

Wprowadzenie do sieci neuronowych

dr Piotr Fulmański
mgr Konrad Kosmatka

Łódzkie Dni Informatyki
21 listopada 2019 r.



Plan wykładu



- 1 Naturalne sieci neuronowe
- 2 Sztuczne sieci neuronowe
- 3 Zadanie

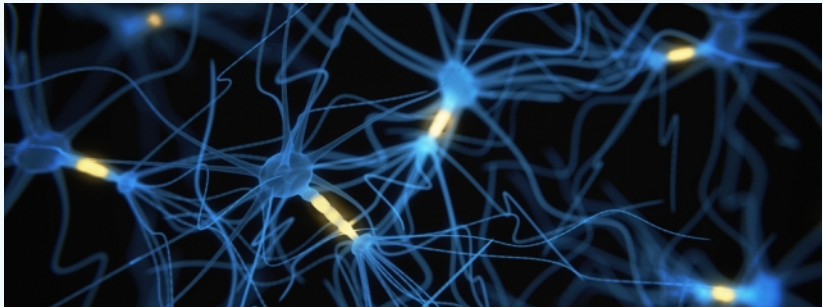
Biologiczna sieć neuronowa



Naśladowanie rozwiązań występujących w naturze aby rozwiązać różne problemy jest praktykowane od dawna.

Wszystkie akcje ludzi i zwierząt są koordynowane przez nasz wewnętrzny procesor, tj. **mózg**. Jego wewnętrzna struktura, czyli **biologiczna sieć neuronowa** jest zbudowana z:

- komórek nerwowych – neuronów,
- komórek glejowych.



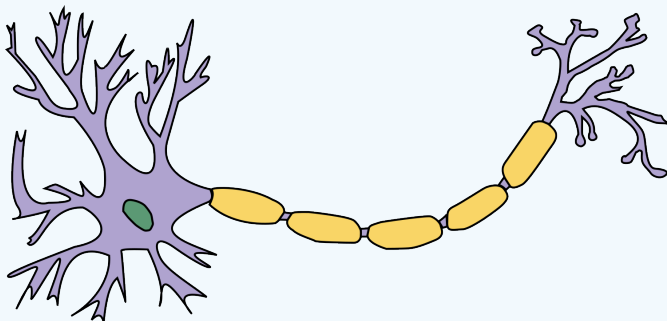
Biologiczna sieć neuronowa



Neurony to komórki nerwowe, które różnią się kształtem, rozmiarem i właściwościami. Posiadają zdolność do odbierania, przetwarzania i przekazywania sygnałów elektrochemicznych. Od ich konkretnych parametrów zależy w jaki sposób to robią.

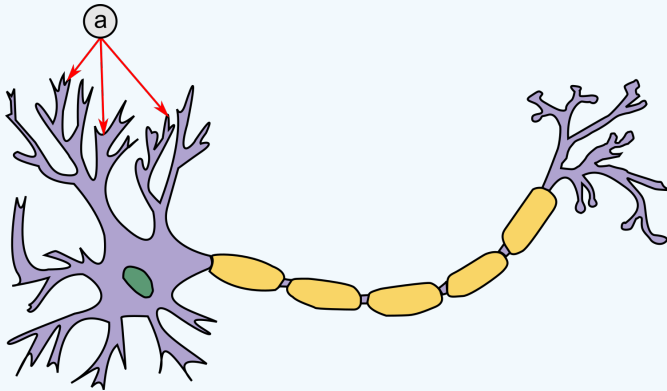
Komórki glejowe stanowią wypełniacz przestrzeni, w której występują neurony. Chronią tkanki nerwowe i zaopatrują je w substancje odżywcze.

Biologiczny neuron



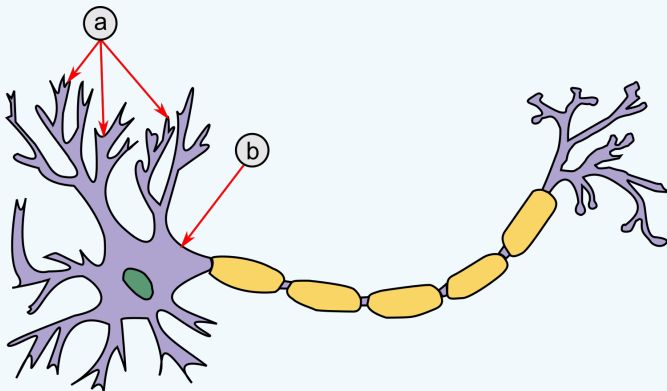
Źródło: <https://en.wikipedia.org/wiki/Neuron>

Biologiczny neuron



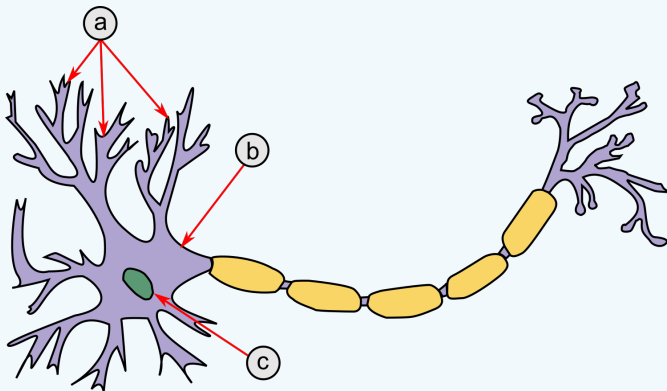
- a) **Dendryty** stanowią rozgałęzienie ciała komórki neuronu i służą do odbioru sygnału od innych neuronów. Ich ilość wynosi kilka tysięcy.

Biologiczny neuron



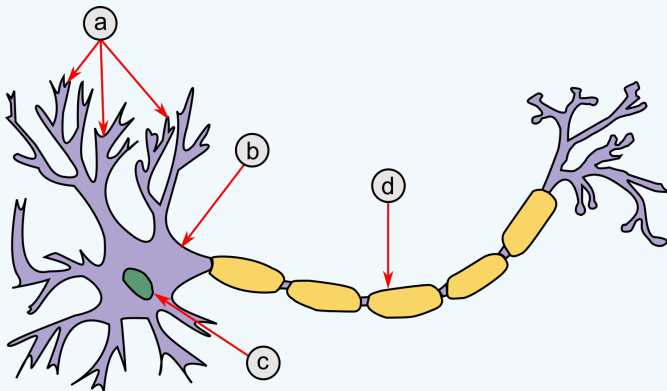
- b** **Ciało komórki** zawiera wszystkie struktury, potrzebne do biologicznego funkcjonowania komórki (jądro, rybosomy, mitochondrium) i przetwarza sygnały.

Biologiczny neuron



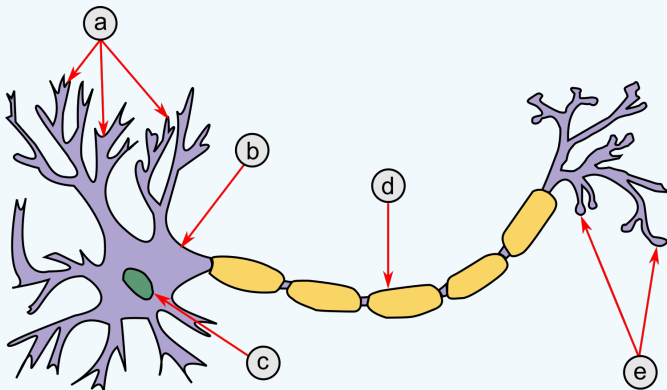
- c** **Jądro komórkowe** przechowuje i powiela informację genetyczną, a także kontroluje czynności komórki. Jego obumarcie oznacza śmierć komórki.

Biologiczny neuron



- d **Akson** przekazuje impulsy elektrochemiczne na zewnątrz komórki. Jego długość jest kilka lub kilkadziesiąt razy większa niż średnica ciała komórki.

Biologiczny neuron



- (e) **Synapsy** to rozgałęzienia aksonu, w których dochodzi do zamiany sygnału elektrycznego na sygnał chemiczny, a następnie do przekazywania sygnału z jednej komórki do innej.

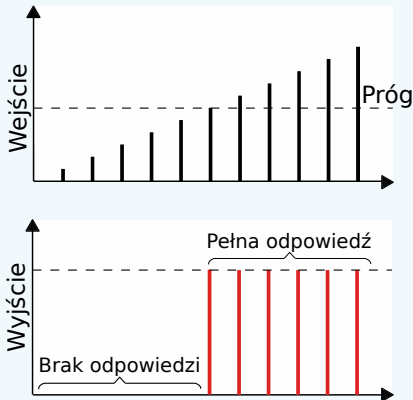
Zasada wszystko albo nic



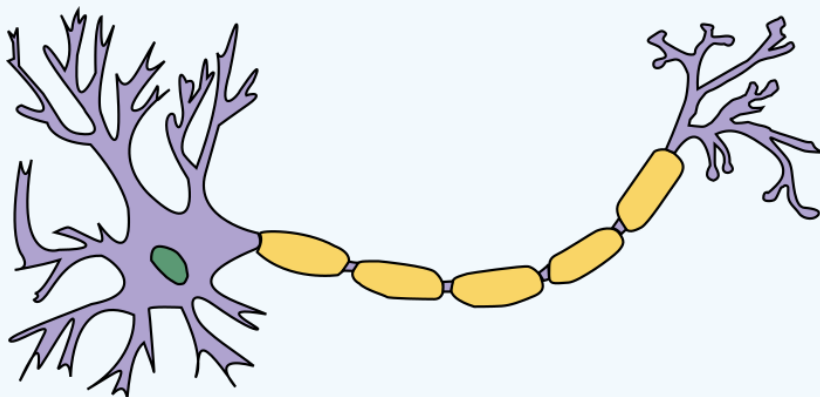
Działanie neuronu polega na zasadzie **wszystko albo nic**.

