

Sztuczna inteligencja

Wykład 6. Sieci biologiczne. Wstęp do sztucznych sieci neuronowych.

źródła informacji:

G. Fischbach „Mind and Brain”, Scientific American 1994

S. Silbernagl, A. Despopoulos “Atlas fizjologii”, PZWL 1994

W. Sylwanowicz, A. Michajlik, W. Ramotowski, „Anatomia i fizjologia człowieka”, PZWL 1989

S. Osowski, „Sieci neuronowe w ujęciu algorytmicznym”, WNT 1996

Sztuczne sieci neuronowe – wprowadzenie

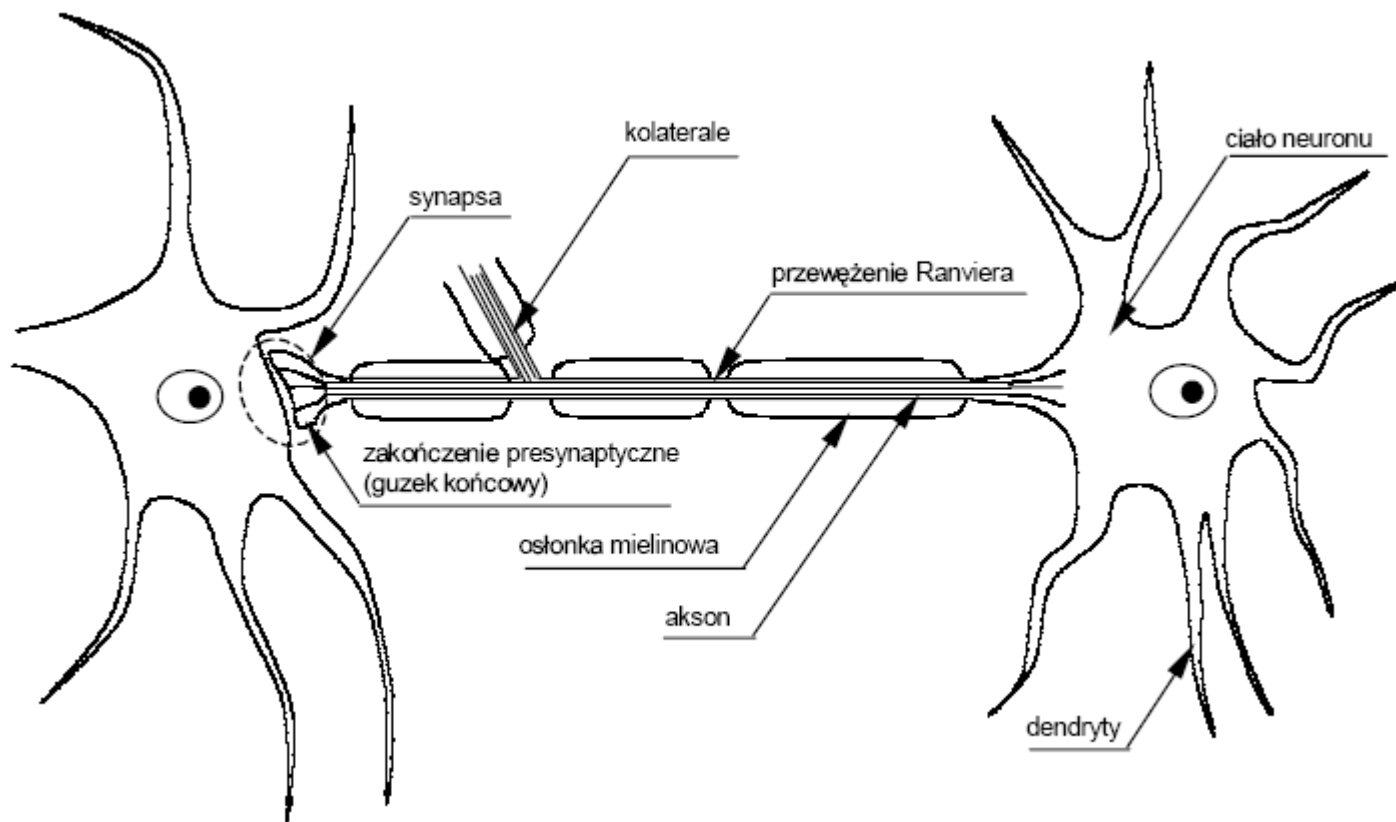
- stosunkowo młody temat (kilkadziesiąt lat)
- kilkakrotnie zarzucany
- obecnie są znowu obiektem zainteresowania naukowców
- analogia do sieci biologicznych

