

Piotr Boniecki, Jerzy Weres, Wojciech Mueller
Instytut Inżynierii Rolniczej
Akademia Rolnicza w Poznaniu

**INTERAKTYWNY SYSTEM EDUKACYJNY
WSPOMAGAJĄCY PROCES PROJEKTOWANIA
ORAZ EKSPLOATACJI SZTUCZNYCH SIECI NEURONOWYCH
W ROLNICTWIE**

Streszczenie

W wielu pracowniach naukowych realizowanych jest obecnie wiele nowatorskich projektów naukowo-badawczych mających na celu ograniczenie negatywnych skutków występujących w trakcie opryskiwania oraz nawożenia. Dokonuje się to m.in. poprzez tworzenie systemów wczesnego wykrywania chorób roślin, pojawiania się chwastów i innych zagrożeń plonów. Wiele z tych projektów działa już w praktyce i ma duże szanse na praktyczne wykorzystanie w niedalekiej przyszłości na farmach eksperymentalnych, a docelowo w większych gospodarstwach rolnych. Wszystkie te projekty są budowane przy założeniu czynienia jak najmniejszej szkody środowisku naturalnemu (np. inteligentne opryski, nawożenie) dzięki dokładniejszemu oraz pełniejszemu rozpoznaniu oraz analizie wzajemnie powiązanych danych empirycznych. Wiele prac wykorzystuje technikę neuronowego rozpoznawania obrazów, kojarzenia oraz klasyfikacji danych reprezentujących cechy charakterystyczne roślin takie jak kształt, barwa czy faktura [Boniecki i Weres 2003]. Celem pracy było wytworzenie, zgodnie ze standardami inżynierii oprogramowania, interaktywnej aplikacji komputerowej, wspomagającej proces edukacyjny w zakresie konstrukcji oraz eksploatacji wybranych topologii sztucznych sieci neuronowych. Zadaniem aplikacji jest przybliżenie wybranych zagadnień z zakresu generowania i eksploatacji sieci typu perceptron oraz sieci radialnej. Wytworzony system informatyczny ma również praktycznie zaprezentować zasadę działania tych sieci, w szczególności jako narzędzi klasyfikacyjnych, na przykładzie zadania identyfikacji wybranych odmian kwiatów.

