

Spis treści

| | |
|---|----|
| Przedmowa | 11 |
| 1. Wstęp | 13 |
| 1.1. Podstawy biologiczne działania neuronu..... | 13 |
| 1.2. Pierwsze modele sieci neuronowej..... | 16 |
| 1.3. Przegląd zastosowań sieci neuronowych..... | 18 |
| 2. Modele neuronów i metody ich uczenia | 21 |
| 2.1. Perceptron..... | 22 |
| 2.2. Neuron sigmoidalny..... | 23 |
| 2.3. Neuron radialny..... | 28 |
| 2.4. Neuron typu adaline..... | 29 |
| 2.5. Instar i outstar Grossberga..... | 31 |
| 2.6. Neurony typu WTA..... | 34 |
| 2.7. Model neuronu Hebba..... | 38 |
| 2.8. Model stochastyczny neuronu..... | 41 |
| 2.9. Zadania i problemy..... | 43 |
| 3. Sieci jednokierunkowe wielowarstwowe typu sigmoidalnego | 44 |
| 3.1. Sieć jednowarstwowa..... | 45 |
| 3.2. Sieć wielowarstwowa perceptronowa..... | 48 |
| 3.2.1. Struktura sieci perceptronowej..... | 48 |
| 3.2.2. Algorytm propagacji wstecznej..... | 49 |
| 3.3. Grafy przepływowe w zastosowaniu do generacji gradientu..... | 53 |
| 3.4. Algorytmy gradientowe uczenia sieci..... | 58 |
| 3.4.1. Zależności podstawowe..... | 58 |
| 3.4.2. Algorytm największego spadku..... | 60 |
| 3.4.3. Algorytm zmiennej metryki..... | 61 |
| 3.4.4. Algorytm Levenberga-Marquardta..... | 63 |
| 3.4.5. Algorytm gradientów sprzężonych..... | 65 |
| 3.5. Dobór współczynnika uczenia..... | 66 |
| 3.6. Metody heurystyczne uczenia sieci..... | 69 |
| 3.6.1. Algorytm Quickprop..... | 70 |
| 3.6.2. Algorytm RPROP..... | 71 |
| 3.7. Program komputerowy MLP do uczenia sieci perceptronowej..... | 72 |
| 3.8. Porównanie efektywności algorytmów uczących..... | 73 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 3.9. | Elementy optymalizacji globalnej | 78 |
| 3.9.1. | Algorytm symulowanego wyżarzania | 81 |
| 3.9.2. | Elementy algorytmów genetycznych | 84 |
| 3.10. | Metody inicjalizacji wag | 89 |
| 3.11. | Zadania i problemy | 91 |
| 4. | Problemy praktycznego wykorzystania sieci neuronowych | 93 |
| 4.1. | Zdolności generalizacyjne sieci neuronowych | 93 |
| 4.1.1. | Zależności podstawowe | 93 |
| 4.1.2. | Miara VCdim | 94 |
| 4.1.3. | Zależności między błędem generalizacji i miarą VCdim | 95 |
| 4.1.4. | Przegląd metod zwiększania zdolności generalizacyjnych sieci neuronowej | 97 |
| 4.2. | Wstępny dobór architektury sieci | 102 |
| 4.3. | Dobór optymalnej architektury sieci pod względem generalizacji | 105 |
| 4.3.1. | Metody wrażliwościowe redukcji sieci | 106 |
| 4.3.2. | Metody redukcji sieci z zastosowaniem funkcji kary | 110 |
| 4.4. | Wtrącanie szumu do próbek uczących | 112 |
| 4.5. | Zwiększanie zdolności generalizacyjnych przez użycie wielu sieci | 115 |
| 4.6. | Przykłady zastosowań sieci perceptronowej | 117 |
