

Radomir MAJCHROWSKI

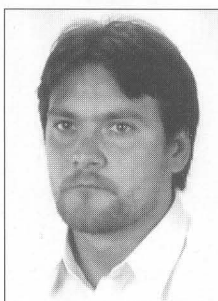
POLITECHNIKA POZNAŃSKA, INSTYTUT TECHNOLOGII MECHANICZNEJ, ZAKŁAD METROLOGII I SYSTEMÓW POMIAROWYCH

Sztuczna inteligencja w metrologii - systemy ekspertowe do doboru narzędzi pomiarowych

Mgr inż. Radomir MAJCHROWSKI

W 2002 roku ukończył studia na Wydziale Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej na specjalizacji Mechatronika. Od 2002 roku jest doktorem w Zakładzie Metrologii i Systemów Pomiarowych Politechniki Poznańskiej. Współpracuje z The University of North Carolina at Charlotte USA, gdzie odbył trzymiesięczny staż pod kierunkiem prof. Jay Raja.

radomir.majchrowski@put.poznan.pl



Streszczenie

Od samego początku powstania pierwszych komputerów człowiek powierzał im coraz bardziej skomplikowane i wyszukane problemy, z którymi odpowiednio zaprogramowana maszyna radzi sobie lepiej niż człowiek [5]. Z czasem pojawiły się hipotezy stworzenia sztucznych systemów, które potrafiłyby rozumować i pojmować otaczający nas świat w sposób do tej pory dostępny jedynie *Homo sapiens*. Jeden z prekursorów „sztucznej inteligencji” Turing [13] zaproponował nawet test sprawdzający czy stworzoną przez człowieka maszynę można uznać za inteligentną: „Maszyna jest nazywana inteligentną, jeśli zewnętrzny obserwator nie jest w stanie odróżnić jej odpowiedzi od odpowiedzi człowieka mogącego zastępować maszynę. Jedną z koncepcji takiego, ale jednocześnie inteligentnego systemu są tzw. „Systemy ekspertowe””.

Abstract

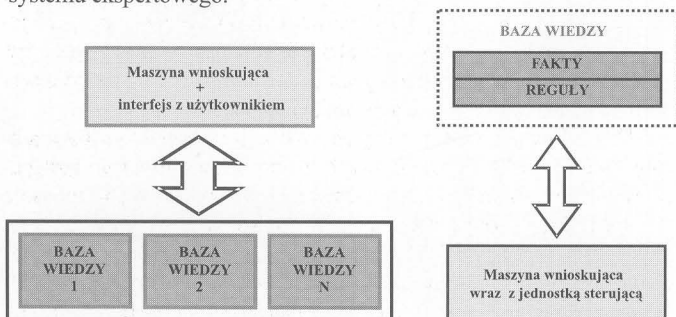
From the moment when the very first computer was created a man has given it tasks with which a properly programmed machine can cope much better than he himself [5]. These tasks gradually became more and more complicated. This is how first hypothesis emerged to create artificial systems, capable of analyze and understand the surrounding world in such a way as so far only a *Homo sapiens* could do it. One of the first inventor of so called „artificial intelligence” Turing [13] proposed even a test verifying whether a machine created by a man can be considered as an intelligent one: „Machine is intelligent if an externally observing person is not able to distinguish a difference between its answer and the answer of a man who could replace the machine. One of the concepts of such an intelligent system is „Expert systems””.

Słowa kluczowe: metrologia, systemy ekspertowe, sztuczna inteligencja, narzędzia pomiarowe

Keywords: metrology, expert systems, artificial intelligence, measuring tools

1. Wprowadzenie

Ogólnie rzecz ujmując system ekspertowy [1, 2, 7, 9] jest to program komputerowy, który na podstawie szczegółowej wiedzy może wyciągać wnioski i podejmować decyzje, działając w sposób zbliżony do procesu rozumowania człowieka. Na rys. 1 i 2 przedstawiono schemat struktury systemu ekspertowego.



Rys. 1. Ogólna struktura systemu ekspertowego
Fig. 1. A general structure of an expert system

Rys. 2. Podstawowe bloki systemu ekspertowego
Fig. 2. Basic elements of an expert system

2. Charakterystyka programu RADSPERT

Stworzony przez autora program „RADSPERT” [7] jest koncepcją systemu ekspertowego dla metrologii długości i kąta. Program jest bazą narzędzi pomiarowych umożliwiającą dobór określonego przyrządu pomiarowego w zależności od postawionego problemu pomiarowego. Program w sposób „inteligentny” pomaga dobrać narzędzie pomiarowe z istniejącej bazy narzędzi jak i umożliwia uaktualniania tejże bazy.

