

GDZIE NAS ZAPROWADZĄ

NEURONAUKI

Włodzisław Duch

Gdzie nas zaprowadzą **neuronauki**? Czego się można spodziewać po rozwoju badań zmierzających do zrozumienia sposobu działania naszych mózgów i współpracy z innymi mózgami? Pozytywne efekty takich badań radykalnie zmienią nasze rozumienie siebie i świata, w którym żyjemy. Coraz lepiej potrafimy zarówno podglądać mózgi, jak i bezpośrednio na nie wpływać. W nie tak dalekiej przyszłości dzięki połączeniu technologii informatycznych, neurobiologii i nauk kognitywnych rozwinię się z tego neurokognitywna technologia, a jej wpływ na społeczeństwo trudno jest obecnie sobie wyobrazić.

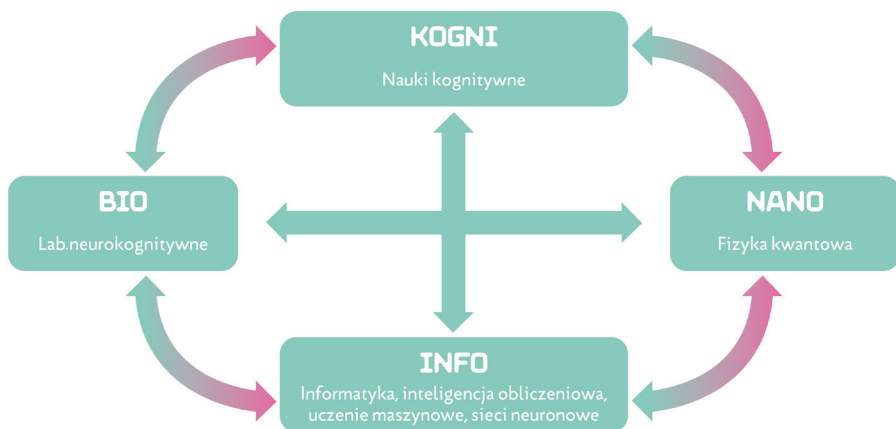
Wszystko zaczyna się od fizyki kwantowej, która dała podstawy nanotechnologii. Wyrosłe z tej dziedziny technologie leżą u podstaw robotyki kognitywnej, samochodów bez kierowcy, osobistych asystentów – smartfonów – i znajdują obecnie niezliczone zastosowania. Jak w pełni możemy wykorzystać potencjał rozwojowy człowieka? Bez odpowiednich badań się tego nie dowiemy.

Jest oczywiście wiele innych obszarów, których rozwój zmieni radykalnie świat, np. Internet Rzeczy, biologia syntetyczna, hodowla organów lub programowanie DNA. Już teraz są języki programowania DNA, które pozwalają na modyfikacje sekwencji łańcucha DNA i wstawianie innych fragmentów, tworząc organizmy o określonych cechach. Skupię się jednak głównie na badaniach, które wpływają na rozumienie natury ludzkiej, a więc przede wszystkim na tym, co wiemy o naszych mózgach. Wiek XXI ma być wiekiem mózgu i zaczyna to już być widoczne. Woody Allen nazwał mózg swoim drugim ulubionym organem, ale jest to organ, od którego wszystko zależy – w tym samo „lubienie” i odczuwanie wszelkich przyjemności.

Człowiek jest niesłychanie złożonym systemem komórkowo-bakteryjnym. Składamy się z 50 bilionów komórek, czyli 50 000 miliardów! Warto sobie uświadomić, jak wielka jest nasza złożoność biologiczna. Porównanie jej ze złożonością programu sterującego androidem, takim jak na przykład Bina48, pokazuje, jak prymitywne są urządzenia, które potrafimy zbudować. W każdej z 50 bilionów komórek mamy łańcuch DNA o długości około dwóch metrów. W sumie mamy więc 100 miliardów kilometrów DNA w naszym ciele! Cały ten mechanizm zależy od genomu zawierającego zaledwie 20 000 genów. Prawie tyle samo genów ma mały nicien *C elegans*, w którym są zaledwie 302 neurony. Niektóre komórki żyją tylko kilka dni, inne całe nasze życie. Nasz organizm ciągle się zmienia, jest nieustannym procesem, a nie trwałą strukturą.

Sam ludzki mózg ma prawie 100 miliardów neuronów, które łączą się za pomocą około biliarda synaps, mamy więc prawie milion miliardów połączeń powstających i zmieniających się z upływem lat. W mózgu niemowlaka w pierwszych miesiącach po urodzeniu w ciągu jednej sekundy tworzy się od jednego do trzech milionów nowych połączeń. Te połączenia tworzą się po to, żeby dziecko mogło zrozumieć, że to, co dotyka, widzi i słyszy, zawiera powtarzalne elementy, daje się zinterpretować, ma jakiś sens i umożliwia interakcję z otoczeniem.

A jak wygląda życie umysłowe tak złożonego organizmu? Trudno to zmierzyć. W nielicznych przypadkach życie wewnętrzne jest dość bogate, ale często może być schematyczne. Zwierzęta na poziomie komórkowym nie są dużo mniej złożone niż ludzie, ale ich możliwości myślenia są często ograniczone, reakcje instynktowne, a więc oparte na utrwalonym schemacie. Ich organizmy wykazują bardzo złożone interakcje ze środowiskiem, potrafią przetrwać w trudnych warunkach, sprawnie się poruszać, zdobywać pożywienie i przetwarzać je na niezbędną energię. Nie wymaga to jednak świadomych procesów umysłowych, chociaż ich mózgi sterują wewnętrznymi procesami organizmów oraz kontrolują oddziaływanie z otoczeniem w niezwykle złożony sposób. Tylko ludzie potrafią tworzyć wyrafinowane modele mentalne.



