

触覚情報の応用を拓くリザーバーコンピューティングによる AI モジュールの開発 —触覚情報による紙めくりシステムの実証—

1. 背景

本プロジェクトにおける背景として、まず「触覚情報は対象物体との相互作用を通じ、様々な現場や作業にて極めて重要な役割を果たしている」ことが挙げられる。例えば、製造現場においてはネジなどの小部品の差し込みや柔軟物をめくりあげる動作などに活用されており、農水産作業においては果物などを器用に把持する動作などに活用されている(図 1)。しかしながら、触覚情報を対象とした AI 技術の産業レベルにおける応用は進んでいない。この現状が生じた原因としては、触覚情報が以下の特徴や特性を有するからだと考えられる。つまり、「触覚情報は時間・空間情報を同時に有する」「触覚情報は筋肉などと連携し、短い頻度にてその動作を調整することで、繊細な作業を実現している」特徴である。一つ目の特徴は「時系列情報処理にも優れる」、二つ目の特徴は「短い頻度における調整を実現するため、構造や学習方法が簡便なものでなければならない」と言い換えられる。これまでにおいて、この二つの特徴を同時に満たす AI モデルが十分に発展しなかったため、触覚情報の利活用が視覚や聴覚と比べ遅延していたと考える。

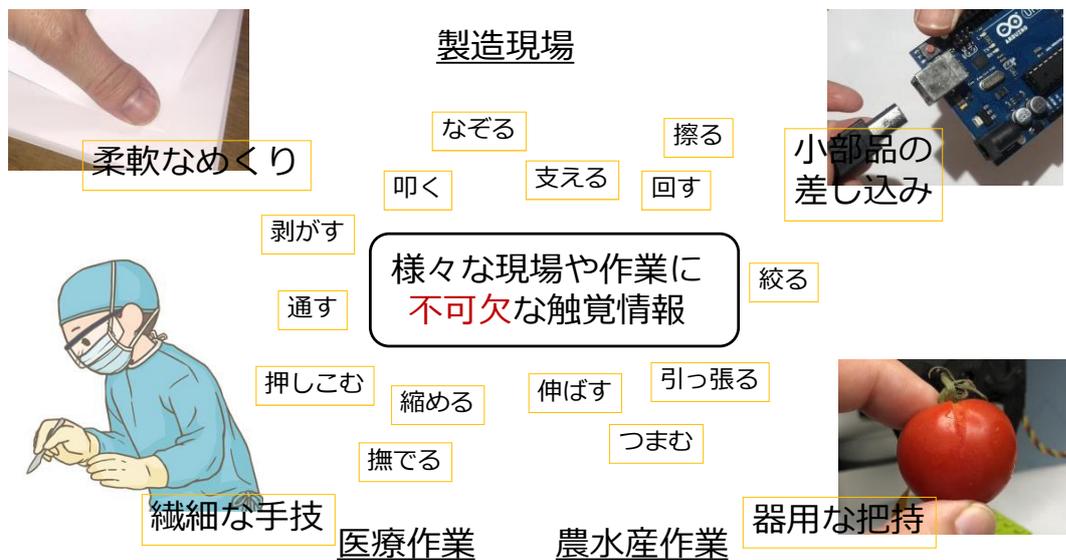


図 1 本プロジェクトの背景

2. 目的

本プロジェクトの最終的な目標を「時系列情報処理に優れ、構造や学習方法も簡便であるという特徴を有した、触覚情報を扱うための AI モジュールを構築する」と設定する(図 2)。触覚情報は一般的に高次元な情報となることが想定され、そのままの形では扱いにくい。例えば、人間における触覚情報を受容する器官には応答周波数が数百 Hz になるものも存在し、時系列方向の情報量が大きくなる。また触覚情報は並

列的に受容することも多いので、空間方向の情報量も大きくなることもある。人間は、指先にて面的に分布している受容器官全体を用いて触覚情報を扱っているからである。そして、その AI モジュールにおいて利用するモデルには、Reservoir Computing(RC)モデルを採用する。その理由としては、RCモデルは自然言語処理や音声情報処理など時系列情報処理に広く採用されている自己回帰型ニューラルネットワークモデルの一種であることがまず挙げられる。加えて、RCモデルはその大部分のモデルパラメータが固定されており一部分のパラメータしか学習の対象としないため、簡便な構造や学習方法を有することが挙げられる。

