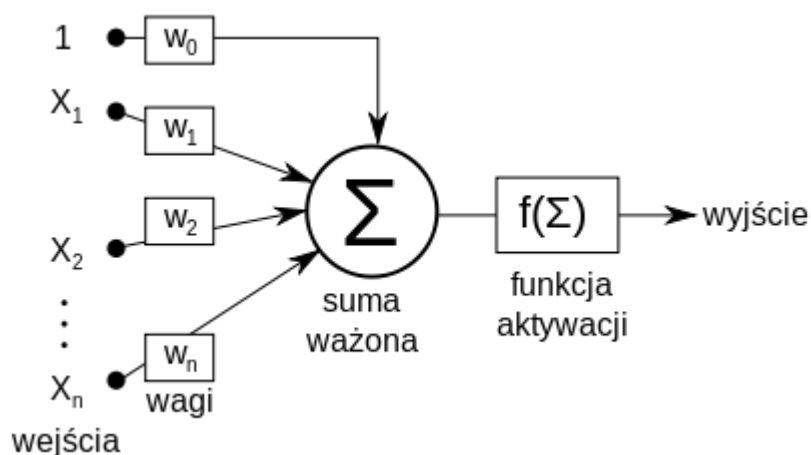


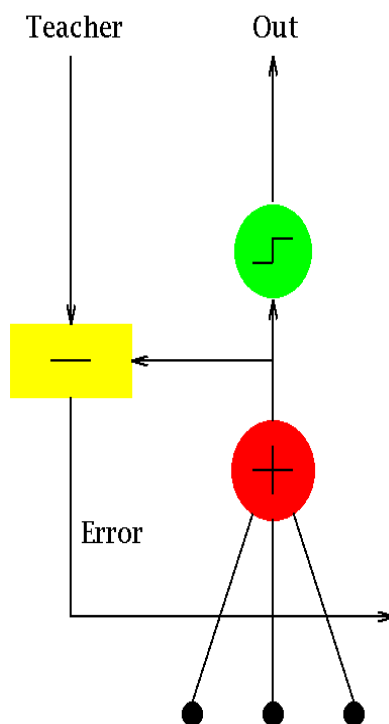
Celem ćwiczenia było poznanie budowy i działania jednowarstwowych sieci neuronowych oraz uczenie rozpoznawania wielkości liter.

1) Syntetyczny opis budowy wykorzystanego algorytmu uczenia:

Aby wykonać ćwiczenie stworzyłem dwie jednowarstwowe sieci – każdą z wykorzystaniem innego algorytmu. Pierwsza z nich korzysta z modelu perceptronu McCullocha-Pittsa, druga z kolei wykorzystuje neuron typu Adaline.

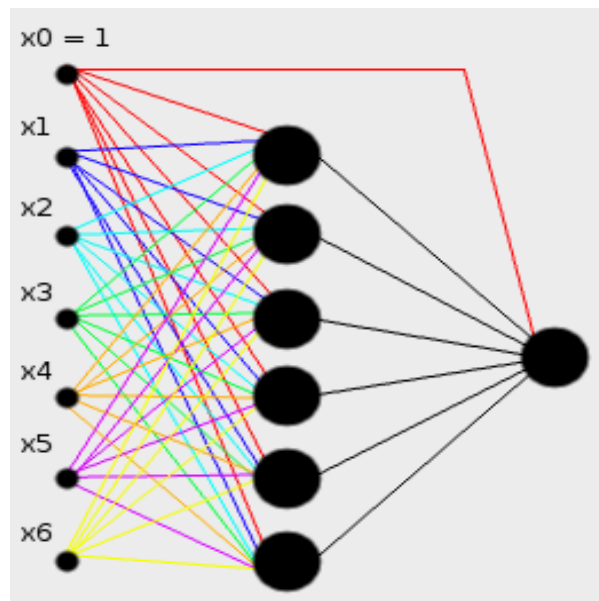


Ilustracja 1: Model perceptronu McCullocha-Pittsa



Ilustracja 2: Model neuronu Adaline

Obie sieci składają się z siedmiu neuronów. Sześć pierwszych stanowi pierwszą warstwę i przesyła sygnały wyjściowe do siódmego wyjściowego neuronu. Każdy z neuronów otrzymuje po siedem sygnałów wejściowych. Sposób w jaki wszystko zostało połączone przedstawiam na poniższej grafice:



Ilustracja 3: Graficzne zilustrowanie połączeń w sieci

Do nauki perceptronów oraz adaline wykorzystałem algorytm Widrow-Hoffa.