| 4.6.1. | Rozpoznawanie i klasyfikacja wzorców binarnych | 117 |
| 4.6.2. | Rozpoznawanie wzorców na podstawie obrysu zewnętrznego | 126 |
| 4.6.3. | Sieć neuronowa do kompresji danych | 132 |
| 4.6.4. | Identyfikacja obiektów dynamicznych | 136 |
| 4.6.5. | Przybliżenie obciążenia systemu elektroenergetycznego | 139 |
| 4.7. | Zadania i problemy | 143 |
| 5. | Sieci neuronowe radialne | 144 |
| 5.1. | Podstawy matematyczne | 145 |
| 5.2. | Sieć neuronowa radialna | 147 |
| 5.3. | Metody uczenia sieci neuronowych radialnych | 153 |
| 5.3.1. | Proces samoorganizacji w zastosowaniu do adaptacji parametrów funkcji radialnych | 154 |
| 5.3.2. | Algorytm probabilistyczny doboru parametrów funkcji radialnych | 157 |
| 5.3.3. | Algorytm hybrydowy uczenia sieci radialnych | 159 |
| 5.3.4. | Algorytmy uczące oparte na propagacji wstecznej | 161 |
| 5.4. | Metody doboru liczby funkcji bazowych | 164 |
| 5.4.1. | Metody heurystyczne | 164 |
| 5.4.2. | Metoda ortogonalizacji Grama-Schmidta | 165 |
| 5.5. | Program komputerowy uczenia sieci radialnych | 170 |
| 5.6. | Przykład zastosowania sieci radialnej w aproksymacji | 172 |
| 5.7. | Porównanie sieci radialnych z sieciami sigmoidalnymi | 174 |
| 5.8. | Zadania i problemy | 176 |
| 6. | Sieci SVM | 177 |
| 6.1. | Sieć liniowa SVM w zadaniu klasyfikacji | 178 |
| 6.2. | Sieć nieliniowa SVM w zadaniu klasyfikacji | 184 |
| 6.3. | Interpretacja mnożników Lagrange'a w rozwiązaniu sieci | 192 |
| 6.4. | Problem klasyfikacji przy wielu klasach | 193 |
| 6.5. | Sieci SVM do zadań regresji | 194 |
| 6.6. | Przegląd algorytmów rozwiązania zadania dualnego | 197 |

| | |
|---|------------|
| 6.7. Program komputerowy uczenia sieci SVM | 201 |
| 6.8. Przykłady zastosowania sieci SVM | 204 |
| 6.8.1. Problem klasyfikacyjny dwu spiral | 204 |
| 6.8.2. Rozpoznawanie tekstur | 205 |
| 6.8.3. Wykrywanie uszkodzeń elementów w obwodzie filtra elektrycznego | 207 |
| 6.9. Porównanie sieci SVM z innymi rozwiązaniami neuronowymi | 209 |
| 6.10. Zadania i problemy | 214 |
| 7. Specjalizowane struktury sieci neuronowych | 215 |
| 7.1. Sieć kaskadowej korelacji Fahlmana | 215 |
| 7.2. Sieć Volterry | 221 |
| 7.2.1. Struktura i zależności uczące sieci | 222 |
| 7.2.2. Przykłady zastosowań sieci Volterry | 225 |
| 7.3. Zadania i problemy | 232 |
| 8. Sieci rekurencyjne jako pamięci asocjacyjne | 233 |
| 8.1. Wprowadzenie | 233 |
| 8.2. Sieć autoasocjacyjna Hopfielda | 235 |
| 8.2.1. Zależności podstawowe | 235 |
| 8.2.2. Tryb uczenia sieci Hopfielda | 238 |
| 8.2.3. Tryb odtworzeniowy sieci Hopfielda | 239 |
| 8.2.4. Program Hop win | 240 |
| 8.3. Sieć Hamminga | 243 |
| 8.3.1. Struktura sieci i algorytm doboru wag | 243 |
| 8.3.2. Działanie sieci Hamminga | 245 |