本プロジェクトでは、この RC モデルを用いて、紙などの柔軟物をめくりあげる動作を制御し、実現することを目的とした。形状変化における自由度が大きい柔軟物めくり上げ動作には高い時系列情報処理能力が必要で、RCモデルが触覚情報処理に優れるかどうかを測るベンチマークに相当だと考えたのが、めくり上げ動作に注目した理由である。まためくり動作は、例えばフィルムなどの積層された物体を対象としたものなど様々な製造現場にて必要であり、応用先が広い。

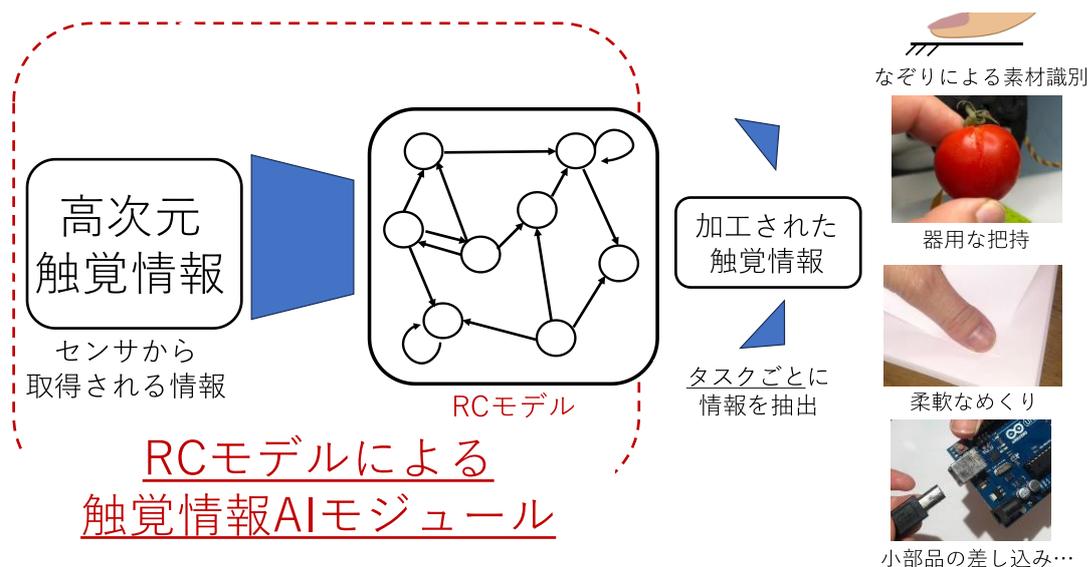


図2 本プロジェクトの目標

3. ソフトウェア開発内容

本プロジェクトは、「RCモデルを用いて紙などの柔軟物をめくりあげる動作を制御し、実現する」ことを目的とした。この課題を解決するため、制御躯体に3Dプリンタを用いた上で、触覚センサにて紙がめくり上がる際に生じる力の変化を計測し、測距センサにて紙がめくり上がる際の高さを取得、そしてそれらのセンサ情報を元にRCモデルにて3Dプリンタのヘッダ部分における速度や圧力を調整することで紙をめくりあげるシステムを開発した(図3)。

また、本プロジェクトにおける、RCモデルによる制御手法として強化学習を採用した。強化学習とは、「モデルが環境との相互作用を通じ、獲得した報酬を元にして様々な試行錯誤を行い、最終的にはタスクの遂行を目指す」学習アルゴリズムである。本プロジェクトにおける設定では、触覚センサから得られる信号を元に、測距センサから取得される紙の高さを報酬としてRCモデルが3Dプリンタの圧力や速度を適宜調整していき紙をめくり上げる動作の実現を目指す、と説明することができる。