Zasada działania sieci neuronów w systemach biologicznych

Neuron – budowa, systematyka

- komórka pobudliwa, reagująca na bodziec zmianą własności elektrycznych swojej błony
- układ nerwowy człowieka: 10^{10} komórek nerwowych (rzęd wielkości)

Schemat neuronu



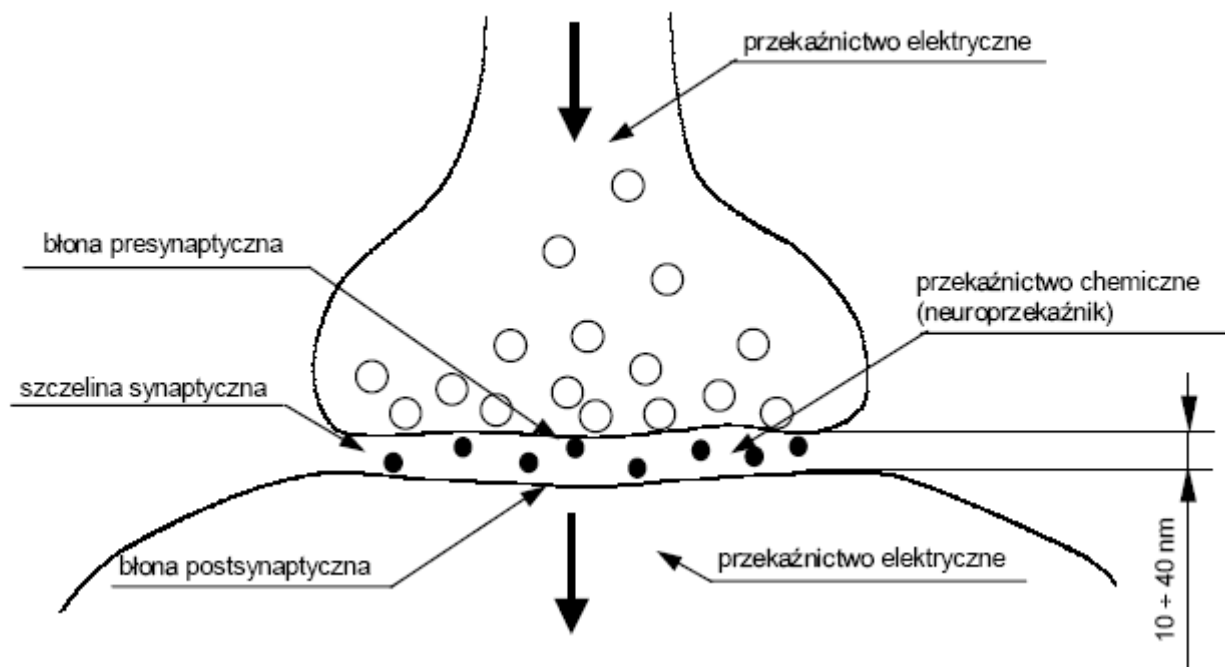
dendryty – odbierają sygnały wejściowe od innych nerwów bądź receptorów

jeden **akson (neuryt)** – przewodzi sygnały nerwowe do innych komórek nerwowych, mięśniowych i gruczołowych

akson i **kolateralia** (rozgałęzienia aksonu) kończą się kolbkami końcowymi synaps i przez nie łączą się z ciałem, dendrytami, lub aksonem następnego neuronu

wyróżniamy włókna **rdzenne** (np. akson ze swoją osłonką mielinową) i **bezrdzenne**