2.1. Opracowanie bazy narzędzi pomiarowych

Baza narzędzi - zapisywana do pliku, możliwość poszerzania o nowe przyrządy pomiarowe.

Podział narzędzi na klasy:

- suwmiarka,
- mikrometr,
- średnicówka,
- wysokościomierz,
- kątownik,
- poziomica,
- itd.

Określenie struktury pojedynczego narzędzia:

```
Narzędzie
{ identyfikator
  nazwa
  numer katalogowy
  rodzaj pomiaru
  niepewność pomiaru
  zakres pomiarowy
  opis przyrządu
  mapa bitowa z rysunkiem
  dane specyficzne dla określonej klasy (np. max nacisk pomiarowy dla klasy mikrometr)
} END
```

2.2. Opracowanie bazy wiedzy

Baza wiedzy - posiada podstawowe reguły doboru narzędzi pomiarowych z bazy narzędzi w zależności od przesłanek jakie może zadać systemowi ekspertowemu użytkownik. Możliwość rozszerzania bazy o nowe reguły i fakty.

Przykład:

Fakty:

F: (rodzaj pomiaru.dokładność.zakres.inne.....) identyfikator narzędzia

F1: (długość.0,01.200) N4

F2: (długość.0,002,50,cyfrowy wyświetlacz) N23

F12: (średnica.0,01,nieistotne.czuJNIk zegarowy) N45, N12, N89

Reguły:

R: **IF** przesłanki **AND** przesłanki **THEN** reakcja

Początkowe:

R1: **IF** długość **THEN** przeszukaj klasę narzędzi: suwmiarka, mikrometr

R2: **IF** kąt **THEN** przeszukaj klasę narzędzi: kątomierz

Wygenerowane:

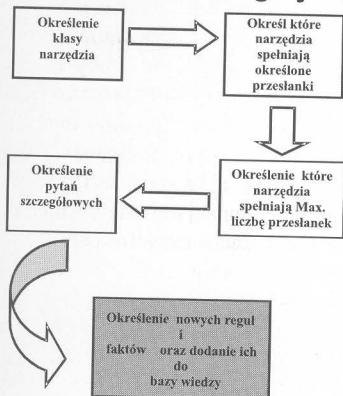
R134: **IF** długość **AND** zakres 0 - 30 **THEN** sprawdź narzędzia: N12, N23, N26, N35, N45, N78

R135: **IF** długość **AND** zakres 0 - 30 **AND** dokładność 0,001 **THEN** sprawdź narzędzia: N12, N78

R136: **IF** długość **AND** zakres 0 - 30 **AND** dokładność 0,001 **AND** cyfrowy wyświetlacz **THEN** sprawdź narzędzia: N8, N45, N78

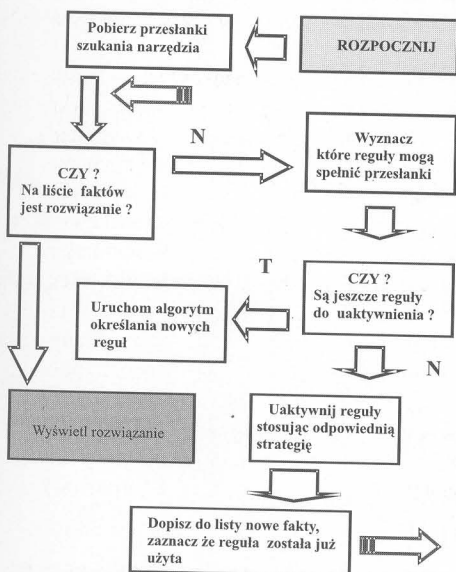
R136: **IF** długość **AND** zakres 0 - 30 **AND** dokładność 0,001 **AND** cyfrowy wyświetlacz **AND** nazwa firmy **THEN** sprawdź narzędzia: N111, N159

2.3. Opracowanie algorytmu określania nowych reguł



Rys. 3. Algorytm określania nowych reguł
Fig. 3. Algorithm to establish new rules

2.4. Opracowanie algorytmu wnioskującego



Na następnym diagramie przedstawiono opracowany algorytm wnioskujący.

