

Spis treści

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Przedmowa</b>   | <b>15</b> |
| <b>Część I. Podstawy uczenia maszynowego</b>             | <b>25</b> |
| <b>1. Krajobraz uczenia maszynowego</b>                  | <b>27</b> |
| Czym jest uczenie maszynowe?                             | 28        |
| Dlaczego warto korzystać z uczenia maszynowego?          | 28        |
| Przykładowe zastosowania                                 | 31        |
| Rodzaje systemów uczenia maszynowego                     | 33        |
| Uczenie nadzorowane i uczenie nienadzorowane             | 34        |
| Uczenie wsadowe i uczenie przyrostowe                    | 40        |
| Uczenie z przykładów i uczenie z modelu                  | 43        |
| Główne problemy uczenia maszynowego                      | 48        |
| Niedobór danych uczących                                 | 50        |
| Niereprezentatywne dane uczące                           | 50        |
| Dane kiepskiej jakości                                   | 51        |
| Nieistotne cechy   | 52        |
| Przetrenowanie danych uczących                           | 52        |
| Niedotrenowanie danych uczących                          | 54        |
| Podsumowanie   | 54        |
| Testowanie i ocenianie                                   | 55        |
| Strojenie hiperparametrów i dobór modelu                 | 55        |
| Niezgodność danych                                       | 56        |
| Ćwiczenia  | 57        |
| <b>2. Nasz pierwszy projekt uczenia maszynowego</b>      | <b>59</b> |
| Praca z rzeczywistymi danymi                             | 59        |
| Przeanalizuj całokształt projektu                        | 61        |
| Określ zakres problemu                                   | 61        |
| Wybierz metrykę wydajności                               | 63        |
| Sprawdź założenia  | 65        |
| Zdobądź dane   | 65        |
| Stwórz przestrzeń roboczą                                | 66        |
| Pobierz dane   | 68        |
| Rzut oka na strukturę danych                             | 70        |
| Stwórz zbiór testowy                                     | 74        |
| Odkrywaj i wizualizuj dane, aby zdobywać nowe informacje | 78        |
| Wizualizowanie danych geograficznych                     | 78        |

|  |            |
|--|------------|
| Poszukiwanie korelacji                                   | 80         |
| Eksperymentowanie z kombinacjami atrybutów               | 83         |
| Przygotuj dane pod algorytmy uczenia maszynowego         | 84         |
| Oczyszczanie danych                                      | 84         |
| Obsługa tekstu i atrybutów kategoryalnych                | 87         |
| Niestandardowe transformatory                            | 89         |
| Skalowanie cech  | 90         |
| Potoki transformujące                                    | 90         |
| Wybór i uczenie modelu                                   | 92         |
| Trenowanie i ocena modelu za pomocą zbioru uczącego      | 92         |
| Dokładniejsze ocenianie za pomocą sprawdzianu krzyżowego | 93         |
| Wyreguluj swój model                                     | 96         |
| Metoda przeszukiwania siatki                             | 96         |
| Metoda losowego przeszukiwania                           | 98         |
| Metody zespołowe   | 98         |
| Analizuj najlepsze modele i ich błędy                    | 98         |
| Oceń system za pomocą zbioru testowego                   | 99         |
| Uruchom, monitoruj i utrzymuj swój system                | 100        |
| Teraz Twoja kolej!                                       | 103        |
| Ćwiczenia  | 103        |
| <b>3. Klasyfikacja</b>                                   | <b>105</b> |
| Zbiór danych MNIST                                       | 105        |
| Uczenie klasyfikatora binarnego                          | 107        |
| Miary wydajności   | 108        |
| Pomiar dokładności za pomocą sprawdzianu krzyżowego      | 108        |
| Macierz pomyłek  | 110        |
| Precyzja i pełność                                       | 111        |
| Kompromis pomiędzy precyzją a pełnością                  | 112        |
| Wykres krzywej ROC                                       | 116        |
| Klasyfikacja wieloklasowa                                | 119        |
| Analiza błędów   | 121        |
| Klasyfikacja wieloetykietowa                             | 124        |
| Klasyfikacja wielowyjściowa                              | 125        |
| Ćwiczenia  | 127        |
| <b>4. Uczenie modeli</b>                                 | <b>129</b> |
| Regresja liniowa   | 130        |
| Równanie normalne  | 131        |
| Złożoność obliczeniowa                                   | 134        |
| Gradient prosty  | 135        |
| Wsadowy gradient prosty                                  | 138        |
| Stochastyczny spadek wzdłuż gradientu                    | 141        |
| Schodzenie po gradiencie z minigrupami                   | 143        |
| Regresja wielomianowa                                    | 145        |
| Krzywe uczenia   | 146        |

