

博士論文要旨

論文題名：分割型ベイズ法による神経スパイクデータからの係数推定

立命館大学大学院理工学研究科
総合理工学専攻博士課程後期課程

ホアン ティエン フー
HOANG Thien Huu

計算論的神経科学モデルは、脳神経系における個々の神経細胞の基本動作特性の理解から脳の高次機能解明に至るまでの様々の応用に役立てられている。そのような計算論的モデルの応用の一つとして、実験において計測不可能なパラメータを、多電極計測によって記録されたスパイクデータ等から逆推定する際に、順モデルとして用いる研究が盛んに行われている。ただし、スパイク時系列から、パラメータを逆推定する問題は、多くの場合、設定不良性を含んでいる。例えば、実際の脳神経系の持つシステムの複雑性とモデルの持つ複雑性の間の乖離などが挙げられる。複雑性の異なるシステム間で行われるパラメータ推定では、データとパラメータの間の一対一の対応関係が崩れてしまうため、多数の局所解の中から、確率論的な探索手法に基づいて、最も尤度の高いパラメータ値を選ぶ必要が出てくる。脳神経系は非常に複雑な電気活動を示すため、それらを詳細にモデル化することは通常困難であり、この意味で生じるモデル誤差は避けることができない。本学位論文では、ベイズ推定の枠組みに基づいてこの困難を克服する方法を提案した。提案手法では、実験で計測されたスパイクデータを短時間間隔のセグメントに分割し、セグメントごとに、パラメータ推定を行った。ただし、セグメントごとに見られるパラメータ値の揺らぎは、各神経細胞固有の値周辺に分布するという拘束条件を置いた。このように、セグメント毎にパラメータを推定することで、探索空間を緩和し、モデル誤差を抑えることができた。その結果、推定精度の向上が期待できる。実験データに対して提案手法を適用したところ、通常のベイズ推定法や、最小二乗誤差法などの従来法を大きく上回る結果が得られた。分析結果から、特にデータが非定常性を有している場合に、提案法は有効で、頑健な性質を示すことが分かった。さらなる応用のため、シミュレーションデータについても適用実験を行った。実験データでは、真のパラメータ値が未知であるのに対して、シミュレーションデータでは既知であるため、正確な評価を下すことができた。このような人工データに対しても、従来法と比較して、提案手法の有効性を確認することが出来た。これらの結果より、分割型ベイズ法は複雑な動的特性を示す脳神経系のスパイク時系列から、モデルパラメータを推定する手法として、有力な方法論を与えるものと結論した。

Abstract of Doctoral Thesis

Title : Segmental Bayesian estimation of model parameters from neuronal spike train data

Doctoral Program in Integrated Science and Engineering
Graduate School of Science and Engineering
Ritsumeikan University

ホアン ティエン フー
HOANG Thien Huu

Multi-electrode recording is now a common technique to simultaneously collect neuronal spike data of a population of the neurons in a brain region, and thus allows exploring various underlying functions of the brain. Computational modeling usually emerges when the parameters of interest cannot be directly measured by the experiments. However, the inverse problem of estimating parameters from spike trains is severely ill-posed due to the huge mismatch in the system complexity between the brain and the model, and thus needs a stochastic approach to find most likely solutions among many possible ones. Since the brain typically exhibits complicated dynamics that is difficult for the model to reproduce, the modeling errors are inevitable. In the present thesis, we introduce a novel methodology based on the Bayesian inference framework to overcome that challenging issue. The experimental spike data is fractioned into short time segments and the model parameters are estimated segment by segment in the constraint that the segmental estimates are fluctuated around the neuronal estimates. By relaxing the parameter search, the segmental Bayes has been hypothesized to compensate the modeling errors and thus improve the estimation accuracy. The performance evaluation on experimental data indicated that the segmental Bayes outperforms the conventional Bayes and the minimum error method by minimizing the fitting errors in the feature space. It also had a strong robustness against non-stationarity of the spike data. To enable its further applications, verification of our proposed methods using simulation spike data was conducted. Unlike the experimental data, it is straightforward to measure the estimation errors because the true parameter values of the simulation data are known. Superiority of the segmental Bayes was also confirmed by the simulation data. We thus argue that the segmental Bayes provides a useful tool in neuroscience to estimate model parameters from spike trains with complicated dynamics.