Słowa kluczowe: sztuczne sieci neuronowe, problem klasyfikacji

Wprowadzenie

Pojawienie się komputerów w latach czterdziestych XX wieku doprowadziło do dynamicznego rozwoju współczesnych teorii cyfrowego przetwarzania danych, w tym również dotyczących uczenia i przetwarzania neutralnego [Ossowski 2000]. Od tamtego czasu komputer jako maszyna cyfrowa był narzędziem do modelowania działania zarówno pojedynczego neuronu jak również grupy neuronów, zwanych dalej sztucznymi sieciami neuronowymi. W początkowej fazie działania badaczy skupione były głównie w dziedzinie neurofizjologii. Chciano opisać w sposób matematyczny mechanizmy działania ludzkiego mózgu w całości jak również pojedynczych komórek nerwowych. Termin „sztuczne sieci neuronowe” pojawił się w 1943 roku po ukazaniu się pracy *Warrena McCulloch'a i Waltera Pitts'a*. W niej to po raz pierwszy opublikowano matematyczny model neuronu i wskazano na jego powiązanie z procesem przetwarzania danych. Sześć lat później *Donald Hebb* odkrył, że informacje mogą być przechowywane między połączeniami poszczególnych neuronów i zaproponował metodę uczenia neuronu, poprzez zmianę wartości wag (połączeń) między neuronami. Zaowocowało to wytworzeniem w 1957 roku przez *Franka Rossenblatt'a* sztucznej sieci neuronowej w postaci sprzętowej, tzw. *perceptronu*. Sieć ta, częściowo elektromechaniczna, częściowo elektryczna, wykorzystana była do rozpoznawania znaków. Pomimo wielu wad jakie posiadał prototyp, po opublikowaniu wyników badań, nastąpił dynamiczny rozwój tego typu sieci. Na podstawie modelu *Rossenblatt'a* w 1960 roku *Bernad Widrow* zaproponował sieć typu *Adaline* składającą się z elektronicznych elementów, które poddawały się procesowi uczenia. Łącząc wiele takich elementów zbudowano sieć typu *Madaline*. W istocie był to pierwszy neurokomputer dedykowany dla potrzeb adaptacyjnego przetwarzania sygnałów, oferowany komercyjnie. W latach 70-tych nastąpiło pewne zahamowanie rozwoju sztucznych sieci, głównie na skutek publikacji traktującej o ograniczonym zakresie zastosowań sieci jednowarstwowych [Minsky, Papert 1969], jednak nie zaprzestano tworzenia nowych modeli sieci neuronowych. Dla przykładu wymienić można sieć *Avalanche* *Stephena Grossberga* służącą do rozpoznawanie mowy czy *Brain State in the Box* *Jamesa Andersona* stanowiącą odpowiednik pamięci asocjacyjnej z dwustronnym dostępem (*BAM*), opartą na szybkich zależnościach typu „wejście-wyjście”. W 1982 roku fiński uczony *Tuevo Kohonen* opracował nową topologię sieci neuronowej służącą do klasyfikacji poprzez „wydobywanie cech”, nie wymagającą w procesie uczenia nadzoru nauczyciela. Niedługo potem *Stephen Grossberg* i *Gail A. Carpenter* wprowadzili szereg nowych architektur sieci neuronowych oraz rozwinęli teorię adaptacyjnych sieci rezonansowych (*Adaptive Resonance Theory - ART*). Za sprawą prac *Johna Hopfielda* a następnie *Richarda W. Hamminga* pojawiły się też pierwsze sieci ze sprzężeniem zwrotnym. Dużym krokiem w rozwoju dziedziny sztucznych sieci była publikacja *Jamesa L. McClell-*

landa i Davida E. Rumelharta z 1986 roku na temat równoległego przetwarzania rozproszonego. Spowodowało ona nagły rozwój sieci wielowarstwowych jednokierunkowych jak również sieci ze sprzężeniem zwrotnym [Hertz i in. 1993].

Duży wpływ na rozwój technik sztucznych sieci neuronowych miał także postęp techniczny jaki nastąpił m.in. w dziedzinie mikroelektroniki. Od połowy lat 80-tych zaczął się „wyścig” laboratoriów badawczych oraz firm produkujących układy elektroniczne w technologii wysokiej integracji. Osiągnięciami liczącymi się w kontekście omawianych zagadnień są: wzrastająca liczba elementów neuropodobnych umieszczonych w strukturze sieci neuronowej oraz wynikająca z tego, liczba połączeń oraz rosnąca szybkość działania. Wzrosła także mnogość zastosowań modeli neuronowych w zagadnieniach daleko wykraczających poza obszar nauk matematycznych. Można powiedzieć, że w chwili obecnej niemal w każdej dziedzinie nauki znalazły się jakieś problemy, które udało się rozwiązać albo chociaż lepiej poznać dzięki zastosowaniu sztucznych sieci neuronowych [Ossowski 2000].

