

M20240131_01_MIT

[MIT](#)、AI 利用で迅速神経イメージングを最適化

マサチューセッツ工科大学(MIT)の CSAIL の研究者は、AI と電子顕微鏡を組み合わせ、詳細な脳ネットワークマッピング処理をしている。コネクタミクス研究と臨床病理学の強化を目標にしている。

コネクタミクスは、動物の脳の複雑なネットワークをマッピングしようとする野心的な研究分野であり、急成長を遂げている。10 年の間に、それはその初期段階から、認知の謎とアルツハイマー病などの神経病理学の物理的基盤を解き明かす準備ができていた分野へと旅立ってきた。

その最前線にあるのは、MIT コンピュータサイエンス・人工知能研究所(CSAIL)とハーバード大学の Samuel and Lichtman Labs の研究者が機械学習の優れた分析能力を利用した強力な電子顕微鏡の使用である。従来の電子顕微鏡とは異なり、統合された AI は、画像を取得しながら標本を学習する「頭脳」として機能し、動物が世界を検査するのと同じように、ナノスケールの解像度で関連するピクセルにインテリジェントにフォーカスする。

「SmartEM」は、コネクタミクスが脳のシナプスとニューロンの複雑なネットワークをナノメートル精度で迅速に調べ、再構築するのを支援する。従来の電子顕微鏡とは異なり、統合 AI は、脳の複雑な構造を理解するための新しい扉を開く。

プロセスにおけるハードウェアとソフトウェアの統合は非常に重要である。研究チームは、顕微鏡に接続されたサポートコンピュータに GPU を組み込んだ。これにより、画像に対して機械学習モデルを実行し、AI が関心があると判断した領域に顕微鏡ビームを向けることができた。「これにより、顕微鏡は、必要なものを捉えるまで、理解しにくい領域に長時間滞在することができる」と、MIT の教授で CSAIL の主任研究者 Nir Shavit は話している。「このステップ

は、人間の視線制御をミラーリングするのに役立ち、画像の迅速な理解を可能にする」

「人間の顔を見ると、われわれの目は、効果的なコミュニケーションと理解のための重要な手がかりを提供する焦点にすばやく移動する。本に没頭するとき、何もない空間のすべてに目を通すわけではない。むしろ、われわれは、文章の予想に対して曖昧な言葉や文字に視線を向ける。人間の視覚系におけるこの現象は、新しい顕微鏡コンセプトの誕生への道を開いた」と、SmartEM の主席アーキテクト、MIT CSAIL の客員研究員、ハーバード大学の元ポスドク、現在は研究助手の神経科学者でもある Yaron Meirovitch は話している。

約 10 万個のニューロンからなる人間の脳セグメントを再構築するタスクでは、従来の顕微鏡でこれを達成するには、10 年間の連続イメージングと法外な予算が必要だった。しかし、SmartEM では、これらの革新的な顕微鏡のうち 4 台をそれぞれ 100 万ドル未満の投資により、わずか 3 か月で作業を完了することができた。

ノーベル賞と小さな虫

100 年以上前、スペインの神経科学者 Santiago Ramón y Cajal は、神経系の構造を特徴づけた最初の人物として注目された。当時の初歩的な光学顕微鏡を用いて、神経科学の探求をリードし、ニューロンの基礎的な理解を築き、この広大で未知の領域の最初の輪郭をスケッチし、ノーベル賞獲得の偉業を成し遂げた。同氏は、インスピレーションと発見のトピックについて、「われわれの脳が謎である限り、宇宙、脳の構造の反映もまた謎である」と語っている。

これらの初期段階から、この分野は劇的に進歩し、1980 年代の取組によって明示されているように、C. elegans の比較的単純なコネクトームをマッピングし、ゼブラフィッシュやマウスなどの生物のよ

り複雑な脳を調査する今日の試みに証明されている。この進化は、大きな進歩だけでなく、複雑さと要求の増大も反映しており、マウスの脳をマッピングするだけでは、1,000 ペタバイトという驚異的な量のデータを管理する必要がある。このタスクはどの大学のストレージ能力もはるかに凌駕するものだと、研究チームは話している。

水域のテスト

Meirovitch らは、厚さ 30nm のタコの組織をテープにマウントし、ウェファに載せ、最後に電子顕微鏡に挿入する研究を行った。数十億のピクセルからなるタコの脳の各部分が画像化され、科学者たちはスライスをナノメートルの解像度で3次元の立方体に再構築した。これにより、シナプスの超詳細画像が得られた。主目的は何か。これらの画像を色付けし、各ニューロンを識別し、それらの相互関係を理解することで、脳の回路の詳細なマップまたは「コネクトーム」を作成する。

「SmartEM は、このようなプロジェクトのイメージング時間を 2 週間から 1.5 日に短縮する」(Meirovitch)。「現在、高価で長時間の電磁波イメージングに関わるできない神経科学研究室でも、今すぐにでも可能になる」

また、この手法により、精神疾患や神経疾患の患者から採取したサンプルのシナプスレベルの回路解析も可能になるはずである。

将来的には、チームは、コネクトミクスが手頃な価格で利用しやすい未来を思い描いている。研究チームは、SmartEM のようなツールを使えば、より幅広い研究機関が大規模なパートナーシップに頼ることなく神経科学に貢献できるようになり、この手法がまもなく、生きている患者の生検が利用可能な場合の標準的なパイプラインになると見ている。さらに、この技術を病理学の理解に応用し、コネクトミクスだけにとどまらない有用性を広げることに熱心

である。

「現在、電子顕微鏡を活用した大規模生検を病院に導入し、病理学研究の効率化を目指している」(Shavit)。



図 MIT の研究者は、リアルタイム ML をイメージングプロセスにシームレスに統合することで、電子顕微鏡を次のレベルに引き上げる技術とソフトウェア「スマート顕微鏡法」を発明した。

Credit:左の画像:Yaron Meirovitch(Stable Diffusion XL AI 画像ジェネレーター経由)と Alex Shipps(Midjourney AI 画像ジェネレーター経由)。右の画像: Daniel Berger and Meirovitch, edited by Alex Shipps/MIT CSAIL