Neuron przekaże sygnał tylko po przekroczeniu pewnego poziomu impulsów wejściowych.

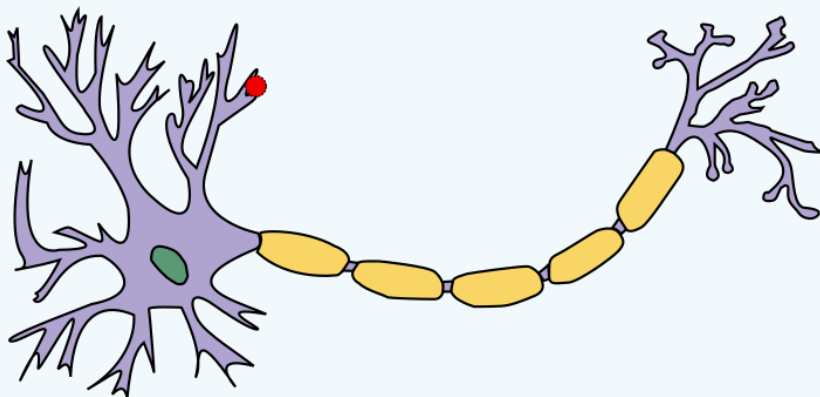
Silniejsza stymulacja neuronów nie prowadzi do wytwarzania silniejszych potencjałów, ale do zwiększenia ich częstotliwości.