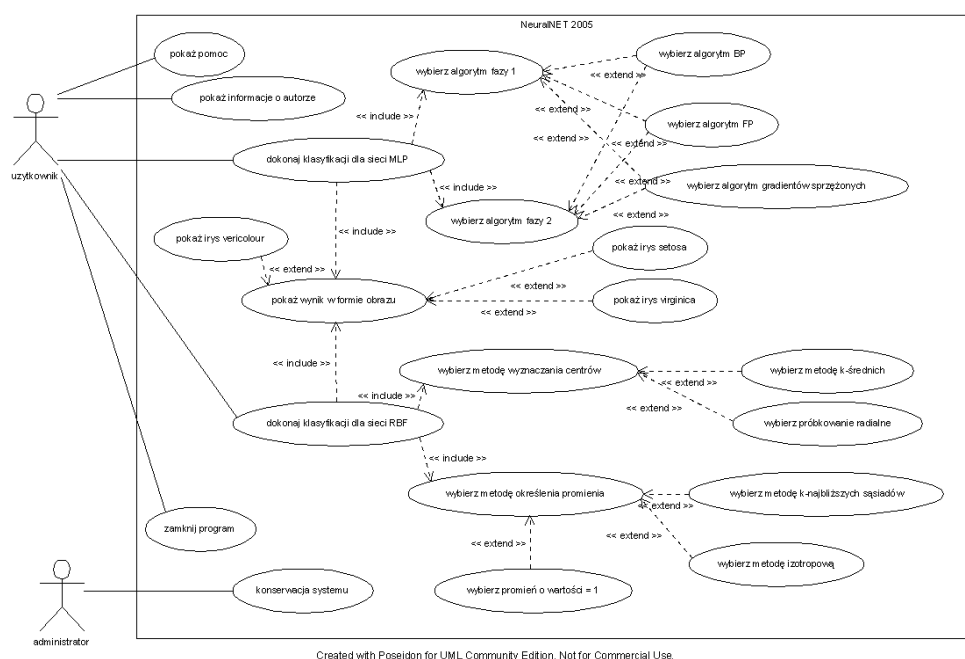
W ostatnich latach daje się zauważyć fakt coraz częstszego stosowania sieci neuronowych również w szeroko rozumianym rolnictwie [Boniecki 2004]. Dobre wyniki uzyskane podczas praktycznego wykorzystania sztucznych sieci neuronowych w procesach klasyfikacji, predykcji, identyfikacji oraz rozpoznawaniu obrazów posłużyły do skonstruowania systemów ekspertowych, wspierających procesy decyzyjne w wielu gałęziach rolnictwa. Skutkowało to m.in. pojawieniem się pierwszych urządzeń i maszyn rolniczych nie wymagających nadzoru obsługi.

Celem pracy było wytworzenie, zgodnie ze standardami inżynierii oprogramowania, interaktywnej aplikacji komputerowej, wspomagającej proces edukacyjny w zakresie konstrukcji oraz eksploatacji podstawowych topologii sztucznych sieci neuronowych. Miała ona przybliżyć wybrane zagadnienia z zakresu sieci typu perceptron i sieci radialnej oraz praktycznie zaprezentować zasadę działania tych sieci. Program ten z założenia winien być pomocny przy pogładowym wprowadzeniu potencjalnego użytkownika w podstawowe zagadnienia dotyczące sztucznych sieci neuronowych, między innymi poprzez prezentację najpopularniejszych algorytmów stosowanych na etapie uczenia sieci.

Technologie wykorzystane do wytworzenia aplikacji NeuralNET 2005

Wstępną fazą wytworzenia systemu informatycznego było określenie wymagań stawianych projektowanej aplikacji. Postawione zostały konkretne cele, określony został zakres oraz zaprezentowano ramowy opis programu. W fazie projektowania, korzystając z pomocy programu *Posejdon for UML*, wykonane zostały diagramy

mające na celu dokonanie dokładniejszego opisu implementacji systemu. Spośród wielu dostępnych narzędzi programistycznych wybrany został *Borland C++ Builder v.6*. Kod symulujący działanie sieci neuronowych został wygenerowany z wykorzystaniem programu *Statistica Neural Networks v.6.0*. Przy pomocy generatora kodu, otrzymany kod w języku *C* został poddany drobnym zmianom adaptacyjnym, w celu lepszego dostosowania go do środowiska programistycznego *Borland C++ Builder v.6*. Wytworzony następnie system informatyczny *NeuralNET 2005* opiera się na tym kodzie i stanowi podstawę wytworzonej aplikacji.



Rys. 1. Diagram przypadków użycia
Fig. 1. The use of case diagram

Aplikacja została przetestowana zarówno dla wygenerowanego kodu jak i po utworzeniu poszczególnych jego modułów.

