

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 26 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560286

研究課題名(和文)ビューベースト教示再生による物体ハンドリング

研究課題名(英文)Object Handling with View-Based Teaching/Playback

研究代表者

前田 雄介 (Maeda, Yusuke)

横浜国立大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：50313036

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：本課題では、従来の教示再生方式の持つ汎用性という特長を維持しつつ、作業条件の変化に対応可能なロボット教示手法として、「ビューベースト教示再生」の研究を行った。カメラ等のセンサ情報をビューベーストアプローチによって処理し、ロボットの動作とのマッピングを得ることにより、物体ハンドリング作業の教示を実現する方法を開発し、産業用ロボットやロボットハンドなどを用いた実験を通してその有効性を示した。

研究成果の概要(英文)：We studied a robot programming method: "view-based teaching/playback." It is versatile as conventional teaching/playback, but enables robots to adapt to changes of task conditions. In this method, sensory information including camera images is processed in the view-based approach and it is mapped to robot motions in order to realize sensor-based object handling. The developed method was successfully validated in experiments with industrial manipulators and robot hands.

研究分野：ロボット工学

キーワード：知能ロボティクス ロボット教示 産業用ロボット マニピュレーション

1. 研究開始当初の背景

産業用ロボットの教示では、人間の指定どおりにロボットを動かす教示再生方式が長年利用されている。作業対象を問わず汎用的に利用できるメリットがあるが、作業条件が少しでも変わると対応できない、という大きな制約がある。条件変化への対応にはカメラなどを用いたセンサフィードバックに基づくロボットの動作を行わせる必要があるが、作業対象ごとにそれに特化した教示が必要となり、従来の教示再生方式のような手法としての汎用性が失われてしまうという問題があった。

2. 研究の目的

本課題では、従来の教示再生方式の持つ汎用性という特長を維持しつつ、作業条件の変化に対応可能なロボット教示手法として、「ビューベースト教示再生」の研究を行うこととした。カメラ等のセンサ情報をビューベーストアプローチによって処理し、ロボットの動作とのマッピングを得ることにより、物体ハンドリング作業の教示を実現することを目指した。

3. 研究の方法

提案するビューベースト教示再生には、教示フェーズと再生フェーズが存在する。教示フェーズでは、人間が指令してロボットに作業を行わせる（通常複数回）。このときの画像とロボットの動きのペアを記録しておく。その後、画像とロボットの動きのマッピングを、誤差逆伝播法を用いてニューラルネットワーク（図1）として獲得する。マッピングに当たっては主成分分析により画像情報を圧縮して用いる。再生フェーズでは、得られたニューラルネットワークを用いて画像情報からロボットの運動を生成することで、ロボットが自律的に作業を行えるようになる。条件を変えて複数回教示を行うことで、一定の作業条件の変化にも対応可能となる。

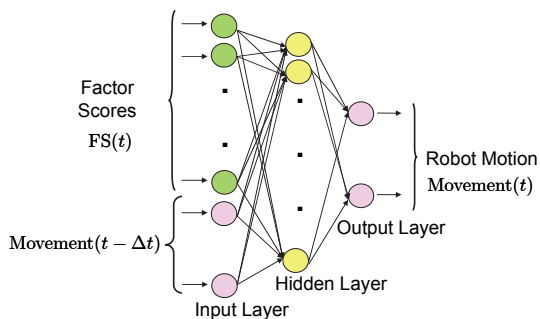


図1 ニューラルネットワーク

本課題では、主に下記のようなテーマに取り組んだ。

(1) 距離画像の利用

多様な情報を教示・再生に利用するため、通常のカメラ画像だけでなく、距離画像を利用する方法を開発する。距離画像は照明条件の影響を受けにくいというメリットがある。

(2) ビューベースト画像処理の高速化

高解像度・高フレームレートへの対応や、複数センサの利用を視野に、ビューベースト画像処理で用いる主成分スコアの計算の高速化を行う。

(3) 多様な作業への適用

ビューベースト教示再生の適用可能範囲を調べるため、産業用ロボット、ロボットハンド、小型ヒューマノイドロボットなどによる物体ハンドリング作業への適用を行う。

(4) テストベッドとしての仮想環境の構築と強化学習

ビューベースト教示再生手法をテスト・評価するために、動力学シミュレータを用いた仮想環境を構築する。また、この仮想環境を用いて、教示後にマッピングを強化学習によりロボットに自律的に改善させる手法の開発を行う。