Do budowy perceptronu wykorzystałem podany na wykładzie model McCullocha-Pittsa. Zaimplementowana przeze mnie klasa Perceptron składa się z trzech metod: `active`, `process` oraz `learn`.

Metoda **active** wykorzystuje unipolarną funkcję progową która zwraca wynik 0 lub 1 dla podanego argumentu.

$$f(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } w \cdot x + b > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Metoda **process** sumuje iloczyn sygnałów wejściowych i odpowiadających im wag. Uruchamia metodę `activate` z otrzymaną sumą iloczynów jako parametrem, oraz zwraca wynik tej metody.

$$\sum_{i=1}^m w_i x_i$$

Metoda **learn** wywołuje metodę `process` dla otrzymanych wejść jako parametrów, po czym na podstawie otrzymanego wyniku modyfikuje wszystkie wagi dla odpowiednich wejść.

$$W_i = W_i + (y - y') * x_i * \alpha$$

Budowa adaline jest bardzo podobna do budowy perceptronu. Różni się tylko tym, że modyfikowanie wag wykonuje się z pominięciem funkcji aktywacji. Zaimplementowana przeze mnie klasa Adaline składa się z czterech metod: active, process, learn oraz test.

Metoda **active** wykorzystuje unipolarną funkcję progową która zwraca wynik -1 lub 1 dla podanego argumentu.

$$f(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } w \cdot x + b > 0 \\ -1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Metoda **process** sumuje iloczyn sygnałów wejściowych i odpowiadających im wag, oraz zwraca ten wynik.

$$\sum_{i=1}^m w_i x_i$$

Metoda **learn** wywołuje metodę process dla otrzymanych wejść jako parametrów, po czym na podstawie otrzymanego wyniku modyfikuje wszystkie wagi dla odpowiednich wejść.

$$W_i = W_i + (y - y') * x_i * \alpha$$

Metoda **test** uruchamia metodę active z wynikiem metody process jako parametrem.

2) Zestawienie otrzymanych wyników:

Jako dane uczące i testujące wykorzystałem własnoręcznie stworzone litery alfabetu. Są one przedstawione jako dwuwymiarowa tablica o rozmiarach 7 x 5. Przedstawiam je poniżej:

