

NACZELNY ALGORYTM – TO GRA O WSZYSTKO, CO WAŻNE!

# NACZELNY ALGORYTM

JAK  
JEGO ODKRYCIE  
ZMIENI  
NASZ ŚWIAT

PEDRO DOMINGOS

Helion



Tytuł oryginału: The Master Algorithm: How the Quest for the Ultimate Learning Machine Will Remake Our World

Tłumaczenie: Rafał Ociepa

ISBN: 978-83-283-2448-0

Copyright © 2015 by Pedro Domingos

Published by Basic Books, A Member of the Perseus Books Group.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced in any manner whatsoever without written permission except in the case of brief quotations embodied in critical articles and reviews.

Polish edition copyright © 2015 by Helion SA

All rights reserved.

Wszelkie prawa zastrzeżone. Nieautoryzowane rozpowszechnianie całości lub fragmentu niniejszej publikacji w jakiegokolwiek postaci jest zabronione. Wykonywanie kopii metodą kserograficzną, fotograficzną, a także kopiowanie książki na nośniku filmowym, magnetycznym lub innym powoduje naruszenie praw autorskich niniejszej publikacji.

Wszystkie znaki występujące w tekście są zastrzeżonymi znakami firmowymi bądź towarowymi ich właścicieli.

Autor oraz Wydawnictwo HELION dołożyli wszelkich starań, by zawarte w tej książce informacje były kompletne i rzetelne. Nie biorą jednak żadnej odpowiedzialności ani za ich wykorzystanie, ani za związane z tym ewentualne naruszenie praw patentowych lub autorskich. Autor oraz Wydawnictwo HELION nie ponoszą również żadnej odpowiedzialności za ewentualne szkody wynikłe z wykorzystania informacji zawartych w książce.

Wydawnictwo HELION

ul. Kościuszki 1c, 44-100 GLIWICE

tel. 32 231 22 19, 32 230 98 63

e-mail: [helion@helion.pl](mailto:helion@helion.pl)

WWW: <http://helion.pl> (księgarnia internetowa, katalog książek)

Drogi Czytelniku!

Jeżeli chcesz ocenić tę książkę, zajrzyj pod adres

<http://helion.pl/user/opinie/naczal>

Możesz tam wpisać swoje uwagi, spostrzeżenia, recenzję.

Printed in Poland.

- [Kup książkę](#)
- [Poleć książkę](#)
- [Oceń książkę](#)

- [Księgarnia internetowa](#)
- [Lubię to! » Nasza społeczność](#)

# Spis treści

	Prolog .....	11
<i>Rozdział 1</i>	Rewolucja uczących się maszyn .....	21
<i>Rozdział 2</i>	Naczelny algorytm .....	41
<i>Rozdział 3</i>	Problem indukcji Hume’a .....	73
<i>Rozdział 4</i>	Jak uczy się mózg? .....	107
<i>Rozdział 5</i>	Ewolucja — uczący algorytm natury .....	131
<i>Rozdział 6</i>	W kościele wielbego Bayesa .....	153
<i>Rozdział 7</i>	Jesteś tym, co przypominasz .....	185
<i>Rozdział 8</i>	Uczenie się bez nauczyciela .....	209
<i>Rozdział 9</i>	Kawałki układanki wskakują na miejsce .....	237
<i>Rozdział 10</i>	Świat po uczeniu maszynowym .....	261
	Epilog.....	287
	Podziękowania .....	291
	Lektury dodatkowe .....	293
	O autorze.....	309



# Prolog

Może nie zdajesz sobie z tego sprawy, ale przykłady uczenia maszynowego można znaleźć niemal wszędzie. Kiedy wpisujesz jakieś zapytanie w oknie wyszukiwarki, to właśnie uczenie maszynowe pozwala jej ustalić, jakie wyniki Ci pokazać (i jakie reklamy). Kiedy sprawdzasz maile, nie widzisz większości spamu, jaki trafia do Twojej skrzynki — bo dzięki uczeniu maszynowemu został odfiltrowany. Kiedy odwiedzasz Amazon, żeby kupić książkę, czy Netflix, żeby obejrzeć film, to pomocny system oparty na uczeniu maszynowym podpowiada inne rzeczy, które mogłyby Ci się spodobać. Facebook wykorzystuje uczenie maszynowe do wybierania, które posty Ci pokazać, a Twitter robi to samo z tweetami. Za każdym razem, kiedy używasz komputera, uczenie maszynowe w jakiś sposób bierze w tym udział.

Tradycyjnym sposobem na to, żeby komputer zrobił cokolwiek — od dodania dwóch liczb po sterowanie samolotem — było do niedawna pisanie algorytmu, który w nieprawdopodobnie szczegółowy sposób objaśniał, jak to zrobić. Ale algorytmy uczenia maszynowego, nazywane również algorytmami uczącymi, są inne: same uczą się, jak coś robić, wyciągając wnioski z dostępnych danych. A im więcej danych mają do dyspozycji, tym lepiej sobie radzą. Nie programujemy już komputerów — komputery programują się same.

Dzieje się tak nie tylko w cyberprzestrzeni: cały Twój dzień, od przebudzenia do zaśnięcia, obfituje w przykłady uczenia maszynowego.

Twój budzik włącza radio o 7.00 rano. Puszczą piosenkę, której nie znasz, ale która bardzo Ci się podoba. Dzięki Pandora uczy się Twoich gustów muzycznych, jak Twój osobisty DJ. Ba, uczenie maszynowe mogło nawet mieć udział przy tworzeniu tej piosenki. Jesz śniadanie i czytasz gazetę. Gazeta została wydrukowana kilka godzin temu, a za pomocą algorytmu uczącego cały proces został starannie wyregulowany,

żeby uniknąć rozmazywania druku. Temperatura w Twoim domu jest dokładnie taka, jak lubisz, a wydatki za ogrzewanie znacznie spadły, odkąd masz nowy, uczący się termostat Nest.

Kiedy jedziesz do pracy, Twój samochód na bieżąco dostosowuje wtrysk paliwa i recyrkulację spalin, żeby uzyskać najwydajniejsze spalanie. Inrix, system przewidywania ruchu na drodze, umożliwia skrócenie czasu dojazdu w godzinach szczytu (a przede wszystkim pomaga Ci uniknąć stresu). W pracy uczenie maszynowe wspiera Cię w walce z przeładowaniem informacjami. Korzystasz z kostki danych, żeby podsumować ogromne ilości danych, spojrzeć na nie z każdej strony i skupić się na najważniejszych częściach. Musisz zdecydować: czy układ A, czy B spowoduje większy ruch na Twojej stronie? Sieciowy system uczący się wypróbuje oba układy i przedstawi wyniki. Musisz przejrzeć stronę potencjalnego dostawcy, ale jest napisana w obcym języku? Nie ma sprawy: Google automatycznie ją dla Ciebie przetłumaczy. Twoje maile są wygodnie sortowane w foldery, tak że w skrzynce odbiorczej masz tylko najważniejsze z nich. Twój edytor tekstu sprawdza za Ciebie gramatykę i ortografię. Udaje Ci się znaleźć bilet na zaplanowany lot, ale nie kupujesz go od razu, bo Bing Travel przewiduje, że niedługo cena biletu spadnie. Być może nieświadomie, ale każdego dnia udaje Ci się zrobić więcej dzięki temu, że wspomaga Cię uczenie maszynowe.

Podczas przerwy w pracy sprawdzasz stan swoich funduszy inwestycyjnych. Większość z nich korzysta z uczących się algorytmów przy wybieraniu akcji, a jeden z nich jest w całości zarządzany przez uczący się system. W przerwie na lunch idziesz ulicą ze swoim smartfonem i szukasz miejsca na obiad. Uczący się system Yelp pomaga Ci je znaleźć. W Twoim telefonie jest masa uczących się algorytmów. Cały czas ciężko pracują, na przykład poprawiając literówki, reagując na komendy głosowe, zmniejszając liczbę błędów w transmisji czy rozpoznając kody kreskowe. Twój telefon potrafi nawet przewidywać, co będziesz robić w najbliższej przyszłości, i podawać Ci stosowne informacje. Na przykład kiedy kończysz lunch, dyskretnie przypomina Ci, że Twoje popołudniowe spotkanie zacznie się później, bo samolot Twojego gościa miał opóźnienie.