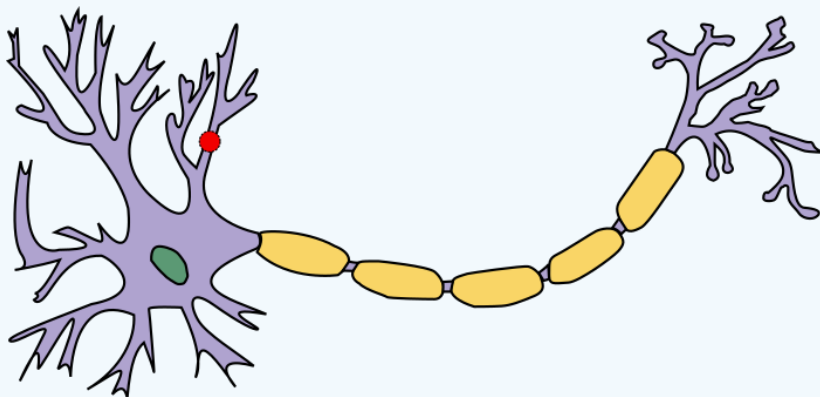
Działanie biologicznego neuronu



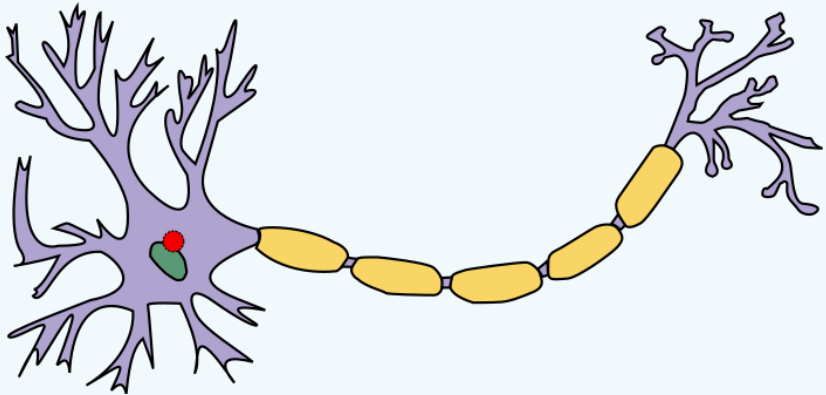
Działanie biologicznego neuronu



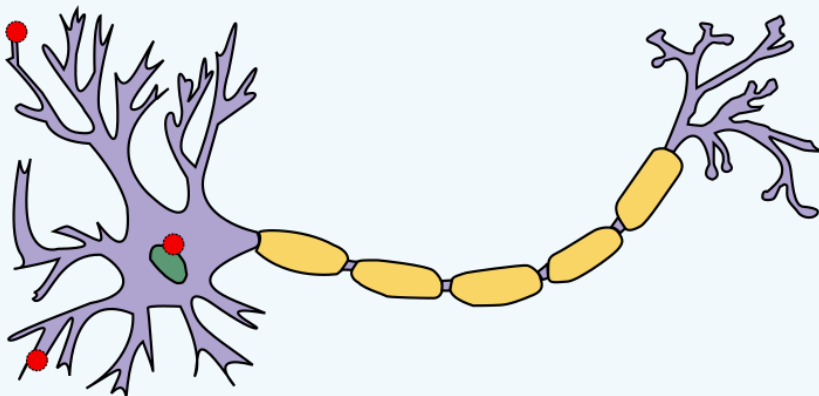
Działanie biologicznego neuronu



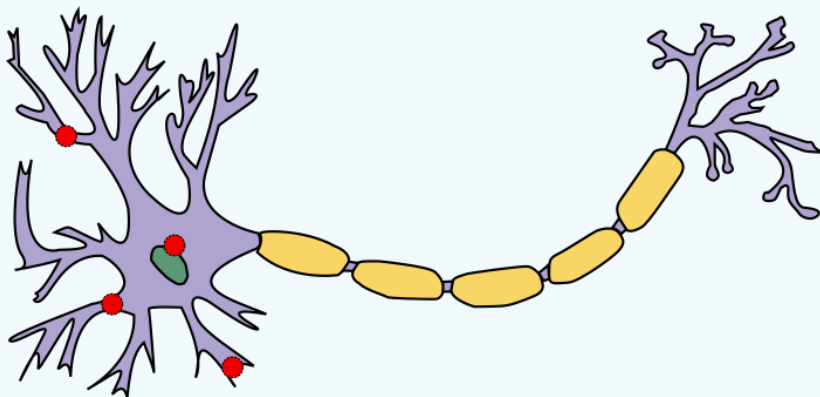
Działanie biologicznego neuronu



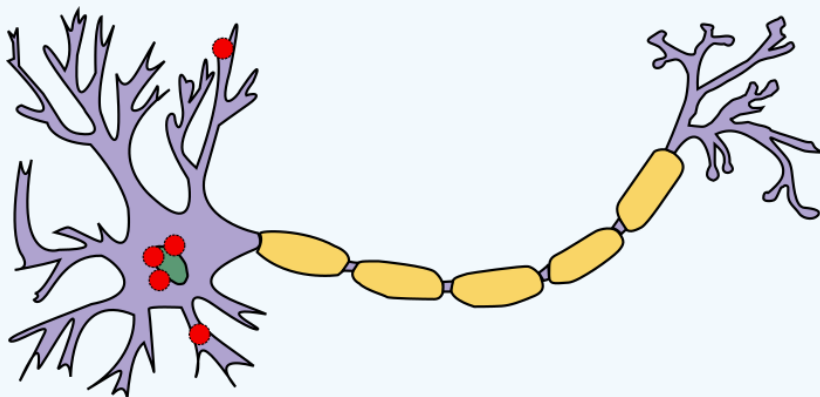
Działanie biologicznego neuronu



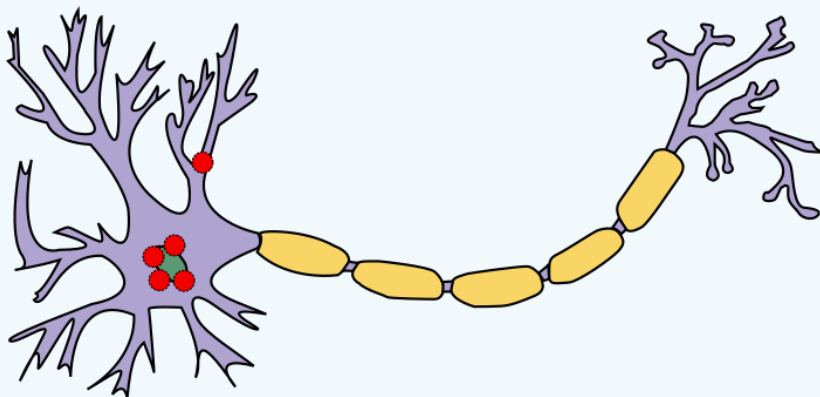
Działanie biologicznego neuronu



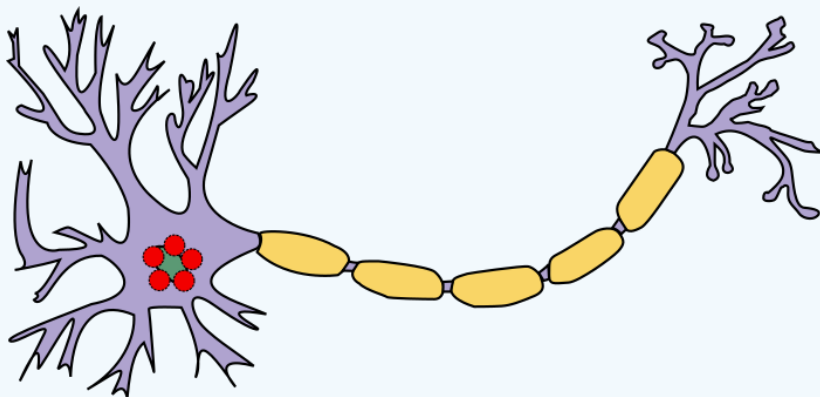
Działanie biologicznego neuronu



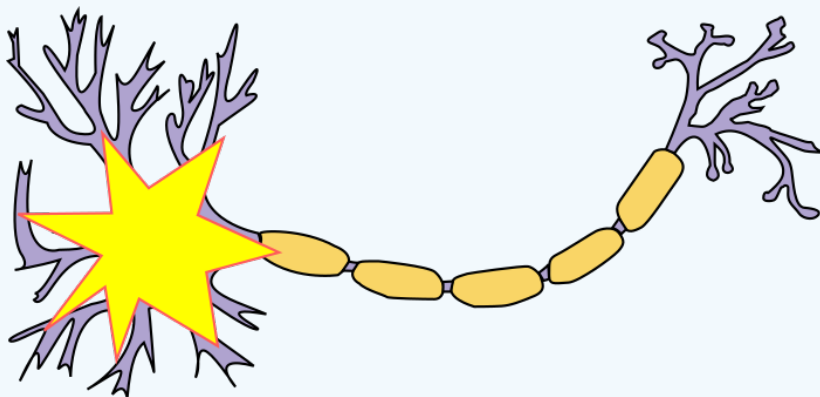
Działanie biologicznego neuronu



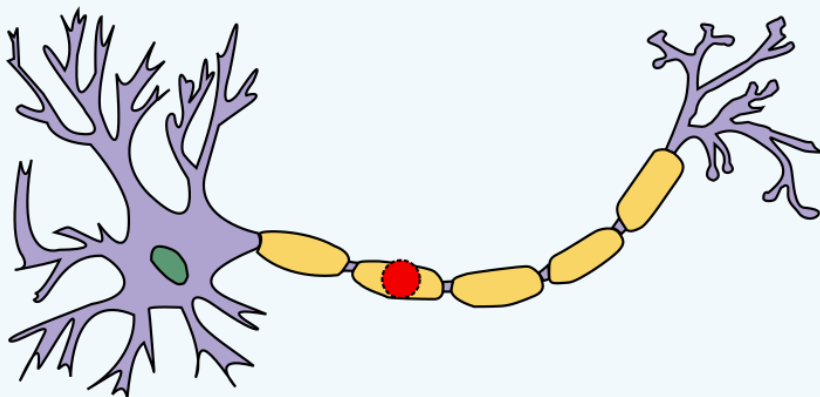
Działanie biologicznego neuronu



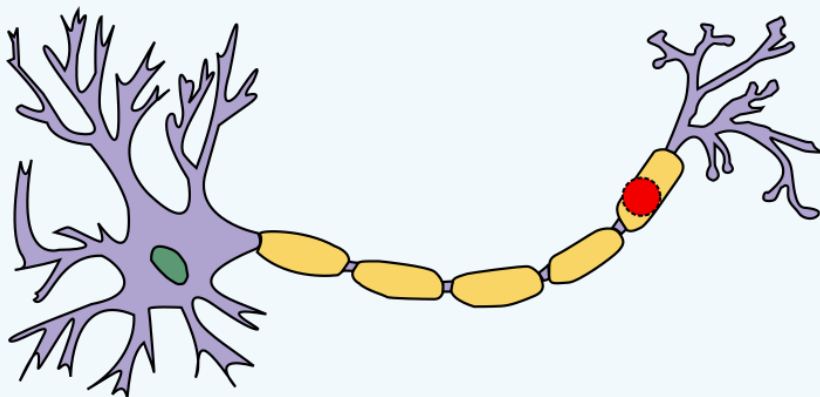
Działanie biologicznego neuronu



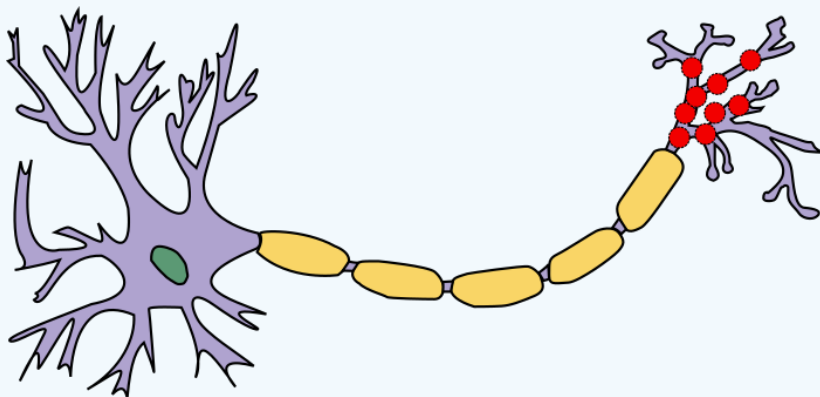
Działanie biologicznego neuronu



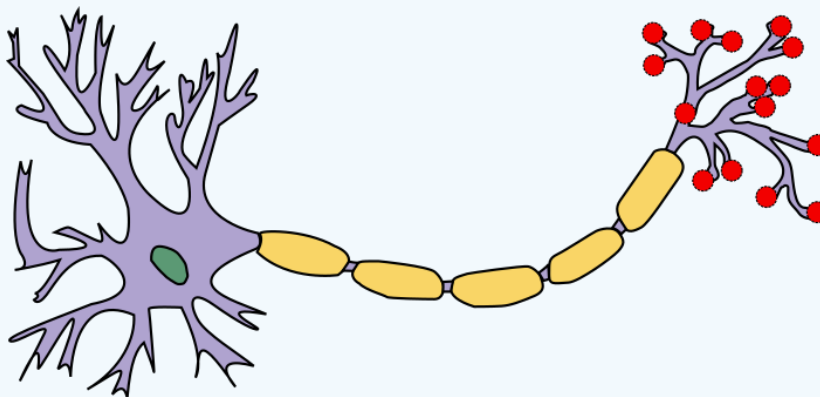
Działanie biologicznego neuronu



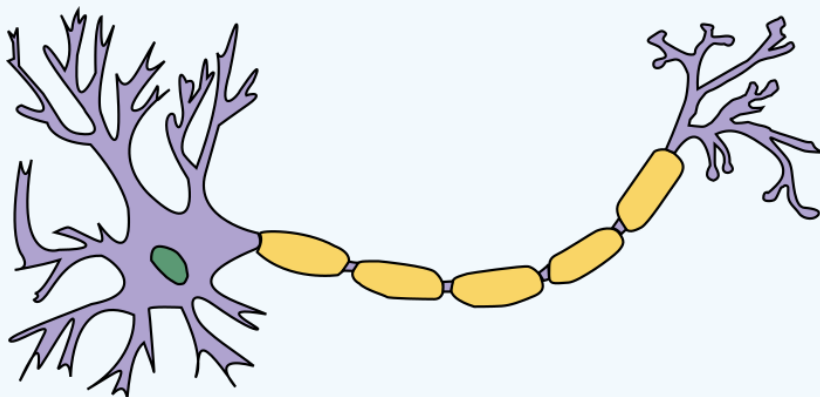
Działanie biologicznego neuronu



Działanie biologicznego neuronu



Działanie biologicznego neuronu





Fakty i dane liczbowe

- Ludzki mózg posiada przeciętnie 8.6×10^{10} neuronów.
- Każdy neuron ma około **7000** połączeń z innymi neuronami.
- Mózg dziecka posiada w przybliżeniu 10^{15} synaps.
- Wraz z wiekiem ich ilość spada do ponad 10^{14} dla osoby dorosłej.

Biorąc pod uwagę licznosc neuronów, połączeń między nimi, a także złożoność ich właściwości, obecnie nie jesteśmy w stanie odwzorować działania naszego mózgu.

Biologiczny mózg to model, na podstawie którego powstały **sztuczne sieci neuronowe**, implementowane programowo przez pewien algorytm lub w postaci układu elektronicznego, jednak w sposób znacznie bardziej uproszczony.

Definicja sztucznej sieci

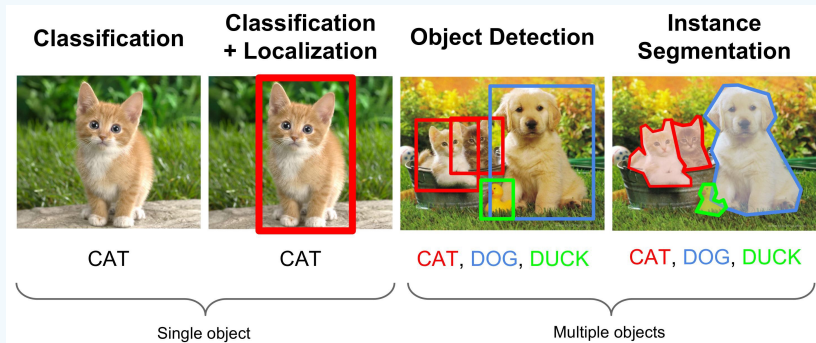


Sztuczna sieć neuronowa (ang. artificial neural network) to połączenie określonej ilości sztucznych neuronów, które implementują pewien matematyczny model obliczeniowy w celu przetwarzania informacji i rozwiązywania konkretnych zadań.

Sieci neuronowe są w obecnych czasach popularnym przedmiotem badań naukowców, czy praktycznej implementacji przez inżynierów.