| 8.3.3. Program <i>Shamming</i> uczenia sieci | 246 |
| 8.4. Sieć typu BAM | 249 |
| 8.4.1. Opis działania sieci | 249 |
| 8.4.2. Zmodyfikowany algorytm uczący sieci BAM | 252 |
| 8.4.3. Zmodyfikowana struktura sieci BAM | 253 |
| 8.5. Zadania i problemy | 259 |
| 9. Sieci rekurencyjne tworzone na bazie perceptronu | 261 |
| 9.1. Wprowadzenie | 261 |
| 9.2. Sieć perceptronowa ze sprzężeniem zwrotnym | 261 |
| 9.2.1. Struktura sieci RMLP | 261 |
| 9.2.2. Algorytm uczenia sieci RMLP | 263 |
| 9.2.3. Dobór współczynnika uczenia | 265 |
| 9.2.4. Współczynnik wzmocnienia sygnału | 266 |
| 9.2.5. Wyniki symulacji komputerowych | 266 |
| 9.3. Sieć rekurencyjna Elmana | 271 |
| 9.3.1. Struktura sieci | 271 |
| 9.3.2. Algorytm uczenia sieci Elmana | 273 |
| 9.3.3. Uczenie z wykorzystaniem momentu | 275 |
| 9.3.4. Przykładowe wyniki symulacji komputerowych sieci Elmana | 276 |
| 9.4. Sieć RTRN | 280 |
| 9.4.1. Struktura sieci i algorytm uczący | 280 |
| 9.4.2. Wyniki eksperymentów numerycznych | 282 |
| 9.5. Zadania i problemy | 286 |

| | |
|--|-----|
| 10. Sieci samoorganizujące się na zasadzie współzawodnictwa | 287 |
| 10.1. Zależności podstawowe sieci samoorganizujących się przez współzawodnictwo..... | 287 |
| 10.1.1. Miary odległości między wektorami | 289 |
| 10.1.2. Normalizacja wektorów..... | 290 |
| 10.1.3. Problem neuronów martwych..... | 291 |
| 10.2. Algorytmy uczące sieci samoorganizujących..... | 292 |
| 10.2.1. Algorytm Kohonena | 293 |
| 10.2.2. Algorytm gazu neuronowego..... | 294 |
| 10.2.3. Program Kohon..... | 296 |
| 10.2.4. Porównanie algorytmów samoorganizacji..... | 298 |
| 10.3. Sieć odwzorowań jedno- i dwuwymiarowych | 300 |
| 10.4. Odwzorowanie Sammona..... | 303 |
| 10.5. Zastosowania sieci samoorganizujących | 305 |
| 10.5.1. Kompresja danych | 305 |
| 10.5.2. Wykrywanie uszkodzeń w urządzeniach | 308 |
| 10.5.3. Krótkoterminowe prognozowanie obciążeń systemu elektroenergetycznego | 311 |
| 10.6. Sieć hybrydowa | 315 |
| 10.7. Zadania i problemy..... | 319 |
| 11. Sieci samoorganizujące typu korelacyjnego | 321 |
| 11.1. Funkcja energetyczna sieci korelacyjnych | 321 |
| 11.2. Sieci neuronowe PCA..... | 323 |
| 11.2.1. Wprowadzenie matematyczne | 323 |
| 11.2.2. Relacja między przekształceniami PCA i SVD..... | 326 |
| 11.2.3. Estymacja pierwszego składnika głównego | 327 |
| 11.2.4. Algorytmy estymacji wielu składników głównych | 328 |
| 11.3. Sieci neuronowe do ślepej separacji sygnałów | 331 |
| 11.3.1. Zależności wstępne | 331 |
| 11.3.2. Niezależność statystyczna sygnałów | 332 |
| 11.3.3. Struktura rekurencyjna sieci separującej | 333 |
| 11.3.4. Algorytm Heraulta-Juttena dla sieci rekurencyjnej | 335 |