Rys. 4. Algorytm wnioskujący
Fig. 4. Conclusion algorithm

2.5. Podsumowanie

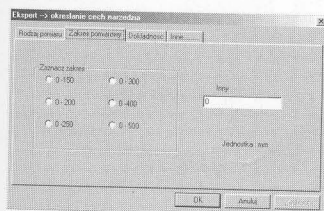
Program RADSPERT ma bardzo intuicyjny charakter, obsługa programu polega na podaniu przesłanek według których będzie przeszukiwana baza narzędzi. Należy więc określić:

Rodzaj pomiaru - określamy tu interesujący nas pomiar, np.:

- długość,
- wysokość,
- głębokość,
- średnica,
- kąt,
- gwint,
- koło zębate,
- poziom.

Zakres pomiarowy (rys. 5) - określamy tu zakres pomiarowy interesującego nas przyrządu.

Rys. 5. Określenie zakresu przyrządu pomiarowego
Fig. 5. Measuring range selection



Niepewność pomiaru - określamy tu niepewność pomiarową interesującego nas narzędzia.

Według tych danych program spróbuje odszukać przyrząd pomiarowy najlepiej spełniający określone przez użytkownika wymagania.

Wykorzysta on stworzoną wcześniej bazę wiedzy przeszukując znane już sobie fakty w celu odnalezienia reguł według których ma znaleźć przyrząd pomiarowy. Wyniki wyszukiwania zostaną wyświetlone w oknie głównym programu lub wyświetli się komunikat informujący nas, że przyrządu pomiarowego spełniającego zadane przez użytkownika przesłanki nie można odnaleźć w bazie dostępnych narzędzi pomiarowych.

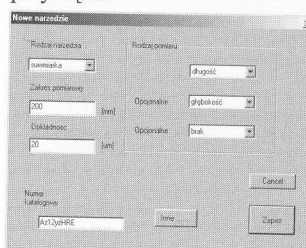
Program umożliwia także dodawanie nowych przyrządów pomiarowych do bazy narzędzi oraz określanie specyficznych cech danego narzędzia. Dokonujemy tego za pomocą menu „nowe narzędzie” uruchamiając okno dialogowe w którym możemy określić następujące cechy przyrządu pomiarowego (rys. 6):

Rodzaj narzędzia - wybierając tą opcję otworzymy pole wyboru gdzie określimy jaki przyrząd chcemy zapisać do bazy narzędzi.

Zakres pomiarowy - wpisujemy odpowiednią wartość dla naszego nowego narzędzia.

Dokładność pomiarową - określamy tu wartość niepewność pomiaru nowego przyrządu.

Rodzaj pomiaru - określa jakie pomiary są możliwe za pomocą tego przyrządu.



Numer katalogowy

Inne... - otwiera menu gdzie można określić rodzaj odczytu (klasyczny lub cyfrowy).

Rys. 6. Określanie cech nowego przyrządu pomiarowego
Fig. 6. Determining features of new tool

Niestety w obecnej wersji programu konieczne jest jeszcze poprawienie całego algorytmu przeszukiwania bazy narzędzi. Następnym krokiem do ulepszenia „RADSPERTA” jest wbudowanie bardziej elastycznej bazy wiedzy. Należy również opracować moduł umożliwiający tworzenie nowych specyficznych faktów i reguł w bazie wiedzy, które mogą być dodane przez użytkownika programu. Umożliwiłoby to tworzenie baz wiedzy specyficznych dla danego użytkownika czy określonego rodzaju problemu. Należałoby również dodać możliwość tworzenia różnych baz narzędzi specyficznych np. dla danego producenta.

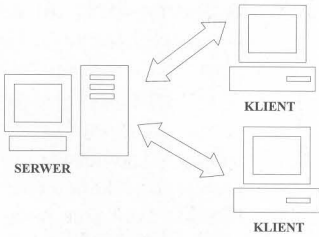
3. Aplikacja EKSPERT

Inną koncepcją bazy narzędzi pomiarowych jest - aplikacja „Ekspert”. Nacisk jaki położono przy tworzeniu tej aplikacji to możliwość zastosowania jej w zakładach przemysłowych np. do tworzenia baz narzędzi pomiarowych czy w szkołach jako pomoc dydaktyczna. Istotnym czynnikiem podczas projektowania aplikacji był niski koszt wdrożenia i jej eksploatacji, dlatego do jej stworzenia wykorzystano system operacyjny Linux oraz wiele narzędzi dostępnych pod nim jak: PostgreSQL, Apache, Access, PHP.