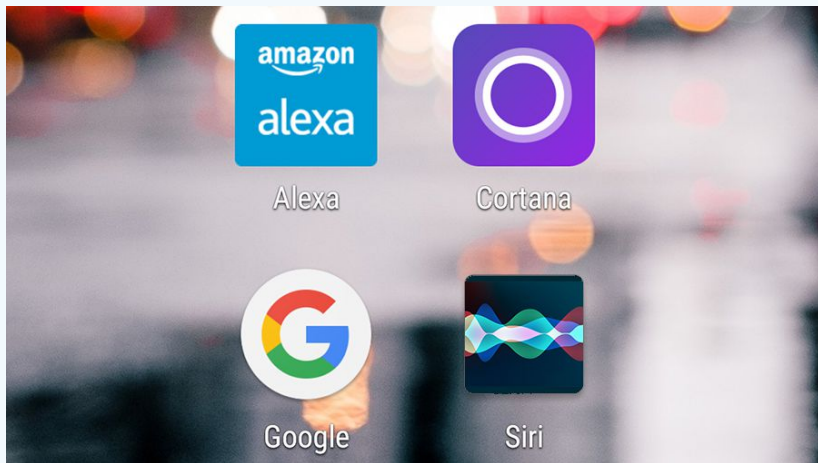
Co więcej, są używane przez każdego z nas w życiu codziennym, mniej lub bardziej świadomie.

Analiza obrazów



Źródło: <https://medium.com/zylapp/review-of-deep-learning-algorithms-for-object-detection-c1f3d437b852>

Rozpoznawanie i synteza dźwięków oraz mowy



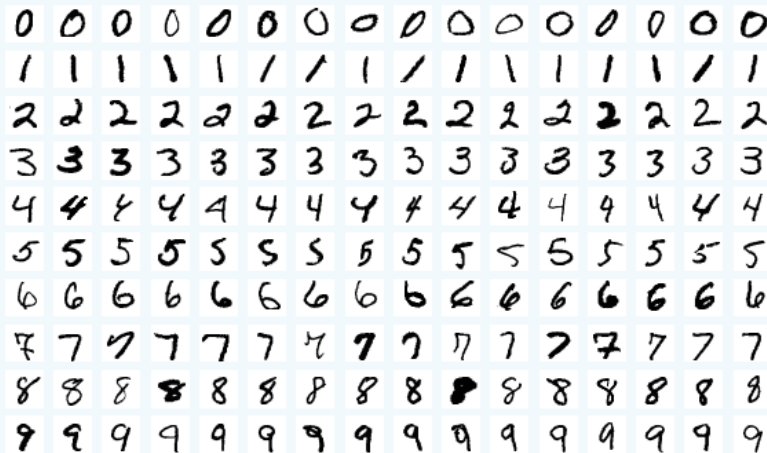
Źródło: <https://www.t3.com/news/siri-vs-google-assistant-vs-cortana-vs-alexa-battle-of-the-ai-assistants>

Tłumaczenie maszynowe



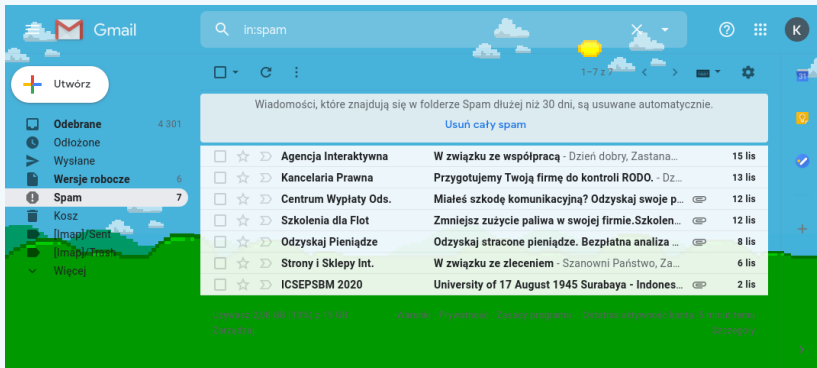
The screenshot displays the Google Translate website. At the top, the Google Translate logo is on the left, and a 'Sign in' button is on the right. Below the logo, there are two tabs: 'Text' (selected) and 'Documents'. The main interface shows two language selection dropdowns. The first dropdown is set to 'POLISH' (with a small 'v' icon), and the second dropdown is set to 'ENGLISH' (with a small 'v' icon). Below these, there are two text input areas. The left area contains the Polish text: 'Google Translate wykorzystuje sieci neuronowe do tłumaczenia tekstu.' and has a close button (X). The right area contains the English translation: 'Google Translate uses neural networks to translate text.' and has a star icon. At the bottom of the input areas, there are icons for voice input (microphone) and audio output (speaker). The left area also shows a character count '68/5000' and a keyboard icon. The right area has a copy icon and a more options icon (three dots). At the bottom right of the interface, there is a link that says 'Send feedback'.

Rozpoznawanie pisma



Źródło: https://en.wikipedia.org/wiki/MNIST_database

Filtrowanie spamu



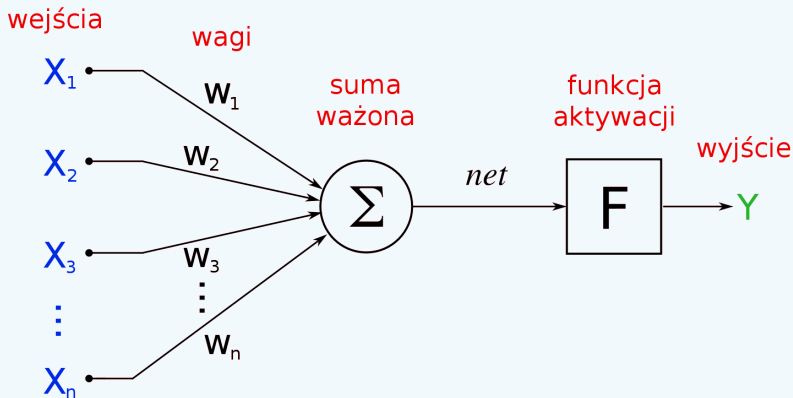
Zastosowania sztucznych sieci neuronowych



Inne zastosowania to:

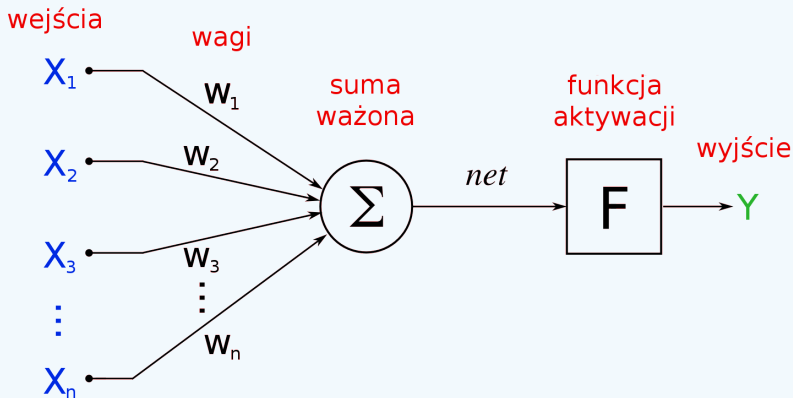
- eksploracja danych (kojarzenie, kategoryzowanie, wyszukiwanie),
- generowanie realistycznych obrazów,
- sterowanie systemami (np. autonomiczne pojazdy),
- prognozowanie (np. ekonomiczne),
- diagnozowanie chorób,
- ... i wiele, wiele innych.

Model sztucznego neuronu



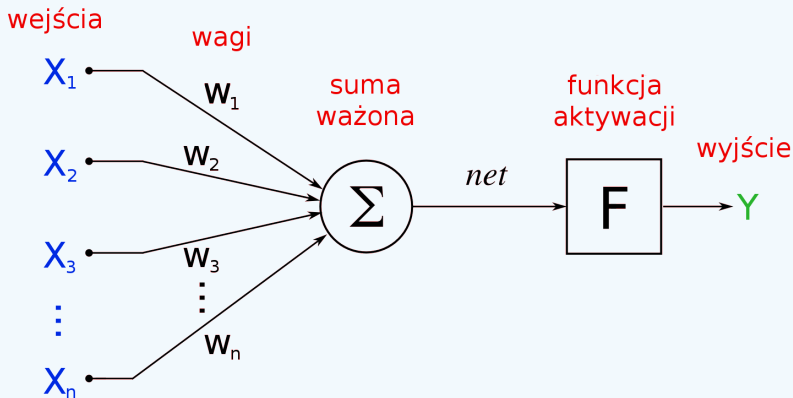
Wejście neuronu to wektor x posiadający n elementów.
Jest to odpowiednik dendrytów w biologicznym neuronie.

Model sztucznego neuronu



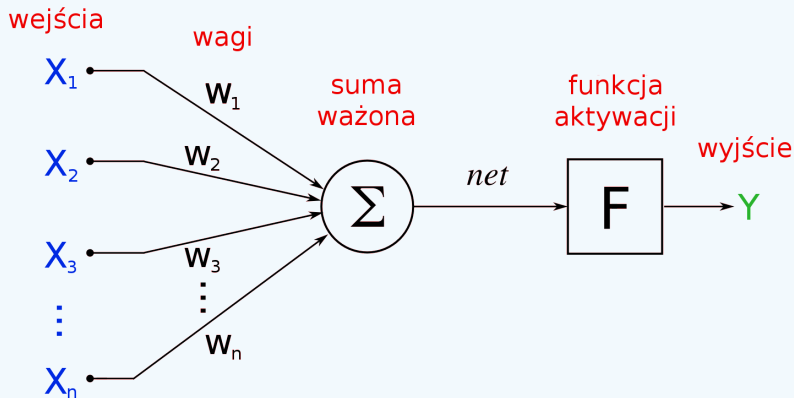
Każde wejście posiada przyporządkowaną wagę w .

