

Wojciech PIETROWSKI\*  
Mateusz SZYMANIAK\*

## WIZUALIZACJA 3D STRUKTURY SZTUCZNEJ SIECI NEURONOWEJ Z WYKORZYSTANIEM OPENGL

W artykule przedstawiono oprogramowanie do trójwymiarowej wizualizacji struktury sztucznej sieci neuronowej. Takie oprogramowanie w procesie tworzenia sztucznej sieci neuronowej może posłużyć do wizualizacji wszystkich elementów struktury. Podgląd struktury sztucznej sieci neuronowej na etapie jej tworzenia ułatwia zarówno proces projektowania jak również jej modyfikowania. Powstałe oprogramowanie ma też walory dydaktyczne, które mogą zostać wykorzystane podczas zajęć omawiających sztuczne sieci neuronowe. Otrzymane rysunki mogą znaleźć zastosowanie w publikacjach opisujących zastosowania sztucznych sieci neuronowych w elektrotechnice jak i innych dziedzinach nauki.

SŁOWA KLUCZOWE: grafika komputerowa, OpenGL, sztuczna sieć neuronowa.

### 1. WPROWADZENIE

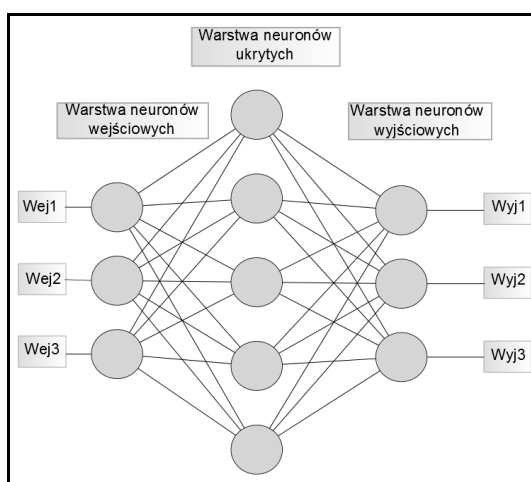
Rozwój sztucznych sieci neuronowych (SSN) zapoczątkowany został w roku 1943 w momencie opracowania przez McCulloch'a i Pitts'a matematycznego modelu sztucznego neuronu. Od tego momentu zaczęły się badania nad potencjalnymi możliwościami wzajemnie połączonych kilku sztucznych neuronów [1, 2]. Do dnia dzisiejszego badania te posunęły się tak daleko, że SSN z powodzeniem stosowane są między innymi w elektrotechnice. Jednym z tych zastosowań jest wykorzystanie SSN do diagnostyki napędów elektrycznych [3, 4, 10, 11]. Pojawiło się zagadnienie opracowania oprogramowania do prezentacji struktury SSN w sposób czytelny. Wizualizacja struktury SSN jest połączeniem dwóch dziedzin: SSN oraz grafiki komputerowej. Do wykonania przedstawionego oprogramowania zastosowano środowisko programistyczne C++ Builder 6 oraz bibliotekę graficzną OpenGL.

Sztuczna sieć neuronowa składa się co najmniej z dwóch elementów fizycznych, mianowicie elementów przetwarzających informacje oraz połączeń między tymi elementami. Elementy przetwarzające informacje to sztuczne neurony. Neurony te uporządkowane są w warstwach. Między warstwami występują połączenia neuronów, które odpowiadają za przepływ informacji w SSN. Informacja płynąca połączeniem posiada przydzieloną jej wagę. Waga to stopień ważności danej informacji. Sposoby połączeń między neuronami zależne są od rodzaju struktury danej sieci. Sposób

---

\*Politechnika Poznańska.

rozmieszczenia neuronów w poszczególnych warstwach ma istotny wpływ na wygląd struktury SSN oraz na to jak będą wyglądały połączenia między warstwami. Na rysunku 1 została przedstawiona sieć o strukturze 3-5-3. Znaczący to, że dana sieć posiada jedną warstwę wejściową zbudowaną z 3 neuronów, jedną ukrytą zbudowaną z 5 neuronów oraz jedną wyjściową zbudowaną z 3 neuronów. Na podstawie rysunku 1 można stwierdzić, że sposób prezentowania struktury SSN w postaci grafiki 2D jest niewystarczający. W celu poprawy czytelności wizualizacji struktury SSN opracowano skuteczny algorytm do trójwymiarowej wizualizacji z wykorzystaniem biblioteki OpenGL.



