

Wykład 1: Wprowadzenie do sieci neuronowych

Historia badań nad sieciami neuronowymi.

- początki: badanie komórek ośrodkowego układu nerwowego zwierząt i człowieka, czyli *neuronów*; próby wyjaśnienia i matematycznego opisu działania błony komórkowej i całego neuronu [McCu43]
- koniec lat pięćdziesiątych i lata sześćdziesiąte: pierwsze modele pojedynczych neuronów i sieci, w tym:
 - popularny *perceptron* Rosenblatta i Wightmana [Rose65] (przeznaczony do rozpoznawania znaków alfanumerycznych)
 - pierwsze *neurokomputery* oferowane komercyjnie: *Madaline* Widrowa
- zahamowanie badań na przełomie lat '60 i '70 po publikacji książki Minsky'ego i Paperta [Mins69], wykazującej m.in. poważną ograniczoność pola zastosowań liniowych sieci neuronowych (zdolne jedynie do realizacji funkcji liniowych)
- lata '70 i początek '80: sieciami zajmuje się w świecie zaledwie kilka ośrodków (Grossberg, Hinton, Hopfield, PDP Research Group)
- początek '80: rozwój i większa dostępność komputerowych technik symulacji przyczynia się do stopniowej intensyfikacji badań
- druga połowa lat '80: "renesans" sieci:
 - fala nowych koncepcji, architektur, algorytmów uczenia;
 - ważna, monograficzna praca Rumelharta, McClellanda i PDP Research Group "*Parallel Distributed Processing. Explorations in the Microstructure of Cognition*" [Rume86], podsumowująca stan badań nad sieciami neuronowymi; w nim publikacja algorytmu nadającego się do uczenia wielowarstwowych sieci o nieliniowych neuronach (*backpropagation*) wraz z wykazaniem ich przewagi nad sieciami opartymi na perceptronach;
 - inna przyczyna wzrostu popularności: rosnące zainteresowanie ze strony specjalistów zajmujących się Sztuczną Inteligencją, wobec kryzysu nękającego tradycyjne, symboliczne techniki rozwijane w latach '60, '70 i '80 (Newell, Simon itp.)
- lata '90: dalsza rosnąca popularność;
 - rozwój sektora zastosowań w medycynie, przemyśle, edukacji i innych dziedzinach
 - coraz większa ilość przystępnych cenowo realizacji sprzętowych

Koncepcja obliczeń neuronowych:

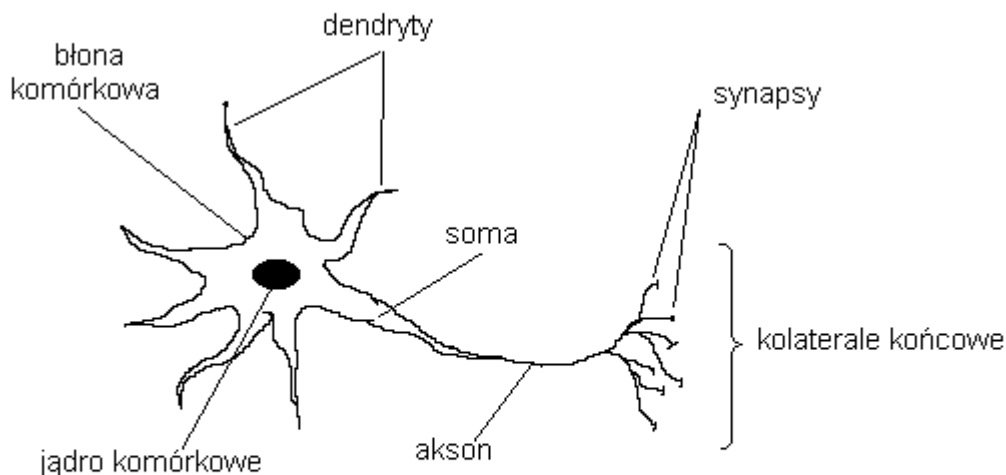
Definicja opisowa:

duża (1) ilość prostych (2), niezależnych jednostek obliczeniowych komunikujących się ze sobą, pracujących równoległe (3)

- (1) liczba neuronów w sieci zależy od rozmiaru zadania; w przypadku małego problemu może to być ich zaledwie kilka; w istocie chodzi o to, żeby był więcej niż jeden
- (2) w sensie "realizujących proste odwzorowanie matematyczne"
- (3) zależnie od implementacji; w praktyce większość sieci realizowana jest sekwencyjnie i programowo; rozwiązania sprzętowe i równoległe spotyka się tam, gdzie liczy się czas, w szczególności w zastosowaniach wymagających funkcjonowanie w czasie rzeczywistym (np. sterowanie)

Inspiracja: neuron "biologiczny"

