

Redakcja:  
Urszula Markowska-Kaczmar  
Halina Kwaśnicka

# **SIECI NEURONOWE W ZASTOSOWANIACH**

Praca zbiorowa



Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej  
Wrocław 2005

|   |     |
|---|-----|
| Przedmowa   | 7   |
| 1 Sztuczne sieci neuronowe – wprowadzenie                                   | 10  |
| 1.1 Pojęcia podstawowe  | 10  |
| 1.2 Architektury sieci neuronowych  | 13  |
| 1.3 Sposoby uczenia   | 15  |
| 1.4 Reguły uczenia  | 16  |
| 1.5 Projektowanie sieci neuronowej  | 18  |
| 1.6 Sieć wielowarstwowa, jednokierunkowa uczona metodą propagacji wstecznej | 21  |
| 1.7 Sieci z rywalizacją   | 28  |
| 1.8 Sieci z radialnymi funkcjami bazowymi                                   | 36  |
| 1.9 Sieci Hopfielda   | 38  |
| 1.10 Typowe problemy rozwiązywane przez sieć neuronową                      | 45  |
| 2 Zastosowanie sieci neuronowych w grach                                    | 49  |
| 2.1 TD – learning   | 49  |
| 2.2 Othello   | 51  |
| 2.3 Pacman  | 55  |
| 2.4 Sterowanie pojazdami w grach  | 57  |
| 2.5 Przewidywanie liczby lew na podstawie rozdania brydżowego               | 59  |
| 2.6 Sieć neuronowa grająca w szachy   | 61  |
| 2.7 Go  | 64  |
| 2.8 Sieć neuronowa grająca w warcaby - Checkers                             | 71  |
| 2.9 Podsumowanie  | 79  |
| 3 Zastosowania w robotyce   | 81  |
| 3.1 Grupy zastosowań sieci neuronowych w robotyce                           | 81  |
| 3.2 Sieci neuronowe sterujące kinematyką robotów                            | 82  |
| 3.3 DAISY   | 89  |
| 3.4 ALVINN  | 93  |
| 3.5 Podsumowanie  | 97  |
| 4 Sieci neuronowe w biznesie  | 98  |
| 4.1 Segmentacja klientów  | 98  |
| 4.2 Bankowość   | 99  |
| 4.3 Analiza giełdy  | 100 |
| 4.4 Przewidywanie bankructwa  | 104 |
| 4.5 Rozrywka  | 106 |
| 4.6 Wnioski   | 112 |
| 5 Sieci neuronowe w rozpoznawaniu wzorców                                   | 113 |
| 5.1 Rozpoznawanie obiektów na obrazie                                       | 114 |
| 5.2 Rozpoznawanie twarzy  | 118 |
| 5.3 Rozpoznawanie pisma ręcznego  | 122 |
| 5.4 Podsumowanie  | 127 |
| 6 Sieci neuronowe w automatycznym rozpoznawaniu mowy                        | 128 |

|     |  |     |
|-----|--|-----|
| 6.1 | Podstawowe pojęcia z zakresu rozpoznawania mowy                | 128 |
| 6.2 | Proces rozpoznawania mowy                                      | 129 |
| 6.3 | Modele i algorytmy   | 133 |
| 6.4 | Rozwiązania bazujące na sieciach neuronowych                   | 135 |
| 6.5 | Podsumowanie   | 139 |
| 7   | Sieci neuronowe w problemach optymalizacyjnych                 | 140 |
| 7.1 | Problem komiwojażera   | 140 |
| 7.2 | Problem $n$ – hetmanów ( $n$ – queen problem)                  | 144 |
| 7.3 | Problem skoczka szachowego                                     | 147 |
| 7.4 | Problem dzielenia grafu  | 151 |
| 7.5 | Podsumowanie   | 154 |
| 8   | Zastosowanie sieci neuronowych w medycynie                     | 155 |
| 8.1 | Zastosowanie sieci neuronowych w elektrokardiografii           | 155 |
| 8.2 | Zastosowanie sieci neuronowych w diagnozowaniu chorób tarczycy | 158 |
| 8.3 | Sieci neuronowe w diagnozowaniu rozedmy płuc                   | 159 |
| 8.4 | Wykrywanie odmy za pomocą sieci neuronowych                    | 160 |
| 8.5 | Zastosowanie sieci neuronowych w diagnozowaniu raka            | 163 |
| 8.6 | Tworzenie leków z wykorzystaniem sieci neuronowych             | 164 |
| 8.7 | Analiza EEG z wykorzystaniem sieci neuronowych                 | 165 |
| 8.8 | Podsumowanie   | 167 |
| 9   | Zakończenie  | 169 |