| 11.3.5. Algorytm Cichockiego uczenia sieci rekurencyjnej | 336 |
| 11.3.6. Program ślepej separacji <i>BS</i> | 337 |
| 11.3.7. Sieć jednokierunkowa do separacji sygnałów | 340 |
| 11.3.8. Toolbox ICALAB | 346 |
| 11.4. Zadania i problemy..... | 347 |
| 12. Podstawy matematyczne systemów rozmytych | 348 |
| 12.1. Operacje na zbiorach rozmytych | 350 |
| 12.2. Miary rozmytości zbiorów rozmytych | 352 |
| 12.3. Rozmytość a prawdopodobieństwo | 353 |
| 12.4. Reguły rozmyte wnioskowania | 354 |
| 12.5. Systemy wnioskowania rozmytego Mamdaniego-Zadeha | 356 |
| 12.5.1. Fuzyfikator | 358 |
| 12.5.2. Defuzyfikator | 362 |
| 12.5.3. Model Mamdaniego-Zadeha jako układ uniwersalnego aproksymatora | 363 |
| 12.6. Model wnioskowania Takagi-Sugeno-Kanga..... | 364 |
| 12.7. Zadania i problemy..... | 367 |

| | |
|--|-----|
| 13. Sieci neuronowe rozmyte | 369 |
| 13.1. Struktura sieci rozmytej TSK | 369 |
| 13.2. Struktura sieci Wanga-Mendela | 373 |
| 13.3. Algorytmy samoorganizacji w zastosowaniu do uczenia sieci rozmytej | 374 |
| 13.3.1. Algorytm grupowania górskiego | 375 |
| 13.3.2. Algorytm C-means | 378 |
| 13.3.3. Algorytm Gustafsona-Kessela samoorganizacji rozmytej | 380 |
| 13.4. Generacja reguł wnioskowania sieci rozmytej | 385 |
| 13.5. Algorytm hybrydowy uczenia sieci rozmytej TSK | 388 |
| 13.6. Modyfikacje sieci TSK | 392 |
| 13.6.1. Algorytm wyznaczania liczby reguł wnioskowania | 393 |
| 13.6.2. Przykład numeryczny | 395 |
| 13.6.3. Uproszczona sieć TSK | 398 |
| 13.7. Sieć hybrydowa rozmyta | 400 |
| 13.8. Przykłady zastosowań sieci rozmytych | 402 |
| 13.8.1. Estymacja stężenia składników mieszaniny gazowej | 403 |
| 13.8.2. Rozpoznawanie składników mieszanin gazowych | 404 |
| 13.8.3. Rozpoznawanie gatunków piwa na podstawie zapachu | 407 |
| 13.9. Adaptacyjny algorytm samoorganizacji dla sieci rozmytej | 409 |
| 13.10. Zadania i problemy | 412 |
| 14. Głębokie sieci neuronowe | 414 |
| 14.1. Autoenkoder | 415 |
| 14.2. Sieć o ekstremalnym uczeniu | 424 |
| 14.3. Sieci konwolucyjne (CNN) | 426 |
| 14.3.1. Opis struktury sieci CNN | 427 |
| 14.3.2. Dobór struktury CNN | 434 |
| 14.3.3. Uczenie sieci CNN | 438 |
| 14.3.4. Przykłady zastosowania sieci CNN w Matlabie | 442 |
| 14.4. Ograniczona maszyna Boltzmanna | 451 |
| 14.4.1. Pojęcia wstępne | 451 |
| 14.4.2. Algorytm uczenia sieci RBM | 453 |
| 14.5. Sieć DBN | 458 |
| 14.5.1. Struktura sieci DBN | 458 |
| 14.5.2. Algorytm uczenia sieci DBN | 459 |
| 14.6. Głębokie sieci rekurencyjne LSTM | 459 |
| 14.6.1. Wprowadzenie | 459 |
| 14.6.2. Zasada działania sieci LSTM | 461 |
| 14.7. Przykłady praktycznych zastosowań sieci głębokich | 465 |
| 14.8. Podsumowanie | 473 |
| Bibliografia | 475 |
| Skorowidz | 487 |