

令和 5 年 5 月 25 日現在

機関番号：32689

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2022

課題番号：21K17832

研究課題名（和文）操縦者の運動意図に忠実な人型ロボット全身安定操縦

研究課題名（英文）Whole-body stable control of a humanoid robot accurate to motion intention of an operator

研究代表者

大谷 拓也 (Otani, Takuya)

早稲田大学・理工学術院・次席研究員（研究院講師）

研究者番号：70777987

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：操縦者の身体各部運動量に基づいた人型ロボット運動生成手法を開発した。事前に計測した操縦者の身長や体重から身体各部の長さ・重量・慣性モーメントを概算し、各部運動量を算出する。この各部運動量に、操縦者と操縦対象ロボットの重心高さ比率および全重量比率を係数として乗算し、人型ロボットの目標各部運動量を算出する。さらに、操縦者とロボットの差を小さくするため、ロボット側での自動安定制御と統合した。提案手法を用いた人型ロボットの運動シミュレーションにおいて、立位時やパンチング動作などを行った際にロボットモデルの運動継続時間が長くなることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでの人型ロボットの研究では、自立的な運動生成が目標とされており、工場の生産ラインなど限定された状況であれば問題はないが、様々な予測不可能な事象が生じる実環境であれば多くの事象を考慮した意思決定が必要であり、これを自立的に行う技術は未だない。一方、人間が行けない危険な場所での作業など、人型ロボットの活用が期待される場面は増えており、人間の操縦者の介入によるドア開けや道具の使用など遠隔作業技術の開発が進められている。本研究は、人型ロボットの実運用時の問題である作業時の安定性向上を人間の操作者により達成するものであり、人型ロボットの適応領域を拡大することで更なる問題・研究領域の創造に繋がる。

研究成果の概要（英文）：A humanoid robot motion generation method was developed based on the momentum of each part of the operator's body. The length, weight, and moment of inertia of each body part are estimated from the height and weight of the operator measured in advance, and the momentum of each part is calculated. The target motions of each part of the humanoid robot are calculated by multiplying these motions by the ratio of the height of the center of gravity and the ratio of the total weight of the pilot and the target robot as coefficients. In order to reduce the difference between the operator and the robot, the proposed method is integrated with automatic stability control in the robot side. In the motion simulation of the humanoid robot using the proposed method, we confirmed that the motion time of the robot model becomes longer when the robot is in a standing position or punching.

研究分野：知能ロボティクス

キーワード：ロボティクス ヒューマノイド 操縦 安定性 身体所有感

1. 研究開始当初の背景

人間型ロボットは人間が生活する様々な環境にて活躍が期待されている。他のロボットは制御可能な関節を数箇所程度しか持たないが、人間型ロボットは20箇所以上有するため、それらを使い分けることで様々な場面に対応できる。多くの関節を有する分運動制御は複雑になり、人間型ロボットの安定した動作生成手法について数多くの研究がある。既存の人間型ロボットの安定制御では、ロボットの傾き情報と、足首部の力センサにより計測した足裏全体が地面から受ける合力を用いて、ロボットが自立的に脚を動かすことで安定を図っていた。しかし、路面のわずかな傾きや凹凸・変形によって地面からの合力による安定性推定が困難になり転倒する可能性が高い。

一方、人間の場合、身体の様々な感覚情報を用いて自身の状態を推測し、ロボットのように脚のみを積極的に動かすのではなく上半身も含めた全身を用いて安定を保っている。人間の感覚情報の中でも傾きを検知する視覚や前庭感覚と並んで安定性に重要な感覚が、足裏が受ける力触覚情報であり、ロボットのように足裏全体の受ける力としてではなく、分布荷重を計測し足裏のどの部分が地面とどのように接触しているかを詳細に認識することで重心移動を検出可能であり、足裏感覚情報が人間の運動に重要である事例として、足裏を氷水につけて一定時間感覚を鈍くすると歩行ができなくなるという先行研究もある。

