

意図した方向を解読し全方向移動車を操作する BMI の開発

A BMI for controlling omni-directional vehicle using intended movement directions estimated from hippocampal neuronal ensembles of rats

高橋晋 (PY)¹⁾, 櫻井芳雄^{2,3)}

Susumu Takahashi(PY) and Yoshio Sakurai

¹⁾京都産業大学 コンピュータ理工学部 / 神山神経科学センター

²⁾京都大学大学院 文学研究科

³⁾CREST, JST

tsusumu@cse.kyoto-su.ac.jp

Abstract — We would like to introduce our strategy to develop a BMI (Brain-machine interface) that can control an omni-directional vehicle using the intended directions of movement estimated from the neuronal ensemble activities in the hippocampus of rats.

Keywords — BMI, RASICA, Dodecatrode, Hippocampus, Rat

1 はじめに

本論文では、覚醒し行動している動物の神経回路網の動態と個々のニューロン内の情報変換を詳細かつリアルタイムに計測する方法を用いて計測された海馬のニューロン活動から、意図した移動方向に関わる脳情報をオンラインで解読することで、全方向移動車を操作し目標点へ到達する脳-機械直結型インタフェース (BMI; Brain-machine interface)[1]を開発する試みについて紹介する。

2 マルチニューロン活動記録法

複数のニューロン活動を同時に記録するマルチニューロン活動記録法は、侵襲型BMIの基盤である。更に、マルチニューロン活動からリアルタイムに個々のニューロン活動を分離抽出するonline spike sorting法を欠くことはできない。本節では、独自に開発した特殊マルチ電極と統計的信号処理法の独立成分分析(ICA; Independent Component Analysis)を組み合わせることで実現したリアルタイムかつ正確にニューロン活動を検出する最先端のマルチニューロン活動記録システムについて紹介する。また、BMIを安定して作動させるためには、ニューロン活動を長期間安定して記録し続ける必要がある。本節では、長期間の安定した記録を実現するために、プリント基板技術を活用して、独自に設計・作製したマイクロドライブについても紹介する。

2.1 RASICA system with dodecatrodes

マルチニューロン活動記録法は、多数のニューロン活

動を同時に記録することができるが、そこから個々のニューロン活動を分離・抽出するspike sorting法が必要不可欠である。従来のspike sorting法は、ニューロン活動の波形にのみ基いており、生体信号特有の揺らぎを考慮していないため不正確である。そのため、複数のニューロンが混在した信号を同じニューロンの活動として抽出している可能性が高く、ニューロン間の相互作用に重要な役割を果たしているはずの完全な同期活動も検出できないため、不正確であり、近接したニューロン間の相互作用を見ることはできず、また個々のニューロン内の詳細な相互作用を検出することも不可能である。我々は、先端径8ミクロンのTungstenマイクロワイヤを12本一束にしたマルチ電極(Dodecatrode)と、ICAを活用しリアルタイムに複数のニューロン活動を分離する分析システム (RASICA: Real-time and Automatic Sorting with ICA) (図1)を開発した[2]。これらの手法を用いることにより、従来技術では覚醒し行動している動物の脳から検出することが困難であった錐体細胞の細胞体と樹状突起の情報表現の違い[3]や、錐体細胞間の1ミリ秒以内の同期活動を検出している[4]。本研究では、このRASICAシステムに、発火頻度検出器、発火同時性検出器とサポートベクターマシンによる複数ニューロンの発火パターン識別器を組み合わせることでBMIを構築した。

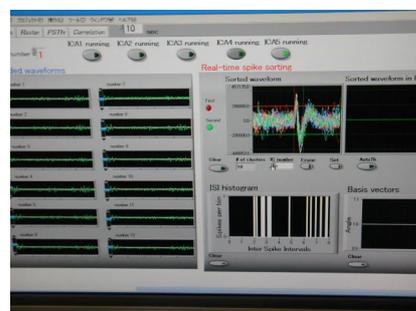


図1. RASICA system

2.2 Microdrive

課題を行っている動物の脳から長時間にわたり複数のニューロン活動を同時記録し続けるためには、マルチ電

極を装着し頭部に固定したマイクロドライブを用いて刺入する必要がある。本研究では、プリント基板技術を活用することで独自に作製し、Dodecatrode電極を最大5本刺入することができ、それぞれ独立に稼働させることも可能なマイクロドライブを開発した(図2参照)。このマイクロドライブを用いることにより、30-40 μ m単位で電極位置を調整することが可能になり、同一のニューロン群から数ヶ月間安定した記録が可能になった。