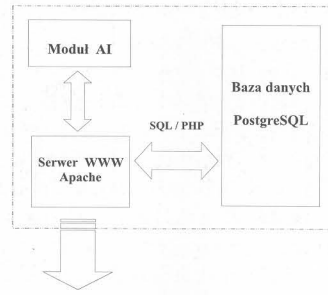
3.1. Założenia

Założenia przed stworzeniem aplikacji EKSPERT [8] były następujące: program w sposób „inteligentny” ma pomóc dobrać narzędzie z istniejącej bazy narzędzi, powinien on mieć możliwość uaktualniania tejże bazy, aplikacja powinna być dostępna poprzez sieć komputerową, niskie koszty wdrożenia i eksploatacji aplikacji, prosta obsługa.

Aby aplikacja spełniała powyższe wymagania wykorzystano strukturę sieci serwer-klient. Umożliwia to skoncentrowanie całego oprogramowania na jednym komputerze-serwerze. Natomiast do obsługi aplikacji użyto przeglądarki internetowej. To rozwiązanie wydaje się najbardziej słuszne, ponieważ (prawie) każdy komputer osobisty ją posiada. Ogranicza to koszty całej aplikacji i uniezależnia system od platformy systemowej. Dzięki temu cała aplikacja przyjmuje formę witryny internetowej i jest bardzo przyjazna dla użytkownika. Cała skomplikowana procedura wyboru narzędzia „ukryta” jest po stronie serwera. Na rys. 7 i rys. 8 zamieszczono schematy: sprzętowy (rys. 7) i logiczny (rys. 8) aplikacji „Ekspert” oraz krótki opis poszczególnych elementów.



Rys. 7. Schemat sprzętowy
Fig. 7. Hardware diagram



Rys. 8. Schemat logiczny po stronie serwera
Fig. 8. Server - software diagram

3.2. Opis środowiska w jakim działa aplikacja

Linux - 32- lub 64-bitowy system operacyjny, zgodny z systemem UNIX. Doskonale sprawdza się podczas pracy w sieci.

Serwer WWW - inaczej demon HTTP, jest to oprogramowanie odpowiedzialne za zarządzanie stronami internetowymi. Dzięki temu narzędziu tworzy się zbiory stron WWW, do których uzyskujemy dostęp poprzez dowolną przeglądarkę internetową [15]. W aplikacji ekspert wykorzystano *Apache*, obecnie najbardziej popularny serwer WWW.

PostgreSQL - relacyjna baza danych [4], inaczej kolekcja dwuwymiarowych tabel (relacji), złożonych z kolumn oraz wierszy. Projekty poszczególnych tabel są przechowywane w słowniku danych (często określanego mianem tabel systemowych), który zawiera szczegółowe informacje o bazie danych.. W relacyjnej bazie danych relacje między tabelami wyraża się przez umieszczenie identycznych kolumn w dwóch lub większej liczbie tabel. Jeśli któraś z tabel zawiera kolumnę lub kombinację kolumn odpowiadającą kluczowi podstawowemu innej tabeli, wówczas między tymi tabelami istnieje relacja logiczna. Definicja tabeli zaczyna się od jej nazwy, po której następuje lista kolumn, umieszczona w nawiasach. Listę tę otwierają kolumny składające się na klucz podstawowy tabeli.

Dla przykładu baza danych aplikacja „Ekspert” składa z tabel:

- „firma”,
- „narzędzia”,
- „zakres”,
- „foto”,
- „dokładność”,
- „rodzaj pomiaru”,
- „nazwa narzędzia”.

SQL - jest językiem obsługi relacyjnych baz danych [3, 14]. Operując na danych, SQL modeluje rzeczywistość za pomocą tabel.

PHP - środowisko programistyczne wykorzystywane do tworzenia aplikacji WWW korzystających z baz danych [6, 15], pozwala na szybkie projektowanie aplikacji internetowych. PHP jest narzędziem niezależnym od systemu operacyjnego, serwera WWW, HTML-a oraz systemów baz danych. Przy ciągłych (a przynajmniej bardzo częstych) zmianach sprzętu i systemów operacyjnych PHP izoluje i zabezpiecza opracowywaną aplikację przed nieprzewidywalnymi zmianami sprzętu, przeglądarek i systemów operacyjnych.

4. Praktyczna implementacja aplikacji bazodanowej „Ekspert”

Tworząc aplikacja „Ekspert” przyjęto następujące założenia, które pozwoliły później stworzyć odpowiednią bazę danych:

- Podział narzędzi na klasy:
 - suwmiarka,
 - mikrometr,
 - średnicówka,
 - wysokościomierz,
 - kątownik,
 - itd.

- Określenie rodzaj pomiaru:

- długość,
- wysokość,
- głębokość,
- średnica,
- kąt,
- określenie zakresu pomiarowego narzędzia,
- określenie niepewności pomiaru (dokładność),
- określenie cech charakterystycznych narzędzia (producent, zdjęcie itd.).