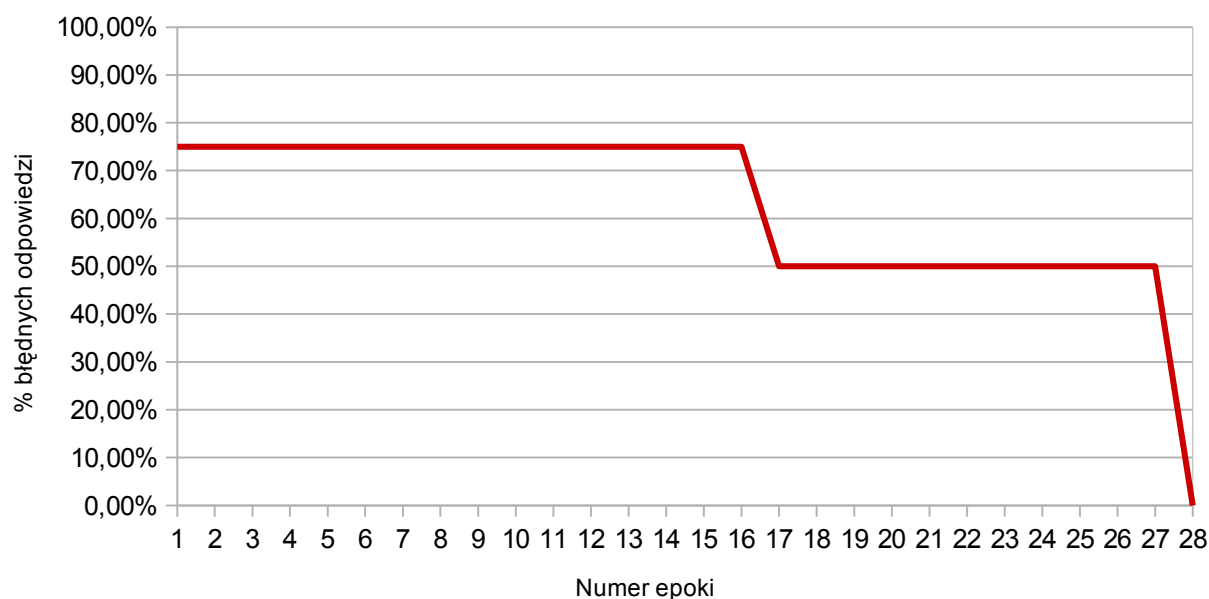
<div>00100 01010 10001 11111 10001 10001 10001</div>	<div>00000 00000 00000 01110 10010 10010 01111</div>	<div>11110 10001 10001 11110 10001 10001 11110</div>	<div>10000 10000 10000 11100 10010 10010 11100</div>	<div>01111 10000 10000 10000 10000 10000 01111</div>	<div>00000 00000 00000 01110 10000 10000 01110</div>	<div>11110 10001 10001 10001 10001 10001 11110</div>	<div>00010 00010 00010 01110 10010 10010 01110</div>	<div>11111 10000 10000 11111 10000 10000 11111</div>	<div>00000 00000 00000 01100 10100 11000 01100</div>
<div>11111 10000 10000 11111 10000 10000 10000</div>	<div>00000 01100 10000 11100 10000 10000 10000</div>	<div>01111 10000 10000 10000 10001 10001 01111</div>	<div>00000 00000 00100 01010 00110 00010 01100</div>	<div>10001 10001 10001 11111 10001 10001 10001</div>	<div>10000 10000 10000 11100 10100 10100 11000</div>	<div>00100 00100 00100 00100 00100 00100 00100</div>	<div>00000 00000 00000 00100 00000 00000 00100</div>	<div>01110 00010 00010 00010 00110 01010 00100</div>	<div>00000 00100 00000 00000 00100 00100 01100</div>
<div>10001 10010 10100 11000 10100 10010 10001</div>	<div>10000 10100 10100 11000 10100 10100 10100</div>	<div>00100 00100 00100 00100 00100 00100 00111</div>	<div>10000 10000 10000 10000 10000 10000 11000</div>	<div>01010 00000 00000 00000 00000 01010 10001</div>	<div>00000 00000 00000 00000 00000 01010 10001</div>	<div>11001 11001 10101 10101 10101 10011 10011</div>	<div>00000 00000 00000 00000 01110 01010 01010</div>	<div>01110 10001 10001 10001 10001 10001 01110</div>	<div>00000 00000 00000 00000 00100 01010 00100</div>

<table><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	<table><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	<table><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr></table>	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	<table><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	<table><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	<table><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	<table><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	<table><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	<table><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	<table><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
1	1	1	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	0	0	0	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	0	0	0	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	1	1	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	1	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	0	1	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	1	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	1	1	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	0	0	0	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	0	0	0	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	0	0	0	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	0	0	0	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	0	0	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	1	1	0	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	1	1	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	0	0	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	0	0	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	1	0	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	1	1	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	0	0	0	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	0	0	0	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	1	1	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	0	1	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	0	0	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	0	0	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	0	1	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	1	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	1	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	1	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	1	1	1	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	1	1	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	0	0	0	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	0	0	0	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	1	1	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	0	1	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	1	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	1	1	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	0	1	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	1	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	1	1	1	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	0	1	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	0	1	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	0	1	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	0	1	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	0	1	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	0	1	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	1	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	1	1	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	1	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	1	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	1	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	1	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	1	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
<table><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	<table><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	<table><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	<table><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	<table><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	<table><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	<table><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0																																																																																																												
1	0	0	0	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	0	0	0	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	0	0	0	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	0	0	0	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	0	0	0	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	0	0	0	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	1	1	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	1	0	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	1	0	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	1	1	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	0	0	0	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	0	0	0	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	0	0	0	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	0	0	0	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	0	0	0	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	0	0	0	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	1	0	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	0	0	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	0	1	0	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	1	0	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	0	0	0	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	0	0	0	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	1	0	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	1	0	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	1	0	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	1	0	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	0	1	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	0	0	0	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	1	0	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	1	0	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	1	0	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	1	0	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	1	0	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	0	1	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	0	0	0	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	1	0	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	1	0	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	1	0	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	1	0	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	1	0	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	0	1	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
<table><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	<table><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																
1	1	1	1	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	0	0	0	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	0	0	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	0	1	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	1	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	1	1	1	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	1	1	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	0	1	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0	1	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	1	1	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			

