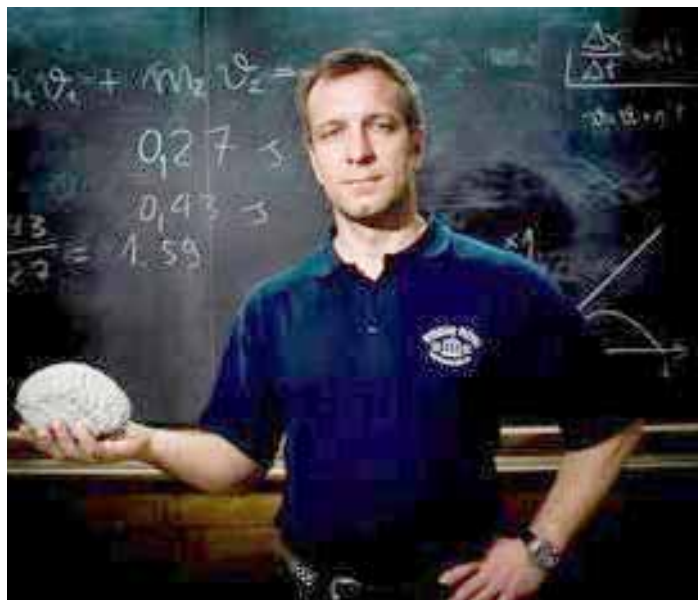


## INTERFEJS: MÓZG – KOMPUTER

Prof. Piotr J. Durka



Rozwój technologii jest od dawna przedmiotem zachwytów: możemy coraz więcej, szybciej i taniej. Internet i komputery oferują niewyobrażalny róg obfitości, z którego jednak nie potrafimy do końca czerpać. Szybkość przetwarzania i dostępu do informacji rośnie w ogromnym tempie: już dzisiaj kupujemy „do domu” komputery wykonujące w ciągu sekundy miliardy operacji i łączą internetowe przesyłające w sekundę setki tysięcy znaków. Ale wciąż nie potrafimy w ciągu sekundy napisać więcej niż 3-4 litery – nie więcej, niż sto lat temu na maszynie do pisania. Szybkość komunikacji człowieka z maszyną rośnie niezmiernie powoli.

**M**oże po prostu za tym postępowaniem nie nadążamy? Normalny człowiek nie jest w stanie tego wszystkiego do końca zrozumieć. Chyba ostatnim okresem, kiedy każdy człowiek naprawdę rozumiał narzędzia, którymi się posługuje, było Średniowiecze. Ale to nie zmienia faktu, że postęp technologii powinien nam służyć, a nie wpędzać w kompleksy. Dlatego nie będziemy się w tym eseju ekscytować bezradnością starszych pokoleń („pokaż Babci, jak się czyta esemesy”) ani też tym, jaki procent Polaków potrafi przeczytać ze zrozumieniem instrukcję obsługi. Technologie są tworzone przez nas dla nas i mają nam służyć – czyli robić to, co chcemy. Tylko nie zawsze udaje się naszą wolę tym bezmyślnym maszynom przekazać. Najczęściej nie udaje się wtedy, kiedy tego najbardziej potrzebujemy. I znowu nie będziemy tutaj przytaczać znanych wszystkim przykładów, kiedy raport „nie chce się wydrukować” w ostatniej chwili. Są jeszcze gorsze sytuacje – są ludzie, którzy stracili możliwość komunikacji ze światem zewnętrznym.

### Interfejs

Ta kalka angielskiego *interface* gości oficjalnie w naszym języku od ponad dekady. **Oznacza zwykle styk różnych systemów, które mają się komunikować.** Nas interesuje sytuacja, w której jednym z tych systemów jest człowiek.