Aby spełnić powyższe założenia stworzono za pomocą języka SQL bazę danych składającą się z tabel:

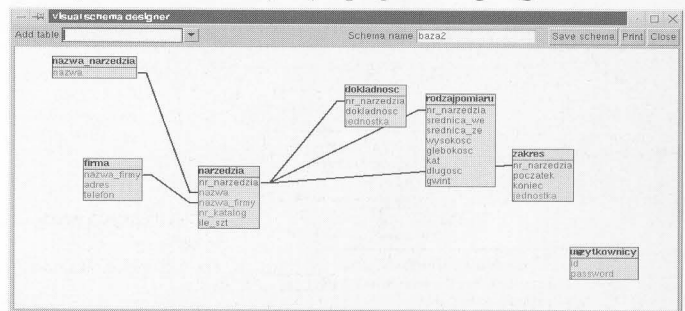
- „firma”,
- „narzędzia”,
- „zakres”,
- „foto”,
- „dokładność”,
- „rodzaj pomiaru”,
- „nazwa narzędzia”.

Przykładowe zapytanie SQL-a jakiego użyto do stworzenia tablicy „narzędzia” podano poniżej:

CREATE TABLE „narzędzia”

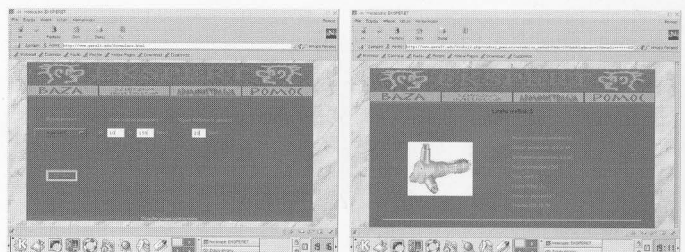
```
(„nr_narzedzia” int4 DEFAULT
nextval(«serial»::text) NOT NULL,
„nazwa” character varying(20),
„nazwa_firmy” character varying(20),
„nr_katalog” character varying(10),
„ile_szt” int4 DEFAULT 1,
PRIMARY KEY („nr_narzedzia”));
```

Zachodzące zależności pomiędzy poszczególnymi tabelami pokazano na rys. 9. Do wizualizacji użyto program *PostgreSQL access*.



Rys. 9. Schemat zależności pomiędzy poszczególnymi tabelami
Fig. 9. Diagram of relationships between tables

Po stworzeniu bazy umieszczono w bazie informacje wykorzystując katalogi z narzędziami pomiarowymi. Po wypełnieniu bazy danych informacjami o narzędziach utworzono interaktywne strony WWW z wykorzystaniem HTML [15] i PHP [3]. Witryna która powstała jest bardzo intuicyjna i prosta w obsłudze. Zawiera zestaw menu oraz odnośników pozwalających potencjalnemu użytkownikowi na wyszukiwanie interesujących go narzędzi. Na rys. 10 przedstawiono gotową aplikację „Ekspert”.



Rys. 10. Okna określania przesłanek wyboru narzędzia oraz rezultat przeszukiwania bazy narzędzi

Fig. 10. Window of determining features of tool and searching results

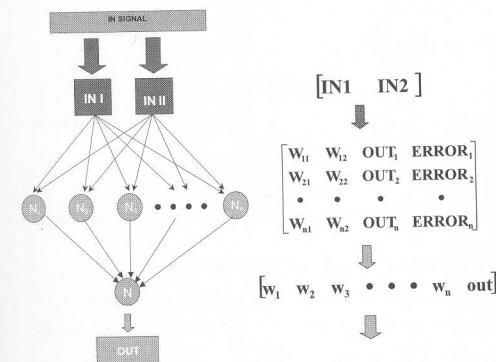
5. Symulacja sieci neuronowych - program NETRAD

Dla wielu zastosowań, gdzie zależy nam na szybkim (równoległym), przetwarzaniu wielu danych stosuje się sztuczne sieci neuronowe.

Podczas studiowania literatury dotyczącej sieci neuronowych rzadko spotyka się nawiązanie do problemu przed jakim staje projektant sieci neuronowej, a mianowicie dobór odpowiedniej liczby neuronów w sieci jak i również określenie długości cyklu uczenia sieci. W dalszej części artykułu zostanie przedstawiony program napisany przez autora w Matlabie, a obrazujący ten problem. Zostanie również pokazany jeden z wielu sposobów na określenie zależności pomiędzy wielkością sieci neuronowej, a długością cyklu uczenia sieci.

