段を検知したと判断し, θ_1 を正方向へ回転して, 上り階段へと進入する(図 1-b).
- 2). 平面走行時の下り階段の検知 (a) → (f)
 平面走行時(図 1-a), 下方測距データが, 閾値よりも大きい場合に, 下り階段を検知したと判断し, θ_1 を負方向に回転して, 下り階段へと進入する(図 1-f).
- 3). 平面から上り階段への遷移 (b) → (c)
 上り階段に進入すると, α が減少する. その際, θ_1 を α と等しくすることで, 前方サブローラを踏面と平行とし, 平面から上り階段への遷移を完了する(図 1-c).
- 4). 上り階段の進行 (c) → (d1, d2)
 上り階段では, 図 1 中 (d1),(d2) の, 2つの姿勢を繰り返すことで進行する. θ_1, θ_2 を 0度とした姿勢(姿勢 d1)にて, 下方の測距データが閾値よりも小さい場合に, 下方に踏面と蹴上面の交線を検知したとみなし, θ_1 を負方向に回転する. また, θ_1 を α と等しく, θ_2 を 0度とした姿勢(姿勢 d2)において, 前方測距データが閾値よりも小さい場合に, 前方に蹴上面を検知したとみなし, 姿勢 d1 へと移行する. また, 姿勢 d2にて, 前方測距データが閾値よりも大きい場合に, 上り階段が終了であると判断する.
- 5). 上り階段から平面への遷移 (d2) → (e) → (i)
 下方測距データが閾値に達した場合, θ_1 を負方向に回転し, 前方サブローラを平面へ接地させる. その後, α の増加を検知し, θ_1 を 0度とすることで, 平面への遷移を完了する.
- 6). 平面から下り階段への遷移 (f) → (g) → (h)
 下り階段に進入すると, α が増加する. この変化を検知し, θ_1 を 0度, θ_2 を正方向へと回転することで, 平面から下り階段への遷移を完了する.
- 7). 下り階段へから平面への遷移 (h) → (i)
 下り階段を進行後に, 平面へと遷移する際, α が減少する. この変化を検知し, θ_2 を 0度とすることで, 平面への遷移を完了する.

3 検証実験

提案手法の検証として, 実ロボットによる走行試験を行った.

3.1 使用機体及びセンサ

実験には, クローラ型移動ロボット”Quince”を用いた [4]. また, PSD 距離センサ (Sharp 製, GP2Y0A21YK), マイクロコントローラ, 無線機, バッテリーからなる小型測距モジュールを製作し, 図 3 に示すようにサブローラ側面に搭載し, 前方および下方の測距を行った. ピッチ角の獲得には, ジャイロスコープ (SILICON SENSING 製, CRS07-11) を用いた.

3.2 対象環境

対象環境として, ステップ状角材を用いて作成した模擬階段ならびに, 東北大学機械系 1 号館の階段 (以下実階段と呼ぶ) を使用した. 模擬階段の形状は, 踏面を 30cm, 蹴

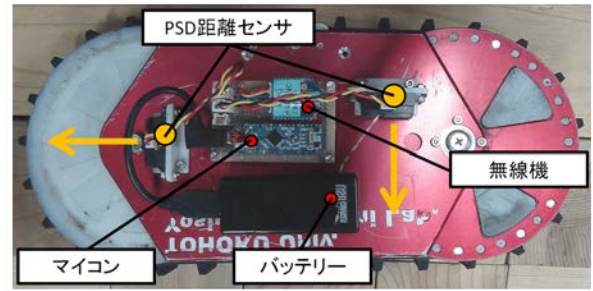


Fig. 3 Small distance measurement module

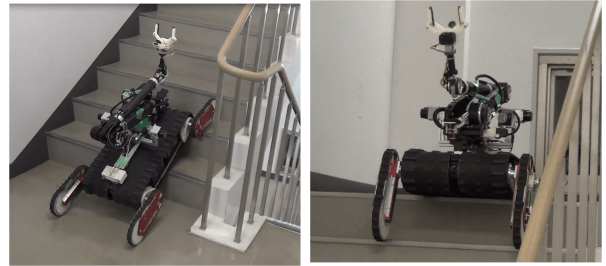


Fig. 4 Snapshots of experiments

上を 10cm 並びに 20cm の 2種類とした. 実階段の形状は, 踏面 31cm, 蹴上 18cm のものを利用した.