|   |            |
|---|------------|
| Regularyzowane modele liniowe                       | 150        |
| Regresja grzbietowa                                 | 150        |
| Regresja metodą LASSO                               | 153        |
| Metoda elastycznej siatki                           | 155        |
| Wczesne zatrzymywanie                               | 156        |
| Regresja logistyczna                                | 157        |
| Szacowanie prawdopodobieństwa                       | 158        |
| Funkcje ucząca i kosztu                             | 159        |
| Granice decyzyjne                                   | 160        |
| Regresja softmax                                    | 162        |
| Ćwiczenia   | 166        |
| <b>5. Maszyny wektorów nośnych</b>                  | <b>167</b> |
| Liniowa klasyfikacja SVM                            | 167        |
| Klasyfikacja miękkiego marginesu                    | 168        |
| Nieliniowa klasyfikacja SVM                         | 170        |
| Jądro wielomianowe                                  | 171        |
| Cechy podobieństwa                                  | 172        |
| Gaussowskie jądro RBF                               | 173        |
| Złożoność obliczeniowa                              | 175        |
| Regresja SVM  | 175        |
| Mechanizm działania                                 | 177        |
| Funkcja decyzyjna i prognozy                        | 177        |
| Cel uczenia   | 178        |
| Programowanie kwadratowe                            | 180        |
| Problem dualny                                      | 181        |
| Kernelizowane maszyny SVM                           | 182        |
| Przyrostowe maszyny SVM                             | 185        |
| Ćwiczenia   | 186        |
| <b>6. Drzewa decyzyjne</b>                          | <b>187</b> |
| Uczenie i wizualizowanie drzewa decyzyjnego         | 187        |
| Wyliczanie prognoz                                  | 188        |
| Szacowanie prawdopodobieństw przynależności do klas | 190        |
| Algorytm uczący CART                                | 191        |
| Złożoność obliczeniowa                              | 192        |
| Wskaźnik Giniego czy entropia?                      | 192        |
| Hiperparametry regularyzacyjne                      | 193        |
| Regresja  | 194        |
| Niestabilność                                       | 196        |
| Ćwiczenia   | 197        |
| <b>7. Uczenie zespołowe i losowe lasy</b>           | <b>199</b> |
| Klasyfikatory głosujące                             | 199        |
| Agregacja i wklejanie                               | 202        |
| Agregacja i wklejanie w module Scikit-Learn         | 203        |

|  |     |
|--|-----|
| Ocena OOB                              | 205 |
| Rejony losowe i podprzestrzenie losowe | 206 |
| Losowe lasy                            | 206 |
| Zespół Extra-Trees                     | 207 |
| Istotność cech                         | 207 |
| Wzmacnianie                            | 209 |
| AdaBoost                               | 209 |
| Wzmacnianie gradientowe                | 212 |
| Kontaminacja                           | 217 |
| Ćwiczenia                              | 219 |

## **8. Redukcja wymiarowości** **223**

|   |     |
|---|-----|
| Klątwa wymiarowości                     | 224 |
| Główne strategie redukcji wymiarowości  | 225 |
| Rzutowanie                              | 225 |
| Uczenie rozmaitościowe                  | 227 |
| Analiza PCA                             | 228 |
| Zachowanie wariancji                    | 229 |
| Główne składowe                         | 230 |
| Rzutowanie na d wymiarów                | 231 |
| Implementacja w module Scikit-Learn     | 232 |
| Współczynnik wariancji wyjaśnionej      | 232 |
| Wybór właściwej liczby wymiarów         | 232 |
| Algorytm PCA w zastosowaniach kompresji | 233 |
| Losowa analiza PCA                      | 234 |
| Przyrostowa analiza PCA                 | 235 |
| Jądrowa analiza PCA                     | 236 |
| Wybór jądra i strojenie hiperparametrów | 236 |
| Algorytm LLE                            | 239 |
| Inne techniki redukowania wymiarowości  | 241 |
| Ćwiczenia                               | 241 |

