

# State-Space Methods for Reconstructing Neuronal Current Sources

(状態空間法による脳内電流源の推定)

氏 名：福嶋 誠

講 座 名：計算神経科学研究室（連携），数理情報学研究室（基幹）

主指導教員名（論文博士の場合は推薦教員名）：池田 和司

内 容 梗 概（1 ページ目に収めること）

Elucidating mechanisms of how functionally specialized brain regions dynamically interact has recently received attention in the neuroimaging community. Such dynamic integration of functional brain regions can be investigated by Magnetoencephalography (MEG) and Electroencephalography (EEG). To discover the functional brain networks from MEG/EEG sensor measurements, it is indispensable to properly reconstruct neuronal current sources and identify their directed interactions (i.e., effective connectivity) from the data.

State-space methods for MEG/EEG source reconstruction provide flexible ways to solve the above estimation problem. In the state-space framework, the observation and system equations formulate the measurement process and temporal dynamics of neuronal current sources, respectively. This framework can easily and flexibly incorporate *a priori* knowledge on neuronal current dynamics into the system equation (or the dynamic model of sources). The richness of the prior and model assumptions would improve the estimation accuracy of source reconstruction. Moreover, the extent of extractable information about the functional brain networks can be enlarged by introducing additional model parameters based on the prior knowledge.

In this thesis, two novel extensions on state-space methods are described. First, to achieve high reconstruction accuracy of spatially focal current sources, spatially inhomogeneous source dynamics is newly introduced to previous dynamic source models. The advanced model for the first time demonstrates that focal current sources are successfully reconstructed under the state-space framework. The second extension is incorporating long-range directed interactions between sources into the dynamic source model. The new method allows estimating the source interactions over the whole brain, which has not been achieved by any other approaches. This method offers a way to reach a fundamental methodological goal of neuroimaging studies; that is, identifying brain effective connectivity without assuming a limited number of regions of interest.

氏名	福嶋 誠
----	------

(論文審査結果の要旨)

MEG/EEG は脳の情報処理の担い手である神経細胞の電気活動を反映しているので、MEG/EEG の計測値から電流源を推定することは、脳機能の解明において重要な技術である。しかしこれは不良設定問題であるため、電流源を推定するための手法は確立されていなかった。

本研究では従来の変分ベイズ法による推定に、状態空間法を組み合わせた。また、脳の物理的な結合を考慮したダイナミクスを導入する工夫も加えた。これらにより、電流源推定の精度を格段に高めるとともに、脳部位の機能的結合をも明らかにできることを示したものである。

本研究ではまず、状態空間法を用いて神経細胞ごとに異なるパラメータをもたせた。これにより、従来の単純なモデルに比べてより実際に則した電流源のダイナミクスを表現できるようになり、高い推定精度を実現できることを示した。さらに、拡散 MRI で得た神経細胞間の結合を事前知識として導入し、神経細胞間の時間遅れも表現できるようにした。このモデルはさらに高い推定精度を持つことを示した。

以上をまとめると、本論文は、MEG/EEG の計測値から電流源を推定する手法を開発した、神経科学において有用な解析手法を開発した研究であり、博士(工学)の学位に値するものと認められる。