Schemat synapsy



synapsa – miejsce styku aksonu komórki nerwowej z innym neuronem, bądź też z komórką mięśniową lub gruczołową

u ssaków – przekazywanie chemiczne: sygnał elektryczny → neuroprzebieżnik → dyfuzja → sygnał elektryczny

przewodnictwo sygnałów może być hamowane lub pobudzone w zależności od substancji przekazywanych:
acetylocholina, adrenalina, dopamina, glicyna, kwas glutaminowy, kwas aminomasłowy i inne

synapsy przewodzą sygnał jednokierunkowo

Układ nerwowy – podział i funkcje

Zbiór struktur, służący do odbierania informacji ze środowiska zewnętrznego i wewnętrznego oraz kierujący reakcjami stosownie do odbieranych bodźców. Składa się z neuronów oraz tzw. tkanki glejowej.

Podział według zależności od działania woli:

Układ somatyczny: kontrolowany przez wolę

Układ autonomiczny: niezależny od woli

Podział anatomiczny:

Układ obwodowy (nerwy czaszkowe, rdzeniowe i zwoje nerwowe): włókna ruchowe i czuciowe

Układ ośrodkowy (mózgowie i rdzeń kręgowy): odpowiada za sterowanie zachowaniem i uczuciami, przetwarza sygnały z receptorów obwodowych i aktywizuje efekторы

istota szara (ciała komórek nerwowych): odbiera i wysyła podniety nerwowe

istota biała (pęczki aksonów i dendryty): przewodzi sygnały

w mózgu istota szara leży zewnętrznie do istoty białej, w rdzeniu kręgowym odwrotnie

nerwy – wiązki włókien nerwowych łączących ośrodkowy układ nerwowy z narządami zmysłów i mięśniami

Neuron – funkcje życiowe

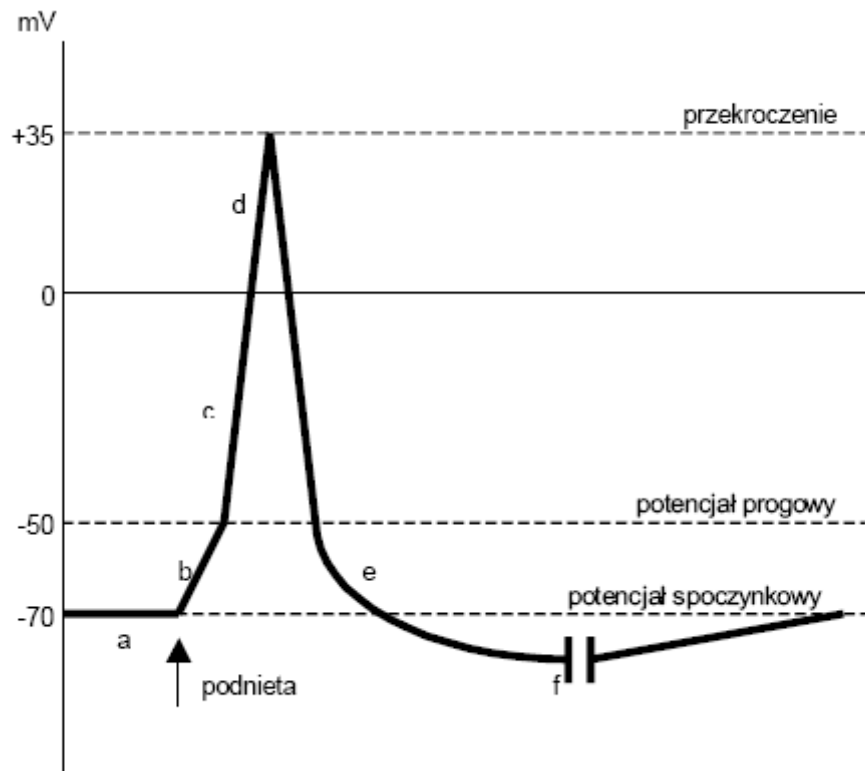
- wytwarzanie i rozprowadzanie po całym neuronie różnych związków niezbędnych do jego funkcjonowania
- gromadzenie kwasu mlekowego
- wydzielanie znikomej ilości ciepła przy podrażnieniu
- inicjowanie pobudzenia mięśni (ale bez przekazywania im energii do przebiegu pobudzenia)
- degeneracja (niemożność przekazywania impulsów), wskutek przecięcia lub miejscowego uszkodzenia włókna
- regeneracja - samoodbudowa uszkodzonych połączeń nerwowych (nie zawsze odpowiadających początkowym)

