

令和元年6月13日現在

機関番号：32657

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K16090

研究課題名(和文) 選択的注意に基づく動的深層学習

研究課題名(英文) Study of dynamic attentional selection mechanisms in deep neural networks

研究代表者

日高 章理 (HIDAKA, Akinori)

東京電機大学・理工学部・准教授

研究者番号：70553519

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：大脳視覚野および畳み込みニューラルネットワーク(CNN)の階層構造に共通して見られる段階的視覚情報抽出処理の特性を分析するため、階層間正準相関分析法を提案し、CNN内部の隣接する中間層の間における相関性/非相関性を定量化および可視化することが可能となった。ヒトの視覚的認知処理における注意選択の特性を探る上で重要な指標となる顕著性マップ(Saliency map)を予測するCNNを学習し、その内部反応の分析や、大脳視覚野の生理的反応との相関性の分析を行い、CNNと大脳視覚野の類似性及び相違性についての新たな興味深い知見を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

畳み込みニューラルネットワーク(CNN)の極めて強力な画像認識性能は、現在の人工知能ブームを巻き起こす直接的なきっかけであり、今なお中心的な原動力であり続けている。本研究では、CNNの従来研究では長らく考慮されてこなかった大脳視覚野の認知処理過程における「注意(Attention)」の機構に焦点を当て、CNNの内部反応と大脳視覚皮質との類似性や相違性を定量的に分析し、新たな知見を得た。これらは、強力な認識性能を持つが静的な振る舞いしかできないCNNに対し、ヒトの視覚認知機構における「注意」に基づく動的なフィードバック機構等を組み込んで柔軟な認知能力を実現しようとする際に、重要な知見となる。

研究成果の概要(英文)：For analyzing the mechanism of consecutive visual information processing which is observed in both of visual cortex of humans and deep convolutional neural networks (CNN), we proposed interlayer correlations analysis based on canonical correlation analysis. It can realize quantitative evaluation and visualization of similarity or difference between an arbitrary pair of internal layers in CNN. By using CNN trained for predicting the location of attentional selection and human gaze, we conducted the experiments for quantitative comparison between the neural system in visual cortex and CNN. We compared internal responses of CNN which is trained for saliency map prediction and the responses of V1, V4, IT area when they see (or process) several natural images. As a result, we obtained several novel findings about similarity and difference between CNN and the neural system in visual cortex.

研究分野：深層学習

キーワード：深層学習 選択的注意 畳み込みニューラルネットワーク

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 2012年に登場した Alexnet と呼ばれる深層畳み込みニューラルネットワーク (Deep Convolutional Neural Network: Deep CNN) が既存の画像認識手法を大きく超える性能を示して以来、深層学習が画像認識手法のデファクトスタンダードとなった。その後、全8層から成る Alexnet 登場の翌年には全30層の Network in network 法が高い性能を示すなど、ネットワークの深層化による熾烈な性能競争が繰り広げられていた。一方で、2014年あたりからは、従来の単純な認識タスクに対する性能競争だけでなく、CNN の中間層が持つ特性に関する理解・応用を目指す研究や、画像認識と言語や音声などを組み合わせたマルチモーダルな研究を多く見かけるようになり、研究のトレンドが単純な深層化や性能競争から次のステップに移りつつあった。

(2) 一方で、CNN の処理機構とヒトが成長過程で自然に獲得する視覚認知能力の機構との間には、様々なギャップがあると考えられ、このようなギャップを解消することは、CNN の画像認識性能をヒトの極めて高度な認知能力に近づける上で重要であると考えられた。

(3) CNN の認識過程とヒトの視覚的認知過程の大きな差異として、「注意 (Attention)」に基づくフィードバックの有無が挙げられる。例えばヒトの視覚認知における「図地分離」の問題がある。有名な「ルビンの壺」のだまし絵に代表されるように、人間は画像のある部分を「図 (= 認識対象)」と見るか「地 (= 背景部分)」と見るかを本人の「注意」によってある程度切り替えることができ、またそれによってその画像が何に見えるか (壺か、並んだ二人の顔か) を切り替え可能であることが知られている。このようなアテンション (注意) に基づくフィードバック機構は、ヒトの柔軟な認知能力を実現する上で極めて重要な機能であると考えられるが、従来の CNN 研究ではほとんど考慮されていなかった。

