

膜電位イメージングデータの時空間解析

モデリング研究系 時空間モデリング グループ

准教授 三分一 史和

1 はじめに

脳や神経活動は様々な時間、空間的パターンを示し、そのメカニズムを調べるために組織上に配置した電極などにより多点同時計測が行われてきた。しかし、従来の方法では十分な空間情報を得ることが難しく、最近では組織のある領域を高空間分解能で光学的にイメージングデータとして計測する技術が開発され広く用いられるようになってきている。これは、光感受性色素で染色した組織の電氣的活動を色素の蛍光度の変化として記録するものであるが、S/N比が低いため、多くの場合は複数の計測データの加算処理が行われる。参照データと関連した賦活部位を検出するためには、イメージングデータの各ピクセルに対応する時系列と参照関数とで相互相関解析が用いられている(Oku, et al. (2007))。しかし、この方法では参照関数と類似の波形を持つ部位しか検出することができなく、定義できないデータでは相互相関解析の適用自体が困難になる。

本研究では、参照関数を用いずにシステムの動力的特性の変化を調べることにより賦活部位の検出を行う方法を提案する。これは自己回帰モデルやその派生モデルをデータのある時間領域で同定し、そのモデルのパラメーターを用いて残りの時間領域をフィルタリングしその出力、つまりイノベーションの強度を統計的に評価し有意に動力的構造が変化した領域を検出する方法である。

2 方法

ベンチマークデータとしてラット脳幹の呼吸関連部位のイメージングデータを用いた。図1は脳幹組織と計測部位を表す。組織は電位感受性色素で染色され、神経の電氣的活動は、それに伴い変化する蛍光度の変化として記録される。空間解像度は100X100ピクセル(ピクセル長は数 μ m)、時間分解能(サンプリング間隔)は20msである。データの記録は第4脊髄神経前根(C4VR)からの出力信号をトリガーにして開始され、数十回の呼吸が不連続データとして記録装置に保存される。

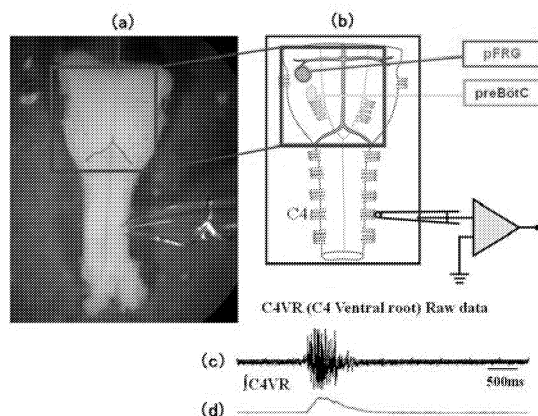


図1

- (a) ラット脳幹の摘出標本(赤枠は計測領域)、(b) 標本の模式図と代表的な呼吸関連部位、
(c) 第4脊髄神経前根(C4VR)からの出力信号、(d) (c)の信号の積分値

呼吸活動に相当する時間領域から十分離れた数百ms前または後の領域において、あるピクセルに対し周囲のピクセルの情報を考慮した外生変数型自己回帰モデルを同定した。そして、このモデルの緒パラメーターの値を用い、データの残りの時間領域をフィルタリングしイノベーション

を推定する。この手順を全てのピクセルと呼吸において繰り返し、モデルを同定した区間の残差とフィルタリングした区間のイノベーションの強度を t 検定を用いて評価する。

3 結果

図2はC4VR出力信号と平均光学記録データとの相関係数に対応する t 値のマップである ($p < 0.02$)。図3は呼吸活動の前、オンセット、後の代表的な時間フレームに対応するイノベーション強度の t 値のマップを表している ($p < 0.02$)。相互相関解析では、代表的な呼吸関連部位(図1(b))のうち Pre Bötのみが検出されているが、イノベーションアプローチではPre Böt より早く活動を始めるpFGRも検出することができ、より効率的に呼吸活動の時空間情報を抽出することが可能であることが示された。

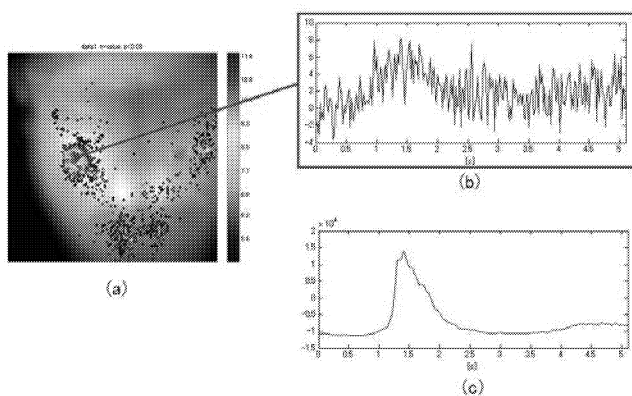


図2

(a) 相関係数に対応する t 値のマップ ($p < 0.02$), (b) Pre Böt 領域の平均時系列,
(c) C4VRからの出力信号

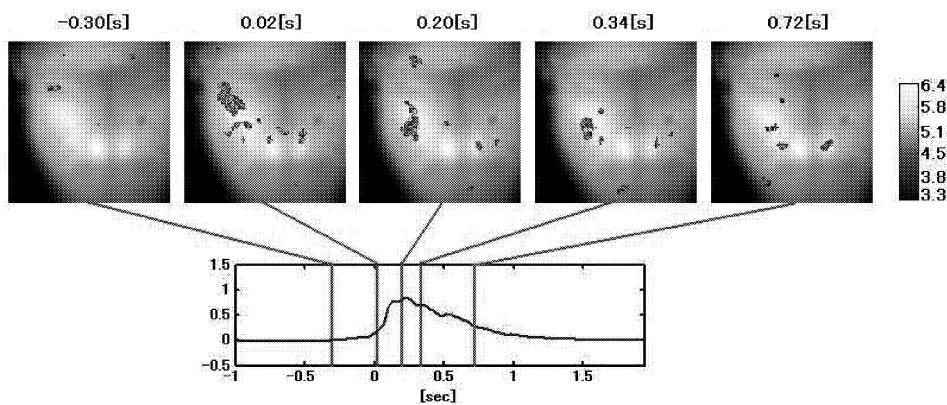


図3

(上段) 代表的なtime frameに対応するイノベーション強度の t 値のマップ ($p < 0.02$),
(下段) C4VRからの出力信号

参考文献

Y. Oku, H. Masumiya and Y. Okada, (2007). Postnatal developmental changes in activation profiles of the respiratory neuronal network in the rat ventral medulla, *J. Physiol.*, vol. 585, no. 1, pp. 175-186