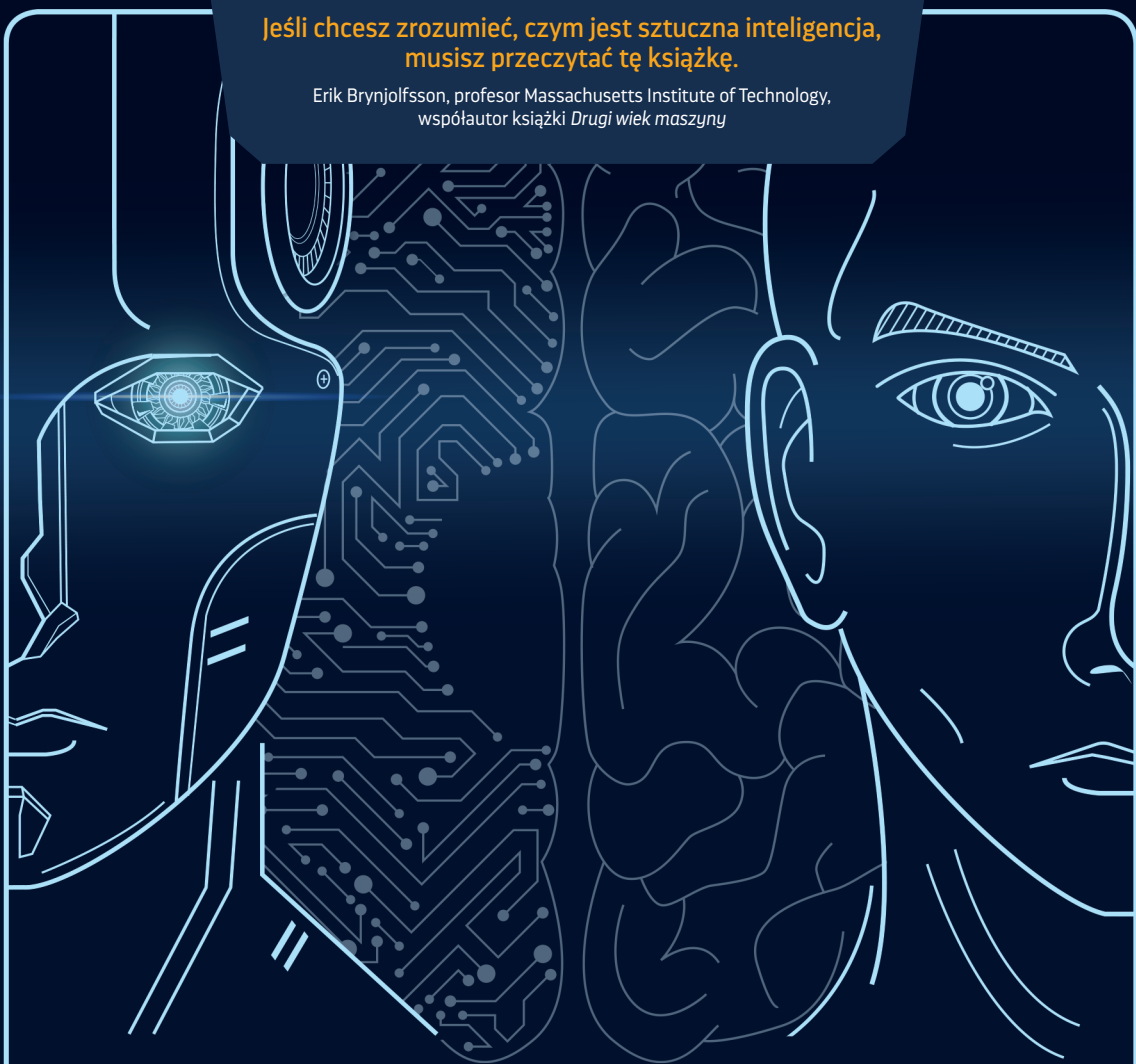


Jeśli chcesz zrozumieć, czym jest sztuczna inteligencja,
musisz przeczytać tę książkę.

Erik Brynjolfsson, profesor Massachusetts Institute of Technology,
współautor książki *Drugi wiek maszyny*



Terrence J. Sejnowski

DEEP LEARNING

GŁĘBOKA REWOLUCJA

Kiedy sztuczna inteligencja spotyka się z ludzką

wydawnictwo
poltext

DEEP LEARNING

GŁĘBOKA REWOLUCJA

Terrence J. Sejnowski

DEEP LEARNING

GŁĘBOKA REWOLUCJA

Kiedy sztuczna inteligencja spotyka się z ludzką

PRZEKŁAD
Piotr Cypryański

wydawnictwo
poltext

Tytuł oryginału: The Deep Learning Revolution

© 2018 Massachusetts Institute of Technology

All rights reserved. No part of this book may be reproduced in any form by any electronic or mechanical means (including photocopying, recording, or information storage and retrieval) without permission in writing from the publisher.

Copyright © 2019 for the Polish edition by Poltext Sp. z o.o.

Copyright © 2019 for the Polish translation by Poltext Sp. z o.o.

All rights reserved

Warszawa 2019

Wydanie I

Konsultacja naukowa: dr hab. inż. Robert Nowak, kierownik Zakładu Sztucznej Inteligencji, Instytut Informatyki, Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych, Politechnika Warszawska

Przekład: Piotr Cypryański

Redakcja: Ewa Skuza

Projekt okładki: Amadeusz Targoński, targonski.pl

Skład i łamanie: Protex

Książka, którą nabyłeś, jest dziełem twórcy i wydawcy. Prosimy, abyś przestrzegał praw, jakie im przysługują. Jej zawartość możesz udostępnić nieodpłatnie osobom bliskim lub osobiście znanym. Ale nie publikuj jej w internecie. Jeśli cytujesz jej fragmenty, nie zmieniaj ich treści i koniecznie zaznacz, czyje to dzieło. A kopiując ją, rób to jedynie na użytek osobisty.

Szanujmy cudzą własność i prawo!

Polska Izba Książki

Więcej o prawie autorskim na www.legalnakultura.pl

Poltext Sp. z o.o.

www.poltext.pl

handlowy@mtbiznes.pl

ISBN 978-83-7561-962-1

Spis treści

Przedmowa	9
Część I. Nowe spojrzenie na inteligencję	13
1. Rozwój uczenia maszynowego	15
2. Odrodzenie sztucznej inteligencji	43
3. Świt sieci neuronowych	55
4. Obliczenia wzorowane na mózgu	69
5. Wskazówki od systemu wzrokowego	85
Część II. Wiele sposobów uczenia się	103
6. Problem przyjęcia koktajlowego	105
7. Sieć Hopfielda i maszyna Boltzmannna	115
8. Wsteczna propagacja błędów	135
9. Uczenie konwolucyjne	155
10. Uczenie z nagrodą	173
11. Neuronowe systemy przetwarzania informacji	193
Część III. Oddziaływanie na naukę i technologię	203
12. Przyszłość uczenia maszynowego	205
13. Epoka algorytmów	235
14. Dzień dobry, panie Chips	245
15. Informacje wewnętrzne	261
16. Świadomość	275
17. Natura jest mądrzejsza od nas	287
18. Głęboka inteligencja	305

Podziękowania	313
Polecana literatura	319
Glosariusz	325
Przypisy	331
Indeks	373

Przedmowa

Jeśli ktoś korzystał z funkcji rozpoznawania głosu w telefonie z Androidem lub z usługi Tłumacza Google w internecie, to miał kontakt z sieciami neuronowymi¹, które były trenowane za pomocą głębokiego uczenia maszynowego*. W ciągu kilku ostatnich lat głębokie uczenie wygenerowało dla Google'a na tyle duże zyski, że pokryło koszty wszystkich futurystycznych projektów w Google X, łącznie z samojeżdżącymi pojazdami, okularami Google Glass i Google Brain². Google było jedną z pierwszych firm internetowych, które opowiedziały się za głębokim uczeniem. W 2013 roku zatrudniło Geoffreya Hintona, ojca głębokiego uczenia. Inne firmy na wyścigi próbują za nimi nadążyć.

Ostatnie osiągnięcia w rozwoju sztucznej inteligencji zawdzięczamy inżynierii odwrotnej mózgu. Algorytmy uczenia dla modeli warstwowych sieci neuronowych są inspirowane sposobem, w jaki neurony komunikują się ze sobą i są modyfikowane przez doświadczenie. Wewnątrz sieci złożoność świata jest przekształcana w kalejdoskop wewnętrznych wzorów aktywności, które są składnikami inteligencji. Modele sieci, nad którymi pracowałem w latach 80. XX wieku, były niewielkie w porównaniu z dzisiejszymi, które mają miliony sztucznych neuronów i głębokość dziesiątek warstw. Dokonany przez głębokie uczenie zasadniczy przełom w pracach nad najtrudniejszymi problemami sztucznej inteligencji zawdzięczamy wytrwałości, dużym zbiorom danych i znacznie większej mocy obliczeniowej komputerów.

Prognozowanie, jaki wpływ na naszą przyszłość będą miały nowe technologie, nie jest naszą najmocniejszą stroną. Kto był w stanie przewidzieć w latach 90. XX wieku, kiedy internet zaczął nabierać charakteru komercyjnego, jaki będzie miało to wpływ na przemysł muzyczny? Na firmy taksówkowe? Na

* W książce wymiennie używane jest tłumaczenie angielskiego terminu *deep learning* jako głębokie uczenie maszynowe oraz głębokie uczenie (przyj. tłum.).

prorowadzenie kampanii politycznych? Na niemal wszystkie aspekty naszego codziennego życia? Równie nieudana była próba przewidywania, w jaki sposób komputery zmienią nasze życie. Często w tym kontekście przytacza się wypowiedź Thomasa J. Watsona, prezesa IBM, który w 1943 roku powiedział, że „na światowych rynkach jest, jak sądzę, miejsce dla może pięciu komputerów”³. Szczególnie trudno wyobrazić sobie, w jaki sposób pojawiające się wynalazki będą mogły być używane w przyszłości. Wynalazcy wcale nie są na lepszej pozycji niż inni, jeśli chodzi o prognozowanie nowych zastosowań. Pomiędzy utopijnymi i katastroficznymi scenariuszami, które kreśli się dla głębokiego uczenia i sztucznej inteligencji, mieści się wiele innych możliwości, ale nawet najbardziej pomysłowi pisarze science fiction nie są w stanie odgadnąć, jakie ostatecznie będzie oddziaływanie tych zjawisk.

Pierwsza wersja książki *Deep learning. Głęboka rewolucja* została napisana w ciągu kilku intensywnych tygodni po wędrowce przez Wybrzeże Północno-Zachodnie i rozmyślanii nad fundamentalną zmianą, która niedawno zaszła w świecie sztucznej inteligencji, a której korzenie sięgają wielu dekad wstecz. To opowieść o niewielkiej grupie badaczy rzucającej wyzwanie establishmentowi świata sztucznej inteligencji, który był znacznie lepiej finansowany, i w tamtych czasach uważany za „jedyny słuszny wybór”. Błędnie ocenili, z jak trudnym problemem przyjdzie im się zmierzyć. Oparli się na domniemaniach dotyczących inteligencji, które – jak się okazało – prowadziły na manowce.

Życie na Ziemi jest pełne tajemnic, ale największym wyzwaniem wydaje się odpowiedź na pytanie, czym jest inteligencja. Natura obfituje w inteligencję, która przejawia się w wielu formach, od prostej, cechującej bakterie, po niezwykle złożoną występującą u ludzi. Każda z nich jest dostosowana do miejsca, które zajmuje we wszechświecie. Sztuczna inteligencja również będzie występować w wielu formach, które zajmą swoje konkretne miejsca w tym spektrum. Kiedy inteligencja maszynowa oparta na głębokich sieciach neuronowych osiągnie swoją dojrzałą postać, będzie mogła stanowić nową konceptualną ramę dla inteligencji biologicznej.

