

【助成 41-24】

生体脳の生後発達を模した人工知能モデルの開発と、人の知覚特性との類似性の検証

研究者 岩手県立大学 ソフトウェア情報学部 准教授 眞田 尚久

〔研究の概要〕

人の視覚システムでは、視覚特徴ごとに異なる経路で分散処理されることが知られている。深層学習モデルは脳視覚システムと類似した階層構造をしており、生体と同程度以上の物体識別能力を獲得している。生後発達により段階的に視覚機能を獲得していく脳視覚システムの発達過程が深層学習モデルでも再現できる可能性がある。

そこで本研究では、生体が生後発達過程で見る視覚像を画像で再現し、DCNN モデルを学習させることで、より生体脳の特性を再現した深層学習モデルを開発することを目的とした。生後発達過程で視覚的なバイアスをかけると、神経細胞の特性にもバイアスがかかることが知られていることから、まず画像方位が偏ったデータセットを用いてモデルの学習を行い、モデルが生体脳の視覚システムを再現するかを検証した。

〔研究経過および成果〕

本研究では、視覚システムの生後発達過程を模した深層学習モデルを作成し、その内部情報表現の検証を行うために、まず画像データセットの作成を行った。生後発達過程の生理学研究では、視覚特徴にバイアスをかけて育てると、内部情報表現にも偏りが表れる現象が報告されている。まずその現象を深層学習モデルでも再現できるか検証した。

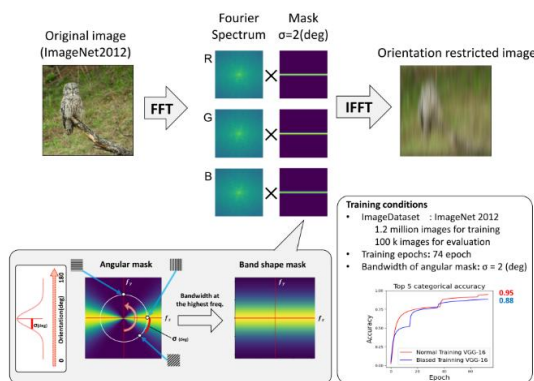


図 1 深層学習モデルの学習

ImageNet2021の各画像を周波数変換を行い、周波数空間で縦方位バイアスを与えたうえで逆フーリエ変換により画像再構成し、周波数バイアス画像を作成した。周波数バイアス画像を物体カテゴリ識別に用いられるVGG-16に入力し、初期状態からモデルの学習を行った。

画像データセットは、自然画像データセットである ImageNet2012 の 120 万枚を用い、画像変換処理することで作成した。まず各画像を周波数変換し、周波数空間で縦方位バイアスを与えたうえで逆フーリエ変換により画像再構成し、方位バイアス画像の作成を行った（図 1）。

学習させたモデルの内部ユニットの応答を特徴マップから取得し、正弦波グレーティング刺激に対する応答を網羅的に計測した。応答が最も高かった刺激方位をそのユニットの最適方位とし、各層での最適方位の分布を集団解析により調べたところ、方位バイアスモデルでは 90 度に対して応答するユニットの割合が