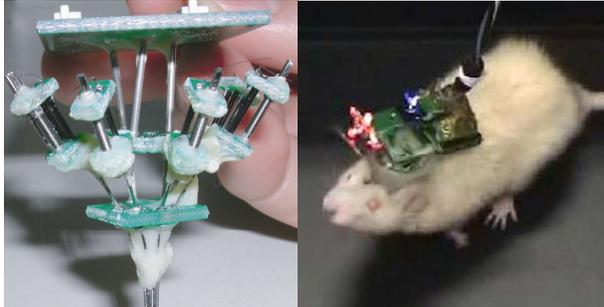


図2. マイクロドライブ (左) とマイクロドライブを装着したラット (右)

3 意図した方向により全方向移動車を操作する試み

海馬を対象としたいくつかの標本レベルの実験は、錐体細胞の樹状突起で発生する逆伝播スパイクなど、1ミリ秒以下のオーダーで発生する現象を発見している。また、覚醒中の動物を対象としたニューロン活動の記録実験では、海馬錐体細胞が場所特異的に発火することが示唆されており、行動と神経活動との対応関係も明確になっている。そこで本研究では、それら既存の知見を土台とすることが可能な海馬を対象とし、海馬場所細胞で精緻な相互作用がどのように生じているのか、またそれが情報表現にどのような役割を持つのかについて、BMIシステムを構築し活用することで解析する。そして、その解析結果を参照しながら BMI システムを改良することにより意図した移動方向を解読する BMI を完成させる。

具体的には、出力機械として全方向移動車(図3)を用い、ラットをその移動車に乗せて、場所細胞群の活動及びその相互作用に基づいて操作させる。通常の自動車は直進しながら方向を変化させるが、動物はほぼ静止したまま、まず方向を定めた後に直進することも多い。そこで本研究では、静止位置を変化させずに方向転換ができる全方向移動車にラットを載せ、海馬の神経活動でその車を操作させる。



図3. 全方向移動車に載るラット

実験には図4に示すように、2メートル四方の箱の1点を識別させる課題を行い、指定の場所に車を移動することができれば報酬が得られることを訓練する。与える報酬としては、ラットがどの場所においても即時に与えることが可能な脳内報酬刺激(内側前脳束へのパルス刺激)を用いる。そして、車を操作するための神経情報(ニューロン間の相互作用など)をさまざまに設定しサポートベクターマシンを用いて解析することで意図した方向を解読し、その機能的役割を全方向移動車の操作性により評価する。

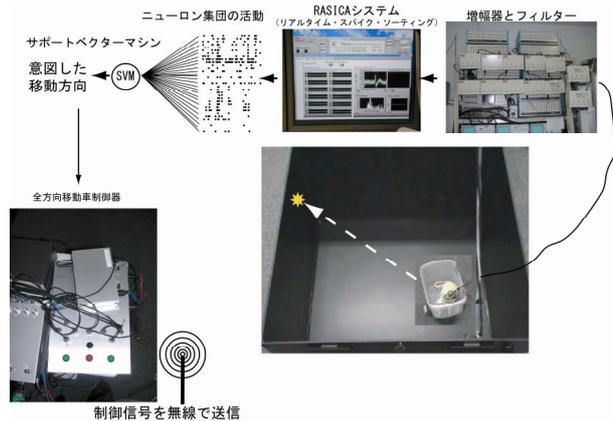


図4. BMIによる全方向移動車の操作

4 まとめ

本研究では、最先端のマルチニューロン活動記録法を用いて単一ニューロン内あるいは複数ニューロン間の精緻な相互作用を含めたニューロン活動を海馬から記録し、サポートベクターマシンを用いて解析することで、意図した方向を解読し全方向移動車を操作する BMI を開発する試みについて紹介した。

参考文献

- [1] J. K. Chapin, K. A. Moxon, R. S. Markowitz and M. A. L. Nicolelis (1999) "Real-time control of a robot arm using simultaneously recorded neurons in the motor cortex." *Nature neuroscience*, **2**, 664-670.
- [2] S. Takahashi and Y. Sakurai (2005) "Real-time and automatic sorting of multi-neuronal activity for sub-millisecond neuronal interactions *in vivo*." *Neuroscience*, **134**, 301-315.
- [3] S. Takahashi and Y. Sakurai (2007) "Coding of spatial information by soma and dendrite of pyramidal cells in the hippocampal CA1 of behaving rats." *European Journal of Neuroscience*, **26**, 2033-2045.
- [4] Y. Sakurai and S. Takahashi (2006) "Dynamic synchrony of firing in the monkey prefrontal cortex during working memory tasks." *Journal of Neuroscience*, **26**, 10141-10153.