Rys. 1. Wizualizacja SSN o strukturze 3-5-3 w układzie 2D

Zastosowanie biblioteki graficznej OpenGL obejmuje bardzo wiele dziedzin. Można wymienić oprogramowanie do tworzenia animacji i grafiki komputerowej, np. 3ds max, AutoCAD, Maya. Również profesjonalne oprogramowanie obliczeniowe do wizualizacji wyników obliczeń wykorzystuje OpenGL, np. Matlab. Dostępne pliki nagłówkowe umożliwiają implementację funkcji OpenGL w programach komputerowych [7, 8, 9].

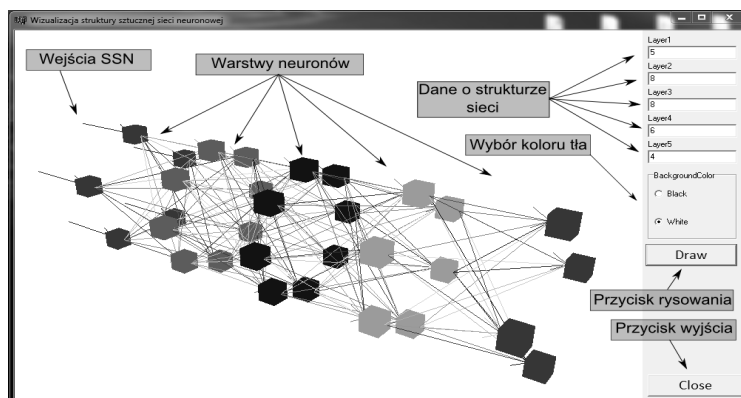
## 2. OPIS PROGRAMU DO TRÓWYMIAROWEJ WIZUALIZACJI STRUKTURY SSN

Najważniejsze elementy opracowanego algorytmu wizualizacji struktury SSN przedstawiono na rysunku 2. W pierwszym kroku następuje start, po którym wprowadzana jest liczba wejść SSN. W następnym kroku wprowadzane są liczby neuronów w kolejnych warstwach. Jako ostatnia podawana jest liczba neuronów w warstwie wyjściowej. Ostatnim krokiem jest zatwierdzenie struktury i wykreślenie na ekranie monitora.



Rys. 2. Algorytm programu do wizualizacji struktury SSN

Na podstawie opracowanego algorytmu napisano program w języku C++ do wizualizacji struktury SSN. Na rysunku 3 przedstawiono widok okna głównego programu. W środkowej części okna przedstawiona jest wizualizacja struktury SSN, a po prawej stronie znajduje się panel użytkownika. W panelu tym umieszczono pola edycyjne, w których użytkownik podaje informacje o strukturze SSN. Program może wyświetlić strukturę SSN zbudowaną maksymalnie z 5 warstw. Z czego pierwsza warstwa jest warstwą wejściową, ostatnia warstwa jest warstwą wyjściową, a warstwy między tymi dwoma to warstwy ukryte.



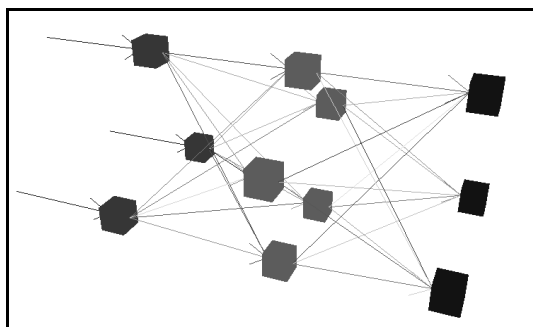
Rys. 3. Widok okna głównego programu do wizualizacji SSN

Wprowadzono możliwość wyboru koloru tła. Kolor biały przeznaczony jest do umieszczenia rysunków w dokumentach, które będą drukowane. Natomiast kolor czarny dobrze sprawdza się do wyświetlania struktury na ekranie monitora lub na ekranie ściennym za pomocą rzutnika. Po podaniu informacji o strukturze sieci następuje jej wizualizacja za pośrednictwem przycisku "Draw". Neurony rysowane są jako sześćościany. Neurony należące do tej samej warstwy rysowane są takim

