

SOINN® 2.0 による超高速マルチモーダル学習とリアルタイム・ロボット制御デモ — パテ塗り作業を例に —

2022年03月
SOINN 株式会社

■ はじめに

弊社では NEDO プロジェクト (※) の一環として、弊社独自の機械学習アルゴリズムである SOINN® を大幅に改良した SOINN® 2.0 の開発を進めています。SOINN® 2.0 は超軽量で、例えば**時系列マルチモーダルデータの場合、CPU のみを用いて (GPU 不使用で) 学習・推論をそれぞれ数秒・数ミリ秒のオーダーで実行可能**です。

本 NEDO プロジェクトでは、SOINN®2.0 の有力な展開・応用先としてロボットを選定し、実機を用いた実証実験も行っています。本デモは、SOINN®2.0 による時系列マルチモーダルデータの学習と、学習済み SOINN® 2.0 によるリアルタイム・ロボット制御の実行例をお見せするものです。実験にはユニバーサルロボット社製 UR3e,5e を用いています。ロボットのタスクは、力触覚を加味した制御を必要とする「パテ塗り作業」としました。

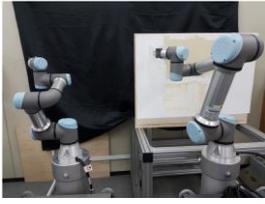
※ NEDO：高効率・高速処理を可能とする AI チップ・次世代コンピューティングの技術開発
【研究開発項目①】革新的 AI エッジコンピューティング技術の開発

■ デモ内容

一般に、反力や摩擦力が動的に変化する環境下でのロボット制御は、プログラミングが非常に困難です。そこで本プロジェクトでは、**反力や摩擦力がある環境下で人が操作した履歴を SOINN®2.0 に学習させることで、ロボットに同等の力制御タスクをリアルタイム実行させる**こととしました。今回のデモの概要は以下の通りです。

- ① UR3e をマスタ、UR5e をスレーブに設定する。
- ② 人がマスタをもってパテ塗り作業を行い、その過程で得られた動作と力触覚のセンサデータを学習データとする。
- ③ 学習データを SOINN®2.0 に与えて学習させ、ロボットに一連の動作を実行させる。

ただし、本タスク遂行に付随するその他の機能（塗り位置までの移動やパテ供給）は、別途構築して結合しました。



作業に使用する
Universal Robot
右：スレーブロボット
左：マスタロボット



人の操作で動作を実施
学習のためのデータを取得



視覚では把握困難な力
加減を複数センサ情報
を用いて学習



学習した結果をもとに
一連の動作を**予測実行**

■ SOINN@2.0 (AI)の学習のポイント

本タスクで、SOINN@2.0 に学習・制御させるのは、「力触覚を利用してパテを塗る」動作です。本デモでは、壁の様々な位置にロボットが柔軟に対応できるように、学習データにアームの位置座標を含めない一方、アームの動作方向（速度ベクトル）と、それに伴う力触覚情報を含めました。パテ塗り動作の終了を判定するため、関節角の一部も情報として含めました。

