

2018年度 永守財団 研究助成 研究報告書

所属機関名	近畿大学
職位または役職	助教
氏名	松谷 祐希

1. 研究題目

人体の構造と運動規範に基づいた腱駆動ロボットの運動生成

2. 研究目的

人間は既存の産業用ロボットと比較して、器用で柔軟な運動を実現することができる。その主な理由として、「人体の構造」と「脳の運動生成原理」の二つの要素が関係していると考えられている。まず、人体の構造は骨格が筋肉に覆われた筋骨格構造を有しており、筋肉によって関節が駆動する。また、駆動冗長性を有しているため、筋肉によって関節の剛性を調節することができ、姿勢を硬く維持したり、外力に応じて姿勢を柔らかく変化させたりすることができる。次に、脳の運動生成原理に注目すると、人間は目をつぶった状態でも運動を行えることから、運動の生成には視覚情報を用いたフィードバックだけでなく、フィードフォワードも重要な役割を果たしていると考えられている。さらに、人間の視覚情報には数百ミリ秒のむだ時間が含まれていることが知られている。これらのことより、フィードバックとフィードフォワードを組み合わせることで、人間は正確な視覚情報を必要とせずに、運動を実現できることがわかる。そこで、人体特有の構造が人間の運動に寄与することを明らかにし、ロボット工学に応用することで、ロボットの制御性能を向上させるための基盤技術を確立する。

本研究では、脳の運動生成原理を模倣した制御手法と、人体特有の構造が運動性能の向上に貢献することを明らかにし、ロボットの制御性能を向上させるための研究を行う。まず、人体の構造を模倣した腱駆動ロボットを対象に、フィードフォワード入力とフィードバック入力の比率を可変とした複合制御法を提案する。また、腱駆動ロボットの汎用性を高めるため、ロボットの動作範囲を2次元平面から3次元空間に拡張した3次元モデルを定義する。さらに、昨年度開発したリンク上に可変剛性機構を有する腱駆動ロボットの定量的な評価を行う。

3. 研究内容及び成果

(1) 腱駆動ロボットを対象にしたワイヤ配置誤差に対するロバストな制御方法の提案

腱駆動ロボットのワイヤ配置に誤差が含まれる状態でも、高精度な位置制御を実現可能な位置制御法を提案し、シミュレーション結果よりその有効性を示した。提案手法は、内力フィードフォワード制御とむだ時間を含む外界センサ情報を用いたフィードバック制御を複合した制御手法であり、手先位置に応じてフィードフォワード入力とフィードバック入力の比率を変化させることが可能である。フィードフォワード入力は運動学より構築するため、ワイヤ誤差の影響を受けやすいが、フィードフォワード入力の比率を目標位置付近で小さくすることで、その影響を小さくすることが可能となる。また、センサ情報にむだ時間が含まれていた場合、フィードバックゲインを大きく設定すると不安定な挙動を示すが、フィードバック入力の比率を初期位置付近で小さくすることで、単純に線形結合する手法よりフィードバックゲインを大きく設定することが可能となる。2リンク6本ワイヤの腱駆動ロボットを対象に位置制御したシミュレーション結果を図1に示す。図1より、従来手法(図中のCGC)はワイヤ配置誤差の影響で手先位置に偏差が生じている。しかし、提案手法は手先位置を目標位置に収束させることができている。したがって、提案手法はフィードバック入力でワイヤ配置の誤差の影響を補うことができ、高精度な位置制御を実現することができる。

(2) 腱駆動ロボットの作業領域の拡張

腱駆動ロボットの作業領域を3次元空間に拡張した3自由度4本ワイヤの腱駆動ロボットをモデル化し、シミュレーション結果より、内力フィードフォワード制御法の有効性を確認した。本研究では、図2に示す腱駆動ロボットの基本システムである1リンクシステムを対象に、内力フィードフォワード制御法を用いて位置制御を行い、腱駆動ロボットの運動が目標位置に収束することを確認した。ただし、運動の収束性は腱駆動ロボットのワイヤ配置に影響されており、ワイヤ配置と運動の収束性の関係について詳細な解析が必要となる。

