

令和 6 年 6 月 15 日現在

機関番号：33919

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K11971

研究課題名（和文）情報リークを用いた深層学習の高度化

研究課題名（英文）Advancement of Deep Learning by Information Leakage

研究代表者

堀田 一弘（HOTTA, KAZUHIRO）

名城大学・理工学部・教授

研究者番号：40345426

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：情報をリークをすることにより深層学習を用いた画像認識の精度を改善させるという新しい考え方を提案し、様々な画像データセットを用いた評価実験によりその有効性を示した。画像内の全ての画素を識別するという画像認識の中でも難しい部類の問題であるセマンティックセグメンテーションに対して情報リークを用いた様々な手法を適用した。細胞生物学などの分野でもセマンティックセグメンテーションは需要が多いため、細胞画像でも有効であることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

1つのネットワーク内もしくは他のネットワークから情報をリークすることにより深層学習の精度を改善させるという世界的にも新しい考え方を提案し、様々な画像データセットを用いた評価実験によりその有効性を示した。新しい方向性を打ち出し、有効性を示すことができたので、学術的な意義は大きいと考えられる。また、細胞生物学などの他の分野の画像も利用しているので、異分野への貢献もできた。

研究成果の概要（英文）：I proposed a new approach based on information leakage to improve the accuracy of image recognition using deep learning. The effectiveness of the proposed method is demonstrated by experiments on various kinds of image datasets. The proposed method is applied to semantic segmentation that classifies all pixels in an image. Since semantic segmentation is demanded in cell biology, the effectiveness of the proposed method is also shown on cell images.

研究分野：画像認識

キーワード：深層学習 情報リーク

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

深層学習を用いてセマンティックセグメンテーションを行う際、入力画像と画素単位に付けられたアノテーションを用いて教師あり学習を行うのが一般的である。そして、テスト時にはテスト画像のみを学習したネットワークに入力して画素単位で識別を行い、セグメンテーション結果を出力する。従来はネットワークの深層化、ネットワークに追加するモジュールの工夫、学習する際のロス関数の工夫などにより精度の向上を図っていたが、これらの方法には限界があると考えられ、新しい枠組みが必要である。

2. 研究の目的

上述のように、従来はネットワークの工夫などにより深層学習の精度改善を図っていたが、新しい方向性が期待されている。そこで、本研究では、1つの深層学習器内もしくは他の深層学習器からの情報リークを用いて深層学習における学習の効率化や推論時の高精度化を行うアプローチを新たに考案した。1つの深層学習器内でのフィードバックに留まらず、他の深層学習器から得られる情報も利用して高度化を図る方法を研究するのが目的である。1つの深層学習器を一人の人間として考えれば、他の人の学習法および推論過程、さらには自分の推論過程を利用しながら自身の学習や推論を見直していく方法となり、他人の知恵も借りながら自分自身の成長を促すことになる。

3. 研究の方法

機械学習を用いた画像認識では深層学習を使用することが世界的な流れであり、Convolutional Neural NetworkやTransformerなどベースとして様々な情報リークを導入しながら高精度化を図る。また、認識課題としては入力画像の全ての画素を識別するという難しい課題であるセマンティックセグメンテーションを中心とした。2021年に提案されたVision Transformerの研究に関しては元の論文が画像識別を主対象としていたため、ここでも同様に行っている。

4. 研究成果

【1年目】

まず最初に、1つのネットワーク内の情報リークとして出力確率を入力側にフィードバックする研究を行った。人間の脳内ではフィードフォワード処理だけでなくフィードフォワード処理も利用されていることが知られている。しかし、従来のConvolutional Neural Networkの推論ではフィードフォワード処理のみが利用されている。ここでは、セマンティックセグメンテーションの問題において、一度出力確率を得た後、その情報を入力側にフィードバックして再度同じネットワークで推論を行う方法を提案した。複数のデータセットを用いた実験により内部の情報を入力側にリークすることの有効性を示した。

また、Generative Adversarial Networkを用いたpix2pixでもセマンティックセグメンテーションは可能である。この方法では生成器と識別器が敵対的な学習を行うが、2つは独立したネットワークである。しかし、識別器は生成器が悪い部分を知っているはずなので、識別器から生成器に情報をリークすれば精度が改善すると考えられる。さらに、生成器側からも識別器に情報をリークすることにより、相互に精度を高め合うことができる。この方法により、従来のpix2pixよりも精度を改善した。

さらに、他のネットワークからの情報リークとして知識蒸留の研究も行った。通常の知識蒸留では教師と生徒ネットワークが同じクラス数の識別を行うが、ここでは2クラス毎にセグメンテーションした教師ネットワークから識別の方法をリークすることにより、出現頻度の低いクラスのセグメンテーション精度を向上させることができた。

【2年目】

時系列画像のセマンティックセグメンテーションを行う際、教師付き画像と時系列的に近い画像は高い精度でセグメンテーションができる。この性質を利用し、教師付き画像の所から時系列順に疑似ラベルを付与し、それらを教師データとして再利用しながら学習を行っていく方法も提案した。これは時系列的に情報をリークしていく枠組みと考えられる。また、セグメンテーションではクラス数が増えると精度が悪くなる傾向がある。

