

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：14701

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560289

研究課題名(和文)脆弱な瓦礫上での脚歩行ロボットによる足探りに関する研究

研究課題名(英文)A study on foot groping with the legged robot against weak debris

研究代表者

徳田 献一 (TOKUDA, Kenichi)

和歌山大学・システム工学部・助教

研究者番号：60335411

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、自然災害などにより発生した脆弱な地盤の上をロボットが移動する際の問題を解決する手段として足探りを切り口として、(1)脚ロボットによる足探りスキルの記述、(2)地盤と脚の関係性のモデル化、(3)柔軟全周囲クローラの不整地踏破の取り組みを行った。

研究成果として、表面が固く内部の状態がわからない脆弱な地盤を対象に足探りスキルのロボットへの埋め込みを実現し、シミュレータで獲得した強化学習結果を実環境で実現することができた。また、脆弱な地面についての考察の中で、ロボット脚と地面の関係性に着目することによる能動歩行と受動歩行の比較システムを用いて環境推定システムの構築を行うことができた。

研究成果の概要(英文)：To solve a weak ground problem caused by natural disaster, we carried out the studies, skill description of the foot groping, building a modeling of the relationship between a leg performed an action of the non-leveling of ground traveling and developing the flexible mono-tread robot.

We obtain the results as following, realizing the implantation to the robot of the foot groping skill for the weak ground where did not understand an internal state and was able to realize the reinforcement learning result that I acquired in a simulator in true environment. In addition, in consideration about the weak ground, we were able to build the environment estimate system using a comparison between robot leg and a passive walk by paying its attention to a relationship of the ground and passive walking system.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：知能ロボティクス 機械力学・制御 認知科学 地震 足探り 自然災害 ロボットモデルウェア

1. 研究開始当初の背景

平成7年1月17日に発生した阪神淡路大震災以降、大都市において発生した災害時に救助ロボットシステムの研究開発の重要性が注目されるようになっていた。特に平成13年から開始された文部科学省大規模大震災特別プロジェクトでは、瓦礫内、瓦礫上、空中における救助ロボットシステム技術の確立が進められた。

本研究は、瓦礫上における救助ロボットの移動技術を向上させるために瓦礫とロボット間の関係性に注目した基礎技術開発に位置づけられる。阪神淡路大震災で多く見られた倒壊した木造家屋に起因する瓦礫上をロボットが移動する際に、瓦礫を破壊あるいは崩壊することによる二次災害発生の危険性がある。これを避けるためには、クローラと呼ばれる履帯により路面に対するロボット重量を分散させるか、崩壊の可能性がある脆弱な路面を避ける必要がある。瓦礫を破壊・崩壊させないためのクローラロボットとしては蛇型ロボットと呼ばれる複数のクローラを連結したロボットの開発が進められていた。しかし、その一方で崩壊可能性のある脆弱路面を避ける取り組みは多くはなかった。そこで、本研究では脚移動ロボットの脚が接触する足場の壊れやすさを調べる「足探り」に注目し、脆弱な路面とロボットの関係性を明らかにしようとした。

2. 研究の目的

本研究は都市部における震災によってできた瓦礫上を移動する脚ロボットを想定し、未知である不整地とロボット移動機構である脚との関係性に注目し移動する能力をロボットに与えることを目標に研究を開始した。当初、想定していた震災は平成7年1月17日に発生した阪神淡路大震災であり、対象とした瓦礫は主として倒壊木造住宅によるものを想定していた。しかし、この研究の開始年である平成23年3月11日には東日本大震災が発生し、津波による災害現場および被災した原子力発電所内での瓦礫を想定に加えることを避けられなかった。

そこで、本研究開始当初の計画として、倒壊木造家屋による瓦礫に対応するための足探りを行う脚ロボットの研究について、未知である瓦礫に対応する移動ロボットシステムを対象とし、ロボットと未知の路面との関係性に注目した次の研究計画を立案した。

(1) 倒壊木造家屋に起因する脆弱な瓦礫を足場とする脚歩行ロボットへの足探りスキルの埋め込み

①足探りによって得られた路面状態の解析

②水平分散アーキテクチャ上での足探りスキルの記述方法の開発

③足探りスキルのロボットへの埋め込み

(2) 未知である脆弱な瓦礫に対応するロボット機構と路面との関係性についての解析および脆弱瓦礫上移動ロボット機構の開発

3. 研究の方法

研究目的で挙げた2つの研究目標について、具体的に次の方法で研究を実施した。

(1) 倒壊木造家屋に起因する脆弱な瓦礫を足場とする脚歩行ロボットへの足探りスキルの埋め込み

①足探りによって得られた路面状態の解析

足探りの対象として路面表層の状態だけでなく、瓦礫内部の崩壊および内部の滑る状態の瓦礫を準備し、従来の押しつけ圧による解析に加えて、押しつけパターンを変化させることによる周波数解析を行う。