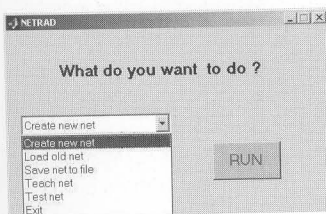
5.1. NETRAD

Netrad - jest prostym programem napisanym w Matlabie, symulującym działanie sieci neuronowej trzywarstwowej rys. 11.

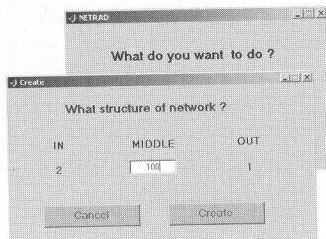


Rys. 11. Schemat sieci neuronowej w programie NETRAD
Fig. 11. Diagram of neural network in NETRAD software

W programie możemy określić ilość neuronów w warstwie ukrytej sieci, rodzaj algorytmu według jakiego sieci będą się uczyć oraz ilość cykli (kroków) nauki sieci rys. 12, 13.



Rys. 12. Główne okno programu RADNET
Fig. 12. Main window of RADNET



Rys. 13. Określanie struktury sieci
Fig. 13. Determining structure of network

Do uczenia sieci wykorzystano algorytm wstecznej propagacji błędów. Do programu wprowadzono dwie zależności według których sieć można uczyć, autor nazwał je algorytmem „easy” i „difficult”. Pierwsza zależność określa wartości wejściowe i wyjściowe sieci według poniższego algorytmu:

$a = \text{random value from } (0 \ 1)$
 $b = \text{random value from } (0 \ 1)$

IF $IN1 = a$ $IN2 = b$
THEN $OUT = 1$

IF $IN1 = -a$ $IN2 = -b$
THEN $OUT = 0$

Drugi algorytm nazwany „difficult” określono w następujący sposób:

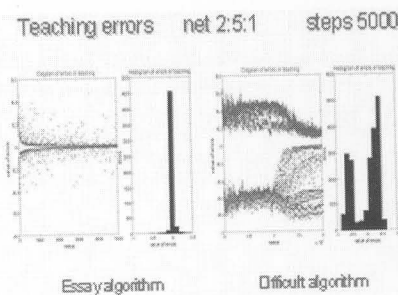
$a = [0.1:0.1:0.5] = [0.1 \ 0.2 \ 0.3 \ 0.4 \ 0.5]$

IF $IN1 = a(i)$ $IN2 = a(i)$
THEN $OUT = 1$

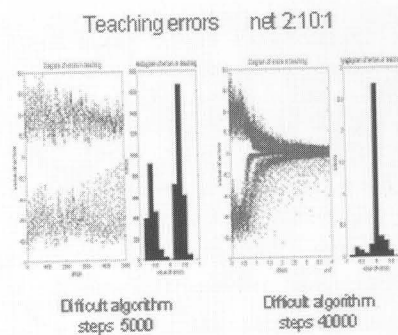
IF $IN1 = a(i)$ $IN2 = a(j)$
THEN $OUT = 0$

and $i \neq j$, $j = \{1, 2, 3, 4, 5\}$

Wyniki jakie uzyskano ucząc sieć stosując różne warianty zarówno struktury sieci jak i długość cyklu uczącego oraz wyboru zależności według której uczono sieć pokazały, że istnieją ścisłe zależności pomiędzy tymi parametrami rys. 14, 15.



Rys. 14. Wykres błędów sieci dla układu 2:5:1, długość cyklu uczenia 5000 kroków
Fig. 14. Graph of network error for 2:5:1 structure, learning series for 5000 steps



Rys. 15. Wykres błędów sieci dla układu 2:10:1, długość cyklu uczenia - 5000 i 40000 kroków, algorytm „difficult”
Fig. 15. Graph of network error for 2:5:1 structure, learning series for 5000 and 40000 steps, algorithm „difficult”

5.2. Wyznaczenie modelu matematycznego dla procesu uczenia sieci neuronowej trzy warstwowej

Jak pokazano wcześniej istnieje zależność pomiędzy parametrami sieci neuronowej. Trudno jednak jednoznacznie określić jakie wartości tych parametrów będą najbardziej optymalne. Jedną z metod jest wyznaczenie modelu matematycznego określającego wymienione wcześniej zależności. Do wyznaczenia takiego modelu wykorzystano program statyczny zdeterminowany kompletny z efektem interakcji pomiędzy czynnikami [11].