## **9. Techniki uczenia nienadzorowanego** **243**

|   |     |
|---|-----|
| Analiza skupień   | 244 |
| Algorytm centroidów                                     | 246 |
| Granice algorytmu centroidów                            | 255 |
| Analiza skupień w segmentacji obrazu                    | 256 |
| Analiza skupień w przetwarzaniu wstępnym                | 257 |
| Analiza skupień w uczeniu półnadzorowanym               | 259 |
| Algorytm DBSCAN   | 262 |
| Inne algorytmy analizy skupień                          | 265 |
| Mieszanki gaussowskie                                   | 266 |
| Wykrywanie anomalii za pomocą mieszanin gaussowskich    | 271 |
| Wyznaczanie liczby skupień                              | 273 |
| Modele bayesowskie mieszanin gaussowskich               | 275 |
| Inne algorytmy służące do wykrywania anomalii i nowości | 279 |

|  |            |
|--|------------|
| Ćwiczenia  | 280        |
| <b>Część II. Sieci neuronowe i uczenie głębokie</b>  | <b>283</b> |
| <b>10. Wprowadzenie do sztucznych sieci neuronowych i ich implementacji z użyciem interfejsu Keras</b> | <b>285</b> |
| Od biologicznych do sztucznych neuronów  | 286        |
| Neurony biologiczne  | 287        |
| Operacje logiczne przy użyciu neuronów   | 288        |
| Perceptron   | 289        |
| Perceptron wielowarstwowy i propagacja wsteczna  | 293        |
| Regresyjne perceptrony wielowarstwowe  | 297        |
| Klasyfikacyjne perceptrony wielowarstwowe  | 298        |
| Implementowanie perceptronów wielowarstwowych za pomocą interfejsu Keras                               | 300        |
| Instalacja modułu TensorFlow 2   | 301        |
| Tworzenie klasyfikatora obrazów za pomocą interfejsu sekwencyjnego                                     | 302        |
| Tworzenie regresyjnego perceptronu wielowarstwowego za pomocą interfejsu sekwencyjnego                 | 311        |
| Tworzenie złożonych modeli za pomocą interfejsu funkcyjnego  | 312        |
| Tworzenie modeli dynamicznych za pomocą interfejsu podklasowego  | 316        |
| Zapisywanie i odczytywanie modelu  | 318        |
| Stosowanie wywołań zwrotnych   | 318        |
| Wizualizacja danych za pomocą narzędzia TensorBoard  | 320        |
| Dostrajanie hiperparametrów sieci neuronowej   | 323        |
| Liczba warstw ukrytych   | 326        |
| Liczba neuronów w poszczególnych warstwach ukrytych  | 327        |
| Współczynnik uczenia, rozmiar grupy i pozostałe hiperparametry   | 328        |
| Ćwiczenia  | 330        |
| <b>11. Uczenie głębokich sieci neuronowych</b>   | <b>333</b> |
| Problemy zanikających/eksplodujących gradientów  | 334        |
| Inicjalizacja wag Glorota i He   | 334        |
| Nienasycające funkcje aktywacji  | 336        |
| Normalizacja wsadowa   | 340        |
| Obcinanie gradientu  | 346        |
| Wielokrotne stosowanie gotowych warstw   | 347        |
| Uczenie transferowe w interfejsie Keras  | 348        |
| Nienadzorowane uczenie wstępne   | 350        |
| Uczenie wstępne za pomocą dodatkowego zadania  | 350        |
| Szybsze optymalizatory   | 352        |
| Optymalizacja momentum   | 352        |
| Przyspieszony spadek wzdłuż gradientu (algorytm Nesterova)   | 353        |
| AdaGrad  | 355        |
| RMSProp  | 356        |
| Optymalizatory Adam i Nadam  | 357        |

|   |     |
|---|-----|
| Harmonogramowanie współczynnika uczenia               | 359 |
| Regularyzacja jako sposób zapobiegania przetrenowaniu | 364 |
| Regularyzacja $l_1$ i $l_2$                           | 364 |
| Porzucanie  | 365 |
| Regularyzacja typu Monte Carlo (MC)                   | 368 |
| Regularyzacja typu max-norm                           | 370 |
| Podsumowanie i praktyczne wskazówki                   | 371 |
| Ćwiczenia   | 372 |