4. 研究成果

(1) 距離画像の利用

図2のように、Microsoft社のKinectを用いた実験システムを使用し、距離画像を用いたビューベースト教示再生手法の開発を行った。

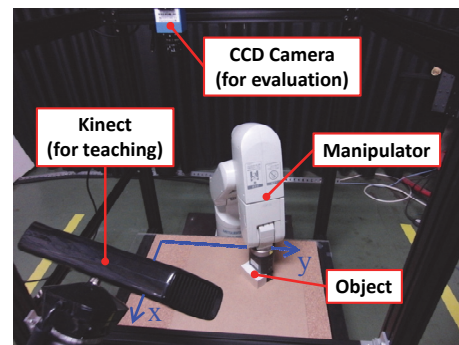


図2 教示再生システム

距離画像を用いることで、照明条件の変化に対してロバストな動作が行えることを確認した。一方で、距離画像は通常のカメラ画像に比べ精度と安定性に劣るため、状況に応じてカメラ画像（濃淡画像）と距離画像を切り替えることのできる手法を開発し、その有効性を確認した。

(2) ビューベースト画像処理の高速化

提案するビューベースト教示再生では、再生時にオンラインで画像データの主成分スコアを計算する必要がある。そこで、CPUのSIMD命令および並列演算を用いて計算の高

速化を行った。その結果、VGA 解像度の画像に対し、主成分スコアの上位 48 成分を 5ms 未満で計算できるようになり、200FPS でのビューベースト教示再生が可能となった。

(3) 多様な作業への適用

提案するビューベースト教示再生が多様な作業に適用可能であることを確認した。具体的には、産業用ロボットによる押し操作 (図 3)、ロボットハンドによる in-hand マニピュレーション (図 4)、小型ヒューマノイドロボットによる物体持ち上げ動作 (図 5) などである。

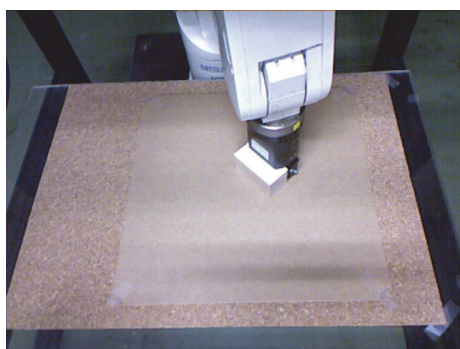


図 3 押し操作

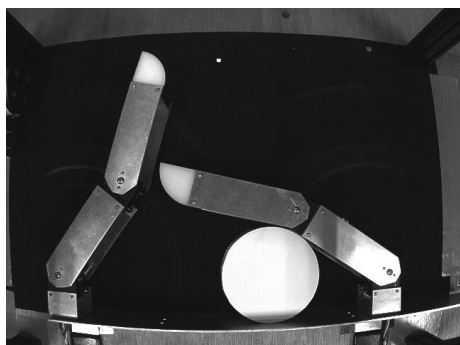


図 4 In-hand マニピュレーション



図 5 持ち上げ動作

(4) テストベッドとしての仮想環境の構築と強化学習

ビューベースト教示再生のテスト環境として、動力学シミュレータ上の仮想環境で教示・再生を行えるシステムを開発した (図 6)。

教示時のロボットの操作はデータグローブないしハプティックインタフェースを用いて行えるようになっている。



図 6 仮想環境

また、この仮想環境を利用して、Actor-Critic 手法に基づく強化学習機能を実装し、教示後にマッピングを自律的に改善させる機能を実現した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