Metoda ta polega na wyznaczeniu współczynników regresji (b_0, b_1, b_2, b_n) , dla założonego modelu matematycznego na podstawie danych doświadczalnych wykorzystując algebrę macierzy.

$$B = (X^T X)^{-1} X^T Y$$

gdzie: B - macierz współczynników regresji, X - macierz zmiennych niezależnych, X^T - macierz transponowana macierzy X , Y - macierz wyników obserwacji.

Warunki przeprowadzonych badań:

- program do symulacji sieci neuronowej „NETRAD” napisany w Matlabie przez autora,
- ilość kroków podczas uczenia: 6 000, 25 000,
- ilość neuronów w warstwie ukrytej: 6, 75,
- algorytm „difficult”.

Przyjęto model matematyczny w następującej postaci:

$$\tilde{y} = b_0 + b_1 \tilde{x}_1 + b_2 \tilde{x}_2 + b_{12} \tilde{x}_1 \tilde{x}_2$$

Tabela 1. Tabela programu badań
Table 1. Table of program's research

$k(x_1)$	6000	25000
$n(x_2)$	6	75
wartości centralne	x_{10}	15500
	x_{20}	40,5
jednostki zmienności	$\det x_1$	9500
	$\det x_2$	34,5
poziomy		
+1	x_1	25000
+1	x_2	75
-1	x_1	6000
-1	x_2	6

W tego typu metodzie wyznaczania współczynników regresji, zamieniamy zmienne naturalne na zmienne zakodowane, zależność (1), (2).

$$\tilde{x}_1 = \frac{k - 12800}{12000} \quad (1)$$

$$\tilde{x}_2 = \frac{n - 38}{32} \quad (2)$$

W tabeli 2 przedstawiono w dalszy przebieg programu badań.

Tabela 2. Dalszy przebieg programu badań
Table 2. Following step of program's research

zmienna zakodowana	\tilde{x}_0	\tilde{x}_1	\tilde{x}_2	$\tilde{x}_1\tilde{x}_2$	\tilde{y}
zmienna naturalna	-	k	n	-	error
poziom podstawowy	-				
jednostka zmienności	-				
poziom górny	-				
poziom dolny	-				
1	+	-	-	+	
2	+	-	+	-	
3	+	+	-	-	
4	+	+	+	+	
1		6000	6		0,008
2		6000	75		0,148
3		25000	6		0,027
4		25000	75		0,019
b_0	0,050				
b_1	-0,027				
b_2	0,032				
b_{12}	-0,036				

Następnie wyznaczono współczynniki regresji wg zależność:

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^N \tilde{x}_{ij} \tilde{y}_i}{N}, \quad b_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^N \tilde{x}_{ji} \tilde{x}_{ki} \tilde{y}_i}{N}$$

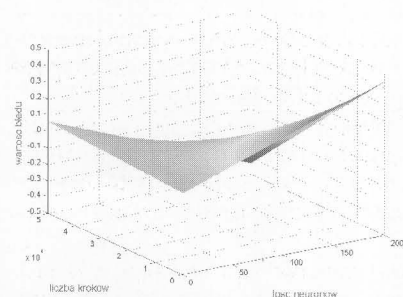
gdzie: \tilde{x}_{ji} - wartość j-tej zmiennej w i-tym doświadczeniu, \tilde{y}_i - wartość czynnika wyjściowo, \tilde{x}_{ki} - a wartość k-tej zmiennej w i-tym doświadczeniu, N - liczba doświadczeń.

Wyznaczony model matematyczny dla zmiennej zakodowanej:

$$\tilde{y} = 0,0509 - 0,02742 \tilde{x}_1 + 0,03287 \tilde{x}_2 - 0,03683 \tilde{x}_1 \tilde{x}_2$$

Wyznaczony model matematyczny po odkodowaniu zmiennych:

$$\text{error} = 0,0509 - 0,02742 \left(\frac{k - 12800}{12000} \right) + 0,03287 \left(\frac{n - 38}{32} \right) - 0,03683 \left(\frac{k - 12800}{12000} \right) \left(\frac{n - 38}{32} \right)$$