そこで、人間が様々な感覚情報により全身を用いて状況に適応した安定動作を行っていることから、申請者は、人間の操縦者が人間型ロボットの感覚情報を感じ取り人間型ロボットの安定動作をリアルタイムに生成することで、人間型ロボットの運動時の安定性を大きく向上させられるという仮説を立てた。特に、『人間型ロボットの足裏が地面から受ける反力をロボットから操縦者に伝達』し、『操縦者と人間型ロボットの身体各部サイズや重量の違いを補正した動作指示を操縦者からロボットに伝達する』ことにより、安定性が遥かに向上すると考えた。

2. 研究の目的

以上より、本研究では操縦者の運動意図に忠実な人間型ロボット全身安定操縦手法を明らかにする。初年度に、操縦者の身体各部運動量に基づいた人間型ロボット運動生成手法を開発し、動力学シミュレータを用いて有効性を確認する。次年度に、分散地面反力再現装置と共に提案手法をサイズ・重量の異なる2種類の人間型ロボットに適用し、遠隔操縦時の安定性を評価する。

3. 研究の方法

操縦者の身体各部運動量に基づいた人間型ロボット運動生成手法

人間型ロボットと操縦者の身体パラメータの違いを補正するため、操縦者の身体各部の長さや重量・慣性モーメントなどの影響を受ける、身体各部の運動の勢いを表す運動量を指標とする。申請者のこれまでの研究にて、人間型ロボットの身体各部の運動量算出および運動量を考慮して全身の安定を維持する運動を生成する手法を開発しているため、「操縦者の運動時の身体各部運動量を算出し、操縦者と人間型ロボットの重心高さおよび全重量の比を用いてロボットの目標各部運動量を算出し、目標を実現するロボットの運動を生成する」手法を構築する。具体的には、操縦者の運動計測には全身型のモーションキャプチャシステムを用い、事前に計測した操縦者の身長や体重から身体各部の長さ・重量・慣性モーメントを概算し、各部運動量を算出する。この各部運動量に、操縦者と操縦対象ロボットの重心高さ比率および全重量比率を係数として乗算し、人間型ロボットの目標各部運動量を算出する。ただし、人間型ロボットの実際の各部の長さや重量は必ずしも全長や全重量から推定できるものではなく、身体パラメータが違えば同じ運動をしたとしても転倒する可能性がある。そこでまず、目標各部運動量を実現するための各関節の目標角速度を、ロボット各部の長さや重量などの設計仕様として分かる情報を用いて算出することにより、ロボットの身体パラメータが操縦者と異なっても目標各部運動量を達成することが可能となる。またこの際、目標各部運動量には身体各部ごとにそれぞれ重み係数を設け、運動の中で操縦者の意図を厳密に反映させるべき部位と多少修正しても良い部位を運動ごとに任意に設定できるようにすることで、重み係数を下げた部位は人間型ロボット全体の安定性維持のために目標各部運動量に若干の修正を加える。この手法により、操縦者と大きさや重さの違う人間型ロボットであっても操作性を損なうことなく安定した操縦が可能となる。

提案手法を用いて、人間型ロボットの安定性が向上可能かをまず人間型ロボットの運動シミュレーションにて評価する。人間型ロボットのシミュレータは申請者のこれまでの研究にて開発しており、実験条件として、提案する運動生成手法を用いて操縦者の運動をロボットに向けて変換した場合と、操縦者の運動をそのまま実行した場合について、それぞれ通常の歩行や物体持ち上げ動作などを行なった際にロボットモデルの運動継続時間および重心軌跡を安定性の指標として検証する。

2種類のロボットに提案手法と分散地面反力再現装置を用いた際の有効性検証

上記操縦手法を、申請者が開発している分散地面反力再現装置とともに人間型ロボットにて

実行することで有効性を検証する。検証実験では、シミュレーションと同様に操縦時の安定性を評価する。この際、全長約 48cm, 150cm の 2 種類の人間型ロボットを用いることで、操縦者と異なるサイズや重量の人間型ロボットに対する提案手法の有効性を明らかにする。