3.3 実験内容

各環境にて, 提案手法による自律走行の動作を確認した. また, 自律走行, 目視での手動走行, 前方サブローラを 45 度に固定した走行をおこない, 走行安定性の比較を行った. なお, 下り階段において, サブローラを固定した走行は滑落の危険があるため, 実施しなかった. それぞれの手法において, ロボットの移動速度は 5cm/sec と設定した.

3.4 実験結果

実階段における走行試験の様子を図 4 に示す.

また, 実階段における走行試験より得られた, ピッチ角, 測距データ, サブローラ角の履歴を図 5,6 に示す. なお, 模擬階段の結果については本稿では省略する. 図中 (a)(b) と表記された領域は, 図 1 中でのフェーズに対応している. また, 図の簡略のため, 測距データに関しては, 制御に用いるデータ付近のみを抽出して表示した.

図 6(a → b) より, 前方測距データの減少と前方サブローラ角の増加(上り階段の検知)を, (b → c) よりピッチ角の減少と, 前方サブローラ角をピッチ角と一致させる動作(平面から上り階段への遷移), (d1,d2) より蹴上面の検知および蹴上面と踏面の交線の検知, それに伴うサブローラの動作(上り階段の進行), (d → e) より下方測距データの増加と前方サブローラ角の減少(前方サブローラ角の接地), (e → i) よりピッチ角の増加とサブローラ角の増加(平面への遷移)を確認できる.

また, 図 5(a → f) より下方測距データの増加と前方サブローラ角の減少(下り階段の検知), (f → g → h) よりピッチ角の増加と前方サブローラ角の減少, 後方サブローラ角の増加(平面から下り階段への遷移), (h) から下り階段の進行, (h → j → i) よりピッチ角の減少と後方サブローラ角の減少(平面への遷移)が確認できる. 以上より, 提案手法が実環境にて, 正常に動作したことを確認した.

