

ダイポールイメージングと独立成分分析を用いた 脳内信号源の推定

Estimation of Cortical Dipole Sources by Equivalent Dipole Layer Imaging and Independent Component Analysis

青木直智* 堀潤一** Bin He***

Naotoshi Aoki Junichi Hori Bin He

*新潟大学大学院自然科学研究科, **新潟大学工学部福祉人間工学科, ***ミネソタ大学

*Graduate School of Science and Technology, Niigata University

**Dept of Biocybernetics, Niigata University

***Dept of Biomedical Engineering, Minnesota University

1. はじめに

脳情報処理機能の詳細な解明やてんかん等の病巣位置特定のため、脳内信号源を非侵襲的に推定する方法が望まれている。脳波計、MEG、MRI、PET 等の装置の中で、脳波計は、設置環境の制限が少ない、非侵襲、自然に近い環境で計測できるという点で優れている。しかし、脳波計で取得した頭皮表面上の電位分布は、電極数が限られる上、頭蓋骨の低伝導特性の影響により、空間分解能が悪い。そのため、頭皮電位から直接脳内信号源を特定することは困難であった。その問題点を克服する方法として、脳内ダイポールイメージングがある[1]。脳内ダイポールイメージングとは、頭皮表面の電位分布から脳内の仮想表面上等価ダイポール強度分布を推定する方法である。この方法を用いて、半径の異なる複数のダイポール層信号強度分布を3次元空間で解析することにより、脳内信号源についての情報を得ることができる[2]。しかし、脳内に信号源が複数存在し、それぞれの作る頭皮電位が複雑に重なり合っている場合、信号源の推定は困難であった。

本研究では、この問題を解決するために、独立成分分析により信号源を分離した。そして、脳内ダイポールイメージングと独立成分分析を組み合わせた信号源推定方法を構築した。

2. 方法

空間分解能の改善を実現するために、まず頭部を不均質3層同心球によりモデル化する。この頭部モデルの脳内に仮想的にダイポール層を設置し、このダイポール層から頭皮電位までの伝達関数を求める(順問題)。頭皮で計測された電位には雑音が重畳する。頭皮電位からこのダイポール層の強度を推定するには、伝達関数の逆関数を求めることになる(逆問題)。空間逆フィルタを用いて、頭皮電位からダイポール信号強度分布を推定する。これを各々のサンプル時刻で行うことで、時系列ダイポール層信号強度分布を作成する。

次に、時系列ダイポール層信号強度分布に対して独立成分分析を行い、信号を分離する。独立成分分析の仮定条件は、観測信号が統計的に独立な原信号の線形混合で構成されることである。前処理として主成分分析を行う FastICA アルゴリズムを用いた。今回提案する脳内信号源推定方法は、独立成分分析を用いて時系列ダイポール層信号強度分布を分離する過程と分離後にダイポールイメージングを用いて信号源を推定する過程から構成される。

3. シミュレーションと実験

構築した信号源推定方法を検証するため、シミュレーションを行った。脳内に設置した2個の放射方向信号源の強度が時間変化する脳波を作成し、信号源推定精度を検証した。背景雑音にガウシアン白色雑音を使用した。その結果、高精度に2つの信号源の位置を推定できた(Fig. 1)。さらに実験で取得した運動関連電位の信号源を推定した。運動関連電位とは随意運動に関連した頭皮電位である。運動野、運動連合野付近に信号源が推定され、生理学的知見と一致した。

参考文献

[1] Hori, J, Aiba, M, and He, B: "Spatio-temporal dipole source imaging of brain electrical activity by means of time-varying parametric projection filter" IEEE Trans. Biomed. Eng., vol.51, no.5, pp.768-777, May 2004

[2] 宮田治, 堀潤一, "ダイポールイメージングによる脳内信号源の推定", 信学技報, MBE71-82, Vol.101, No.332, pp.23-30, Oct.2001.

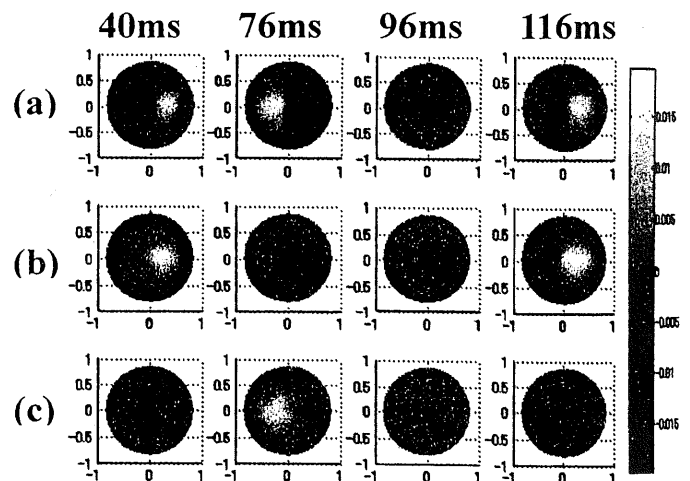


Fig. 1. Simulation results of dipole sources separation.

(a) Dipole layer distribution, (b) first, and (c) second separated DL distributions by ICA.