

ブレイン・マシン・インタフェースと計算論 Computational Neuroscience of Brain Machine Interface

小池 康晴[†], 廣瀬 秀顕[‡], 櫻井 芳雄^{*}, 飯島 敏夫[‡]

Yasuharu Koike, Hideaki Hirose, Yoshio Sakurai and Toshio Iijima

[†] 東京工業大学精密工学研究所, [‡] 東北大学大学院生命科学研究所, ^{*} 京都大学大学院文学研究科

koike@pi.titech.ac.jp

Abstract— Monkey arm movement was reconstructed from neuron activities recorded in the primary motor cortex (M1). We also recorded Electromyographic (EMG) activity and movement trajectories during the task. First, we reconstructed the EMG signals from the neuron activities. Next, we reconstructed joint angles from the reconstructed EMG signals with an artificial neural network model. This model appropriately reflected the anatomical characteristics.

Keywords— Arm model, EMG, BMI, Human Interface

1 はじめに

私たちは、自分の手足は自由に動かせると思っている。実際、日常生活で困ることはあまりない。しかし、例えばピアノが弾けない人はたとえ楽譜が読めたとしても、楽譜通りに指を動かすことが出来ない。たとえ、ピアニストの腕を取り付けても上手にピアノを弾けるとは思わないだろう。当たり前のように聞こえるかもしれないが、体で覚えているといっても、ピアノの弾き方を覚えているのは腕ではなく脳なのである。では、ピアニストに、ピアノが弾けない人の腕を取り付けたらピアノは弾けるだろうか。ピアノを弾くときに、日常生活ではあまり使わない筋肉を使うことがあれば、すぐには弾けないかもしれない。しかし、人の筋骨格系はそれほど異なっていないので、しばらくすれば弾けるようになるのではないと思われる。ブレイン・マシン・インタフェース (BMI) を使用した場合にもこの二つの例と同じような事態は起こり得る。

前者 (ピアニストの腕をつける) は優れた能力を持った腕を与えられた場合である。素早く動くロボットの腕をつけたとしても、どうやって動かすかが分からなければ動かすことは出来ない。後者 (ピアニストに普通の人の腕をつける) は、例えば、脊髄損傷の患者が自分の腕を機能的電気刺激などの手法で動かす場合である。脳は腕の動かし方を知っているが、信号が腕の全ての筋肉に今まで通り伝わるわけではないので、すぐには思い通りに動かすことは出来ない。本解説では、このような状況に於いて思い通りに腕を動かすために、計算論的な手法

を用いて BMI を構築するための考え方を紹介する。

2 解剖学的知見によるモデル

2.1 どこから読むか

大脳皮質の各領野はおおよそどのような機能的な役割を持っているかが知られている。特に運動の出力部位である一次運動野には体の部位に応じて連続的に支配部位が存在していることも知られている。例えば、手を動かすとき、足を動かすときなどにはどの部位が主に活動するかが分かるということである。従って、手や足を動かす BMI を考えたとき、まずはこの部位から計測しようとするのは自然なことである。さらに、眼球運動に関しては、別の部位が関係していることが分かっている。このことから、何処を見ているのかという視線を検出するためには目の運動を支配している部位から計測した方が精度の良い、あるいは反応時間の短い BMI を作成できる [1]。

一方、運動以外のタスクに関して言えば、たとえば、ものを見ているときの脳活動から何を見ているのかを推定するためには、やはり視覚野から信号を取り出すのが自然である [2]。

さらに言えば、考えただけで腕が自由に動くためには、脳の何処で運動の目標や計画が行われているかを知る必要がある。

2.2 なにを読むか

コンピュータのカーソルを動かすことを考えると、途中の軌道は必要ではなく、押したいボタンの場所だけが分かれば、素早くカーソルをその場所まで移動させることができる。このような目的のためには、むしろゴール (場所) だけが分かった方が早く操作できる (図 1 (1))。

しかし、図 1 (2) のように机の上のコップをロボットの腕で取る場合は、状況が異なる。机の手前にコップがあれば、肘が机にぶつかることなく取ることができるかもしれないが、コップの位置が机の遠いところにある場合は、そのまま手を伸ばすと、肘が机にぶつかってしまう (図 1 (2) 左側参照)。このとき、図 1 (2) 右側のように人は自然に肘の位置を上へ上げて腕を前に伸ばすことで机にぶつからずにコップを取ることができる。このようなタスクの場合、単に手先の位置だけを脳活動