W tej sytuacji powszechnie sądzono, że zbudowanie sztucznej inteligencji jest mało prawdopodobne, bo myślenie wymaga niezwykle złożonego mózgu i maszyna nie będzie do tego zdolna. Dużym szokiem w 1995 roku była więc wygrana w warcaby programu Chinook z wielokrotnym mistrzem świata doktorem Tinsleyem. W 1997 roku szachiści nie mogli uwierzyć, że program Deep Blue wygrał z Garri Kasparowem, wielokrotnym mistrzem świata. W 2011 roku program IBM Watson wygrał w grę Jeopardy! (znanej u nas jako Va banque) z dwoma mistrzami. Ten sukces stał się podstawą działalności firmy IBM, która skoncentrowała się na informatyce kognitywnej – komputery mają robić rzeczy, które dotychczas zarezerwowane były tylko dla ludzi. W pewnych obszarach sztuczna inteligencja już zostawiła nas daleko w tyle. Jeśli chodzi o szachy, istnieją obecnie programy znacznie przewyższające możliwości ludzi, mamy więc w tym obszarze superinteligencję komputerową. Co więcej, są programy, które nie korzystają z bogatej wiedzy szachowej, ale osiągają najwyższy poziom, ucząc się samemu od zera tylko na podstawie obserwacji rozkładu figur na szachownicy. Wydawało się, że Go jest najtrudniejszą grą i osiągnięcie mistrzowskiego poziomu zajmie jeszcze wiele lat. Tymczasem na początku 2016 roku program Google AlphaGo, oparty na **algorytmach**

głębokiego uczenia, sieciach neuronowych, pobił wielokrotnego mistrza świata Lee Sedola 4:1. Sztuczna inteligencja zrobiła więc ogromne postępy i pojawia się w zastosowaniach komercyjnych. Widać to zwłaszcza w dziedzinie rozpoznawania struktur, sygnałów, mowy lub obrazów. Rozpoznawanie znaków drogowych jest standardem w wielu modelach samochodów, samodzielne parkowanie również, a wkrótce powszechna stanie się pełna automatyzacja prowadzenia auta. Ludzie nie powinni kierować pojazdami, bo na skutek wypadków samochodowych w ciągu roku ginie 1,2 miliona osób, a kilkadziesiąt milionów zostaje trwałymi kalekami. Czemu boimy się terrorystów, a nie boimy się samochodów?

Technologie rozwijają się niezwykle szybko. Roboty chirurgiczne takie jak Da Vinci wymagają, by lekarz operował sam dostępnymi narzędziami, ale pojawiają się już pierwsze roboty wykonujące operacje samodzielnie. STAR (Smart Tissue Autonomous Robot) przeprowadza złożone operacje (na razie tylko na zwierzętach) prawie całkiem bez kontroli człowieka. Wkrótce może się więc okazać, że chirurg nie widzi tak precyzyjnie i nie ma tak precyzyjnych ruchów ręki jak robot. Zarówno w abstrakcyjnym myśleniu, jak i umiejętnościach wymagających manualnej sprawności w połączeniu z myśleniem maszyny

Istnieją obecnie programy znacznie przewyższające możliwości ludzi, mamy więc w tym obszarze super-inteligencję komputerową

zaczynają nas przeganiać. W 2015 roku Google otrzymał patent na metodę i system komputerowy rozwoju osobowości robota. W 2000 roku w futurologicznym artykule przewidywałem, że do końca tej dekady pojawi się zapo-

trzebowanie na projektantów osobowości robotów. Osobowość robota jest potrzebna, by był on bardziej uniwersalny i wchodził w interakcje z człowiekiem. Nie jest to aż takie trudne, jak się wydaje. Dużo trudniejsze dla robotyki są wymagania dotyczące samych materiałów, zasilań, sprawności i szybkości ruchów autonomicznego robota, sterowania pozwalającego przeżyć w złożonym środowisku. Wyzwaniem jest zrobienie sztucznego szczura, który przetrwałby we wrogim otoczeniu. Do tego trzeba współdziałania wielu funkcji. Zbudowanie robota, który zwycięży z ludźmi w ping-ponga, będzie znacznie łatwiejsze niż zbudowanie zwycięskiej drużyny piłki nożnej.

W czym więc ludzie są nadal lepsi od robotów? Desperacko poszukujemy czegoś, co powoli nam zachować nasze poczucie wyższości nad maszynami. Panuje powszechna opinia, że roboty mogą logicznie myśleć, ale nie mogą odczuwać żadnych emocji. Neurofizjolodzy zajmujący się badaniami nad mózgiem wiedzą jednak, że wzbudzanie i regulacja emocji jest prostsza niż przetwarzanie informacji związanych z językiem i symbolicznym myśleniem. Język jest funkcją ewolucyjnie najpóźniejszą. Już pojawiają się roboty odczytujące nasze emocje i reagujące w emocjonalny sposób. Jest np. pluszowa foczka Karo, jest Cuddler, jest Huggler, są inne roboty znajdujące zastosowanie w terapii osób z depresją, autyzmem lub przeznaczone do pomocy osobom starszym, które mają problemy z komunikacją. Na początku XXI wieku rozwinęła się nowa gałąź sztucznej inteligencji, jaką jest informatyka afektywna lub przetwarzanie afektywne (*affective computing*). Powstał szereg zaawansowanych robotów takich jak Nexi albo zbudowany we Wrocławiu EMYS, który ma zaawansowaną mimikę i może reagować emocjonalnie na podstawie analizy obrazu z kamery lub sygnału akustycznego. Analizując

Zarówno w abstrakcyjnym myśleniu, jak i umiejętnościach wymagających manualnej sprawności w połączeniu z myśleniem maszyny zaczynają nas przeganiać

takie informacje, można zrozumieć, czy w głosie jest ironia lub sarkazm, czy ktoś się naśmiewa, czy mówi poważnie.

Najtrudniejsze zadanie to sprawne posługiwanie się językiem. Wymaga to nie tylko znajomości pojęć i powiązań między nimi, ale wyobrażenia sobie

pewnego modelu świata, tego, jak on wygląda. Jeśli usiłujemy coś tłumaczyć na język obcy np. za pomocą Google Translate, to algorytm, mając do dyspozycji dużo tekstów w obu językach, będzie próbował przetłumaczyć pojedyncze słowa, a potem dopasować fragmenty z języka, na który tłumaczymy, powielając dłuższe frazy. Efekt może być czytelny, ale nie pozwala to na uchwycenie sensu tam, gdzie potrzebne jest głębsze rozumienie, które większość ludzi ma w swojej głowie. W oparciu o takie technologie da się tworzyć odpowiadające na pytania chatterboty. Wyposażenie ich w pamięć, w której możliwe jest zapisanie historii życia danej osoby, sprawi, że takie boty, androidy lub humanoidalne roboty będą mogły zachować pewne aspekty osobowości tej osoby. Takie algorytmy mogą tworzyć szablony, pisać scenariusze do

seriali albo podsumować wiadomości telewizyjne lub prasowe. Robi to na przykład Associated Press, oferując automaty do opisu podsumowującego zdarzenia na giełdzie i różne dane liczbowe. Da się w ten sposób zrobić automatyczny komentarz zdarzeń rozsyłany przez chatterbota. Nie wystarczy to jednak do zrozumienia mowy na poziomie pozwalającym przejść test Turinga. Część osób jest naiwna i daje się nabrać, bo nigdy nie miała do czynienia z chatterbotem, z którym można porozmawiać, ale to się zmienia – Siri, Google Now, Cortana oraz Viv obecne są w milionach smartfonów. Boty próbują poprowadzić dyskusję w kontrolowaną przez siebie stronę, bo mają skrypt, a w nim gotowe odpowiedzi na wybrane tematy – wystarczy wylapać kluczowe słowa z rozmowy, by zrobić wrażenie inteligentnego dyskutanta lub odpowiedzieć sensownie na pytanie. Nie jest to oparte na pogłębionym modelu świata. Wydaje się, że rozumienie świata wymaga aktywności w nim, działania, manipulacji swoim ciałem i znajduwanymi obiektami, zbudowania modelu środowiska i „ja w tym świecie”. Dzięki temu nazwy, czyli symbole

W czym więc ludzie są nadal lepsi od robotów? Desperacko poszukujemy czegoś, co pozwoli nam zachować nasze poczucie wyższości nad maszynami

wskazujące na obiekty w świecie, zaczynają nabierać sensu przez skojarzenia, zrozumienie sposobów interakcji z przedmiotami i ludźmi, zrozumienie skutków własnego oddziaływania na otoczenie.

