

plik wk1.tex, 9 October 2008

## 1 ANN, Sztuczne Sieci Neuronowe, jak powstawały.

### 1.1 Neuron biologiczny i sztuczny. Komórka nerwowa i jej struktura

Sztuczna sieć neuronowa ma imitować biologiczną sieć neuronową, która służy zbieraniu sygnałów, przekazywaniu do centralnego ośrodka, przetwarzaniu ich, i podejmowaniu różnych akcji w zależności od rozpoznania obiektów.

Sztuczne sieci neuronowe (ANN, Artificial Neural Networks) mają symulować działalność biologicznych sieci neuronowych. Jest to ważne przynajmniej w dwóch aspektach: a) ogólnopoznawczych; b) aplikacyjnych – w robotyce i automatycznej diagnostyce lub predykcji.

Podpatrywanie działania biologicznych sieci neuronowych stało się ważnym elementem Sztucznej Inteligencji. W rezultacie powstała odrębna dyscyplina, Sztuczne Sieci Neuronowe, zajmujących się rozwiązywaniem zagadnień związanych z rozpoznawaniem różnych wzorców (Pattern Recognition) za pomocą różnych symulowanych sztucznych sieci neuronowych.

Jak na razie, globalnie, biologiczne sieci neuronowe są niedoścignione, chociaż w szczegółowych zagadnieniach, sztuczne sieci neuronowe mogą je przewyższać.

Jak napisał Hujun Yin <sup>1</sup>: *Neural networks present another approach to non-linear data analysis. They are biologically inspired learning and mapping methods ... . E.g. Kohonen's SOM is an abstract mathematical model of the mapping between nerve sensory (esp. retina) and cerebral cortex (especially visual cortex).*

Wielu uczonych zajmujących się tematyką ANN jest skupionych w ogólno-światowym Towarzystwie ANN, które organizacyjnie jest podzielone na 3 sekcje: ENNS (Europejskie), JANNS (Japońskie) ... (głównie Amerykańskie). Przewodniczącym części Europejskiej jest prof. W. Duch z Torunia, wybrany w ubiegłym roku (2007) na drugą kadencję.

Dorocznie odbywają się wielkie konferencje zarówno ogólne jak ICANN, jak i poszczególnych sekcji.

Jak stwierdzono na ICANN w r. 2007, tematyka sztucznych sieci neuronowych jest obecnie w ogromnym rozkwicie ....

Poniżej podaję – za Anną Kotulą – kilka informacji o biologicznych neuronach i ich centralnym ośrodku, mózgu, składającym się głównie z tzw. 'szarych komórek'.

### Jak działa neuron biologiczny

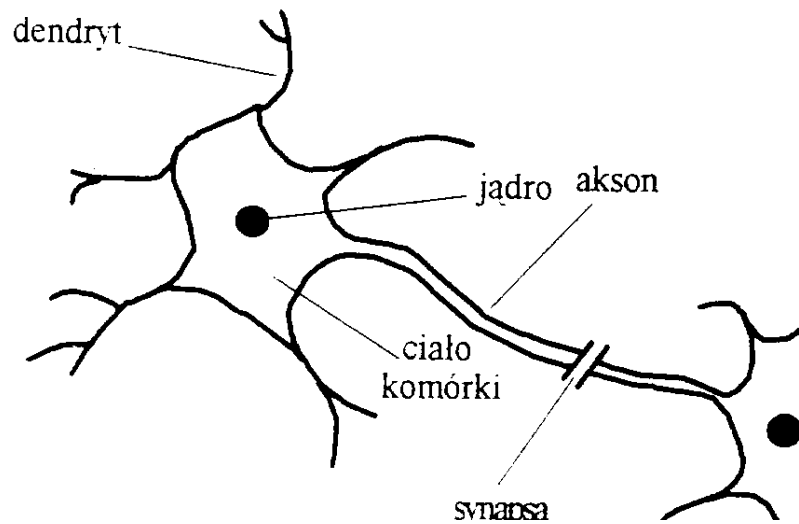
*Synapsa* to połączenie między dwoma komórkami nerwowymi. Synapsy mogą być rozmaitego rodzaju. Np. na rys. 1.1 widzimy następujące synapsy neuronu: **A** - synapsa aksonowo - dendrytowa, **B** - synapsa aksonowo - somatyczna, **C** - synapsa aksonowo - aksonowa bliższa (zazwyczaj hamująca), **D** - synapsa aksonowo - aksonowa dalsza (zawsze hamująca).