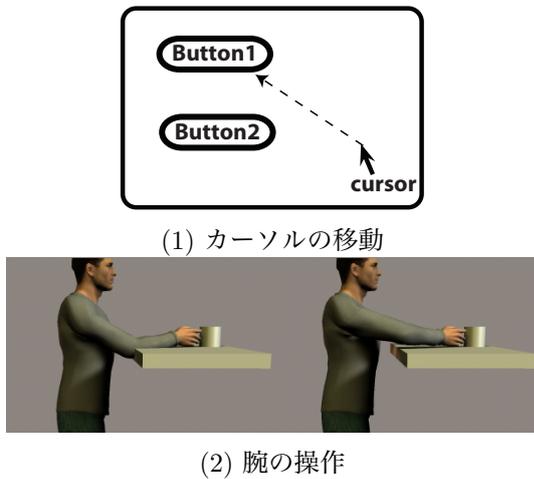


図 1: 何を読むか

から推定していたのではロボットを操作できない。まして、ゴールの位置だけを推定していたのでは、ロボットを操作することはできない。ロボットを操作するときには、始点から終点までの腕の姿勢を決める必要がある。しかし、現在までのところ、このような運動計画をどのように行っているかについてはまだ解明されていない。

2.3 どのように解析するか

この問題を解決するために、我々は脳の活動から直接手先の位置を推定するのではなく、まず筋肉の活動を推定し、その後、推定された筋肉の活動から腕の姿勢を推定する方法 [3, 4] を用いた (図 2)。

脳の出力信号は筋肉を動かす指令であり、筋肉の活動が分かれば腕の運動が推定できるからである。制御で言えば、順モデルの作成であり、運動から運動指令を推定する逆問題を含んでいないため、計測したデータからモデルを作成できる利点がある。

3 おわりに

BMI/BCIにおいて、考えただけで思い通りに動くということが望まれているが、思い通りというのはどのようなことを指すのであろうか。これまでのBCIは、カーソルを「上に動かしたい」と「下に動かしたい」とを識別すれば、上か下に動かすことができるため、思い通りに動かしたと言うことである。しかし、本当の目的は、「上に動かして、上にあるボタンを押したい」ということかもしれない。この場合は、どこに動かしたいかが重要な目的であり、思っただけで、カーソルの位置がボタンの位置に移動する方が思い通りに動いたことになる。このように、工学的に何を實現するかを考え、そのときに、どんな情報が脳から得られていけばいけないかを考え脳の計測を行う必要がある。本解説では、脳のどこから情報を取るのか、どんな情報を取るのか、また、どのように解析するかについて考えてきた。脳の機能はまだよく分かっていないことも多い。このためBMIの

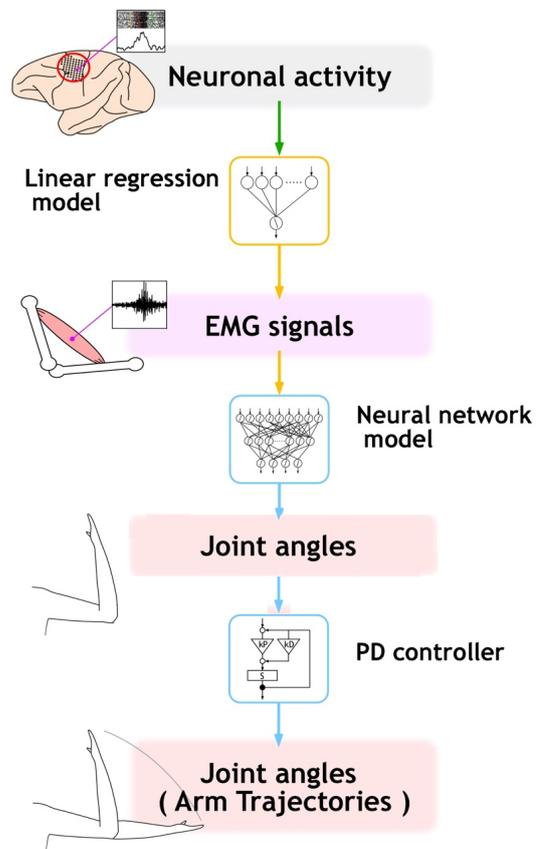


図 2: 脳活動から腕の運動推定の流れ図

技術は脳活動から外部の装置を動かすためだけでなく、脳の機能を解明する手段としても用いられることになると思われる。

謝辞：本研究は科学技術振興機構 CREST(研究代表者：櫻井芳雄) の補助を受けている。

参考文献

- [1] M. A. Segraves, R. Ratcliff, Y.T. Hasegawa, R. Hasegawa, and P.L. Smith. Dual diffusion model for single-cell recording data from the superior colliculus in a brightness-discrimination task. *J Neurophysiol*, Vol. 97, pp. 1756–1774, 2007.
- [2] Y. Kamitani and F. Tong. Decoding the visual and subjective contents of the human brain. *Nat Neurosci*, Vol. 8, No. 5, pp. 679–85, 2005.
- [3] Kyuwan Choi, Hideaki Hirose, Toshio Iijima, and Yasuharu Koike. Prediction of four degrees of freedom arm movement using emg signal. In *27th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2005.
- [4] Y. Koike, H. Hirose, Y. Sakurai, and T. Iijima. Prediction of arm trajectory from a small number of neuron activities in the primary motor cortex. *Neurosci Res*, Vol. 55, No. 2, pp. 146–53, 2006.