

NIRS 時系列信号のフラクタル次元解析

速水 剣伍[†] 安達 雅春[†]
[†] 東京電機大学工学研究科電気電子工学専攻

1. はじめに

脳の高次情報機能(認知, 記憶, 思考, 意志, 行動などの統合的な機能)は様々な情報処理を行う大脳皮質の複雑性が関わっている. そのため, カオス時系列解析による複雑系の評価が必要であると考えられている[1]. また, 近年のBCIシステムなどの脳機能研究において, 人と機械間での意思や情報の仲介精度向上の為には, 人間の精神状態を正確に把握する事が重要になってきている. 注意や集中を要する代表的な精神作業に暗算がある. そこで, 本研究では暗算課題遂行時の前頭葉の酸素化ヘモグロビン濃度長変化量を近赤外分光法(NIRS: near-infrared spectroscopy)を用いてを測定し, フラクタル次元である相関次元を算出して脳活動の評価を試みた.

2. 近赤外分光法

人間の脳血流は, 神経活動時に増加し, 脳組織の神経活動部位に過剰な酸素を送り込まれる状態になる. NIRSは, この神経活動に伴う脳血液中の酸素代謝によって生ずる酸素化ヘモグロビン濃度長の変化量を光の吸収スペクトルから計測する脳活動測定方法である.

3. 相関次元解析

FNN法[2]で求めた埋め込み次元 m で時系列から再構成されたアトラクタに対して相関積分[3]を求める. 相関積分 C^m , 相関次元 D^m は次式(1), (2)で定義される.

$$C^m(r) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{N^2} \sum_{i,j=1}^N I(r - |v_i - v_j|) \quad (1)$$

$$D^m(r) = \frac{\log C^m(r)}{\log r} \quad (2)$$

ここで, $I(t)$ はヘビサイド関数, r は超球の半径, v_i, v_j はアトラクタのある点のベクトル, N は近傍点の数である.

4. 実験方法

本実験では, 500以上のランダムな数字から13ずつ引き続ける暗算をタスクとし, NIRSの5試行分の合計の測定データに対し相関次元を求めた. プローブの配置は図1の様に, 国際10-20法のFzを中心とした全12chとした. 本実験はヘルシンキ宣言に則り, 事前に東京電機大学ヒト生命倫理委員会の承認を得て行われた.

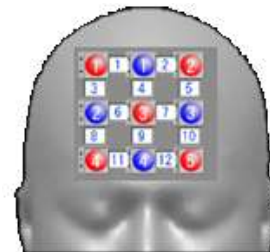


図1 NIRSプローブ配置図

5. 実験結果

図2に示すように, 全てのチャンネルでタスクの方がレストよりも相関次元の値が高くなった. このことから, NIRS信号からの相関次元がBCIシステムに応用できる可能性が示唆された.

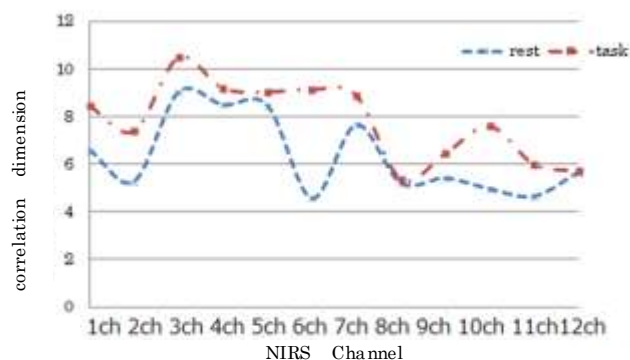


図2 各チャンネルの相関次元の値

6. まとめと今後の課題

本稿では, 5試行分を合計したデータを用いたが, 今後は, 加算平均したデータに対しても今回と同様の解析を行う. また, 被験者を増やしても同様の結果が得られるかを検証する. さらに, 相関次元以外のフラクタル次元による評価を行う.

謝辞

本研究はJSPS科研費25420385の助成を受けたものです.

参考文献

- [1] 中川匡弘, 松下普: 脳表層におけるヘモグロビン濃度変化のカオス性. 信学技報. CAS, 105(275):37-42.2005
- [2] D. R. Fredkin, and J. A. Rice, Method of false nearest neighbors: A cautionary note, PRE, 51(4), 2950-2954, (1995)
- [3] P. Grassberger and I. Procaccia, characterization of strange attractors, PRL, 50(5), 346-349, (1983)