学習データは、人がマスタを操作してパテ塗り動作を行い、その操作履歴を記録して作成しました。動作の詳細は以下です。

「パテを盛ったへらを壁に対して平行にして壁に接近する。壁にへらを当てたら、左から右方向へへらを動かしパテを塗っていく。所定の所まで塗ったら壁からへらを離す。」

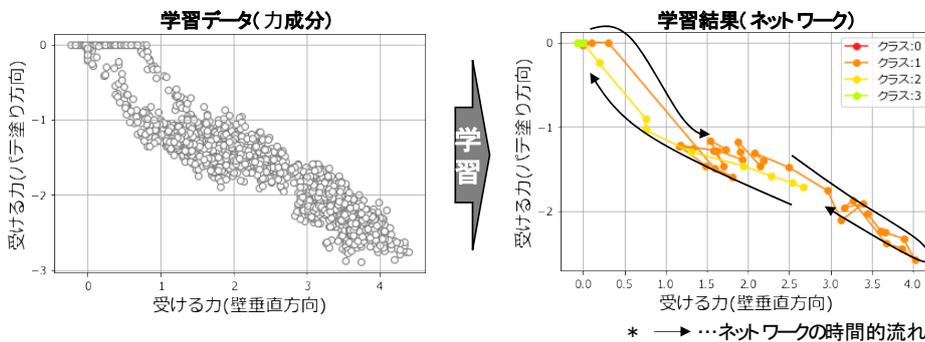
また、以下の動作も同様に学習し、適宜動作実行可能としました。

「一度パテを塗った壁に対してパテを盛らないへらで①と同様な動作をしてパテ量を規制する。①で塗ったパテがなくなならないよう、またスジが消えるように、①より力を加減して塗る。」

本検証では、動作 1 回分の操作履歴を学習データとしました。

■ 学習データ、学習結果

以下にパテ塗り動作の学習データ、学習結果の例をグラフで表示します。力成分を例にして表示しています。

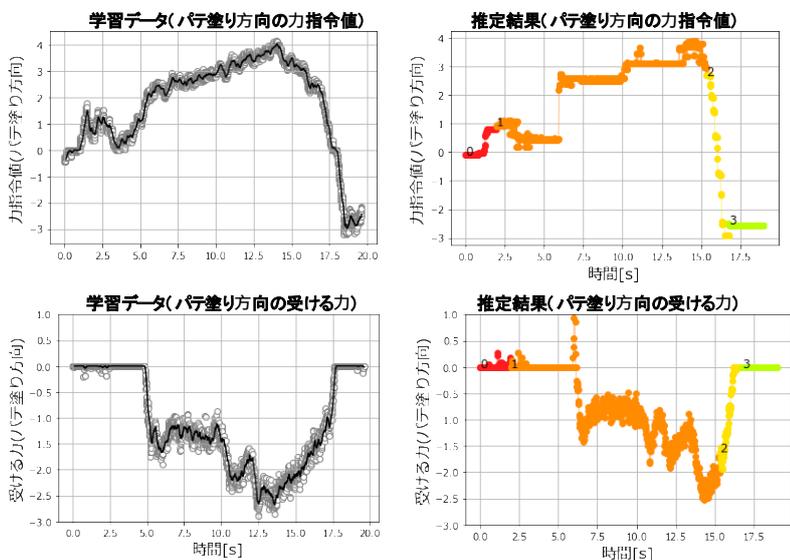


SOINN@ 2.0 による学習では、学習データの情報はネットワーク化され主要な部分のみがノード(学習結果図の●)として表現されます。本例では 3000 行程程度の学習データが圧縮され約 80 行のノードとして表現されています。

また、各ノードの関連性から一連の動作が一つの塊(クラスタ)となるように自動的にクラスタリングされます。そして動作はクラスタの時系列順序を元にネットワークの時間的流れとして表現されます。(学習結果図の矢印)。本例では、「クラス 0:へらを壁に近づける=>クラス 1: 壁にへらを当て、左から右方向へパテを塗っていく => クラス 2: 壁からへらを離していく=> クラス 3: へらを壁から遠退ける」という4つのクラスタリングがなされています。このように学習ネットワークを可視化し分析することが可能であり、次どの動作を実行しようとしているか、失敗した場合に何をしようとしていたか等の説明が可能となっています。

■ 推定結果

以下にパテ塗り動作の推定結果の例をグラフで表示します。力指令値、力成分を例にして表示しています。



上図のように、推定では、学習データの指令値を同タイミングで単純に再現するのではなく、現状の力状態や速度状態を把握し、今の状態に最適な指令値を学習したネットワークから算出して出力します。下図のように、本例では結果としてお手本である学習データと同程度の力状態を実現できていることが確認できています。

■ 各種スペックデータ

本デモでは、これらの AI 動作にプログラム動作を結合して一連のパテ塗り動作とし、動作の再現性や学習・制御に要する時間の定量評価を行いました。本デモに使用した計算機のスペックや、学習データ、学習・推論時間等の関連データは以下の通りです。

