

令和 4 年 6 月 17 日現在

機関番号：12608
研究種目：若手研究(B)
研究期間：2017～2021
課題番号：17K12734
研究課題名（和文）複数の多層人工神経回路網を用いた群深層学習

研究課題名（英文）Swarm Learning for Deep Neural Networks

研究代表者

田村 康将 (Tamura, Yasumasa)

東京工業大学・情報理工学院・助教

研究者番号：50773701

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：深層学習の適用において、膨大な訓練データを作成する作業は非常に高コストである。訓練データ数を削減しながら精度の高いモデルを生成することを目的とし、群知能研究の知見を応用した複数のニューラルネットワークによる半教師あり学習の手法を提案し、いくつかのタスクについて有効性の検証を行った。

提案手法は、特定のタスクにおいて計算量の増大を許容できる場合という制限つきではあるものの、競合手法と同等の精度でモデルを構築できることを示した。一方で、手法中で扱う複数のニューラルネットワークは必ずしも同一の構造を持っている必要がないため、最適な構造を事前に決定するコストの削減に寄与する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

深層学習はいまやAI研究の根幹をなす技術であり、自動運転車における周辺環境の知覚タスクや、カメラ映像などを入力とした自動監視システムなど、さまざまな実用がなされている。今後さまざまな新たなサービスやシステムへの適用も期待される技術である一方、特に新規参入分野では訓練データの収集や最適なネットワーク構造の設計などに多大なコストを要求される。本研究は、こうしたコストを削減することが期待できる。提案手法は、訓練データ数の削減については競合手法と同程度の性能を保ちつつ、複数の有望なネットワーク構造の並列学習によって、利用者に最終的に使用するモデルについて複数の選択肢を与えることが可能である。

研究成果の概要（英文）：Deep learning usually requires a huge amount of training data to compute a precise model. Preparing training data is costly, and hence it is a drawback of the deep learning. This study aims at reducing the amount of training data while keeping the preciseness of the computed model. To achieve this objective, this project proposes a new semi-supervised learning method inspired by the studies in the field of swarm intelligence. The effectiveness of the proposed method is evaluated for various tasks, and the training mechanisms behind the proposed method are experimentally analysed. On the one hand, the project concluded that the proposed model is competitive to other methods proposed in related work in terms of preciseness, provided that it is effective for some specific tasks and when the computation cost does not matter. On the other hand, the project also figured out the advantage of the proposed method; it can reduce the cost to design an optimal network structure beforehand.

研究分野：計算知能

キーワード：半教師あり学習 群知能 深層学習

1. 研究開始当初の背景

計算機の性能向上に伴い、多層人工神経回路網 (deep neural networks; DNNs) を誤差逆伝播法などによって訓練する深層学習 (deep learning; DL) の有効性が、さまざまなタスクについて示されている。特に画像認識を対象とした場合、自動運転車における周辺環境の知覚タスクに利用されるなど、実世界における応用も広がっている。

深層学習によって精度の高いモデルを得ようとする場合、一般に大量の訓練データを確保する必要がある。訓練データとは学習に利用可能な入力と出力の対であり、深層学習では与えられた入力から対応する出力が得られる DNN のパラメータを計算することで、入出力の関係を近似的に表現するモデルを構築する。未知の入力に対して尤もらしい出力を与える高精度なモデルを構成するためには多様な入出力関係について訓練を行う必要がある。これはすなわち大量の訓練データを要することを意味する。このとき、計測技術や通信技術の発展により入力として与えられ得るデータを収集することは比較的容易であるが、それらを訓練データとして使用するためには個別の入力に対して「望ましい出力」を対応づける作業が必要になる。この作業は膨大な訓練データを用意する上で非常に時間的・人的コストが大きく、深層学習を実問題へ適用する際の大きな障壁となっている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、より少ない訓練データから精度の高いモデルを構成する手法の提案および群知能を応用した学習メカニズムの有効性を解明することにある。訓練データの削減は深層学習適用時に必要なデータ収集および事前処理のコスト削減に寄与し、深層学習をより手軽に利用可能とする社会的効果を持つ。また群知能を応用した学習メカニズムの提案は強い独自性を持つものであり、有効性および性質の解明は新たな学術的知見を与えるものとして期待できる。