Sterowanie urządzeniem bardziej skomplikowanym od kija nie jest dla człowieka w pełni intuicyjne ani naturalne, dlatego obsługi urządzeń musimy się uczyć. Ale nauka nie jest naszą ulubioną rozrywką, więc cieszymy się, że pół miliarda samochodów ma podobnie działające kierownice i pedały gazu, a miliard komputerów ma podobny układ liter na klawiaturach. Jeśli już mowa o komputerach, to nie tylko klawiatury, ale przede wszystkim myszka, gładzik lub ekran dotykowy: klikanie, rozciąganie i przesuwanie stają się głównym sposobem komunikacji. Graficzny interfejs użytkownika, do którego przyzwyczyli nas współczesne systemy operacyjne, jest dość jednolity: okna, ikonki i rozwijane menu zastą-

piły na dobre wpisywanie magicznych zaklęć z linii poleceń. Obsługa nowoczesnych programów jest już na tyle intuicyjna, że mało kto zagląda do instrukcji... chwileczkę, czyli jednak *intuicyjna*? Tak, intuicyjna – ale tylko dla człowieka, który wcześniej nauczył się obsługiwać kilkanaście innych, podobnych programów. Nie znaczy to, że średniowieczny rycerz (albo nawet mnich), pozostawiony z nienacką sam na sam z komputerem, miałby szansę samodzielnie dojść do wniosku, że najlepiej będzie sprawdzić czy mamy połączenie z Internetem, a potem poczytać newsy na jakimś portalu, żeby się zorientować, co się wokół dzieje. Dzisiaj dla większości z nas to zupełnie naturalne rozwiązanie, bardziej oczywiste niż próba wyjrzenia za okno.

Nauczyliśmy się lepiej lub gorzej z maszynami komunikować, ale powolny postęp w tej komunikacji staje się poważnym ograniczeniem w korzystaniu z dobrodziejstw technologii. Może jednak maszyny nas po prostu przerastają?

Czym możemy się posłużyć, żeby kontrolować przynajmniej to, co sami stworzyliśmy?

## Jak to działa: od mózgu przez mięśnie do świata

W mózgu mamy ok. 1 000 000 000 000 neuronów, każdy z nich tworzy do 10 000 połączeń z innymi. Po tych połączeniach płyną niewielkie prądy, które przekazują pobudzenia między neuronami. Jeśli suma pobudzeń docierających do któregoś z neuronów będzie odpowiednio duża, zacznie on również rozsyłać impulsy pobudzające lub hamujące inne neurony.

Tak powstają myśli i intencje, które dalej przekazujemy do świata zewnętrznego. Naturalnymi pośrednikami, przekuwającymi te intencje w czyny, są **motoneurony** i mięśnie. Każdy świadomy ruch, zmarszczenie brwi czy głośny wydech powietrza (czasem układający się w słowa) jest najpierw programowany dzięki kolektywnej pracy grup neuronów, a potem przekazywany do siłowników (mięśni) przez przewody sterujące (motoneurony). Taki schemat wykształciła ewolucja, do niego przystosowywały się nasze mózgi od milionów lat. Dopiero ostatnie stulecia zmieniły zasadniczo rolę mięśni: z ostatecznego wykonawcy ruchów zaplanowanych w mózgu stały się pośrednikiem w wydłużonym łańcuchu sterowania, w którym pojawiły się takie elementy dodatkowe jak joystick, kierownica, mysz, czy klawiatura – wciąż sterowane mięśniami. A jeśli mięśnie odmówią posłuszeństwa?

## Choroby neurodegeneracyjne

**Stwardnienie zanikowe boczne (ALS) to choroba, w której motoneurony stopniowo przestają działać.** W skrajnej postaci pacjent traci kontrolę nad wszystkimi mięśniami, nie może się poruszać a jednocześnie nie jest w stanie w żaden sposób komunikować się ze światem zewnętrznym. Ale mózg funkcjonuje normalnie, chory myśli i czuje. Dzięki postępowi medycyny – sztucznemu oddychaniu i karmieniu paliatywnemu – potrafimy podtrzymywać procesy życiowe, ale mimo postępu wciąż nie potrafimy zapewnić tym pacjentom możliwości komunikacji. Skoro mózg pozostaje nienaruszony, to jedyną drogą pozostaje odczyt intencji bezpośrednio z mózgu, bez pośrednictwa mięśni – do niedawna domena science-fiction.

## Interfejsy mózg-komputer

Ich celem jest *uwolnić mózg z ograniczeń nałożonych przez ciało i umożliwić mu używanie wirtualnych, elektronicznych i mechanicznych narzędzi do kontrolowania świata fizycznego. Tylko za pomocą myśli.*<sup>1</sup> To marzenie możemy uznać za definicję dziedziny, na wszelki wypadek dodając *bez pośrednictwa mięśni*. Wszak jeśli dozwolimy na udział mięśni, to interfejsem mózg-komputer staną się też myszka i klawiatura.