Deep learning. Głęboka rewolucja jest przewodnikiem po przeszłości, teraźniejszości i przyszłości głębokiego uczenia. Książka nie została pomyślana jako wyczerpująca historia tej dziedziny, a raczej jako osobiste spojrzenie na kluczowe osiągnięcia w sferze pojęciowej i wspólnotą badaczy, którzy do nich doszli. Ludzka pamięć jest zawodna i zmienia się za każdym razem, kiedy opowiadamy daną historię; proces ten nazywamy rekonsolidacją. Opowieści przedstawione w tej książce rozgrywają się na przestrzeni ponad czterdziestu

lat, i choć niektóre są dla mnie tak żywe, jak gdyby wydarzyły się wczoraj, mam świadomość, że ich szczegóły zatarły się z czasem wraz z kolejnymi powtórzeniami.

Część pierwsza książki mówi o motywacji do podjęcia prac nad głębokim uczeniem i przedstawia kontekst, który jest konieczny do zrozumienia jego genezy. Część druga opisuje algorytmy uczące w różnych typach architektur sieci neuronowych. Część trzecia omawia wpływ głębokiego uczenia na nasze obecne życie i jego możliwe oddziaływanie w nadchodzących latach. Jak jednak powiedział filozof Yogi Berra z nowojorskich Yankees: „Przewidywanie to ciężka sprawa, szczególnie w odniesieniu do przyszłości”. Ramki tekstowe zamieszczone w ośmiu rozdziałach ukazują technologiczny kontekst opowiadanej historii. Kalendaria na początku każdej z trzech części porządkują wydarzenia, które są związane z daną historią. Ich zakres obejmuje ponad sześćdziesiąt lat.

Rozdział dwunasty

Przyszłość uczenia maszynowego

Wielkimi krokami nadchodzi wiek obliczeń kognitywnych. Niedługo będziemy mieli autonomiczne samochody, które będą jeździć lepiej niż my. Nasze domy będą nas rozpoznawać, przewidywać nasze zachowania i informować nas o wizytach gości. Kaggle, serwis crowdsourcingowy kupiony niedawno przez Google'a, był organizatorem konkursu na program wykrywający objawy raka płuc na podstawie obrazów z tomografii komputerowej, w którym pula nagród wyniosła milion dolarów. Teraz na potrzeby Departamentu Bezpieczeństwa Wewnętrznego prowadzi kolejny konkurs na program do wykrywania ukrytych przedmiotów przez skanery ciała montowane na lotniskach. Tym razem z nagrodami w wysokości 1,5 miliona dolarów¹. Dzięki obliczeniom kognitywnym lekarze będą w stanie diagnozować nawet rzadkie przypadki chorobowe, podnosząc tym samym poziom opieki medycznej. Istnieje wiele zastosowań technologii podobnych do wymienionych, jak i zupełnie nowych, które czekają na odkrycie. Część miejsc pracy zniknie, ale pojawi się wiele nowych. Technologie obliczeń kognitywnych niosą ze sobą przełomowe zmiany, które będą wymagać od społeczeństwa czasu na ich przyjęcie i dostosowanie się. Nie są one jednak zagrożeniem dla naszej egzystencji. Wprost przeciwnie, wkraczamy w epokę odkryć i oświecenia, w której staniemy się mądrzejsi, będziemy żyć dłużej i lepiej będzie nam się powodzić.

W 2015 roku byłem jednym z mówców na sponsorowanej przez IBM konferencji poświęconej obliczeniom kognitywnym, która odbywała się w San Francisco². IBM inwestował wówczas sporo w Watsona – program bazujący na zbiorze dużych faktograficznych baz danych obejmujących całość ludzkiej wiedzy od historii do kultury popularnej. Bazy te mogły być odpytywane za pomocą setek działających równoległe algorytmów z wykorzystaniem języka naturalnego. Ken Jennings wygrał w teleturnieju *Jeopardy!* (jego polskim odpo-

wiednikiem jest *Va banque*) 74 gry pod rząd i przez 192 dni był niepokonany. Było to najdłuższe pasmo zwycięstw w jego historii. Kiedy w 2011 roku wziął w nim udział Watson i wygrał między innymi z Jenningsem, świat w końcu dostrzegł, co się święci.

Jadąc taksówką z hotelu do miejsca, gdzie odbywała się konferencja, przysłuchiwałem się rozmowie prowadzonej na tylnym siedzeniu przez dwu menedżerów pracujących w IBM. Firma koncentrowała się wówczas na rozwijaniu platformy korzystającej z zasobów Watsona, która służyłaby do porządkowania nieustrukturyzowanych baz danych i odpowiadania na pytania z zakresu specjalistycznych dziedzin, takich jak opieka medyczna i usługi finansowe. Watson jest w stanie udzielać odpowiedzi na pytania i dawać rekomendacje, które są oparte na większej ilości danych, niż jakikolwiek człowiek byłby w stanie opowiadać. Przy czym, oczywiście, jak w przypadku innych programów uczenia maszynowego, to wciąż ludzie zadają pytania i ludzie dokonują wyborów spośród przedstawionych rekomendacji.

IBM już wcześniej pozbył się swojego działu sprzętowego, a dział usług komputerowych stawał się coraz mniej konkurencyjny. Inwestując w Watsona, IBM liczył na zwiększenie udziału pionu programistycznego w generowaniu przychodów wynoszących wówczas 70 miliardów dolarów. Firma zainwestowała 200 milionów dolarów w nową centralę w Monachium odpowiedzialną za związany z Watsonem obszar internetu rzeczy³. Była to jedna z największych inwestycji w Europie, odpowiadająca na rosnące potrzeby ponad 6 tysięcy klientów, którzy dzięki sztucznej inteligencji chcą zmienić sposób działania swoich firm, i równocześnie – jedynie część globalnych planów IBM, który w obliczenia kognitywne chce zainwestować 3 miliardy dolarów. Wiele innych firm również sporo inwestuje w sztuczną inteligencję. Dzisiaj jest jeszcze za wcześnie, by z całą pewnością stwierdzić, które z tych inwestycji okażą się trafione, a które chybione.

Życie w XXI wieku

W medycynie tradycyjnej wszystkim osobom cierpiącym na określoną przypadłość lub chorobę ordynowano zazwyczaj tę samą kurację. Dzisiaj, dzięki obliczeniom kognitywnym, terapia została spersonalizowana. Można ją znacznie precyzyjniej dostosować do potrzeb danego pacjenta. Rozwój czerniaka, którego zaawansowane stadium kiedyś oznaczało wyrok śmierci, dzisiaj u wielu osób może zostać zatrzymany, a nawet odwrócony. Jest to możliwe dzięki zsekwen-

cjonowaniu komórek rakowych pacjenta i opracowaniu indywidualnej immunoterapii skutecznej w walce z chorobą nowotworową tej konkretnej osoby. Choć terapia tego typu kosztuje obecnie 250 tysięcy dolarów, z czasem stanie się dostępna dla niemal wszystkich pacjentów cierpiących na czerniaka. Zasadniczy koszt zsekwencjonowania genomu komórek rakowych wynosi kilka tysięcy dolarów, a koszt wytworzenia niezbędnych przeciwciał monoklonalnych to jedynie kilkaset dolarów. Gdy od pacjentów zostanie zebrana wystarczająca ilość danych obejmujących szerokie spektrum odmian i następstw choroby, proces podejmowania decyzji medycznych zostanie usprawniony, a jego koszt zostanie obniżony. Tą metodą można również leczyć niektóre choroby nowotworowe płuc. Firmy farmaceutyczne inwestują w badania nad immunoterapią nowotworową. Dzięki tej metodzie uleczalne może być wiele innych odmian raka. Żadne z tych działań nie byłoby możliwe bez opartych na uczeniu maszynowym metod analizowania ogromnych ilości danych genetycznych.

Byłem członkiem komisji będącej organem doradczym dla dyrektora Narodowych Instytutów Zdrowia (National Institutes of Health, NIH), która formułowała rekomendacje dla amerykańskiej Inicjatywy BRAIN. Nasz raport akcentował doniosłość technik probabilistycznych i obliczeniowych wspierających nas w interpretacji danych generowanych przez nowe metody zapisu aktywności neuronów⁴. Algorytmy uczenia maszynowego są dzisiaj używane do analizowania równoczesnych zapisów z tysięcy neuronów, analizowania złożonych danych behawioralnych zbieranych u swobodnie poruszających się zwierząt oraz automatyzowania procesu tworzenia trójwymiarowych rekonstrukcji obwodów anatomicznych z serii obrazów cyfrowych pochodzących z mikroskopów elektronowych. Dokonując inżynierii odwrotnej naszych mózgów, ujawnimy wiele nowych algorytmów odkrytych wcześniej przez naturę.

Narodowe Instytuty Zdrowia od 50 lat finansują badania podstawowe w zakresie neuronauki. Coraz wyraźniej rysuje się jednak tendencja przeznaczania coraz większej części środków pochodzących z grantów na badania translacyjne, których wyniki będzie można od razu zastosować w opiece zdrowotnej. To oczywiście, że chcemy jak najszybszego zastosowania w praktyce tego, co odkrywamy, ale jeżeli nie będzie się teraz finansować również badań w nowych obszarach, za pięćdziesiąt lat nie będziemy mieli czego przynieść do praktyki klinicznej. To jedna z przyczyn, dla których tak ważne jest inicjowanie programów badawczych, takich jak Inicjatywa BRAIN. Są one konieczne,

żebyśmy mogli w przyszłości znaleźć lekarstwo na wyniszczające zaburzenia pracy mózgu, np. schizofrenię czy chorobę Alzheimera⁵.

Przyszłość tożsamości

W 2006 roku z domu pracownika Departamentu Spraw Weteranów skradziono numery ubezpieczenia społecznego i daty urodzenia 26,5 miliona weteranów wojennych. Hakerzy nie musieli nawet rozszyfrować bazy danych, bo w systemie urząd zajmujący się sprawami weteranów używał ich numerów ubezpieczenia jako identyfikatorów dla poszczególnych osób. Mając numer ubezpieczenia i datę urodzenia, haker mógł dokonać kradzieży dowolnej tożsamości.

W Indiach ponad miliard obywateli może zostać jednoznacznie zidentyfikowanych za pomocą odcisków palców, skanów tęczówki, zdjęć i składającego się z 12 cyfr numeru identyfikacyjnego (o 3 cyfry więcej niż w numerze ubezpieczenia społecznego). Indyjski Aadhaar jest największym na świecie programem identyfikacji biometrycznej. W przeszłości obywatel Indii, który chciał załatwić dowolną urzędową sprawę, musiał liczyć się z terminami przedłużającymi się w nieskończoność i licznymi pośrednikami, których trzeba było opłacić. Dzisiaj, dzięki błyskawicznemu skanowaniu biometrycznemu, obywatel może bezpośrednio uzyskać uprawnienia do subsydiowanej żywności i innych świadczeń społecznych. Wiele biednych osób niemających świadectw urodzenia ma mobilny dowód tożsamości. Dzięki temu rozwiązaniu ich identyfikacja jest możliwa o dowolnej porze, w dowolnym miejscu i odbywa się w ciągu kilku sekund. Kradzież tożsamości, która prowadziła do licznych nadużyć w systemie opieki społecznej, została tym samym zatrzymana. Przejęcie czyjejś tożsamości nie jest już możliwe, chyba że złodziej byłby gotowy na obcięcie palców i wydlubanie oczu danej osoby⁶.

Indyjski rejestr państwowy to efekt siedmioletnich działań Nandana Nilekaniego⁷, miliardera i współzałożyciela firmy outsourcingowej Infosys. Ogromna cyfrowa baza danych stworzona przez Nilekaniego pomogła Indiom wyprzedzić liczne kraje rozwinięte. Jak mówi Nilekani: „Mała, stopniowa zmiana pomnożona przez miliard to wielki skok. (...) Jeśli miliard ludzi w ciągu kwadransa, a nie w ciągu tygodnia, może uzyskać telefon komórkowy, jest to potężny zastrzyk produktywności dla gospodarki. Jeśli milion ludzi automatycznie otrzymuje pieniądze na swoje konto w banku, przekłada się to na ogromny skok produktywności w gospodarce”⁸.