Przejawy życiowe neuronów

Pobudliwość i przewodnictwo w neuronach

- pobudzenie (hamowanie): stan zwiększania (zmniejszania) czynności, pod wpływem bodźca
- pobudliwość: szybkie przejście (pod wpływem bodźca) ze stanu spoczynku w stan pobudzenia
- podnieta minimalna (próg pobudliwości): najmniejsza siła bodźca (lub najkrótszy czas jego działania) potrzebna do powstania impulsu (potencjału czynnościowego)
- podnieta nadprogowa: większa siła bodźca skutkująca większym skutkiem drażliwości
- podnieta maksymalna: nie prowadzi do wzrostu reakcji, ale do jej hamowania lub zmęczenia
- przewodnictwo: zdolność rozprzestrzeniania się stanu pobudzenia

Zmiany potencjału w neuronie po skutecznym pobudzeniu:



a) potencjał spoczynkowy

b) potencjał pobudzający

c) d) potencjał iglicowy

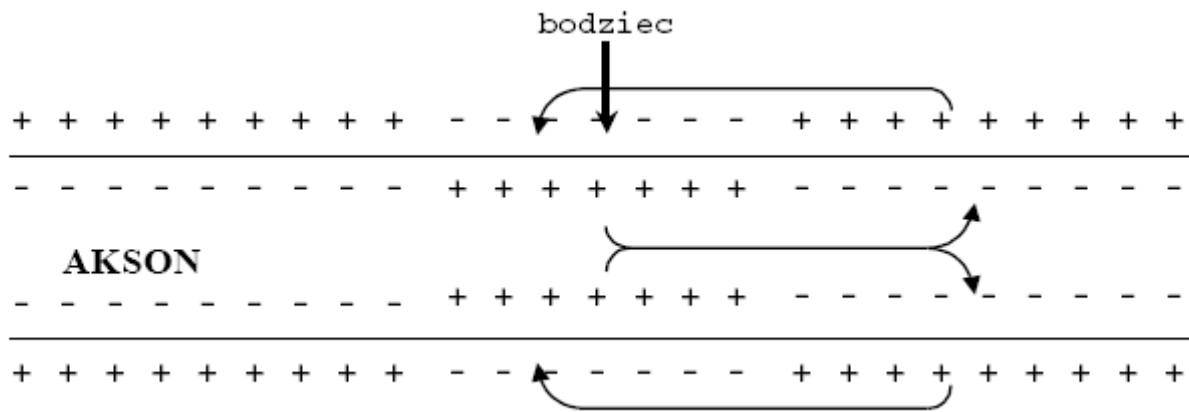
e), f) potencjał następczy

Potencjał spoczynkowy (70 mV) – potencjał niepobudzonej błony komórkowej, która jest w tym stanie spolaryzowana elektrostatycznie

Pod wpływem bodźca następuje depolaryzacja błony komórkowej, wskutek przenikania jonów sodu do cytoplazmy neuronu

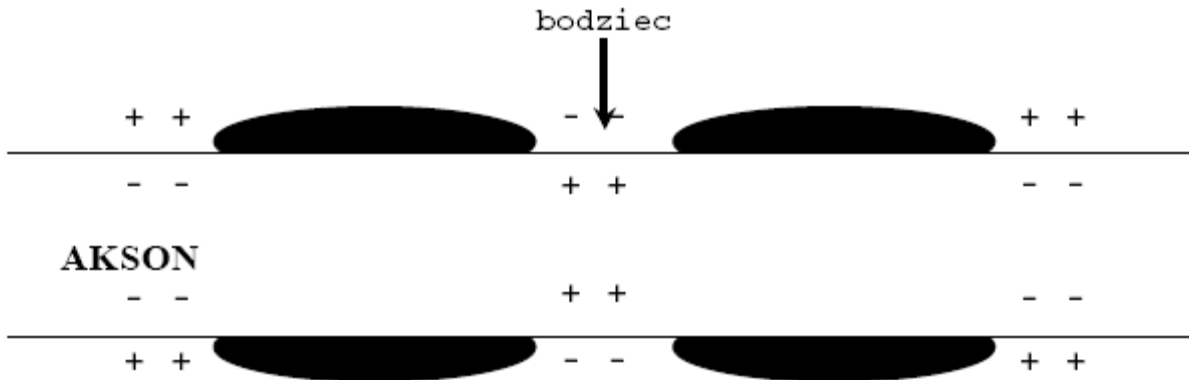
Po przejściu fali depolaryzacyjnej, następuje repolaryzacja, wskutek zablokowania przenikania jonów sodu a umożliwienie przenikania jonów potasu, co z kolei skutkuje tzw. pompą jodową (wypychaniem sodu na zewnątrz)