Analiza tekstów i mowy jest oczywiście ciągle udoskonalana i pozwala odpowiedzieć na coraz więcej pytań, jak widać po wygranej programu IBM Watson. Napisana przez program komputerowy książka *Dzień, w którym komputer napisał powieść* wysłana na japoński konkurs Hoshi Shinichi Literary Award przeszła do drugiego etapu oceny. Today Robot Project zmierza do stworzenia oprogramowania, które będzie rozwiązywać egzaminy wstępne na uniwersytety japońskie. Na 950 możliwych punktów w zestandaryzowanych egzaminach w Japonii program Today uzyskał już 511, a średnia krajowa to 411. Twórcy tego projektu mają nadzieję, że za parę lat program zda nawet wyjątkowo trudne egzaminy na Uniwersytet Tokijski. Chodzi o przejście egzaminów z różnych dziedzin, np. z historii lub literatury.

Już w latach sześćdziesiątych pojawiły się programy algebry komputerowej, które rozwiązały dużo lepiej zadania z matematyki na egzaminach wstępnych na MIT, niż robili to studenci.

Spójrzmy teraz nieco dalej w przeszłość. Human Brain Project⁸ jest realizowany już trzeci rok. Jego celem jest zebranie informacji o tym, jak działają mózgi, oraz zrobienie supersymulatora komputerowego, który pozwoli nam wszystkie informacje zintegrować w jednym dużym systemie i prowadzić badania mózgow na takim symulatorze. Będzie to miało wielkie znaczenie medyczne, ale też wielkie znaczenie dla rozwoju sztucznej inteligencji. W ramach Brain Initiative w Stanach Zjednoczonych powstało bardzo wiele interesujących projektów mapowania aktywności mózgu. Chińczycy, Koreańczycy i Japończycy ogłosili też swoje projekty na wielką skalę, również Brazylia rozpoczęła duży projekt w tej dziedzinie. Na tym tle Polski zupełnie nie widać, nie ma ani jednego większego programu na ten temat.

W ramach tych wielkich projektów planowane jest stworzenie nowych algorytmów sztucznej inteligencji. Projekt MICRONS (*Machine Intelligence from Cortical Networks*⁹) ma stworzyć nową generację algorytmów uczenia maszynowego działających na poziomie ludzkich kompetencji. Kora mózgu ma zaledwie dwa do czterech milimetrów grubości, jest więc bardzo cienka, można w niej wyróżnić kolumny korowe o średnicy ułamka milimetra. Te kolumny zawierają mikroobwody. Zrozumienie ich działania może pomóc przenieść podobne funkcje do komputerów. Dysponujemy szczegółowym modelem takiej kolumny, opracowanym w ramach projektu Blue Brain¹⁰. Ogólna idea jest taka, by poprzez odwrotną inżynierię mózgu wyciągnąć informacje o organizacji neuronowego przetwarzania informacji i przenieść je do modelu osobowości użytkownika smartfonu. Sprzężenie mózg-komputer będzie na tyle ścisłe, by stworzyć awatar przejawiający cechy osobowości swojego właściciela, znający dokładnie jego upodobania i sposób rozumowania. Dysponując rozległą wiedzą o świecie i szybkim dostępem do informacji, taki awatar stanie się niejako rozszerzeniem swojego właściciela, będzie mu ciągle doradzał, coraz bardziej uzależniając go od siebie. Celem MICRONS jest również naprawa uszkodzonych mózgow. Wiedząc, co i gdzie się w mózgu popsulo, można będzie wszczepić tam nowe neurony, a właściwie przekształcające się w nie

⁸ www.human-brainproject.eu;
Projekt flagowy Unii Europejskiej w ramach Future and Emerging Technologies (FET), z budżetem miliarda euro, zakrojony na 10 lat.

⁹ www.iarpa.gov/index.php/research-programs/microns-baa

¹⁰ bluebrain.epfl.ch

komórki macierzyste. Dzięki temu pojawiają się nowe połączenia naprawiające brakujące funkcje, a być może dodające mózgowi całkiem nowe możliwości.

Na razie nasze sprzężenie z komputerami nie jest tak silne. Często używamy GPS lub map Google w smartfonach do orientacji przestrzennej, ale jeszcze nie do doradzania w bardziej złożonych sprawach. Powoli jednak prawie wszystko, co będziemy chcieli zrobić, będzie w coraz większym stopniu sterowane przez algorytmy. Już teraz docierające do nas informacje są wynikiem analizy informacji zebranych na nasz temat. Robi to Google, Amazon oraz Netflix: wyszukiwarki znają nasze upodobania i podsuwają odpowiednie reklamy; gdy pożyczamy filmy w serwisie Netflix, analizowane są nasze poprzednie wybory

Już teraz docierające do nas informacje są wynikiem analizy informacji zebranych na nasz temat. Robi to Google, Amazon oraz Netflix: wyszukiwarki znają nasze upodobania i podsuwają odpowiednie reklamy; gdy pożyczamy filmy w serwisie Netflix, analizowane są nasze poprzednie wybory i podsuwane są filmy o potencjalnie interesującym nas charakterze

i podsuwane są filmy o potencjalnie interesującym nas charakterze. Jest to też naturalna funkcja inteligentnego telewizora. Robią to banki, udzielając kredytów, robi giełda, na której liczą się mikrosekundy w dostępie do centralnego serwera. Robią to sieci społecznościowe, gdzie pojawia się coraz więcej botów. Sprzedawcy zatrudniają bota do zachwalania swoich produktów i pisania komentarzy polecających je w sieci. To jest powszechne, więc coraz bardziej jesteśmy sterowani przez algorytmy.

W efekcie raz wpuszczeni we własną niszę jesteśmy w nią wciągani coraz głębiej, izolując się od innych zainteresowań, poglądów, grup społecznych.