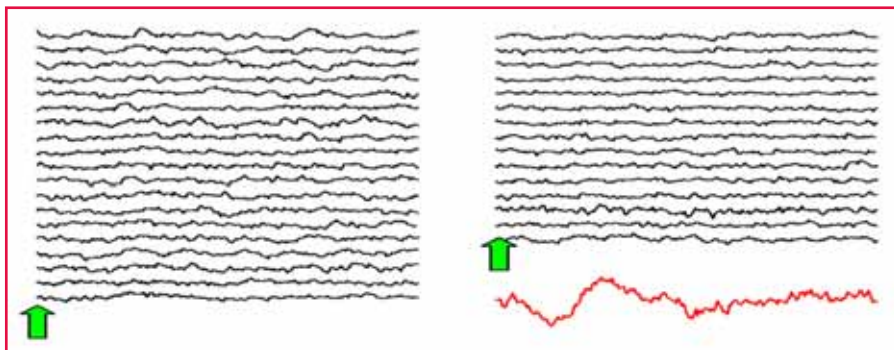
## Potencjały wywołane

Najprostsze metody realizacji interfejsów mózg-komputer opierają się na potencjałach wywołanych. Cóż to takiego? Popatrzmy najpierw na przykładowy zapis elektroencefalogramu (EEG), czyli różnicy potencjałów z dwóch elektrod umieszczonych na głowie:



Rys. 1. Elektroencefalogram (EEG), czyli ślad czynności elektrycznej mózgu mierzony z powierzchni głowy. Zielone strzałki oznaczają momenty wystąpienia kolejnych bodźców.

Zielone strzałki oznaczają momenty wystąpienia powtarzającego się bodźca, na przykład błysku światła, na który zwracamy uwagę. Na pierwszy rzut oka nie widać w sygnale odpowiedzi – zobaczymy ją wyraźnie (czerwona linia) dopiero, gdy uśrednimy kilkadziesiąt fragmentów EEG (czarne linie), z których każdy zaczyna się w momencie wystąpienia kolejnego bodźca:



Rys. 2. Czarne krzywe: kolejne, 1-sekundowe odcinki EEG wycięte z sygnału, którego część przedstawiono na rys. 1, ustawione jeden pod drugim w taki sposób, że moment wystąpienia bodźca wypada zawsze na początku odcinka. Czerwona krzywa – ich średnia, czyli potencjał wywołany.

Na powyższym rysunku (nr. 2) czarne linie to sekundowe odcinki kolejnych odpowiedzi na pojedyncze wystąpienie bodźca, a czerwona krzywa to ich średnia. Widać na niej wspomniany potencjał P300, czyli dodatni (**positive**) załamek widoczny ok. 300 milisekund (0,3 sekundy) po bodźcu. Najciekawsze jest to, że w potencjałach wywołanych widać bezpośrednie korelaty procesu uwagi

**Prof. PIOTR JERZY DURKA** jest fizykiem, kierownikiem Zakładu Fizyki Biomedycznej Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. Autor kilkadziesiątu artykułów w polskich i zagranicznych magazynach naukowych oraz między innymi książek „Matching Pursuit and Unification in EEG Analysis”, „Internet. Komputer. Cyfrowa Rewolucja”, „Cyfrowy Świat: jak to działa”. Bierze udział w pracach International Neuroinformatics Coordination Facility, koordynuje pierwsze na świecie studia Neuroinformatyki od poziomu licencjatu otwarte w roku 2009 na Wydziale Fizyki UW.

selektywnej: jeśli uśrednimy odcinki wycięte od momentu wystąpienia tych bodźców, na które nie zwracamy uwagi, to nie będzie widać załamka. W ten sposób komputer może, wyłącznie na podstawie zapisu EEG, odróżnić, na który bodziec zwracamy uwagę a na który nie. Czyli możemy wybierać migające na przemian symbole za pomocą koncentrowania na nich uwagi, czyli samej aktywności mózgu – bez pośrednictwa mięśni.