Zanim kończysz pracę, robi się ciemno. Uczenie maszynowe dba o Twoje bezpieczeństwo, kiedy wracasz do samochodu, bo monitoruje obraz z kamery przemysłowej na parkingu i informuje ochronę o wykryciu czegoś podejrzanego. Po drodze do domu zatrzymujesz się w supermarkecie, gdzie chodzisz alejkami, które ułożono z pomocą uczących się algorytmów: to one decydowały, w jakie towary zaopatrzyć sklep, jakie z nich ułożyć na końcach alejek i czy salsa powinna stać w dziale sosów, czy obok chipsów o smaku tortilli. Płacisz kartą kredytową. Ofertę na wyrobienie tej karty przesłał Ci uczący się algorytm — i taki sam algorytm zatwierdził wniosek o jej wydanie.

Inny algorytm nieustannie szuka podejrzanych transakcji i poinformuje Cię, jeżeli uzna, że Twój numer karty został skradziony. Jeszcze inny stara się ocenić stopień Twojego zadowolenia z karty. Jeżeli jest ono za niskie, a przy tym jesteś wartościowym klientem, może zaproponować Ci atrakcyjniejszą ofertę, zanim przejdziesz do konkurencji.

Wracasz do domu i podchodzisz do skrzynki na listy. Znajdujesz tam list od przyjaciela, dostarczony dzięki uczącemu się algorytmowi potrafiącemu odczytywać ręcznie zapisane adresy. Do tego dochodzą zwyczajowe ulotki i reklamy, wybrane dla Ciebie przez inne algorytmy uczące (cóż, niestety). Zatrzymujesz się na chwilę, żeby odetchnąć chłodnym wieczornym powietrzem. Przystępność w mieście wyraźnie spadła, odkąd policja zaczęła korzystać z uczenia statystycznego, żeby przewidywać, gdzie występuje największe prawdopodobieństwo popełnienia przestępstwa, i wysyłać tam patrole. Jesz z rodziną kolację. W wiadomościach jest mowa o prezydencie miasta. Dostał Twój głos po tym, jak zadzwonił do Ciebie osobiście w dzień wyborów, bo uczący się algorytm wskazał Ciebie jako kluczowego niezdecydowanego wyborcę. Po kolacji oglądasz mecz. Obie drużyny wybrały zawodników do składu, korzystając z uczenia statystycznego. A może zamiast tego grasz na xboksie z dziećmi, a uczący się algorytm Kinecta rozpoznaje, gdzie jesteście i co robicie. Przed snem zażywasz leki, które zostały zaprojektowane i przebadane z pomocą kolejnych uczących się algorytmów. Być może Twój lekarz też korzystał z uczenia maszynowego podczas stawiania diagnozy, przy interpretowaniu zdjęć RTG lub przy identyfikowaniu nietypowych objawów.

Uczenie maszynowe odgrywa pewną rolę w każdej dziedzinie życia. Jeżeli masz na koncie internetowe kursy do egzaminu wstępnego na uczelnię, to uczący się algorytm oceniał Twoje próbne wypracowania. A jeżeli zdarzyło Ci się niedawno starać o miejsce na studiach ekonomicznych i zdawać egzamin GMAT<sup>1</sup>, to Twój esej oceniał między innymi system uczący się. Być może Twoje podanie o pracę zostało wybrane z wirtualnego stosu CV przez uczący się algorytm, który wskazał potencjalnemu pracodawcy: „To wartościowy kandydat, przyjrzyj się”. Swoją ostatnią podwyżkę też możesz zawdzięczać uczącemu się algorytmowi. A może chcesz kupić dom? Zillow.com oceni, ile warta jest każda z nieruchomości, które bierzesz pod uwagę. Kiedy już się na jakąś zdecydujesz, to złożysz podanie o kredyt, a uczący się algorytm przeanalizuje Twój wniosek i zarekomenduje jego przyjęcie (lub odrzucenie). Co być może najważniejsze, jeżeli zdarzyło Ci się korzystać z sieciowego serwisu randkowego, to uczenie maszynowe być może pomogło Ci znaleźć miłość Twojego życia.

---

<sup>1</sup> Test stosowany przez niektóre uczelnie jako element egzaminu wstępnego na studia MBA — *przyp. tłum.*

Nasze społeczeństwo stopniowo zmienia się wraz z każdym kolejnym algorytmem. Uczenie maszynowe odmienia technologię, naukę, biznes, politykę i wojnę. Satelity, sekwencery DNA czy akceleratory cząstek zgłębiają kolejne sekrety przyrody, a uczące się algorytmy zamieniają potoki danych w nową wiedzę naukową. Firmy znają swoich klientów lepiej niż kiedykolwiek wcześniej. Wybory wygrywają kandydaci mający najlepsze modele wyborców, jak w przypadku zwycięstwa Obamy nad Romneyem. Samoloty bezzałogowe latają samodzielnie nad lądem i wodą. Nikt nie zaprogramował Twoich gustów w systemie rekomendacji Amazonu; uczący się algorytm skompletował je samodzielnie na podstawie uogólnień z Twoich wcześniejszych zakupów. Autonomiczny samochód Google sam nauczył się, jak trzymać się drogi; żaden programista nie napisał algorytmu wskazującego, jak krok po kroku przejechać z punktu A do punktu B. Nikt nie wie, jak zaprogramować samochód tak, żeby jeździł — i nikt nie musi tego robić, bo samochód wyposażony w uczący się algorytm zdobywa te umiejętności, obserwując, co robi kierowca.

Uczenie maszynowe to coś zupełnie nowego: technologia, która buduje sama siebie. Od czasu, gdy nasi dalecy przodkowie zaczęli ostrzyć kamienie, żeby służyły im za narzędzia, ludzie tworzyli artefakty, robiąc je ręcznie lub fabrycznie. Ale uczące się algorytmy są artefaktami, które projektują inne artefakty. „Komputery są bezużyteczne — powiedział Picasso — potrafią tylko dawać odpowiedzi”. Komputery nie mają być kreatywne; mają robić to, co się im każe. Ale jeżeli każe się im być kreatywnymi, to wynikiem tego jest uczenie maszynowe. Uczący się algorytm jest jak mistrz rzemiosła: każdy jego wytwór jest inny i doskonale dopasowany do potrzeb klienta. Zamiast jednak zmieniać kamień w mur lub złoto w biżuterię, uczące algorytmy zmieniają dane w inne algorytmy. Im więcej mają danych do dyspozycji, tym bardziej złożone mogą być te nowe algorytmy.

*Homo sapiens* to gatunek, który zamiast dostosowywać się do świata, dostosowuje świat do siebie. Uczenie maszynowe to najnowszy rozdział tej ciągnącej się od milionów lat sagi; dzięki niemu świat poznaje nasze życzenia i zmienia się stosownie do nich — a my nie musimy nawet kiwnąć palcem. Twoje otoczenie — dziś wirtualne, jutro materialne — zmienia się samo, jak jakiś baśniowy las, tylko dzięki temu, że się w nim znajdujesz. Wąska ścieżka, którą idziesz między drzewami, sama zamienia się w drogę. W miejscach, gdzie się gubisz, pojawiają się drogowskazy.

Te technologie, zdawałoby się — magiczne, działają dzięki temu, że istotą uczenia maszynowego jest przewidywanie: przewidywanie, czego chcemy, przewidywanie efektów naszych działań, sposobu osiągnięcia naszych celów czy tego, jak zmieni się świat. Dawniej polegaliśmy na szamanach i wróżbitach, ale okazali się zbyt zawodni. Prognozy



nauki są bardziej wiarygodne, ale są też ograniczone do tego, co możemy systematycznie obserwować i łatwo modelować. *Big data* i uczenie maszynowe znacznie poszerzają tę dziedzinę. Umysł „nieuzbrojony” może bez problemu przewidzieć niektóre codzienne sprawy, od toru lotu piłki po to, jak rozwinie się rozmowa. Pewne rzeczy pozostaną jednak nieprzewidywalne mimo naszych starań. Uczenie maszynowe potrafi poradzić sobie z całym spektrum znajdującym się między tymi ekstremami.