W końcowej fazie realizacji jest obecnie projekt SYNAPSE¹¹, realizowany od 2008 roku przez duże konsorcjum koordynowane przez IBM. Po raz pierwszy pojawiła się szansa konstrukcji obwodów scalonych, które mogą działać tak jak synapsy w mózgu. Synapsy, kiedy przepływa przez nie seria impulsów, zmieniają swoją przewodność. Dzięki temu nowa informacja zmienia fizycznie mózg, do którego dociera. Gdyby nic się nie zmieniało, nie zostałyby żaden ślad w pamięci. Zrobienie obwodów scalonych, które w wyniku przepływu prądu przez złącza zmieniają

¹¹ www.artificialbrains.com/darpa-synapse-program

fizycznie swoją strukturę, upodabnia elektronikę do biologicznych sieci neuronów – można by to nazwać neuroniką. Stało się to możliwe dzięki *memory store*, nanotechnologii oraz zrozumieniu działania kolumn i mikroobwodów kory mózgu. Na jeden sztuczny neuron w procesorze TrueNorth opracowanym w ramach SYNAPSE przypada około 500 tranzystorów, a więc model neuronu nie jest prymitywnym przełącznikiem logicznym, tylko dość złożoną strukturą wysyłającą impulsy. Dzięki nanotechnologii wyprodukowano neuroprocesory złożone z miliona sztucznych neuronów. Jeden taki neuroprocesor ma złożoność odpowiadającą 5,5 miliardów tranzystorów, ale jest 10 000 razy bardziej energooszczędny niż konwencjonalne procesory. Superkomputery potrzebują megawatów mocy, a taki moduł zużywa tyle, co mała żarówka. Po raz pierwszy w historii mamy więc sztuczny system o złożoności zbliżającej się do ludzkiego mózgu. Musimy się jeszcze nauczyć, jak wykorzystywać takie chipy. Wkrótce pojawią się w naszych telefonach i trenowane za pomocą algorytmów głębokiego uczenia nadawać się będą do złożonego rozpoznawania struktur, głosu, zdjęć, wideo, abstrakcyjnych zależności, a więc widzenia, słyszenia i rozumienia. Żeby jednak tak się stało, musimy wiedzieć, co w mózgu się z czym łączy i jak przetwarzają informację różne podsieci. Szef projektu SYNAPSE Dharmendra Modha opisał w 2010 roku, jak wygląda połączenie 383 hierarchicznie zorganizowanych obszarów mózgu makaka. Jest tu struktura modułowa, nie wszystko łączy się ze wszystkim. Z funkcjonalnego punktu widzenia gdy słyszymy, rozumiemy, używamy języka w mózgu, ma miejsce bardzo złożona komunikacja, prawie wszystkie obszary przesyłają między sobą informację, uzupełniają ją o zapamiętane skojarzenia umożliwiając rozpoznawanie i interpretację dochodzących sygnałów. W eksperymentach badających postrzeganie, pamięć lub uwagę funkcjonalne połączenia nie są tak rozległe, aktywne podsieci są mniejsze. Podobną – chociaż oczywiście bardziej złożoną – architekturę funkcjonalną ma mózg ludzki. Zwykle jeden obszar zaangażowany jest w realizację wielu funkcji. Większość złożonych czynności możliwa jest dzięki współpracy wielu obszarów mózgu.

Determinizm genetyczny jest powszechnie znany. Osoba urodzona z mikrocefalią lub wrodzonym wodogłowiem mając poważnie uszkodzony mózg, nie zostanie błyskotliwym uczniem. Mniej znany jest

neuronalny determinizm: wyniki różnych doświadczeń życiowych, prania mózgu, całej naszej osobistej historii powodują, że kształtuje się nasza funkcjonalna budowa mózgu i w efekcie myślimy tak, jak możemy. Jeśli ktoś wychowa się w specyficznym środowisku, bardzo trudno będzie mu zmienić swoje zachowanie lub poglądy. Nie można myśleć inaczej, niż pozwalają na to procesy zachodzące w mózgu. By zmienić sposób myślenia, trzeba doprowadzić do fizycznych zmian w mózgu. Można to zrobić powoli, mogą to spowodować elektrowstrząsy lub silne impulsy pola magnetycznego. Wówczas wzrasta neuroplastyczność i mózg jest w stanie się zmienić. Ze względów etycznych nie stosuje się jednak takich procedur.

Metafora przydatna dla zrozumienia działania umysłu to uznanie, że

umysł jest cieniem aktywności mózgu.

Po raz pierwszy w historii mamy więc sztuczny system o złożoności zbliżającej się do ludzkiego mózgu

Ten cień aktywności chcemy w różny sposób badać, podglądając, jak łączą się ze sobą neurony w mózgu, jak rozpyływa się energia neuronalna. Zdarzenia,

w szczególności traumatyczne, formują nowe ścieżki połączeń między neuronami rozgałęziające się na wszystkie strony. Neurony mają po 10 000 połączeń wejściowych, tworzą niesłychanie skomplikowany system. Dlaczego łączą się one tak a nie inaczej, skąd biorą się nasze nawyki i wspomnienia? W dialogach indyjskiego króla Milindy i mędrca Nagaseny sprzed 1600 lat tłumaczy się powstawanie nawyków przez analogię do spływania wody: zwykle płynie tam, gdzie już wielokrotnie płynęła, utartymi ścieżkami, tylko czasami tworząc nowe koryta. Znamy piękne przykłady erozji skał. Mamy podobną erozję w materii mózgu: w ten sposób powstają ścieżki funkcjonalnych połączeń, po których płyną elektryczne impulsy. Mózg musi utworzyć 100 miliardów połączeń, w związku z tym co sekundę tworzą się miliony nowych, a wzmacniają się stare. W efekcie dziecko w drugim roku życia zwykle dobrze rozpoznaje i rozumie słowa, potrafi chodzić i kontrolować swoje ruchy. Pozwala mu na to struktura połączeń w jego mózgu. By to lepiej zrozumieć, trzeba zrobić szczegółową analizę, podzielić mózg np. na 1000 regionów, zbadać, jak rozchodzi się aktywacja dzięki połączeniom pomiędzy tymi regionami. Na tym polega analiza ludzkiego konektomu, czyli zbioru wzajemnych połączeń różnych obszarów mózgu.