- budowa: *soma, akson, dendryty, synapsy*



- kluczowe znaczenie błony komórkowej w przesyłaniu sygnału; polega ono na propagacji zaburzenia różnicy potencjałów pomiędzy wnętrzem a zewnątrz komórki; przyczyną tych zaburzeń jest chwilowa utrata "szczelności" przez błonę komórkową
- zasada działania: "wpływające" dendrytami bodźce (modulowane częstotliwościowo) sumują się na błonie komórkowej i przy pomocy aksonu zakończonego synapsą przekazywane są do innego neuronu/neuronów
- neuronów mamy $\sim 10^{10}$, dendrytów $\sim 10^{14}..10^{15}$
- różne rodzaje neuronów

Neuron "sztuczny"

(dalej zwany "neuronem", inaczej *element przetwarzający (processing element)*, *jednostka (unit)*)

- znaczne uproszczenie w porównaniu z neuronem biologicznym (precyzyjnym modelowaniem działania neuronu biologicznego zajmuje się tzw. *neuroscience*);
- podstawowe elementy składowe:
 - *wejścia (synapsy)* opatrzone *wagami* (lub wektor wag \mathbf{w} i wektor wejść \mathbf{x}); waga synapsy podłączonej do wyjścia innego neuronu decyduje o jej ważności i jego wpływie na neuron odniesienia
 - *pobudzenie e (excitation)* neuronu jako suma ważona sygnałów wejściowych pomniejszona o *próg θ (threshold)*
 - *funkcja przejścia/przenosząca/aktywacji f (transfer function)*: liniowa lub (z reguły) nieliniowa (element progowy, funkcja sigmoidalna, tangens hiperboliczny); ma kluczowe znaczenie dla funkcjonowania neuronu
 - wyjście y ,
- zasada działania ([Tade93], s.27): wyjście = iloczyn skalarny wektora wejść i wektora wag "przepuszczony" przez funkcję przenoszącą

$$e = \sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i - \theta = \mathbf{w} * \mathbf{x} - \theta$$

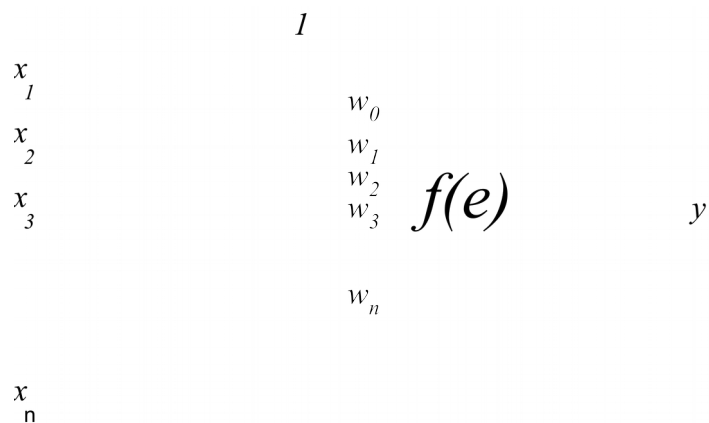
$$y = f(e)$$

W najprostszym przypadku, jeśli funkcja przenosząca ma postać $y=e$, mówimy o neuronie *liniowym*.

Dla ujednoczenia zapisu często "ukrywa się" próg θ w postaci wagi $w_0 = \theta$, podłączonej do stałego sygnału $x_0 = 1$. Prowadzi to do uproszczenia powyższej formuły:

$$e = \sum_{i=0}^n w_i \cdot x_i = \mathbf{w} * \mathbf{x}$$

- symbol graficzny neuronu



- mimo uproszczenia w stosunku do neuronu biologicznego zachowana jest istota działania: ważone sumowanie sygnałów docierających przez wejścia

Sieć neuronowa

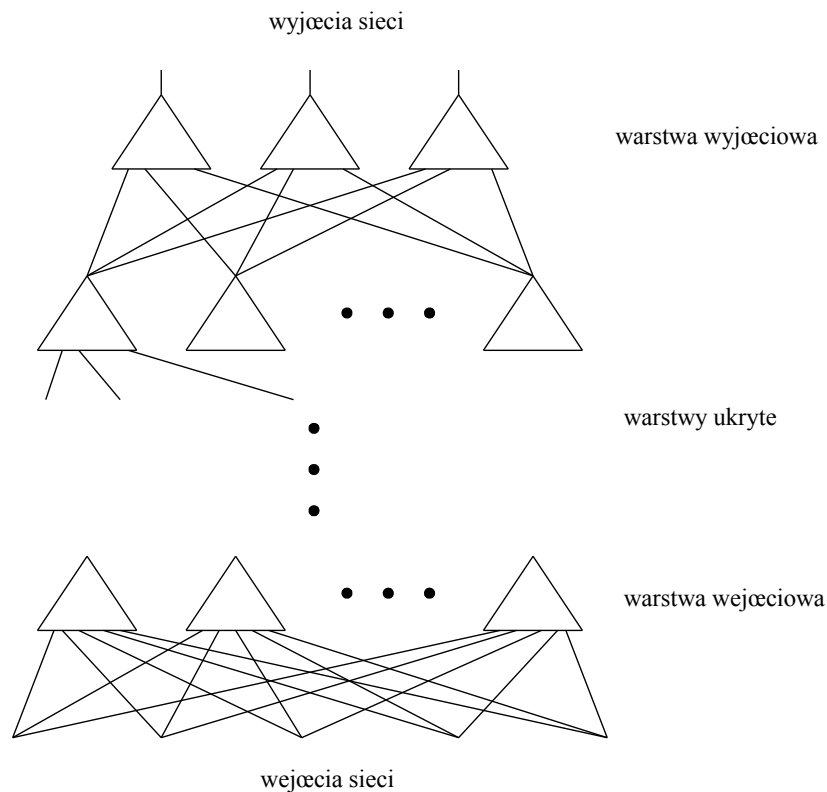
(Sztuczna) sieć neuronowa ((*artificial*) *neural network*) wiele połączonych ze sobą neuronów.

