

## Budowa i działanie sieci wielowarstwowej

### Cel ćwiczenia:

Celem ćwiczenia jest poznanie budowy i działania wielowarstwowych sieci neuronowych poprzez uczenie z użyciem algorytmu wstecznej propagacji błęd rozpoznawania konkretnych liter alfabetu.

### Opis algorytmu:

1. Przygotowanie i wprowadzenie dwóch ciągów danych – uczącego i weryfikującego. Ciąg uczących zawiera wektor wejściowy, czyli dane które mogą być podane na wejściu neuronu, oraz dane wyjściowe, czyli dane oczekiwane jakie powinny zostać wygenerowane na wyjściach.
2. Po przetworzeniu ciągu uczącego następuje powórnianie zwróconych wartości z oczekiwanymi oraz, w przypadku niepoprawnych wartości, następuje obliczenie błędu odpowiedzi.
3. Wyznaczony błąd jest propagowany do sieci, ale w odwrotnej kolejności niż wektor wejściowy ( od warstwy wyjściowej do wejściowej) i na jego podstawie następuje korekcja wag w każdym neuronie, aby ponowne przetworzenie tego samego wektora wejściowego spowodowało zmniejszenie błędu odpowiedzi. Procedura ta jest powtarzana do momentu kiedy otrzymany błąd jest mniejszy od założonego.

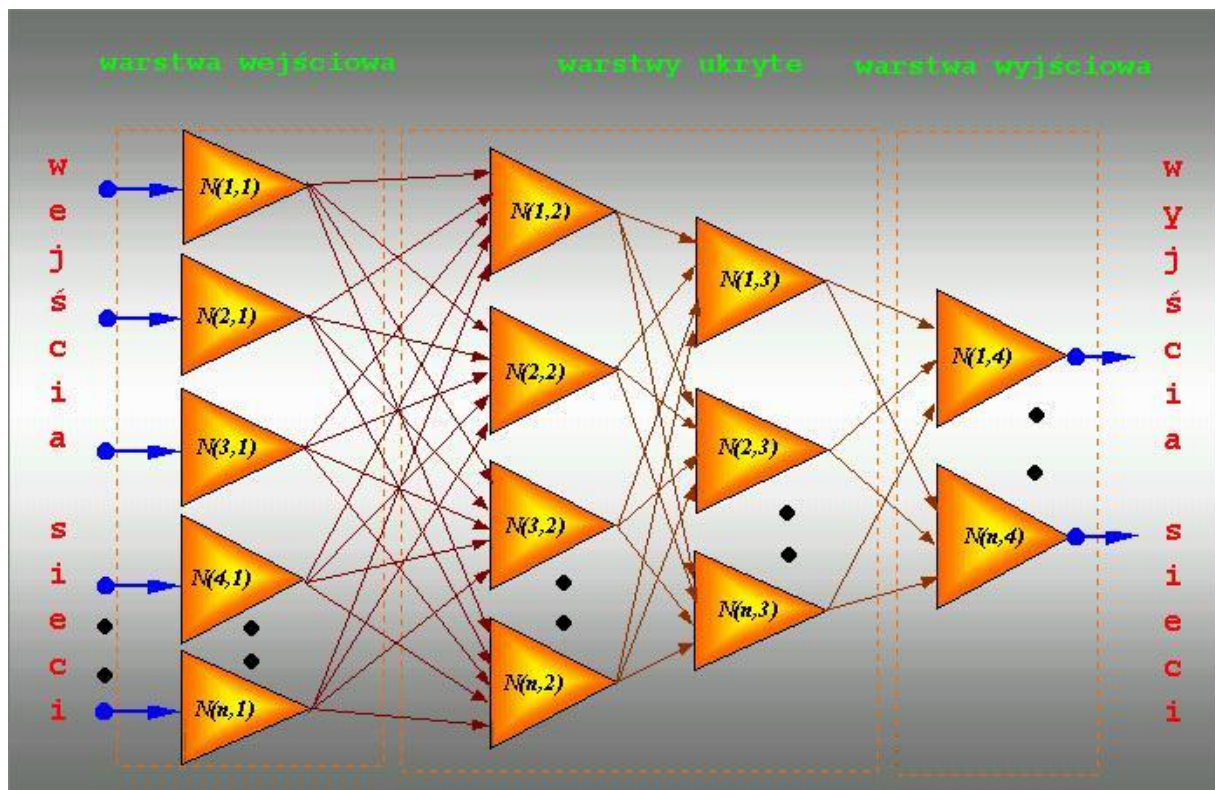
### Opis działania programu:

Program przyjmuje jako dane wejściowe matryce liter o wymiarach 5x7, oraz tworzy wielowarstwową sieć o podanej ilości warstw oraz ilości neuronów w każdej z nich. Podawana jest również ilość epok, przez jaką ma trwać uczenie oraz współczynnik uczenia. Po wprowadzeniu danych i ustawieniu wszystkich parametrów, program przystępuje do uczenia na podstawie danych wejściowych oraz wzorcowych danych wyjściowych, a po zakończeniu uczenia, następuje testowanie sieci na podstawie zestawu wybranych liter. Program porównuje dane testowe z danymi 'nauczonymi' oraz zwraca dla każdej litery odpowiednią wartość.

### Opis procesu uczenia:

Do 35 wejść odpowiadającym znakom, które reprezentują literę, są przypisywane losowe wagi początkowe. Po wymnożeniu tych wartości, wyliczona zostaje na ich podstawie wartość funkcji aktywacji która podana dalej stanowi wejście dla kolejnych warstw. Warstwa końcowa otrzymuje na wejściu wartości wyjściowe z warstwy ukrytej, następnie po wyznaczeniu wartości funkcji aktywacji wyznaczany jest błąd na podstawie wartości otrzymanej oraz wartości spodziewanej. Następnie dzięki algorytmowi wstecznej propagacji modyfikowane są wagi w warstwie ukrytej.

Ogólny schemat sieci wielowarstwowej:



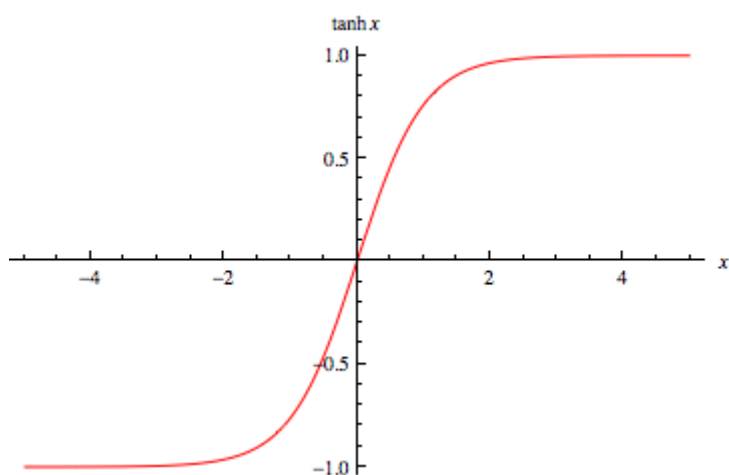
Rozróżniamy tu kilka rodzajów neuronów:

- Neurony warstwy wejściowej
- Neurony warstw ukrytych
- Neurony warstwy wyjściowej

W programie zastosowano podaną niżej funkcję aktywacji – tangens hiperboliczny.

$$y(x) = \frac{2}{1 + e^{-\beta x}} - 1 = \frac{1 - e^{-\beta x}}{1 + e^{-\beta x}}$$

Przebieg tej funkcji wygląda następująco:



#### Wyniki:

Działanie programu sprawdzono na zestawie uczącym składającym się z liter A,B,C,D,E,F,G,H,I,J,a,b,c,d,e,f,g,h,i,j

oraz zestawu testowego składającego się z liter A,B,C,F,G,a,b,e,i,j

Na końcu sprawdzono również jak sieć poradzi sobie z rozpoznaniem litery A, której matryca była niekompletna.