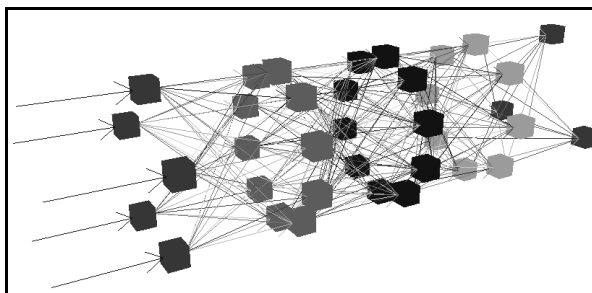
samym kolorem. Problem odpowiedniego rozmieszczenia neuronów został rozwiązany poprzez rozmieszczenie ich na okręgu. Dzięki takiemu podejściu rozmieszczenia neuronów otrzymany rysunek jest czytelny. Kolorowe linie symbolizują wagi połączenia między neuronami. Kierunek przepływu informacji jest symbolizowany przez groty na końcu połączeń.

### 3. WIZUALIZACJA WYBRANYCH STRUKTUR SSN

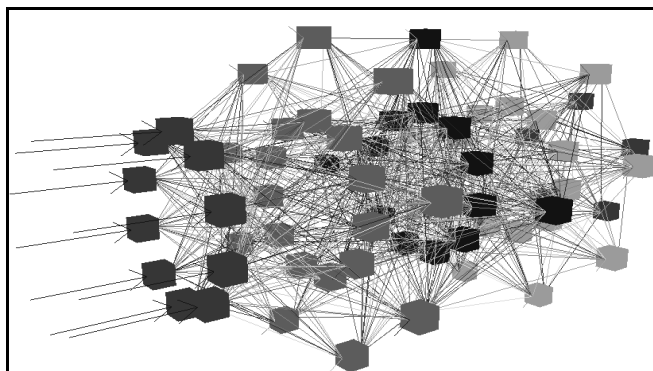
Za pomocą programu można przeprowadzić wizualizację SSN o strukturach typu multilayer perceptron (MLP). Połączenia neuronów między sąsiednimi warstwami to połączenia typu każdy z każdym. Na rysunku 4. została przedstawiona ta sama sieć co na rysunku 1, lecz z wykorzystaniem biblioteki OpenGL w programie do wizualizacji struktury SSN. Na rysunkach 5 oraz 6 zostały przedstawione sieci o bardziej rozbudowanych strukturach. Za pomocą programu można oglądać daną strukturę z każdej perspektywy, a także oddalać oraz przybliżać. Prezentacja tak złożonych struktur na rysunku 2D byłaby kłopotliwa ze względu na liczbę elementów, które należy rozmieścić w dwóch wymiarach. W przestrzeni trójwymiarowej można zaprezentować więcej elementów na mniejszym obszarze, w zależności od sposobu ich rozmieszczenia.



Rys. 4. Wizualizacja SSN o strukturze 3-5-3 w układzie 3D



Rys. 5. Wizualizacja SSN o strukturze 5-10-10-8-3 w układzie 3D



Rys. 6. Wizualizacja SSN o strukturze 10-20-15-20-5 w układzie 3D

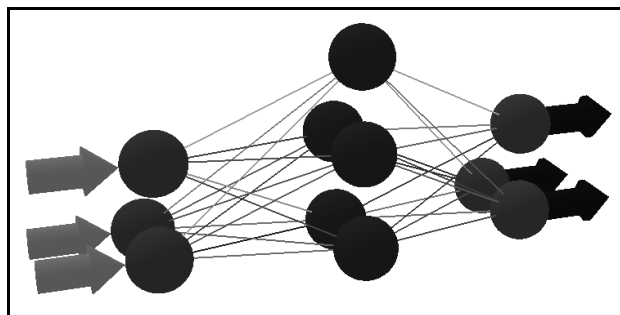
Przykład rysowania struktury SSN, w której neurony rozmieszczone w wierszach oraz kolumnach przedstawiono na rysunkach 7 – 9. Elementy składowe struktury SSN narysowano za pomocą kwadryk, których funkcje rysowania są zawarte w bibliotece narzędziowej OpenGL "glu32.dll" a plik nagłówkowy dla języka C++ w pliku <gl\glu.h>. Do utworzenia wskaźnika do kwadryki wykorzystano funkcję gluNewQuadric(). Neurony reprezentowane są przez sfery, które rysowane były za pomocą funkcji gluSphere(). Natomiast wejścia oraz wyjścia są zbudowane ze stożków oraz walców, rysowane za pomocą funkcji gluCylinder(). Równania opisujące wykorzystane bryły można zapisać następująco