*Uzbrojeni w znajomość tej teorii, zgodnie z hasłem „fizyk potrafi wszystko”, zabraliśmy się z kolegami z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego za przygotowanie pierwszego w Polsce pokazu BCI, opartego właśnie na P300. Jak widać na zdjęciu (po lewej rys. YYY1), ze złamaną ręką po drobnym wypadku motocyklowym byłem najlepszym kandydatem na „pacjenta”, więc wpatrywałem się w migające literki (a nawet całe rzędy i kolumny), koncentrując się na tej jednej wybranej, którą chciałem napisać – żeby mój mózg wygenerował ten nieszczęsny potencjał P300, który miał być odczytany przez komputer. Ale nic z tego nie wychodziło, termin pokazu się zbliżał, a koledzy bezczelnie zaczęli sugerować, że to wina mojego mózgu, a nie oprogramowania. W desperacji postanowiłem udowodnić, że to jednak oni coś namieszali, i zacząłem dokładnie liczyć wystąpienia docelowej literki – w algorytmie mieliśmy na początek wpisanych aż 15 powtórzeń. I wtedy... wszystko zaczęło działać. W ten sposób dowiedzieliśmy się, na czym polega koncentracja uwagi, którą ogromnie wspomaga liczenie ilości wystąpień bodźca, na którym chcemy się skoncentrować.*

*Po tych doświadczeniach wiedzieliśmy już, że znacznie lepiej działać w zespole interdyscyplinarnym – dzisiaj pracujemy wspólnie z psychologami, informatykami i lekarzami. Dość szybko okazało się też, że do dogonięcia czołówki światowej potrzebne będzie stabilne finansowanie tych badań. Odpowiednie ministerstwa RP, zmieniając w międzyczasie nazwy, odrzucały mój wniosek sześć razy z rzędu (plus bezskuteczne odwołanie do ministra), nie kwestionując bynajmniej światowego poziomu naukowego wnioskodawców oraz faktu, że była to w owym czasie jedyna w kraju grupa zajmująca się tymi problemami. Uratował nas w końcu właśnie światowy poziom naukowy.*

Jako wybitni specjaliści w dziedzinie analizy EEG zostaliśmy zaproszeni do udziału w finansowanym przez UE projekcie BRAIN (BCIs with Rapid Automated Interfaces for Nonexperts, <http://brain-project.org>). Stabilne finansowanie z unijnych pieniędzy pozwoliło na przemyślenie się do kolejnego sposobu implementacji BCI, zwanego SSVEP od „Steady State Visual Evoked Potentials”, czyli potencjałów wzrokowych stanu ustalonego. Działają one podobnie, acz trochę inaczej niż P300: jeśli patrzymy na światło migające 20 razy na sekundę, to w korze wzrokowej pojawiają się oscylacje o częstotliwości dokładnie 20 Hz. Ale ciekawie robi się dopiero wtedy, gdy w polu widzenia migają dwie lampy z różnymi częstotliwościami. Pomimo, że patrzymy na obie, w korze wzrokowej odtwarza się częstość z którą miga ta lampa, o której w danej chwili *myślimy*. Skonstruowanie opartego na tym zjawisku BCI, to już „bułka z masłem” – każda cyferka miga

z inną częstotliwością, myślimy o tej, którą chcemy wybrać, a komputer odnajduje w EEG odpowiadającą jej częstość.

Jest tylko jeden problem. Miganie literek kilkakrotnie na sekundę można uzyskać na ekranie komputera. Tak jest najwygodniej, bo wtedy możemy dowolnie zmieniać napisy czy ikonki, które migają i tworzyć dynamiczne menu optymalnie dopasowane do sytuacji i zastosowania, do których przyzwyczaili nas interfejsy komputerów. Ale zdecydowanie lepiej byłoby używać częstości wyższych, rzędu chociaż 30-40 herców, bo nie są one męczące dla oczu (kilkanaście herców przypomina popsutą świetlówkę) i nie grożą wywołaniem ataku fotoepilepsji, jak japońskie filmy z Pokemonami. Niestety wyższych częstości nie da się, z przyczyn technicznych, stabilnie uzyskać na ekranie komputera, więc w dotychczasowych interfejsach opartych o SSVEP diody pojawiały się naokoło monitorów, na których wyświetlano menu – trochę jak klawisze w bankomacie, co nie jest bardzo wygodne w użyciu.

