

# Interfejs mózg-komputer – zrób to sam

## Część II: wykonanie doświadczenia

Magdalena MICHALSKA\*, Joanna JĘDRZEJEWSKA-SZMEK\*

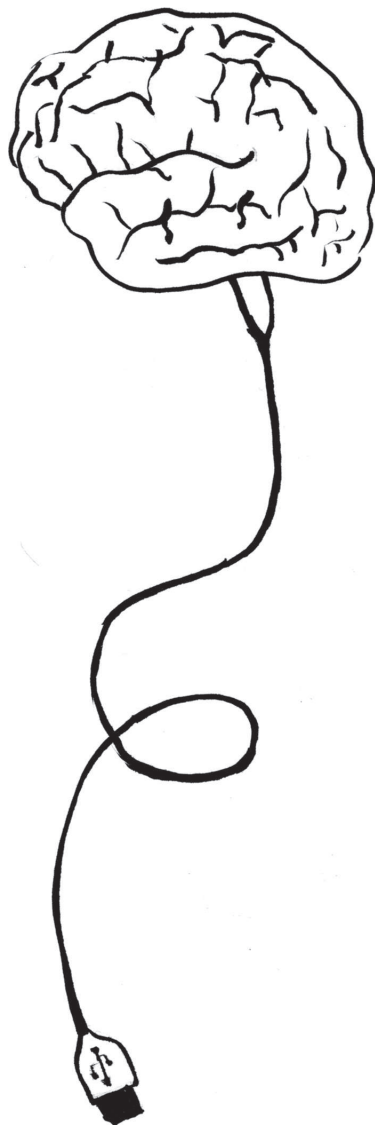
Wyobraź sobie, że siedzisz w swoim pokoju, zamierzasz zgasić światło, myślisz o tym i światło gaśnie – komputer odczytał Twoją myśl i światło wyłączył. Jest to bardziej realne, niż mogłoby się wydawać! Co prawda, zamiast jedynie myśleć o zgaszeniu światła, musisz się zrelaksować, mieć przyklejone do głowy kilka elektrod i dysponować odpowiednim sprzętem oraz oprogramowaniem do analizy sygnału. Przy odrobinie pracy, niewielkich nakładach finansowych i łacie szczęścia możesz coś takiego zrobić w domu! Ci, którzy czytali poprzednią część tego artykułu, zapewne już mają kilka pomysłów. Tutaj przekażemy garść informacji potrzebnych do rozpoczęcia samodzielnych prób złożenia interfejsu mózg-komputer.

Teoretyczne aspekty powstawania czynności bioelektrycznej mózgu omówiliśmy w poprzednim artykule. Dla przypomnienia: EEG to zapis aktywności bioelektrycznej mózgu, nie przekazuje ono nam wszakże, co człowiek myśli, można z niego jedynie wywnioskować coś o sposobie pracy dużych grup neuronów – na przykład zbadać, które obszary mózgu intensywniej pracują. Wreszcie, w momencie zamknięcia oczu lub w stanie relaksu obserwujemy wzrost amplitudy w tzw. paśmie alfa, czyli w składowych sygnału o częstościach z przedziału, umownie, od 8 do 15 Hz. Posiadając tę wiedzę oraz trochę ogólnych informacji i umiejętności z dziedziny informatyki, matematyki i fizyki, mamy podstawy do złożenia prostego interfejsu mózg-komputer.

Wszystko zaczyna się od zebrania sygnału, a do tego potrzebujemy odpowiedniego sprzętu i oprogramowania. Skąd wziąć sprzęt? Musimy mieć na pewno wzmacniacz sygnału i elektrody. Jedna profesjonalna elektroda EEG to koszt około 70 zł, a potrzebujemy ich więcej. Jeśli chodzi o wzmacniacze EEG, ceny są jeszcze bardziej zaporowe – koszt prostego wzmacniacza o niskiej rozdzielczości i małej liczbie kanałów (rzędu kilku) to kilka tysięcy złotych. Na szczęście, już przed nami mnóstwo ludzi zapragnęło sterować swoim komputerem wyłącznie za pomocą myśli i nie miało dużo pieniędzy do wydania. W efekcie powstało trochę instruktaży, jak stosunkowo niskim kosztem przygotować odpowiednie urządzenia. Miejscem, gdzie należy szukać szczegółowych informacji na ten temat, jest witryna projektu Open EEG [1]. Tutaj, z uwagi na brak miejsca, opiszemy dość ogólnie podstawowe kroki, które należy poczynić. W zależności od tego, jak „niskopoziomowo” chcemy do tego podejść, możemy wziąć schemat obwodu takiego wzmacniacza i samodzielnie go zlutować zgodnie z instrukcjami [2] bądź też skorzystać z gotowego półproduktu, np. [3]. Jeśli chodzi o elektrody, porządne, samodzielne ich wykonanie jest niezmiernie trudne dla osoby początkującej, niemającej wcześniej styczności z techniką oklejania, a ta część jest dość kluczowa w procesie zbierania EEG. Dlatego też, aby nie mnożyć potencjalnych miejsc, w których popełniamy błąd, tworząc nasz własny interfejs mózg-komputer, polecamy zainwestować w trzy elektrody (to mniej więcej minimum potrzebne do zebrania sygnału) bądź spróbować skontaktować się z jakąś placówką badawczą lub szpitalem i spytać, czy nie mają zużytych elektrod, które mogliby odstąpić młodym pasjonatom nauki.