Wydruk programu zawierał wynik rozpoznawania danej litery. Składał się na niego wynik porównania do litery podanej do testu, jak dwóch dowolnie innych liter, aby potwierdzić poprawność wyniku.

Przykładowy wynik działania programu:

```
Litera A:  
Porównanie do litery A Wynik: 0,9725574  
Porównanie do litery i Wynik: -0,005273254  
Porównanie do litery a Wynik: 0,004080513  
  
Litera B:  
Porównanie do litery B Wynik: 0,9538145  
Porównanie do litery i Wynik: -0,0006573308  
Porównanie do litery a Wynik: 0,004230229  
  
Litera C:  
Porównanie do litery C Wynik: 0,9650047  
Porównanie do litery i Wynik: -0,0009752001  
Porównanie do litery a Wynik: 0,00405529
```

```
Litera i:  
Porównanie do litery i Wynik: 0,9716548  
Porównanie do litery b Wynik: 0,00235628  
Porównanie do litery a Wynik: 0,004645573  
  
Litera a:  
Porównanie do litery a Wynik: 0,9607296  
Porównanie do litery b Wynik: -0,006961307  
Porównanie do litery j Wynik: 0,004054197  
  
Litera b:  
Porównanie do litery b Wynik: 0,9569462  
Porównanie do litery a Wynik: 0,0005991581  
Porównanie do litery j Wynik: -0,0007345995
```

- **Wpływ współczynnika uczenia na działanie sieci**

Jako pierwszy, przetestowano wpływ czynnika uczenia się na działanie sieci. Przeprowadzono testy dla czynników: 0.0003, 0.003, 0.03, 0.1

Parametry testu: 50 neuronów w warstwie ukrytej, 1000 epok

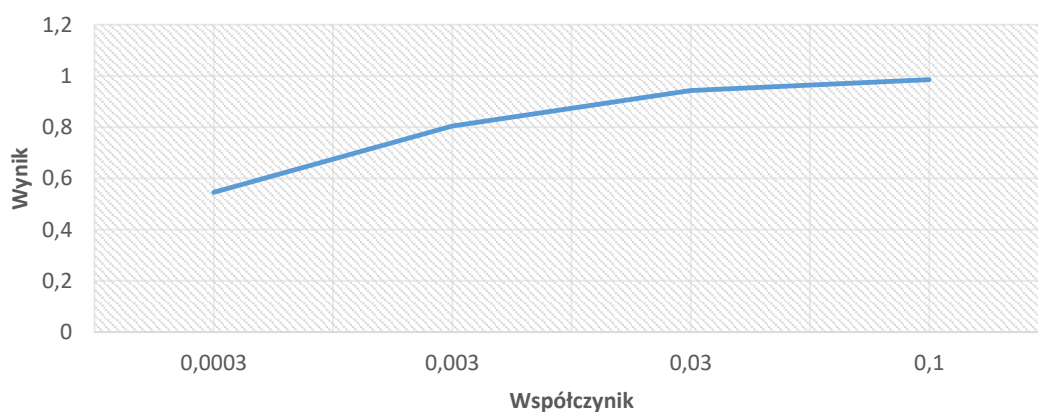
Współczynnik	0,0003
Litera	Wynik
A	0,7288316
B	0,3580596
C	0,547114
F	0,4782749
G	0,4362798
j	0,5582035
i	0,6808268
a	0,5994798
b	0,508951
e	0,559182
Średnia	0,5455203

Współczynnik	0,003
Litera	Wynik
A	0,853414
B	0,8754204
C	0,926529
F	0,86804
G	0,421651
j	0,8870566
i	0,7954872
a	0,826548
b	0,6859621
e	0,9035285
Średnia	0,80436368

Współczynnik	0,03
Litera	Wynik
A	0,968227
B	0,9713381
C	0,9773825
F	0,9598167
G	0,9718974
j	0,9659587
i	0,9699287
a	0,6954321
b	0,9698108
e	0,9773387
Średnia	0,94271307

Współczynnik	0,1
Litera	Wynik
A	0,978648
B	0,984651
C	0,989156
F	0,991235
G	0,985321
j	0,978956
i	0,986452
a	0,978949
b	0,987658
e	0,987684
Średnia	0,984871

Zależność poprawności wyników od współczynnika uczenia



Interpretacja wyników:

Współczynnik uczenia 0,0003 po wykonaniu 1000 epok dał w tym przypadku najgorsze wyniki w okolicach 0,5. Wraz ze wzrostem tego współczynnika, wyniki zbliżają się do wartości '1', a najbliższe tej wartości wyniki otrzymano przy współczynniku wynoszącym 0,1.