Schemat przewodzenia impulsu we włóknach nerwowych bezrdzennych (bezmielinowych) (np. dendryty)



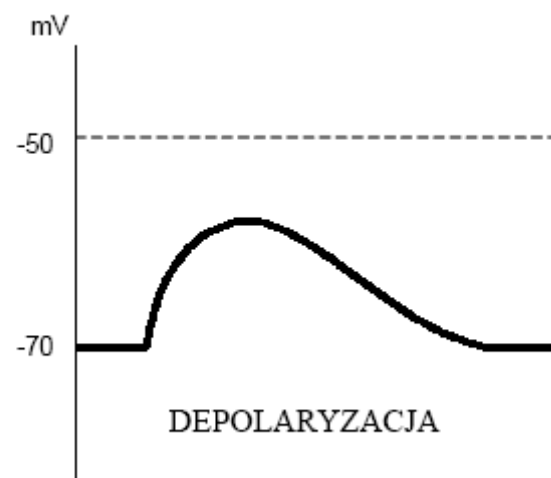
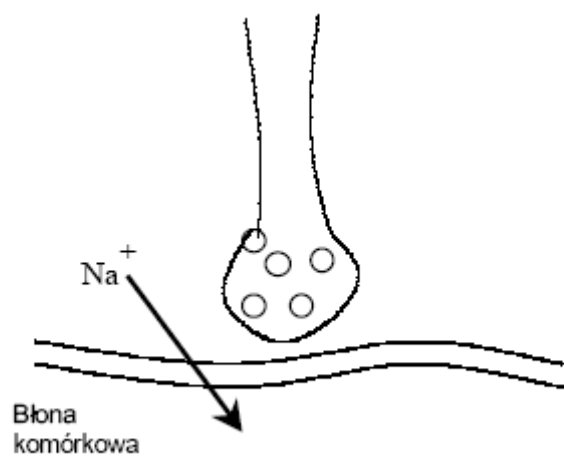
i rdzennych (imielinowych) (np. akson)

– osłonka mielinowa działa jak izolator dla prądów jonowych

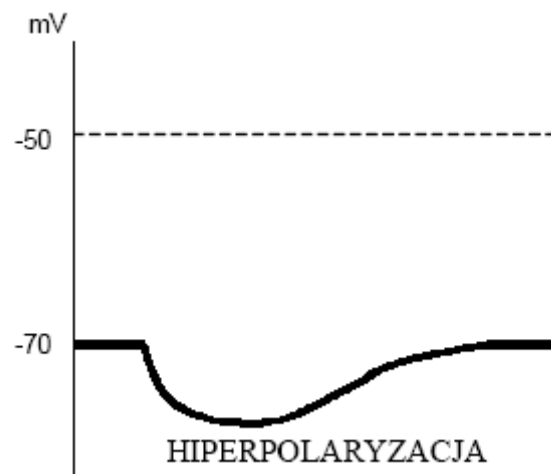
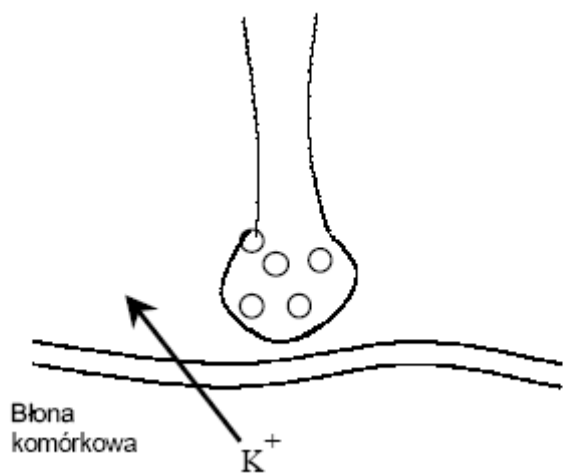