Skąd wziąć oprogramowanie? Jeśli chodzi o komunikację z wymienionym powyżej sprzętem, też możemy do tego podejść na różnych poziomach samodzielnego zaangażowania. Dostępny jest firmware, który należy samodzielnie wgrać na mikrokontroler (dla tych, którzy się przestraszyli: jest to prosta czynność wymagająca użycia odpowiedniego urządzenia zwanego programatorem, dostępnego w sklepach elektronicznych, oraz odpowiedniego oprogramowania dostępnego w Internecie). Z zawartych w nim komentarzy można zaczerpnąć informacji na temat protokołu komunikacji [4]. Można też podejrzeć gotowy program do interpretowania danych z tych płytek [5]. Następnie przydałoby się obejrzeć dane, które zbieramy. Tu znów na stronie projektu Open EEG znajdziemy trochę ciekawych linków [6], można też próbować użyć oprogramowania projektu openBCI [7] (tu szczególnie zachęcamy do kontaktowania się z autorkami tekstu, które chętnie pomogą w razie problemów).

Mamy sygnał, i co dalej? Załóżmy, że mamy już podłączony sprzęt. „Leci” z niego sygnał –  $N$  razy na sekundę dostajemy próbkę – wartość sygnału w danej chwili ( $N$  to tzw. częstość próbkowania). Teraz z tych liczb musimy wydobyć interesujące nas informacje. Jak to się robi profesjonalnie? Wypada o tym wiedzieć, choć w praktyce



\*Zakład Fizyki Medycznej,  
Wydział Fizyki  
Uniwersytetu Warszawskiego



### Rozwiązanie zadania F 783.

Dolna kulka zostanie poderwana do góry, jeśli  $mg \leq q^2/(4\pi\epsilon_0 d^2)$ , gdzie  $d$  to najmniejsza odległość między kulkami w trakcie drgań tej górnej. Z zasady zachowania energii mamy:

$$mgh - \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 h} = mgd - \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 d} - k \frac{(h-d)^2}{2}$$

Podstawiając  $q^2/(4\pi\epsilon_0 d^2) = mg$ , dostajemy:

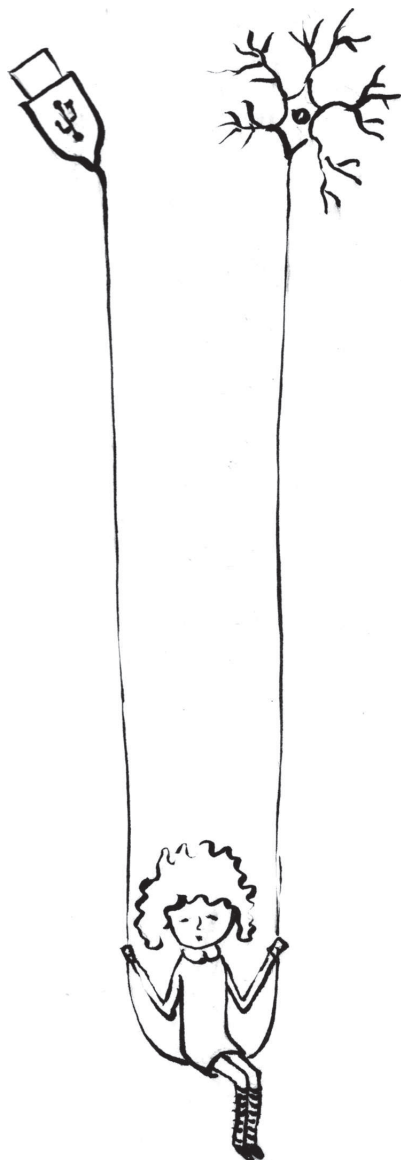
$$d^2 - \frac{2kh^2}{kh+2mg}d + \frac{kh-2mg}{kh+2mg}h^2 = 0,$$

stąd

$$d = h \frac{kh \pm 2mg}{kh + 2mg}$$

Odległość minimalna odpowiada znakowi minus, a ładunek, dla którego kulka zostanie poderwana do góry, to

$$q = h\sqrt{4\pi\epsilon_0 mg} \frac{kh - 2mg}{kh + 2mg}$$



uprościmy nasze postępowanie do tego stopnia, że wiedza taka nie będzie nam bardzo potrzebna – zachęcamy do przeczytania dodatkowych materiałów na internetowej stronie *Delty*.