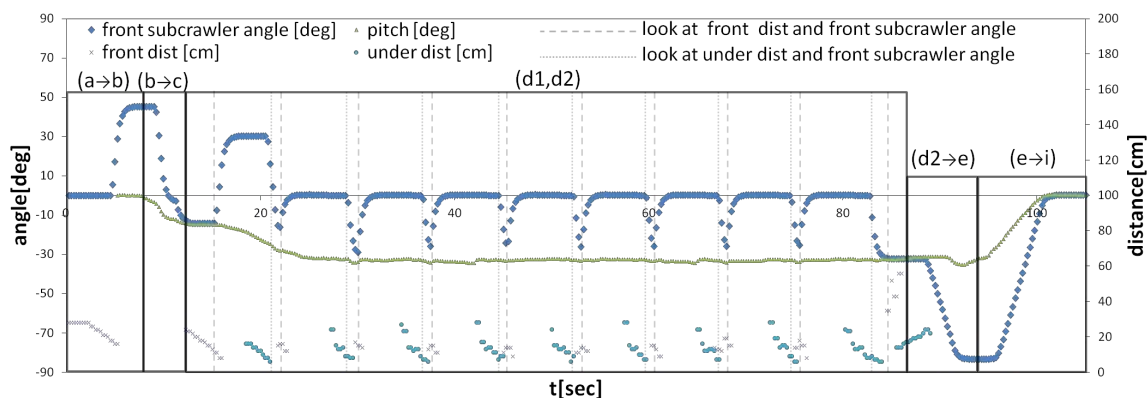


Fig. 5 Experimental result on way up stair

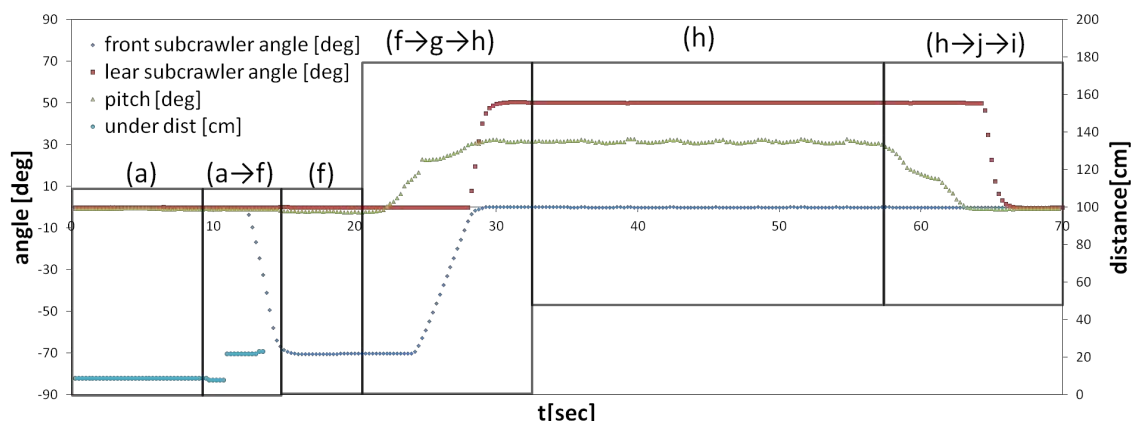


Fig. 6 Experimental result on way down stair

3.5 走行安定性評価

ピッチ角速度の最大値を用いて、提案手法の走行安定性を評価する。実験より得られた、ロボットの走行時の最大ピッチ角速度を表1に示す。

この結果より、上り階段の走行にて、サブクローラ角を固定した場合と比較して、最大ピッチ角速度を73%以上軽減できたことが確認できる。また、目視による操縦と同程度の最大ピッチ角速度を実現したと言える。

4 結言

サブクローラ前方及び下方の測距データ及びピッチ角を用いて、サブクローラを有するクローラ型移動ロボットの、階段走行を自律化する手法を提案した。また、実ロボットを用いて、提案手法の検証実験を行った。走行試験の結果より、実環境における提案手法の動作を確認した。さらに、実験より得られた最大ピッチ角速度より、提案手法による自律走行が、手動での操縦と同程度の走行安定性を得られることを確認した。

Table 1 maximam pitch angular velocity[deg/sec]

		固定角	手動	提案手法
模擬階段 蹴上10cm, 踏面30cm	上り	57.4	7.0	5.5
	下り		12.3	14.7
模擬階段 蹴上20cm, 踏面30cm	上り	98.3	20.1	26.1
	下り		10.9	22.4
実階段 蹴上18cm, 踏面31cm	上り	73.9	7.2	7.3
	下り		21.5	24.3

今後の展望としては、より多様な環境にて提案手法の有用性を確認し、実用性を高めていくことが挙げられる。また、本手法では蹴上面の検知を必要としたため、踏面のみで構築された階段は自律走行の対象とならない。よって、踏面のみで構築された階段にも対応可能な、階段走行の自律化手法が必要だと言える。

文献

- [1] Kazunori Ohno, Shouich Morimura, Satoshi Tadokoro, Eiji Koyanagi and Tomoaki Yoshida, "Semi-autonomous control system of rescue crawler robot having flippers for getting Over unknown-Steps", the 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2007
- [2] Woosub Lee, Sungchul Kang, Munsang Kim, "ROBHAZ-DT3 : Teleoperated Mobile Platform with Passively Adaptive Double-Track for Hazardous Environment Applications", the 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2004, Sendai, Japan
- [3] Yoshito Okada, Keiji Nagatani, Kazuya Yoshida, Satoshi Tadokoro, Tomoaki Yoshida, Eiji Koyanagi, "Shared Autonomy System for Tracked Vehicles on Rough Terrain Based on Continuous Three-Dimensional Terrain Scanning", Journal of Field Robotics, Volume 28, Issue 6, pp.875-893 (2011-11)
- [4] Rohmer, E., Yoshida, T., Ohno, K., Nagatani, K., Tadokoro, S., Koyanagi, E.: Quince: A collaborativemobile robotic platform for rescue robots research and development. In: Intl. Conf.on Adv. Mechatronics, pp. 225-230. Osaka, Japan (2010)