Neurochipy będziemy mogli połączyć, wzorując się na konektomie, tak by cały system działał podobnie jak nasze mózgi. Kiedy wyobrażamy sobie jakiś obraz, aktywność kory wzrokowej wzrasta. Im bardziej żywa jest wyobraźnia wzrokowa danej osoby, tym silniej pobudza się jej pierwotna kora wzrokowa. Jest to „neuronalna przestrzeń” mózgu, w której tworzą się obrazy. Analizując pobudzenia w tej przestrzeni, można dokonać rekonstrukcji mierzonych sygnałów, zamienić je na dźwięki i obrazy, a więc zobaczyć, jakie wyobrażenia bądź intencje pojawiają się w głowie. Kiedy próbujemy podpatrywać myśli bezinwazyjnie, nie otwierając czaszki, patrzymy jakby przez grubą ścianę. Sygnał EEG się rozmywa. Czasami można zajrzeć do mózgu (u ludzi tylko poważnie chorych) i położyć siateczkę elektrod np. na korę słuchową. Dzięki temu na podstawie lokalnej aktywności grup neuronów można odtworzyć reakcje kory słuchowej na dźwięki mowy lub wyobrażoną mowę, wrażenia głosu wewnętrznego. Częstotliwość impulsów, czas, miejsce i energia są informacją, którą chcemy przekształcić na dźwięki i obrazy, przewidywać, jak będzie wyglądać aktywacja mózgu dla różnych słów. Podglądanie umysłu za pomocą neuroobrazowania próbuje się robić od wielu lat z coraz lepszym skutkiem. Ostatnio w pracowni Jacka Gallanta z Uniwersytetu w Berkeley opracowano atlas semantyczny¹² pokazujący, jakie rozkłady pobudzeń mózgu odpowiadają różnym pojęciom, np. nazwom urzędzeń, zwierząt, dróg, miejsc oraz wielu innych kategorii rzeczy. Za każdym razem, gdy myślimy o określonym pojęciu, tworzy się specyficzna aktywacja mózgu, nadająca pojęciom sens, wywołująca skojarzenia pomagające w interpretacji pojęć, umożliwiającą określone działanie. Dzięki temu, że możemy podglądać za pomocą metod neuro-

¹² Atlas semantyczny Gallanta, <http://gallantlab.org>

Metafora przydatna dla zrozumienia działania umysłu to uznanie, że umysł jest cieniem aktywności mózgu

obrazowania procesy w układzie wzrokowym i w całym mózgu, możliwe staje się odtworzenie obrazu, który mamy w głowie. Świat umysłu przestaje już być całkowicie zamknięty dla zewnętrznego

obserwatora. Można dzięki temu do pewnego stopnia określić, o czym człowiek śni. Zapisując aktywność mózgu, budzimy znajdującego się w skanerze człowieka, by zapytać, co mu się śniło. Po dłuższej serii eksperymentów możemy na podstawie samej aktywności mózgu wybrać najbardziej prawdopodobny z 20 tematów obrazów sennych. Nie jest

to zbyt dokładne, ale czaszka rozmywa obraz. Dokładniejsze informacje otrzymamy z siateczki elektrod leżącej bezpośrednio na korze mózgu. Urządzenie nazwane obrazowo „brama mózgu”¹³ (BrainGate: Turning Thought into Action) pozwala zbierać informacje z kory mózgu i sterować urządzeniami znacznie bardziej precyzyjnie niż za pomocą elektrod EEG umieszczonych na głowie. Naprawdę dobry sygnał możliwy jest przez umieszczenie elektrod na korze lub we wnętrzu mózgu. Na razie robi się to tylko w celach medycznych, ale w przyszłości będzie

Mózg musi utworzyć 100 tysięcy miliardów połączeń, w związku z tym co sekundę tworzą się miliony nowych, a wzmacniają się stare

można w ten sposób zwiększyć możliwości swojej percepcji i sterowania myślami, bo powoli takie technologie stają się coraz bezpieczniejsze. Co dzieje się w naszych mózgach, kiedy oglądamy film lub czytamy książkę?

Rozpoznajemy postacie, ich działania, przyczyny, miejsce, czas itp. Możemy badać krok po kroku za pomocą funkcjonalnego rezonansu, jak mózgi przetwarzają taką informację. Mózg dokonuje segmentacji strumienia zdarzeń, tak jakbyśmy robili edycję filmu. Przy każdej zmianie sytuacji następuje szybka zmiana konfiguracji aktywacji mózgu. Co ciekawe, kiedy fakty próbujemy przedstawić za pomocą formuł logiki, aktywacje są odmienne, niż gdy nadaje się im werbalną interpretację, zachowując strukturę logiczną relacji pomiędzy obserwacjami. A to oznacza, że można długo uczyć się logiki, ale niestety nie przełoży się to w codziennym życiu na lepsze rozumienie złożonych sytuacji.

Możemy też odczytywać intencje człowieka, obserwując działanie jego mózgu. Co ja chciałem zrobić? Poszedłem do kuchni, ale zapomniałem po co, widocznie miałem jakąś intencję. Zwykle się o tym dowiaduję, gdy już zaczynam działać. Dzięki neuroobrazowaniu możemy dostrzec te intencje w części przyśrodkowej kory mózgu. Jest ona dobrze schowana w głębi mózgu. Pobudzenia tego obszaru związane są z myślami o sobie, kiedy myśli dotyczące refleksji o sobie powstają spontanicznie. Jeśli dostanę dwie liczby i mam je w myślach dodać, odjąć lub pomnożyć, to zanim podejmę decyzję, obserwator zewnętrzny może dostrzec aktywację w przedniej części kory zakrętu obręczy. To pobudzenie pozwala przewidzieć, co zrobię, chociaż sam jeszcze o tym nie wiem. Jak pokazały liczne eksperymenty jeszcze w latach sześćdziesiątych, obserwując

pobudzenie kory ruchowej, można przewidzieć, czy człowiek naciśnie guzik, około pół sekundy wcześniej, niż on sam sobie uświadomi, że właśnie chciał to zrobić. Gdybyśmy jednak obserwowali aktywność płatów przedczołowych, w których tworzą się pierwotne plany działania, można to zrobić nawet 10 sekund wcześniej. Czasami tworzą się plany alternatywne i w ostatnim momencie wybiera się jeden z nich. Staję się świadomy tego, co chcę zrobić (co zaplanował mózg), i odczuwam wolę działania dopiero w momencie, w którym kora ruchowa, przesyłająca informację do mięśni, jest dostatecznie pobudzona. „Ja” to jeden z procesów realizowanych przez mózg, proces skojarzony z twierdzeniem, że mózg jest mu posłuszny. Wszystkie dotychczasowe doświadczenia pokazują jednak, że to nie „ja” ma mózg, tylko mózg tworzy „ja”. Kiedy mówię o tym studentom, omawiając kwestię wolnej woli, zwykle pada zdanie: „W takim razie to nie jest moje działanie, to robi mój mózg”. To dobra wymówka, gdy zrobimy coś głupiego. Nie zawsze zwracam na to uwagę, ale właśnie podrapałem się po głowie i wcześniej