本プロジェクトでは、コピー用紙とトレーシング用紙、材質の異なる二つの素材を対象とし開発したシステムがめくり動作を行えることを確認した。

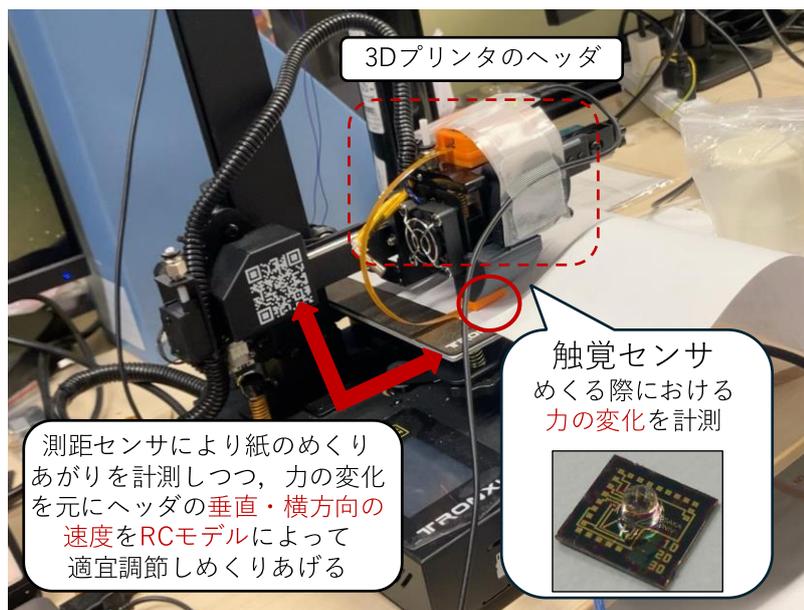


図3 開発したシステムの概要図

4. 新規性・優位性

本プロジェクトにて開発したシステムの新規性・優位性として、以下の点が挙げられる。まず、材質が異なる二つの素材についてめくり動作の成功を確認できたことから、本システムはポリエチレンシート等、多種多様な素材に対してもめくり動作を行えると想定される。また、“比較的安価な制御躯体である3Dプリンタ”、“超小型で搭載場所を選ばない触覚センサ”を要素技術として用いている本システムは、様々な現場や状況において広く設置、利用できる。最後に、本システムの開発を通じて、触覚情報をリアルタイムに取得しつつ、RCモデルにて強化学習や教師あり学習など他方法の学習を実施する基盤的なコードを作成した点がある。本システムの開発に利用したコードを通じ、様々な現場や状況にて触覚情報を利活用できる環境の構築へ大きく前進したと考える。

5. 期待されるユーザー価値と社会へのインパクト

プロジェクト成果の利用を期待できるユーザーや場面としては、例えば製造現場等におけるフィルムや紙、布といったシート上の薄い柔軟物を繊細にめくりあげる工程などが想定される。具体的には、自動車部品や家電、半導体等の製造ラインである。また、EC 倉庫などにおいて、紙ベースの書類や小型封筒、緩衝材などを扱う工程も考えられる。今まで、上記に挙げた現場におけるめくり操作や繊細なピッキングは人手に依存していた。また、これらの現場は現状において労働力不足が深刻化しており、外国人労働者等に従事してもらうにも他国との経済競争を考えれば限度がある。この現状にて生じた卑近な例としては、宅配サービスなどにおいてこれまでよりも配送日数を遅らせる事業者が多数出てきたことが挙げられる。本システムは、こうした現場における自動化や精進化に貢献できる。加えて、本システムを用いるべきタスクとして、素材や民芸品や工芸品といった高度に巧緻な作品が持つ特有の質感を分析することがある。工芸品等が持つ、繊細な質感を分析・解析するためには、画像情報のみならず触覚情報も必要であると考え。素材や民芸品や工芸品の質感を定量的に解析できるようになれば、後継者不足によって途絶えてしまうかもしれない技術についても、後世へ受け継ぐことがより容易になると考える。

また、今回は制御躯体に低廉な 3D プリンタを用いた。加えて RC モデルを採用することでマイコン等の計算機を用いる場合でも処理を完結させうる。このように、今回開発したシステムは触覚センサを除き安価なものであるし、触覚センサについても本システムが普及すれば、量産効果により生産価格の圧縮が期待できる。

本システムの成果をユーザーが利用し、さらにその利用が拡大することで、日本社会におけるサプライチェーンを製造、流通等の場面において強靱化させ、また失われつつある手作業の技術を後世へより継承できるようになるなど、大きなインパクトを与えうる。

6. 氏名（所属）

坪倉 奏太(京都大学 人間・環境学研究科 数理・情報科学講座)

武貞 一樹(立命館大学 情報理工学研究科)