Model sztucznego neuronu



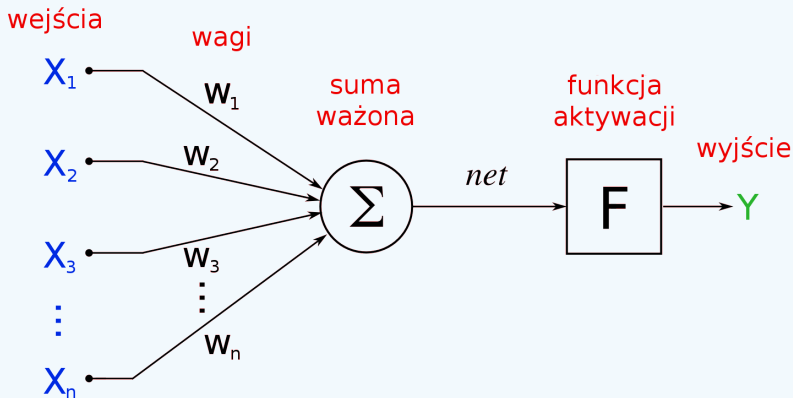
Neuron oblicza swoje **pobudzenie** *net*, czyli sumę ważoną.
Jest to iloczyn skalarny wejść x oraz wag w .

Model sztucznego neuronu



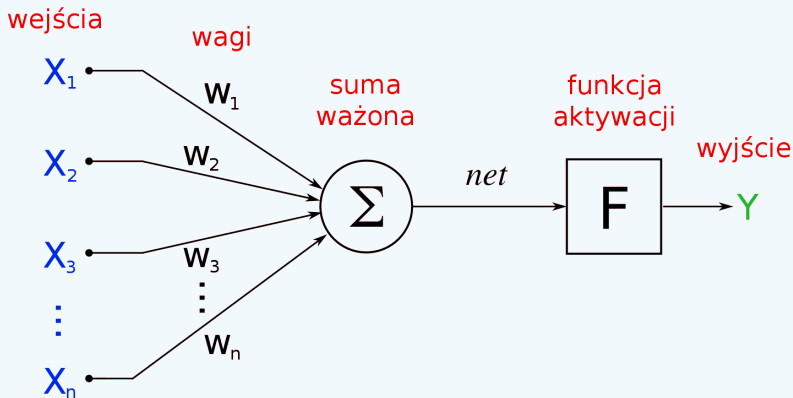
$$net = x_1 w_1 + x_2 w_2 + \cdots + x_n w_n = \sum_{i=1}^n x_i w_i$$

Model sztucznego neuronu



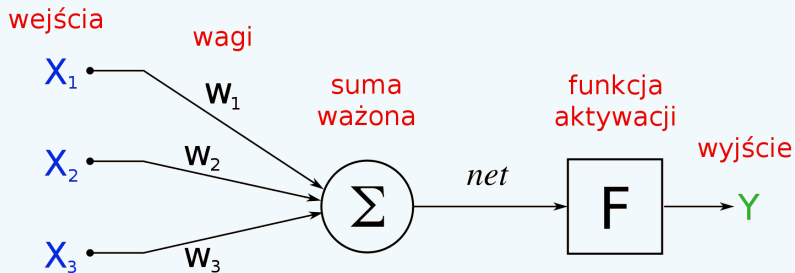
Wartość funkcji aktywacji $F(net)$ to wyjście Y z neuronu.
Jest to odpowiednik aksonu i synapsy w biologicznym neuronie.

Model sztucznego neuronu

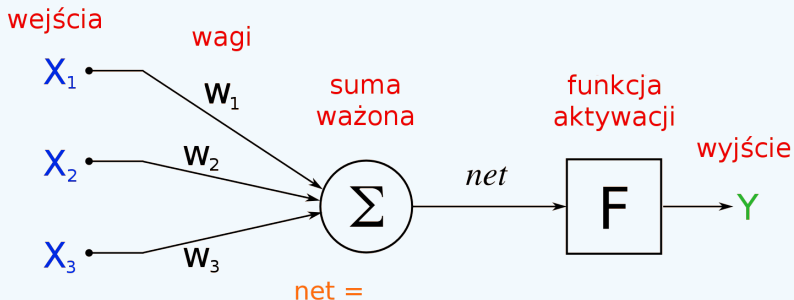


$$Y = F(net) = F\left(\sum_{i=1}^n x_i w_i\right)$$

Model sztucznego neuronu - obliczenia

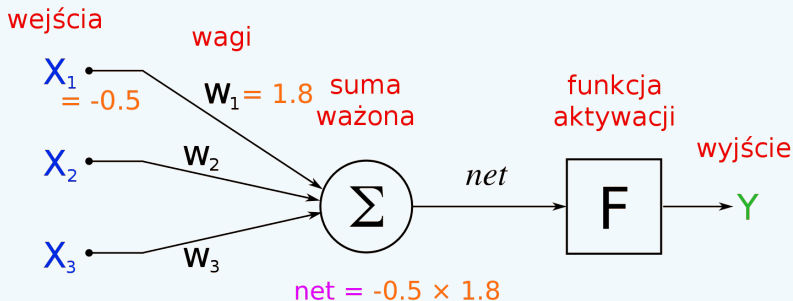


Model sztucznego neuronu - obliczenia



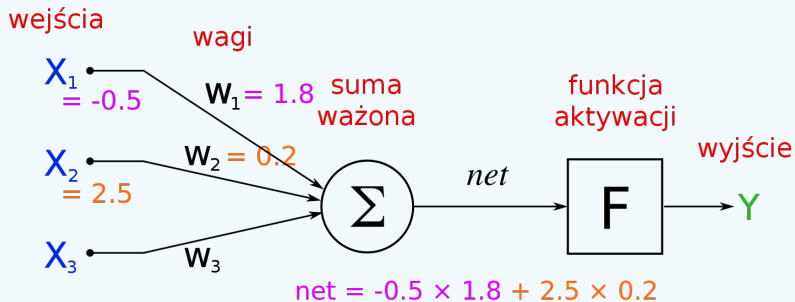
Obliczamy pobudzenie neuronu.

Model sztucznego neuronu - obliczenia



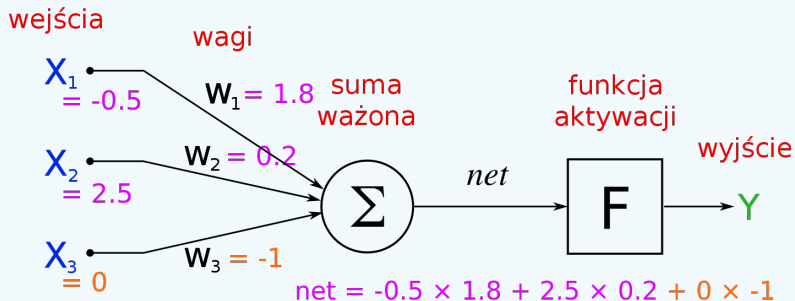
Obliczamy pobudzenie neuronu.

Model sztucznego neuronu - obliczenia



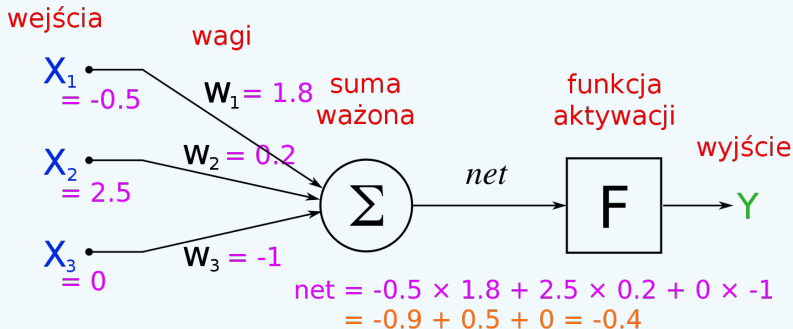
Obliczamy pobudzenie neuronu.

Model sztucznego neuronu - obliczenia



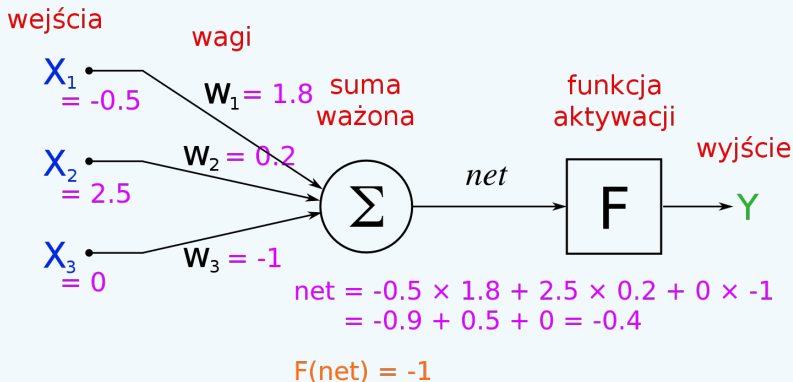
Obliczamy pobudzenie neuronu.

Model sztucznego neuronu - obliczenia



Obliczamy pobudzenie neuronu.

Model sztucznego neuronu - obliczenia

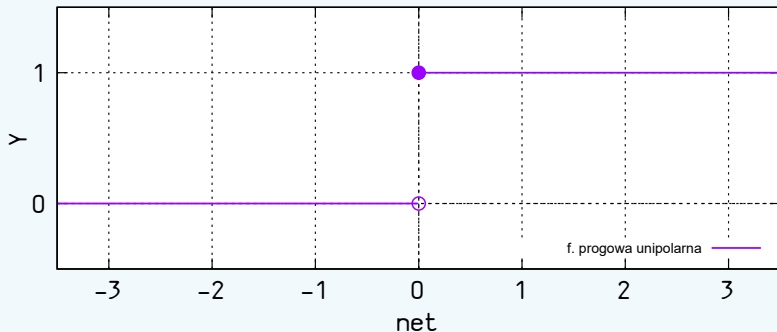


Obliczamy wyjście neuronu. Jako F przyjmujemy funkcję **signum** - wartość -1 dla ujemnych argumentów, 0 dla zera i 1 dla dodatnich.