## **12. Modele niestandardowe i uczenie za pomocą modułu**

|   |            |
|---|------------|
| <b>TensorFlow</b>   | <b>375</b> |
| Krótkie omówienie modułu TensorFlow   | 375        |
| Korzystanie z modułu TensorFlow jak z biblioteki NumPy                          | 379        |
| Tensory i operacje  | 379        |
| Tensory a biblioteka NumPy  | 381        |
| Konwersje typów   | 381        |
| Zmienne   | 381        |
| Inne struktury danych   | 382        |
| Dostosowywanie modeli i algorytmów uczenia                                      | 383        |
| Niestandardowe funkcje straty   | 383        |
| Zapisywanie i wczytywanie modeli zawierających elementy niestandardowe          | 384        |
| Niestandardowe funkcje aktywacji, inicjalizatory, regularyzatory i ograniczenia | 386        |
| Niestandardowe wskaźniki  | 387        |
| Niestandardowe warstwy  | 389        |
| Niestandardowe modele   | 392        |
| Funkcje straty i wskaźniki oparte na elementach wewnętrznych modelu             | 394        |
| Obliczanie gradientów za pomocą różniczkowania automatycznego                   | 396        |
| Niestandardowe pętle uczenia  | 399        |
| Funkcje i grafy modułu TensorFlow   | 402        |
| AutoGraph i kreślenie   | 404        |
| Reguły związane z funkcją TF  | 405        |
| Ćwiczenia   | 406        |

## **13. Wczytywanie i wstępne przetwarzanie danych za pomocą modułu TensorFlow**

|  |            |
|--|------------|
| <b>TensorFlow</b>                                | <b>409</b> |
| Interfejs danych                                 | 410        |
| Łączenie przekształceń                           | 410        |
| Tasowanie danych                                 | 412        |
| Wstępne przetwarzanie danych                     | 415        |
| Składanie wszystkiego w całość                   | 416        |
| Pobieranie wstępne                               | 417        |
| Stosowanie zestawu danych z interfejsem tf.keras | 418        |
| Format TFRecord                                  | 419        |
| Skompresowane pliki TFRecord                     | 420        |

|  |     |
|--|-----|
| Wprowadzenie do buforów protokołów                                 | 420 |
| Bufory protokołów w module TensorFlow                              | 422 |
| Wczytywanie i analizowanie składni obiektów Example                | 423 |
| Obsługa list za pomocą bufora protokołów SequenceExample           | 424 |
| Wstępne przetwarzanie cech wejściowych                             | 425 |
| Kodowanie cech kategoryalnych za pomocą wektorów gorącojedynkowych | 426 |
| Kodowanie cech kategoryalnych za pomocą wektorów właściwościowych  | 428 |
| Warstwy przetwarzania wstępnego w interfejsie Keras                | 431 |
| TF Transform   | 433 |
| Projekt TensorFlow Datasets (TFDS)                                 | 435 |
| Ćwiczenia  | 436 |

## **14. Głębokie widzenie komputerowe za pomocą splotowych sieci neuronowych** **439**

|  |     |
|--|-----|
| Struktura kory wzrokowej                                 | 440 |
| Warstwy splotowe   | 441 |
| Filtry   | 443 |
| Stosy map cech   | 444 |
| Implementacja w module TensorFlow                        | 446 |
| Zużycie pamięci operacyjnej                              | 448 |
| Warstwa łącząca  | 449 |
| Implementacja w module TensorFlow                        | 451 |
| Architektury splotowych sieci neuronowych                | 452 |
| LeNet-5  | 454 |
| AlexNet  | 455 |
| GoogLeNet  | 458 |
| VGGNet   | 461 |
| ResNet   | 461 |
| Xception   | 465 |
| SENet  | 466 |
| Implementacja sieci ResNet-34 za pomocą interfejsu Keras | 468 |
| Korzystanie z gotowych modeli w interfejsie Keras        | 469 |
| Gotowe modele w uczeniu transferowym                     | 471 |
| Klasyfikowanie i lokalizowanie                           | 473 |
| Wykrywanie obiektów                                      | 474 |
| W pełni połączone sieci splotowe                         | 476 |
| Sieć YOLO  | 478 |
| Segmentacja semantyczna                                  | 481 |
| Ćwiczenia  | 484 |