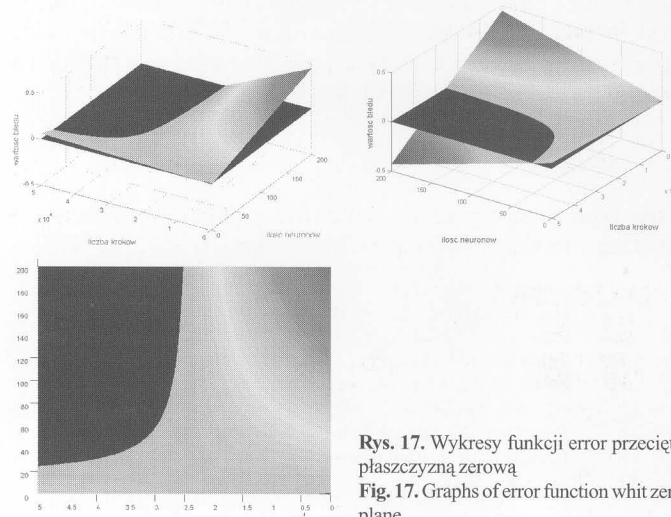


Rys. 16. Wykres funkcji error dla modelu matematycznego jaki wyznaczono podczas badań.
Fig. 16. Graph of error function

Następnie przecięto wykres płaszczyzną zerową aby określić najbardziej optymalne parametry sieci (wtedy gdy błąd sieci zbliża się do zera),

rys. 17. Po przeanalizowaniu wykresów stwierdzono że najbardziej optymalnymi parametrami sieci są:

- ilość neuronów $n > 25$
- liczba kroków (zależna od ilości neuronów): $k > 25\ 000$



Rys. 17. Wykresy funkcji error przecięte płaszczyzną zerową
Fig. 17. Graphs of error function whit zero plane

6. Wnioski

Obecnie trwają prace nad modulem AI, który ma wspomagać algorytm przeszukiwania bazy danych w przedstawionych systemach ekspertowych. Moduł ten będzie wykorzystywał sieci neuronową *Hopfielda*, w których istnieje sprzężenie zwrotne między warstwami sieci. Są to tak zwane sieci rekurencyjne, a zjawiska jakie w nich zachodzą są wykorzystywane do tworzenia tzn. pamięci asocjacyjnych. Istota działania tej pamięci polega na tym, że potrafi ona odtworzyć wiadomość (obraz) na podstawie obrazu silnie zniekształconego lub zakłóconego, działa ona zatem w sposób, który najczęściej nazywa się autoasocjacją. Sieć pracująca jako pamięć autoasocjacyjna może uzupełnić niekompletne zapytanie kierowane do systemu baz danych przez niewprawnego lub niestannego użytkownika, dzięki czemu wyszukiwanie dokonywane będzie poprawnie nawet w przypadku nieprecyzyjnego (choć jednoznacznie) zapytania [10, 12].

Literatura

- [1] Addis T.R.: „Designing knowledge-based Systems”, Kogan Page, London 1985
- [2] Bubnicki Z.: Wstęp do systemów ekspertowych. PWN, Warszawa 1990.
- [3] Celko J.: SQL zaawansowane techniki programowania. Wydawnictwo MIKOM, Warszawa, 1999.
- [4] Dybikowski Z.: PostgreSQL. Wydawnictwo Helion, Gliwice, 2001.
- [5] Feigenbaum E.A.: „The art of artificial intelligence - themes and case studies of knowledge engineering”, Proc. of the 5th Int. Joint Conf. on AI, 1977.
- [6] Hilton C, Willis J.: PHP3 Internetowe aplikacje bazodanowe. Wydawnictwo Helion, Gliwice, 2000.
- [7] Majchrowski R.: Koncepcja systemu ekspertowego w metrologii długości i kąta. Praca inżynierska, Politechnika Poznańska, Poznań 2000.
- [8] Majchrowski R.: Koncepcja wykorzystania elementów sztucznej inteligencji w doborze narzędzi pomiarowych. Praca magisterska, Politechnika Poznańska, Poznań 2002.
- [9] Mulawka J.J.: „Systemy ekspertowe”, WNT, Warszawa 1996.
- [10] Osowski S.: Sieci neuronowe do przetwarzania informacji. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2000.
- [11] Pająk E., Wieczorowski K.: „Podstawy optymalizacji operacji technologicznych w przykładach”, PWN, Warszawa - Poznań 1982.
- [12] Tadeusiewicz R.: Sieci neuronowe. Akademicka Oficyna Wydawnicza, Warszawa, 1993.
- [13] Turing A.M.: „Can a Machine Think?”, Mind, October, 1950.
- [14] Ullman J.D.: Systemy baz danych. WNT, Warszawa 1988.
- [15] Willard W.: Projektowanie stron WWW. Wydawnictwo Edition 2000, Kraków, 2001.

Title: Artificial Intelligence in Metrology - Expert System for Measuring Instruments Selection

Artykuł recenzowany