

審査の結果の要旨

氏名 渡辺啓太

行動中の動物から同時記録した数百～数千個レベルの神経集団の活動から情報を抽出するために、新しい概念の創出と新しい数学的手法の開発が求められている。論文提出者は神経集団の活動を脳が話す一種の「言語」と見做して、自然言語処理や遺伝子列の解析、さらにはインターネット上の情報検索のために利用されてきた編集距離の概念を拡張し、神経集団に繰り返し現れる特徴的構造を検出する全く新しい数学的方法を提案した。神経集団が話す「言葉」は先験的には与えられておらず、生物学的に妥当な定義を与える必要がある。申請者はヘブが 1950 年台に提案したセルアセンブリ仮説に基いて、それを「同期発火する確率が高い細胞集団（セルアセンブリ）が複数集まり、ある時間順序で活性化される時系列パターン」であると考えた。

本論文は神経データ中に存在するこうした時系列発火パターンを検出する新しい手法を提案するものであり、6 章からなる。1 章では導入として論文の概要、及び研究の過程で作成されたオープンソースソフトウェアについて示されている。2 章は、これまでに提案されてきた時系列発火パターンの検出手法について詳細に解説している。3 章では提案手法である編集類似度及び 2 種のクラスタリング手法を組み合わせた時系列発火パターンの検出手法が取り上げられている。また、提案手法を実データに対して適用する際に問題となりうる、計算量がデータ数の二乗に比例するという問題を、計算機科学においてデータから一定長のダイジェストを生成するハッシュ関数の概念を利用し、計算対象となるデータの組み合わせ総数を予め絞り込むアルゴリズムの使用を提案することで解決した。さらに、アルゴリズムの近似精度を維持するために要するハッシュ関数の数を、データから動的に決定する数学的手法を示している。4 章はデータの解析に当てられており、人工データ及び実データを対象とした解析が述べられている。前半の人工データ解析では PCA/ICA を用いた既存手法との比較、及び提案手法の Signal to Noise ratio に対する頑健性などが議論されている。後半の実データ解析では前頭前皮質、海馬、及び扁桃体を対象としたシーケンス検出が行われている。とくに扁桃体データに対する解析では、既存の手法で検出することができなかった新しいタイプの恐怖・不安に対する神経活動パターンを検出している。この結果は、提案手法の有用性を強力にサポートするものである。5 章では提案手法の検出する時系列発火パターンの安定性を実データを用いて示しているほか、統計的独立性の検定を用いた手法との比較も議論されている。6 章では提案手法と、時系列解析のための最近の既存手法が比較され、提案手法の優位性について述べられている。さらに、ガウス過程を用いた手法中のパラメータの最適化手法、及び Siamese Neural Network を用いたさらなる計算効率化の手法が提案されている。

本博士論文の研究内容は独自性に溢れ、提案手法を実験データに適用した結果からは、

新しい生物学的知見の発見もあった。博士論文の最終章に掲げられた提案は、他の部分の完成度に比較すると未だ研究途上で、完成したものではないが、これも提案手法の発展性を示すものとなっている。これらのことから、提案手法の科学的価値は高いと考える。なお、本論文の第3章（手法の提案）及び第4章（提案手法と既存手法との比較及び提案手法を用いた実データ解析）は、芳賀達也、龍野正美、David R. Euston、深井朋樹らとの共同研究の内容を含むが、手法の提案においてもデータの解析においても論文提出者の貢献が顕著であり、博士論文に含めるのに何ら問題はないものと判断する。

最後に、最終審査会での研究発表は非常によくまとめられており、定められた時間内に研究結果を十分に伝えることが出来ていた。また審査委員から背景にある神経情報の表現形式に関する議論や、手法の数学的詳細に関する質問などが出されたりしたが、論文提出者はこれらの質問に対しても十分に回答を与えることが出来た。したがって審査委員全員の合議により、論文提出者に対して博士（科学）の学位を授与することが適当であることが承認された。

以上 1694 字