

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K20369

研究課題名（和文）大規模データセットを用いたロボット物体把持タスクの学習の効率化に関する研究

研究課題名（英文）Transfer Learning for Robot Grasping Task

研究代表者

黒瀬 優介（KUROSE, YUSUKE）

東京大学・先端科学技術研究センター・助教

研究者番号：20832512

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：近年、深層学習の発展に伴い、大規模データで学習したモデルが大きな衝撃を与えている。しかし、大規模データを準備して学習を行うという工程は大変に労力のいる作業である。そこで、本研究では、大規模データで学習したモデルをどう効率良く別のモデルに生かしていくかという点で研究を進めた。具体的には、複数インスタンス学習におけるドメイン適応に関する研究とドメイン一般化に関する研究である。それぞれにおいて従来手法や比較手法を上回る結果を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、大規模データで学習したモデルをどう効率良く別のモデルに生かしていくかという点で研究を進めた。当初の予定では、ロボットの実機を対象としたタスクを想定していたが、コロナウイルスによる大学への入溝制限等により実機を用いて進めることが困難となった。そのため、それらを支える基礎的な技術の開発に取り組むこととなった。そのため、基礎的な技術の開発を行うこととなったが、それにより汎用的な手法の開発に繋がることになった。現在は大企業のみが大規模データによる学習を行えるが、それらを利用してそうでない人たちが自由に学習を行える環境を作ることができる未来に本研究は繋がっていくのではないかと考える。

研究成果の概要（英文）：In recent years, with the development of deep learning, models trained on large-scale data have made a big impact. However, the process of preparing and training on large-scale data is a very labor-intensive task. Therefore, in this study, we investigated how to efficiently utilize models learned on large-scale data for other models. Specifically, we studied domain adaptation in multi-instance learning and domain generalization. In each case, we confirmed that our method outperforms conventional and comparative methods.

研究分野：機械学習

キーワード：機械学習 大規模モデル 転移学習

1. 研究開始当初の背景

ロボティクスのマニピュレーション分野において、ロボットによる物体の把持に関する研究は古くから多くの研究者が取り組んできた課題の一つである [1]。

データ・ドリブンによる手法では、把持を成功させるために取るべき軌道や正解を人が与え、それらをロボットが学習することで物体の把持にこれまで取り組んでいた。この傾向は深層学習の登場以降もしばらく続いていたが、最近になって深層学習を用いた人の介在を必要としない手法が開発された [2]。この手法は、単眼カメラの画像によるフィードバックを利用して、ロボットアームの連続制御を行う。学習の際には、カメラ画像と制御信号を入力として把持の成功確率を出力する深層学習のネットワークを構築する。これにより、人の介在を必要としない自己教師付き学習を実現し、ロボットが学習時に見たことがない物体に対しても非常に高い精度で把持を成功させた。

しかし、この手法においては膨大な量の学習データが様々な物体の把持を煩雑な環境でも可能にしている一方で、学習データの作成に膨大な時間を要するという問題点が存在する。この論文 [2]では、7 自由度の腕を持つロボットアーム 6-14 台を 2 ヶ月以上稼働させ、800,000 回もの物体把持を行なっている。これを別のロボットで同様の規模のデータセットを作成するというのはかなり高いハードルであると言える。例えば、産業用ロボットなどであれば工場内もしくは複数の工場間に存在する全てのロボットを使用して学習データを作成させれば実現可能であるかもしれないが、研究室のような環境においてはこのような専用の大規模なデータセットの作成は困難であり、専用の大規模なデータセットを作成せずにより効率の良い学習を行うことで同様の性能を得ることができれば非常に社会的意義が大きいと考える。

2. 研究の目的

本研究では、大規模なデータセットを作成できないような環境においても高精度な物体把持を実現するために、ロボットの物体把持分野における大規模データセットによる学習を高効率化することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 異なるドメイン情報を活用した複数インスタンス学習手法に関する研究

少ないラベル付コストで性能を改善する手法として、すでにラベル付された大規模な公開データセットの情報を転移する方法がある。その際データセット間の差異が問題となるが、その差を克服して情報を活用しようとする転移学習の手法は多く提案されている。ドメイン適応はその一種であり、識別対象でラベルの与えられていないターゲットデータと、ラベルは与えられているもののドメインの異なるソースデータがある設定で、ターゲットデータの識別性能を向上させるような研究である。ドメイン適応は教師なしの設定でも大きな性能改善を実現している一方で、ドメイン間の差異が大きいと性能が低下するという問題点がある。

一方で、複数インスタンス学習はいくつかのデータ(インスタンス)を含むデータ集合(バッグ)によって構成されたデータセットを対象とした弱教師あり学習の一種であり、バッグ単位のラベルのみが与えられる。各インスタンスのラベルは参照できないため、ラベル付コストは低減する一方、インスタンスごとのラベルがある場合と比べて識別はより難しくなる。複数インスタンス学習の研究では、バッグラベルの推定を目指す研究が多く、インスタンスラベルの推定まで行う研究は比較的少ない。インスタンスラベルの推定は重要なタスクである一方、弱教師ありの設定では高い性能を出すのは難しい。