*Mózg i system nerwowy nie stanowią struktury ciągłej, ale składają się z około trylionów ( $10^{18}$ ) komórek, z czego około 100 miliardów ( $10^{11}$ ) stanowią komórki nerwowe połączone w*

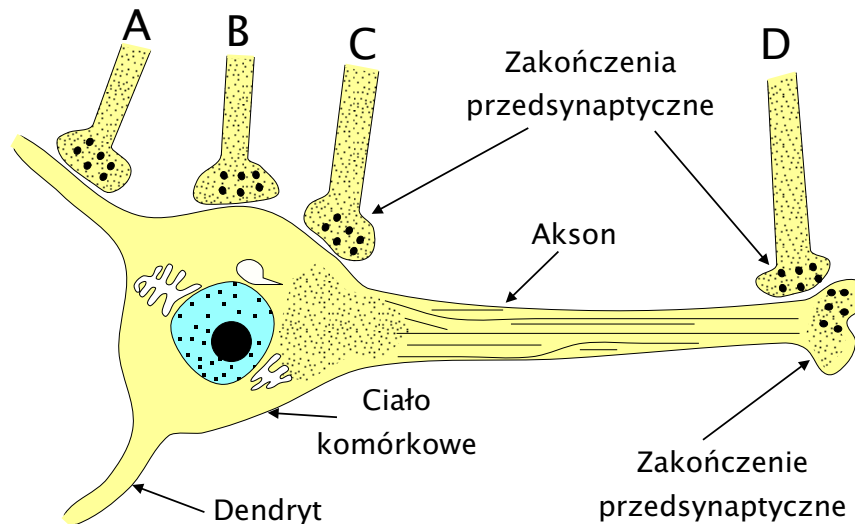
---

<sup>1</sup>IEEE Trans. on Neural Networks v. 13, no.1, p. 237

a) Źródło: Korbicz i.in. [4].



b) Źródło: A. Michajlik, W. Ramotowski, *Anatomia i fizjologia człowieka*, Wydawnictwa Lekarskie PZWL, Warszawa 1994 (str 372).



Rysunek 1.1: Schemat biologicznego neuronu w ujęciu inżyniera i biologa, na podstawie źródeł wybranych przez Annę Kotulę [5]. Na obydwu rysunkach widzimy komórkę nerwową z jądrem, synapsami, dendrytami i aksonem.

sieci (Korbicz i inn. [4]), dzięki którym realizowane są funkcje inteligencji, emocji, pamięci i zdolności twórczych. Przykładowe schemat biologicznego neuronu jest przedstawiony na rysunku 1.1.

Ciało komórki nerwowej (inaczej: neuronu) jest dość podobne do komórek innych tkanek, wyróżnia się jednak wielkością otaczających ciało wypustek w postaci rozkrzewionych gałązek, tzw. dendrytów.

Z komórki nerwowej wychodzi długie włókno, nazywane **aksonem**, które na ogół rozgałęzia się w postaci tzw. drzewka aksonowego. Akson, rozwidlając się, dociera do wielu komórek, niemniej sygnał wyjściowy jest identyczny dla wszystkich odbiorców. Zakończenia gałązek aksonu stykają się z dendrytami innych neuronów, a miejsce styku nazywa się **synapsą**.

Podstawowe zadanie neuronu sprowadza się do przyjmowania (poprzez dendryty), przetwarzania i dalszego przekazywania (poprzez akson) informacji w postaci bodźców elektrycznych. W fizjologii pobudzanie aksonu określa się jako wszystko albo nic. Oznacza to, że dostatecznie silny bodziec powoduje każdorazowo tę samą reakcję, zbyt słaby bodziec nie wywołuje żadnej reakcji. Każdy nadchodzący synapsą bodziec dochodzi do ciała komórkowego.

Przewodzenie przez synapsy następuje zawsze tylko w jednym kierunku.

Informacja wzdłuż wypustek (aksonów, dendrytów) jest przenoszona w postaci impulsów elektrycznych, nazywanych potencjalami czynnościowymi.

**Mózg**<sup>2</sup>, stanowiący centrum ludzkiego organizmu, jest częścią mózgowia obejmującą półkule mózgowe i część wzrokową podwzgórza. Mózgowie przeciętnie waży u człowieka około 1.3 kg. Mózg pokryty jest mocno pofałdowaną warstwą kory mózgowej. Warstwa ta ma grubość około 3 mm i powierzchnię 2500 cm<sup>2</sup>. Kora mózgowa składa się z upakowanych gęsto komórek nerwowych o różnej wielkości i kształcie, tworzących kilka warstw. Liczbę neuronów szacuje się na 10 miliardów. Przyjmują one i wysyłają impulsy o częstotliwości 1 – 100 Hz, czasie trwania 1 – 2 ms, napięciu 100 ms szybkości propagacji 1 – 100  $\frac{m}{s}$ . Liczba połączeń między komórkami szacowana jest na 10<sup>15</sup>. Tadeusiewicz w książce [?], str. 13, podaje, że szybkość pracy mózgu oszacować można na 10<sup>18</sup> operacji/s.