Wszystkie dotychczasowe doświadczenia pokazują jednak, że to nie „ja” ma mózg, tylko mózg tworzy „ja”

nie pomyślałem: „Teraz chcę podnieść rękę, by podrapać się po głowie”, zrobiłem to w sposób spontaniczny. Czy to ja zrobiłem, czy nie ja, tylko mój mózg? Chyba jednak ja, chociaż nie

w świadomy, przemyślany sposób. To, co robi „mój” mózg, jest moim działaniem. Nasz problem z rozumieniem relacji ciało – umysł polega na tym, że zaczynamy wyobrażać sobie, że moje „ja” to jest jakieś wyidealizowane wyobrażenie o sobie, a nie to, co robi mózg lub cały organizm. „Ja” wydaje się tylko jakimś abstrakcyjnym wyobrażeniem, modelem siebie, który zwykle jest fałszywy. Przecież czasem robię rzeczy, których nie akceptuję, nie trzymam się na przykład moich noworocznych postanowień. Ja taki nie jestem – jeśli zrobiłem coś brzydkiego, to nie ja, tylko coś mnie do tego podkusiło. A może jednak ja taki jestem i chociaż chciałbym się zmienić, to mi się to nie udaje? Jeśli to zrozumiemy, może to być początkiem drogi, która pozwoli nam się zmienić. Z tego wynika, że wykorzystując EEG albo sygnały pochodzące bezpośrednio z kory mózgu lub elektrod zaimplementowanych głębiej w mózgu, możemy sobą w świadomy sposób sterować, zmieniać swoje zachowanie. Informację o aktywności mózgu trzeba przetworzyć w bardzo

skomplikowany sposób za pomocą algorytmów uczenia maszynowego, by wydobyć z niej nasze intencje. Dzięki temu możemy sterować sobą, ale też sterować robotem, który może być zupełnie gdzie indziej i zachowywać się tak jak ja, bo będzie sterowany informacjami odczytanymi z mojego mózgu. Tak właśnie działają interfejsy mózg-komputer. Jest

„Ja” to jeden z procesów realizowanych przez mózg, proces skojarzony z twierdzeniem, że mózg jest mu posłuszny

to ostatnio bardzo popularna technika. Sterowany myślami samochód przejechał już w 1997 roku przez całe Stany Zjednoczone, a potem także przez Syberię. Jest to bardziej wyczyn spor-

towy niż naukowe osiągnięcie. Wymaga to ciągłej uwagi, większej niż podczas normalnego prowadzenia samochodu. Takie interfejsy są na razie bardzo prymitywne, pozwalają rozróżnić niewiele poleceń, np. „lewa”, „prawa”, czasem „w przód”, „w tył”, „stop”.

Chcielibyśmy lepiej odczytywać stany mózgu, powiązać je ze stanami psychiki, czyli przejść od tego, co jest obiektywnie mierzalne, do tego, co jest subiektywnie odczuwane. To, co się dzieje w mózgu, opisuje dość dobrze neurodynamika. Mamy obecnie coraz więcej ciekawych metod, takich jak NIRS, PET, fMRI i inne, pozwalających badać aktywność mózgu. Problem w tym, że nie potrafimy dobrze opisać swojego stanu wewnętrznego. Fenomenolodzy w latach dwudziestych próbowali to zrobić, ale trudno te próby uznać za udane. Ostatnio pojawiły się prace filozofów umysłu, np. Erica Schwitzgabela, który napisał książkę *Zawiloci świadomości*¹⁴. Pokazuje w niej sytuacje, w których ludzie nie potrafią powiedzieć, co właściwie czują, nie wiedzą, jak opisać naszą „przestrzeń psychologiczną”. Próbuję od 20 lat znaleźć dobry sposób na to, by powiązać neurodynamikę ze zdarzeniami w przestrzeni psychologicznej. Da się to zrobić w stosunkowo prostych przypadkach dotyczących percepcji kolorów, kształtów lub pewnych prostych decyzji, natomiast ogólnie rzecz biorąc, jest to trudne. Mamy problem z dostępem i opisem procesów toczących się w naszych mózgach.

Edukacja zmienia strukturę mózgow studentów i uczniów. Można metaforycznie powiedzieć, że edukacja to „rzeźbienie w mózgu”. Oczywiście pedagodzy uważają, że niczego takiego nie robią, patrzą na swoich uczniów na poziomie mentalnym, poziomie komunikacji symbolicznej, mówią o formowaniu się dobrych nawyków lub charakteru osoby.

¹⁴ E. Schwitzgebel, *Perplexities of consciousness*, MIT Press, 2013.

Jednak efektywne uczenie się musi zmieniać strukturę mózgu, pamięci, skojarzeń, funkcjonowania. Już przy końcu XIX wieku, zanim zaczęto mówić o neuroplastyczności, napisano dwie książki o relacji edukacji do „rozwoju centralnego układu nerwowego”. Zasadnicze pytanie brzmi: czy można ominąć zmysły i zmieniać mózg w bezpośredni sposób? Czy mogę kogoś czegoś nauczyć, nie przekazując mu werbalnie informacji, tylko bezpośrednio formując połączenia w jego mózgu? Czy mógłbym w jakiś sposób próbować wpłynąć na to, jakie skojarzenia powstają w jego mózgu? Nie zawsze wiemy, czy to, co robimy, jest naszym działaniem. Jest wiele badań nad poczuciem sprawstwa. Mogę być przekonany, że coś nie jest moim działaniem, np. różdżka trzymana w rękach się kiwa i wydaje mi się, że porusza się sama z siebie, ja wcale na nią nie wpływam. Jednak badania pokazują, że moje mięśnie się kurczą, to ja nią bezwiednie kiwam, chociaż mam wrażenie, że tego nie robię. Mogę też być przekonany, że widzę skutki swojego działania, chociaż wcale tak nie jest¹⁵. Stymulacja polem magnetycznym płatów czołowych

Nasz problem z rozumieniem relacji ciało – umysł polega na tym, że zaczynamy wyobrażać sobie, że moje „ja” to jest jakieś wyidealizowane wyobrażenie o sobie, a nie to, co robi mózg lub cały organizm

po jednej stronie mózgu może spowodować, że zamiast wskazywać w testach równie często lewą lub prawą stronę, w 80% wybierzemy jedną z nich, nie zdając sobie sprawy, że jest to wynik stymulacji. Coś niewidzialnego może wpływać na działanie mojego mózgu, a ja mogę o tym nie wiedzieć, być prze-

konanym, że to są moje decyzje, moja wolna wola. Na razie nie da się takiej cewki wytwarzającej silne pole magnetyczne ukryć w czapce, ale w niedalekiej przyszłości może to być możliwe.