Opis systemu informatycznego NeuralNET 2005

Kody symulujące działanie sztucznych sieci neuronowych zostały wygenerowane za pomocą modułu *Statistica Neural Networks v.6.0*. oraz z wykorzystaniem generatora kodu *C*, zaimplementowanego w pakiecie *Statistica*. Wszystkie sieci zostały nauczone w oparciu o zbiór uczący *Irysy*. Jest to zbiór danych trzech gatunków

kwiatów irysów: *setosa*, *virginic* oraz *versicolour* zebranych i opisanych przez Fischera w 1936 roku, który zajmował się problemem grupowania (klasyfikacji) wybranych odmian irysów. Dysponując materiałem badawczym złożonym ze 150 kwiatów należących do trzech kategorii, Fisher dążył do opracowania metody, która pozwoliłaby na separację każdej z trzech kategorii od dwóch pozostałych. Każdy z kwiatów był scharakteryzowany przez 4 cechy: długość działki kielicha, szerokość działki kielicha, długość płatków kwiatu oraz szerokość płatków kwiatu.

Użytkownik w programie *NeuralNET 2005* ma do wyboru sztuczne sieci neuronowe typu:

1. perceptron uczonych za pomocą kombinacji następujących algorytmów:
 - algorytm wstecznej propagacji błędów,
 - algorytm szybkiej propagacji błędów,
 - algorytm gradientów sprzężonych.
2. radialnego, uczonych przy pomocy kombinacji następujących metod:
 - dla fazy wyznaczania centrów:
 - losowy dobór centrów,
 - k-średnich.
 - dla fazy określania odchyleń:
 - k-najbliższych sąsiadów,
 - ręczny dobór przez użytkownika, wartość promienia równa 1,
 - izotropowo o skalowaniu równym 1.

Sieci perceptronowe składały się z warstwy wejściowej o 4 wejściach, ukrytej o 10 jednostkach i wyjściowej o 3 neuronach. Proces uczenia odbywał się w 2 etapach: pierwsza faza uczenia obejmowała 100 epok, natomiast druga reprezentowała 500 epok. Do szacowania jakości wykonanej klasyfikacji użyto miary entropowej, zaimplementowanej w symulatorze *Statistica Neural Networks v.6.0*. Entropia wżajemna uznawana jest jako adekwatna miara jakości działania sieci neuronowej. Jest ona szczególnie przydatna w sieciach rozwiązujących problemy klasyfikacyjne. Przy algorytmach wstecznej i szybkiej propagacji błędów, współczynnik szybkości uczenia ustawiony został na wartość 0,1.

Sieci typu radialnego w warstwie ukrytej posiadały 8 neuronów. Podobnie jak w przypadku perceptronów, do estymacji jakości klasyfikacji użyto miary entropowej. Wstępnym etapem korzystania z aplikacji *NeuralNET 2005* jest instalacja systemu informatycznego. Program domyślnie instaluje się do katalogu C:\Program Files\NeuralNET2005 (istnieje możliwość zmiany katalogu docelowego podczas instalacji). Po uruchomieniu aplikacji otwiera się formularz główny z informacjami o programie, w którym dostępne są opcje:

- MLP,
- RBF,
- POMOC,
- AUTOR,
- WYJŚCIE Z PROGRAMU (ikona z symbolem zasilania).

