

令和3年11月25日

報道機関 各位

国立大学法人 電気通信大学

センサレス制御が可能な人工筋肉の数理モデルを提案

【ポイント】

- * マッキベン型空気圧ゴム人工筋肉の拮抗構造をもつ柔軟駆動系の数理モデルを提案
- * 柔軟な駆動装置がセンサレス制御可能であることを実証
- * センサの取り付けが不要になることから、構造上の制約やコストの軽減が可能に
- * 従来不可能だった fMRI を用いた高磁場環境で利用できる

【概要】

電気通信大学大学院情報理工学研究科の小木曾公尚准教授らは、センサレス制御^[1]が可能な空気圧で動作するマッキベン型空気圧ゴム人工筋肉 (McKibben pneumatic artificial muscle : PAM)^[2]の数理モデルを考案しました。関節パーツを介して2本の PAM を平行に配置した構造 (拮抗構造) をもつ柔軟なアクチュエータ (駆動装置) 向けのモデルで、角度センサやトルクセンサを用いずに、角度とトルクの制御ができることを確認しました。

柔軟なアクチュエータにセンサの取り付けが不要になれば、構造上の制約を軽減でき、コスト低減にもつながります。特に、これまでセンサがあるために使えなかった機能的核磁気共鳴画像法 (fMRI) を用いた高磁場環境などでもアクチュエータを利用できるようになります。

PAM は軽量で柔軟、出力重量比が大きいなどの特徴をもつことから、リハビリテーションロボットや介護ロボットなど人と接する機会の多い機器のアクチュエータとして適しています。そこには回転動作が可能な拮抗構造が用いられています。人や環境に優しいこのようなアクチュエータの開発には、PAM を低圧域で正確に制御することが求められます。センサレス制御が可能な拮抗構造をもつ PAM の精密な数理モデルが得られれば、より低コストかつ小型で軽量の新しい柔軟なアクチュエータの実現につながると期待されます。

成果は国際学術誌「IEEE/ASME Transactions on Mechatronics」に掲載されました。

【背景】

マッキベン型空気圧ゴム人工筋肉 (PAM) はゴムチューブを非伸縮のメッシュで編み、両サイドをキャップで閉じた構造をしており、圧縮空気の流入により収縮力を発生させるアクチュエータです。また、可変剛性のアクチュエータであり、使用する圧力帯域によって剛性を変化させることが可能です。一方で、人に優しいアクチュエータを開発するためには、PAM を低圧域で正確に制御する必要がありますが、低圧域では振動が発生しやすく、制御帯域幅が小さくなって制御が難しくなるなどの問題がありました。

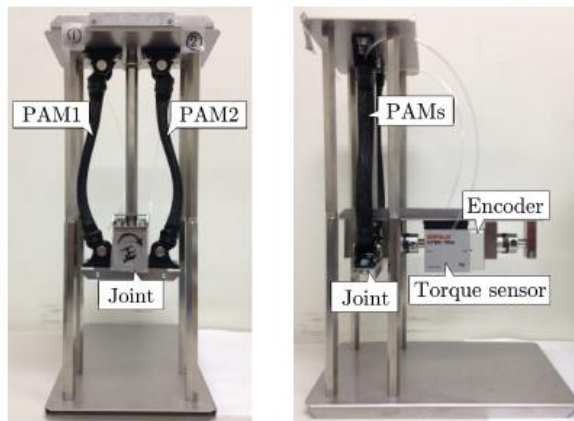
先行研究では、制御弁や流体ダイナミクスを考慮した拮抗構造をもつアクチュエータの制御に関する報告はありますが、摩擦特性までは考慮されていませんでした。摩擦特性を考慮しないと、PAM の制御が困難になることが知られています。精密な数理モデルはアクチュエータのより正確な制御

