

審査の結果の要旨

氏 名 芳賀 達也

本論文は、「Research of Processing Methods for Overlapped Neural Spikes using Bayesian Statistics (ベイズ推論を用いたオーバーラップを含む神経信号の処理手法に関する研究)」と題し、5章により構成されている。

脳や神経系に関する研究やその応用技術において、神経活動の基本単位である神経スパイク（発火）の計測および計測信号から情報抽出を行うための信号処理は欠かすことのできない技術である。一般的な神経活動計測手法の一つである細胞外電位計測においては、ひとつの信号に複数の神経細胞に由来する微小な神経スパイク波形が含まれており、それを適切に検出し波形の違いをもとに分類することによって一細胞レベルのスパイク列を推定するスパイクソーティングと呼ばれる技術が必要となる。スパイクソーティングはスパイク列および各細胞に対応するスパイク波形テンプレートの双方が未知の状態から推定することが求められ、Brain-machine interface など実時間処理が必要な応用分野においては、プリプロセッシングにおいて推定したスパイク波形テンプレートを用いて計測信号から逐次的にスパイクの抽出を行うことも多い。このような技術においては、個々の波形を独立に扱うことを困難にするスパイク波形のオーバーラップは大きな問題であった。従来この問題を解決すべく提案されてきた手法においては、テトロードなどの特殊な電極の使用や現れうる発火パターンに関する制約が仮定されており、そのような制約なく一般的に適用可能なスパイク検出・分類手法は存在しなかった。本論文においてはこの問題を解決するため、スパイク波形テンプレートとスパイク列が双方未知の場合、そしてスパイク波形テンプレートは得られている条件化で実時間処理を行う場合の二つの用途に対して新たな手法を提案するとともに、その有効性の検証を行なっている。

第1章は「序論」であり、神経細胞（ニューロン）とその活動電位、および、同活動電位を記録する諸手法、その中でも特に本論文で取り扱う細胞外計測法について解説を行なうとともに、細胞外計測法によって記録された神経活動からスパイクを検出し、それらを個別の神経細胞のスパイクに分離（スパイクソーティング）する手法、および、その問題点の概略について述べ、その中で最大の問題点であるスパイクのオーバーラップ問題について、従来の研究の紹介を行ない、今回の研究の意義と目的を述べるとともに本論文の構成をまとめている、

第2章は、「スパイク波形のテンプレートが既知の下で単電極の計測信号から任意のオーバーラップ波形の実時間検出・分類が可能な手法の構築」である。この手法においては、スパイク列の生成およびその計測の確率モデルを構築し、それに基づいた逐次ベイズ推定により計測信号から各時刻におけるスパイクの存在確率を求める。この推定において、全てのスパイク列のパターンに関して計算を行うには高い計算コストを要するが、各時刻における存在確率の低いスパイク列に関し確率をゼロ近似し除去することにより実時間処理可能なまでに計算量の削減を行い、また、スパイク波形のピーク位置を早い段階で評価しそれによる低確率のスパイク列の除去を行う look-ahead elimination の導入により推定性能を損なうことなく更なる処理の高速化を行っている。さらに、この手法の妥当性を評価するため、シミュレーション神経信号および Multi-electrode array dish (MEA) 上に培養した神経細胞からの計測信号に対し既存手法と提案手法をそれぞれ適用し比較する実験を行い、その結果、提案手法は遅れが 10ms 以下の実時間処理が可能であること、特にオーバーラップを多く含む信号に対し既存手法よりも高い推定性能が得られることを示している。

第3章は「スパイク波形テンプレートおよびスパイク列の双方が未知の状態においてオーバーラップに頑健な同時推定を行う手法の提案」であり、この手法は実時間処理手法と同様の仮定から導かれるモデルと近似に基づき、Expectation-Maximization アルゴリズムを用いた隠れ変数とモデルパラメータの同時推定を行うものである。この手法に関してもシミュレーション信号および MEA 上に培養した神経細胞からの計測信号を用いた性能評価を行い、複雑なオーバーラップを多く含む神経信号から適切なスパイク波形テンプレートおよびスパイク列が推定できることを確認している。

第4章は、上記の二手法を組み合わせる様々な神経信号に適用した実験について述べている。前者の手法は高速で実時間処理が可能であるが、適切なスパイク波形テンプレートを予め用意しておく必要がある。一方で後者の手法はスパイク波形テンプレートとスパイク列の双方が未知の状態から適切に推定を行うことができるが、高い計算コストを要し実時間処理は不可能である。このような二手法の長所と短所はそれぞれ相補的に解決可能であることから、二手法を組み合わせる適用プロトコルを提案し、それを用いることで様々な条件において組み合わせない場合よりも精度良い推定が可能になることを実験結果から示している。

第5章は「結論」であり、2章から4章までの成果を各章ごとにまとめるとともに、今後の研究の展望を述べている。

以上、要約すると、本論文で提案された処理手法は、神経活動のスパイクソーティングにおいて従来課題とされてきたスパイクのオーバーラップの問題に対して、スパイクソーティングの効率を飛躍的に向上させ、今後の脳や神経系に関する研究や、その応用技術であるブレインマシンインタフェースなどの関連諸分野の発展に大きな貢献をなす可能性を持つものであり、システム情報学の進歩に対して寄与することが大であると認められる。

よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。