Funkcja progowa

Funkcja aktywacji w sztucznych sieciach neuronowych jest odpowiednikiem biologicznego progu aktywacji neuronu.

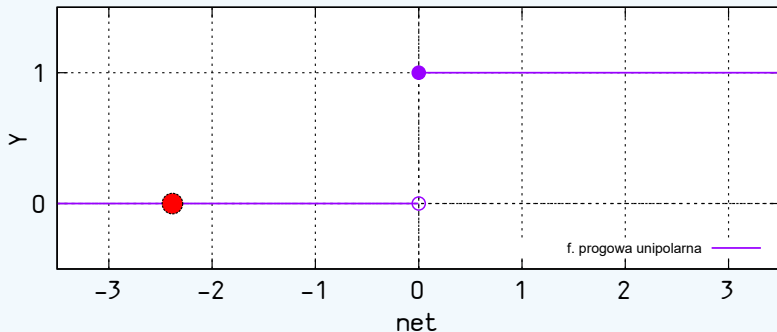


$$\mathcal{F}(net) = \begin{cases} 1, & \text{gdy } net \geq 0, \\ 0, & \text{gdy } net < 0. \end{cases}$$



Funkcja progowa

Funkcja aktywacji w sztucznych sieciach neuronowych jest odpowiednikiem biologicznego progu aktywacji neuronu.

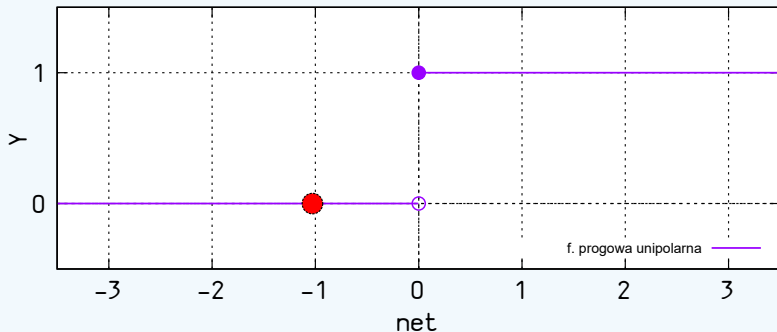


$$\mathcal{F}(net) = \begin{cases} 1, & \text{gdy } net \geq 0, \\ 0, & \text{gdy } net < 0. \end{cases}$$



Funkcja progowa

Funkcja aktywacji w sztucznych sieciach neuronowych jest odpowiednikiem biologicznego progu aktywacji neuronu.

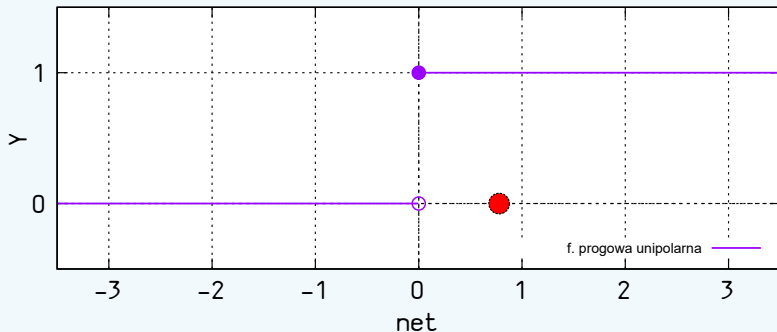


$$\mathcal{F}(net) = \begin{cases} 1, & \text{gdy } net \geq 0, \\ 0, & \text{gdy } net < 0. \end{cases}$$



Funkcja progowa

Funkcja aktywacji w sztucznych sieciach neuronowych jest odpowiednikiem biologicznego progu aktywacji neuronu.

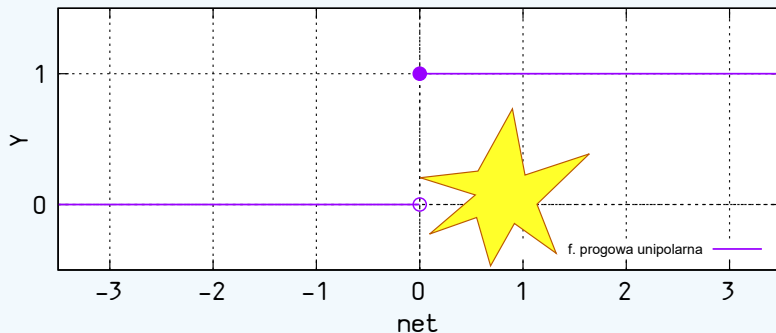


$$\mathcal{F}(net) = \begin{cases} 1, & \text{gdy } net \geq 0, \\ 0, & \text{gdy } net < 0. \end{cases}$$



Funkcja progowa

Funkcja aktywacji w sztucznych sieciach neuronowych jest odpowiednikiem biologicznego progu aktywacji neuronu.

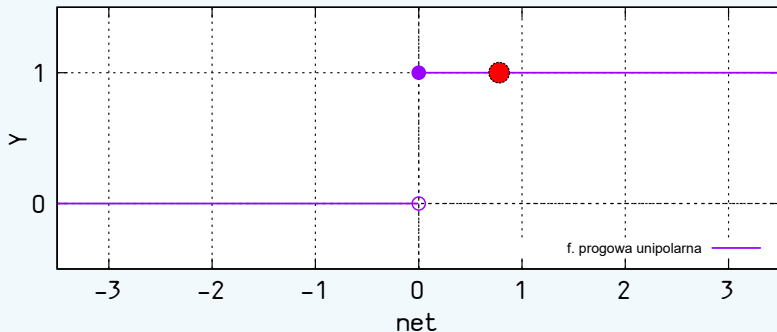


$$\mathcal{F}(net) = \begin{cases} 1, & \text{gdy } net \geq 0, \\ 0, & \text{gdy } net < 0. \end{cases}$$



Funkcja progowa

Funkcja aktywacji w sztucznych sieciach neuronowych jest odpowiednikiem biologicznego progu aktywacji neuronu.

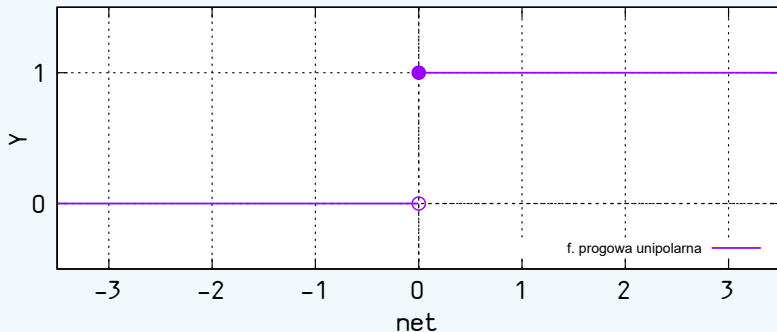


$$\mathcal{F}(net) = \begin{cases} 1, & \text{gdy } net \geq 0, \\ 0, & \text{gdy } net < 0. \end{cases}$$



Funkcja progowa

Funkcja aktywacji w sztucznych sieciach neuronowych jest odpowiednikiem biologicznego progu aktywacji neuronu.

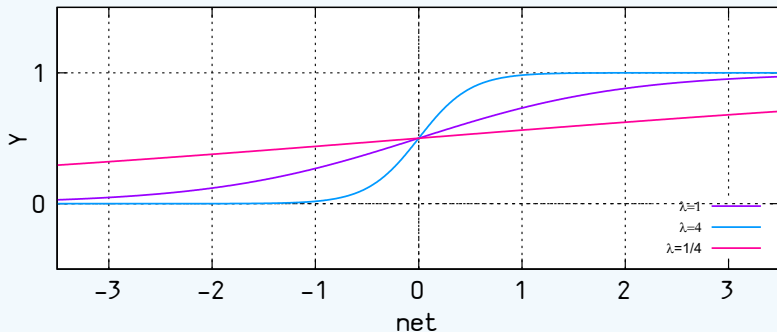


$$\mathcal{F}(net) = \begin{cases} 1, & \text{gdy } net \geq 0, \\ 0, & \text{gdy } net < 0. \end{cases}$$



Funkcja sigmoidalna

Ze względu na własności matematyczne w praktyce używamy funkcji ciągłych. Przykładem jest funkcja sigmoidalna.



$$\mathcal{F}(net) = \frac{1}{1 + e^{-\lambda x}}$$

Dane uczące



Sieć neuronowa uczy się na przykładach.

Potrzebujemy pary **pytanie – odpowiedź**.

- Pytanie może uwzględniać wiele czynników (cech), jest to **wejście** do sieci.
- Odpowiedź to **wyjście** i również może być wektorem wieloelementowym.

Taki sposób nazywamy **uczeniem nadzorowanym**.

Proces nauki polega na zmianie wag w neuronach.