Paradoksem jest to, że uczące się algorytmy, które otwierają coraz nowsze perspektywy na przyrodę i ludzkie zachowanie, same pozostają okryte tajemnicą. Właściwie codziennie w mediach pojawiają się historie związane z uczeniem maszynowym; czy to wprowadzenie przez Apple osobistej asystentki Siri, czy pokonanie mistrza *Jeopardy!* przez komputer IBM Watson, czy sytuacja, kiedy informacja o ciąży pewnej nastolatki dotarła wcześniej do pracowników sieci sklepów Target niż do jej własnych rodziców, czy wreszcie, sposoby łączenia różnych informacji przez amerykańską NSA. Jednak w każdym z tych przypadków uczący się algorytm, który stoi za daną sytuacją, jest dla nas nieprzenikniony. Nawet książki zajmujące się tematem *big data* często pomijają to, co dzieje się, kiedy komputer połknie terabajty danych i w magiczny sposób wyrzuci nowe rozwiązania. W najlepszym razie wydaje się nam, że uczące się algorytmy po prostu wynajdują korelacje między dwoma zdarzeniami, na przykład między wyszukaniem hasła „leki na grypę” a zachorowaniem. Ale znajdowanie powiązań ma się do uczenia maszynowego tak, jak cegły mają się do domów; przecież to nie w ceglach mieszkamy.

Kiedy mamy do czynienia z nową technologią, która jest równie wszechobecna i wpływa co uczenie maszynowe, rozważnie jest wyjąć ją z tej metaforycznej czarnej skrzynki. Brak zrozumienia prowadzi do błędów i nadużyć. Żaden człowiek nie ma większego wpływu niż algorytm Amazonu na to, jakie książki czyta się obecnie na świecie. Algorytmy NSA decydują, kto zostanie uznany za potencjalnego terrorystę. Modele klimatu decydują, jakie są bezpieczne poziomy dwutlenku węgla w atmosferze. Modele wybierające akcje na giełdzie oddziałują na gospodarkę w większym stopniu niż większość z nas. Nie możemy kontrolować tego, czego nie rozumiemy, i właśnie dlatego musimy zrozumieć uczenie maszynowe — jako obywatel, jako osoba pracująca i jako istota ludzka dążąca do szczęścia.

Pierwszym celem tej książki jest odsłonięcie sekretów uczenia maszynowego. Co prawda tylko inżynierowie i mechanicy muszą rozumieć, jak działa silnik samochodu, ale każdy kierowca powinien wiedzieć, że przekręcenie kierownicy zmienia kierunek jazdy, a naciśnięcie hamulca zatrzymuje pojazd. Bardzo niewiele osób wie obecnie, jakie są analogiczne elementy algorytmu uczącego, a jeszcze mniej osób umie z nich korzystać. Termin **model koncepcyjny** wprowadzony przez psychologa Dona Normana

odnosi się do stopnia ogólnej znajomości technologii, jaką musimy się wykazać, żeby móc skutecznie posługiwać się tą technologią. Ta książka pokaże Ci model koncepcyjny uczenia maszynowego.

Nie wszystkie algorytmy uczące się działają w ten sam sposób, a różnice między nimi mają swoje konsekwencje. Przyjrzyjmy się na przykład algorytmom rekomendacji stosowanym przez Amazon i Netflix. Gdyby prowadziły Cię przez tradycyjną księgarnię, próbując ustalić, co jest „w sam raz dla Ciebie”, Amazon raczej prowadziłby Cię do półek odwiedzanych przez Ciebie wcześniej, a Netflix — do nieznanymi i pozornie dziwnych działów sklepu, do rzeczy, które później szalenie by Ci się spodobały. W tej książce zobaczymy różne rodzaje algorytmów używanych przez firmy takie jak Amazon i Netflix. Algorytm Netfliksa rozumie Twoje gusta lepiej (choć nadal to bardzo ograniczone rozumienie) niż algorytm Amazonu, ale co ciekawe, nie oznacza to, że Amazon zyskałby, gdyby zaczął używać algorytmu Netfliksa. Model biznesowy Netfliksa opiera się na budowaniu popytu na długi ogon nieznanymi filmów i seriali, które kosztują niewiele, i jednoczesnym odwracaniu zainteresowania od hitów, których kosztów nie pokrywa wysokość subskrypcji. Amazon nie ma tego problemu — co prawda ma możliwość budowania zysku ze sprzedaży produktów z długiego ogona, ale równie dobrze może sprzedawać Ci droższe, popularne towary, co przy okazji upraszcza kwestie logistyczne. Z kolei my, jako klienci, chętniej zaryzykujemy nietypowy nabitek, jeżeli korzystamy z subskrypcji, niż gdybyśmy mieli zapłacić za niego osobno.

Co roku wynajdywane są setki nowych uczących się algorytmów, ale wszystkie opierają się na tych samych podstawowych ideach. Ta książka jest właśnie o tych podstawach, które wystarczy poznać, żeby zrozumieć, jak uczenie maszynowe zmienia świat. Te sprawy bynajmniej nie są ezoteryczne i, nawet pomijając zastosowanie ich w kontekście komputerów, zawierają odpowiedzi na pytania istotne dla nas wszystkich: Jak się uczy? Czy można to robić lepiej? Co możemy przewidzieć? Czy możemy wierzyć w to, czego się nauczyliśmy? Na polu uczenia maszynowego mamy do czynienia z rywalizującymi ze sobą kierunkami, z których każdy oferuje różne odpowiedzi na te pytania. Każdej z pięciu głównych szkół poświęcimy tutaj po jednym rozdziale. Symboliści uznają uczenie się za przeciwieństwo dedukcji i zapożyczają koncepcje z filozofii, psychologii i logiki. Koneksjoniści odtwarzają mózg, a ich inspiracjami są neurologia i fizyka. Ewolucjoniści symulują ewolucję w komputerach i posiłkują się genetyką oraz biologią ewolucyjną. Zwolennicy uczenia bayesowskiego uważają, że uczenie się jest formą wnioskowania statystycznego, a ich poglądy mają podłoże w statystyce. Analogiści uczą się przez ekstrapolację z oceny podobieństwa, a znaczenie mają dla nich psychologia i optymalizacja matematyczna. Przyjmując perspektywę dążenia do bu-

dowy uczących się maszyn, zapoznamy się ze znaczną częścią intelektualnej historii ostatniego stulecia i zobaczymy ją w zupełnie nowym świetle.

Każdy z tych pięciu szczepów zamieszkujących krainę uczenia maszynowego ma swój własny „algorytm naczelny”, czyli algorytm uczący się o szerokim zastosowaniu, którego w teorii można użyć do uzyskania informacji na podstawie danych należących do dowolnej dziedziny. Naczelnym algorytmem symbolistów jest odwrotna dedukcja, koneksjonistów — propagacja wsteczna, ewolucjonistów — programowanie genetyczne, zwolenników Bayesa — wnioskowanie bayesowskie, a analogistów — maszyna wektorów nośnych. W praktyce jednak każdy z tych algorytmów nadaje się do pewnych zadań, a nie sprawdza się w innych. Tym, o co nam naprawdę chodzi, jest jeden algorytm łączący w sobie ich kluczowe cechy: doskonały algorytm naczelny. Dla niektórych ta wizja to nieosiągalne marzenie, ale dla wielu z nas zajmujących się uczeniem maszynowym to coś, co powoduje błysk w oku i motywuje do pracy po nocach.