2. 研究の目的

(1) そこで、本研究ではまず CNN とヒトの視覚認知過程の類似点と相違点を明らかにするため、CNN の内部層構造の間に見られる相関性を分析するための手法を開発した。

(2) また、ヒトが画像を見たときに注意を向けやすい場所 (顕著性マップ, Saliency map) を予測するタスクを CNN に学習させたとき、学習後の CNN の内部反応とサル大脳視覚皮質内細胞の電気的反応の間の相関性を分析し、CNN における低次層・中間層・高次層と大脳における V1・V4・IT 野との類似性や相違点を分析するための手法を開発した。

3. 研究の方法

(1) 研究開始当初、まず脳の視覚野の処理特性を再現する研究について、ベースとなる画像認識手法である CNN 法を利用するための計算実験環境 (Matconvnet および Tensorflow による深層学習プラットフォーム) を構築した。この計算環境で CNN の内部層構造の間に見られる相関性を分析するための手法を開発した。また、CNN に基づく物体検出手法である Faster R-CNN 法を導入した。

(2) また、CNN 法の発展系である、入力画像を別の画像に変換する画像予測 CNN の実験環境を整えた。それにより、ヒトの視覚的認知処理における注意選択の特性を探る上で重要な指標となる Saliency map (顕著性マップ) を画像予測 CNN によって再現する実験を行った。

(3) 前述の顕著性マップを高精度に予測する CNN について、学習後のネットワークモデルが獲得した中間層ユニット (特徴抽出フィルタ) と大脳視覚野におけるニューロンとの類似性や相違性を定量的に確認する実験を行った。具体的には、サルに特定の質感を持つ画像を見せたときの V1, V4, IT 領野の神経細胞活動を計測した生理データ (本研究で取得したものではなく、既存データの提供を受けたもの) と、方法(1)で述べたヒトの顕著性マップを予測するために学習された CNN に同一の画像を入力したときの内部反応を計測したデジタルデータとの間で、それらの類似性 / 不一致性を検証する実験を行った。

4. 研究成果

(1) 大脳視覚野および CNN の階層構造に共通して見られる段階的視覚情報抽出処理の特性を分析するため、正準相関分析法に基づく階層間正準相関分析法 (Interlayer Canonical Correlation Analysis) を提案した (図1)。これにより、CNN 内部の隣接する中間層の間における相関性 / 非相関性を定量化および可視化することが可能となった (雑誌論文, 学会発表)。

(2) CNN に基づく物体検出手法である Faster R-CNN 法において、一般的な画像を大量に使用して学習したモデルに対し、視界劣悪な状況で撮影された画像中から実験者が極めて注意深く物体を探し出してラベル付けした画像を用いてモデルの再学習を行ったところ、同様の劣悪条