②水平分散アーキテクチャ上での足探りスキルの記述方法の開発

足探り機構を備えた4脚および6脚の2種類のロボット実機に対して、水平分散アーキテクチャFDNetによる足探りスキルの記述方法を開発する。具体的には、水平分散アーキテクチャFDNetをロボットミドルウェアとして構築し、他ミドルウェアであるRT-Middlewareとの接続、Open Dynamics Engine等の物理シミュレータとの接続を実現することにより、実ロボットとシミュレータ上の仮想ロボットのソフトウェアの区別を無くしたロボットの動作スキル記述方法開発を行う。このことにより、実環境である瓦礫との脚との接触である足探りの結果を得るためのロボットの行動スキルを、実ロボットと仮想ロボット内で並列に生成することができる。

③足探りスキルのロボットへの埋め込み

物理シミュレータであるOpen Dynamic s Engine上の仮想ロボットおよび足探りによって得られた仮想瓦礫を対象に、瓦礫の内部状態を調べるための足探り動作を引き起こすためのスキル生成を学習するシステムを構築する。

(2) 未知である脆弱な瓦礫に対応するロボット機構と路面との関係性についての解析

路面とロボットとの関係性解析のために物理シミュレータおよび実機として能動歩行ロボットと受動歩行ロボットの比較システムを構築する。また、柔軟全周囲クローラの開発を行う。

4. 研究成果

本研究では、自然災害などにより発生した脆弱な地盤の上をロボットが移動する際の問題を解決する手段として足探りを切り口として取り組みを行い次の(1)～(3)に示す成果を得た。

(1) 脚ロボットによる足探りスキルの記述
本研究の主題である「足探り」について、①足探り結果による路面の解析、②足探りスキル記述方法の開発、③足探りスキルのロボットへの埋め込みを実現した。

①足探り結果による路面の解析

足探りの対象として路面表層の状態だけでなく、瓦礫内部の崩壊および内部の滑る状

態の瓦礫を準備した．具体的には，頑強な木の板を表層に置いた下にスポンジ状の柔軟層がある瓦礫，および，頑強な木の板の下に転がり要素として円柱を複数並べた内部が滑る瓦礫を用意した．これらの瓦礫に対して押しつけ圧のパターンを変化させその反力の周波数解析によって，瓦礫種別を取得することができた．

②足探りスキル記述方法の開発

足探りを実装するロボットとして使用した2種類のロボットである4脚ロボット実機 (RoQ-II) および6脚ロボット実機 (RoQ-III) および，これらを物理シミュレータ Open Dynamics Engine 上にモデルとして仮想ロボットを構築した．これらの実ロボットと仮想ロボットに対して，水平分散アーキテクチャ FDnet をロボットミドルウェアとして実装し，実ロボットと仮想ロボットが送付とウェア上で同じ構造のスキルネットワークで動作するように構成した．水平分散アーキテクチャでは，動作要素と感覚要素および環境要素を接続するリレーションと呼ばれるノードによってからなるネットワークによって動作のパターンを記述するため，実ロボットと仮想ロボットの動作を同じパターンで実現したことにより，実ロボットから得た感覚を仮想ロボットにも与え，それによって駆動される動作スキルをシミュレータ内の仮想ロボットで試され，実ロボットで得た環境に近い感覚を取得する動作を探索することが可能になる．このような，実ロボットで得た足探り感覚に近い感覚をシミュレータ内で取得できるような動作を生み出す仕組みを，本研究では足探りの動作スキルと呼び，この動作を生成するスキルネットワークができたとき，スキルをネットワークとして記述したと呼んでいる．

つまり，水平分散アーキテクチャ FDNet により実ロボットと仮想ロボットに共通なロボットミドルウェア環境を実現し，そのFDNet 上に実ロボットと同じ感覚を得るための足探り動作生成スキルをネットワークとして表現する手法をもって動作スキル記述法の実現ができたことになる．

