

# Spis treści

## Przedmowa / 11

### 1

#### Wprowadzenie w tematykę sieci neuronowych / 15

1.1.	Wstęp . . . . .	15
1.2.	Podstawowe architektury sieci neuronowych . . . . .	18
1.2.1.	Sieć jednokierunkowa jednowarstwowa . . . . .	18
1.2.2.	Sieć jednokierunkowa wielowarstwowa . . . . .	19
1.2.3.	Sieci rekurencyjne . . . . .	19
1.3.	Przegląd podstawowych metod uczenia sieci . . . . .	20
1.3.1.	Uczenie pod nadzorem . . . . .	21
1.3.2.	Uczenie z krytykiem . . . . .	24
1.3.3.	Uczenie samoorganizujące się typu Hebb'a . . . . .	26
1.3.4.	Uczenie samoorganizujące się typu konkurencyjnego . . . . .	28
1.4.	Zdolności uogólniania sieci neuronowej . . . . .	32

### 2

#### Sieci neuronowe jednokierunkowe wielowarstwowe / 37

2.1.	Podstawowe zależności odnoszące się do neuronu . . . . .	37
2.2.	Podstawowe definicje funkcji celu . . . . .	39
2.3.	Algorytm propagacji wstecznej w postaci klasycznej . . . . .	44
2.4.	Wyznaczanie gradientu metodą grafów przepływowych . . . . .	47
2.5.	Algorytmy gradientowe optymalizacji w zastosowaniu do uczenia sieci . . . . .	52
2.5.1.	Zależności podstawowe . . . . .	52
2.5.2.	Algorytm największego spadku . . . . .	54
2.5.3.	Algorytm zmiennej metryki . . . . .	56
2.5.4.	Algorytm Levenberga-Marquardta . . . . .	58
2.5.5.	Metoda gradientów sprzężonych . . . . .	59
2.6.	Metody doboru współczynnika uczenia . . . . .	60
2.6.1.	Stały współczynnik uczenia . . . . .	61

2.6.2.	Adaptacyjny dobór współczynnika uczenia . . . . .	61
2.6.3.	Dobór współczynnika uczenia przez minimalizację kierunkową . . . . .	63
2.6.4.	Reguła delta-bar-delta doboru współczynnika uczenia . . . . .	66
2.7.	Metoda gradientów sprzężonych z regularyzacją . . . . .	68
2.8.	Algorytmy heurystyczne . . . . .	71
2.8.1.	Algorytm Quickprop . . . . .	71
2.8.2.	Algorytm RPROP . . . . .	72
2.9.	Porównanie efektywności algorytmów uczących . . . . .	73
2.10.	Elementy optymalizacji globalnej . . . . .	75
2.11.	Metody inicjalizacji wag . . . . .	81
2.11.1.	Inicjalizacja losowa . . . . .	82
2.11.2.	Zastosowanie uogólnionej reguły Hebba do inicjalizacji wartości wag . . . . .	87
2.11.3.	Inicjalizacja wag z zastosowaniem algorytmu samoorganizacji . . . . .	89

### 3

#### Dobór optymalnej architektury sieci wielowarstwowej i danych uczących / 93

3.1.	Zdolności uogólniania sieci wielowarstwowej . . . . .	95
3.2.	Metody redukcji sieci . . . . .	98
3.2.1.	Metody wrażliwościowe redukcji . . . . .	100
3.2.2.	Metody funkcji kary . . . . .	107
3.2.3.	Metoda rozkładu SVD . . . . .	110
3.3.	Algorytm kaskadowej korelacji Fahlmana . . . . .	113
3.4.	Sieć neuronowa z rozszerzeniem funkcyjnym . . . . .	119
3.4.1.	Sieć funkcyjna Pao . . . . .	119
3.4.2.	Sieć sigma-pi . . . . .	123
3.5.	Analiza wrażliwościowa danych uczących . . . . .	125
3.6.	Zwiększanie zdolności uogólniania sieci przez wtrącanie szumu do wzorców uczących . . . . .	129

