

未来社会創造事業 探索加速型  
「超スマート社会の実現」領域  
終了報告書(探索研究)

令和元年度  
終了報告書

平成 30 年度採択研究開発代表者

[研究開発代表者名：森本 淳]

[(株)国際電気通信基礎技術研究所・脳情報通信総合研究所・室長]

[研究開発課題名：ロボットモデルと実環境の GAN による接続と部品組立動作生成]

実施期間：平成 30 年 11 月 15 日～令和 2 年 3 月 31 日

## § 1. 研究実施体制

(1)「森本」グループ((株)国際電気通信基礎技術研究所)

① 研究開発代表者:森本 淳 ((株)国際電気通信基礎技術研究所, 脳情報通信総合研究所, 室長)

② 研究項目

- ・全体統括と社会実装に向けた技術課題の探索
- ・シミュレーション環境でのロボット動作生成手法の探索

(2)「内部」グループ((株)国際電気通信基礎技術研究所)

① 主たる共同研究者:内部 英治 ((株)国際電気通信基礎技術研究所, 脳情報通信総合研究所, 主幹研究員)

② 研究項目

- ・ヒトからロボットへのスキル伝達手法の探索

(3)「松原」グループ(奈良先端科学技術大学院大学)

① 主たる共同研究者:松原 崇充 (奈良先端科学技術大学院大学, 研究推進機構, 特任准教授)

② 研究項目

- ・実ロボット環境とシミュレーション環境を繋ぐ方法論の探索

## § 2. 研究実施の概要

**【目的】**多くの産業用ロボットでは、オフラインで人手によって動作計画を作成し、作成された計画に沿った動作生成を行う。ところがこの従来法では、近年求められている変量変種生産におけるオンライン・実時間での動的な動作生成には対応できない。一方で、深層学習を中心とする AI 技術は、画像処理や音声認識などのビッグデータの取得が容易な分野において大きな成果をあげ、ロボットへの応用にも大きな期待が寄せられている。しかしロボットの制御においては、データ取得に環境との物理的なインタラクションを必要とするため、計算機内で高速にデータを生成することができない、また故障などの不測の事態に備えてデータ取得実験には常に人手を要することから、大規模データを集めるという前提が成り立たず、ビッグデータを背景にした AI 技術を用いたアプローチが有効ではない。そこで、本探索研究においては、ヒトの適応的な作業スキルを実環境におけるロボットで実現するための枠組みの導出を目指し、フィジカル空間におけるヒトの作業データを用いてサンプル効率の良いロボットの動作学習をサイバー空間において可能とするための方法論とともに、フィジカル空間である実ロボット環境におけるセンサデータを、サイバー空間であるシミュレーション環境で頑健に表現するための手法の探索を目的とした。

**【成果】**産業用ロボットを用いた工場を立ち上げる際には、システムインテグレータの長期間の作業を経て目的の組み立て動作が実装される。具体的には、ティーチングペンダントとよばれるインタフェースによって動作を表現する細かな数値を入力する。そのため目的の動作を生み出すには熟練が必要である。結果として、ロボットの導入費用のうちロボット本体価格が占める割合は部分的であり、システムインテグレータが一つの製品を組み立てるラインを作り上げるために必要なコストが支配的である。このようなアプローチでは、ターゲットの製品が変わるごとにラインを立ち上げなおす必要があり、ロボ

ット導入のリスクが高く、日本に多く存在する中小工場においてはコストに見合わない。ターゲット製品に合わせてロボットがヒトからスキルを学習し、適応的に作業を代替することには大きな需要があることが、企業とのコミュニケーションを通じて明確となった。

そこで、ヒトからロボットへのスキル伝達を行うための方法論の探索を行った。具体的には、GAN ベースの順・逆強化学習部分に相当する adversarial loss の最小化に加え、スキル伝達元と伝達先のモデルにおけるそれぞれの状態遷移確率を推定するための prediction loss を考慮することによりサンプル効率のよい動作学習手法の導出に成功した。スキル伝達元からは状態行動対データが事前に与えられることを利用して、スキル伝達元のモデルの状態遷移確率を事前に学習する。このとき最適な識別器が満足する関係式より、生成器の学習がスキル伝達元の状態遷移確率から導出される対数尤度を報酬としたときのエントロピ順強化学習と等価であることを示すことに成功した。結果として、これまで生成器と識別器の学習を交互に実施しなければならなかった問題を予測モデルの事前推定と生成器の学習に分離することが可能になり、ロボットモデルを用いたテスト課題においてスキル伝達を通じた効率的な動作学習が達成された。

また、ロボットシミュレーションモデルと実ロボットの感覚情報に差異がある場合においても、シミュレーション環境で達成した作業課題を実環境において実現可能とするアプローチの探索と検証のための実験環境の構築を行った。カメラ画像をセンサデータとして、ロボット・物体・背景にノイズ付与などを行った多様な画像データを用いて、ノイズ付与後の画像からノイズ付与前の画像を高精度に生成する GAN モデルの学習に成功した。その結果、実環境で取得したデータの特徴を捉えた画像がシミュレーション環境に表現された。一方で、このような静的な変換のみならず、シミュレーション環境と実環境の間には一般に動的な力学系にも差異が生じる。そこで、シミュレーション環境での動的モデルの学習および、シミュレーション観測画像系列を用いた実環境における物理パラメータの推定を可能とする方法論を開発、実ロボットを用いた検証実験に成功した。以上のように、探索加速型研究における研究目的が達成された。