- **Wpływ ilości neuronów w warstwie ukrytej na działanie sieci**

Parametry testu: współczynnik uczenia – 0.1, 1000 epok

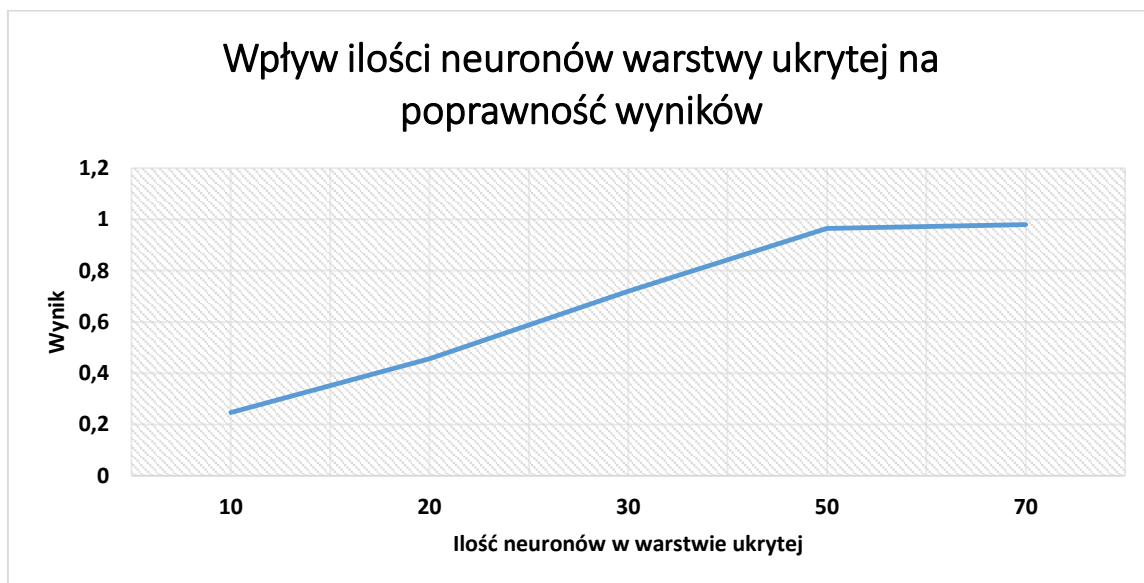
Ilość neuronów	10
Litera	Wynik
A	0,335
B	0,133
C	0,292
F	0,240
G	0,163
j	0,247
i	0,268
a	0,190
b	0,247
e	0,352
Średnia	0,24663

Ilość neuronów	20
Litera	Wynik
A	0,363
B	0,395
C	0,406
F	0,421
G	0,465
j	0,426
i	0,883
a	0,303
b	0,434
e	0,467
Średnia	0,4563

Ilość neuronów	30
Litera	Wynik
A	0,440
B	0,344
C	0,946
F	0,926
G	0,942
j	0,946
i	0,961
a	0,910
b	0,413
e	0,367
Średnia	0,7195

Ilość neuronów	50
Litera	Wynik
A	0,967
B	0,961
C	0,968
F	0,968
G	0,964
j	0,958
i	0,967
a	0,966
b	0,968
e	0,967
Średnia	0,96543654

Ilość neuronów	70
Litera	Wynik
A	0,967
B	0,961
C	0,968
F	0,968
G	0,964
j	0,958
i	0,967
a	0,966
b	0,968
e	0,967
Średnia	0,9798456



Interpretacja wyników:

Wykres wskazuje na zależność poprawności wyników o ilości neuronów w ukrytej warstwie, która rośnie wraz z ilością neuronów niemalże liniowo. Ogólnie możemy stwierdzić że im więcej tym lepiej, jednakże wartości około 50 dają najlepsze wyniki, a dalszy wzrost tej ilości jedynie nieznacznie poprawia wyniki. Ilość 10 neuronów okazała się niewysarczająca do rozpoznania jakiegokolwiek litery.