Jeżeli naczelny algorytm istnieje, to może pozyskać całą wiedzę świata — przeszłą, obecną i przyszłą — wyłącznie z danych. Wynalezienie go byłoby jednym z największych osiągnięć w historii nauki. Przyspieszyłoby postęp cywilizacyjny pod każdym względem i zmieniłoby świat w sposób, jaki możemy sobie wyobrazić tylko w przybliżeniu. Naczelny algorytm jest dla uczenia maszynowego tym, czym model standardowy jest dla fizyki cząstek elementarnych lub dogmat centralny dla biologii molekularnej: ujednoczoną teorią, która porządkuje wszystko, co poznaliśmy do tej pory, a zarazem stanowi fundamenty dziesięcioleci czy wręcz stuleci dalszego rozwoju. Naczelny algorytm to droga do rozwiązania najtrudniejszych problemów, z jakimi się mierzymy, od budowania robotów domowych po lek na raka.

Weźmy raka. Wyleczenie go jest trudne, bo rak nie jest jedną chorobą, a całym ich zbiorem. Guzy mogą mieć przeróżne przyczyny, a dodatkowo mutują w przerzutach. Najpewniejszym sposobem na wyeliminowanie guza jest sekwencjonowanie jego genomu, sprawdzenie, które leki na niego zadziałają — bez szkody dla pacjenta, z uwzględnieniem jego genomu i historii medycznej — a może nawet zaprojektowanie nowego leku specjalnie dla tego przypadku. Żaden lekarz nie jest w stanie opanować koniecznej do tego wiedzy. Natomiast idealnie się do tego nadaje uczenie maszynowe: zasadniczo to tylko bardziej złożona i trudniejsza wersja takiego wyszukiwania, jakie Amazon i Netflix wykonują codziennie, z tym że tutaj szuka się odpowiedniej terapii zamiast odpowiedniej książki czy filmu. Niestety, chociaż dzisiejsze algorytmy uczące się potrafią diagnozować wiele chorób z nadludzką dokładnością, to wyleczenie raka przekracza ich możliwości. Jeżeli uda się nam odnaleźć naczelny algorytm, nie będzie to już ponad ich siły.

Drugim celem tej książki jest zatem umożliwienie Ci wynalezienia naczelnego algorytmu. Wydawałoby się, że do tego potrzeba zaawansowanej matematyki i poważnych podstaw teoretycznych, ale jest wręcz przeciwnie. Odejdźcie od arkanów matematyki pozwoli dostrzec nadrzędny schemat zjawiska uczenia się; a pod pewnymi względami laik, stojący dalej od lasu, jest w tym kontekście w lepszej pozycji niż specjalista, który jest już głęboko pochłonięty badaniem poszczególnych drzew. Mając do dyspozycji rozwiązania koncepcyjne, będziemy mogli uzupełnić szczegóły matematyczne — ale to nie jest ani zadanie tej książki, ani najważniejsza część procesu. Odwiedzimy więc każdy z pięciu szczepów i zgramadzimy posiadane przez nie fragmenty układanki, aby zrozumieć, jak do siebie pasują, pamiętając przy tym, że żaden ze ślepców nie widzi całego słonia. Skupimy się zwłaszcza na tym, jak każdy z tych szczepów może się przyczynić do leczenia raka, i na tym, czego mu w tym kontekście brakuje. Następnie, krok po kroku, ułożymy te fragmenty w kompletne rozwiązanie — a w każdym razie w *pewne* rozwiązanie, które nie jest jeszcze naczelnym algorytmem, ale jest tak do niego zbliżone, jak to obecnie możliwe, i ma szansę być dobrym punktem wyjścia dla Twojej inwencji. Zobaczymy też, jak można korzystać z tego algorytmu w walce z rakiem. Czytając tę książkę, możesz pobieżnie przeglądać — albo przeskakiwać — fragmenty, które będą dla Ciebie trudne; znaczenie ma całościowy obraz. Prawdopodobnie więcej wyniesiesz z tych fragmentów, wracając do nich już po złożeniu całej układanki.

Zajmuję się badaniem uczenia maszynowego od ponad dwudziestu lat. Zainteresowałem się nim dzięki książce o dziwnym tytule, którą zobaczyłem w księgarni na ostatnim roku studiów: *Artificial Intelligence* (Sztuczna inteligencja). Znalazłem w niej rozdział o uczeniu maszynowym; był krótki, ale po przeczytaniu go natychmiast uznałem, że uczenie się to klucz do rozwiązania problemu sztucznej inteligencji (SI) i że ówczesny stan wiedzy był tak nikły, iż może mógłbym coś do niego wnieść. Zrezygnowałem z planowanego kursu MBA i zapisałem się na program doktorski na Uniwersytecie Kalifornijskim w Irvine. Uczenie maszynowe było wtedy wąską i nieznaną dziedziną, a w Irvine istniała jedna z niewielu rozwiniętych grup badawczych. Niektórzy z moich kolegów z roku zrezygnowali ze studiów, bo ten kierunek wydawał się im mało przyszłościowy, ale ja zostałem. Według mnie nic nie mogło mieć większego wpływu na świat niż nauczanie komputerów uczenia się: jeżeli udałoby się nam to zrobić, to mielibyśmy większe szanse rozwiązać wszystkie inne problemy. Zanim skończyłem te studia, pięć lat później, boom eksploracji danych (ang. *data mining*) już trwał — i tak zaczęła się moja droga do napisania tej książki. Moja praca doktorska łączyła uczenie się symboliczne i analogiczne. W ciągu ostatnich dziesięciu lat wiele czasu poświęciłem na połączenie symbolizmu i teorii bayesowskiej, a ostatnio — obu tych szkół z koneksjonizmem. Czas na kolejny krok: próbę syntezy wszystkich pięciu paradygmatów.



Pisząc tę książkę, myślałem o różnych, choć zazębiających się, grupach odbiorców.

Jeżeli zastanawiasz się, skąd wziął się ten szum wokół *big data* oraz uczenia maszynowego, i podejrzewasz, że na rzeczy jest coś głębszego, niż wynikałoby z gazet, to masz rację! Ta książka posłuży Ci jako przewodnik po nadchodzącej rewolucji uczenia maszynowego.

Jeżeli interesujesz się przede wszystkim biznesową stroną uczenia maszynowego, ta książka pomoże Ci na co najmniej sześć sposobów: staniesz się mądrzejszym odbiorcą analiz i statystyk; lepiej wykorzystasz umiejętności ekspertów od obróbki danych; unikniesz pułapek, które są zgubą wielu projektów eksploracji danych; odkryjesz, co można zautomatyzować, nie ponosząc kosztów pisanego ręcznie oprogramowania; zwiększysz elastyczność swoich systemów IT; wreszcie, będziesz przewidywać niektóre z nadchodzących nowych technologii. Widziałem, jak marnuje się zbyt wiele czasu i pieniędzy na próby rozwiązania problemów za pomocą niewłaściwego uczącego się algorytmu albo na błędne interpretacje wniosków takiego algorytmu. Żeby tego uniknąć, wystarczy niewiele. Właściwie wystarczy przeczytać tę książkę.

Jeżeli jesteś obywatelem albo ustawodawcą interesującym się kwestiami społecznymi i politycznymi związanymi z *big data* i uczeniem maszynowym, ta książka będzie Twoim elementarzem technologicznym: wyjaśni, czym te technologie są, dokąd nas prowadzą, co umożliwiają, a czego nie — i nie zanudzi fachowymi szczegółami. Przyjrzymy się, jakie są rzeczywiste problemy, od prywatności po przyszłość pracy i etykę wojen robotów, i jak o nich myśleć.

Jeżeli jesteś naukowcem lub inżynierem, uczenie maszynowe to nieoceniony arsenał, który wkrótce będzie nieodzowny. Stare, sprawdzone narzędzia statystyczne nie wystarczą na długo w epoce wielkich (czy nawet średnich) zbiorów danych. Tylko nieliniarne zdolności uczenia maszynowego pozwolą nam dokładnie modelować większość zdarzeń, co niesie ze sobą nowy naukowy obraz świata. Wyrażenie *zmiana paradygmatu* jest dzisiaj nadużywane, ale moim zdaniem nie będzie przesadą powiedzieć, że ta książka właśnie taką zmianę opisuje.

