

操縦感を損なわない人間型ロボット安定操縦手法の開発

研究代表者 大谷 拓也
(理工学術院総合研究所 次席研究員)

1. 研究課題

ロボットの制御技術は急速に発展しているが、完全に自律的に意思決定できるようになるにはまだ課題が多く、ロボットを実環境で活用するには人間による操縦が有用であると考え、これまでに、2足ヒューマノイドロボットを開発するとともに、全身運動計測装置を用いた2足ヒューマノイドロボットの遠隔操縦システムを開発し、開発したシステムによる動力学シミュレータ上のロボットモデルの操縦検証実験を行っている。特に、人間がロボットを操縦する場合、特に人間とロボットのサイズや重量・関節配置といった構造の違いにより操縦者の意図通りに操縦ができない点を考慮し、操縦者の身体リンクの動きをロボットに反映させる変換手法を開発するとともに、操縦者が違和感なくロボットを操縦する身体操縦感を損なわない自動安定制御の開発を進めた。しかし、現状の課題として、操縦者とロボットの運動のズレや通信遅延により、安定した操縦は難しい。

そこで本研究では、操縦者がロボットの状態を自身の身体のように認識できるよう、これまでに開発した足裏感覚再現装置を用いた操縦システムを開発し、ロボットの安定操縦実験を行った。さらに、理論構築を進めていたロボットと操縦者の身体差フィッティング手法を用いて、実際のロボットの操縦システムを構築し有効性を検証した。

2. 主な研究成果

＜足裏感覚再現装置を用いた操縦システムの開発＞

遠隔操縦システムの概要を図1に示す。システムはROS (Robot Operating system) により統合されており、操縦者は身体各部に運動計測装置を装備し、計測された動作データがROSに送信

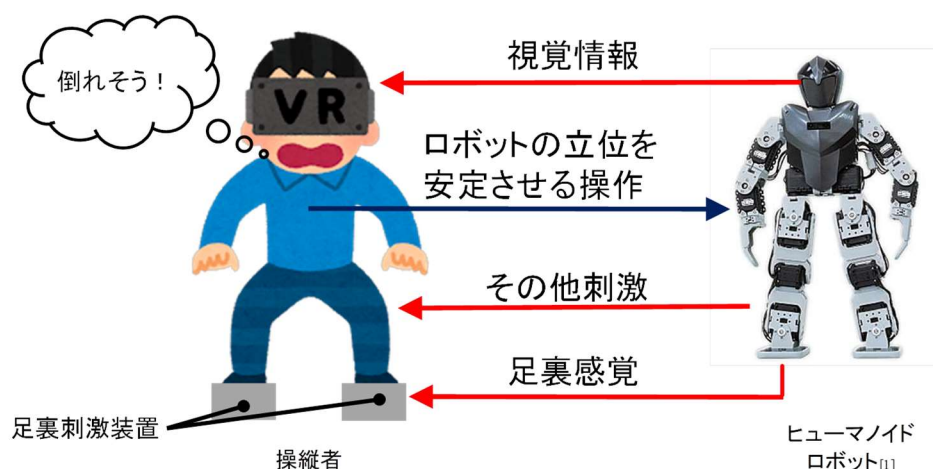


図1 遠隔操縦システム

される。足裏感覚再現装置はこれまでの研究で開発しており、操縦者の足裏の数点を独立して鉛直方向に押圧することで、足裏各部の床反力を再現する（図2）。これにより、操縦者はロボットの重心位置を認識することができる。足裏感覚再現装置を操縦インタフェースとしても用いるため、バイラテラル制御を用いた（論文投稿中）。

開発した操縦システムを用いて、小型のヒューマノイドロボットを安定して立たせる操縦実験を行った（図3）。ロボットを直接目で見ながら操縦した場合と、視覚情報はなく足裏感覚再現情報のみを用いて操縦を行った場合を比較した。操縦時のロボットの腰部姿勢の時間経過を図4に示す。実験結果から、視覚情報のみでは転倒してしまう状況でも、足裏感覚情報であれば安定させることが出来ることを確認した。これは、視覚情報は姿勢を認識しているのに対し、足裏感覚情報は力情報であるため、加速度次元で応答性が高い情報であり、転倒の傾向を早く検知することができることで安定性向上に繋がったと考えられる。