Żeby skupić uwagę, potrzebny jest wysiłek, trzeba się skoncentrować. Na czym polega koncentracja na bodźcach zmysłowych lub na abstrakcyjnym myśleniu? Odpowiednie obszary mózgu muszą być silnie pobudzone i ze sobą współpracować. Płaty przedczołowe muszą bez przerwy wysyłać pobudzające sygnały, np. „nie śpij” do kory słuchowej lub kory wzrokowej. Kot w napięciu czeka przy dziurze na mysz, a neurony w jego mózgu pracują na podwyższonych obrotach (wysyłają około 20 impulsów na sekundę), tak, by szybko postrzegać i działać. Kiedy pojawi się jakiś ruch lub dźwięk, neurony zaczynają wysyłać 40 impulsów na

¹⁵ Wiele eksperymentów na temat poczucia sprawstwa opisał D. Wegner w *The Illusion of Conscious Will*, MIT Press, 2002.

sekundę, dzięki czemu bardzo szybko i precyzyjnie kora wzrokowa współpracuje z korą ruchową – postrzeganie i następujące po nim działanie jest niemal natychmiastowe. Kot się nie zagapi, w jego mózgu nie ma miejsca na zbyt wiele jednoczesnych procesów. Jeśli przez dłuższy czas wykonujemy obserwacje, analizujemy zdjęcia lub jedziemy samochodem, nasza uwaga się rozprasza, pojawiają się marzenia na jawie, a nawet mikroepizody snu. Pobudzanie bezpośrednio kory za pomocą zmiennego prądu może pomóc utrzymać uwagę bez większego mentalnego wysiłku. Takie stymulatory, sterowane przez smartfony, stały się ostatnio popularne i są reklamowane zarówno po to, by lepiej skupiać uwagę, nabrać mentalnej energii przed umysłową pracą, jak i po to, by się rozluźnić.

Krótko mówiąc, będziemy wkrótce mogli robić dość złożone rzeczy w świadomy sposób, programując swój mózg, czyli programując siebie.

Kiedy dorastamy, uczymy się siebie, opisujemy swoje reakcje, by zdefiniować, jacy jesteśmy. Obserwujemy, jak sami reagujemy i jak reagują inni ludzie na nasze zachowanie. Poznajemy siebie, zarówno obserwując przepływ informacji wewnątrz mózgu, jak i wykorzystując informację dostarczaną przez zewnętrzne środowisko.

*Mamy problem z dostępem
i opisem procesów toczących
się w naszych mózгах*

Technologie zewnętrznego sterowania oczywiście interesują wojsko. W armii amerykańskiej zestaw procedur treningu żołnierzy (Engagement Skills Trainer, czyli EST) został rozszerzony przez zastosowanie technologii Neuro-est. Jeśli mamy wytrenowanego eksperta będącego wzorem sprawności, to warto zobaczyć, jak przebiegają procesy w jego mózgu, który obszar współpracuje z którym obszarem, i spróbować wywołać w mózgu jego ucznia podobne aktywacje. Transfer umiejętności między ekspertem i uczniem wymaga identyfikacji stanów mózgu i przezczaszkowej stymulacji, by wytworzyć podobne stany. Skoro można odczytać pewne informacje z jednego mózgu i przekazać je do drugiego, to można na dużą odległość przekazać pewne wrażenia lub myśli. Tak istotnie zrobiono, przekazując alfabetem Morse'a wiadomość z jednego mózgu do drugiego. Jak na razie jest to ciekawostka o niewielkim praktycznym znaczeniu, a nie telepatyczny przekaz.

Bezpośrednia ingerencja w głąb mózgu jest możliwa tylko w przypadku poważnych problemów medycznych. Głęboka stymulacja mózgu stosowana jest w przypadku choroby Parkinsona, zaburzeń kompulsyjno-obsesyjnych, ciężkiej depresji lub nałogów. Osoby z wszczepionym stymulatorem mogą regulować jego wpływ na swoje mózgi, kiedy czują, że drżenie rąk jest zbyt duże albo pojawia się wewnętrzny przymus skłaniający ich do obsesyjnych zachowań. Oczywiście zamiast wszczepiać elektrody, lepiej byłoby użyć bezinwazyjnych metod takich jak *neurofeedback*. W mózgu zachodzi wiele procesów, których dokładnie nie znamy. Wykorzystując EEG, możemy jednak niektóre informacje odczytać i zamienić na dźwięk lub obraz. Dzięki temu uświadamiamy sobie, że nasz mózg jest np. niepotrzebnie zbyt pobudzony, myśli się rozpraszają, podczas gdy chcemy się skupić na tańcu lub improvizacjach muzycznych. Jest to nadal dość prymitywna technologia – niewiele się zmieniła od 1978 roku, kiedy napisałem o tym popu-

Takie stymulatory, sterowane przez smartfony, stały się ostatnio popularne i są reklamowane zarówno po to, by lepiej skupiać uwagę, nabrać mentalnej energii przed umysłową pracą, jak i po to, by się rozluźnić

larny artykuł *Elektronika i stresy* w tygodniku „Przekrój”. Mam nadzieję, że nasze własne badania pozwolą na rozwinięcie zupełnie nowego, znacznie bardziej efektywnego *neurofeedbacku*. Niektóre osoby z niepełnosprawnościami umysłowymi wykazują zdolności jak np. nadzwyczajną pamięć lub sprawne liczenie. Jednak ludzi obdarzonych takimi zdolnościami jest naprawdę

niewiele. Opisano zaledwie około 100 takich przypadków określanych mianem sawantyzmu. Ludzie, którzy wykazują takie cechy, nie są samodzielni życiowo, mają często IQ na poziomie 40–70 punktów, więc nie potrafią żyć bez opieki. Połowa z nich to osoby cierpiące na zaburzenia ze spektrum autyzmu. Chyba nikt by nie chciał stać się sawantem na stałe, ale czy można zdrowego człowieka tak zmienić na pewien czas? Zrobił to Allan Snyder z Uniwersytetu w Sydney w Australii. Skoro sawanci mają upośledzone mózgi, to za pomocą pola magnetycznego albo zmiennego prądu można spróbować tymczasowo wyłączyć część mózgu i zobaczyć, czy pozostała część będzie lepiej działać. Skoro energia nie rozprasza się na niepotrzebne aktywacje mózgu, powinno

być nieco lepiej. Okazało się, że rzeczywiście w pewnym stopniu to działa – część osób biorących udział w eksperymentach zaczęła nieco ładniej rysować lub sprawniej grać na komputerze. Nie działa to jednak na wszystkich, a efekty są dość słabe. Zastosowana technika nie potrafi zahamować wybranych procesów, ale działa na znaczną część mózgu. Na koniec warto zadać pytanie: czy można przenieść osobowość z jednego mózgu do drugiego? W niewielkim stopniu ludzie próbują to zrobić, tworząc na podstawie rozmów i obserwacji danej osoby model jej pamięci i specyficznych form zachowania. Utopijna inicjatywa o nazwie Projekt 2045 ma na celu doprowadzenie do pełnego transferu umysłu z mózgu do neurokomputera. Skoro już mamy neurokomputer o złożoności ludzkiego mózgu, skoro za parę lat zrobimy za jego pomocą strukturę prawdziwie mózgowopodobną, skoro na różne sposoby możemy wydobywać informacje z mózgów, czemu nie mielibyśmy spróbować przenieść swojej tożsamości do takich urządzeń? Tak powstał pomysł Korporacji Elektronicznej Nieśmiertelności (The Electronic

Immortality Corporation¹⁶), który około roku 2045 powinien to umożliwić.