を実現します。特に、拮抗構造をもつアクチュエータの精密な数理モデルが得られれば、圧力センサのみの情報から、関節角度やトルクの推定なども可能になります。

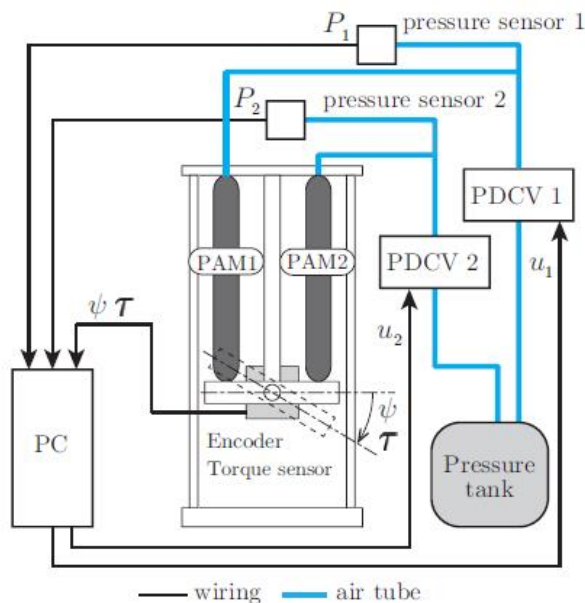
これに加えて、一般的に力センサは高価かつ重いため、完成したアクチュエータも高コストで大重量になります。とりわけパワーアシスト装具など人が装着して用いる機器の重量が大きい場合、それ自身の重さが患者にとっては負荷になります。したがって、アクチュエータの軽量化は欠かせません。さらに、PAMの軽量で柔軟な特性を損なわないためにも、センサレス化は重要です。その上で関節角度も推定できれば、機器の配線の複雑さの回避やさらなる設計コストの削減が期待できます。

【手法】

本研究では、拮抗構造をもつPAMのセンサレス制御系の構築を試みました。作製したシステムを下図に示します。2本のPAMを平行に配置してそれぞれ片側を関節パーツで接続した構造をしており、回転動作が可能です。状態推定には、数理モデルに加えて、非線形カルマンフィルタ (unscented Kalman filter:UKF) ^[3] を組み合わせた状態推定器を利用しました。その上で、センサレス制御系を構成し、関節角度とトルクの軌道追従性能を確認し、センサレス制御が実現できることを確認しました。



(a) Photograph of antagonistic PAM system



(b) Structure of antagonistic PAM system.

図 作製した PAM システム

【成果】

拮抗構造をもつ PAM の柔軟駆動系の数理モデルを提案しました。提案モデルから導出される UKF を用いることで、ジョイント部の角度センサやトルクセンサを用いることなく、94.75%の目標角度追従性能と、95.00%のトルク追従性能（定常時）を確認しました。

【今後の期待】

センサレス角度、トルク制御において十分な目標値追従性能が達成できていることが分かり、拮抗構造をもつアクチュエータの高精度なセンサレス制御が実現できました。

今後、センサレス剛性制御系の構築を進めることで、軽量で低コスト、かつ人や環境との接触時に危害を加えない、安全でやさしいアクチュエータの開発が可能になると考えられます。

（論文情報）

雑誌名：「IEEE/ASME Transactions on Mechatronics」

論文タイトル：Detailed Dynamic Model of Antagonistic PAM System and its Experimental Validation: Sensor-less Angle and Torque Control with UKF

著者：Takaya Shin, Takumi Ibayashi, Kiminao Kogiso

DOI 番号：10.1109/TMECH.2021.3086218

（外部資金情報）

本研究は、科学研究費挑戦的研究（萌芽）JP25709014（2021-2022）、および科学研究費基盤研究（C）JP18K04012（2018-2020）の助成を受けて行いました。

（用語説明）

[1] センサレス制御：センサを取り付けずに、制御に必要な物理情報を推定して駆動する制御方法

[2] マッキベン型空気圧ゴム人工筋肉：空気圧を印加することでヒトの筋肉のように収縮する軽量で柔軟なアクチュエータ。装着型パワーアシストロボットやリハビリテーションロボットに利用される

[3] 非線形カルマンフィルタ：非線形システムの状態推定を行うフィルタ。電池の充電率やパラメータの推定問題に適用される

【連絡先】

<研究内容に関すること>

電気通信大学 大学院情報理工学研究科

准教授 小木曾公尚

Tel：042-443-5392 E-Mail：kogiso@uec.ac.jp

<報道に関すること>

電気通信大学 総務企画課 広報係

Tel：042-443-5019 Fax：042-443-5887

E-Mail：kouhou-k@office.uec.ac.jp