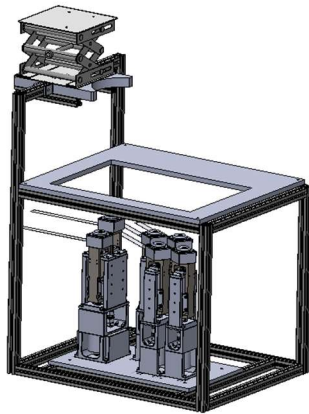


図2 足裏感覚再現装置



図3 安定操縦実験

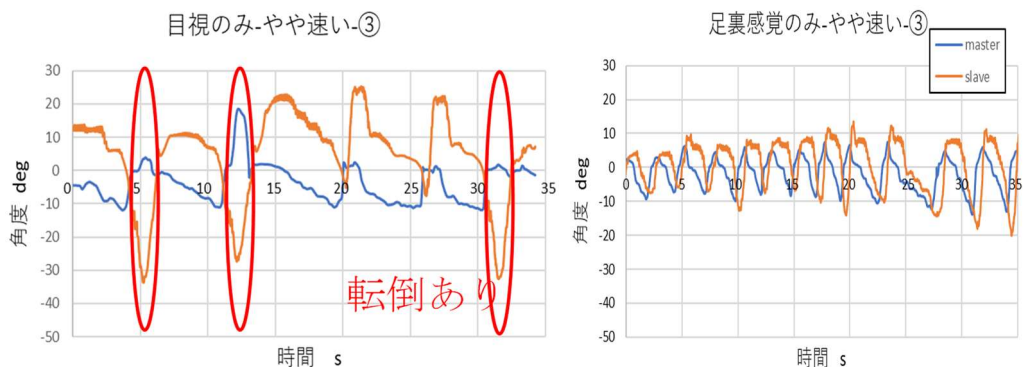


図4 視覚情報のみ、足裏感覚情報のみの場合の操縦安定時間比較

今後は、ロボットの全身を用いた安定操縦実験を進め、より安定性が求められる操縦タスクにおいて提案手法の有効性を検証する。また、視覚・足裏感覚などの各感覚への依存性は個人差があることが実験で確認されており、人間のバランス能力への寄与の検証、バランス能力トレーニングへの応用を検討していく。

＜量子コンピューティングを用いた操縦システムの身体差フィッティング手法の開発＞

本手法は昨年度から開発を進めているが、操縦の目標を実現しようとしている操縦者手先位置に補正パラメータを乗じて、ロボット手先位置を正しい値に修正し、それを実現する関節角度をInverse Kinematicsにより計算しロボットが実行することにより、操縦者の意図を優先する操縦を可能とする。

提案手法では、ロボットの手先位置を目標位置まで最適化するための補正パラメータを求める最適化問題として考える。手先位置のずれを最小化するよう式(1)のように目的関数を定め、これを最小化する補正パラメータ k を求める。最適化には、量子コンピューティング技術の一つである量子アニーリングを行う富士通のデジタルアニーラを用いた。

Objective function

$$H=\min \left\|q_{end-o}-\sum_k^{range} \alpha_k * k * q_{end-robot}\right\|, q_{end-robot}=(x_{comp}, y_{comp}) \quad (1)$$

小型ロボットの操縦実験を行い、3つの目標物を腕で触るという操縦タスクにおいて、提案手法の有無によって所要時間を比較した。

実験結果を表1に示す。提案手法により、作業に要する時間が27%減少した。実験結果から、提案手法により操縦性が向上したことを確認した。

表1 提案手法による補正の有無によるリーチング操縦の時間比較

Without compensation	Target A s	Target B s	Target C s	Total s
Subject 1	2.3	5.7	4.3	12.3
Subject 2	3.3	4.7	8.3	16.3
Subject 3	1.7	4.7	3.7	10.1
Average	2.4	5.0	5.4	12.8

With compensation	Target A s	Target B s	Target C s	Total s
Subject 1	1.5	3.7	2.3	7.5
Subject 2	2.3	3.3	4.7	10.3
Subject 3	1.0	7.0	2.3	10.3
Average	1.6	4.7	3.1	9.4