### 4

#### Wybrane zastosowania sieci neuronowych wielowarstwowych / 133

4.1.	Rozpoznawanie wzorców . . . . .	133
4.1.1.	Blok przesunięcia . . . . .	134
4.1.2.	Blok skalujący . . . . .	135
4.1.3.	Blok rotacji . . . . .	135
4.1.4.	Układ klasyfikatora neuronowego . . . . .	137
4.1.5.	Układ interpretera . . . . .	137
4.2.	Kompresja danych . . . . .	138
4.2.1.	Sieć neuronowa wielowarstwowa do kompresji danych . . . . .	138
4.2.2.	Miary kompresji . . . . .	140
4.2.3.	Hierarchiczny podział kompresowanych danych . . . . .	141
4.3.	Sieć neuronowa interpolująca . . . . .	145
4.3.1.	Interpolacja przebiegów czasowych . . . . .	145
4.3.2.	Regeneracja obrazów z wykorzystaniem sieci interpolującej . . . . .	147

4.4.	Modelowanie i sterowanie obiektów dynamicznych . . . . .	148
4.4.1.	Wprowadzenie . . . . .	148
4.4.2.	Identyfikacja obiektu dynamicznego z zastosowaniem sieci neuronowej . .	151
4.4.3.	Schematy sterowania neuronowego obiektów dynamicznych . . . . .	153
4.5.	Predykcja obciążeń systemu elektroenergetycznego . . . . .	155
4.5.1.	Architektura sieci i dane uczące . . . . .	157
4.5.2.	Wyniki eksperymentów numerycznych . . . . .	158

## 5

### Sieci neuronowe o radialnych funkcjach bazowych / 160

5.1.	Podstawy matematyczne . . . . .	161
5.2.	Sieć neuronowa radialna . . . . .	165
5.3.	Metody uczenia sieci neuronowych radialnych . . . . .	169
5.3.1.	Losowy wybór centrów funkcji bazowych . . . . .	171
5.3.2.	Dobór parametrów funkcji radialnych przy zastosowaniu procesu samoorganizacji . . . . .	172
5.3.3.	Algorytm probabilistyczny doboru parametrów funkcji radialnych . . . . .	176
5.3.4.	Algorytmy uczące oparte na propagacji wstecznej . . . . .	178
5.3.5.	Metody doboru liczby funkcji bazowych . . . . .	180
5.3.6.	Metoda ortogonalizacji Grama-Schmidta . . . . .	182
5.4.	Porównanie sieci radialnych z sieciami sigmoidalnymi . . . . .	186

## 6

### Sieci rekurencyjne / 189

6.1.	Wprowadzenie . . . . .	189
6.2.	Sieć autoasocjacyjna Hopfielda . . . . .	191
6.2.1.	Zależności podstawowe . . . . .	191
6.2.2.	Tryb uczenia sieci Hopfielda . . . . .	195
6.2.3.	Tryb odtworzeniowy sieci Hopfielda . . . . .	198
6.2.4.	Implementacja sprzętowa sieci Hopfielda . . . . .	200
6.3.	Sieć Hamminga . . . . .	203
6.4.	Sieć typu BAM . . . . .	207
6.4.1.	Opis działania sieci Kosko . . . . .	207
6.4.2.	Modyfikacja uczenia sieci BAM . . . . .	209
6.4.3.	Modyfikacja struktury sieci BAM . . . . .	211
6.5.	Rekurencyjna sieć neuronowa typu RTRN . . . . .	215
6.5.1.	Opis struktury sieci . . . . .	215
6.5.2.	Algorytm uczenia sieci . . . . .	217
6.6.	Rekurencyjna sieć Elmana . . . . .	219
6.6.1.	Ogólne zależności opisujące sieć . . . . .	219
6.6.2.	Uczenie sieci przy zastosowaniu zmodyfikowanego algorytmu Williamsa-Zipsera . . . . .	221
6.6.3.	Zastosowanie algorytmu kaskadowej korelacji Fahlmana . . . . .	223
6.7.	Rekurencyjna metoda propagacji wstecznej . . . . .	224

## 7

**Sieci samoorganizujące się na podstawie reguły Hebba / 229**

7.1.	Aspekt energetyczny samoorganizacji Hebba . . . . .	230
7.2.	Analiza składników głównych (PCA) . . . . .	231
7.2.1.	Podstawy matematyczne . . . . .	231
7.2.2.	Estymacja pierwszego składnika głównego . . . . .	232
7.2.3.	Estymacja wielu składników głównych . . . . .	233
7.3.	Sieci neuronowe typu Heraulta-Juttana . . . . .	235
7.3.1.	Zależności podstawowe sieci . . . . .	235
7.3.2.	Algorytm Heraulta-Juttana w zastosowaniu do sieci rekurencyjnej . . . . .	238
7.3.3.	Uogólniony algorytm uczenia sieci rekurencyjnej . . . . .	240
7.3.4.	Algorytm uczący sieci jednokierunkowej . . . . .	243
7.3.5.	Sieć do separacji sygnałów z opóźnieniami . . . . .	247