Każda sieć ma z reguły pewną wyróżnioną grupę "dendrytów" będących jej *wejściami* i "aksonów" stanowiących *wyjście* (niekiedy wejście pokrywa się z wyjściem, np. w sieci Hopfielda)

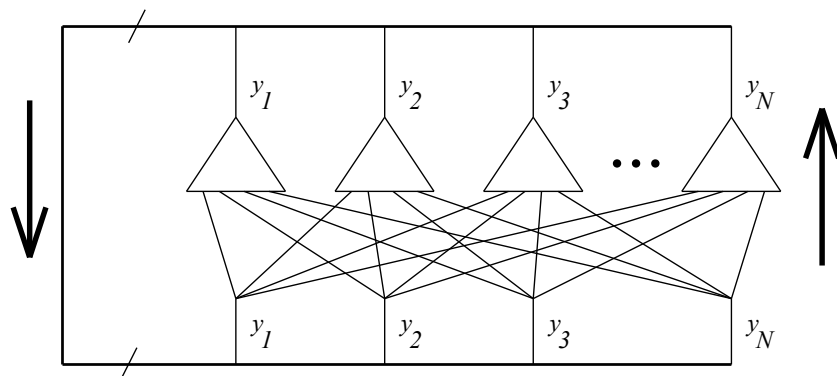
"Systematyka" sieci neuronowych

Topologia (architektura), tj. sposób połączenia neuronów ze sobą

- *jednokierunkowe (feed forwarded)*; połączenia między neuronami nie zamykają się w cykle;
Szczególnym przypadkiem architektury jednokierunkowej jest sieć *warstwowa*, reprezentująca zdecydowanie najpopularniejszą topologię;



- *rekurencyjne (feedback, bidirectional)*: obecność sprzężeń zwrotnych
Np. sieć Hopfielda:



Sposób propagacji pobudzenia (sygnałów) przez sieć (dotyczy głównie realizacji programowych sieci ze sprzężeniami zwrotnymi)

- *synchroniczny*: bieżący stan sieci jest "zamrażany" i na jego podstawie dla każdego neuronu oblicza się nową wartość pobudzenia i wyjścia; następnie wielkości te aktualizuje się dla całej sieci w jednym kroku, jednocześnie dla wszystkich neuronów;
- *asynchroniczny*: w kolejnych krokach każdy (z reguły wybrany losowo) neuron oblicza nową wartość swojego pobudzenia i wyjścia, która jest natychmiast, tj. już w następnym kroku, "widziana" przez inne neurony podłączone do jego wyjścia;
- "*przesyłanie żetonów*" (*counter-propagation*): specyficzny model propagacji sygnału bazujący na "dyskretnym" pobudzeniu w postaci "żetonu".

Reguła łączenia neuronów między sobą

- "każdy z każdym" (*fully connected*);
w szczególności: między kolejnymi warstwami w sieciach warstwowych
- tylko z pewną grupą neuronów, najczęściej z tzw. *sąsiedztwem*

Cechy sieci neuronowych:

- + rozproszony charakter przetwarzania informacji i wynikająca z niego
 - odporność na uszkodzenie/eliminację znacznej nawet części neuronów
 - odporność na uszkodzone i zaszumione wzorce
- + równoległe przetwarzanie informacji (w przypadku implementacji sprzętowych)
 - szybkość działania (w realizacji sprzętowej, wciąż raczej rzadkiej i kosztownej)
- powolność większości algorytmów uczących: często setki tysięcy iteracji
- trudności z interpretacją wiedzy nabytej przez sieć (brak lub słabe własności eksplikatywne) w związku z jej (tj. wiedzy) rozproszeniem w sieci (tzw. *distributed knowledge representation*); *czarna skrzynka, blackbox*
- zwłaszcza w uczeniu maszynowym: trudności z reprezentacją niektórych typów danych, np. cech/atributów nominalnych o wartościach nie podlegających uporządkowaniu; konieczność stosowania kodowania "*1 of n*"
- duża ilość parametrów (sieci i algorytmu uczącego), przy jednoczesnym braku ścisłych reguł do estymacji ich wartości