Dane uczące – przykład

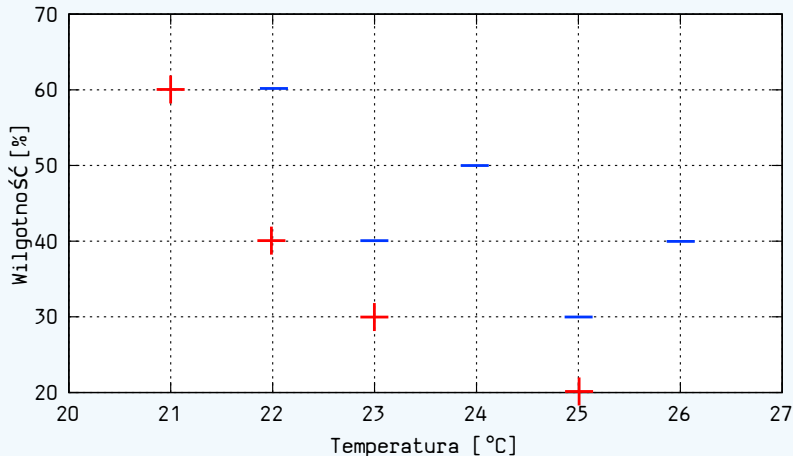
Zagadnienie: Decyzja o włączeniu lub wyłączeniu ogrzewania.

Temperatura	Wilgotność	Decyzja
21 °C	60%	Włącz
22 °C	40%	Włącz
23 °C	30%	Włącz
25 °C	20%	Włącz
22 °C	60%	Wyłącz
23 °C	40%	Wyłącz
24 °C	50%	Wyłącz
25 °C	30%	Wyłącz
26 °C	40%	Wyłącz
x_1	x_2	Y

Dane uczące – przykład



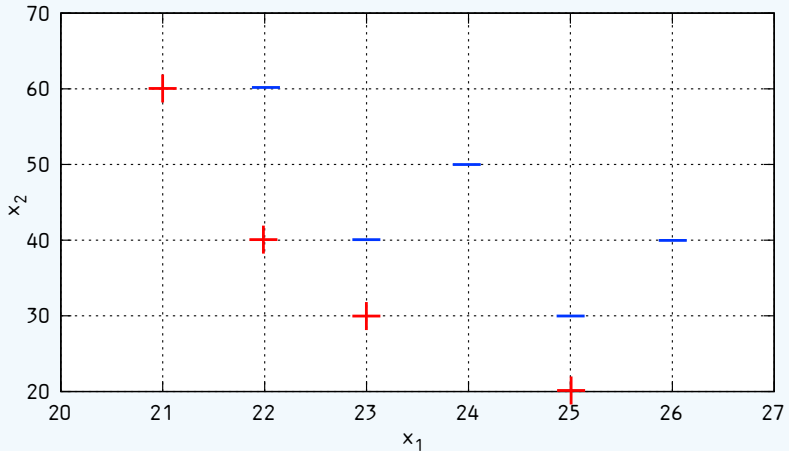
Zagadnienie: Decyzja o włączeniu lub wyłączeniu ogrzewania.



Dane uczące – przykład



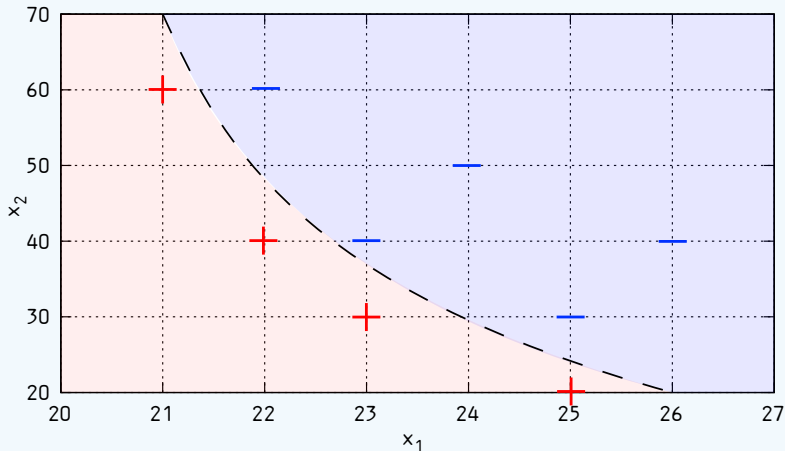
Zagadnienie: Decyzja o włączeniu lub wyłączeniu ogrzewania.



Dane uczące – przykład



Zagadnienie: Decyzja o włączeniu lub wyłączeniu ogrzewania.





Oznaczenie indeksów

W przypadku neuronów:

- x_b^a - wejście,
- net_b^a - pobudzenie,
- y_b^a - wyjście,

gdzie:

- a to warstwa,
- b to numer neuronu.

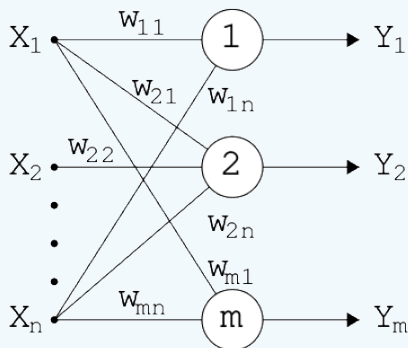
Oznaczenie wag: w_{bc}^a , gdzie

- a to warstwa,
- b to numer neuronu z bieżącej warstwy,
- c to numer neuronu z poprzedniej warstwy.

Sieci skierowane do przodu



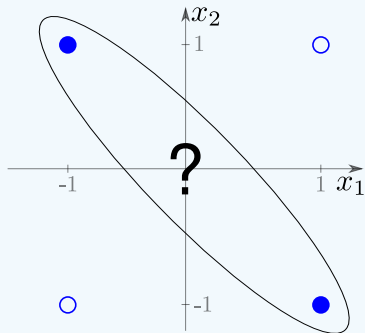
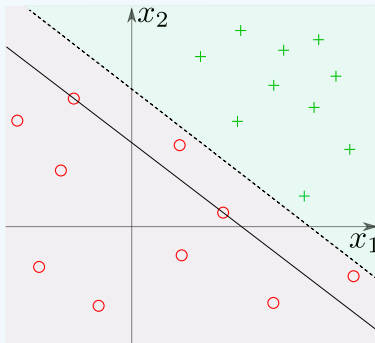
Sieć jednowarstwowa, jak wskazuje nazwa, zawiera neurony ułożone w jednej warstwie, które zwykle mają pełne połączenie z każdym wejściem w sieci. Przepływ sygnałów odbywa się w jednym kierunku – z wejścia do wyjścia.



Problem alternatywy rozłącznej (XOR)



Sieć jednowarstwowa rozwiązuje problemy separowalne liniowo.

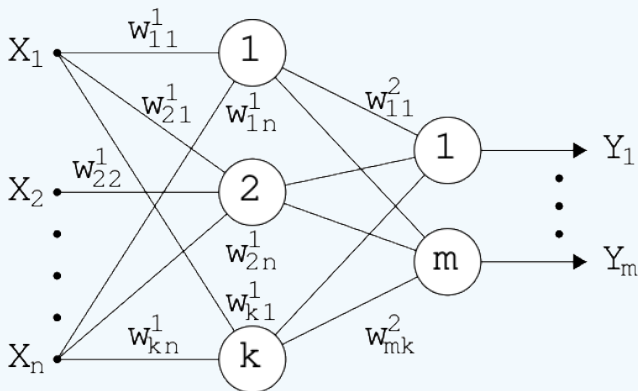


Do odwzorowania funkcji XOR potrzebna jest więcej jedna płaszczyzna oddzielająca klasy (w tym wypadku prosta).

Sieci skierowane do przodu



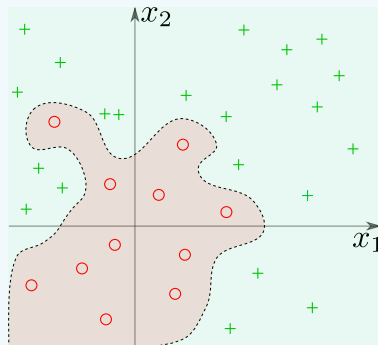
Sieć wielowarstwowa zawiera co najmniej jedną warstwę neuronów *ukrytych*, czyli takich które pośredniczą w przekazywaniu sygnałów pomiędzy węzłami wejściowymi, a warstwą wyjściową.



Sieci wielowarstwowe



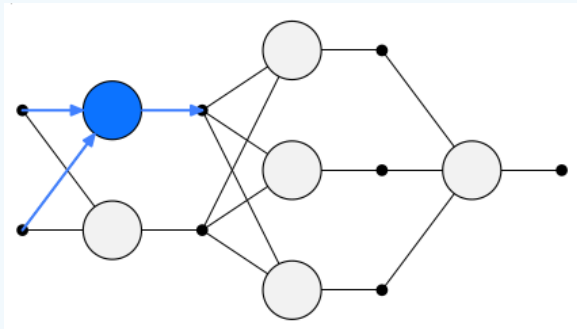
Sieci wielowarstwowe potrafią rozwiązać problemy, które **nie są separowalne liniowo**.



Działanie sieci



Obliczamy wyjście kolejnych neuronów w danej warstwie.
Wartości te są wejściami do neuronów w następnej warstwie.



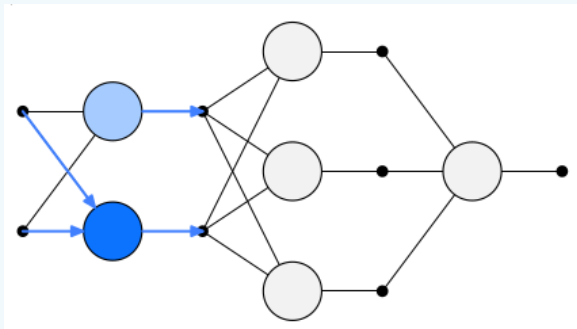
$$net_1^1 = w_{11}^1 x_1^1 + w_{12}^1 x_2^1$$

$$y_1^1 = f(net_1^1) = x_1^2$$

Działanie sieci



Obliczamy wyjście kolejnych neuronów w danej warstwie.
Wartości te są wejściami do neuronów w następnej warstwie.