## Przedmowa

W ciągu ostatnich lat liczba zastosowań sieci neuronowych w różnych dziedzinach znacząco wzrosła. Swoją popularność zawdzięczają one przede wszystkim zdolności do uczenia się na podstawie przykładów, mogą więc znaleźć zastosowanie wszędzie tam, gdzie nie jesteśmy zdolni do określenia sposobu rozwiązania problemu, a dysponujemy odpowiednią liczbą przykładów uczących. Choć sieci neuronowe bardzo nieudolnie naśladują działanie komórek nerwowych, swoje korzenie biorą właśnie z modelowania systemów nerwowych. Za podwaliny dla rozwoju modeli obliczeniowych nazywanych sztucznymi sieciami neuronowymi można uznać prace Pawłowa nad modelem odruchów warunkowych (1905) oraz Golgiego i Cajal'a nad opisem struktury układu nerwowego (1906). Równie fundamentalny wkład wniosły prace Ecclesa nad modelem synapsy oraz Hodgkina i Huxleya nad modelem propagacji sygnałów w aksonie komórki nerwowej. Pierwszy matematyczny opis funkcjonowania komórki nerwowej i jego powiązanie z problemem przetwarzania danych zaproponowali McCulloch i Pitts w 1943 roku. Stworzony wówczas model neuronowej jednostki przetwarzającej w połączeniu z teoretycznymi rozważaniami von Neumanna na temat związków ludzkiego mózgu i maszyn liczących oraz praktyczną realizacją perceptronu przez Rosenblatta zapoczątkowały nowy paradygmat przetwarzania informacji przy pomocy sztucznych sieci neuronowych.

W latach 1943-1969 miał miejsce intensywny rozwój sieci neuronowych – powstały takie modele, jak perceptron prosty Adaline i jego reguła uczenia LMS. W 1969 roku Minsky i Papert opublikowali swoją książkę, w której pokazali ograniczenia takich modeli. Wykazali, że takie sieci są w stanie nauczyć się rozwiązywać stosunkowo proste zadania. Wstrzymało to rozwój sieci neuronowych na długie lata. Dopiero po opublikowaniu przez Werbosa metody uczenia nazywanej wsteczną propagacją błędu, dzięki której możliwe było budowanie sieci wielowarstwowych, nastąpił lawinowy rozwój zastosowań i prac nad nowymi paradygmatami sieci. Powstały sieci ART (Adaptive Resonance Theory), które potrafiły się uczyć, nie zapominając zarazem starych wzorców, sieci samoorganizujące się oraz Cognitron Fukushima. Ten postęp umożliwił ponowny wzrost zainteresowania sieciami neuronowymi. Istnieje wiele konferencji, książek, programów akademickich i zastosowań komercyjnych w tej dziedzinie.

Wróćmy na chwilę do biologicznych korzeni sieci neuronowych i przytoczmy kilka statystyk dotyczących działania ludzkiego mózgu. Każdy biologiczny neuron oblicza swoje całkowite pobudzenie w ciągu 5 ms. Jest to równoważne kilkuset operacjom dodawania. W mózgu istnieje bardzo wiele połączeń. Połączenia te są wolniejsze i cieńsze niż te wykonywane w układzie scalonym. Zajmują jednak milion razy większą objętość. Pewne wyobrażenie o możliwościach ludzkiego mózgu daje następujące porównanie: dla zadań arytmetycznych ludzki mózg to 1/10 kalkulatora, w zadaniach typu rozpoznawanie obrazów – 1000 superkomputerów, porównując

pamięć dla pewnych wybranych faktów – możliwości mózgu w tym względzie są znacznie gorsze niż komputerów, rozważając pamięć adresowaną treścią<sup>1</sup> – wyniki komórek mózgowych są znacznie lepsze niż komputery. Alan Turing wyraził się kiedyś, że mózg najbardziej przypomina miskę owsianki – trudno zrozumieć, jak obiekt o tak mało zachęcającym wyglądzie może mieć tak wspaniałe możliwości.