Przechowywanie naszych cyfrowych tożsamości w bazie danych ma swoje dobre strony, odbywa się to jednak kosztem utraty prywatności, szczególnie wtedy, kiedy biometryczny dowód tożsamości jest połączony z innymi zbiorami danych, takimi jak konta bankowe, dokumentacja medyczna i rejestr skazanych oraz innymi usługami publicznymi, np. z komunikacją. W Stanach Zjednoczonych i wielu innych krajach, gdzie bazy danych są łączone ze sobą, kwestie prywatności stają się palące, nawet jeśli dane są poddawane anonimizacji⁹. Nasze telefony komórkowe już śledzą to, co robimy, bez względu na to, czy tego chcemy, czy nie.

Powstanie społecznych robotów

W filmach sztuczną inteligencję przedstawia się często jako robota, który porusza się i mówi tak jak człowiek. Nie oczekujemy jednak, że sztuczna inteligencja przyjmie postać mówiącego z niemieckim akcentem Terminatora, jak w filmie science fiction i fantasy *Terminator* z 1984 roku. Raczej będziemy się komunikować z jej głosem, tak jak z głosem Samantha w romansie science fiction *Ona* z 2013 roku, lub wchodzić w interakcje z droidami, takimi jak R2-D2 i BB-8 w filmie science fiction i fantasy *Gwiezdne wojny. Przebudzenie mocy* z 2015 roku. Sztuczna inteligencja już dzisiaj jest częścią naszego codziennego życia. Inteligentne urządzenia, na przykład Alexa w głośniku Amazon Echo, potrafią do nas mówić i z radością będą nam pomagać, by nasze życie uczynić łatwiejszym i bardziej satysfakcjonującym, tak jak zegary i utensylia do parzenia herbaty w romansie fantasy *Piękna i bestia* z 2017 roku. Jak będzie wyglądało nasze życie w świecie, w którym znajdują się również i takie stworzenia? Popatrzmy, jak wyglądają nasze pierwsze kroki na drodze prowadzącej ku robotom społecznym.

Aktualne osiągnięcia sztucznej inteligencji koncentrują się na sensorycznych i kognitywnych jej aspektach, odkładając na później rozwój w obszarze motoryki i podejmowania działań. Swoje wykłady zaczynam zazwyczaj od stwierdzenia, że mózg jest najbardziej złożonym mechanizmem w znanym nam wszechświecie. Natomiast moja żona, Beatrice, która jest lekarzem medycyny, często przypomina mi o tym, że mózg to tylko część naszego ciała. Jest ono jeszcze bardziej skomplikowane niż mózg, aczkolwiek stopień jego złożoności jest inny – jego źródłem jest ewolucja mobilności.

Nasze mięśnie, ścięgna, skóra i kości aktywnie adaptują się do zmienności naszego świata, do siły ciężenia, do obecności innych ludzi. Wewnętrznie nasze

ciała są cudami przetwarzania chemicznego, zamieniając pożywienie w kunsztownie wykonane części ciała. Są one doskonałymi drukarkami 3D działającymi od środka. Nasze mózgi odbierają sygnały od wewnątrzustrojowych sensorów znajdujących się w każdej części naszego ciała, które nieustannie monitorują wewnętrzną aktywność, łącznie z najwyższymi strukturami reprezentacji w korze mózgowej, oraz podejmują decyzje dotyczące wewnętrznych priorytetów i utrzymują równowagę pomiędzy konkurującymi ze sobą żądaniami. Nasze ciała rzeczywiście są integralną częścią mózgow, a mózg jest najważniejszym ośrodkiem ucieleśnionej kognicji¹⁰.

Rubi

Pochodzący z Hiszpanii Javier Movellan (il. 12.1) był pracownikiem naukowym oraz jednym z dyrektorów Laboratorium Percepcji Maszynowej w Instytucie Neuronowej Techniki Obliczeniowej na Uniwersytecie Kalifornijskim w San Diego. Był przekonany, że o procesach poznawczych dowiemy się znacznie więcej, kiedy będziemy budować roboty wchodzące w interakcje z ludźmi, niż dzięki prowadzeniu tradycyjnych eksperymentów w laboratoriach. Zbudował on robota-dziecko, który uśmiecha się, jeśli ktoś uśmiechnie się do niego. Robot cieszył się sporą popularnością wśród przechodzących osób. Jedną z konkluzji, do jakich doszedł Javier, badając dzieci komu-



Ilustracja 12.1. Javier Movellan w trakcie wywiadu prowadzonego przez The Science Network w pracowni robotycznej na Uniwersytecie Kalifornijskim w San Diego. Javier wprowadził roboty społeczne do sal lekcyjnych i napisał program dla jednego z takich robotów, nazywanego Rubi, w taki sposób, by przyciągał on uwagę dzieci w wieku 18 miesięcy. (Dzięki uprzejmości Rogera Bingham)

nikujące się z matkami, jest to, że dzieci maksymalizują uśmiechy swoich mam, minimalizując równocześnie własny wysiłek¹¹.

Najbardziej znanym społecznym robotem skonstruowanym przez Javiera jest Rubi. Wygląda on jak jeden z Teletubisiów: ma twarz wyrażającą emocje, brwi, które unoszą się, by pokazać zainteresowanie, oczy zrobione z kamer, które rozglądają się dookoła i ręce, które można ucisnąć (il. 12.2). W Centrum Edukacji Wczesnodziecięcej na Uniwersytecie Kalifornijskim w San Diego 18-miesięczne dzieci komunikowały się z Rubim, korzystając z tabletu, który znajduje się na jego brzuchu.



Ilustracja 12.2. Rubi komunikujący się z małymi dziećmi w sali lekcyjnej. Może on kręcić głową, jego oczy to kamery, usta i brwi mogą wyrażać emocje. Bujne włókna optyczne na czubku głowy świecą różnymi kolorami w zależności od nastroju Rubiego. (Dzięki uprzejmości Javiera Movellana)

Małym dzieciom trudno dogodzić. Czas ich skupionej uwagi nie trwa długo. Bawią się zabawkami przez kilka minut, potem tracą zainteresowanie i je odrzucają. Jak zatem będą wchodzić w interakcje z Rubim? Okazało się, że już pierwszego dnia chłopcy urwali robotowi ręce, które ze względów bezpieczeństwa, nie mogły mieć wytrzymałej konstrukcji. Po koniecznych naprawach i uaktualnieniu oprogramowania Javier spróbował znowu. Tym razem robot został zaprogramowany tak, że płakał, kiedy ktoś mocno ciągnął go za ręce. To powstrzymało chłopców, a dziewczynki zaczęły go przytulać. To ważna lekcja na przyszłość dla inżynierii społecznej.

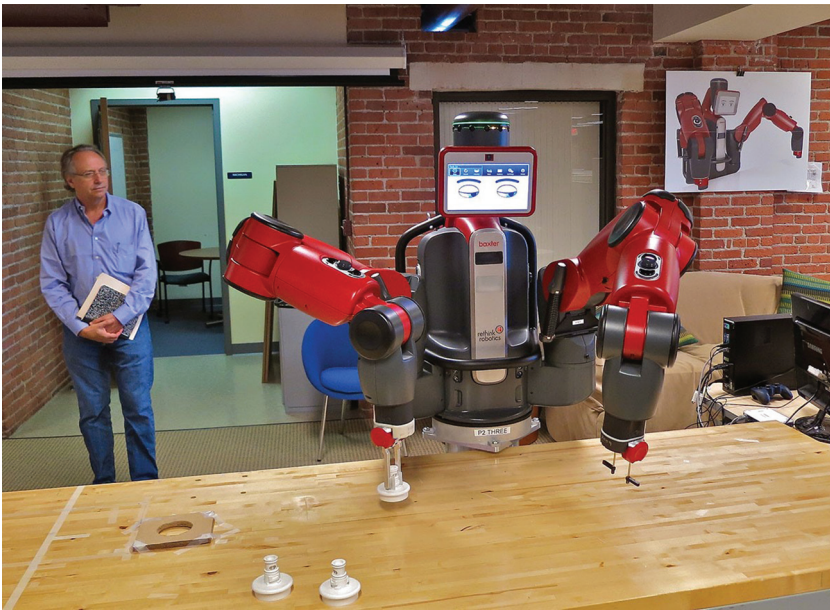
Dzieci bawiły się z Rubim, wskazując na jakiś przedmiot w pomieszczeniu, na przykład na zegar. Jeśli Rubi nie reagował i nie popatrzył na ten przedmiot

przed upływem stosunkowo krótkiego czasu, od 0,5 do 1,5 sekundy, dzieci traciły zainteresowanie i odchodziły. Jeśli jego reakcje były za szybkie, Rubi mógł wydawać się zbyt mechaniczny, jeśli za wolne, Rubi robił się nudny. Po uformowaniu się wzajemnych relacji dzieci zaczęły traktować robota jak rozumne i czujące stworzenie, a nie zabawkę. Kiedy Rubi został zabrany do warsztatu na przegląd, dzieci niepokoiły się o niego i trzeba było im powiedzieć, że tamtego dnia nie czuł się on dobrze i musiał zostać w domu. W jednym z prowadzonych badań Rubi został zaprogramowany do uczenia dzieci słów w języku fińskim, które poznawały równie ochoczo jak słowa w języku angielskim. Ogromnym wsparciem w nauce była też lubiana przez nie piosenka¹².

Wprowadzeniu Rubiego do sal lekcyjnych towarzyszyła obawa, że nauczyciele mogą poczuć się zagrożeni przez robota, który pewnego dnia mógłby zająć ich miejsca pracy. Nic takiego jednak się nie stało, wprost przeciwnie, nauczyciele potraktowali Rubiego jako swojego asystenta, który pomagał utrzymywać grupę dzieci pod kontrolą, szczególnie wtedy, kiedy w przedszkolu pojawiali się goście. Eksperymentem, który mógł zrewolucjonizować edukację wczesnoszkolną i przedszkolną, był projekt Tysiąc Rubich. Pomysł polegał na tym, by wyprodukować dużą liczbę robotów, umieścić je w tysiącu klas i za pośrednictwem internetu zbierać dane z tysięcy eksperymentów zdarzających się co dzień. Problem z badaniami edukacyjnymi polega na tym, że to, co sprawdza się w jednej szkole, niekoniecznie sprawdza się w innej. Między szkołami jest sporo różnic, w szczególności dotyczy to nauczycieli. Tysiąc robotów Rubi mogłoby przetestować w praktyce wiele pomysłów w zakresie doskonalenia praktyk edukacyjnych i w skali całego kraju zdiagnozować różnice pomiędzy szkołami, których uczniowie pochodzą z różnych grup społeczno-ekonomicznych. Niestety nigdy nie pojawiły się zasoby umożliwiające przeprowadzenie projektu, ale wciąż jest to świetny pomysł, który kiedyś powinien zostać zrealizowany.