Jeżeli jesteś ekspertem w dziedzinie uczenia maszynowego, to już teraz wiesz wiele z tego, co opisuje ta książka, ale nadal znajdziesz w niej sporo nowych pomysłów, ciekawostek historycznych i przydatnych przykładów oraz analogii. A przede wszystkim mam nadzieję, że ta książka pomoże Ci spojrzeć na uczenie maszynowe z nowej perspektywy, a może nawet naprowadzi Cię na nowe tory myślenia. Wszędzie wokół nas są cele, które łatwo osiągnąć, i nie powinniśmy ich ignorować, ale nie powinniśmy też tracić z oczu większych korzyści, które czekają na nas trochę dalej. (À propos, mam nadzieję, że wybaczysz mi pewną dowolność — *licencia poetica* — w stosowaniu terminu *algorytm naczelny* na użytek nieekspertów).

Jeżeli jesteś studentem lub uczniem w dowolnym wieku — licealistą stojącym przed wyborem kierunku studiów, studentem rozważającym karierę badawczą czy doświadczonym zawodowcem zastanawiającym się nad zmianą kariery — mam nadzieję, że ta książka rozbudzi w Tobie zainteresowanie tą fascynującą dziedziną. Na świecie bardzo brakuje specjalistów od uczenia maszynowego, więc jeżeli zdecydujesz się do nas dołączyć, czekają Cię nie tylko ciekawe czasy i korzyści materialne, ale i wyjątkowa szansa przysłużenia się społeczeństwu. A jeżeli już teraz zajmujesz się uczeniem maszynowym, to liczę, że moja książka pomoże Ci jeszcze lepiej poruszać się po tym temacie; jeżeli Twoja podróż doprowadzi Cię dzięki temu do naczelnego algorytmu, to samo to sprawi, że warto było tę książkę napisać.

I wreszcie, jeżeli gustujesz w rozwijaniu swoich horyzontów intelektualnych, to uczenie maszynowe jest istną ucztą — zapraszam!

# Skorowidz

## A

Ackley David, 116

Adam, 98

AdSense, 169

agent, 52, 53

agregowanie, 240

alarm antywłamaniowy, 166

algorytm, 21, 23, 103

Alchemy, 250, 251, 252, 253, 254, 255

centroidów, *Patrz:* algorytm k-średnich

chunking, 227, 229, 230

dziel i rządź, 84, 92, 100

EM, 215

genetyczny, 133, 134, 137, 138, 139, 140, 241, 242, 250, 252

nieśmiertelność, 135

interakcje, 25

k najbliższych sąsiadów, 191

ważony, 191, 192, 197

k-średnich, 213, 215

leniwy, 188

metauczenie, 239, 255

naczelny, 17, 43, 51, 52, 57, 78, 147, 158, 227, 238, 250, 261

jeź, 58

lis, 58

puszka Pandory, 61

równanie, 66

zakres obowiązywania, 63

najbliższego sąsiada, *Patrz:* algorytm NN

nearest-neighbor, *Patrz:* algorytm NN  
nieliniowej redukcji wymiarowości,

*Patrz:* Isomap

NN, 41, 186, 187, 188, 204

klasyfikator, 190

wydajność, 192

wymiarowość, 193, 194, 196

oczekiwania-maksymalizacji,

*Patrz:* algorytm EM

odwzorowania struktury, 206

perceptronowy, *Patrz:* perceptron

Rosenblatta, 112

projektowanie, 24

rekomendujący, 62

RISE, 207, 208

statystyczny, 28, 65

sterowania, 195

uczący się, 11, 15, 16, 25, 37, 39, 42, 52, 241

gratyfikacja, 223, 224, 225

liczba hipotez, 89

reprezentacja, 241

silny, 86

tendencyjność, *Patrz:* tendencyjność

testowanie na nieznanach danych, 90

wariancja, *Patrz:* wariancja

wzmacnianie, *Patrz:* wzmacnianie

założenie, *Patrz:* założenie

zbiór reguł, 83, 84, 85, 89

uczenia relacyjnego, 232, 234, 235

wspinaczkowy, 144, 145, 196, 250, 252

AlphaDog, 39  
 Amazon, 16  
   system rekomendacji, 59  
 analityka danych, 27  
 analiza  
   głównych składowych, *Patrz:* PCA  
   statystyczna, 56  
   Valianta, 89  
 analogizm, 16, 17, 67, 68, 69, 181, 186, 187, 203,  
   205, 207, 241, 242, 253, *Patrz też:* podobieństwo  
 aparat bazy danych, *Patrz:* baza danych aparat  
 Arystoteles, 74, 79, 87, 186  
 ASIC, 64  
 atrybut, 100  
   dyskretny, 101  
   entropia, *Patrz:* entropia  
   porządkowy, 101  
 autoenkoder, 127, 128  
 automat  
   ewoluujący, 133  
   komórkowy, 65  
   von Neumanna, 133

## B

Babbage Charles, 46  
 bagging, *Patrz:* metauczenie bagging  
 Baldwin J.M., 148  
 Baldwina efekt, 148  
 bańka filtrów, 267  
 Barto Andy, 225  
 Bayes Thomas, 154  
 Bayesa  
   klasyfikator, *Patrz:* klasyfikator bayesowski  
   twierdzenie, *Patrz:* twierdzenie Bayesa  
   uczenie, *Patrz:* uczenie bayesowskie  
 bayesianizm, 154, 175, 177, 181, 241, 242, 253  
 baza danych, 28, 238  
   aparat, 65  
 behawioryzm, 54  
 Bellman Richard, 195, 225  
 Berkeley, 74  
 Berlin Isaiah, 58  
 big data, 26, 33, 40, 48, 258  
 bit, 21  
 bitwa o Anglię, 38  
 Boks George, 160

Boltzmann  
   maszyna, *Patrz:* maszyna Boltzmann  
   rozkład, *Patrz:* rozkład Boltzmann  
 Boole George, 117  
 boosting, *Patrz:* wzmacnianie  
 Borges Jorge Luis, 86  
 Brahe Tycho, 56, 141  
 BRAIN, 129  
 bramka logiczna, 22, 65, 110  
   NOR, 65  
   XOR, 114, 124  
 Breimana Leo, 240  
 Brin Sergey, 271  
 Bryson Arthur, 125  
 brzytwa Ockhama, 92  
 Buntine Wray, 94  
 Burks Arthur, 133  
 Burns Bob, 212, 263

## C

Carbonell Jaime, 84  
 case-based reasoning, *Patrz:* wnioskowanie  
   na podstawie przypadków  
 CBR, 204, *Patrz:* wnioskowanie  
   na podstawie przypadków  
 Chomsky Noam, 53, 54, 55  
 chromosom, 134  
 Clinton Bill, 36  
 Commoner Barry, 167  
 Cope David, 205  
 Cover Tom, 193  
 Crick Francis, 132  
 cyberbezpieczeństwo, 37  
 cyberwojna, 37  
 Cyc, 52

## D

dane, 56  
   baza, *Patrz:* baza danych  
   eksploracja, 87, *Patrz:* data mining  
   główna składowa, 219  
   analiza, *Patrz:* PCA  
   hosting, 273  
   istotne statystycznie, 91  
   nadmiernie dopasowane, 86, 87, 88, 90,  
   101, 123, 191, 202



regularności statystyczne, 56  
 udostępnianie, 265, 268, 269, 270, 271, 272  
 uogólnianie, 77  
 wejściowe, 25, 48  
   doprecyzowane, 42  
 wyjściowe, 25  
 wzorzec błędny, 236  
 DARPA, 54  
 DARPA Grand Challenge, 125  
 Darwin Charles, 46, 47, 74, 132  
 data mining, 18  
 dedukcja, 16, 51, 66, 94  
   odwrotna, 17, 69, 96, 97, 98, 99, 104, 108  
 DeepMind, 226  
 Dempster Arthur, 215  
 determinizm newtonowski, 154  
 Diderot Denis, 78  
 DNA, 46, 97  
   kodowanie, 134  
   mikromacierz ekspresji, 98, 99, 168  
   mutacja punktowa, 134  
 dobór  
   hodowlany, 133  
   naturalny, 46, 47, 68, 132, 136  
 dron, 39, 278  
 drzewo  
   decyzyjne, 41, 42, 99, 100, 101, 104, 189,  
   234, 239, 240, 241  
   atrybut, *Patrz:* atrybut  
   wymiarowość, 195  
   programowe, 140, 141, 142, 253  
 Duhigg Charles, 227