一方で、深層学習にかかる計算コストの削減は本研究の対象ではない。訓練データ数の削減は深層学習を適用する前段階までの時間的あるいは人的コストを削減し得るが、精度の高いモデルを構築するためには依然として大量のデータが必要である事実には変わりはなく、本研究の結果として学習にかかる計算コスト自体を削減することは目指さない。

3. 研究の方法

複数の DNN 間の相互作用を応用した半教師あり学習 (semi-supervised learning) の枠組みを構築し、その有効性を検証する。また、学習過程を分析するところで、複数 DNN の相互作用が学習に与える影響について明らかにする。

半教師あり学習とは、入出力のペアとしての訓練データ (以降、ラベルつき訓練データと呼ぶ) に加え、対応する出力が不明な入力データ (以降、ラベルなし訓練データと呼ぶ) を利用する学習方法である。特に自己学習 (self-training) と呼ばれる学習戦略では、ラベルつき訓練データによって学習を行なったモデルを利用し、ラベルなし訓練データに対するラベル (与えられた入力に対応する出力) 予測を行い、予測が正しい仮定のもとでラベルなし訓練データをラベルつき訓練データへと変換した上で学習に利用する。このとき、自己学習の有効性はラベル予測の精度に大きく依存する。そこで群知能研究の知見を応用した複数 DNN の相互作用に基づくラベル付け戦略を導入し、数少ないラベルつき訓練データ (+ 大量のラベルなし訓練データ) から精度の高いモデルを得る仕組みを構築する。

複数の DNN を扱う方法として、本研究では 1) 確率的自己複製に基づく方法、2) 独立した複数の DNN を直接扱う方法、の 2 つのアプローチをとる。両アプローチの詳細を以下に示す。

アプローチ 1) 確率的自己複製に基づく方法：通常の深層学習と同様にあらかじめ構造を定めた 1 つの DNN を使用し、ドロップアウト (dropout) によって部分的に異なる構造を持つ複製を生成することで、擬似的に複数の DNN を用いる学習環境を構成する。ラベル予測は個々に差異を持った複数の DNN によって行うが、訓練する対象の DNN は 1 つであるため、空間計算量を抑えることが期待できる。

Fig. 1 に具体的な手順を示す。前提として少数のラベルつき訓練データ D_L およびラベルなし訓練データ D_U が与えられることを仮定する。まずラベルつき訓練データを用いて対象の DNN に対し事前学習を施す。事前学習によって得られたモデルに対しドロップアウトを適用して複数の DNN を生成する。このとき、ドロップアウトは確率的操作であるため、生成される

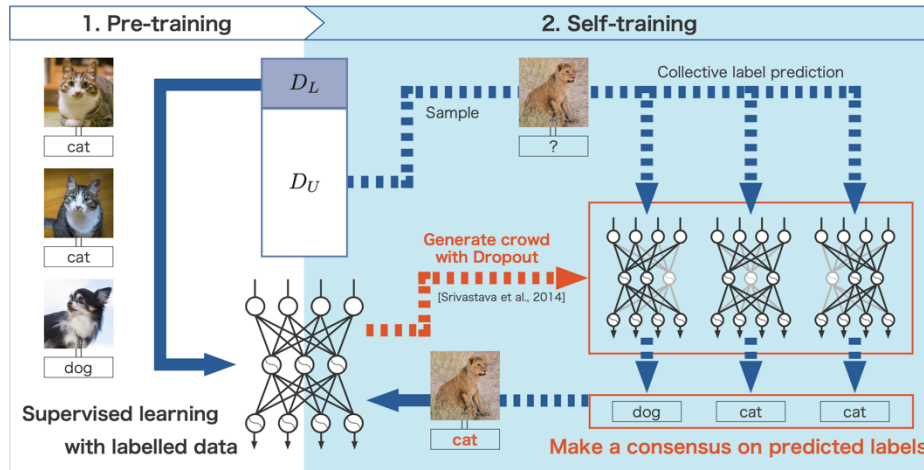


Fig. 1. Dropout-based DNN duplication to make a consensus on unlabeled data

個々のDNNは僅かながら差異を含み、同じ入力を与えられた場合でも異なる出力を計算する可能性がある。複製されたDNNによる出力について合意をとることで個々のDNNの出力の違いを調整し、ラベルなし訓練データに対するラベル予測の結果とする。このとき、合意を得る方法としていくつかのバリエーションが考えられるため、適切な合意手法を実験的に明らかにする。