Jak ten cały rozwój technologii neurokognitywnych i cyfrowego dostępu do informacji wpływa na ludzi, na ich rozumienie świata i relacje z innymi ludźmi?

Krótko mówiąc, będziemy wkrótce mogli robić dość złożone rzeczy w świadomy sposób, programując swój mózg, czyli programując siebie

Marc Prensky w znanym artykule *Cyfrowi tubylcy i cyfrowi imigranci*¹⁷ twierdzi, że dzieci wychowane w bogatym multimedialnym środowisku nie będą już zainteresowane nauką w tradycyjny, nudny sposób. Problem w tym, że prezentacje multimedialne łatwo zapamiętać, ale są to tylko epizody, zbiór faktów i wspomnień. Żeby wykorzystać je do wyciągania wniosków i systematycznego myślenia, trzeba przekształcić je w elementy pamięci semantycznej. Nie jest to łatwe i wymaga wielokrotnych powtórzeń. Tabliczki mnożenia uczymy się powoli. Wydaje się, że jest to niebezpieczne ze względu na relacje pamięci epizodycznej i semantycznej. Napisano szereg artykułów twierdzących, że na skutek zbyt łatwego dostępu do informacji coraz bardziej głupiejemy. W szczególności *The Shallows* Nicholasa Carry¹⁸ opisuje szkody, jakie internet robi naszym mózgom, sprowadzając je na intelektualne płycizny. Zmniejsza się zdolność do koncentracji, kontemplacji studiowanego

¹⁶ www.immortal.me

¹⁷ M. Prensky, *Digital Natives, Digital Immigrants*, „On the Horizon” nr 9(5), 2001.

¹⁸ N. Carr, *The Shallows: How the Internet Is Changing the Way We Think, Read and Remember*, Atlantic, 2011.

materiału, źle to wpływa na nasze zdolności poznawcze, a przeskakując z tematu na temat mózgu zmuszony jest do dużego wysiłku energetycznego. Bardzo różne obszary mózgu raz się pobudzają, a raz wyłączają, a to zużywa dużo energii. Jak powinniśmy przygotować mózgi naszych dzieci, żeby sprawnie działały w dzisiejszym świecie? Nie potrafimy dobrze kontrolować naszego zachowania, a samoregulacja jest rzeczą bardzo istotną. Nie rozumiemy tego, co naprawdę może sprawić nam na dłuższą metę radość, co powinno być dla nas ważne. Mamy problemy z pamięcią, racjonalną oceną sytuacji emocjonalnych, posiadamy złe nawyki, ograniczenia zmysłów itd. Pojawia się wiele możliwości wspomagania pracy mózgu, z których na pewno ludzie zaczną korzystać na szeroką skalę. Będzie wiele implantów wszelkiego rodzaju umożliwiających rozszerzenie zmysłów, np. soczewki, a później sztuczne oko, które będzie widzieć na dużą odległość albo też zamieni się w mikroskop lub będzie widzieć w nadfiolecie i dostrzegać bakterie. Nie ma wątpliwości, że to wszystko wkrótce będzie możliwe.

Mam nadzieję, że nasze własne badania pozwolą na rozwinięcie zupełnie nowego, znacznie bardziej efektywnego neurofeedbacku.

Powstaje więc pytanie, czy jesteśmy świadkami powstawania nowego gatunku człowieka, *homo sapiens digital*, czyli transhumanoida, który będzie miał nie tylko wzmocnione zmysły, ale i zmienione głębokie mecha-

nizmy myślenia. Ted Berger na bliskim mi University of Southern California zaczyna już teraz wszczepiać implanty¹⁹ elektroniczne do hipokampa po to, by wspomagać ludzką pamięć. Może będziemy wymieniać po kawałku fragmenty naszych mózgów i w końcu staniemy się rzeczywiście w pełni cyborgami? Dzięki temu nasze mózgi nie będą się psuły i będą ciągle udoskonalane. To jest jedna z możliwości przyszłości. Pamiętajmy, że stan mózgu nie zależy tylko od tego, co się w nim dzieje, ale przede wszystkim jest efektem sprzężenia ze środowiskiem, zdarzeniem „w świecie”. Zmiana możliwości percepcji za pomocą implantów słuchu, wzroku i innych zmysłów wpłynie na funkcjonowanie mózgu i zmieni jego sposób patrzenia na świat.

Mamy już systemy o złożoności zbliżającej się do ludzkiego mózgu i poważnie się obawiam, że stoimy przed wielkimi szansami i zagrożeniami. To może pójść w dobrą stronę, pomóc odpowiedzieć na pytania,

¹⁹ www.technology-review.com/s/513681/memory-implants

na które na razie nie mamy dobrych odpowiedzi. Jakie czynniki kształtują naturę ludzką? Co tworzy przestrzeń naszych wyobrażeń o świecie, naszych memów? Jak rozwój mózgu jest sterowany przez kulturę, w której się rozwijamy, literaturę, muzykę? Jak rozwinąć w pełni potencjał człowieka, począwszy od niemowlaków, wspomagając rozwój na każdym etapie życia? To są wszystkie sprawy, których do końca nie rozumiemy. Jednocześnie uczymy w szkole tylko faktów, a nie lepszego rozumienia siebie. Jest to błędne podejście, nie taki był ideał *paidei*, który Grecy uważali za najważniejszy w edukacji człowieka.

Jeśli zaczniemy poważnie myśleć nad rozwojem technologii, może uda się go wykorzystać do dobrych celów. Może być jednak zupełnie

Jak rozwój mózgu jest sterowany przez kulturę, w której się rozwijamy, literaturę, muzykę?

odwrotnie, ponieważ pranie mózgu, manipulacja opinią publiczną, wychowywanie fanatyków leżą w zasięgu naszych możliwości, technologii wpływających na mózgi. Przymusowe czepki

z różnych powieści science fiction, które będą mogły kontrolować zachowanie ludzi, rozpraszać ich myśli i poddawać kontroli, to już nie jest tylko fantazja, ale realne niebezpieczeństwo.