## E

echolokacja, 44  
 Eddington Arthur, 90  
 efekt  
   Baldwina, 148  
   sieciowy, 31  
 eigentwarz, 220  
 eigenvector, *Patrz:* wektor własny  
 Einsteina teoria względności, 90  
 eksploracja danych, *Patrz:* data mining  
 Eldredge Niles, 136  
 Eliza, 205  
 emocje, 222  
 empiryzm, 73, 74, 94, 107  
 entropia, 101

ewolucja, 46, 146, 148  
   baldwinowska, 148  
   modelowanie, 140  
   rola seksu, 143, 144  
   ślimacza, 137  
   wysokkowa, 136  
 ewolucjonizm, 16, 17, 67, 68, 144, 145, 146, 183,  
 241, 252

## F

Facebook, 11, 33, 233, 269  
 Feynman Richard, 23  
 filter bubble, *Patrz:* bańka filtrów  
 filtr  
   dolnoprzepustowy, 142  
   Kalmana, 164  
 filtrowanie kolaboratywne, 191, 192  
 Fisher Ronald, 132  
 Fix Evelyn, 186  
 fizyka, 47, 48  
   prawa, 47  
   statystyczna, 116  
 Fodor Jerry, 55  
 fraktal, 47  
 frekwentyzm, 158, 175, 176, 177, 178, 197  
 Freund Yoav, 240  
 Friedman Milton, 160  
 FuturICT, 258

## G

Galileusz, 87  
 genom, 45, 132, 146  
   sekwencjonowanie, 58, 97  
 Gentner Dedre, 206  
 geometria fraktalna, *Patrz:* fraktal  
 Ghani Rayid, 35  
 Golgiego metoda, 107  
 Good I.J., 283  
 Google, 76, 231, 264, 271, 279  
 Google Brain, 129  
 Google Translate, 163  
 Gould Stephen Jay, 136  
 gra  
   Tetris, 50  
   kółko i krzyżyk, 23  
   Pong, 226

gra  
 szachy, 229  
 tryktrak, 226  
 warcaby, 223  
 gramatyka, 53  
 probabilistyczna bezkontekstowa, 54  
 uniwersalna, 53

## H

Hart Peter, 193  
 Hawking Stephen, 280  
 Hawkins Jeff, 45, 129  
 Hebb Donald, 107  
 Hebba zasada, *Patrz:* zasada Hebba  
 Heckerman David, 160, 168  
 Heraklit, 64  
 hidden Markov model, *Patrz:* HMM  
 Hillis Danny, 144  
 Hinton Geoff, 116, 117, 124, 146, 148  
 hipoteza, 65, 154, 176  
 Czerwonej Królowej, 144  
 HMM, 164, 165, 167, 168, 215  
 zmienne ciągłe, 164  
 Ho Yu-Chi, 125  
 Hodges Joe, 186  
 Hofstadter Douglas, 206  
 Holland John, 132, 133, 138, 140  
 Hopfield John, 115, 128  
 Horning J.J., 54  
 Hubble Edwin, 33  
 Hume David, 74  
 Hume'a indukcja, *Patrz:* indukcja Hume'a  
 Hunt Earl, 101

## I

indeksator, 28  
 indukcja, 66, 79, 94  
 drzew decyzyjnych, 99  
 Hume'a, 76, 104, 155  
 zasada, *Patrz:* zasada indukcji  
 indyk-indukcjonista, 76  
 informatyka, 50  
 instance-based learning, *Patrz:* uczenie  
 z przykładów  
 inteligencja sztuczna, *Patrz:* sztuczna inteligencja  
 intuicja, 56

inżynieria  
 wiedzy, 52, 53, 54, 103  
 wsteczna, 45  
 mózgu, 67  
 Isomap, 221, 255

## J

Jackel Larry, 202  
 James William, 107, 186, 210  
 Jelinek Fred, 54  
 Jevons William Stanley, 94  
 Johnson Steven, 190  
 Jordan Michael, 172, 178

## K

kampania wyborcza, 35, 36  
 Kartezjusz, 74  
 Kepler, 141  
 Kepler Johannes, 57  
 Keplera prawo, *Patrz:* prawo Keplera  
 Kinect, 102, 239, 240  
 Kipling Rudyard, 83  
 klasa NP/P, 50  
 klaster, 211, 212, 215  
 prototyp, 212  
 zazębiający się, 215  
 klasyfikator  
 bayesowski naiwny, 41, 42, 160, 161, 162,  
 167, 177, 179, 187, 202, 214, 232, 239  
 tekstu, 202  
 klątwa wymiarowości, 193, 195,  
*Patrz też:* redukcja wymiarowości  
 kognitywizm, 206, 207, 210  
 Kolumba test, *Patrz:* test Kolumba  
 komponowanie muzyki, 205  
 kompozycyjność, 130  
 koncepcja  
 dysjunktywna, 83  
 koniunktywna, 81, 82, 84, 85, 86  
 przykład negatywny, 81, 85  
 przykład pozytywny, 81, 85, 113  
 koneksjonizm, 16, 17, 67, 99, 104, 107, 108, 117,  
 127, 130, 146, 183, 241, 252  
 renesans, 115  
 konektomika, 129, *Patrz:* koneksjonizm  
 konsola xbox, 102  
 kora mózgowa, 44, 45

korelacja, 15, 231  
 Koza John, 140, 142, 143, 145  
 Krugman Paul, 235  
 krzywa  
   Gaussa, 120, 195  
   logistyczna, *Patrz:* krzywa S-kształtna  
   prawa potęgowego, 228, 230  
   sigmoidalna, *Patrz:* krzywa S-kształtna  
   S-kształtna, 118, 119, 120, 123, 252, 284  
 krzyżowanie, 134, 135, 142, 143  
 Kurzweil Ray, 45, 283, 284

## L

Laird John, 230  
 Laird Nan, 215  
 Lang Kevin, 145  
 Laplace Pierre Simon, 154, 155  
 las losowy, 240  
 LeCun Yann, 125, 202  
 Leibniz, 74, 79  
 Lenat Doug, 52  
 Lewis Michael, 56  
 lingwistyka komputerowa, 54  
 Lipson Hod, 131  
 Locke, 74  
 logika, 22, 241  
 loopy belief propagation, *Patrz:* propagacja  
   przekonań zapętlona  
 Luftwaffe, 38

## Ł

łańcuch  
   DNA, *Patrz:* DNA  
   Markowa, 162, 163, 167, 168  
   w metodzie Monte Carlo, *Patrz:* MCMC

## M

Madrigal Alexis, 271  
 Mandelbrota zbiór, *Patrz:* zbiór Mandelbrota  
 marketing  
   bezpośredni, 39  
   szeptany, 235  
 Markow Andriej, 162  
 Markowa  
   łańcuch, *Patrz:* łańcuch Markowa  
   model ukryty, *Patrz:* HMM  
   sieć, *Patrz:* sieć Markowa