4. 研究成果

(1) 操縦者の身体各部運動量に基づいた人型ロボット運動生成手法を開発した。事前に計測した操縦者の身長や体重から身体各部の長さ・重量・慣性モーメントを概算し、各部運動量を算出する。この各部運動量に、操縦者と操縦対象ロボットの重心高さ比率および全重量比率を係数として乗算し、人型ロボットの目標各部運動量を算出する。さらに、操縦者とロボットの差を小さくするため、ロボット側での自動安定制御と統合した。提案手法を用いた人型ロボットの運動シミュレーションにおいて、立位時やパンチング動作などを行なった際に、提案する制御の有無によって、安定運動維持時間が 30%程度向上することを確認した (図 1, 図 2)。

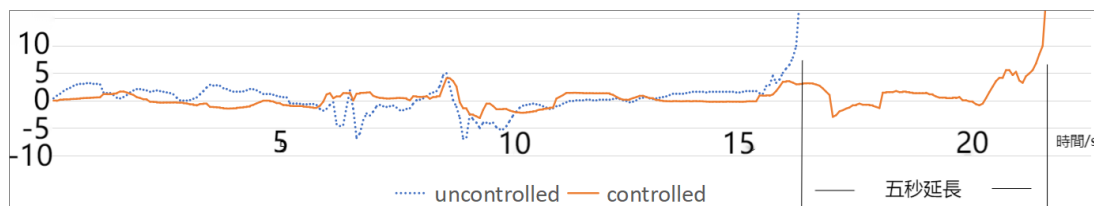


図 1 提案手法の有無による操縦安定時間比較

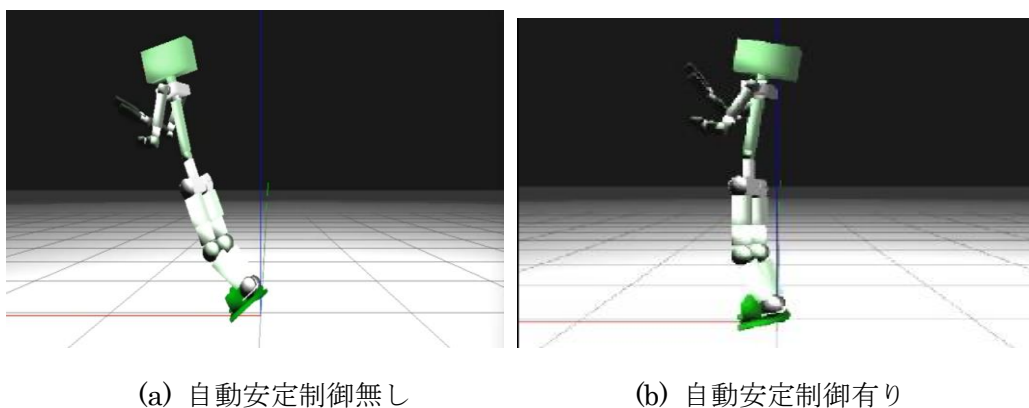


図 2 提案手法の有無による操縦安定時間比較

(2) さらに、ロボットと操作者のリンク長のずれをフィードフォワードに補正するためのパラメータ最適化手法を提案した。具体的には、事前に用意した数種の目標運動を操縦者に行ってもらい目標手先座標に対するずれを最小化するように最適化問題を解くことにより補正パラメータを得る。最適化した補正パラメータセットをリアルタイム制御時に反映させることにより、操作者が視覚フィードバックを用いずとも自然な運動により想定している操縦を可能とし、操作中の精神的負担や操作習熟の必要のないロボット操作が可能となる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Otani Takuya, Takanishi Atsuo, Nakamura Makoto, Kimura Koichi	4. 巻 11
2. 論文標題 Optimization of Link Length Fitting between an Operator and a Robot with Digital Annealer for a Leader-Follower Operation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Robotics	6. 最初と最後の頁 12～12
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/robotics11010012	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

研究者ホームページ https://sites.google.com/view/takuya-otani/top
--

6. 研究組織

氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------