– sfera  $x^2 + y^2 + z^2 = R^2$  (1)

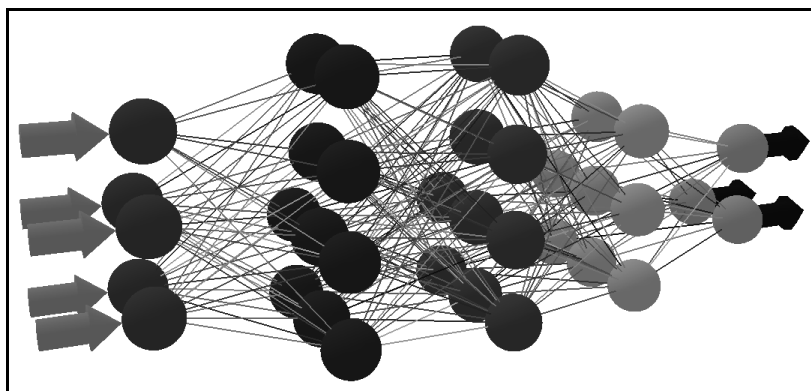
– stożek  $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = z^2$  (2)

– walec  $x^2 + y^2 = R^2$  (3)

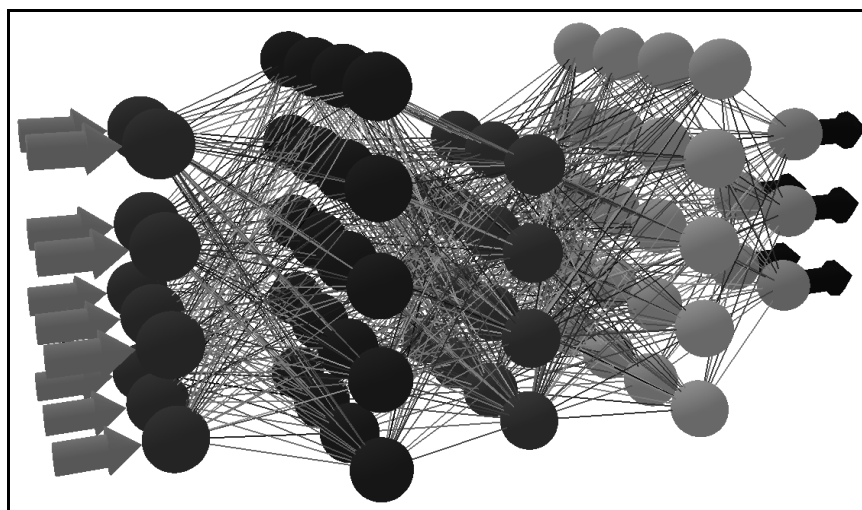
Ponieważ równania 1-3 nie zawierają składników położenia środka bryły zatem przed przystąpieniem do rysowania należy dokonać translacji. Przesunięcie układu współrzędnych do punktu, w którym narysowana ma zostać bryła zrealizowane zostało za pomocą funkcji glTranslate(). Argumentem tej funkcji jest wektor przesunięcia układu współrzędnych. Połączenia między neuronami sąsiednich warstw narysowano w postaci linii za pomocą funkcji glBegin(GL\_LINES). Początkami i końcami linii są środki sfer reprezentujących neurony. Kolor linii jest zależny od wagi z jaką to połączenie jest uwzględniane w strukturze. W celu optymalizacji wyświetlania cała struktura SSN była przechowywana w postaci listy wyświetlania, czyli listy poleceń rysowania. Tworzenie listy wyświetlania w postaci skompilowanej, gotowej do wykonania, zrealizowano za pomocą funkcji glNewList() z argumentem GL\_COMPILE. Wykonanie poleceń rysowania przechowywanej w postaci listy wyświetlania zrobiono za pomocą funkcji glCallList().