Obszar 7 x 5 podzieliłem na 6 obszarów. Każdy obszar to jeden sygnał wejściowy do neuronów. Jeżeli w danym obszarze pojawił się choćby jeden piksel z litery to obszar zwracał sygnał 1, w przeciwnym wypadku zwracał sygnał 0. Poniżej sposób podziału tablicy na obszary, oraz przykład dla dużej i małej litery „M”:

Do uczenia perceptronu wybrałem funkcję logiczną AND.

Na początku zacząłem uczyć perceptron w taki sposób, że przysyłałem mu wszystkie kombinacje danych wejściowych taką samą ilość razy. Wszystkie wagi początkowe ustawiłem na wartość równą 0.5. Z kolei współczynnik uczenia się ustawiłem na wartość 0.01. Proces uczenia wymagał 28 powtórzeń. Poniżej prezentacja na wykresie:



Następnie zacząłem eksperymentować z różnymi wagami początkowymi. W każdym kolejnym teście sprawdzałem jak długo zajmie nauka w zależności od wag początkowych. Warunki testu identyczne jak do tego powyżej. Poniżej wyniki:

Waga początkowa	Ilość powtórzeń
0	5
0.05	3
0.08	5
0.13	8
0.17	10
0.2	11

Kolejnym krokiem było sprawdzenie jak będzie wyglądał proces uczenia się dla różnych współczynników uczenia się. Test taki sam jak powyżej, jednak wagi początkowe są równe 0.5. Poniżej przedstawiam wyniki:

Współczynnik uczenia	Ilość powtórzeń
0.01	28
0.1	3
0.5	5
1.2	1
5	5

Następnie sprawdziłem jak będą wyglądać wyniki dla różnej ilości danych uczących. Tym razem jednak ustaliłem stałą wartość dla wszystkich wag początkowych równą 0.5 a współczynnik uczenia wynosił 0.1. Poniżej przedstawiam wyniki dla różnych kombinacji danych wejściowych i ilości ich powtórzeń:

x1	x2	Ilość powtórzeń	wynik	x1	x2	Ilość powtórzeń	wynik
0	0	1	błędny	0	0	2	błędny
0	1	1		0	1	2	
1	0	1		1	0	2	
1	1	1		1	1	2	

x1	x2	Ilość powtórzeń	wynik	x1	x2	Ilość powtórzeń	wynik
0	0	4	poprawny	0	0	4	poprawny
0	1	3		0	1	3	
1	0	2		1	0	2	
1	1	1		1	1	0	

x1	x2	Ilość powtórzeń	wynik
0	0	6	poprawny
0	1	3	
1	0	1	
1	1	0	

3) Analiza i dyskusja błędów uczenia i testowania opracowanego perceptronu w zależności od wartości współczynnika uczenia oraz liczby danych uczących:

Uczenie się perceptronu zależy od trzech czynników: wag początkowych, współczynnika uczenia oraz od danych uczących. Jak widać na powyższych danych, wagi początkowe wpływają na szybkość uczenia się jednak współczynnik uczenia wpływa na to o wiele bardziej, ponieważ wagi i tak ulegają ciągłej modyfikacji. Jednak w głównej mierze to od danych uczących zależy czy perceptron będzie w stanie się nauczyć czy też nie, co wyraźnie widać na ostatnim teście. W przypadku funkcji logicznej AND nie musiałem podawać perceptronowi do nauczania się danych wejściowych [1,1] ani razu, jednak musiałem go nauczyć pozostałych trzech kombinacji odpowiednią ilość razy, w przeciwnym wypadku wynik był błędny.