## **15. Przetwarzanie sekwencji za pomocą sieci rekurencyjnych i splotowych** **487**

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| Neurony i warstwy rekurencyjne | 488 |
| Komórki pamięci                | 490 |
| Sekwencje wejść i wyjść        | 491 |

|  |     |
|--|-----|
| Uczenie sieci rekurencyjnych                 | 492 |
| Prognozowanie szeregów czasowych             | 493 |
| Wskaźniki bazowe                             | 494 |
| Implementacja prostej sieci rekurencyjnej    | 494 |
| Głębokie sieci rekurencyjne                  | 496 |
| Prognozowanie kilka taktów w przód           | 497 |
| Obsługa długich sekwencji                    | 500 |
| Zwalczanie problemu niestabilnych gradientów | 501 |
| Zwalczanie problemu pamięci krótkotrwałej    | 503 |
| Ćwiczenia                                    | 511 |

## **16. Przetwarzanie języka naturalnego za pomocą sieci rekurencyjnych i mechanizmów uwagi** **513**

|  |     |
|--|-----|
| Generowanie tekstów szekspirowskich za pomocą znakowej sieci rekurencyjnej | 514 |
| Tworzenie zestawu danych uczących  | 515 |
| Rozdzielanie zestawu danych sekwencyjnych                                  | 515 |
| Dzielenie zestawu danych sekwencyjnych na wiele ramek                      | 516 |
| Budowanie i uczenie modelu Char-RNN  | 518 |
| Korzystanie z modelu Char-RNN  | 519 |
| Generowanie sztucznego tekstu szekspirowskiego                             | 519 |
| Stanowe sieci rekurencyjne   | 520 |
| Analiza sentymentów  | 522 |
| Maskowanie   | 526 |
| Korzystanie z gotowych reprezentacji właściwościowych                      | 527 |
| Sieć typu koder - dekodek służąca do neuronowego tłumaczenia maszynowego   | 529 |
| Dwukierunkowe warstwy rekurencyjne   | 532 |
| Przeszukiwanie wiązkowe  | 533 |
| Mechanizmy uwagi   | 534 |
| Mechanizm uwagi wizualnej  | 537 |
| Liczy się tylko uwaga, czyli architektura transformatora                   | 539 |
| Współczesne innowacje w modelach językowych                                | 546 |
| Ćwiczenia  | 548 |

## **17. Uczenie reprezentacji za pomocą autokoderów i generatywnych sieci przeciwstawnych** **551**

|  |     |
|--|-----|
| Efektywne reprezentacje danych                                 | 552 |
| Analiza PCA za pomocą niedopełnionego autokodera liniowego     | 554 |
| Autokodery stosowe   | 555 |
| Implementacja autokodera stosowego za pomocą interfejsu Keras  | 556 |
| Wizualizowanie rekonstrukcji                                   | 557 |
| Wizualizowanie zestawu danych Fashion MNIST                    | 558 |
| Nienadzorowane uczenie wstępne za pomocą autokoderów stosowych | 558 |
| Wiązanie wag   | 560 |
| Uczenie autokoderów pojedynczo                                 | 561 |



|  |     |
|--|-----|
| Autokodery splotowe                    | 562 |
| Autokodery rekurencyjne                | 563 |
| Autokodery odszumiające                | 564 |
| Autokodery rzadkie                     | 566 |
| Autokodery wariacyjne                  | 569 |
| Generowanie obrazów Fashion MNIST      | 572 |
| Generatywne sieci przeciwstawne        | 574 |
| Problemy związane z uczeniem sieci GAN | 577 |
| Głębokie splotowe sieci GAN            | 579 |
| Rozrost progresywny sieci GAN          | 582 |
| Sieci StyleGAN                         | 585 |
| Ćwiczenia                              | 587 |