また、自然言語処理の分野で提案されたTransformerは画像認識の分野でも有効性が多数報告されている。しかし、画像には自然言語のように明確に単語という概念がないため、Vision Transformerでは入力画像を局所領域に切り出したものを単語のように扱っている。これを改善するために、学習画像の局所領域をクラスタリングしたものを単語と考え、Vision Transformerの中に組み込んだ。これはVisual Wordから入力画像への情報リークと考えることができる。

【3年目】

従来法ではアノテーションを学習時にのみ使用し、テスト時にはアノテーションを使用していなかった。ここではテスト時にも学習画像とアノテーションの情報を利用し、そこから情報を

リークしながらテスト画像のセグメンテーションを行う方法を提案した。テスト時にもアノテーションを利用することにより、複数の細胞画像データセットを利用し、細胞膜のセグメンテーション精度を改善した。

また、ネットワークが学習を行っている途中で新しいクラスの画像が与えられるという継続学習の問題において、学習可能なクラス代表ベクトルの情報および、クラスマージンを用いたロス関数を上手く利用することにより、従来手法よりも精度が改善することを示した。さらには、ネットワークの下位層の情報をリークすることにより、継続学習の安定性を改善する方法も提案した。

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 2件）

1. 著者名 Eisuke Shibuya, Kazuhiro Hotta	4. 巻 38
2. 論文標題 Cell image segmentation by using feedback and convolutional LSTM	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Visual Computer	6. 最初と最後の頁 3791-3801
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00371-021-02221-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 E. Shibuya and K. Hotta	4. 巻 None
2. 論文標題 Cell Image Segmentation by Using Feedback and Convolutional LSTM	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Visual Computer	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00371-021-02221-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計20件（うち招待講演 0件/うち国際学会 8件）

1. 発表者名 R. Furukawa and K. Hotta
2. 発表標題 Shuffle Mixing: An Efficient Alternative to Self Attention
3. 学会等名 18th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 A. Takama, S. Kato, S. Kamiya, and K. Hotta
2. 発表標題 Improvement of Vision Transformer Using Word Patches
3. 学会等名 18th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T.Mano, S.Kato and K.Hotta
2. 発表標題 Semantic Segmentation by Semi-Supervised Learning Using Time Series Constraint
3. 学会等名 18th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 R.Ikeda, K.Nagata, and K.Hotta
2. 発表標題 Class-wise Knowledge Distillation for Lightweight Segmentation Model
3. 学会等名 16th International Conference on Bio-inspired Systems and Signal Processing (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 R.Furukawa and K.Hotta
2. 発表標題 LOCAL EMBEDDING FOR AXIAL ATTENTION
3. 学会等名 IEEE International Conference on Image Processing (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y.Kakamu and K.Hotta
2. 発表標題 Predicting Human Behavior Using 3D Loop ResNet
3. 学会等名 International Conference on Pattern Recognition (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 古川諒一, 堀田 一弘
2. 発表標題 Shuffle Mixing: 自己注意の効率的な代替手法
3. 学会等名 画像の認識・理解シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 真野高大, 堀田 一弘
2. 発表標題 時系列の制約を用いた半教師学習によるセマンティックセグメンテーション
3. 学会等名 画像の認識・理解シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高間斐斗, 堀田 一弘
2. 発表標題 Object Queriesを用いたVision Transformer の精度向上
3. 学会等名 画像の認識・理解シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 永田耕太郎, 堀田 一弘
2. 発表標題 対照学習を用いた継続学習における破滅的忘却の軽減と学習の強化
3. 学会等名 画像の認識・理解シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 安藤 高将, 堀田 一弘
2. 発表標題 自己蒸留によるセマンティックセグメンテーションの精度向上
3. 学会等名 画像の認識・理解シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 池戸僚汰, 永田耕太郎, 堀田一弘
2. 発表標題 注意機構を用いた自己蒸留によるセマンティックセグメンテーション
3. 学会等名 画像の認識・理解シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 古川諒一, 堀田一弘
2. 発表標題 Axial Attention のための局所埋め込み
3. 学会等名 画像センシングシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 R. Ikedo and K. Hotta
2. 発表標題 Fusion of Different Features by Cross Cooperative Learning for Semantic Segmentation
3. 学会等名 International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications (VISAPP2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 R.Furukawa and K.Hotta
2. 発表標題 Localized Feature Aggregation Module for Semantic Segmentation
3. 学会等名 IEEE International Conference on System, Man and Cybernetics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 各務嘉記, 堀田 一弘
2. 発表標題 Bottleneck構造による3D Loop ResNetを用いた人間の行動予測
3. 学会等名 電気・電子・情報関係学会 東海支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 古川諒一, 堀田 一弘
2. 発表標題 Semantic Segmentationのための局所の特徴集約モジュール
3. 学会等名 画像の認識・理解シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 各務嘉記, 堀田 一弘
2. 発表標題 3D Loop ResNetを用いた人間の行動予測
3. 学会等名 画像の認識・理解シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 池戸儼汰, 堀田 一弘
2. 発表標題 セマンティックセグメンテーションモデルの軽量化のためのクラス単位知識蒸留
3. 学会等名 画像の認識・理解シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 津田大輝, 堀田 一弘
2. 発表標題 Adversarial Mutual Leakage Networkによるセマンティックセグメンテーション
3. 学会等名 画像の認識・理解シンポジウム
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
---------	---------