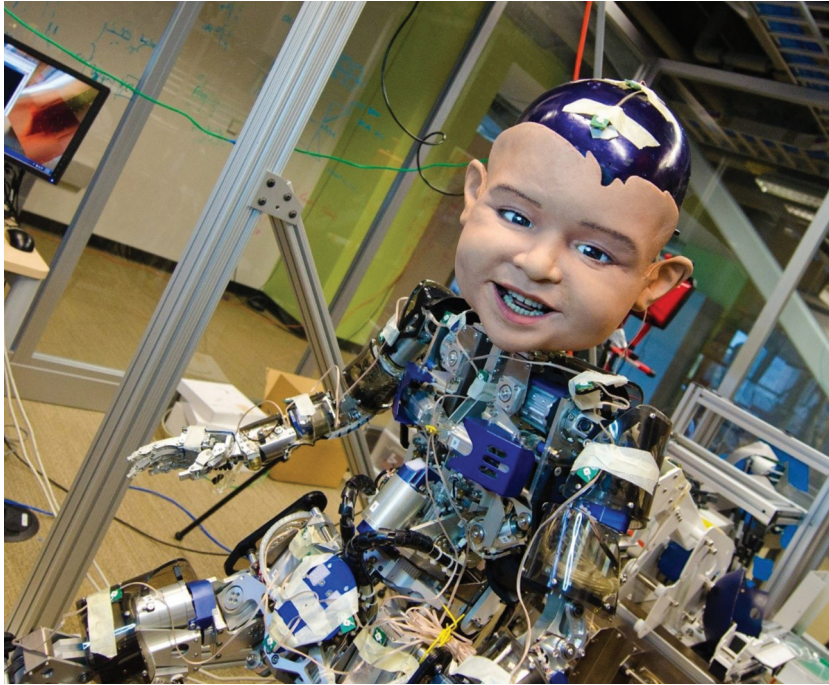
Roboty poruszające się na dwu nogach są niestabilne i wymagają zaawansowanego systemu kontrolnego, który chroniłby je przed wywróceniem się. Dwunożne ludzkie dziecko potrzebuje około dwunastu miesięcy, żeby nauczyć się chodzić i przestać się przewracać. Rodney Brooks (il. 12.3) – o którym wspomniałem krótko w rozdziale drugim – chciał zbudować robota mającego sześć nóg, który potrafiłby poruszać się jak owady. Wynalazł więc nowy typ kontrolera, który umożliwiał koordynację ruchów wykonywanych przez wszystkie sześć nóg, dzięki czemu ten robo-karaluch mógł posuwać się do

przodu, utrzymując równowagę. Nowatorstwo jego pomysłu polegało na tym, że chciał, aby mechaniczne interakcje nóg robota z otaczającym go środowiskiem zastąpiły abstrakcyjne planowanie i skomplikowane obliczenia. Twierdził, że jeśli roboty mają wykonywać zwykłe codzienne zadania, ich wyższe kompetencje poznawcze powinny bazować na sensomotorycznych interakcjach, a nie na abstrakcyjnym rozumowaniu. Słonie to bardzo towarzyskie zwierzęta, mają świetną pamięć i są geniuszami mechaniki¹³, ale nie potrafią grać w szachy¹⁴. W 1990 roku Brooks założył firmę iRobot, która sprzedała już ponad 10 milionów odkurzaczy Roomba.



Ilustracja 12.3. Rodney Brooks nadzoruje Baxtera, który będzie próbował umieścić zatyczkę w otworze znajdującym się na stole. Brooks jest przedsiębiorcą, który wcześniej założył firmę iRobot produkującą odkurzacze Roomba, a teraz – firmę Rethink, która produkuje roboty nazywane się Baxter. (Dzięki uprzejmości Roda Brooksa)

Roboty przemysłowe mają usztywniane stawy i potężne serwomotory, co powoduje, że ich wygląd i ich ruchy wydają się mechaniczne. W 2008 roku Brook założył firmę Rethink Robotics, która zbudowała robota nazwanego Baxter wyposażonego w elastyczne stawy, dzięki czemu jego ramiona mogą swobodnie się poruszać (il. 12.3). Zamiast pisać program, który miałby sterować ramionami robota, możemy po prostu wykonać jego ramionami pożądane ruchy i działania, a robot zaprogramuje się sam, żeby ułożoną przez nas sekwencję powtórzyć.



Ilustracja 12.4. Diego San, robot-dziecko. Pneumatyczne siłowniki pozwoliły na elastyczne poruszanie się wszystkich stawów, dzięki czemu można było ucisnąć robotowi rękę. Autorami twarzy robota byli David Hanson i Hanson Robotics. Animacje twarzy można zobaczyć na filmie *Diego Installed* dostępnym pod adresem: <https://www.youtube.com/watch?v=knRyDcnUc4U/>. (Dzięki uprzejmości Javiera Movellana)

Movellan poszedł o krok dalej niż Brooks. Opracował robota-dziecko, nazwanego Diego San, wytwarzanego w Japonii¹⁵. Wyposażono go w silniki pneumatyczne (napędzane sprężonym powietrzem) i 44 elastyczne stawy, w odróżnieniu od sztywnych silników momentowych używanych w większości robotów przemysłowych (il. 12.4). Motywacją do zrobienia tego w ten sposób było to, że kiedy my coś podnosimy, w tę czynność zostają zaangażowane, do pewnego stopnia, wszystkie mięśnie naszego ciała. (Kiedy poruszamy tylko jednym stawem, wyglądamy jakbyśmy byli robotami). Dzięki temu łatwiej jest nam się dostosować do zmieniających się warunków obciążenia i interakcji ze światem. Mózg jest w stanie płynnie kontrolować wszystkie stopnie swobody w naszym ciele – wszystkie stawy i mięśnie – w tym samym czasie, a celem projektu Diego San było zrozumienie, w jaki sposób się to odbywa. Twarz robota Diego San ma 27 ruchomych części i jest w stanie przekazywać szeroki wachlarz ludzkich emocji¹⁶. Ruchy wykonywane przez robota są zaskakująco podobne do ludzkich. Javier ma na swoim koncie kilka udanych projektów robotycznych,

jednak Diego San do nich nie należy. Po prostu nie wiedział, co zrobić, żeby robot-dziecko funkcjonował w tak płynny sposób jak ludzkie dzieci.

Mimika twarzy jest oknem prowadzącym do naszej duszy

Zastanówmy się, jak zareagowalibyśmy w sytuacji, kiedy na iPhone śledzimy spadające kursy akcji, a telefon pyta nas, dlaczego jesteśmy zdenerwowani. Mimika twarzy jest oknem ukazującym emocjonalny stan naszego mózgu. Głębokie uczenie potrafi teraz do niego zaglądnąć. Poznanie i emocje były tradycyjnie uznawane za odseparowane od siebie funkcje mózgu. Powszechnie uważano, że za poznanie odpowiada kora mózgowa, a emocje należą do obszaru podkorowego. Rzeczywiście w mózgu znajdują się struktury podkorowe, które regulują stany emocjonalne. Jedną z nich jest ciało migdałowe, które zostaje zaangażowane, kiedy poziom emocji jest wysoki, zwłaszcza gdy odczuwamy lęk. Te struktury wchodzi w liczne i silne interakcje z korą mózgową. Na przykład zaangażowanie ciała migdałowego w interakcje społeczne skutkuje tym, że lepiej zapamiętamy dane wydarzenie. Poznanie i emocje są nierozłączne ze sobą splecione.

W latach 90. współpracowałem z Paulem Ekmanem (il. 12.5), psychologiem z Uniwersytetu Kalifornijskiego w San Francisco, który jest wybitnym specjalistą w zakresie mimiki twarzy, a także inspiracją dla postaci dr. Cala Lightmana w serialu telewizyjnym zatytułowanym *Magia kłamstwa*. Warto jednak zauważyć, że Paul jest znacznie sympatyczniejszy niż serialowy Cal. Ekman pojechał na Papuę-Nową Gwineę w celu zbadania, czy reakcje emocjonalne ludzi z kultur preindustrialnych wyrażane za pomocą mimiki twarzy są takie same jak nasze. Stwierdził, że we wszystkich ludzkich społecznościach, które badał, występuje sześć uniwersalnych wyrazów emocji: zadowolenie, smutek, złość, zdziwienie, lęk i niechęć. Od tego czasu zasugerowano istnienie również innych uniwersalnych rodzajów mimiki twarzy. Nie ma jednak powszechnej zgody w tej kwestii, a niektóre uczucia, takie jak na przykład lęk, w kilku odizolowanych społecznościach są interpretowane inaczej.

W 1992 roku wspólnie z Ekmanem zorganizowałem warsztaty projektowe poświęcone rozpoznawaniu mimiki twarzy finansowane przez Narodową Fundację Nauki¹⁷. Zdobycie środków na prowadzenie badań w zakresie mimiki twarzy nie było wówczas łatwym zadaniem. Nasze warsztaty zgromadziły naukowców specjalizujących się w neuronauce, elektrotechnice i widzeniu maszy-



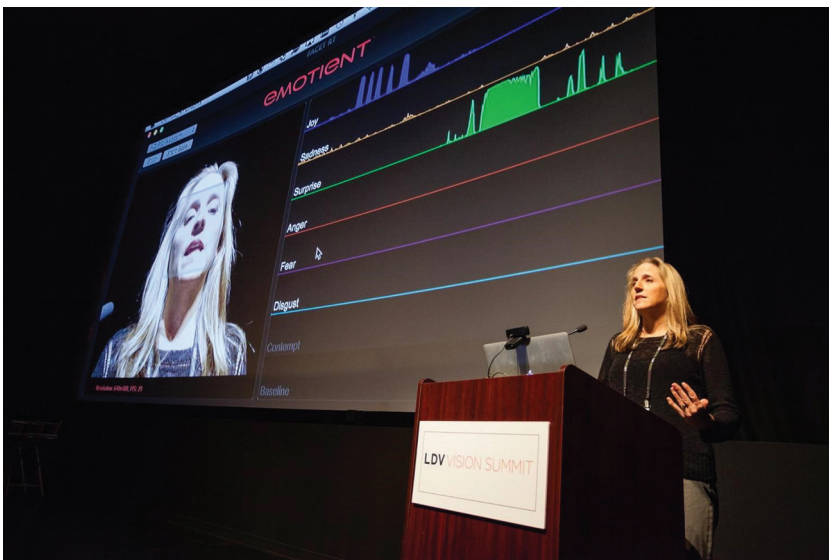
Ilustracja 12.5. Paul Ekman z ludźmi z plemienia Fore na Papui-Nowej Gwinei w 1967 roku. W efekcie swoich badań stwierdził istnienie sześciu uniwersalnych emocji: zadowolenia, smutku, złości, zdziwienia, lęku i niechęci. Paul był konsultantem serialu telewizyjnego *Magia kłamstwa*, weryfikując naukową wiarygodność każdego odcinka. Serialowa postać dr. Cala Lightmana jest luźnym nawiązaniem do Ekmana. (Dzięki uprzejmości Paula Ekmana)

nowym oraz psychologów, co dało początek nowemu rozdziałowi w analizowaniu mimiki twarzy. Zaskoczeniem było dla mnie, że analiza mimiki twarzy, choć mogła okazać się niezwykle istotna dla tak wielu obszarów nauki, medycyny i gospodarki, była zaniebywana przez instytucje zapewniające środki finansowe.

Ekman opracował System Kodowania Ruchów Mimicznych (Facial Action Coding System, FACS), który pozwalał na monitorowanie statusu każdego z 44 mięśni twarzy. Eksperti FACS szkoleni przez Eckmana potrzebują godziny, żeby klatka po klatce oznakować wideo trwające minutę. Wyraz twarzy cechuje się znaczną dynamiką i może trwać wiele sekund. Ekman odkrył, że istnieją również takie, których długość wynosi zaledwie kilka klatek i nazwał je mikroekspresjami. Stanowią one emocjonalny upust dla tłumionych stanów umysłu, często są

znaczące, czasami zdradzają nieuświadomione reakcje emocjonalne. Na przykład mikroekspresje wyrażające niechęć pojawiające się podczas sesji terapii małżeńskiej były wiarygodnym sygnałem, że dane małżeństwo się rozpadnie¹⁸.