Rys. 7. Wizualizacja SSN o strukturze 3-5-3 w układzie 3D



Rys. 8. Wizualizacja SSN o strukturze 5-10-10-8-3 w układzie 3D



Rys. 9. Wizualizacja SSN o strukturze 10-20-15-20-5 w układzie 3D

#### 4. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono algorytm i program komputerowy trójwymiarowej wizualizacji struktury sztucznej sieci neuronowej. W programie do rysowania wykorzystano funkcje zawarte w bibliotece graficznej OpenGL. Opracowane oprogramowanie umożliwia obserwację całej struktury SSN jak również jej wybranych elementów z dowolnie wybranego punktu przestrzeni. Efekt trójwymiarowości uzyskano przez zastosowanie perspektywy, oświetlenia kierunkowego oraz cieniowania.

Na podstawie przedstawionych rysunków można stwierdzić, że zastosowanie biblioteki graficznej OpenGL pozwala na przedstawienie złożonych struktur sztucznej sieci neuronowej w układzie trójwymiarowym. Zastosowania list wyświetlania ułatwia pisanie kodu oraz znacząco przyspiesza rysowanie na ekranie monitora. Zastosowanie kwadryk do rysowania brył stanowiących składniki struktury znacznie poprawia czytelność rysunku.

Przedstawione oprogramowanie i otrzymane rysunki struktur sztucznej sieci neuronowej mogą być wykorzystane w procesie dydaktycznym.

#### 1. LITERATURA

- [1] Tadeusiewicz R.: Elementarne wprowadzenie do techniki sieci neuronowych z przykładowymi programami. Warszawa: Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ 1998. ISBN 83-7101-400-7.
- [2] Żurada J., Barski M., Jędruch W.: Sztuczne sieci neuronowe. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN 1996. ISBN 83-01-12106-8.
- [3] Kowalski Cz. T., Ewert P.: Zastosowanie sieci neuronowych do monitorowania nieosiowości napędów elektrycznych z silnikami indukcyjnymi. "Zeszyty Problemowe - Maszyny Elektryczne" 2009, nr 83, s. 189-194.
- [4] Kozik J.: Zastosowanie sieci neuronowych w detekcji uszkodzeń silnika synchronicznego ze zwartym uzwojeniem wirnika. "Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne" 2008, nr 80, s. 69-72.
- [5] Grębosz J.: Symfonia C++ standard. Programowanie w języku C++ orientowane obiektowo. Wyd.3. T.1-2. Kraków: Wydawnictwo „EDITION 2000” 2008. ISBN 978-83-7366-139-5.
- [6] Wright R. S., Jr., Haemel N., Sellers G., Lipchak B.: OpenGL. Księga Eksperta. Wyd.5. Gliwice: Wydawnictwo HELION 2011. ISBN 978-83-246-2976-3.
- [7] Pietrowski W., Szeląg W., Demenko A., Zastosowanie biblioteki graficznej OpenGL do wizualizacji siatek dyskretyzujących w układach 3D, Materiały V Konferencji Naukowo-Technicznej Zastosowania Komputerów w Elektrotechnice, Poznań-Kiekrz, 10-12.04.2000, s. 435-438.
- [8] Demenko A., Pietrowski W., Stachowiak D., Wyznaczanie rozkładu indukcji magnetycznej w maszynie magnetoelektrycznej metodą elementów krawędziowych, Przegląd Elektrotechniczny R. 81 Nr 10/2005, ss. 2-7.

- [9] Pietrowski W., Wizualizacja modelu maszyny magnetoelektrycznej w programowaniu obiektowym, Poznań University of Technology, Academic Journals No 72, 2012, pp. 197-205.
- [10] Pietrowski W., Application of Radial Basis Neural Network to diagnostics of induction motor stator faults using axial flux, Przegląd Elektrotechniczny R. 87 Nr 6/2011, ss. 190-192.
- [11] Nowak M., Pietrowski W., Research and application of artificial neural network to diagnostics of stator winding short-circuit of slip-ring induction motor, Przegląd Elektrotechniczny R. 89 Nr 9/2013, ss. 181-184.

### **3D VISUALIZATION OF STRUCTURE OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORK USING OPENGL**

The article presents a software for three-dimensional visualization of structure of an artificial neural network. Such software in the creation of an artificial neural network can be used to visualize all the elements of the structure. Preview the structure of an artificial neural network on the stage of its creation facilitates both the design process as well as its modification. The resulting software is for the didactic, which can be used in the classroom discussing artificial neural networks. The resulting drawings can be used in publications describing the use of artificial neural networks in electrical engineering and other sciences.