OS	:	Microsoft Windows 10 Pro
プロセッサ	:	Intel(R) Core(TM) i7-6700K CPU @ 4.00GHz、4001 MHz、 4 コア、8 ロジカルプロセッサ (GPU 不使用)
メモリ (RAM)	:	32.0 GB
学習機構	:	SOINN® 2.0

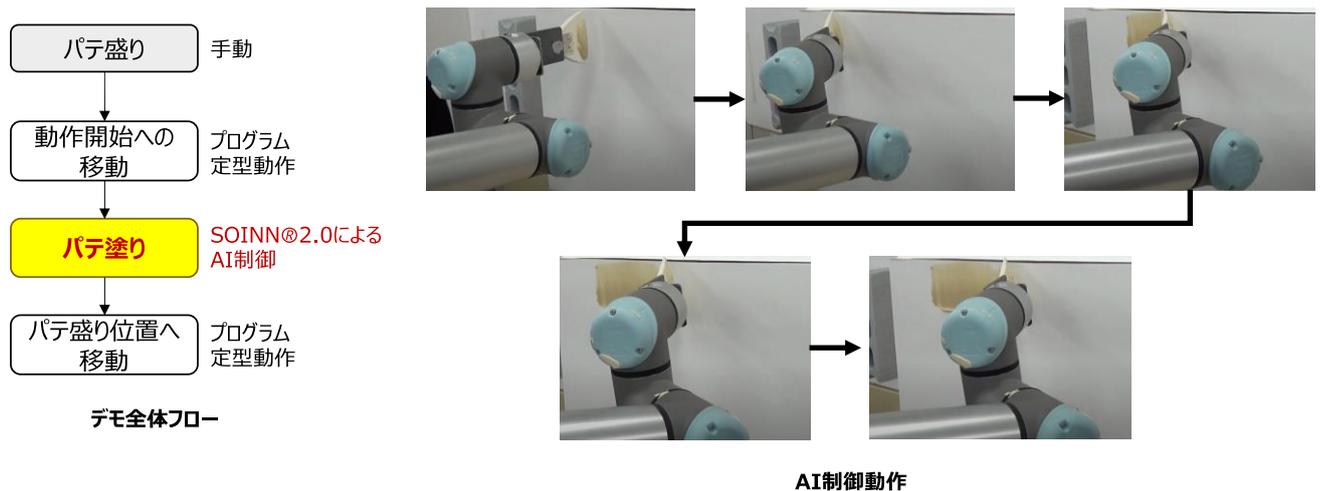
学習データ : 20次元ベクトルデータ
データサイズ: 1MB
データ行数 : 3,000 行程度
学習時間 : 約3秒
推論時間 : 数ミリ秒
学習済 AI モデル: 100 KB 程度

■ まとめと展望

ロボットに AI を付加する最大の目的は、ロボットの動作がプログラムの内容や教示動作の再生に限定されるのではなく、**AI に状況に応じた臨機応変な推論をさせ、高度なタスクを現場を止めずに（外乱等に頑健に）連続実行させること**にあります。

今回のデモでは、まずロボットアームの動作情報と力触覚情報を融合するマルチモーダル学習・推論を実現しました。本デモシステムにおける SOINN® 2.0 と画像処理系の連携はかなり進んでおり、今後直ちに視覚を加え、ロボットが「見て、触って、確かめながらタスクに適切対応するマルチモーダル学習・制御」を実現します。

また本 NEDO プロジェクトの最終目標は、SOINN®2.0 をルネサスエレクトロニクス社製 DRP チップに組み込むことで、超小型で超省電力な汎用 AI チップを実現することにあります。近い将来、DRP チップとのシナジーで、SOINN®2.0 の学習推論機構はロボット筐体への組み込みも可能となります。本成果がロボットや機器・装置に組み込まれることで、現場で柔軟に学習して機能するロボットの実現や、電源に強い制約のあるドローンの AI 化などにも大きく貢献したいと考えています。



■ 本件お問い合わせ先

担当：SOINN ビジネスチーム

TEL：050-3196-2118, E-MAIL：biz@soinn.com