W latach 90. korzystaliśmy z nagrań wideo z udziałem przeszkolonych aktorów, którzy potrafili kontrolować każdy mięsień twarzy, tak jak Eckman. Były one używane do trenowania sieci neuronowych za pomocą algorytmu wstecznej propagacji błędów, co miało służyć zautomatyzowaniu procesu rozpoznawania mimiki twarzy. W 1999 roku sieć ze wsteczną propagacją błędów trenowana przez moją studentkę, Marian Stewart Bartlett (il. 12.6), osiągnęła dokładność rzędu 96 procent. Było to w laboratorium, w idealnych warunkach oświetleniowych, z twarzą ustawioną frontalnie i wykonywaną ręcznie segmentacją czasową materiału wideo¹⁹. Był to wynik na tyle dobry, że wraz z Marni zasłużyliśmy na to, by 5 kwietnia 1999 roku pojawić się w programie *Good Morning America* prowadzonym przez Diane Sawyer. Marni, będąc pracownicą naukową w Instytucie Neuronowej Techniki Obliczeniowej na Uniwersytecie Kalifornijskim w San Diego²⁰, kontynuowała prace nad opracowaniem Instrumentarium Komputerowego Rozpoznawania Mimiki Twarzy (Computer Expression Recognition Toolbox, CERT). Z czasem, kiedy komputery stały się szybsze, CERT zyskał możliwość analizy w czasie rzeczywistym, czyli był



Ilustracja 12.6. Marian Stewart-Bartlett podczas demonstracji systemu do analizy mimiki twarzy. Na osiach czasowych widzimy rozpoznane przez sieci głębokiego uczenia emocje rysujące się na twarzy: zadowolenie, smutek, zdziwienie, lęk, złość, niechęć. (Dzięki uprzejmości Marian Stewart-Bartlett. Robert Wright/LDV Vision Summit 2015)

w stanie określać zmieniającą się mimikę twarzy podczas streamingu wideo obrazu danej osoby.

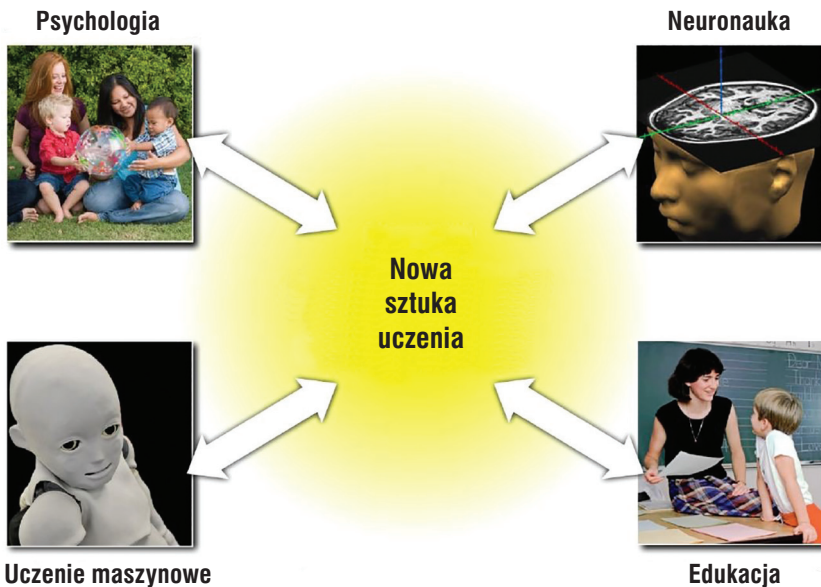
W 2012 roku Marni Bartlett i Javier Movellan założyli firmę nazwaną Emotient, której celem było skomercjalizowanie automatycznej analizy mimiki twarzy. Paul Ekman i ja byliśmy członkami jej Naukowej Rady Doradczej. Emotient stworzył głębokie sieci, które osiągnęły dokładność rozpoznawania rzędu 96 procent w czasie rzeczywistym przy normalnym zachowaniu, w szerokim spektrum warunków oświetleniowych i z twarzami ustawionymi niefrontalnie. Podczas jednego z pokazów system stworzony przez Emotient w ciągu kilku minut odkrył, że największy emocjonalny wpływ na odbiorców miał Donald Trump w pierwszej debacie prezydenckiej Republikanów. Prowadzącym badania ankietowe uchwycenie tego i dojście do tych samych wniosków zajęło dni, a doradcy potrzebowali miesięcy na zrozumienie, że zaangażowanie emocjonalne było kluczowe dla dotarcia do wyborców. Uczuciem najsilniej rysującym się na twarzach badanych uczestników podczas debaty była radość, a w dalszej kolejności – lęk. Głębokie sieci zbudowane przez Emotient przewidziały również, które seriale będą cieszyły się najwyższą popularnością, i to na kilka miesięcy przed opublikowaniem wskaźników zadowolenia konsumentów przygotowanych przez Nielsena. W styczniu 2016 roku Emotient został kupiony przez firmę Apple, a Marni i Janvier zaczęli dla niej pracować. W niezbyt odległej przyszłości iPhone nie tylko będzie mógł zapytać, dlaczego jesteśmy zdenerwowani, ale i zaoferować pomoc w uspokojeniu się.

Sztuka uczenia

Na konferencji NIPS w Vancouver, która odbyła się w 2015 roku, jadłem śniadanie z Garym Cottrellem, współpracownikiem z Departamentu Informatyki i Inżynierii na Uniwersytecie Kalifornijskim w San Diego. Gary był w pierwszym składzie grupy rozproszonego przetwarzania równoległego (*parallel distributed processing*, PDP) założonej jeszcze w latach 80. XX wieku. Dzisiaj jest jednym z ostatnich jej członków, którzy zostali na naszym uniwersytecie. Jest również jednym z ostatnich buntowników o rodowodzie sięgającym lat 60., noszącym kucyk i posiwiatłą brodę. Natknął się kiedyś na ogłoszenie Narodowej Fundacji Nauki (National Science Foundation, NSF) zapraszające do zgłaszania propozycji dla Ośrodków Doskonalenia Sztuki Uczenia (Science of Learning Centers, SLC). Tym, co przyciągnęło jego uwagę, był gwarantowany na pięć lat budżet w wysokości 5 milionów dolarów rocznie, z możliwością

przedłużenia na kolejne pięć lat. Chciał złożyć aplikację i zapytał mnie, czy mu w tym pomogę. Kiedy powiedział, że jak nam się uda, nigdy już nie będzie musiał pisać żadnego wniosku o dofinansowanie, odpowiedziałem, że jeśli naprawdę nam się uda, to będzie to grant, który zakończy naszą karierę. Uśmiechnął się i zabraliśmy się do pracy.

Wkrótce okazało się, że nasza propozycja zyskała uznanie. Tak jak przewidywałem, obsługa grantu wymagała wyjątkowo dużo wysiłku, łącznie z pisaniem liczących 300 stron raportów rocznych, ale to, co wiązało się z działalnością naukową, było spektakularne. Nasz Ośrodek Temporalnej Dynamiki Uczenia (Temporal Dynamics of Learning Centre, TDLC) liczy ponad stu badaczy w osiemnastu instytucjach na całym świecie. Z sześciu ośrodków doskonalenia finansowanych przez NSF nasz był najbardziej zorientowany na neuronaukę i inżynierię. Włączyliśmy też w nasze projekty najnowsze osiągnięcia w obszarze uczenia maszynowego (il. 12.7)²¹. Zarówno Rubi, jak i CERT były projektami finansowanymi przez nasz ośrodek. Mieliśmy również mobilne laboratorium EEG, w którym uczestnicy badań mogli swobodnie poruszać się w środowisku wirtualnym, a my dokonywaliśmy zapisów aktywności ich mózgow. W większości laboratoriów tego typu osoba badana musi siedzieć



Ilustracja 12.7. Nowa sztuka uczenia obejmuje uczenie maszynowe i neuronaukę oraz wnioski płynące z psychologii i edukacji. (Cyt. za: A.N. Meltzoff, P.K. Kuhl, J. Movellan, T.J. Sejnowski, *Foundations for a New Science of Learning*, il. 1)

nieruchomo i nie powinna mrugać oczami, co pozwala uniknąć pojawiania się artefaktów w zapisie. Dzięki wykorzystaniu analizy składowych niezależnych (Independent Components Analysis, ICA) w celu wyeliminowania artefaktów związanych z ruchem, mogliśmy dokonywać zapisu aktywności ich mózgów, kiedy aktywnie eksplorowali środowisko i wchodzili w interakcje z innymi ludźmi.

Poniżej przedstawiam kilka projektów, które zostały podjęte przez naukowców współpracujących z TDLC.

- April Benasich z Centrum Neuronauki Molekularnej i Behawioralnej na Uniwersytecie Rutgersa opracowała test oparty na czasach reakcji w percepcji słuchowej, dzięki któremu możemy przewidzieć, czy dziecko będzie miało trudności w uczeniu się i kształceniu sprawności językowej. Pokazała również, że te trudności można przezwyciężyć dzięki adaptacyjnemu operowaniu czasowymi sekwencjami dźwięków i reakcjami na nie, co pozwala dzieciom na rozwijanie prawidłowego słyszenia, mówienia i uczenia²². Eksperymenty, które doprowadziły do tych wniosków, polegały na długotrwałej obserwacji dzieci prowadzonej od wieku trzech miesięcy do piątego roku życia. Nawet standardowo rozwijające się dzieci odnosiły korzyści dzięki zetknięciu się z interaktywnym środowiskiem. W 2006 roku April założyła firmę AAB Research LLC w celu zwiększenia dostępności technologii szybkiego przetwarzania sygnałów słuchowych (Rapid Auditory Processing Technology, RAPT) służącej doskonaleniu zdolności dzieci do uczenia się.
- Marian Stewart Bartlett i Javier Movellan wykorzystali głębokie uczenie do zautomatyzowanego rejestrowania mimiki twarzy uczniów²³. Umożliwiło to przekazywanie nauczycielom informacji, że uczeń wygląda na sfrustrowanego i najprawdopodobniej nie rozumie tego, czego w danej chwili jest uczony. Dzięki głębokiemu uczeniu rozpoznawanie mimiki może być prowadzone automatycznie, zachowując dużą dokładność i umożliwiając monitorowanie wszystkich dzieci w klasie. Analiza mimiki twarzy może zostać wykorzystana w różnych obszarach – w marketingu, psychiatrii, medycynie sądowej. Z wielu z nich dziś jeszcze się nie korzysta.
- Harold Pashler z Uniwersytetu Kalifornijskiego w San Diego i Michael Mozer z Uniwersytetu Kolorado w Boulder badali wzrost długoterminowej retencji w procesie uczenia osiągnięty dzięki spersonalizowanemu systemowi powtórek rozciągniętych w czasie w porównaniu z wkuwaniem przed egzaminami. Odwołali się do wcześniejszych badań studentów college'ów opartych na kilkumiesięcznych obserwacjach i wydłużyli czas trwania badań

uczniów szkół podstawowych i średnich do kilku lat²⁴. Doszli do wniosku, że jeżeli chcemy uzyskać dłuższą retencję, optymalny tok nauczania powinien opierać się na wydłużonych odstępach czasowych. Zastosowali opracowany przez siebie zoptymalizowany harmonogram powtórek na kursach językowych, dzięki czemu słuchacze osiągnęli znakomite rezultaty.