③足探りスキルのロボットへの埋め込み

物理シミュレータ Open Dynamics Engine によるシミュレーションおよび実機を用いて，足探りスキルのロボットへの埋め込みを実現した．まず，人間の足探りスキルを抽出するために人間の足と路面の押しつけ圧を取得するシステム (図1) により動作を抽出し，FDNet による動作パターンとしてスキルを記述した．次に，ロボット実機 (図2) を未知の路面に対して足探り動作を行わせることにより得られた感覚をシミュレータ内の仮想ロボット (図3) に与える．仮想ロボットは，シミュレータ内で実ロボットが得た感覚と似た感覚が得られるよう強化学習により動作を獲得する．さらに，シミュレータ内の仮想ロボットが獲得した動作を実ロボ

ットが動作実施し，感覚と動作の関係を評価する．人間の足探り動作スキルにあわせて仮想ロボットが動作スキルをシミュレータ内で学習し (図4)，これを実ロボットで実現することができた．

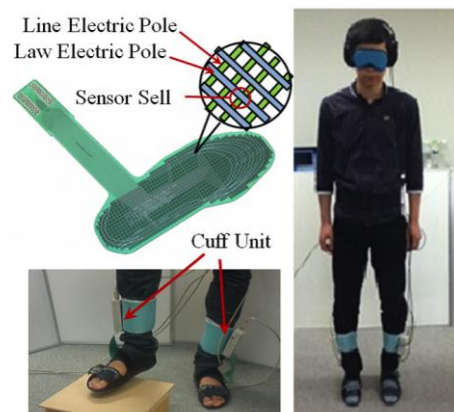


図1 足探り動作スキル抽出システム

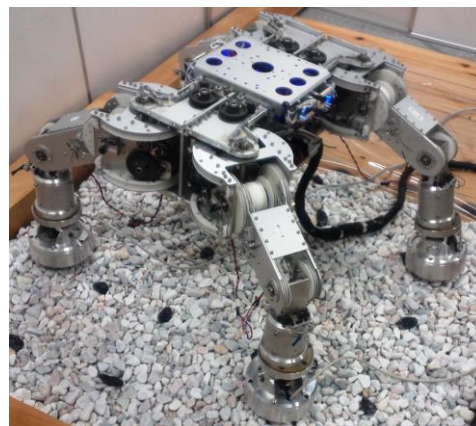


図2 実ロボット (RoQ-II)

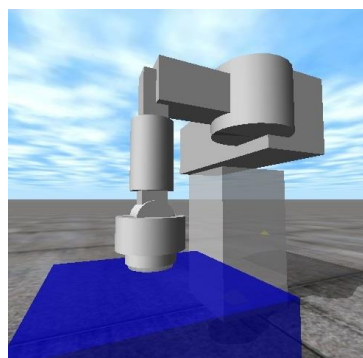


図3 仮想ロボット (仮想 RoQ-II)

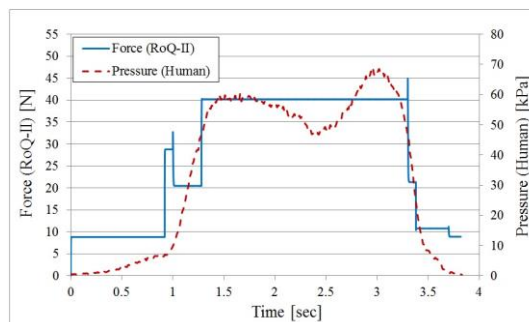


図4 人間から得た動作スキルの学習

(2) 能動歩行脚と受動歩行脚の比較システムによる脆弱な地面推定

未知の路面に対して能動歩行および受動歩行の差異を検出する比較システムを構築した(図5)。これは、あらかじめ想定されていた路面での歩行および歩行結果について、実ロボットと仮想ロボットを比較するものであり、このシステムにより、実環境と想定環境の差異の検出を実現した。

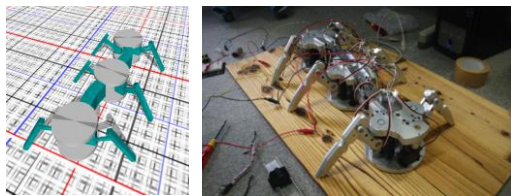


図5 能動歩行実/仮想環境比較システム

(3) 柔軟構造をもつロボットの開発

全周囲柔軟クローラ(図6)の実現のためにモデル作成を行い、視覚システムの構築を行った。このうち視覚システムについては、この全周囲クローラの内部に取り付けられたカメラ前面を履板が通過することによって遮蔽された視覚エリアを補完するために取り付け位置を違いに違えたカメラを設置した。遮蔽されたエリアを他方の遮蔽されていないカメラ画像を用いて補完することにより、遮蔽のない操縦用画像(図7)を取得したものである。