以上を踏まえてここでは、バッグ集合の形をしており、バッグ単位のラベルしか与えられていないターゲットデータセットと、ターゲットとはドメインが異なるものの、インスタンスごとにラベルが与えられているソースデータセットがある状況を想定する。

ここでの目的は、これら 2 つのデータセットの情報を活用することで、ラベル付コストを増やさずことなくターゲットのインスタンスラベルを高い精度で推定することである(図 1)。

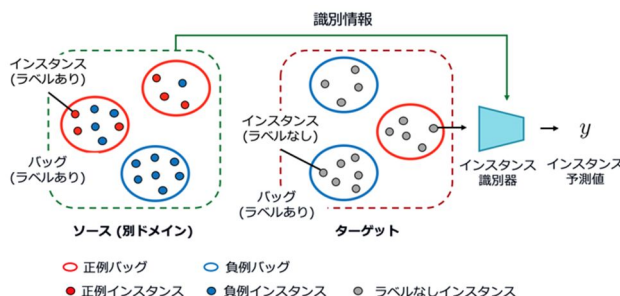


図 1 問題設定

(2) ドメイン一般化に関する研究

上記のドメイン適応に対し、ここではドメイン一般化の手法の開発に取り組む。ドメイン適応がソースデータのドメインで学習したモデルをターゲットデータのドメインに適応させるのに対して、ドメイン一般化は複数のドメインからドメインに依存しない特徴を学習させることにより、学習に用いていない未知のドメインに対しても高い性能を発揮するようにするものである。例えば、ソースデータとして写真や写実的な絵、スケッチなどで描かれた犬や象があった場合に、それぞれのドメインから犬や象のドメインに依存しない特徴を学習することで、学習時にモデルが見たことのない漫画の絵に対しても精度が低下しないようにするものである（図2）。

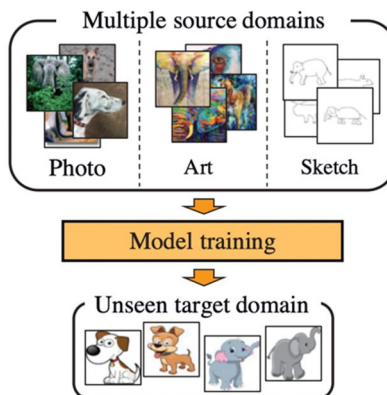


図2 ドメイン一般化 [3]

この手法により、学習時に適応する先のデータがない場合でも高い精度で学習することが可能となり、より汎用的な学習手法を実現することができる。

4. 研究成果

(1) 異なるドメイン情報を活用した複数インスタンス学習手法に関する研究

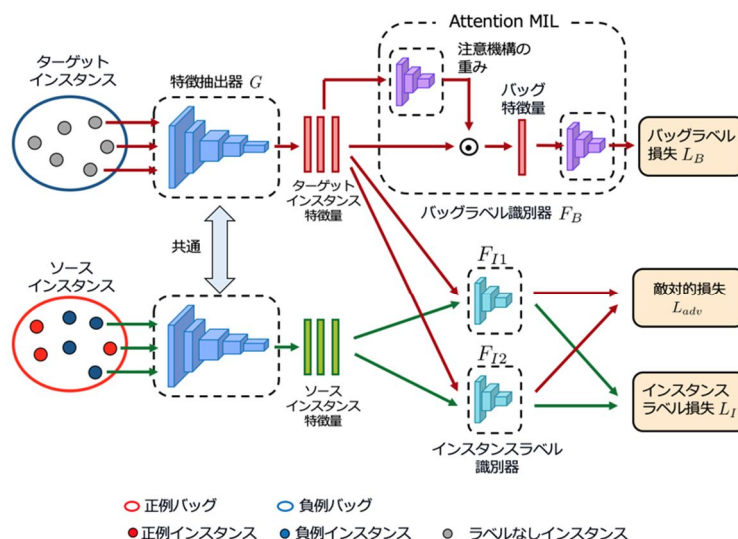


図3 提案手法

図3がここで提案したモデルである。特徴抽出器、バグラベル識別器、インスタンスラベル識別器の3つのモジュールから構成される。まず、ターゲットデータに関しては各インスタンスを特徴抽出器に入力して特徴量を得たあと、それらをまとめてバグラベル識別器に入力し、バグラベル推定値を得る。一方、ソースデータは特徴抽出器に入力して書かうインスタンスの特徴量を取り出した後、それぞれインスタンス識別器に入力してインスタンスラベル推定値を得る。これらの予測と、ソースとターゲットそれぞれに与えられた教師情報との誤差を損失としてモデルを学習する。そこで、モデルにドメイン適応の特徴量マッピング損失を導入し、ソースとターゲットの特徴量分布を一致させることで最終的にインスタンス識別器を用いてターゲットのインスタンスラベルの予測ができるようにする。