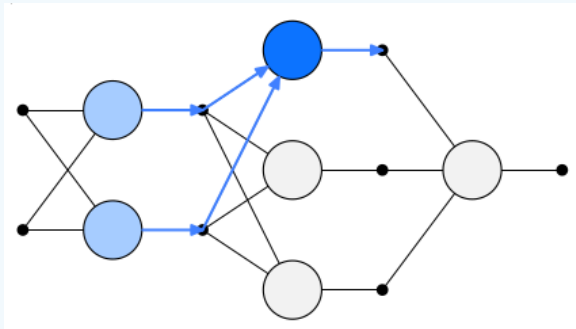
$$net_2^1 = w_{21}^1 x_1^1 + w_{22}^1 x_2^1$$

$$y_2^1 = f(net_2^1) = x_2^2$$

Działanie sieci



Obliczamy wyjście kolejnych neuronów w danej warstwie.
Wartości te są wejściami do neuronów w następnej warstwie.



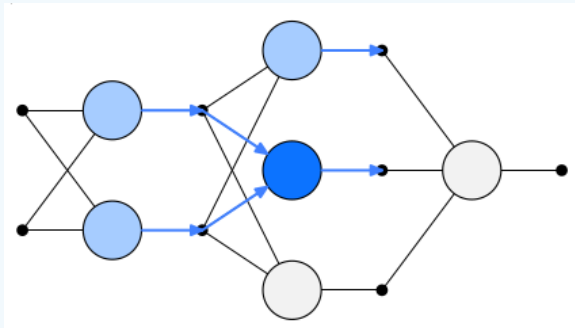
$$net_1^2 = w_{11}^2 x_1^2 + w_{12}^2 x_2^2$$

$$y_1^2 = f(net_1^2) = x_1^3$$

Działanie sieci



Obliczamy wyjście kolejnych neuronów w danej warstwie.
Wartości te są wejściami do neuronów w następnej warstwie.



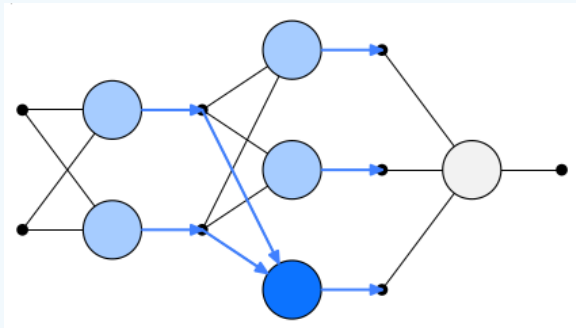
$$net_2^2 = w_{21}^2 x_1^2 + w_{22}^2 x_2^2$$

$$y_2^2 = f(net_2^2) = x_2^3$$

Działanie sieci



Obliczamy wyjście kolejnych neuronów w danej warstwie.
Wartości te są wejściami do neuronów w następnej warstwie.



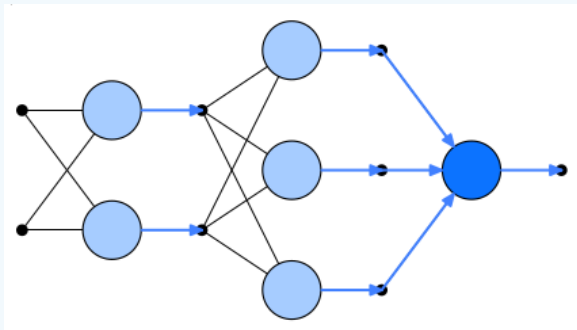
$$net_3^2 = w_{31}^2 x_1^2 + w_{22}^2 x_2^2$$

$$y_3^2 = f(net_3^2) = x_3^3$$

Działanie sieci



Obliczamy wyjście kolejnych neuronów w danej warstwie.
Wartości te są wejściami do neuronów w następnej warstwie.



$$net_1^3 = w_{11}^3 x_1^3 + w_{12}^3 x_2^3 + w_{13}^3 x_3^3$$

$$y_1^3 = f(net_1^3) = y$$

Uczenie sieci



Początkowo ustalamy wagi w na małe wartości losowe, np. w zakresie $[-1, 1]$.

Podstawowy algorytm uczenia sieci to **propagacja wsteczna**.

Wyznacza on zmianę wag połączeń w sieci.

W przeciwieństwie do obliczenia odpowiedzi sieci, zaczynamy od końca (od ostatniej warstwy).

Algorytm jest oparty na minimalizacji sumy kwadratów błędów z wykorzystaniem metody optymalizacyjnej.

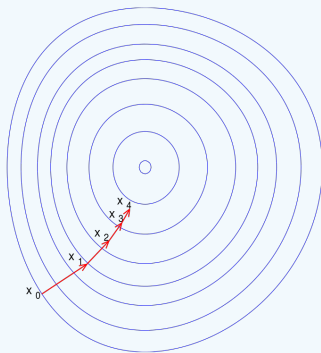
Uczenie sieci – minimalizacja



Do obliczeń potrzebnych do nauki sieci potrzebna jest jeszcze **pochodna** funkcji aktywacji neuronów. Dla funkcji sigmoidalnej jej wzór to:

$$f'(net) = \lambda f(net)(1 - f(net))$$

Dzięki pochodnej możemy optymalizować wagi sieci, krok po kroku.



Gra w czołgi

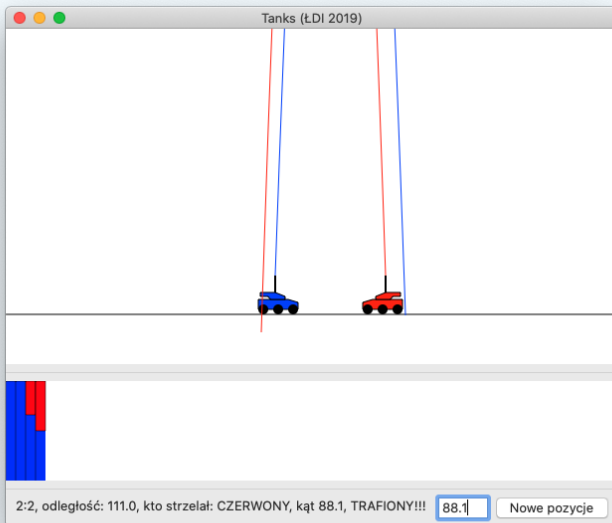


Zadanie polega na częściowej implementacji sieci neuronowej, która nauczy się grać w grę „czołgi”.

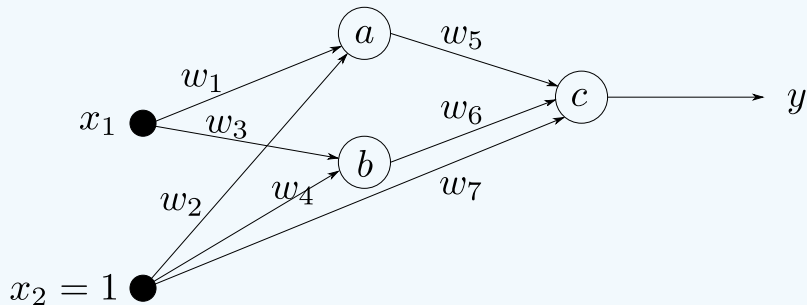
Na podstawie odległości między czołgami należy wyznaczyć kąt wystrzału pocisku.

Sieć nauczy się tego odwzorowania na podstawie trafnych wystrzałów (dane uczące).

Gra w czołgi



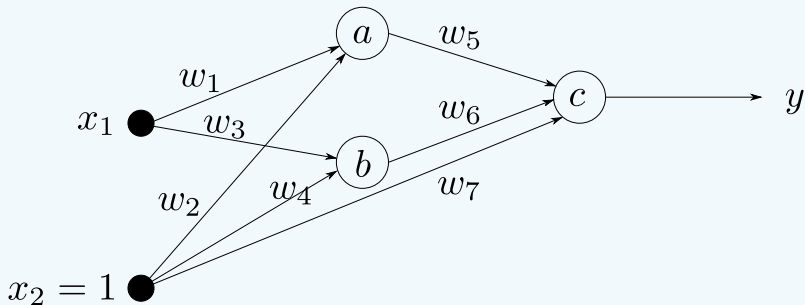
Struktura – neurony



Sieć składa się z dwóch warstw i trzech neuronów:

- a , b - w warstwie ukrytej,
- c - w warstwie wyjściowej.

Struktura – wejścia/wyjścia



Sieć posiada dwa wejścia i jedno wyjście.

- x_1 to wejście do sieci, czyli **odległość**,
- x_2 to dodatkowe stałe wejście o **wartości 1**,
- y to wyjście z sieci, czyli **kąt**.

Gra w czołgi



Zadanie polega na:

- wyznaczeniu zbioru uczącego sieć (plik *dane_uczace.txt*),
- określeniu funkcji aktywacji neuronów i jej pochodnej (plik *odpowiedz.py*, implementacja: *funkcja* oraz *pochodna*),
- napisaniu kodu, który obliczy odpowiedź sieci (plik *odpowiedz.py*, implementacja: *odpowiedz*).

Wskazówki i informacje:

- Jako funkcję aktywacji użyjemy funkcję sigmoidalną ze współczynnikiem $\lambda = 1$.
- Wagi zawarte są w wektorze *w* z indeksami od 1 do 7.
- Funkcja e^x jest dostępna pod nazwą *math.exp(x)*.