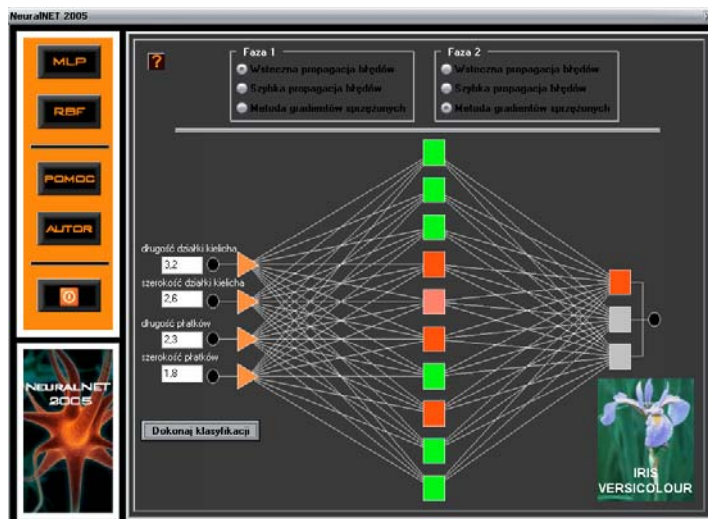
Powrót do tego okna możliwy jest także podczas pracy z programem po kliknięciu przycisku „AUTOR” w formularzu głównym.

Po kliknięciu na przycisk MLP uruchamiany jest formularz dotyczący działania na sztucznych sieciach neuronowych typu perceptron. W formularzu tym znajdują się cztery okienka do wpisywania danych (zabezpieczone przed wpisywaniem liter, przyjmowane są tylko wartości liczbowe) potrzebnych do dokonania klasyfikacji kwiatu irysa. Są to:

- długość działki kielicha kwiatu,
- szerokość działki kielicha kwiatu,
- długość płatków kwiatu,
- szerokość płatków kwiatu.

Aby dokonać klasyfikacji należy przed lub po wprowadzeniu danych wybrać metody za pomocą których owa klasyfikacja ma zostać dokonana. W obu fazach dostępne są algorytmy:

- wstecznej propagacji błędów,
- szybkiej propagacji błędów,
- gradientów sprzężonych.



Rys. 2. Interfejs sieci perceptronowej

Fig. 2. Interface of MLP neural networks

Po wyborze algorytmów oraz wprowadzeniu wszystkich poprawnych danych możliwe jest dokonanie klasyfikacji. Otrzymujemy wynik w postaci obrazu kwiatu irysa.

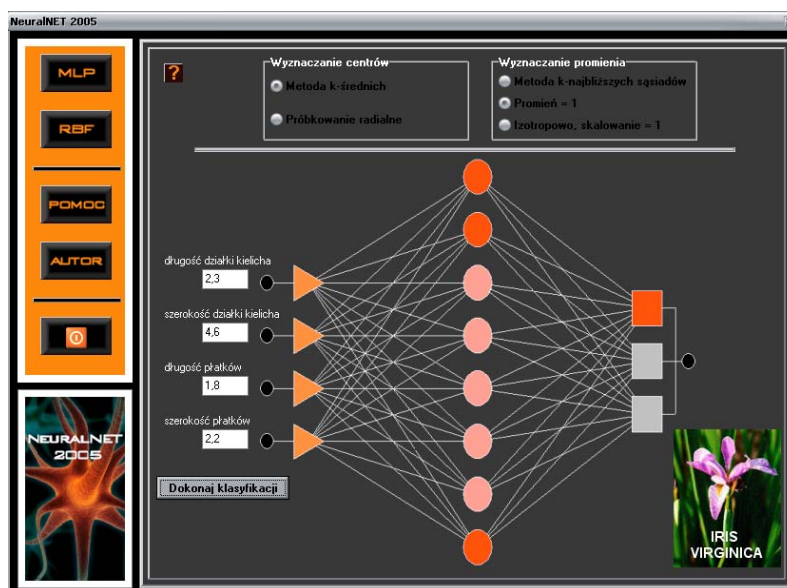
Formularz *RBF* jest skonstruowany identycznie jak formularz sieci typu perceptron. Jedyną różnicą jest wybór innych algorytmów przy metodzie klasyfikacji.

W fazie wyznaczania centrów dostępne są:

- metoda k-średnich,
- próbkowanie radialne.

W fazie wyznaczania promienia (odchyleń):

- metoda k-najbliższych sąsiadów,
- ręczne przypisanie wartości promienia równej 1,
- izotropowe wyznaczanie promienia, skalowanie równe 1.