3. 共同研究者

高西 淳夫（創造理工学部・総合機械工学科・教授）

4. 研究業績

4.1 学術論文

- Haruka Ide, Hiroyuki Ogata, Takuya Otani, Atsuo Takanishi, Jun Ohyai, “Detecting Overgrown Plant Species Occluding Other Species in Complex Vegetation in Agricultural Fields Based on Temporal Changes in RGB Images and Deep Learning,” International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods 2024.
- 杉山 壮真, 大澤 来実, 三谷 健人, 伊藤 明, 近藤 貴久, 森田 愛大, 青竹 峻太郎, 船橋 真俊, 大谷 拓也, 高西 淳夫, “協生農法環境における農作業支援ロボットの開発-第 4 報: ツールチェンジ可能な複数作物の剪定・収穫用切断ツールの開発-,” 日本ロボット学会誌, Vol. 41, No. 10, pp. 889-892, 2023 年 12 月.
- 中澤 由理, 渡部 竜也, 宮澤 啓吾, 峯下 弘毅, 大谷 拓也, 川上 泰雄, 林 憲玉, 高西 淳夫, “人間の特徴に着目した投球ヒューマノイドロボットの開発-第 3 報: 投球時の脱力動作を模擬する軽量肘部機構およびボールに回転を加える投球が可能な指部機構の開発-,” 日本ロボット学会誌, Vol. 41, No. 9, pp. 805-808, 2023 年 11 月.
- T. Otani, M. Nakamura, K. Kimura, A. Takanishi, “Energy Efficient Path and Trajectory Optimization of Manipulators with Task Deadline Constraints,” IEEE Access, Vol. 11, pp. 107441-107450, 2023.
- 三谷 健人, 杉山 壮真, 大澤 来実, 伊藤 明, 近藤 貴久, 森田 愛大, 青竹 峻太郎, 船橋 真俊, 大谷 拓也, 高西 淳夫, “協生農法環境における農作業支援ロボットの開発-第 6 報: コンベックスを用いた高伸縮比を持つ直動機構-,” 日本ロボット学会誌, Vol. 41, No. 6, pp. 565-568, 2023 年 7 月.
- 大谷 拓也, 伊藤 明, 青竹 峻太郎, 船橋 真俊, 高西 淳夫, “協生農法環境における農作業支援ロボットの開発-第 3 報: 雑草剪定・種植え・収穫実施における操縦性評価-,” 日本ロボット学会誌, Vol. 41, No. 6, pp. 561-564, 2023 年 7 月.

4.2 総説・著書

4.3 招待講演

- 大谷拓也, 植物密生地での種植え・雑草剪定・収穫が可能な農作業支援ロボットの開発, アグリテック甲子園 2023, 2024 年 1 月 21 日.
- 川上 泰雄, 大塚 俊, 大谷 拓也, 若原 卓, スプリントにおける“バネ”とその制御, 日本スプリント学会第 34 回大会, 2023 年 12 月 9 日.
- Takuya Otani, Humanoid robots mimicking humans' anatomical and functional features, International Symposium on Human Movement Studies: From Perspectives of Sport Science, Engineering, Medicine, 2023 年 7 月 27 日.
- Takuya Otani, Development of new robots working in new fields and operation system to control robots like your own body (招待討議者), 日米先端工学シンポジウム, 2023 年 7 月 19 日.

4.4 受賞・表彰

- Haruka Ide, Hiroyuki Ogata, Takuya Otani, Atsuo Takanishi, Jun Ohya, Best Poster Award Finalist, Detecting Overgrown Plant Species Occluding Other Species in Complex Vegetation in Agricultural Fields Based on Temporal Changes in RGB Images and Deep Learning, International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods
- 大谷 拓也, 近藤 貴久, 青竹 峻太郎, 舩橋 真俊, 三木 浩, 高西 淳夫, 優秀講演賞, 農地植物の3次元認識と障害物払いのけ動作生成によるロボット自動収穫, 第24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

4.5 学会および社会的活動

- 姫路市役所, 「アグリテック甲子園イベント」テクノロジーアドバイザー
- 日本ロボット学会会誌編集委員会

5. 研究活動の課題と展望

本研究成果を利用して, 人間型ロボットの安定的な遠隔操縦を実現する. そのために, 操縦性の高い操縦システムの開発もさらに進めていく. また, 本研究の他に, 所属するプロジェクト研究において提案手法の社会実装を進める.