

論文の内容の要旨

論文題目 ブレイン・マシン・インタフェースに向けた
神経電極位置調節装置および神経信号抽出法に関する研究

氏名 佐藤 尚

本論文は Brain Machine Interface (BMI) において必要とされる脳神経活動の計測に着目し、計測用デバイス及び計測した信号から神経活動を効率的に抽出する信号処理法に関し研究開発を行った結果をまとめた論文である。

第一章は緒言であり、本論文の研究を行なう背景を述べている。福祉応用と脳機能解明の両面から社会に貢献すると考えられている BMI の紹介を行い、その実現に向けて必要な研究を各要素技術にまで分解し整理している。BMI の研究開発の一環として、基礎技術のひとつとなる神経信号計測に関する問題に焦点を当て、安定した神経信号計測技術の開発が BMI の発展に大きく貢献することを論じた。本論文においてその神経信号計測の改善する技術を開発する意義を主張し、本論文の位置付けを明確にしている。

第二章において神経信号計測の現状を述べ、自由行動下の状態にあるラット等の小動物から神経細胞外記録によって長期安定して神経信号を計測する為には、複数の電極それぞれに対して電極先端と神経細胞の位置関係の調節を行えるデバイスである神経電極位置調節装置（マルチドライブ）が重要であることを述べている。しかし、従来の方式では電極の位置調節を可能とする電極は手動での位置調節が必要であり、実験効率を押し下げていることを述べ、その解決に向けて新たに液圧駆動方式による神経電極位置調節装置を提案している。

新しく開発した液圧駆動式による電極位置調節装置は、各電極に対し作動液を独立して供給できる機構や、導電性作動液を信号線に用いるなどの工夫を施し、従来にない新たなデザインとなっている。新しく開発した神経電極位置調節装置が機能することを、電極位置の推定や調節精度、作動液の信号伝達性など各機能の観点から評価し、最後に実際にラットに埋め込むことにより神経信号が計測できることを示した。多チャンネル化、小型化と電極位置調節の自動化が並立できない現在の電極位置調節装置の限界を超えられる可能性のあるデバイス開発を行なった成果をまとめた章である。

第三章は計測した神経信号から神経発火活動を抽出するスパイクソーティングに関する研究をまとめた章である。BMI において神経信号計測を行なう場合、ノイズに対して頑健かつ高速な神経信号抽出法が必要とされる。本章ではノイズ耐性の強い方法の一つであるテンプレートマッチングに着目し、テンプレートマッチングが抱える計算量の高さを軽減する方法を提案している。

具体的には Sequential Similarity Detection Algorithm (SSDA) 法の枠組みに従い、SSDA 法に新たにカイ 2 乗分布に従う残差の増加曲線を設定し、Davies-Bouldin Validation Index に基づきテンプレートウィンドウ内の計算順序を設定する方法を提案している。本手法により、スパイク検出の誤り率を抑えつつも、テンプレートマッチングにおけるウィンドウ内計算の途中で計算を切り捨てることにより計算負荷が軽減できることを示した。予期せぬアーチファクト混入が存在しうる BMI の計測環境でも実用的に動作することを示すため、BMI 評価用のラット実験フィールドを製作し、自由行動下にあるラットが実験フィールド中でレバー押しタスクを行なっている際の神経信号を計測し提案手法を適用した。その結果、提案手法によって多チャンネル電極から神経信号を抽出できることを示した。

第四章は本論文を総括する章である。BMI の発展の為に脳神経系から長期安定的に直接信号を計測する必要があるという観点に立ち研究を行なった。本論文では神経信号を長期的に計測することを可能とする神経電極位置調節装置の開発と、安定的に神経活動の発火活動を抽出するテンプレートマッチング法の高速化手法を提案し、それぞれを検証することによって BMI における神経信号計測の発展に貢献することができたと結論付けている。今後の課題として位置調節の限界や、テンプレートマッチングに内在する問題もとりあげるとともに、BMI の閉ループ化や特定細胞の長期計測などの今後の展望も踏まえ、更なる研究の進展が望まれると論じ、本論文のまとめとしている。