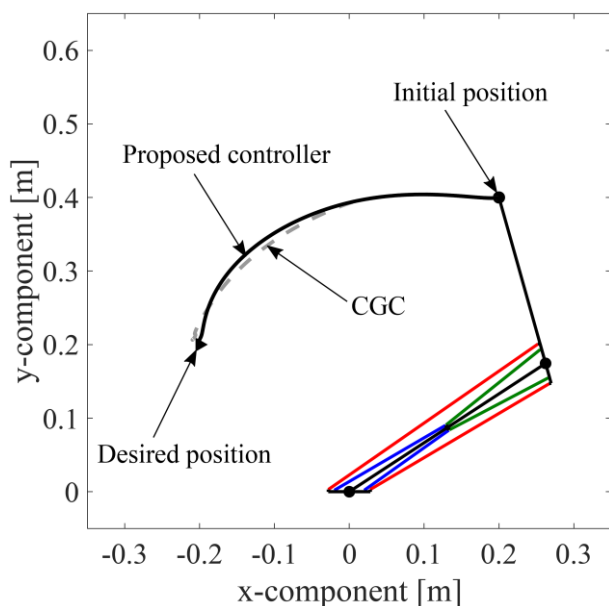


図1 ワイヤ配置に誤差がある位置制御

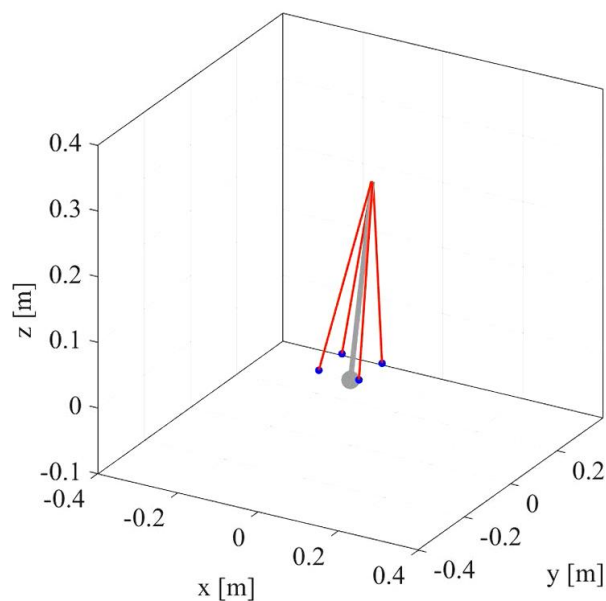


図2 3自由度4本ワイヤの腱駆動ロボット

4. 今後の研究の見通し

本研究の成果より、手先位置に応じてフィードフォワード入力とフィードバック入力の比率を変化させる関数を導入した内力フィードフォワード制御とフィードバック制御を複合した制御手法を用いることで、ワイヤ配置誤差に対してロバストな位置制御を行えることがわかった。しかし、提案手法の有効性の確認はシミュレーションでしか示していない。そこで、新たな実験機を製作して、実験結果より提案手法の有効性を示し、ワイヤ配置にどの程度誤差があるか不明でも高精度な位置決めが可能であることを示す。

また本研究の成果より、3次元空間モデルの腱駆動ロボットを対象に内力フィードフォワード制御法を用いると、運動の収束性がワイヤ配置に大きく影響されることがわかった。そこで、内力が生成するポテンシャル場の形状に着目し、ワイヤ配置と運動の収束性の関係を明らかにし、収束条件を示す。

5. 助成研究による主な発表論文, 著書名

- Y. Matsutani, K. Tahara and H. Kino, "Set-point control of a musculoskeletal system under gravity by a combination of feed-forward and feedback manners considering output limitation of muscular forces", *Journal of Robotics and Mechatronics*, vol. 31, no. 4, pp. 612-620, 2019年8月.
- 松谷祐希, 田原健二, 木野仁, "腱駆動ロボットのワイヤ配置誤差に対するロバストな位置制御手法", *ロボティクス・メカトロニクス講演会 2019 講演論文集*, 1A1-S01, 2019年6月.