4) Sformułowanie wniosków:

Dla pojedynczego perceptronu proces uczenia jest bardzo prosty. Jesteśmy w stanie nauczyć go prostej funkcji logicznej w zaledwie kilku krokach. Całość opiera się o wykonywanie tych samych operacji dla różnych danych wejściowych i odpowiednim modyfikowaniu wag.

W całym procesie uczenia się najważniejsze są dane uczące. Należy dobrać je w odpowiedni sposób i powtórzyć uczenie się na ich podstawie odpowiednią ilość razy. W przeciwnym wypadku wyniki będą niepoprawne. Wagi początkowe również wpływają na proces uczenia, jednak mają one raczej marginalne znaczenie. O wiele większe znaczenie ma współczynnik uczenia. Jeżeli wybierzemy za mały, to perceptronowi zajmie bardzo długo, aż uzyskamy odpowiednie wyniki. Z kolei za duża wartość tego współczynnika może sprawić, że nie będziemy w stanie w ogóle trafić w odpowiednie wagi, lub też zajmie to bardzo dużo czasu. Dlatego właśnie musimy dokonać optymalnego wyboru współczynnika uczenia.

5) Listing całego kodu

```
package perceptron;

import java.util.Random;

public class Perceptron {

    private int noi; //ilość wejść
    private double[] w; //wagi

    public Perceptron ( int numbers_of_inputs ) {
        noi = numbers_of_inputs;
        w = new double[noi];

        for ( int i = 0; i < noi; i++ )
            w[i] = new Random().nextDouble(); //wagi początkowe są losowane
    }

    //funkcja aktywująca
    private int active ( double y_p ) {
        return y_p < 0 ? 0 : 1;
    }

    //sumator
    public int process ( int[] x ) {
        double y_p = 0;

        for ( int i = 0; i < noi; i++ )
            y_p += x[i] * w[i];

        return active( y_p );
    }

    //uczenie
    public void learn ( int[] x, double y, double lr ) {
        double y_p = process( x );

        for ( int i = 0; i < noi; i++ )
            w[i] += ( y - y_p ) * lr * x[i];
    }

    public double getW ( int i ) {
        return w[i];
    }
}
```

```
package perceptron;

import java.util.Arrays;

public class Main {

    public static void main ( String[] args ) {

        int number_of_inputs = 3;
        Perceptron perc = new Perceptron( number_of_inputs );

        int n = 0; //licznik ilości epok uczenia się
        int r = 4; //rozmiar tablic danych wejściowych
        double learning_rate = 0.1; //krok uczenia się
        int x0 = 1; //bias

        int[] x1 = { 0, 0, 1, 1 }; //dane wejściowe do AND
        int[] x2 = { 0, 1, 0, 1 };

        int[] y = { 0, 0, 0, 1 }; // dane oczekiwane do AND
        int[] wyj = new int[4]; //tablica przechowująca wyniki testowania perceptronu

        //uczenie perceptronu
        while ( ! Arrays.equals( y, wyj ) ) {
            for ( int i = 0; i < r; i++ )
                perc.learn( new int[] { x0, x1[i], x2[i] }, y[i], learning_rate );

            for ( int i = 0; i < r; i++ )
                wyj[i] = perc.process( new int[] { x0, x1[i], x2[i] } );

            n++;
        }
        System.out.println( "Ilość kroków do nauczenia się = " + n );
    }
}
```

Bibliografia:

https://pl.wikipedia.org/wiki/Neuron_McCullocha-Pittsa

<https://en.wikipedia.org/wiki/ADALINE>

<https://en.wikipedia.org/wiki/Perceptron>