Rys. 3. Formularz sieci radialnej

Fig. 3. Interface of RGB neural networks

Na każdym etapie pracy z aplikacją *NeuralNET 2005* możliwy jest dostęp do pliku pomocy za pomocą przycisku „POMOC” usytuowany w głównym formularzu. Po wybraniu tej opcji otwiera się okno pomocy, w którym dostępne są następujące pozycje:

- instrukcja obsługi programu,
- wiadomości dotyczące sieci radialnych i perceptronowych,
- opis algorytmów używanych w programie *NeuralNET 2005*.

W każdej chwili możliwe jest odwołanie się do opcji pomocy obsługi danego formularza poprzez kliknięcie znaku zapytania w lewym górnym rogu formularza.

Wymagania funkcjonalne

Wymagania te opisują czynności i operacja wykonywane przez system. Dla każdego wymagania funkcjonalnego został utworzony formularz opisu wymagania.

Tabela 1. Wymagania funkcjonalne aplikacji NeuralNET 2005

Table 1. Functional requirements of application NeuralNET 2005

Nazwa	Wprowadzenie danych
Opis	Użytkownik musi wprowadzić cztery parametry kwiatu irysa w celu jego klasyfikacji.
Ważność	Bardzo duża
Warunek wstępny	Wywołanie formularza sieci <i>MLP</i> lub <i>RBF</i>
Warunek końcowy	Dokonanie klasyfikacji kwiatu irysa
Powód	Dokonanie klasyfikacji kwiatu irysa bez wprowadzenia wszystkich danych jest niemożliwe.

Nazwa	Wybór algorytmów uczących dla sieci <i>MLP</i>
Opis	Użytkownik musi wybrać dla każdej z 2 faz uczenia, algorytm uczący za pomocą którego wybierze rodzaj sieci dokonującej klasyfikacji.
Ważność	Bardzo duża
Warunek wstępny	Wywołanie formularza sieci <i>MLP</i>
Warunek końcowy	Dokonanie klasyfikacji kwiatu irysa
Powód	Dokonanie klasyfikacji kwiatu irysa bez wyboru algorytmów uczących dla sieci perceptronowej jest niemożliwe.

Nazwa	Wybór metody wyznaczania centrów oraz promienia dla sieci <i>RBF</i>
Opis	Użytkownik musi wybrać jedną z dwóch metod wyznaczania centrów dla sieci radialnej oraz jedną z trzech metod wyznaczania promienia.
Ważność	Bardzo duża
Warunek wstępny	Wywołanie formularza sieci <i>RBF</i>
Warunek końcowy	Dokonanie klasyfikacji kwiatu irysa.
Powód	Dokonanie klasyfikacji kwiatu irysa bez wyboru metod uczących dla sieci radialnej jest niemożliwe.

Nazwa	Klasyfikacja kwiatu irysa
Opis	Na podstawie wprowadzonych danych oraz wybranych algorytmów lub metod uczących sieć dokonuje klasyfikacji wyświetlając wynik w formie obrazu jednego z trzech gatunków kwiatu irysa.
Ważność	Bardzo duża
Warunek wstępny	Wprowadzenie danych oraz wybór algorytmów lub metod uczących
Warunek końcowy	Wyświetlenie wyniku klasyfikacji w formie obrazu
Powód	Pozwala to na zaklasyfikowanie kwiatu irysa do jednego z trzech gatunków: <i>setosa</i> , <i>virginica</i> lub <i>versicolour</i> w oparciu o wprowadzone dane.

Wymagania niefunkcjonalne

System posiada prosty i intuicyjny interfejs umożliwiający użytkownikowi szybkie zapoznanie się z możliwościami aplikacji. Pozwala także na dokonywanie klasyfikacji przy użyciu sieci nauczonych za pomocą różnych algorytmów lub metod. Aby system działał bezproblemowo, potrzebne są:

- komputer klasy PC z systemem operacyjnym Windows®,
- co najmniej 64MB pamięci operacyjnej,
- rozdzielczość ekranu: co najmniej 800x600 pikseli.