**Ten właśnie problem rozwiązaliśmy pierwszy na świecie, realizując skądinąd prosty pomysł: matrycę diód (LED), migających stabilnie z wybranymi częstotliwościami, ustawiliśmy za ekranem LCD, na którym wyświetlaliśmy zmienne symbole opisujące dostępne funkcje.**

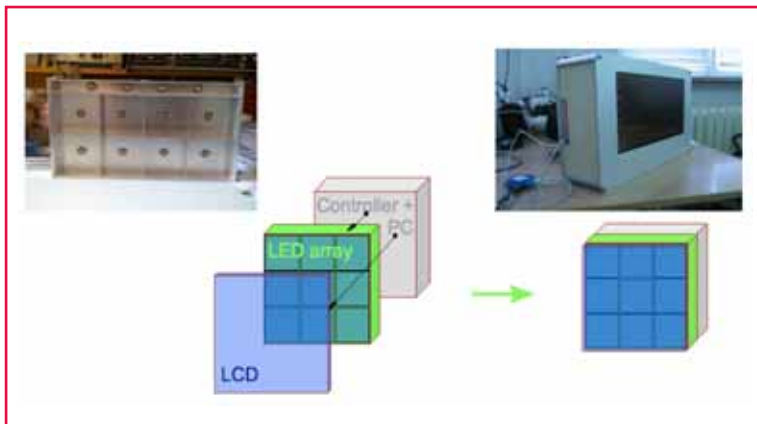
### Wyobrażenia ruchu

W powyższej historii przewinięły się dwa najpopularniejsze i najprostsze paradygmaty BCI, oparte o wzrokowe potencjały wywołane. Powinniśmy czuć pewien niedosyt: w zasadzie



Rys. 3. Po lewej – pierwszy w Polsce publiczny pokaz interfejsu mózg-komputer, na wykładzie inauguracyjnym Letniej Szkoły Fizyki w czerwcu 2008, Wydział Fizyki UW. Po prawej – migawka z wykładu 28 maja 2009, na którym po raz pierwszy prezentowaliśmy nowe w skali światowej Urządzenie BCI (pierwszy prototyp).





Rys. 4. Opracowane na Wydziale Fizyki UW BCI Appliance (Urządzenie BCI, por. <http://bci.fuw.edu.pl>)



Rys. 5. Prezentacja Urządzenia BCI (BCI Appliance) na konferencji prasowej w Ministerstwie Gospodarki 2011.08

interfejs działa, informacja jest faktycznie przekazywana z mózgu bez pośrednictwa mięśni – dla osób sparaliżowanych to już bardzo dużo – ale mieliśmy nadzieję na coś w miarę bezpośrednio tłumaczącego myśli na rozkazy, a nie długotrwałe wpatrywanie się w migające symbole.

Jest jeszcze trzeci paradygmat, oparty o wykrywanie w EEG sygnałów związanych z planowaniem ruchu – w tym również ruchu wyobrażanego, niekoniecznie wykonywanego. Niestety jest to niezmiernie skomplikowane od strony matematycznej – albo też na szczęście, bo również w tej dziedzinie mamy w Polsce światowe osiągnięcia. Ich opis niestety wykracza poza ramy tego eseju, więc pozostaniemy przy krótkim podsumowaniu: BCI oparte o wyobrażenia ruchu (ang. *motor imagery*, w żargonie czasem ERD/ERS od nazwy efektu obserwowanego w EEG) działają w sposób bardziej naturalny od pozostałych. Na przykład wyobrażenie ruchu prawą ręką możemy przypisać do komendy skrętu w prawo, a ruchu stopą – do przyspieszenia. Ale przed ich użyciem konieczne są często tygodnie treningu, duża ilość elektrod umieszczanych jednocześnie na głowie i skomplikowane algorytmy matematyczne.

## Neuromarketing czy niepełnosprawni?

Kolejne pokazy interfejsów mózg-komputer oraz nagłaśnianie sukcesów Zespołu (rys. 3, 5) rozbudziły **nadzieje wielu niepełnosprawnych czekających na przełom, który choć częściowo pomógłby im wyrwać się z pie-**

**kła zamknięcia.** Po początkowych sukcesach zaczęliśmy sobie uświadamiać, że mogą minąć lata, zanim nasze osiągnięcia pozwolą pomóc osobom znajdującym się w tragicznym stanie. Jednocześnie byliśmy świadomi, że w wielu przypadkach stosowanie stosunkowo drogiej, skomplikowanej i podatnych na błędy systemów BCI nie jest rozwiązaniem najwłaściwszym, a na pewno nie najprostszym. BCI jest jedyną szansą dla ludzi w stanie całkowitego zamknięcia (ang. *completely locked-in state*). Jednak jeśli chory może kontrolować jakąkolwiek aktywność, np. oddech czy ruch oka, to w oparciu o tę czynność mięśniową możemy stworzyć szybszy i stabilniejszy, a potencjalnie również tańszy, interfejs.