prędkość impulsu: 0.5 – 2 m/s we włóknach bezrdzennych, od kilku do 120 m/s we włóknach rdzennych (są grubsze)

synapsy pobudzające:

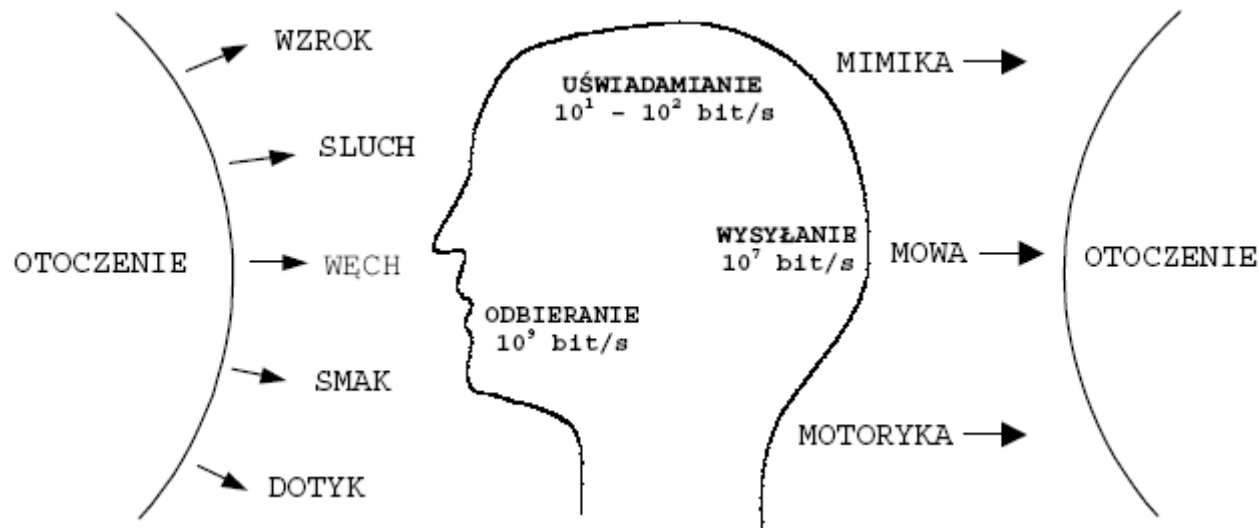


synapsy hamujące:



Mózg

Odbiór i przetwarzanie bodźców



– odbieranie: 10^9 bps

– świadome rejestrowanie: 10^2 bps

– wysyłanie: 10^7 bps

– częstotliwościowe kodowanie informacji (impulsy/s), odkodowywanie w kolejnej synapsie

 wyższa częstotliwość → więcej neuroprzekaźnika → wyższy potencjał pobudzenia

– gdy potencjał przekracza określony próg, wiadomość jest ponownie kodowana i przekazywana dalej

– kodowanie takie zmniejsza możliwość przekłamania informacji (typowa odległość u człowieka: 1 m)

Pamięć

pamięć sensoryczna (krótkotrwała)

- zatrzymuje (automatycznie) wrażenia zmysłowe na czas do 1 sekundy
- opiera się na krążeniu impulsów pomiędzy połączeniami neuronów
- bardzo niewielka część tych informacji trafia dalej do...

pamięci pierwotnej (długotrwała)

- gromadzi informacje z prędkością ok. 7 bps

pamięć wtórna (długotrwała)

- gromadzi informacje dzięki ćwiczeniom
- dosyć wolne przywoływanie informacji

pamięć trzeciorzędowa (długotrwała)

- trafiają tam wiadomości wykorzystywane najczęściej
- informacje mogą być szybko wywołane