Visda 2017 [4]を用いて実験を行った結果が表1であるが、多くのカテゴリに関して提案手

表1 Visda による実験結果

	plane	bus	knife	person	plant	truck	mean
Source only	82.5	61.9	60.9	51.6	69.8	43.6	61.4
DA only	94.4	84.6	68.0	75.1	88.4	65.7	80.2
MIL only	94.0	84.7	89.2	16.0	80.3	18.3	80.2
Ours	95.4	87.7	75.9	63.5	92.8	69.5	82.5
Ideal case	98.6	89.6	96.2	90.7	97.0	79.4	92.0

法が他の比較手法を上回っていることがわかる。

(2) ドメイン一般化に関する研究

図4が提案したモデルである。ここでは、物体検知モデルをベースとしているが、物体検知だけでなく別のタスクにも適用可能である。ネットワークは RetinaNet [5] を採用しており、そこにドメイン識別器を追加したシンプルな構造となっている。ドメイン識別器では、入力されたデ

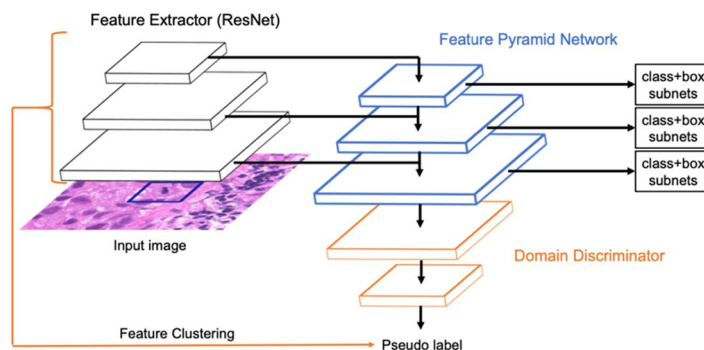


図4 ドメイン一般化における提案手法

ータがどのドメインに属するのかを推定するが、これを敵対的に行うことにより、上位の特徴抽出器においては、ドメインに依存しない特徴を獲得可能である。また、T. Matsuura らの手法[3]を参考に、スタイル特徴をクラスタリングして得られた擬似ラベルをドメイン識別器の正解データとして与えた。これにより、人間が分けたドメインではなくモデルにとってより良いドメインクラスの分割の仕方が可能となる。

これに対して病理画像を用いた実験を行ったが、提案手法の効果を確認する結果を得ることができた。

(3) まとめ

(1)については、主に医療画像系を専門とする国際学会 ISBI において発表を行っており、非常に高い評価を得ている。(2)についても、電気情報通信学会の MI 研究会で発表を行っており、そこでも高い評価を得た。今後の発展が期待される結果である。

当初は、ロボットの把持動作をターゲットに研究を進める予定ではあったが、コロナウイルスによる大学への入溝制限等により実機を用いて進めることが困難となった。そのため、それらを支える基礎的な技術の開発に取り組むこととなったが、より理解を深める結果が得られ、この分野へのより深い貢献を行う準備が整ったと感じる。

今後は、ここで紹介した二つの手法をよりブラッシュアップするだけでなく、ロボットや医用画像といったアプリケーションに適用するためにどうするかということをおきながら研究を進めていく所存である。

参考文献

- [1] Bohg, J., Morales, A., et al.: Data-Driven Grasp Synthesis - A Survey. IEEE Trans. Robot.30, 289-309 (2014).
- [2] Levine, S., Pastor, et al.: Learning hand-eye coordination for robotic grasping with deep learning and large-scale data collection. Int. J. Rob. Res. 37, 421-436 (2018).
- [3] T. Matsuura and T. Harada, "Domain Generalization Using a Mixture of Multiple Latent Domains," Proc. Conf. AAAI Artif. Intell., vol. 34, no. 07, pp. 11749-11756, Apr. 2020.
- [4] X. Peng et al., "Visda: The visual domain adaptation challenge," arXiv preprint, 2017.
- [5] X. Wang, P. Cheng, X. Liu, and B. Uzochukwu, "Focal loss dense detector for vehicle surveillance," in 2018 International Conference on Intelligent Systems and Computer Vision (ISCV), Apr. 2018, pp. 1-5.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Shusuke Takahama, Yusuke Kurose, Yusuke Mukuta, Hiroyuki Abe, Akihiko Yoshizawa, Tetsuo Ushiku, Masashi Fukayama, Masanobu Kitagawa, Masaru Kitsuregawa, Tatsuya Harada
2. 発表標題 Domain Adaptive Multiple Instance Learning for Instance-level Prediction of Pathological Images
3. 学会等名 IEEE International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yusuke Kurose and Tatsuya Harada
2. 発表標題 Machine intelligence for pathological diagnosis
3. 学会等名 12th Asia Pacific International Academy of Pathology Congress (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------