W przypadku osób, które mogą poruszać oczami doskonałym urządzeniem do komunikacji może być okulograf (ang. *eyetracker*). Eyetracking jest technologią znaną od lat, wykorzystywaną głównie w neuromarketingu – umożliwia na przykład obiektywne badanie, na który element reklamy kierujemy wzrok najpierw i gdzie patrzymy najdłużej. Taka wiedza daje wymierne korzyści finansowe w postaci optymalizacji reklam, etykiet itp. elementów, które mają przyciągać wzrok klientów. Ale można też urządzenie przeprogramować tak, żeby za spojrzeniem podążał po ekranie kursor, co umożliwi sterowanie komputerem tak jak myszką – czyli komunikację. Niestety czule okulografy, dostosowane do badań psychologicznych tego typu, kosztują po kilkadziesiąt tysięcy złotych, co nie jest problemem dla firm wykonujących badania neuromarketingowe, ale jest problemem dla niepełnosprawnych w Polsce.

Rozwiązanie problemu pojawiło się przypadkiem. Kilka miesięcy temu trafiliśmy na stronę <http://eyewriter.org>, na której międzynarodowa grupa inżynierów i programistów z kilku firm i fundacji (głównie w USA) dzieli się wynikami wspólnego przedsięwzięcia, w ramach którego skonstruowali dla chorego na ALS artysty eyetracker, wykorzystując do tego zwykłą kamerę od konsoli PS3. W dwa tygodnie złożyliśmy pierwsze podobne urządzenie (rys. 6). Oprogramowanie zostało zunifikowane z rozwijanym wcześniej systemem OpenBCI – koszt części nie przekroczył 200 zł.

**Okulografy dla niepełnosprawnych będą próbowali konstruować już od przyszłego roku studenci w ramach laboratoriów neuroinformatyki. Specjalność neuroinformatyka na Wydziale Fizyki UW, otwarta w 2009 roku, to pierwsze w świecie studia kształcące neuroinformatyków od poziomu licencjatu,** których program odpowiada światowym trendom dzięki udziałowi w pracach International Neuroinformatics Coordination Facility (<http://incf.org>).

*Studenci uczą się między innymi rejestracji i analizy sygnałów bioelektrycznych. Koszt licencji potrzebnych do korzystania z tego typu programów komputerowych to dziesiątki tysięcy dolarów, ale na UW, po raz pierwszy w świecie, studenci korzystają ze specjalnie przygotowanych systemów na licencjach GPL i podobnych - mogą legalnie analizować i modyfikować ich kod źródłowy, a po zakończeniu studiów wykorzystywać je bez dodatkowych kosztów w przyszłej działalności komercyjnej. Eyetracker jest prostszym niż BCI systemem, który studenci*



Rys. 6. Pierwszy prototyp okulo grafu wykonanego na UW z użyciem kamarki od konsoli PS3 i oprogramowania OpenBCI.

mogą już na poziomie licencjatu opanować w całości i twórczo modyfikować. Planujemy, że już w przyszłym semestrze, w ramach praktyk zawodowych, będą mogli dostosowywać oprogramowanie złożonych przez siebie na zajęciach okulo grafów do potrzeb pierwszych niepełnosprawnych. Sama konstrukcja okulo grafu jest stosunkowo prosta. Bardzo trudne jest natomiast dopasowanie algorytmów do potrzeb konkretnej osoby, bo z każdą niepełnosprawnością wiążą się inne problemy – mogą na przykład występować rozmaite spasty czności, czyli niekontrolowane zaburzenia ruchowe. Uczymy się dopiero rozwiązywać takie problemy z „prawdziwego życia” i tak dopasowujemy program studiów, żeby wszechstronnie wykształceni neuroinformatycy umieli sobie z nimi radzić nie gorzej niż my.