## **18. Uczenie przez wzmacnianie 589**

|   |     |
|---|-----|
| Uczenie się optymalizowania nagród                                | 590 |
| Wyszukiwanie strategii  | 591 |
| Wprowadzenie do narzędzia OpenAI Gym                              | 593 |
| Sieci neuronowe jako strategie                                    | 597 |
| Ocenianie czynności: problem przypisania zasługi                  | 598 |
| Gradienty strategii   | 600 |
| Procesy decyzyjne Markowa   | 604 |
| Uczenie metodą różnic czasowych                                   | 607 |
| Q-uczenie   | 609 |
| Strategie poszukiwania  | 610 |
| Przybliżający algorytm Q-uczenia i Q-uczenie głębokie             | 611 |
| Implementacja modelu Q-uczenia głębokiego                         | 612 |
| Odmiany Q-uczenia głębokiego                                      | 616 |
| Ustalane Q-wartości docelowe                                      | 616 |
| Podwójna sieć DQN   | 617 |
| Odtwarzanie priorytetowych doświadczeń                            | 618 |
| Walcząca sieć DQN   | 618 |
| Biblioteka TF-Agents  | 619 |
| Instalacja biblioteki TF-Agents                                   | 620 |
| Środowiska TF-Agents  | 620 |
| Specyfikacja środowiska   | 621 |
| Funkcje opakowujące środowisko i wstępne przetwarzanie środowiska |     |
| Atari   | 622 |
| Architektura ucząca   | 625 |
| Tworzenie Q-sieci głębokiej                                       | 627 |
| Tworzenie agenta DQN  | 629 |
| Tworzenie bufora odtwarzania i związanego z nim obserwatora       | 630 |
| Tworzenie wskaźników procesu uczenia                              | 631 |
| Tworzenie sterownika  | 632 |
| Tworzenie zestawu danych  | 633 |
| Tworzenie pętli uczenia   | 636 |
| Przegląd popularnych algorytmów RN                                | 637 |

|   |            |
|---|------------|
| Ćwiczenia   | 639        |
| <b>19. Wielkoskalowe uczenie i wdrażanie modeli TensorFlow</b>    | <b>641</b> |
| Eksploracja modelu TensorFlow                                     | 642        |
| Korzystanie z systemu TensorFlow Serving                          | 642        |
| Tworzenie usługi predykcyjnej na platformie GCP AI                | 650        |
| Korzystanie z usługi prognozowania                                | 655        |
| Wdrażanie modelu na urządzeniu mobilnym lub wbudowanym            | 658        |
| Przyspieszanie obliczeń za pomocą procesorów graficznych          | 661        |
| Zakup własnej karty graficznej                                    | 662        |
| Korzystanie z maszyny wirtualnej wyposażonej w procesor graficzny | 664        |
| Colaboratory  | 665        |
| Zarządzanie pamięcią operacyjną karty graficznej                  | 666        |
| Umieszczanie operacji i zmiennych na urządzeniach                 | 669        |
| Przetwarzanie równoległe na wielu urządzeniach                    | 671        |
| Uczenie modeli za pomocą wielu urządzeń                           | 673        |
| Zrównoleglanie modelu   | 673        |
| Zrównoleglanie danych   | 675        |
| Uczenie wielkoskalowe za pomocą interfejsu strategii rozpraszania | 680        |
| Uczenie modelu za pomocą klastra TensorFlow                       | 681        |
| Realizowanie dużych grup zadań uczenia za pomocą usługi           |            |
| Google Cloud AI Platform  | 684        |
| Penetracyjne strojenie hiperparametrów w usłudze AI Platform      | 686        |
| Ćwiczenia   | 688        |
| Dziękuję!   | 688        |
| <b>A Rozwiązania ćwiczeń</b>                                      | <b>691</b> |
| <b>B Lista kontrolna projektu uczenia maszynowego</b>             | <b>725</b> |
| <b>C Problem dualny w maszynach wektorów nośnych</b>              | <b>731</b> |
| <b>D Różniczkowanie automatyczne</b>                              | <b>735</b> |
| <b>E Inne popularne architektury sieci neuronowych</b>            | <b>743</b> |
| <b>F Specjalne struktury danych</b>                               | <b>751</b> |
| <b>G Grafy TensorFlow</b>   | <b>757</b> |