件下にある物体への応答性が著しく向上するという結果を得た（学会発表）。再学習後に未

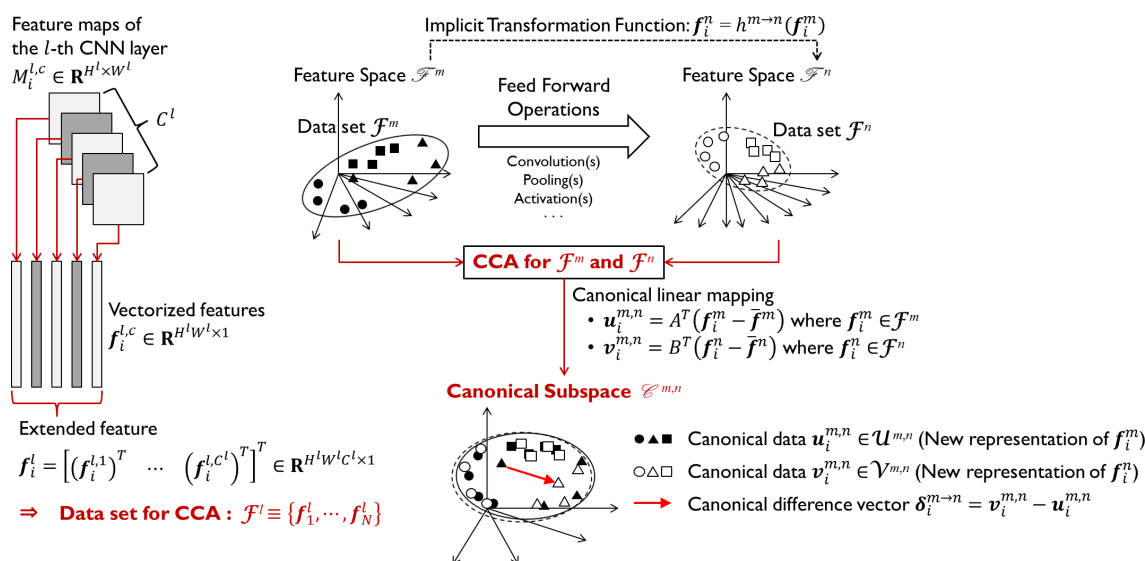


図 1 階層間正準相関分析法の全体像

知画像中で検出できた最も不鮮明な物体が、ラベル付け作業の中で最も不鮮明でラベル付けに注意と労力を要した物体とほぼ同水準の不鮮明さであったことから、ヒトが著しい集中力を発揮して注意深く作業したときの作業精度ですら CNN は学習可能であることが示され、興味深い結果となった。

(3) 入力を自然画像、出力（教師）を「その画像をヒトが見たときの顕著性マップ」とする画像生成 CNN を 1 万枚超の画像セットで学習したところ、既存の数理モデルに基づく顕著性マップの予測精度を大きく超える性能が得られた（学会発表）。この結果自体は先行研究によって類例が既に示されていたものの、本研究での知見として、顕著性マップのみから学習した CNN の中間層において低次層でエッジ抽出、中次層で形状や模様の認識、高次層で物体パーツや物体そのものの認識を行うフィルタ群が自律的に獲得されていることが確認された。これはヒトの視覚野における初期視覚皮質から高次視覚皮質に至る階層的情報処理の再現であり、一般の物体認識 CNN（出力を通常の教師信号とする）でそのような構造が再現されることは既に知られていた（Zeiler ら、2014 年）が、出力を顕著性画像とした場合でも同様の結果が得られることは興味深い発見であった。

(4) サルに特定の質感を有する物体表面画像を視覚刺激として提示したときの特定領野（V1 野、V4 野、IT 野）の反応から作成した画像間非類似度行列と、(3)で述べた顕著性マップ予測 CNN に同質感画像を入力したときの各層の応答から作成した画像間非類似度行列とを相関分析すると、V1 野と CNN の初期層や中高次層との間に比較的高い相関があることがわかった。これはサルの V1 野が Saliency 決定に重要な役割を持つ可能性があることを示唆している。V1 では輪郭抽出後、図地領域分離に関する応答変調が生じることが知られており（Poort ら、2016）、またこの応答変調は視線位置決定に関係するとも予想されている（Poort ら、2012）。このことから、顕著性マップ予測 CNN においても初期層で基本的な視覚特徴を表現しつつ、中高次層で画像中の図地分離に関する役割が獲得されている可能性が考えられる。また、同分析結果において、CNN の低中次層ではサル V1 との相関が比較的低くなるものの、CNN における活性化処理によってその相関が高まる、という特徴的な振る舞いが見られた（図 2 L3C ~ L5Crelu）。これは CNN における活性化処理によってニューロンの役割・選択性が高まっている可能性が示唆される（学会発表）。