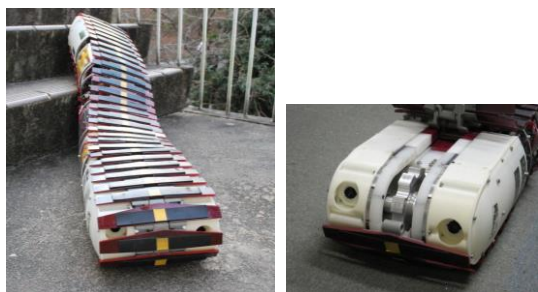


図6 全周囲柔軟クローラ

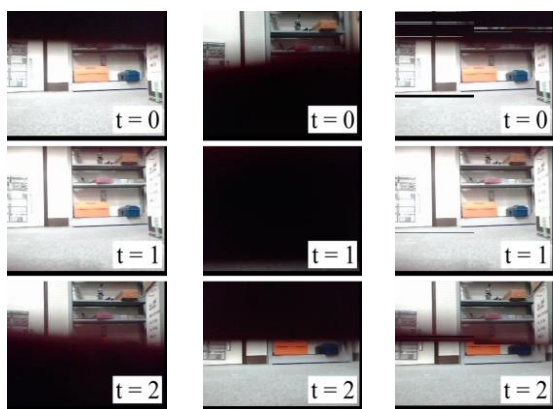


図7 全周囲柔軟クローラ用視覚

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

① Tetsuya Kinugasa, Tetsuya Akagi, Takafumi Haji, Koji Yoshida, Hisanori Amano, Ryota Hayashi, Masatsugu Iribe, Kenichi Tokuda, Koichi Osuka, Measurement System for Flexed Shape of Flexibly Articulated Mobile Track, Journal of Intelligent and Robotic System, 査読有. 10.1007/s10846-013-9869-8, 2013

[学会発表] (計6件)

① Kenichi TOKUDA, Tatsuya HIRAYAMA, Tetsuya KINUGASA, Takafumi HAJI and Hisanori AMANO, Covered area detection based on brightness change of inner camera images for crawler robot, 16th International Conference on Climbing and Walking Robots (CLAWAR2013), 2013年7月14-17日, University of Technology, Sydney, Australia

② Takafumi Haji, Shinichi Araki, Tetsuya Kinugasa, Koji Yoshida, Hisanori Amano, Ryota Hayashi, Kenichi Tokuda, Masatsugu Iribe, Layered body for flexible mono-tread mobile track, 16th International Conference on Climbing and Walking Robots (CLAWAR2013) 2013年7月14-17日, University of Technology, Sydney, Australia

③ 徳田 献一, 岩尾 拓海, 入部 正継, 衣笠 哲也, 大須賀 公一, 歩行ロボットと地面の相互作用に着目した環境推定, ロボティクスメカトロニクス講演会 2013 in Tsukuba (Robomec2013), 2013年5月22-25日, つくば国際会議場(茨城県つくば市)

④ Tetsuya Kinugasa, Koji Yoshida, Takafumi Haji, Hisanori Amano, Ryota Hayashi, Masatsugu Iribe, Kenichi Tokuda, Steerability of Articulated Multi-Tracked Vehicles by Flexed Posture Moving on Slippery Surface, IEE E International Conference on Robotics and Automation (ICRA2013), 2013年5月6-10日, Karlsruhe, Germany

⑤ Kenichi TOKUDA, Tatsuya HIRAYAMA, Tetsuya KINUGASA, Takafumi HAJI and Hisanori AMANO, Remote control system for rescue robot FMT: Removal algorithm of obstacles in the images, The 14th International Conference on Climbing and Walking Robots And the Support Technologies for Mobile Machines (CLAWAR2011), 2011年9月6-8日, Paris, France

⑥ Takafumi Haji, Shu Myoraku, Tetsuya Kinugasa, Tetsuya Akagi, Koji Yoshida,

Hisanori Amano, Masatsugu Iribe, Kenichi Tokuda, Ryota Hayashi and Koichi Osuka, Measurement of Flexed Posture for Driving Flexible Mono-tread Mobile Track Using Flexible Displacement Sensor, The 14th International Conference on Climbing and Walking Robots And the Support Technologies for Mobile Machines (CLAWAR2011), 2011年9月6-8日, Paris, France

6. 研究組織

(1) 研究代表者

徳田 献一 (TOKUDA, Kenichi)
和歌山大学・システム工学部・助教
研究者番号：60335411

(2) 研究分担者

似内 映之 (NITANAI, Eiji)
和歌山大学・産学連携・研究支援センター・准教授
研究者番号：00304189

衣笠 哲也 (KINUGASA, Tetsuya)
岡山理科大学・工学部・准教授