Pamięć długotrwała opiera się na zjawisku syntezy białek

Sztuczne sieci neuronowe – podstawy, historia, klasyfikacja zadań

Model komórki nerwowej – perceptron (McCulloch, Pitts, 1943)

– sumowanie sygnałów wejściowych z odpowiednią wagą i poddanie otrzymanej sumy działaniu nieliniowej funkcji aktywacji

$$y_i = f\left(\sum_{j=1}^N W_{ij} x_j\right)$$

x_j ($j = 1, 2, \dots, N$) – sygnały wejściowe

f – funkcja aktywacji, np. funkcja skoku jednostkowego

W_{ij} – wagi; gdy dodatnie – sygnał pobudzający, gdy ujemne – sygnał hamujący (gaszący)

– do dzisiaj szeroko stosowany

Teoria uczenia (Hebb, 1949)

– wzmacnianie wag połączeń międzyneuronowych przy stanach uaktywnienia neuronów

– przyrost wagi proporcjonalny do iloczynu sygnałów wyjściowych neuronów połączonych z tą wagą

$$W_{ij}(k+1) = W_{ij}(k) + \eta y_i(k) y_j(k)$$

Funkcja aktywacji (Rosenblatt, 1962)

$$f(u) = \begin{cases} 1 & \text{dla } u > 0 \\ 0 & \text{dla } u \leq 0 \end{cases}$$

Załamanie (Minsky, Papert, 1969)

- pokazali ograniczoność możliwości jednego perceptronu i tzw. sieci jednowarstwowych złożonych z perceptronów (m. in. problem XOR)
- po ich publikacji prace nad sieciami neuronowymi zostały bardzo mocno spowolnione na kilkanaście lat
- nieliczne badania i publikacje (najważniejsze: Kohonen)

Odrodzenie (Hopfield, 1982)

- sieci wielowarstwowe, a co ważniejsze:
 - wprowadzenie zasady propagacji wstecznej,
 - zainteresowanie informatyków przetwarzaniem równoległym,
 - rozwój technologii tworzenia układów elektronicznych o wielkim stopniu scalenia,
- spowodowały nawrót zainteresowania sztucznymi sieciami neuronowymi i gwałtowny ich rozwój, który trwa aż do dzisiaj

Klasyfikacja zastosowań sieci neuronowych

Aproksymacja

- uniwersalny aproksymator funkcji wielu zmiennych
- do aproksymacji można sprowadzić wiele zadań modelowania, identyfikacji, przetwarzania sygnałów

Klasyfikacja i rozpoznawanie wzorców

- nauka sieci podstawowych cech wzorców (np. odwzorowanie geometryczne, rodzaj składników)
- podkreślenie różnic występujących w różnych wzorcach, co stanowi podstawę klasyfikacji

Predykcja

- określenie przyszłych zachowań systemu na podstawie ciągu wartości z przeszłości
- mając informację o wartościach zmiennej w określonej liczbie chwil z przeszłości, sieć podejmuje decyzję o estymowanej wartości zmiennej w chwili aktualnej
- można uwzględnić błąd predykcji, prowadzący do modyfikacji wag

Sterowanie procesami dynamicznymi

- sieć stanowi nieliniowy model procesu
- śledzi środowisko, adaptując się do zmiennych warunków i podejmuje decyzje co do dalszego przebiegu procesu

Asocjacja

- odtwarzanie sygnału oryginalnego na podstawie sygnału zaszumionego bądź niepełnego

Cechy sztucznych sieci neuronowych

- równoległe przetwarzanie informacji: przyspieszenie ich przetwarzania
- możliwe przetwarzanie informacji w czasie rzeczywistym
- przy dużej ogólnej liczbie powiązań, odporność na błędy niektórych z nich
- zdolność do uczenia się i uogólniania nabytej wiedzy (własność sztucznej inteligencji): wytrenowana, potrafi wykorzystać nabytą wiedzę do danych jej nieznanymi
- możliwość realizacji w technice o wielkim stopniu scalenia: niewielkie zróżnicowanie elementów sieci przy ich dużej powtarzalności; w przyszłości – tzw. neurokomputery