アプローチ 2) 独立した複数のDNNを扱う方法: 複数の物理的に独立したDNNをあらかじめ用意することで複数DNNを用いた学習環境を構成する。複数のDNNを並列的に学習する必要があるため、アプローチ 1と比較して空間計算量が大きくなると考えられるが、複数のDNNが互いに異なる内部構成を持つことを許容できるため、あらかじめ適切な内部構造を与えることが難しいタスクについて、より柔軟に適用可能である。したがって、使用する複数DNNについて 2-a) すべて同一の構造を持つDNN群、2-b) 相異なる構造をもつDNN群、の2パターンをそれぞれ検証する。

学習過程は Fig. 1 に示したアプローチ 1 とほぼ同じであるが、単一のDNNからドロップアウトによって複製を行うプロセスが不要となる。一方で、事前学習および自己学習のフェーズにて複数のDNNを並列に訓練する必要がある。

4. 研究成果

いくつかの代表的な学習タスクについて両アプローチを検証し、それぞれの有効性および複数DNN間の相互作用が学習に与える影響について分析を行った。

アプローチ 1 については、多くの場合において単純な自己学習と比較して精度向上を見込めないことが判明した。いくつかのタスクでは1.0~1.5%程度の精度向上を示す傾向が見られたが、計算量の増大に対して改善率の割合は低いと言わざるを得ない結果を得た。すなわち、特定のタスクで計算量の増大を許容できる限定的な状況において、精度向上を見込める手法であることを明らかにした。

こうした結果が得られた要因として、アプローチ 1 では多くのタスクにおいてドロップアウトによって複製された複数のDNNの出力に差が生じづらく、複数DNN間の相互作用が学習に寄与しづらい、あるいはまったく寄与しないことを分析によって明らかにした。ドロップアウトの確率を調整することでDNNの出力に差を与えた場合も検証したが、ラベル予測精度の低下により訓練後のモデルの精度が悪化する結果となった。

アプローチ 2 についてもアプローチ 1 と同様に特定のタスクで計算量の増大を許容できる限定的な状況において精度向上を見込める手法であったが、アプローチ 1 と比較してよりポジティブな成果を得た。すなわち、アプローチ 1 と比較して、有効性が認められるタスクでは単純な自己学習に対し有意な精度向上が認められた。一方で、自己学習においてラベル予測の信頼度を定義し、信頼度に基づいてラベルづけを行うデータを選別する手法を取り入れた場合、精度向上の割合は減少した。これらの結果は、自己学習の精度はやはりラベル予測の精度に依存しており、アプローチ 2 に基づく提案手法はラベル予測の信頼度を別途定義することなく自己学習の精度を向上させる可能性があるものの、(特に空間) 計算量の観点において他の手法に劣ることを示している。一方で、特に 2-b) 相異なる構造を持つDNN群を用いたアプローチ 2 は、事前に最も効果的なDNNの構造設計がなくとも、有望な複数の構造を並列学習することが可能であるため、事前設計の観点で深層学習適用のハードルを下げる可能性を示している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 田村 康将	4. 巻 59-02
2. 論文標題 群ロボットシステムにおける集団意思決定と故障ロボット	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 計測と制御	6. 最初と最後の頁 119-124
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11499/sicejl.59.119	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Yasumasa Tamura
2. 発表標題 Eventual consensus on bio-inspired collective systems
3. 学会等名 Workshop on Distributed Algorithms for Low-Functional Robots（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田村康将
2. 発表標題 ビザンチン故障に対する集団意思決定戦略の障害許容性
3. 学会等名 計測自動制御学会ライフエンジニアリング部門シンポジウム2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasumasa Tamura, Xavier Defago
2. 発表標題 Collective Learning with Deep Neural Networks
3. 学会等名 The 2nd International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics (SWARM2017)（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田村康将
2. 発表標題 群知能に基づく深層学習アルゴリズムの検討
3. 学会等名 第13回情報科学ワークショップ
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田村康将
2. 発表標題 合意形成による人工ニューラルネットワークの自己学習
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasumasa Tamura
2. 発表標題 Crossover using Backpropagation for Evolutionary Artificial Neural Networks
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2022
4. 発表年 2022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
---------	---------