Uwagi końcowe

Na podstawie przeprowadzonych rozważań odnośnie wykorzystania sieci neuronowych typu *MLP* i *RBF* jako instrumentów klasyfikacyjnych można sformułować następujące wnioski:

1. Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych w rolnictwie jest coraz większe. Powstaje coraz więcej aplikacji działających w oparciu o sztuczne sieci neuronowe (systemy klasyfikacyjne, systemy predykcyjne, systemy wspomaganie podejmowania decyzji itd.). Wiele z nich (np. *NutMan*, *EXSEL*) jest z powodzeniem stosowane od wielu lat i daje dobre wyniki.
2. Wytworzona aplikacja *NeuralNET 2005* spełnia oczekiwania stawiane narzędziom edukacyjnym. Jej intuicyjny i prosty interfejs oraz zawarty plik pomocy są niewątpliwą pomocą dla użytkowników chcących praktycznie zapoznać się działaniem sztucznych sieci neuronowych typu perceptron wielowarstwowy *MLP* oraz sieci typu radialnego *RBF*.
3. Większość projektów opartych na zastosowaniu sztucznych sieci neuronowych dąży do zautomatyzowania procesów zachodzących w rolnictwie, zmniejszenia roli (zaangażowania) człowieka w uporczywe, żmudne procesy agrotechnologiczne (np. nadzór nad stanem plonów).

4. Neuronowe systemy wspomagające podejmowanie decyzji dla potrzeb szeroko rozumianego rolnictwa są coraz bardziej rozbudowane i efektywne. Nie skupiają się one wyłącznie na jednej gałęzi działalności rolniczej. Stają się coraz ważniejszym elementem w gospodarstwach wysoko rozwiniętych o dużym stopniu automatyzacji produkcji.

Bibliografia

Rutkowska D., Piliński M., Rutkowski L. 1997. Sieci neuronowe, algorytmy genetyczne i systemy rozmyte: Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa-Łódź.

Osowski S. 2000. Sieci neuronowe do przetwarzania informacji: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.

Hertz J., Krogh A., Palmer R. G. 1993. Wstęp do teorii obliczeń neuronowych: WNT, Warszawa.

Boniecki P. 2004. Sieci neuronowe typu MLP oraz RGB jako komplementarne modele aproksymacyjne w procesie predykcji plonu pszenżyta: *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, POZNAŃ, (1'2004), Vol. 49(1), str. 28-33.

Boniecki P., Weres J. 2003. Wykorzystanie technik neuronowych do predykcji wielkości zbiorów wybranych płodów rolnych: *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 4'2003, Vol. 48, str. 56-59

Minsky, M.L. Papert, S.A. 1969. *Perceptrons*. Cambridge, MA: MIT Press.

INTERACTIVE EDUCATION SYSTEM SUPPORTING THE USE OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN AGRICULTURE

Summary

Many research institutions conduct novel R&D projects designed to limit the adverse impact of crop spraying and fertilization. Some such projects produce systems for early detection of crop diseases, weed growth and other crop hazards. Many apply their findings in practice or stand a good chance of being employed in the near future, first on experimental and then on larger farms. All of such projects are developed with a view to reducing adverse environmental impact (by e.g. smart crop spraying and fertilization) by more accurately and completely recognizing and analyzing interrelated empirical data. Many such works rely on the neural technology of image recognition, as well as the association and classification of data representing characteristic features of plants (shapes, colors, textures, etc.).

The purpose of this project was to develop an interactive computer application pursuant to software engineering standards that would support education in the field of constructing and operating selected artificial neural network topologies. The project is designed to investigate selected problems having to do with the generation and operation of perceptron and radial networks and help present the networks' operating principles as classification instruments in a case of identifying flower varieties for practical purposes.

Key words: artificial neural network, identification problem