W stosunku do profesjonalnej analizy sygnału EEG zastosujemy następujące uproszczenia. Po pierwsze, zadowolimy się surowym sygnałem, nic nie będziemy odfiltrowywać. Po drugie, opiszemy sygnał przy użyciu transformaty Fouriera, a wydobywaną cechą będzie suma energii w częstościach z pasma alfa. Wreszcie, zastosujemy klasyfikację na podstawie ręcznie wybranego progów, który cecha ma przekraczać. Efekt powyższych kroków najzwyczajniej opisuje poniższy kawałek kodu w Pythonie:

```
def decision(data, sampling_rate, min_alfa, max_alfa, border):
    d = abs(numpy.fft.rfft(data))
    d[0] = 0
    s = 0
    for x in range(min_alfa * sampling_rate, max_alfa * sampling_rate):
        s += d[x]
    if s > border: # Relaks!
        return 1
    return 0
```

Możemy już teraz podać przepis na wykonanie interfejsu mózg-komputer.

Będą nam potrzebne dwie płytki PCB zgodne ze schematami [8] (np. takie jak na [9]), programator ISP, kabel PCB board-to-board connector, kabel szeregowy (ponieważ będzie trzeba przymocować jedną jego końcówkę do płytki cyfrowej, a drugą podłączyć do komputera, polecamy dwa kable – w jednym uciąć jedną końcówkę i zostawić końcówkę żeńską szeregową, drugi szeregowy do podłączenia tamtego do komputera – może być z dwiema męskimi końcówkami szeregowymi lub z męską końcówką szeregową i wejściem do portu USB, w zależności od tego, jakie porty ma nasz komputer), baterijka 9 V, komputer, najlepiej z systemem operacyjnym Linux, 3 elektrody EEG, pasta przewodząca, np. TEN20, gaziki, spirytus rektyfikowany lub salicylowy, torebka landrynek, roztwór soli fizjologicznej oraz woltomierz.

Elektrody należy przygotować w zależności od tego, jaki mają wtyk, tak aby dało się je podłączyć do pinów wystających z płytki. Włożyć elektrody do roztworu soli fizjologicznej i pozostawić, aby moczyły się podczas dalszych przygotowań. Płytkę analogową i cyfrową należy połączyć kablem PCB board-to-board connector. Kablem szeregowym podłączyć płytkę cyfrową do komputera. Wgrać na mikrokontroler na płytce cyfrowej firmware [4], używając programatora oraz przeznaczonego do tego oprogramowania, np. PonyProg. Zaaplikować elektrody na głowę – zaczynając od elektrody odpowiadającej za uziemienie. Przetrzeć głowę spirytusem w miejscu, gdzie będzie naklejona elektroda, nabrać na główkę elektrody (do wklęsłej części) znaczącą ilość pasty przewodzącej i nakleić na głowę. Pasta ma właściwości klejące, powinno być jej na tyle dużo, aby elektroda trzymała się dobrze na głowie. Elektrody polecamy przykleić w następujących pozycjach według uniwersalnego systemu oklejania, zwanego 10-20 (w Wikipedii można znaleźć linki do grafik przedstawiających pozycje elektrod w tym systemie): uziemienie – Fz, kanały – O1, O2. Zmierzyć opory na stykach elektrod ze skórą, przykładając jedną pałeczkę woltomierza do końcówki elektrody GND (uziemienie), a drugą do końcówki innej elektrody. Opory powinny mieć wartość kilku kiloomów, w przypadku wartości przewyższających 10 kiloomów należy dokładniej przetrzeć skórę spirytusem, użyć więcej pasty przewodzącej i ponownie zaaplikować elektrodę. Podłączyć elektrody do odpowiednich pinów na płytce analogowej (kanał1, kanał2 oraz uziemienie). Podłączyć do płytki cyfrowej zasilanie z baterijki 9 V. Uruchomić oprogramowanie do zbierania sygnału, wyświetlić sygnał. Zadowoleni z sukcesu możemy zjeść landrynki.

- [1] witryna projektu Open EEG: <http://openeeg.sourceforge.net/>  
<http://openeeg.sourceforge.net/doc/modeeg/modeeg.html>
- [2] [http://openeeg.sourceforge.net/doc/modeeg/modeeg\\_building.html](http://openeeg.sourceforge.net/doc/modeeg/modeeg_building.html)
- [3] <http://www.olimex.com/gadgets/index.html>
- [4] <http://openeeg.sourceforge.net/doc/modeeg/firmware/modeeg-p3.c>  
<http://openeeg.sourceforge.net/doc/modeeg/firmware/modeeg-p2.c>
- [5] <http://code.google.com/p/openbci/source/browse/#1svn/trunk/openbci/amplifiers>
- [6] <http://openeeg.sourceforge.net/doc/sw/>
- [7] <http://code.google.com/p/openbci/>
- [8] <http://openeeg.sourceforge.net/doc/modeeg/modEEGdigital-v1.0.png>  
<http://openeeg.sourceforge.net/doc/modeeg/modEEGamp-v1.0.png>
- [9] <http://www.olimex.com/gadget>