

視触覚センサ FingerVision に基づく AI 物体操作

研究代表者

山口明彦 東北大学 助教



1. 研究の背景と達成目標

本研究では、研究代表者が開発を進める「視覚に基づく触覚センサ(視触覚センサ)FingerVision」搭載ロボットを食品産業等の実課題解決に応用すべく、人工知能(AI)に基づいた制御技術群の開発を目指します。FingerVision とは透明で柔らかい皮膚とカメラで構成されるセンサで、皮膚の変形をカメラで捉えることによって得られる力分布や、把持対象物の滑り、テクスチャなど、様々なモダリティを計測でき、かつ耐久性や経済性にも優れます。FingerVision をロボットに搭載し、人間のように手の感覚を使った物体操作を行うことで、柔軟物・壊れやすいものの把持、自動把持適応、全方位からの対象物の検査、などが実現できると考えていましたが、一方で食品などの柔軟物はモデル化しにくく、既存の制御技術だけでは FingerVision 本来の能力を発揮することが困難でした。そこで、本研究では研究代表者がロボットマニピュレーションのための AI 技術に応用し、食品産業等に適用可能な制御技術群の開発を目標としました。具体的には、多品種製品ラインにおける把持(ピックアップ)の自動適応と高速化、惣菜などの計量ピッキング、山積み柔軟物の手探り把持、を達成目標として掲げました。

2. 主な研究成果と社会、学術へのインパクト

- ・ の目標達成のため、FingerVision センサを用いた未知物体に対する把持の自動適応における滑りフィードバック制御の高速化を実現。本成果は、「フィードバック制御を行うと動作が遅くなる」という固定観念を打破したものと考えます。また、私自身が今後食品工場に導入するロボットの把持制御において、根幹的な技術として使用される計画であり、人手不足等の社会課題解決につながります。
- ・ の目標達成のため、俯瞰 RGB-D センサに基づくモーションプランニングから FingerVision を用いた把持制御までを統合した計量ピッキングの自動化。このようなプロセスの自動化は、対象具材の温度や調理条件による対象物の物理特性の変化、具材内部の状態が隠れていること、密度のブレなどが原因で非常に難易度が高く、その目標達成のための基礎技術を開発したことは、技術的に大きな貢献であったと考えます。また、前項同様、私自身の手で社会実装を進め、社会課題の解決につながります。
- ・ の目標達成のため、柔軟物の手探り把持を実現するための多自由度かつ全リンクに FingerVision が埋め込まれたロボットハンドおよび手探り制御手法の開発。このようなロボットハンドは視覚に基づく触覚センサの分野でも新規であり、先進的な取り組みであると考えます。

3. 研究成果

多品種製品ラインにおける把持の自動適応と高速化

未知物体に対する把持の自動適応については、研究代表者が開発した「FingerVision による滑り知覚に基づく滑りフィードバック制御」によって比較的容易に実現できましたが、高速化がボトルネックとなっていました。そこで低速化の原因を考察したところ、低速化は「どんな未知物体に対してでも適応できるように把持戦略を構成して

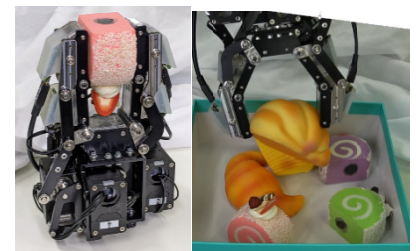
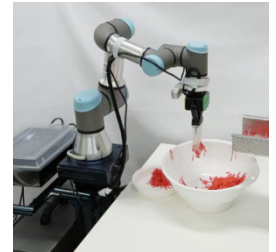
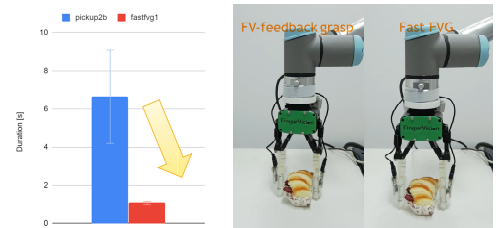
いた」ことにあり、汎化性のトレードオフが原因であったと結論づけました。食品工場のラインなどでは、たとえ扱う対象が頻繁に変わろうとも、そのライン稼働中は同じ対象を把持します。よって触覚フィードバックを活用すべきなのは食品の個体差に対する対処であり、この観点で制御手法を開発し、実験の結果、高速化が可能であることを確認しました。

惣菜などの計量ピッキング

計量ピッキング自動化のため、操作環境を俯瞰する RGB-D カメラで対象物の具材の形状を認識し、把持およびモーションプランニングを行い、把持の実行中に FingerVision の情報に基づくフィードバック制御を行うことで把持量を調整するシステムを開発しました。ここで扱う具材はコロッケのような個体ではなく細断されたキャベツやひじきの煮物のような液体と個体の中間のような対象物です。前述のように難易度の高いタスクであり、ハードウェアの調整から画像処理や機械学習まで、すべての構成要素を最適化しました。この中で FingerVision がセンサ面の形状や材質の自由度が非常に高いことを再認識しました。つまり、具材を安定して掴むためにはフィンガーの形状も重要ですが、静電容量方式のような通常の触覚センサだとセンサ面の変更が難しいことが多く、これと対比する形で FingerVision の活用方法を見出しました。

山積み柔軟物の手探り把持

「手探り」を実現するために重要な構成要素は、「手のひら全面の触覚」と「自由度の高いロボットハンド」であると考えました。そこで 2 指 4 自由度のロボットハンドを開発し、小型化した FingerVision を搭載し、さらに全触覚センサと全自由度を利用した制御手法を開発しました。これにより手探りによる把持の実現ができました。



4. 今後の展開

本研究開発で確立した FingerVision による把持の高速化や計量把持といった技術は、食品ロボットの開発を進める上で根幹となる技術であり、本研究開発の成果を用いて、食品産業分野への道を切り開くことができたと考えます。また、その過程で、新たな研究テーマも見えてきており、私の研究と社会実装の両面の発展につながると期待しております。さらに、私の技術に基づいて「株式会社 FingerVision」を設立しており(共同創業)、本研究開発で培った技術の移転も進めております。

5. 発表実績

本研究期間中に発表した主要関連論文は以下のとおりです。

- ・Akihiko Yamaguchi, and Christopher G. Atkeson: Tactile Behaviors with the Vision-Based Tactile Sensor FingerVision, International Journal of Humanoid Robotics, Vol.16, No.03, 2019.
- ・Akihiko Yamaguchi, and Christopher G. Atkeson: Recent progress in tactile sensing and sensors for robotic manipulation: can we turn tactile sensing into vision?, Advanced Robotics, Vol.33, No.14, pp.661-673, 2019.
- ・山口 明彦: FingerVision のための高感度力計測機構、第 25 回ロボティクスシンポジウム、2020.
- ・Yoshiyuki Suzuki, Akihiko Yamaguchi, Seita Nojiri, Tetsuyou Watanabe, Koichi Hashimoto: Vibration Control for Pivoting by Robot Hand Equipped with CAVS and FingerVision, IEEE International Conference on Robotic Computing, 2021.
- ・Akihiko Yamaguchi: FingerVision with Whiskers: Light Touch Detection with Vision-based Tactile Sensors, IEEE International Conference on Robotic Computing, 2021.