- Beth Rogowsky, będąca na stażu podoktorskim w Ośrodku Temporalnej Dynamiki Uczenia, Paula Tallal z Uniwersytetu Rutgersa i Barbara Calhoun z Uniwersytetu Vanderbilta udowodniły, że nie ma statystycznie uchwytnej różnicy pomiędzy uczeniem z wykorzystaniem materiałów mówionych i pisanych, a także, że nie ma związku między preferowanym stylem uczenia się a stosowanymi metodami kształcenia zarówno w przypadku rozumienia natychmiastowego, jak i późniejszego²⁵. Fakt, że nie stwierdzono korzyści wynikających z dostosowania się do preferowanego stylu uczenia się ucznia oznacza, że potężna branża, która promuje materiały do nauki i sprawdzania wiadomości uwzględniające zróżnicowane style uczenia się nie tworzy wartości dodanej w klasach szkolnych.
- Paula Tallal walenie przyczyniła się do ustanowienia w 2014 roku konkursu programistycznego Global Learning X-Prize z pulą nagród w wysokości 15 milionów dolarów, który ma być zachętą do wprowadzania innowacyjnych rozwiązań w edukacji. Jego celem jest stworzenie skalowalnego oprogramowania *open source*, które pozwoli dzieciom w krajach rozwijających się opanować w ciągu osiemnastu miesięcy podstawowe umiejętności w zakresie czytania, pisania i arytmetyki. Korzystne skutki badań wykonanych w związku z projektem Global Learning X-Prize będą się utrzymywać jak świat długi i szeroki przez wiele nadchodzących dekad.
- Andrea Chiba, dyrektor naukowa TDLC, na Międzynarodowym Kongresie Sztuki Uczenia²⁶, który odbył się w Szanghaju w 2014 roku, przedstawiła wyniki badań dotyczących sposobu, w jaki proces uczenia zmienia strukturę mózgu. Wywołała konsternację wśród wielu uczestników, którzy byli przekonani, że dzieci przychodzą na świat z ustalonym raz na zawsze potencjałem i że edukacja tych, którzy są mniej zdolni albo za starzy na naukę jest marnowaniem czasu. Na świecie mamy ogromne pokłady ludzkiego potencjału, którego nie potrafimy w pełni wykorzystać.

Odkryliśmy, że największe problemy związane z edukacją nie są natury naukowej, ale społecznej i kulturowej. W Stanach Zjednoczonych jest 13,5 tysiąca okręgów szkolnych. Każdy z nich ma własną radę, która podejmuje decyzje

dotyczące programu nauczania, kwalifikacji nauczycieli i metod kształcenia. Gdybyśmy chcieli dotrzeć do wszystkich z naszymi propozycjami, uwzględniając ich specyfikę, zajęłoby to nam dziesiątki lat. Zanim nauczyciele w ogóle zaczną uczyć, muszą poradzić sobie z klasą. Może to być wyjątkowo trudne w klasach niższych i w szkołach znajdujących się na obszarach zdefaworyzowanych. Rodzice stawiający żądania mogą nie dostrzegać coraz częstszego problemu wypalenia zawodowego spowodowanego brakiem odpowiednich środków finansowych ani oddziaływania związków zawodowych nauczycieli, które często blokują progresywne wysiłki mające służyć poprawie sytuacji.

Uczenie jest zasadniczo aktywnością wymagającą sporego nakładu pracy. Najlepszym i najbardziej efektywnym sposobem uczenia jest ten, który bazuje na indywidualnych interakcjach pomiędzy wykwalifikowanym dorosłym nauczycielem a uczniami²⁷. My jednak jesteśmy skazani na system podobny do taśmy montażowej, który został opracowany na potrzeby masowej edukacji, w której uczniów dzieli się w zależności od wieku, uczenie odbywa się w klasach o dużej liczebności, a nauczyciel z roku na rok przekazuje ten sam materiał. Być może jest to dobra metoda na wyprodukowanie samochodu. Możliwe, że była ona właściwa w czasach, kiedy w kształceniu siły roboczej wymagano jedynie podstawowego poziomu wiedzy. Natomiast dzisiaj, kiedy miejsca pracy wymagają coraz bardziej specjalistycznego szkolenia, uczenia się przez całe życie i stałego uzupełniania swoich umiejętności, ten system nie spełnia naszych wymagań. Powrót do szkoły, kiedy jest się człowiekiem dorosłym, może być bolesny i zupełnie bezsensowny. Rewolucja informacyjna, która odbywa się na naszych oczach, wyprzedziła pokoleniową skalę. Na szczęście nowe technologie, które mogą zmienić sposób, w jaki się uczymy, pojawiają się online. Internet zmienia pejzaż edukacji w sposób, którego nie byliśmy sobie w stanie wyobrazić, kiedy zakładaliśmy nasz Ośrodek Sztuki Uczenia w 2006 roku.

Uczymy się, jak się uczyć

W 2011 roku masowe otwarte kursy internetowe (MOOC) zyskały rozgłos dzięki artykułowi o dużym zasięgu zamieszczonym w „New York Timesie”, poświęconemu popularności internetowego kursu na temat sztucznej inteligencji przygotowanego na Uniwersytecie Stanforda²⁸. Duża liczba studentów, którzy się na ten kurs zapisali, oraz jego bezprecedensowy zasięg osiągnięty dzięki internetowi przyciągnęły powszechną uwagę. Niemal z dnia na dzień powstały nowe firmy, których celem było opracowywanie wykładów wygłaszanych przez

najlepszych edukatorów z całego świata oraz publikowanie ich online. Są one dostępne na żądanie o dowolnej porze i w dowolnym miejscu, gdzie mamy połączenie z internetem. Oprócz wykładów w skład kursu wchodzi również quizy, sprawdziany, fora, gdzie uczący się mogą zadawać pytania, pomoce dla nauczycieli i organizowane przez uczestników lokalne spotkania, gdzie w nieformalnej atmosferze można porozmawiać. Popularność MOOC-ów znacznie się zwiększyła. W 2015 roku liczba użytkowników kursów podwoiła się – z szacowanych 17 milionów odbiorców do ponad 35 milionów. Dzięki MOOC-om drzwi prowadzące do krainy edukacji stoją przed nami otworem.

Barbarę Oakley spotkałem w styczniu 2013 roku na spotkaniu (sponsorywanym przez Narodową Akademię Nauk), które odbywało się na Uniwersytecie Kalifornijskim w Irvine. Dzisiaj jest ona profesorem elektrotechniki na Uniwersytecie Oakland w Auburn Hills i Rochester Hills w stanie Michigan, mimo że w szkole kiepsko radziła sobie z matematyką i przedmiotami przyrodniczymi. Ukończyła studia humanistyczne, była kapitanem armii amerykańskiej, pracowała jako tłumaczka języka rosyjskiego na radzieckich trawlerach na Morzu Beringa. Potem wróciła do szkoły, gdzie udało jej się przezwyciężyć blokadę mentalną i lęk przed matematyką, dzięki czemu napisała pracę doktorską w zakresie elektrotechniki. W czasie obiadu odkryłem, że Barbara i ja mamy podobne poglądy na uczenie się oraz że pisze ona książkę *Głowa do liczb*. Zaprosiłem ją na Uniwersytet Kalifornijski do San Diego, gdzie wygłosiła wykład w ramach TDLC dla uczniów szkół średnich i dla nauczycieli.

Barbara świetnie radziła sobie z uczniami i oczywiste było, że jest nauczycielką z powołaniem. Jej podejście i praktyczne wnioski wywodziły się z tego, co wiemy o mózgu. Stworzyliśmy więc zespół w celu opracowania masowego otwartego kursu dostępnego online dla platformy Coursera zatytułowanego *Learning How to Learn: Powerful Mental Tools to Help You Master Tough Subjects* (Uczymy się, jak się uczyć. Skuteczne narzędzia mentalne, które pomogą w opanowaniu najtrudniejszych zagadnień). Miał on premierę w sierpniu 2014 roku (il. 12.8, <https://www.coursera.org/learn/learning-how-to-learn>). Obecnie jest to jeden z najbardziej popularnych na świecie kursów. W ciągu czterech lat zyskał ponad 3 miliony zarejestrowanych użytkowników i w dalszym ciągu przyciąga około tysiąca nowych uczniów dziennie, pochodzących z ponad 200 krajów. Kurs oferuje narzędzia, które są potrzebne do tego, żeby nauczyć się, jak lepiej się uczyć. Korzystają one z naszej wiedzy o tym, jak uczy się mózg. Reakcje uczestników kursu były w przeważającej części pozytywne. Opracowaliśmy zatem drugi kurs zatytułowany *Mindshift* (Zmiana sposobu

myślenia), żeby pomóc tym, którzy chcą zacząć nową pracę lub zmienić swój styl życia. Obydwa te kursy są dostępne nieodpłatnie w internecie.

Kurs *Learning How to Learn* (Uczymy się, jak się uczyć) daje praktyczne rady dotyczące tego, jak lepiej się uczyć, jak poradzić sobie ze stresem w czasie egzaminów, jak unikać prokrastynacji oraz wiedzę o tym, jak nasz mózg się uczy. Jest to darmowy miesięczny kurs, zawierający filmy wideo o długości od 5 do 10 minut oraz quizy i testy. Został przetłumaczony na ponad 20 języków. Podstawą kursu jest to, co nasz nieświadomy mózg może zrobić dla nas, kiedy zajmujemy się czymś innym. Henri Poincaré, znany XIX-wieczny matematyk, opisał niegdyś, w jaki sposób udało mu się rozwikłać trudny matematyczny problem, nad którym intensywnie, ale bez powodzenia, pracował od tygodni. Wziął sobie wolne. A kiedy wsiadał do autobusu na południu Francji, rozwiązanie problemu nagle zaświtało mu w głowie, jakby nieproszone, w tej części jego mózgu, która nie przestała nad nim pracować w czasie, kiedy on dobrze bawił się na wakacjach. Wiedział, że był na dobrej drodze do znalezienia rozwiązania i po powrocie do Paryża udało mu się to zrobić. Intensywna praca nad tym zagadnieniem, którą wykonał zanim wyjechał na wakacje, przygotowała jego mózg w taki sposób, że jego nieświadomość mogła pracować dalej, kiedy on wypoczywał. Obydwie fazy są równie ważne dla kreatywności.

Co zaskakujące, nasz mózg jest w stanie pracować nad problemem nawet wtedy, kiedy śpimy i nie jesteśmy niczego świadomi. Ale dzieje się tak tylko wtedy, kiedy przed pójściem spać koncentrujemy się na próbach rozwiązania tego problemu. Po przebudzeniu pojawia się nam w głowie świeża myśl, która może pomóc w uporaniu się z nim. Intensywny wysiłek przed wyjazdem na wakacje lub przed pójściem spać jest jednak niezbędny ze względu na konieczność przygotowania naszego mózgu. W przeciwnym wypadku może on równie dobrze zacząć pracować nad zupełnie innym problemem. Matematyka czy nauki przyrodnicze nie zajmują pod tym względem jakiegoś szczególnego miejsca. Jeśli ostatnio intensywnie zajmowaliśmy się na przykład jakimś problemem społecznym, nasz mózg będzie pracował nad jego rozwiązaniem równie ciężko, jak nad matematyką czy zagadnieniami przyrodniczymi.

Jednym z najbardziej satysfakcjonujących efektów kursu *Learning How to Learn* (Uczymy się, jak się uczyć) były listy, które otrzymywaliśmy od zadowolonych uczestników. Dziękowali oni za najlepszy kurs, w jakim brali udział, i dzielili się informacjami o tym, w jaki sposób wpłynął on na ich wybór kariery²⁹. Pisali do nas również nauczyciele, którzy korzystali z materiałów będących częścią kursu podczas prowadzonych przez siebie lekcji.



Ilustracja 12.8. Barbara Oakley mówiąca o kursie *Learning How to Learn* (Uczymy się, jak się uczyć). Ponad 3 miliony osób wzięły w nim udział, dzięki czemu stał się najpopularniejszym kursem internetowym na świecie. (Dzięki uprzejmości Barbary Oakley)

Naszym pierwotnym zamierzeniem było to, żeby kurs *Learning How to Learn* był przeznaczony dla uczniów szkół średnich i studentów college'ów. Z czasem okazało się jednak, że stanowili oni mniej niż 1 procent wszystkich uczestników. Szkoły, ponieważ muszą przygotować swoich uczniów do egzaminów zgodnych z ujednoliconymi standardami stanowymi (Common Core State Standards), nie mają czasu na to, by uczyć swoich uczniów, jak się uczyć, a byłoby to znacznie bardziej pomocne. Namawianie okręgów szkolnych do przyjęcia kursu *Learning How to Learn* byłoby mozolną batalią, ze względu na to, że budżety operacyjne szkół są ograniczone. Okręgi szkolne nie są ponadto skłonne do zmieniania planów nauczania w taki sposób, żeby włączać do nich treści zawarte w naszym kursie. Każde działanie na większą skalę wymagałoby kosztownego wprowadzenia zmian w planach i harmonogramach, ponownego szkolenia nauczycieli i opracowania nowych materiałów dydaktycznych. Musimy jednak w jakiś sposób dotrzeć do dwunastolatków, zanim staną się uczniami szkół średnich. Barbara i ja napisaliśmy książkę skierowaną właśnie do tych odbiorców. Mamy nadzieję, że dotrze ona do uczniów w młodszym wieku, jeszcze zanim napotkają trudności w uczeniu się matematyki, które często zdarzają się w połowie toku nauczania³⁰.