- **Rozpoznawanie niekompletnych matryc litery**

Jako ostatnie przetestowano rozpoznawanie matrycy litery A i porównanie wyników w zależności od kompletności matrycy.

Parametry testu: Współczynnik uczenia – 0.1, Ilość epok – 1000, ilość neuronów w warstwie ukrytej – 50.

Wynik działania programu:

```
Litera A: Poprawna
Porównanie do litery A Wynik: 0,9725574

Litera A: Modyfikacja 1
Porównanie do litery A Wynik: 0,889746

Litera A: Modyfikacja 2
Porównanie do litery A Wynik: 0,8721142

Litera A: Modyfikacja 3
Porównanie do litery A Wynik: 0,8137189
```

Zmodyfikowane matryce:

0	1	1	1	0
1	0	0	0	1
1	0	0	0	1
1	1	1	1	1
1	0	0	0	1
1	0	0	0	0
1	0	0	0	1

Oryginał

0	0	1	1	0
0	0	0	0	1
1	0	0	0	1
1	1	1	1	1
0	0	0	0	1
1	0	0	0	1
0	0	0	0	1

Modyfikacja 2

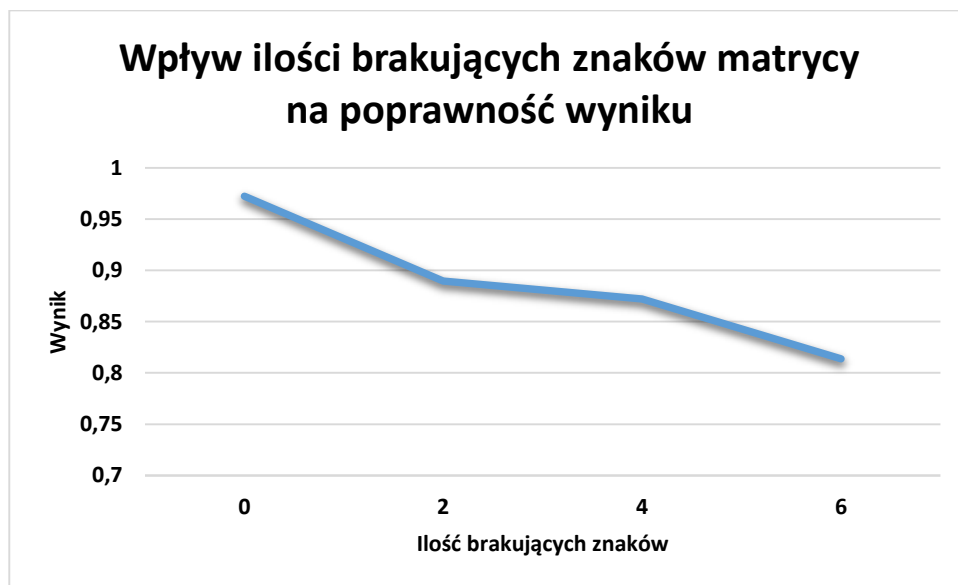
0	0	1	1	0
0	0	0	0	1
1	0	0	0	1
1	1	1	1	1
1	0	0	0	1
1	0	0	0	1
1	0	0	0	1

Modyfikacja 1

0	0	1	1	0
0	0	0	0	1
1	0	0	0	0
1	1	0	1	1
0	0	0	0	1
1	0	0	0	0
0	0	0	0	1

Modyfikacja 3

Ilość brakujących znaków	Wynik
0	0,9725574
2	0,889746
4	0,8721142
6	0,8137189



Wykres 3

Interpretacja wyników:

Wykres trzeci pokazuje jak poprawność wyników spada, przy coraz większej ilości brakujących znaków. Niemniej jednak, warto zauważyć iż spadek następuje dosyć łagodnie i powoli biorąc pod uwagę stopień niekompletności matryc, zwłaszcza w ostatnim przypadku. Mimo braku wielu znaków wynik rozpoznawania litery jest co najmniej zadowalający



#### Wnioski:

- Wraz ze wzrostem współczynnika uczenia na przedziale  $\{0.0003, 0,1\}$  szybkość uczenia wyraźnie rośnie.
- Ilość neuronów w warstwie ukrytej ma duże znaczenie podczas uczenia sieci, ponieważ przy odpowiednio małej ilości neuronów, sieć nie była w stanie rozpoznać żadnej litery. Efektywność rozpoznawania liter wraz ze wzrostem ilości neuronów do pewnego momentu rośnie w sposób zbliżony do liniowego
- Jeśli sieć zostanie dobrze nauczona, jest w stanie 'domyślić się' i rozpoznać ze względnie dużą poprawnością niekompletne matryce liter.

#### Źródła:

- [http://edward\\_ch.republika.pl/sneuro.html](http://edward_ch.republika.pl/sneuro.html),  
<http://web.archive.org/web/20160309093826/http://ac-it.pl/algorytm-wstecznej-propagacji-bledow> , [http://edward\\_ch.republika.pl/sneuro.html](http://edward_ch.republika.pl/sneuro.html) - opis i sposób działania algorytmu
- <http://www.ai.c-labtech.net/sn/litery.html> - matryce liter
- [https://www.youtube.com/watch?v=L\\_PByyJ9g-I](https://www.youtube.com/watch?v=L_PByyJ9g-I) – implementacja algorytmu

Cały wydruk działania programu:

```
Litera A:  
Porównanie do litery A Wynik: 0,9666139  
Porównanie do litery i Wynik: 0,000302628  
Porównanie do litery a Wynik: -0,003792987
```

```
Litera B:  
Porównanie do litery B Wynik: 0,9645286  
Porównanie do litery i Wynik: -0,002512361  
Porównanie do litery a Wynik: -0,002755763
```

```
Litera C:  
Porównanie do litery C Wynik: 0,9717829  
Porównanie do litery i Wynik: -0,001500818  
Porównanie do litery a Wynik: -0,001254282
```

```
Litera F:  
Porównanie do litery F Wynik: 0,967833  
Porównanie do litery i Wynik: -0,00300735  
Porównanie do litery a Wynik: -0,006048408
```

```
Litera G:  
Porównanie do litery G Wynik: 0,9612827  
Porównanie do litery i Wynik: -0,0008188628  
Porównanie do litery a Wynik: -0,0007941744
```

```
Litera j:  
Porównanie do litery j Wynik: 0,9661559  
Porównanie do litery i Wynik: 0,0003242979  
Porównanie do litery a Wynik: -0,0002223069
```

```
Litera i:  
Porównanie do litery i Wynik: 0,9723551  
Porównanie do litery b Wynik: 0,000421886  
Porównanie do litery a Wynik: 0,0008134576
```

```
Litera a:  
Porównanie do litery a Wynik: 0,9564258  
Porównanie do litery b Wynik: -0,001407669  
Porównanie do litery j Wynik: -0,0006981213
```

```
Litera b:  
Porównanie do litery b Wynik: 0,9655868  
Porównanie do litery a Wynik: -0,007364685  
Porównanie do litery j Wynik: 0,003007381
```

```
Litera e:  
Porównanie do litery e Wynik: 0,9716982  
Porównanie do litery a Wynik: -0,007364685  
Porównanie do litery j Wynik: 0,003007381
```

```
Litera A: Poprawna  
Porównanie do litery A Wynik: 0,9666139
```

```
Litera A: Modyfikacja 1  
Porównanie do litery A Wynik: 0,9671359
```

```
Litera A: Modyfikacja 2  
Porównanie do litery A Wynik: 0,9653122
```

```
Litera A: Modyfikacja 3  
Porównanie do litery A Wynik: 0,9618576  
Litera A: Modyfikacja 4  
Porównanie do litery A Wynik: 0,9713504
```