Marr David, 103  
 maszyna  
   Boltzmannna, 116, 117, 129  
   reprodukcja samodzielna, 133  
   Turinga, 51, 64, 109  
   wektorów nośnych, 17, 68, 92, 186, 197, 200,  
   201, 202, 203, 204, 239, 241  
   jądro, 199, 203  
   optymalizacja z ograniczeniami, 200, 201  
 matematyka, 47, 48  
 McCulloch Warren, 110  
 McKay David, 178  
 MCMC, 172, 173, 178, 234, 242, 253, 256  
 Mechanical Turk, 33  
 memoryzacja, 64, 77  
 metauczenie, 239, 240, 255  
   agregowanie, *Patrz:* agregowanie  
   bagging, 240  
 metoda, *Patrz też:* algorytm  
   bayesowska, *Patrz:* uczenie bayesowskie,  
   wnioskowanie bayesowskie  
   Golgiego, 107  
   gradientu prostego, 121, 122, 123  
   Monte Carlo, 174  
   wykorzystująca łańcuchy Markowa, *Patrz:*  
   MCMC  
 Michalski Ryszard, 84, 103  
 mieszalność, 144  
 mikroprocesor, 64, 238  
 Mill John Stuart, 107  
 Minsky Marvin, 52, 55, 113, 115, 123  
 Mitchell Tom, 79, 84, 103  
 mixability, *Patrz:* mieszalność  
 MLN, 248, 249, 250, 253  
 model  
   Bayesa, 154  
   idealny, 160  
   klastrow, 215  
   konceptyjny, 15  
   matematyczny, 48  
   nieliniowy, 125  
   statystyczny, 27  
   świata, 258  
   ukryty Markowa, *Patrz:* HMM  
   uproszczony, 160  
 modelowanie statystyczne, 27  
 Mooney Ray, 91  
 mózg, 43, 44, 46, 48  
   budowa, 109, 110  
   czysta kartka, 79

## mózg

- inżynieria odwrotna, 67
- model, 108, 109, 110, 113, 115, 116, 129
- stan przebudzenia, 116
- uczenie się, 107, 109

## mózdżek, 44

Muggleton Steve, 94

Music Genome Project, 179

muzyka, 205

## N

Nate Silver, 239

## nauka

## etap

- Brahego, 56
- Keplera, 56, 57
- Newtona, 56, 57

fragmentacja, 62

Neal Radford, 178

Netflix, 16, 191, 220, 239, 264

Netflix Prize, 239

NETtalk, 124

neurologia, 43, 107

neuron, 44, 107, 109

babci, 112

deterministyczny, 116

McCullocha-Pittsa, 110

model, 110

połączenie, 108, 117, 121

postsynaptyczny, 109

potencjał czynnościowy, *Patrz:* potencjał

czynnościowy

presynaptyczny, 109

probabilistyczny, 116

sensoryczny, 116

ukryty, 116, 120

neuroprzebieżnik, 109

Newell Allen, 228, 229, 230

Newhouse Neil, 35

Newton Isaac, 57

Newtona prawo, *Patrz:* prawo Newtona

Ng Andrew, 129

niepewność, 68

algorytm, 197

Norman Don, 15

Norvig Peter, 161

Nowlan Steven, 148

## O

O'Reilly Tim, 28

Obama Barack, 35

Ockham, 92

odchylenie standardowe, 195

dedukcja, 126, 242

operacja logiczna, 22

optymalizacja, 48

osobliwość, 283, 284

## P

Page Larry, 163, 231

PageRank, 163

Pandora, 179

Papadimitriou Christos, 144

Papert Seymour, 113, 115, 123

PCA, 219, 221

Pearl Judea, 165

pełzacz, 28

perceptron, 110, 113, 120, 161, 193, 234

działanie, 110, 111, 112

ograniczenia, 113

wielowarstwowy, 123, 127, 137, 201, 226, 239

czytanie na głos, 124

uczenie bayesowskie, 178

pismo ręczne rozpoznawanie, 41

Pitts Walter, 110

Platon, 74

podobieństwo miara, 203

pomysł zwodniczo prosty, 191

portret pamięciowy, 138

potencjał czynnościowy, 109

półprzewodnik, 108

## prawa

fizyki, 66

logiki, 66

prawdopodobieństwo, 158

a posteriori, 155, 156, 175, 176, 241, 250

a priori, 155, 156, 157

przyczyn, 157

skutków, 157

szacowanie, 159

w poezji, 162

warunkowe, 156

## prawo

efektu, 223

ekologii pierwsze, 167



Keplera, 80  
 Moore'a, 284  
 następstwa, 155  
 Newtona, 56, 80  
   drugie, 23, 62  
 potęgowe, 228, 229, 230  
 robotyki Asimova, 277  
 principal component analysis, *Patrz:* PCA  
 problem  
   cocktail party, 220  
   eksploracji-eksploatacji, 139, 225  
   indukcji Hume'a, *Patrz:* indukcja Hume'a  
   nieograniczonego wyboru, 30  
   NP-zupełny, 50, 51, 115, 118, 280  
 procedura, 27  
 proces crossing-over, *Patrz:* krzyżowanie  
 program, 24  
 programista, 24, 25  
 programowanie genetyczne, 17, 68, 141, 142, 143, 145  
 projekt Manhattan, 173  
 propagacja  
   przekonań, 253, 256  
   zapętłona, 172  
   wsteczna, 17, 68, 69, 121, 123, 124, 126, 127, 137, 224  
   sygnał błędu, 226  
 prywatność, 272  
 przemiana fazowa, 119  
 przewidywanie, 14  
 przyczyna, 156  
 przyczynowość, 231  
 punkt  
   osobliwy, 284  
   Turinga, 283

## Q

Quinlan J. Ross, 101, 103

## R

racjonalizm, 73, 74  
 RAF, 38  
 Ramón y Cajal Santiago, 107  
 random forest, *Patrz:* las losowy  
 redukcja wymiarowości, 216, 222, 255  
   Isomap, *Patrz:* Isomap  
   nieliniowa, 220

regresja liniowa, 33, 65, 125, 190, 219  
 Richardson Matt, 235, 247  
 Ridley Matt, 144  
 roboręka, 41  
 Romney Mitt, 35  
 Rosenberg Charles, 124  
 Rosenblatt Frank, 110  
 Rosenbloom Paul, 228, 229, 230  
 rozkład  
   Boltzmann, 116  
   normalny, *Patrz:* krzywa Gaussa  
 rozpoznawanie  
   cyfr pisanych odręcznie, 201  
   mowy, 274  
   obrazów, 180  
   pisma ręcznego, 41, 201  
   twarzy, 187, 190, 216, 220  
 rozumowanie analogiczne, *Patrz:* wnioskowanie analogiczne  
 Rubin Donald, 215  
 Rumelhart David, 124, 125  
 Russell Bertrand, 76

## S

Sahami Mehran, 161  
 Samuel Arthur, 223  
 Schapire Rob, 240  
 schemat, 138  
 Schumpeter Joseph, 118  
 Sejnowski Terry, 116, 124  
 Seldon Hari, 235  
 serwis  
   randkowy, 262  
   społecznościowy, *Patrz:* sieć społecznościowa  
 Shannon Claude, 21  
 Shavlik Jude, 91  
 sieć  
   bayesowska, 165, 167, 168, 170, 174, 182, 234, 241, 247, 253  
   diagnozowanie chorób zakaźnych, 169  
   drzewo, 171, 172  
   prawdopodobieństwo pełnego stanu, 167  
   rodzic, 166, 169  
   struktura, 177  
   w walce z AIDS, 168  
   wstępna, 177  
   wykres, 180  
   z pętlą, 171, 172

## sieć

Hopfielda, 128  
 Markowa, 179, 180, 233, 241, 247, 248, 253  
 logiczna, *Patrz:* MLN  
 optymalizacja wag, 252  
 rozpoznawanie obrazów, 180  
 wykres, 180  
 neuronowa, 112, 115, 148, 226, 241  
 ewolucja struktury, 148  
 gra na giełdzie, 124, 125  
 spłotowa, 129  
 Petriego, 65  
 semantyczna, 255  
 społecznościowa, 33, 35, 235  
 Silver Nate, 36  
 Simon Herbert, 57, 229, 230  
 Siri, 54, 164, 170, 180  
 SKICAT, 33  
 skutek, 156  
 Sloan Digital Sky Survey, 33  
 Smith Adam, 74  
 Soar, 230  
 spam, 77, 169, 177  
 filtrowanie, 11, 41, 134, 160  
 spin, 115  
 Spinoza, 74  
 stacking, *Patrz:* agregowanie  
 statystyka, 16, 27, 49, 158  
 subiektywizm, 79  
 support vector machine, *Patrz:* maszyna  
 wektorów nośnych  
 Sutton Rich, 225, 227  
 SVM, *Patrz:* maszyna wektorów nośnych  
 symbolizm, 16, 17, 67, 68, 74, 79, 91, 99, 102,  
 104, 107, 108, 144, 150, 181, 207, 241, 242  
 synapsa, 109, 129  
 system  
 adaptacyjny, 27  
 nieliniowy, 126  
 rozpoznawania mowy, 164  
 samoorganizujący, 27  
 szkło spinowe, 115, 116  
 sztuczna inteligencja, 18, 27, 51, 52, 279, 280,  
 281, 282, 283, 284