Masowe otwarte kursy online, bazujące na innym modelu nauczania niż kursy w szkole, w których trzeba uczestniczyć w całości albo w ogóle, są bardziej jak książki, które można zacząć w dowolnym momencie i czytać selektyw-

nie. Uczestnicy mają skłonność do przerzucania materiałów i wybierania według swoich upodobań tych wykładów, które odpowiadają ich bieżącym potrzebom. Kursy online były pierwotnie pomyślane jako alternatywa dla tradycyjnej sali lekcyjnej. Dzisiaj zaczynają pełnić funkcję uzupełniającą, odmienią od innych metod dydaktycznych. Dzięki temu są w stanie zaspokoić potrzeby uczących się w sposób, który jest niedostępny dla bardziej konwencjonalnych metod nauczania. Dlatego kursy online są na przykład stosowane w klasach prowadzonych metodą odwróconą, polegającą na tym, że uczniowie oglądają przygotowane dla nich wykłady w wybranym przez siebie czasie, a w szkole nauczyciel prowadzi dyskusję na temat tego materiału. System edukacyjny obowiązujący w naszych szkołach został opracowany na potrzeby wieku przemysłowego, kiedy wiedza przekazywana w szkole była wystarczająca do tego, by dostać pracę i przez całe życie być produktywnym obywatelem. Dzisiaj wiedza zdobywana w szkole staje się nieaktualna już z chwilą opuszczenia jej murów. Kursy online są sposobem na obejście systemu edukacyjnego i dotarcie bezpośrednio do domów. Na portalu Coursera najwięcej osób zapisujących się na kursy mieści się w przedziale wiekowym od 25 do 35 lat, a ponad połowa uczestników ma za sobą edukację na poziomie college'u. Są to młodzi dorośli, którzy mają pracę, ale potrzebują zdobyć nowe umiejętności i uczą się ich online. W systemie edukacyjnym będzie konieczne wprowadzenie fundamentalnych zmian, dzięki którym nasze mózgi będą mogły przystosować się do szybko zmieniających się miejsc pracy w sektorze informacyjnym. Na przykład zbieranie informacji w internecie wymaga właściwej oceny sytuacji, podstawowych umiejętności w formułowaniu składni zapytań w wyszukiwarkach i odrzucania fałszywych tropów. Niestety wydaje się, że w szkole nie ma czasu na uczenie choćby podstawowych umiejętności internetowych, chociaż uczniowie skorzystaliby znacznie bardziej, gdyby uczyli się aktywnego wyszukiwania informacji, a nie pasywnego przyjmowania przekazywanego materiału.

Udacity, założona przez Sebastiana Thruna znanego chociażby z sukcesów w dziedzinie autonomicznych pojazdów, to kolejna instytucja edukacyjna, która tworzy masowe otwarte kursy online. Zapewnia nieodpłatny dostęp do swoich materiałów. Współpracuje również z firmami, które chcą podnosić kwalifikacje swoich pracowników. Tworzy kursy online dopasowane do potrzeb pracodawcy, a pracownicy mają motywację, żeby w nich uczestniczyć. Taka sytuacja przynosi korzyści wszystkim – pracodawcom, pracownikom i Udacity. Platforma oferuje również zestawy kursów, których ukończenie prowadzi do uzyskania certyfikatów na przykład w dziedzinie technologii pojazdów samo-

jezdnych (koszt kursu 800 dolarów). Jest on oferowany z gwarancją zwrotu pieniędzy, jeśli w ciągu sześciu miesięcy nie znajdzie się pracy³¹. Sektor edukacyjny funkcjonujący poza tradycyjnymi szkołami szybko się rozwija, a masowe otwarte kursy online są w stanie stworzyć różnorodne rozwiązania na potrzeby uczenia się przez całe życie.

W kwietniu 2017 roku został uruchomiony nasz kolejny kurs online zatytułowany *Mindshift: Break through Obstacles to Learning and Discover Your Hidden Potential* (Zmiana sposobu myślenia. Jak pokonać przeszkody w uczeniu i znaleźć swój ukryty potencjał; <https://www.coursera.org/learn/mindshift>). Towarzyszy mu nowa książka Barbary Oakley³² opowiadająca historie z życia różnych osób (również mojego). Ilustrują one problemy pojawiające się, kiedy chcemy w pewien sposób zmienić swoje życie. Książka powstała na podstawie doświadczeń osób, które przez takie zmiany przeszły. W moim przypadku polegała na zmianie dziedziny, którą zajmowałem się naukowo: z fizyki na neurobiologię; w innym – odnoszący sukcesy koncertowe solista zrezygnował z otwierającej się przed nim muzycznej kariery i sławy, żeby zostać lekarzem medycyny. Zmiany tego typu są coraz częstsze w naszym życiu zawodowym. *Mindshift* powstał właśnie po to, by ten proces ułatwić. Jest on obecnie trzecim najpopularniejszym kursem online na świecie.

Innym sposobem na nauczenie się, jak lepiej się uczyć, są interaktywne gry komputerowe. Firmy, na przykład Lumosity, oferują gry, w które można grać online i które, jak twierdzą ich producenci, poprawiają pamięć i koncentrację. Problem polega jednak na tym, że badania, które miałyby potwierdzać, że tak jest w rzeczywistości, są nierzetelne, a często w ogóle się ich nie prowadzi. Dotyczy to zwłaszcza kwestii transferu wyuczonych w grach umiejętności do zadań, które będziemy realizować w prawdziwym świecie.

Trenowanie mózgu

Największą efektywnością w usprawnianiu funkcji poznawczych cechują się te gry wideo, w których uganiamy się za potworami, gry wojenne, w których zabijamy tych złych oraz wyścigi samochodowe. Daphne Bavelier z Uniwersytetu Genewskiego udowodniła, że granie w strzelanki pierwszoosobowe typu *Medal of Honor: Allied Assault* poprawia percepcję, koncentrację i pojmowanie, a zwłaszcza widzenie, wielozadaniowość i przełączanie się pomiędzy zadaniami oraz prowadzi do szybszego podejmowania decyzji³³. Doszła też do wniosku, że granie w niektóre z tych gier mogło nauczyć mózgi starszych osób reagowania

z szybkością taką samą jak u osób młodszych (to dobra wiadomość dla wszystkich, którzy się starzeją). Inne strzelanki mogą natomiast doprowadzić do osłabienia pamięci długotrwałej³⁴. Każda z gier ma swoje dobre i złe strony, które w każdym przypadku trzeba rozpatrywać indywidualnie.

Adam Gazzaley z Uniwersytetu Kalifornijskiego w San Francisco stworzył trójwymiarową grę wideo zatytułowaną *NeuroRacer*, która poprawia zdolność do wykonywania wielu zadań jednocześnie, korzystając z wyników badań pokazujących, że aktywność neuromodulatorów w mózgu ma ogromne znaczenie dla naszej koncentracji, umiejętności uczenia się i pamięci³⁵. Grający w *NeuroRacera* prowadzi samochód po krętej górskiej drodze, zwracając uwagę na niektóre znaki losowo pojawiające się w różnych miejscach, a ignorując inne. Wymaga to od graczy wielozadaniowości i korzystania ze zdolności poznawczych, jak uwaga i przełączanie się pomiędzy zadaniami. Testując tę grę, Adam i jego współpracownicy odkryli, że po przeprowadzeniu treningu grający znacząco usprawnili wspomniane wcześniej zdolności oraz zaczęli osiągać lepsze wyniki w zadaniach sprawdzających pamięć roboczą i przedłużoną uwagę, które nie były częścią treningu. Ponadto osiągnięte przez nich wyniki były lepsze, niż w przypadku dwudziestolatków, którzy nie grali w grę, a wyższy poziom ich zdolności utrzymał się jeszcze przez sześć miesięcy bez dalszych treningów³⁶. *NeuroRacer* jest teraz poddawany testom klinicznym jako terapia przeznaczona dla pacjentów z deficytami uwagi i pamięci.

W 1997 roku Paula Tallal, wówczas na Uniwersytecie Rutgersa i Michael Merzenich, wówczas na Uniwersytecie Kalifornijskim w San Francisco, założyli firmę Scientific Learning tworzącą rozwiązania dla dzieci z trudnościami w nauce języka oraz czytania i pisanie (na przykład z dysleksją). Rozumienie mowy opiera się na zdolności do uchwycenia szybkich przejść pomiędzy dźwiękami. Na przykład rozróżnienie pomiędzy tym, czy słyszymy „ba”, „ga” czy „da” zależy od różnic czasowych rzędu milisekund na początku wymawiania sylaby. Dzieci, które nie są w stanie ich wychwycić będą mieć trudności w nauce języka, bo będą mylić słowa zawierające te dźwięki. Dziecko, żeby nauczyć się czytać, musi opanować umiejętność rozpoznawania i rozróżniania krótkotrwałych dźwięków, którym odpowiadają litery w słowach. Tallal i Merzenich stworzyli serię gier komputerowych – dzisiaj liczącą już wiele pozycji – zatytułowanych *Fast ForWord*, które poprawiają zdolność do rozróżniania dźwięków, wspomagają proces nauki języka i zwiększają zdolność rozumienia tekstu pisanego. Początkowo nadmiernie akcentują dźwiękowe odstępstwa czasowe w sylabach, słowach i zdaniach, a następnie w miarę, jak dziecko radzi sobie coraz lepiej na

kolejnych poziomach nauki mówienia i czytania, stopniowo zmniejszając te odstępy³⁷. Gry komputerowe *Fast ForWord* są wysoko oceniane jako gry edukacyjne i używane w 6 tysiącach szkół przez ponad 2,5 miliona dzieci. Są również wykorzystywane jako pomoc w nauce angielskiego jako drugiego języka w ponad 55 krajach. Merzenich stworzył również grę *BrainHQ* (<https://brainhq.com>), opartą na podobnych podstawach naukowych, której celem jest zatrzymanie obniżania się zdolności poznawczych u starzejących się dorosłych.

Dzięki ćwiczeniom mózgu można również usprawnić swoje zdolności motoryczne. Aaron Seitz z Uniwersytetu Kalifornijskiego w Riverdale stworzył program komputerowy, który wyostrza percepcję wizualną i skraca czasy reakcji. Drużyna baseballa, po ćwiczeniach przeprowadzonych z użyciem tego programu, zauważyła u swoich graczy lepszą ostrość widzenia, zmniejszenie liczby strikeoutów, więcej zaliczonych obiegów, co pozwoliło jej wygrać 4 do 5 gier więcej w sezonie liczącym 54 mecze³⁸. Seitz stworzył również niedrogą aplikację nazwaną *UltimEyes*, dzięki której wyniki jego badań stały się dostępne dla szerszego grona odbiorców, jednak niedawno Federalna Komisja Handlu wstrzymała jej rozpowszechnianie do czasu aż dalsze badania będą mogły potwierdzić jego zapewnienia dotyczące oddziaływania gry³⁹.

Poprawa w jednym obszarze zdolności poznawczych może przenosić się na inny, kiedy gramy w gry bazujące na czasie reakcji. Inaczej jest w przypadku wielu innych, bardziej wyspecjalizowanych gier, na przykład pamięciowych. Chociaż coraz lepiej nam idzie tworzenie interaktywnych gier wideo, które mają pozytywny wpływ na pracę naszego mózgu, dobrze się w nie gra i mogą zostać dostarczone w postaci aplikacji, potrzebujemy jednak dalszych badań, które pomogą nam zrozumieć, w jaki sposób dokonuje się transfer umiejętności zdobytych w grze. Potencjał ulepszania naszych zdolności poznawczych jest w każdym razie ogromny.