### Wolne, jak w słowie „wolność”, legalnie i za darmo

Najważniejszym i najdroższym elementem w opisanej powyżej konstrukcji interfejsów mózg-komputer i okulo grafów, które miałyby docelowo być dostępne dla niepełnosprawnych w Polsce, jest wolne od zobowiązań licencyjnych oprogramowanie. Osiągnięcie wyników naukowych na światowym poziomie możliwe byłoby zapewne w oparciu o zakupy pojedynczych licencji i programy udostępniane za darmo do celów naukowych. Ale taka „czysto naukowa” działalność nie miałaby bezpośredniego przełożenia na potencjał gospodarczy i możliwość wdroże-

nia opracowanych technologii w krótkim czasie – a czas do wdrożenia bywa kluczowy w nowych i dynamicznie rozwijających się dziedzinach. Stworzenie od podstaw systemu, który można będzie udostępniać potrzebującym bez każdorazowego ponoszenia kosztów licencji na rzecz podmiotów zagranicznych – jak to ma miejsce np. w przypadku komercyjnych okulo grafów – wymagałoby najpierw milionowych nakładów na jego rozwój. Tak wygląda sytuacja w klasycznym modelu zamkniętego oprogramowania komercyjnego, ale warto wiedzieć, że istnieje jeszcze inna droga.

Opisane powyżej błyskawiczne postępy możliwe były dzięki wykorzystaniu bogactwa bibliotek oprogramowania (czyli niejako klocków, z których można mniej lub bardziej bezpośrednio składać większe systemy) dostępnych na zasadach otwartych licencji (GPL i podobne, por. <http://www.gnu.org/licenses>). Z programów udostępnianych na zasadach takich licencji mogą korzystać wszyscy zainteresowani za darmo – również do zastosowań komercyjnych. Warunkiem tych licencji jest też dostępność kompletnego kodu źródłowego programów. Umożliwia to każdemu ich modyfikację i dostosowywanie do konkretnych zadań, a licencja wymaga, żeby wszystkie te usprawnienia udostępniać na takich samych warunkach – dlatego właśnie baza oprogramowania dostępnego na tych licencjach jest nieustannie wzbogacana.

Na tym przykładzie widać ogromny potencjał, jaki dla rozwoju gospodarki w Polsce niesie ze sobą wykorzystanie wolnego oprogramo-

wania nie tylko w nauce. Zamiast ponosić ogromne koszty korzystania w administracji publicznej z komercyjnych pakietów biurowych i systemów operacyjnych, można wykorzystać dostępne za darmo na otwartych licencjach pakiet Open Office i system operacyjny GNU/Linux. A jeśli – co mało prawdopodobne – okaże się, że brak w nich jakiejś potrzebnej funkcji, to dzięki możliwości ingerencji w kod źródłowy można zatrudnić polskich informatyków, aby dostosowali programy do konkretnych potrzeb. W przypadku programów komercyjnych takie modyfikacje są zwykle explicite zabronione według warunków licencji.

Uświadomienie tego potencjału leży w interesie podatników i społeczeństwa, ale niekoniecznie musi być zbieżne z interesem korporacji czerpiących ogromne zyski z udzielania licencji na oprogramowanie. Dlatego kampanie reklamowe finansowane przez producentów oprogramowania ograniczają się zwykle do nieco przesadzonego porównywania nielegalnego kopiowania programów komercyjnych (co logicznie kojarzyć należy z kradzieżą) z piractwem, czyli zbrojnym rabunkiem łączonym z zabójstwami i porwaniami. Za to w kampaniach uświadamiających społeczeństwu znaczenie poszanowania obowiązujących w RP praw chroniących licencje na oprogramowanie komercyjne, przy każdym ostrzeżeniu o nielegalności naruszania takich praw powinna się pojawiać informacja o dostępności darmowych (i wolnych, jak w słowie „wolność”) programów, które często nie ustępują funkcjonalnością programom komercyjnym, a ponadto umożliwiają legalną modyfikację, analizę działania i dostosowywanie do konkretnych potrzeb. **A może trzeba by zacząć od tego, żeby w szkołach uczyć o edytorze tekstów, a nie MS Word, i o arkuszu kalkulacyjnym, a nie o Excelu?** Przecież na odkurzacz nie mówimy już „elektrolux” ani „hoover”. Ale to już osobny temat.

Zdj. prof. Piotr J. Durka

<sup>1</sup> *Liberate the brain from the constraints imposed by the body and make it capable of using virtual, electronic and mechanical tools to control the physical world. Just by thinking.* Tłum. aut., z książki *Beyond Boundaries: The New Neuroscience of Connecting Brains with Machines---and How It Will Change Our Lives*, © 2011 by Miguel Nicolelis