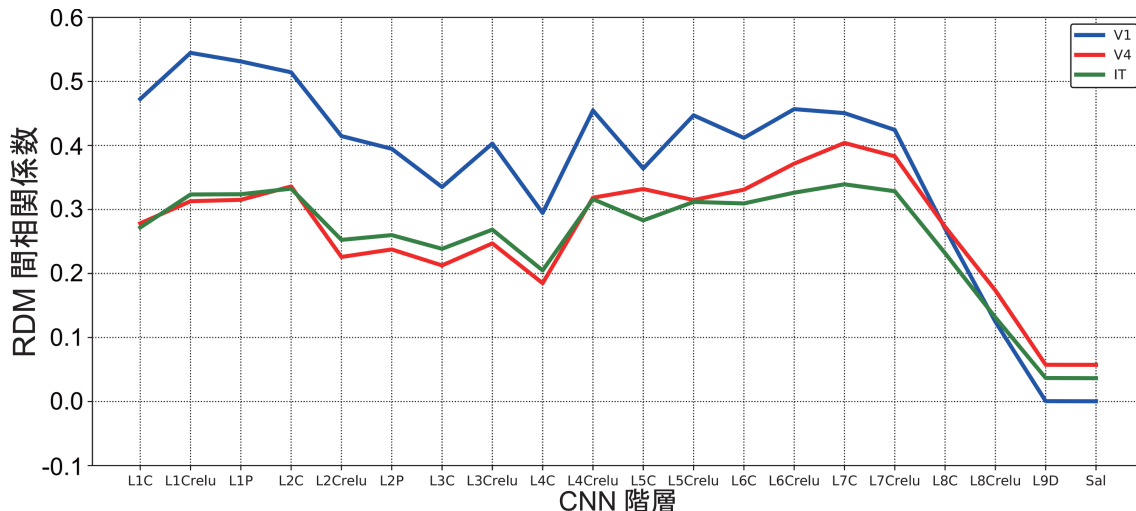


図 2 サル大脳視覚野 (V1, V4, IT) と CNN 各層との間の RDM 間相関係数

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

Akinori Hidaka, Takio Kurita, Data Visualization for Deep Neural Networks Based on Interlayer Canonical Correlation Analysis, Transactions of ISCIE, Vol. 31, No. 1, pp. 10-20, Jan. 2018. DOI: 10.5687/iscie.31.10 (フルペーパーへの複数査読あり)

〔学会発表〕(計5件)

Nobuhiko Wagatsuma, Akinori Hidaka, Hiroshi Tamura, The correspondence between monkey visual areas and CNN saliency map model for representations of natural images, The 15th Asia-Pacific Conference on Vision, Jul. 2019.

我妻伸彦, 日高章理, 田村弘, サル視覚皮質と深層畳み込みニューラルネットワークから獲得する saliency map モデルの画像情報表現, 日本視覚学会 2019 年冬季大会, 2019 年 1 月.

我妻伸彦, 日高章理, 深層畳み込みニューラルネットワークが獲得する注意選択モデルに対する心理物理学的タスクの影響, 2017 年度 人工知能学会全国大会 (第 31 回), 2K4-OS-33b-2 (4pages), 名古屋, 2017 年 5 月.

長峯脩兵, 湧井力, 日高章理, 狩野弘之, 悪条件下における Faster R-CNN の物体検出性能の検証と改善, 第 49 回計測自動制御学会北海道支部学術講演会論文集, pp. 65-68, 2017 年 2 月.

Akinori Hidaka and Takio Kurita, Consecutive Dimensionality Reduction by Canonical Correlation Analysis for Visualization of Convolutional Neural Networks, Proceedings of The 48th ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications (SSS'16), pp. 160-167, Nov. 2016.

〔その他〕

ホームページ等

<https://www.cse.dendai.ac.jp/faculty/5divisions/ru/course/mi/hidaka/prof.html>

6. 研究組織

(1)研究分担者

なし

(2)研究協力者

研究協力者氏名: 栗田 多喜夫

ローマ字氏名: (KURITA, Takio)