Biznes oparty na sztucznej inteligencji

Podczas sesji otwierającej konferencję NIPS w 2015 roku witałem uczestników ubrany w kurtkę, jakie noszą kierowcy rajdowi, pokrytą logotypami wszystkich 42 sponsorów tego wydarzenia (il. 12.9). W 2016 roku na konferencji NIPS w Barcelonie sponsorów było 65, a naszywki z ich logotypami nie mieściły się już na kurtce. W 2017 roku na konferencji NIPS w Long Beach mieliśmy 93 sponsorów. Ten gwałtowny wzrost kiedyś się zatrzyma, ale jego społeczne oddziaływanie może trwać dziesięciolecia. Firmy sponsorujące wysyłają na kon-

ferencji NIPS rekruterów, powierzając im poszukiwanie utalentowanych badaczy, których coraz bardziej brakuje. Wielu moich współpracowników podjęło pracę w firmach, takich jak Google, Microsoft, Amazon, Apple, Facebook, Baidu, wielu założyło start-upy. Doprowadziło to do odpływu utalentowanych pracowników z uniwersytetów. Sebastian Thrun oszacował, że kiedy start-up zajmujący się autonomicznymi pojazdami, taki jak na przykład Otto lub Cruise, zostaje kupiony przez dużą firmę, jeden specjalista w dziedzinie uczenia maszynowego jest wart 10 milionów dolarów⁴⁰.

Geoffrey Hinton stał się pracownikiem Google'a w 2013 roku. Wówczas została kupiona jego firma DNNresearch składająca się z niego i dwu jego doktorantów z Uniwersytetu w Toronto. Ma teraz dostęp do większej mocy obliczeniowej, o której nawet mu się nie śniło, kiedy jeszcze pracował w Toronto, a co jeszcze ważniejsze – do ogromnych ilości danych zgromadzonych przez Google'a. Google Brain to stworzony przez Jeffa Deana niezwykle zespół inżynierów i naukowców o ogromnych talentach. Opracował on MapReduce, system plików, z którego korzystają wszystkie świadczone przez Google'a usługi. Kiedy dajemy Google'owi tekst do tłumaczenia, korzysta on z głębokiego ucze-



Ilustracja 12.9. Kurtka rajdowa NASCAR, którą Terry Sejnowski miał na sobie podczas otwarcia konferencji NIPS w Montrealu w 2015 roku. Sponsorami wydarzenia były zarówno największe firmy internetowe, jak i firmy medialne i finansowe. Wszystkie mają interes w rozwoju głębokiego uczenia. (Dzięki uprzejmości Fundacji NIPS)

nia opracowanego przez zespół Google Brain prowadzony przez Deana. Kiedy wyszukujemy jakąś frazę, głębokie uczenie pomaga nam uszeregować uzyskane wyniki. Kiedy mówimy do asystenta Google, wykorzystuje on głębokie uczenie do rozpoznania wypowiedzianych przez nas słów, a kiedy jego umiejętność prowadzenia konwersacji wzrośnie, to on zacznie korzystać z głębokiego uczenia, żeby lepiej nam służyć. Google mocno zaangażował się w głębokie uczenie, podobnie postępuje reszta branży high-tech. Te wszystkie działania to dopiero początek.

Stany Zjednoczone powoli tracą pozycję lidera w obszarze sztucznej inteligencji. Kiedy Czytelniku czytasz te słowa, inne kraje najprawdopodobniej już nas wyprzedziły. W marcu 2017 roku został założony Instytut Vectora w Toronto, dysponujący budżetem w wysokości 175 milionów dolarów kanadyjskich, na który składa się dofinansowanie pochodzące od kanadyjskiego rządu i prowincji Ontario, Uniwersytetu w Toronto i prywatnych firm⁴¹. Celem Instytutu jest osiągnięcie pozycji czołowego ośrodka w dziedzinie sztucznej inteligencji, wykształcenie jak największej liczby magistrów i doktorów w obszarze uczenia maszynowego i pełnienie funkcji siły napędowej superklastra sztucznej inteligencji w Toronto w prowincji Ontario i w całej Kanadzie. Kanada musi się jednak liczyć z ostrą konkurencją ze strony Chin, gdzie kształci się tysiące inżynierów specjalizujących się w uczeniu maszynowym. Jednym z dwu filarów rozpoczętego niedawno Brain Project są obliczenia fizyczne. W 2017 roku Pekin został zdopingowany przegranym przez Ke Jie meczem w go ze sztuczną inteligencją AlphaGo. Miało to na Chiny wpływ podobny do tego, jaki na Stany Zjednoczone miało w 1957 roku wystrzelenie Sputnika przez Związek Radziecki. Została powołana do życia nowa inicjatywa w obszarze sztucznej inteligencji. Ma ona wielomiliardowy budżet, łączy wiele ambitnych projektów, start-upów i badań naukowych, jej celem jest osiągnięcie dominującej pozycji w świecie do 2030 roku⁴². Chiny mają dostęp do ogromnych ilości danych medycznych i osobowych i równocześnie – znacznie mniejsze niż w zachodnich demokracjach poszanowanie prywatności. Dzięki temu mogą się one wysforować przed inne kraje, które chronią dane osobowe w zastrzeżonych zbiorach. Chiny zbierają również dane dotyczące rolnictwa i produkcji przemysłowej. Ten, kto będzie miał dostęp do większej ilości danych, ten wygra, co przechyla szalę na korzyść Chin.

Chiny chcą ponadto, co wydaje się bardziej niepokojące, „wykorzystać sztuczną inteligencję w pociskach kierowanych, używać jej do śledzenia ludzi za pomocą kamer monitoringu wizyjnego, cenzurowania internetu, a nawet

przewidywania przestępstw⁴³. A w tym samym czasie liderzy polityczni w Stanach Zjednoczonych planują redukcję wydatków budżetowych na naukę i technologię. W latach 60. XX wieku Stany Zjednoczone zainwestowały 100 miliardów dolarów w wyścig kosmiczny (po uwzględnieniu inflacji)⁴⁴, co doprowadziło do powstania branży sztucznych satelitów, zapewniło amerykańskiej gospodarce czołową pozycję w mikroelektronice i zaawansowanych materiałach oraz było polityczną demonstracją siły państwa w obszarze nauki i technologii. Pozytywne skutki tej inwestycji odczuwamy do dzisiaj, bo mikroelektronika i zaawansowane materiały są jednymi z nielicznych branż, w których Stany Zjednoczone wciąż są konkurencyjne. Zatem duże chińskie inwestycje w wyścigu na obszarze sztucznej inteligencji mogłyby zapewnić Pekinowi czołową pozycję w kilku kluczowych branżach na wiele nadchodzących lat. Najwyższy czas się obudzić.

Sztuczna inteligencja przyspiesza rozwój niematerialnej gospodarki informacyjnej. Wielkość produkcji gospodarki jest określana za pomocą produktu krajowego brutto (PKB), który jest łączną wartością wszystkich towarów i usług wyrażonych w walucie danego kraju. Ten miernik został opracowany na potrzeby gospodarki przemysłowej, w której podstawowe produkty i usługi były materialne, na przykład żywność, samochody, opieka medyczna. Dzisiaj jednak coraz większy procent wartości firmy informacyjnej nie jest już mierzony wartością produktów tego typu. Na przykład nieruchomości i sprzęt posiadane przez firmę Microsoft są wyceniane na miliard dolarów, stanowi to zaledwie 1 procent jej wartości rynkowej⁴⁵. Pozostała część jest wyceniana z uwzględnieniem oprogramowania i wiedzy fachowej programistów Microsoftu. Jaką wartość moglibyśmy przypisać informacji, którą ściągamy na nasze telefony? Potrzebujemy nowego miernika, który bierze pod uwagę wartość informacji we wszystkich jej przejawach. Mogą nim być niematerialne wartości krajowe brutto (Gross Domestic Intangibles, GDI), stanowiące uzupełnienie dla PKB jako miernik produktywności⁴⁶.

Dzisiejsze zastosowania sztucznej inteligencji korzystają z wyników badań podstawowych, które zostały przeprowadzone trzydzieści lat temu. Praktyczne zastosowania, które pojawią się za trzydzieści lat, będą bazować na badaniach podstawowych, które prowadzone są dzisiaj. Najlepsi i najbystrzejsi badacze pracują obecnie dla przemysłu i koncentrują się na produktach i usługach w krótkiej perspektywie czasowej. Równoważą to najlepsi i najbystrzejsi studenci garnący się na kierunki związane z uczeniem maszynowym, którzy jedno pokolenie wcześniej pewnie zajęliby się bankowością inwestycyjną.

Myśląc o przyszłości sztucznej inteligencji, musimy wziąć pod uwagę dłuższą perspektywę czasową. Dzisiaj wciąż nie dysponujemy mocą obliczeniową wystarczającą do osiągnięcia przez sztuczną inteligencję poziomu zbliżonego do ludzkiego. Głębokie sieci mają teraz miliony jednostek przetwarzających oraz miliardy połączeń i wag pomiędzy nimi. To wielkości 10 tysięcy razy mniejsze niż liczba neuronów i synaps w korze mózgowej ludzi. W milimetrze sześciennym jej tkanki mieszczą się miliardy synaps. Gdyby wszystkie sensory na świecie zostały podłączone do internetu, a następnie połączone pomiędzy sobą za pomocą sieci głębokich, taka struktura mogłaby pewnego dnia obudzić się i powiedzieć:

„Dzień dobry, świecie!”⁴⁷

SZTUCZNA INTELIGENCJA

Sztuczna inteligencja budzi się teraz do życia i zaczyna przekształcać nasz świat. Siłą napędową tych przełomowych zmian jest rewolucja wywołana przez rozwój głębokiego uczenia maszynowego, której korzenie tkwią w wysiłkach podejmowanych od trzydziestu lat przez pionierów takich jak Terry Sejnowski.

Erik Brynjolfsson, profesor w katedrze zarządzania Rodziny Schusselów na Wydziale Zarządzania Sloana w Massachusetts Institute of Technology, współautor książki *Drugi wiek maszyny*

To fantastyczna książka. Lektura obowiązkowa. Na jej kartach bardzo skomplikowane kwestie zostały przedstawione w sposób, który będzie dostępny dla wszystkich. Autor ma dar opowiadania historii, dzięki czemu spleta ona światy sieci neuronowych i neuronauki, wyjaśniając przeszłość i teraźniejszość sztucznej inteligencji oraz możliwe scenariusze jej przyszłości.

Dama Wendy Hall, profesor (Regius Professor) informatyki, Uniwersytet w Southampton, Wielka Brytania

Terry Sejnowski, jeden z pionierów głębokiego uczenia, nadał tej niezwykle istotnej dziedzinie nowy charakter, odchodząc od traktowania jej jako propozycji teoretycznej i ukazując ją jako naukę empiryczną.

Eric Kandel, profesor w katedrze imienia Freda Kavlego na Wydziale Neuronauki i dyrektor Instytutu Nauk o Mózgu Kavlego na Uniwersytecie Columbia, autor książki *Reductionism in Art and Brain Science: Bridging the Two Cultures* (Redukcjonizm w sztuce i nauce o mózgu. Łączenie dwu kultur)

Napisany przez Sejnowskiego bardzo osobisty dziennik podróży przez historię i sylwetki ludzi, którzy stali na czele rewolucji wywołanej przez głębokie uczenie, pełen jest zarówno cennych spostrzeżeń, jak i anegdot. Sturm und Drang tej historii przenika karty książki, dzięki czemu udziela się nam osobiste zaangażowanie autora i jego emocje.

Vint Cerf, pionier internetu