Można utworzyć długą listę dziedzin zastosowań sieci neuronowych. Ograniczając się jednak do takich, których zastosowanie jest najbardziej powszechne, można wymienić systemy telekomunikacyjne, przetwarzanie sygnałów, teorię sterowania, rozpoznawanie wzorców i mowy, medycynę i przewidywanie. Tak liczną klasę zastosowań zawdzięczają sieci neuronowe swoim zaletom. W pierwszej kolejności należy tu wymienić zdolność sieci neuronowych do uczenia się. Do rozwiązania zadania nie potrzebujemy znać sposobu rozwiązania problemu (algorytmu). Powinniśmy jednak mieć przygotowany odpowiedni zbiór reprezentatywnych danych, na podstawie których sieć potrafi nauczyć się rozwiązywać problem. Ponadto, sieci neuronowe charakteryzują się równoległością i rozproszoną pamięcią. Dzięki temu, że pamięć jest rozproszona, niewielkie jej uszkodzenia nie powodują drastycznego spadku jakości działania. W pracy sieci można wyróżnić dwa tryby. W trakcie pierwszego, nazywanego czasem trenowaniem, w kolejnych iteracjach po podaniu wzorca uczącego, zmieniane są parametry sieci nazywane wagami. Po wyuczeniu wagi są zamrażane (nie zmieniają się) a sieć gotowa jest do pracy. Ten tryb nazywa się przetwarzaniem. Oddzielenie tych dwóch trybów pracy można uznać za kolejną zaletę sieci. Cały mozolny proces uczenia sieci odbywa się poza użytkownikiem końcowym, a sieć przez większość czasu jest wykorzystywana w trybie przetwarzania. Po wyuczeniu sieci potrafią przetwarzać wzorce, na których nie były wcześniej uczone. Ta zdolność nazywa się uogólnianiem. Inną ich zaletą jest zdolność do uczenia się nawet przy zaszumionych danych.

Na podstawie wymienionych tu zalet możemy sformułować pewne zalecenie odnośnie użycia sieci neuronowych do rozwiązywania problemów. Powinny one znajdować zastosowanie w rozwiązywaniu takich problemów, gdzie istnieje odwzorowanie zmiennych wejściowych w wyjściowe i nie istnieje dla tego problemu rozwiązanie algorytmiczne lub algorytm jest bardzo złożony. Ponadto, do prawidłowego działania sieci neuronowych potrzebny jest odpowiednio duży zbiór danych uczących.

Niniejsza książka stanowi przegląd wybranych zastosowań sieci neuronowych w różnych dziedzinach. Mamy nadzieję, że będzie stanowiła źródło inspiracji dla

---

<sup>1</sup> Dlaczego szybko odnajdujemy w pamięci (mózgu) potrzebną informację? Jest to wynikiem organizacji naszej pamięci. Np., jeśli poszukujemy odpowiedzi na pytanie: „Podaj zwierzęta futerkowe”, to nie zaczniemy przeszukiwać wszystkich informacji, jakie posiadamy (np. historii Grecji), ale zaczniemy od tego, co nazywamy zwierzętami. Taki sposób pamiętania i wyszukiwania informacji nazywamy ‘pamięcią adresowaną treścią’

studentów, doktorantów i naukowców do zastosowania tej techniki w rozwiązywaniu problemów w dziedzinie, którą się zajmują. Została ona podzielona na dwie części.

Pierwsza część to podstawy teoretyczne, które pozwalają zrozumieć opis i sposób wykorzystania sieci neuronowych użytych w poszczególnych przykładach opisanych w drugiej części książki. Wybór materiału umieszczonego w pierwszej części książki, zawierającej podstawy teoretyczne i opis wybranych sieci neuronowych, podyktowany został ich wykorzystaniem w przykładach zastosowań zamieszczonych w drugiej części. Ma on na celu zaznajomienie czytelnika z zasadami uczenia i działania kilku najbardziej popularnych rodzajów sieci neuronowych, sposobem ich projektowania oraz zaleceniami odnośnie ich doboru do konkretnego zastosowania, aby ułatwić czytelnikowi ich stosowanie do własnych problemów.

Druga część powstała głównie na bazie opracowań studentów IV roku Wydziału Informatyki i Zarządzania Politechniki Wrocławskiej przygotowanych w ramach seminarium z Sieci neuronowych, prowadzonych przez dr inż. Urszulę Markowską-Kaczmar w roku akademickim 2003/2004. Mamy nadzieję, że różnorodność zastosowań spowoduje, iż wiele osób znajdzie tu coś interesującego, jednocześnie inspirującego do własnych prób.

Dziękujemy studentom Inżynierii Oprogramowania, którzy pomagali w powstaniu tej książki:

- Czczot Katarzyna
- Hofman Paweł
- Hudziak Paweł
- Karlik Tomasz
- Kostecki Adam
- Kubacki Paweł
- Łużyna Michał
- Mac Marcin
- Macioszek Agnieszka
- Majta Łukasz
- Matuszek Łukasz
- Mikosz Jacek
- Niezborąła Przemysław
- Wojciechowska Maria
- Zawadzki Jakub

Urszula Markowska-Kaczmar  
Halina Kwaśnicka