## T

Taleb Nassim, 55, 167  
 technika predykcyjna, 36  
 tendencyjność, 93

## teoria

doboru naturalnego, *Patrz:* dobór naturalny  
 ewolucji matematyczna, 132  
 gier, 38  
 informacji, 21, 101  
 naukowa, 62  
 prawdopodobieństwa, 155  
 strun, 62, 63  
 umysłu, 262  
 komputera, 262  
 wszystkiego, 62, 63  
 względności Einsteina, 90  
 test  
 A/B, 231  
 istotności statystycznej, 91  
 Kolumba, 125  
 Tetris, 50  
 Thorndike Edward, 222  
 tłumaczenie maszynowe, 163  
 tranzystor, 21, 108  
 funkcja transferowa, 118  
 Turing Alan, 51, 52, 283  
 Turinga  
 maszyna, *Patrz:* maszyna Turinga  
 punkt, 283  
 twierdzenie Bayesa, 49, 68, 153, 156, 159, 253  
 Twitter, 11

## U

## uczenie

analogiczne, 18, 205  
 bayesowskie, 16, 17, 68, 126, 150, 154, 174,  
 182, 241, 242, 253  
 dzieci, 209, 210, 222, 227  
 grupowanie, 211  
 emocje, 222  
 głębokie, 117, 128, 129  
 leniwe, 188  
 maszynowe, 11, 15, 26, 27, 32, 33, 35, 39, 53,  
 66, 78, 121, 158, 160, 187, 195, 210, 237,  
 238, 261  
 algorytm, *Patrz:* algorytm uczący się  
 cel, 56, 149  
 etyka, 277  
 grupowanie, 211, 212, 215, 216, 222, 229  
 oponent, 52, 53, 55, 57  
 redukcja wymiarowości, *Patrz:* redukcja  
 wymiarowości

testowanie na nieznanym danych, 90  
walka na wojnie, 276, 278  
MLN, *Patrz:* logicznej  
nadzorowane, 219, 225, 226  
nienadzorowane, 219, 254  
pozbawione subiektywizmu, 79  
przez wzmacnianie, 223, 224, 225, 226, 231  
relacyjne, 232, 234, 235, 236  
równoległe, 108  
sekwencyjne, 108  
symboliczne, 18  
z przykładów, 207  
ufność, 165  
układ scalony specjalizowany, *Patrz:* ASIC  
umiejętność, 27  
umysł modularny, 55  
Underwood Ben, 44

## V

Valiant Leslie, 89  
Vapnik Vladimir, 197, 201, 202  
Vinge Vernor, 283  
von Neumann John, 87, 133

## W

Walmart, 84  
wariancja, 93  
Watkins Chris, 226, 227  
Watson, 59, 239  
Watson James, 132  
wektor  
  nośny, 198, 199, 200, 201, 202  
  własny, 220  
Werbos Paul, 125  
wiedza, 27, 52, 55, 64, 74, 80  
  niepewna, 68

perceptron, 121  
Wigner Eugene, 47  
Williams Ronald, 124  
Wilson E.O., 48  
wnioskowanie  
  Alchemy, 256  
  analogiczne, 186, 187  
  bayesowskie, 17, 67, 68, 126, 156, 158, 174  
  trudności, 157  
  logiczne, 256  
  na podstawie przypadków, 204  
  niepewne, 68  
  statystyczne, 16, 68, 174, 256  
wojna asymetryczna, 37  
Wolpert David, 78, 240  
propagacja, 127, 252  
wyszukiwanie iteracyjne, 46  
wyszukiwarka, 11, 31, 76, 161, 231  
wzgórze, 44  
wzmacnianie, 92, 240

## X

Xbox Live, 169

## Z

zagadnienie niepoprawnie postawione, 79  
założenie, 42  
zasada  
  80/20, 59  
  Hebba, 107, 108  
  indukcji, 80, 95  
  maksymalnej wiarygodności, 177  
  Newtona, *Patrz:* prawo Newtona  
  nieдостatecznej racji, 155, 158  
  skojarzeń, 107  
zbiór Mandelbrota, 47  
zespół sawanta, 86



# PROGRAM PARTNERSKI

GRUPY WYDAWNICZEJ HELION



1. ZAREJESTRUJ SIĘ
2. PREZENTUJ KSIĄŻKI
3. ZBIERAJ PROWIZJĘ

Zmień swoją stronę WWW  
w działający bankomat!

**Dowiedz się więcej i dołącz już dzisiaj!**

<http://program-partnerski.helion.pl>

GRUPA WYDAWNICZA

 **Helion SA**

Algorytmy uczące się wpływają na nasze życie w coraz większym stopniu, obserwując każdy nasz krok i podsuwając gotowe rozwiązania, zanim o nie poprosimy. Co więcej, uczenie maszynowe pozwala inteligentnym robotom i komputerom programować się samodzielnie. To technologia niezwykle ważna dla naszej przyszłości i równocześnie niezwykle tajemnicza. Jej uwieńczeniem będzie Naczelny Algorytm — algorytm doskonały, który pozyska całą wiedzę świata. Konsekwencje tego możemy sobie wyobrazić tylko w przybliżeniu.

Niniejsza książka uchyla rąbka tajemnicy i pokazuje, jak działają maszyny uczące się, dzięki którym funkcjonują Google, Amazon i nasze smartfony. Autor prezentuje pięć głównych szkół uczenia maszynowego, z których każda daje różne odpowiedzi na te same, fundamentalne pytania o uczenie się, o pozyskiwanie wiedzy i jej wykorzystanie. W przystępny sposób wyjaśnia, jak może wyglądać projekt Naczelnego Algorytmu i co jego odkrycie przyniesie naszej cywilizacji. Dzięki tej niezwykle ważnej książce intelektualna historia ostatniego stulecia nabierze zupełnie innego wymiaru!

#### NAJWAŻNIEJSZE PORUSZONE TU ZAGADNIENIA:

- pięć głównych filozofii uczenia maszynowego
- odkrycia neurologii, ewolucji, psychologii, fizyki i statystyki w uczeniu maszynowym
- czym może być Naczelny Algorytm
- jak zmieni się nasz świat po wynalezieniu Naczelnego Algorytmu



## PEDRO DOMINGOS

wykłada informatykę na University of Washington w Seattle. Jest autorem i współautorem licznych publikacji dotyczących uczenia maszynowego i eksploracji danych. Od lat cieszy się uznaniem w branży: jest laureatem wielu nagród i wyróżnień, w tym SIGKDD Innovation Award — jednego z najważniejszych wyróżnień na polu analityki danych. Jest członkiem Stowarzyszenia Rozwoju Sztucznej Inteligencji. Mieszka w Seattle.



<b>Helion</b>	
46175	numer katalogowy
ksiegarnia Internetowa	
<a href="http://helion.pl">http://helion.pl</a>	
zamówienia telefoniczne	
	<b>0 801 339900</b>
	<b>0 601 339900</b>
Informatyka w najlepszym wydaniu	

Sprawdź najnowsze promocje:  
● <http://helion.pl/promocje>  
Książki najchętniej czytane:  
● <http://helion.pl/bestsellery>  
Zamów informacje o nowościach:  
● <http://helion.pl/nowosci>

Helion SA  
ul. Kościuszki 1c, 44-100 Gliwice  
tel.: 32 230 98 63  
e-mail: [helion@helion.pl](mailto:helion@helion.pl)  
<http://helion.pl>

ISBN 978-83-283-2448-0

9 788328 324480

cena: 49,00 zł