## 8

**Sieci samoorganizujące się działające na zasadzie współzawodnictwa / 249**

8.1.	Zależności podstawowe . . . . .	249
8.1.1.	Miary odległości między wektorami . . . . .	251
8.1.2.	Problem normalizacji wektorów . . . . .	252
8.1.3.	Miara organizacji sieci . . . . .	253
8.1.4.	Mechanizm zmęczenia neuronów . . . . .	255
8.2.	Algorytmy uczenia sieci samoorganizujących się . . . . .	256
8.2.1.	Algorytm Kohonena . . . . .	257
8.2.2.	Algorytm stochastycznej relaksacji . . . . .	258
8.2.3.	Algorytm SCS . . . . .	258
8.2.4.	Algorytm gazu neuronowego . . . . .	259
8.2.5.	Porównanie algorytmów samoorganizacji . . . . .	260
8.3.	Sieć odwzorowań jedno- i dwuwymiarowych . . . . .	262
8.4.	Odwzorowanie Sammona . . . . .	266
8.5.	Przykłady zastosowań sieci samoorganizujących się . . . . .	268
8.5.1.	Kompresja obrazów . . . . .	268
8.5.2.	Zastosowanie sieci do wykrywania uszkodzeń . . . . .	270
8.5.3.	Prognozowanie obciążeń systemu elektroenergetycznego . . . . .	273

## 9

**Podstawy matematyczne systemów logiki rozmytej / 276**

9.1.	Podstawowe pojęcia systemów rozmytych . . . . .	277
9.1.1.	Wprowadzenie . . . . .	277
9.1.2.	Podstawowe definicje . . . . .	278
9.2.	Zasady wnioskowania w zbiorach rozmytych . . . . .	279
9.3.	Interpretacja reguł wnioskowania w systemie wielowymiarowym . . . . .	281
9.4.	Układy logiki rozmytej w środowisku pomiarowym . . . . .	282
9.4.1.	Fuzyfikator . . . . .	282
9.4.2.	Defuzyfikator . . . . .	285

## 10

**Sieci neuronowe o logice rozmytej / 289**

10.1.	Gradientowa metoda uczenia sieci rozmytej . . . . .	289
10.1.1.	Zależności uczące sieci . . . . .	289
10.1.2.	Zastosowanie sieci rozmytych w problemach identyfikacji nieliniowych obiektów dynamicznych . . . . .	293
10.2.	Uczenie samoorganizujące się sieci rozmytych . . . . .	300
10.3.	Uczenie bezpośrednie na podstawie tabeli przejść . . . . .	302

## 11

**Implementacja sieci neuronowych w technologii VLSI / 308**

11.1.	Elementy rozwiązań analogowych sieci neuronowych . . . . .	308
11.1.1.	Realizacja neuronu sigmoidalnego . . . . .	308
11.1.2.	Realizacja scalona sieci rekurencyjnych . . . . .	310
11.1.3.	Realizacja scalona układu WTA . . . . .	313
11.1.4.	Rozwiązania dotyczące sieci neuronowych rozmytych . . . . .	315
11.2.	Przegląd komercyjnych układów scalonych . . . . .	318
11.2.1.	Koprocесory neuronowe . . . . .	318
11.2.2.	Specjalizowane rozwiązania neurokomputerów . . . . .	320
11.2.3.	Układy scalone analogowe . . . . .	323

**Dodatek A****Opis programu Netteach / 326**

A.1.	Przygotowanie plików z danymi . . . . .	326
A.2.	Opcje wywołania programu . . . . .	328

**Dodatek B****Opis programu Cascor / 330**

B.1.	Opis parametrów wywołania programu . . . . .	330
B.2.	Przygotowanie plików uczących . . . . .	332

**Dodatek C****Opis programu Hfnet / 334****Bibliografia / 336****Skorowidz / 344**