① Yusuke Maeda and Takahito Nakamura:
View-based teaching/playback for robotic manipulation,
ROBOMECH J., Vol. 2, No. 1, 2, 2015.
DOI: 10.1186/s40648-014-0025-4
(査読有)

② 森山 祐樹, 前田 雄介:
産業用ロボットによるマニピュレーションのためのビューベースト教示再生,
日本機械学会論文集 C 編, Vol. 79, No. 806,
pp. 3597-3608, 2013.
DOI:10.1299/kikaic.79.3597
(査読有)

[学会発表] (計 9 件)

① 田中 信伍, 前田 雄介:
ヒューマノイドロボットのビューベースト教示再生,
日本機械学会関東支部第 21 期総会・講演会
2015 年 03 月 21 日
横浜国立大学 (神奈川県横浜市)

② 石井 聡一, 前田 雄介:
ビューベースト教示再生による力制御タスクの実現,
日本機械学会関東支部第 21 期総会・講演会
2015 年 03 月 21 日
横浜国立大学 (神奈川県横浜市)

③ Satoshi HAGIWARA and Yusuke MAEDA:
200 FPS View-Based Teaching/Playback,
第 32 回日本ロボット学会学術講演会
2014 年 09 月 05 日

九州産業大学（福岡県福岡市）

④ Satoshi Hagiwara and Yusuke Maeda:
View-Based Teaching/Playback at Over 100
FPS,
13th Joint Symp. among Sister Universities
in Mechanical Engineering (JSSUME2014)
2014年08月16日
横浜市開港記念会館（神奈川県横浜市）

⑤ Ayami Hasegawa and Yusuke Maeda:
Building a Virtual Environment as a Test
Bed of View-Based Teaching/Playback,
13th Joint Symp. among Sister Universities
in Mechanical Engineering (JSSUME2014)
2014年08月16日
横浜市開港記念会館（神奈川県横浜市）

⑥ 小野 桂太郎, 前田 雄介, 石井 聡一:
多関節ハンドによる物体操作のビューベ
ースト教示再生,
日本機械学会 生産システム部門研究発表講
演会 2014
2014年03月17日
電気通信大学（東京都調布市）

⑦ Yusuke MAEDA and Ryohei ABURATA:
Teaching and Reinforcement Learning of
Robotic View-Based Manipulation,
22nd IEEE Int. Symp. on Robot and Human
Interactive Communication (RO-MAN 2013),
2013年08月27日
Gyeongju (Korea)
DOI:10.1109/ROMAN.2013.6628454
(査読有)

⑧ 細藤 嘉人, 前田 雄介:
オクルージョンを考慮したビューベ
ースト教示再生,
日本機械学会生産システム部門研究発表講
演会 2013
2013年03月12日
中央大学後楽園キャンパス（東京都文京区）

⑨ 細藤 嘉人, 前田 雄介:
距離画像と濃淡画像の併用によるビュー
ースト教示再生,
日本ロボット学会第30回記念学術講演会
2012年09月17日
札幌コンベンションセンター（北海道札幌
市）

[その他]

ホームページ等

<http://www.iir.me.ynu.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

前田 雄介 (MAEDA, Yusuke)

横浜国立大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号：50313036

(4) 研究協力者

細藤 嘉人 (SAITO, Yoshito)
油田 綾平 (ABURATA, Ryohei)
小野 桂太郎 (ONO, Keitaro)
田中 信伍 (TANAKA, Shingo)
石井 聡一 (ISHII, Soichi)
萩原 智 (HAGIWARA, Satoshi)
長谷川 文美 (HASEGAWA, Ayami)
森田 浩介 (MORITA, Kousuke)