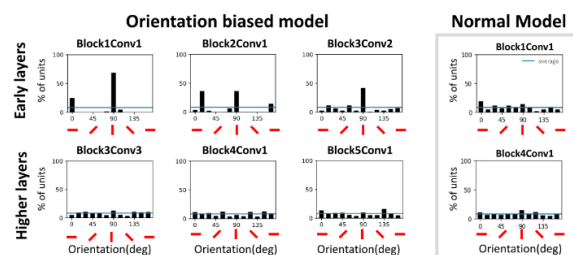


図 2 方位バイアスモデルの方位選択性の偏り
方位バイアス内部ユニットの方位選択性の分布と、バイアスをかけない画像で学習したNormalモデルでの分布

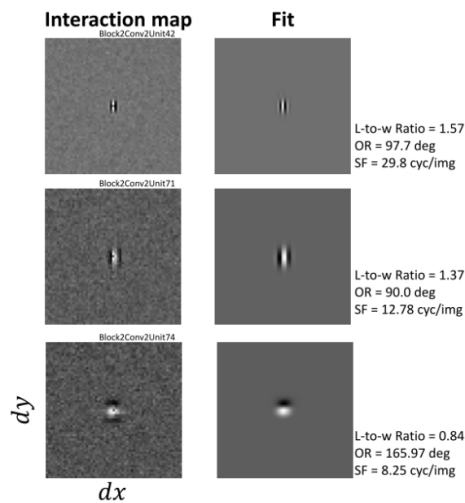


図3 方位依存的な受容野の縦横比の違い
方位バイアスモデルの内部ユニットごとの受容野構造の解析結果. 方位依存的に縦横比が異なった. 多く観察された(図2). 方位バイアスをかけない自然画像で学習させたモデル(Normal モデル)ではそのような傾向はみられなかったことから, 方位バイアスによる学習によって, モデル内部ユニットの方位選択性の分布に偏りが表れたと考えられる.

さらに, 各内部ユニットの受容野構造を逆相関法により調べた結果, 縦方位に選択性を示したユニットは縦方向に伸びた形状をしていたのに対し, 横方位が最適であったユニットではそのような傾向が見られなかった(図3). この傾向は, 既に生体脳で指名されている結果と類似した傾向であることから, 方位バイアス刺激により学習させた深層学習モデルは, 生体脳の発達過程をある程度再現している可能性が示された.

今後, 生後発達過程の段階ごとの画像を生成し, モデルに学習させることで生体の発達過程を再現するモデルを作成する. 生後発達過程で個々の神経細胞レベルでどのような経時的変化が起こっているのかを, モデル内部ユニットの機能解析によって明らかにしていく.

[発表論文]

1. 吉田寛太, 法霊崎 真琉, 眞田尚久, 周波数バイアス画像学習による DCNN モデルを用いた生後発達モデル, 日本視覚学会 2024 年冬季大会, 2024 年 1 月 17 日, 工学院大学, 新宿
2. 法霊崎 真琉, 吉田寛太, 佐々木耕太, 眞田尚久, 方位バイアス画像学習による深層畳み込みニューラルネットワークモデルの刺激選択性の偏り, Stimulus selectivity bias of Deep Convolutional Neural Network model induced by orientation restricted training, 第 47 回日本神経科学学会, 2024 年 7 月, 福岡
3. 佐竹 乙晟, 眞田 尚久, 視覚運動順応による定常状態視覚誘発電位(SSVEP)振幅への影響, VISION Vol. 36, No. 3, 123-128, 2024
4. 米川拓東, 眞田尚久, 両眼性奥行き表現を組み込んだ深層学習モデルの大きさの恒常性に相関した応答特性, 日本視覚学会 2024 年夏季大会, 2024 年 9 月, 日本女子大学目白キャンパス, 東京
5. 法霊崎 真琉, 佐々木耕太, 眞田尚久, MotionNet 内部ユニットの時空間周波数領域における応答特性の測定, 日本視覚学会 2024 年夏季大会, 2024 年 9 月, 日本女子大学目白キャンパス, 東京
6. 佐竹乙晟, 法霊崎真琉, 眞田尚久, 視覚運動順応による知覚バイアスの畳み込みニューラルネットワークによる再現, 電子情報通信学会技術研究報告 (信学技報), vol. 124, no. 224, HIP2024-39, pp. 5-10, 2024 年 10 月.
7. 浦舜太, 眞田尚久, 皮質拡大を組み込んだ深層学習モデル内部ユニットは偏心度依存的な応答を示す, 電子情報通信学会技術研究報告 (信学技報), vol. 124, no. 309, HIP2024-56, pp. 24-29, 2024 年 12 月.
8. Satoshi Shioiri, Yuichi Sakano and Takahisa M. Sanada, Two Binocular Cues for Motion-in-depth, Interdisciplinary Information Sciences Vol. 30, No. 2 (2024) 167-182