Czy można skonstruować komputer dorównujący ludzkiemu mózgowi? Wielkim wyzwaniem było zbudowanie komputera, który by potrafił grać w szachy na poziomie mistrzowskim. Taki komputer (por. Kotula [5] - na podstawie informacji zawartych na stronach internetowych firmy IBM, dostępnych pod adresem <http://www.ibm.com>), skonstruowała firma IBM. Komputer otrzymał nazwę Deep Blue. Komputer ten został specjalnie zaprojektowanym do gry w szachy przez grupę specjalistów (Feng-Hsiung Hsu, Murray Campbell, Joe Hoane, Jerry Brody oraz C.J. Tan) pracujących dla firmy IBM. Projektowanie Deep Blue rozpoczęto w roku 1989, ale już od 1985 Hsu zajmował się tym problemem. W roku 1997 Deep Blue rozegrał pierwszy słynny mecz z najlepszym wówczas szachistą świata, Garrim Kasparowem, w meczu rewanżowym w maju 1997r wygrał Deep Blue – por. [/www.research.ibm.com/deepblue/](http://www.research.ibm.com/deepblue/).

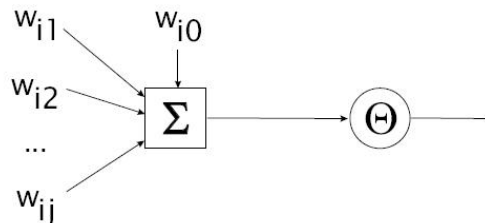
IBM zbudowała jeszcze bardziej doskonały komputer o nazwie Blue Gene. Mecz pomiędzy Kasparowem i Blue Gene w r. 2003 zakończył się remisem.

---

<sup>2</sup>na podstawie informacji podanych przez A. Kotulę [5]

## 1.2 Pierwszy model neuronu wg. McCullocha i Pittsa

McCulloch i Pitts w roku 1943 jako pierwsi zaproponowali znacznie uproszczony w stosunku do rzeczywistego model neuronu, który do dziś jest podstawą większości modeli. Schemat takiego ‘matematycznego’ działania neuronu jest podany na rysunku 1.2.



Rysunek 1.2: Schemat działania neuronu o numerze  $i$  – według McCullocha i Pittsa. Centralny neuron – o numerze  $i$  – sumuje impulsy dochodzące do niego od neuronów  $1, 2, \dots, j$  odpowiednio. Sumowanie odbywa się z wagami  $w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{ij}$  odpowiednio. Do otrzymanej sumy dodaje się indywidualny (tj. właściwy dla  $i$ tego neuronu Bias) wyrażony wagą  $w_{i0}$ . Otrzymana suma (aktywacja) jest transformowana przez funkcję Heavisida  $\Theta$ , a wynik transformacji jest przekazywany dalej – do następnych neuronów.

Na rysunku tym mamy zaznaczony jeden neuron – ma on umownie numer  $i$ . Do neuronu tego zbiegają się sygnały (bodźce) - jest ich  $j$ . Neuron je sumuje – z wagami  $w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{ij}$  odpowiednio. Gdy obliczona wartość sumy przekroczy pewną wartość progową  $w_{i0}$ , specyficzną dla danego neuronu, następuje jego ‘zapłon’, inaczej mówiąc, neuron ten znajdzie się w stanie pobudzenia. Matematycznie stan pobudzenia neuronu wyraża się dwiema wartościami: 0, gdy pobudzenie neuronu nie przekroczyło jego specyficznego wartości progowej, i 1, gdy jest przeciwnie.

Spróbujmy teraz te fakty zapisać matematycznie. Będziemy rozpatrywać neuron o numerze  $i$  ze specyficzną wartością progową  $w_{i0}$ . Założymy, że stan pobudzenia neuronu jest zjawiskiem dyskretnym zmieniającym się w czasie  $\tau$  w stałych odstępach czasu  $\Delta\tau$ . Oznaczmy wartość pobudzenia  $i$ -go neuronu w czasie  $\tau$  symbolem  $z_i(\tau)$ . Oczywiście wartość neuronu w chwili  $\tau + \Delta\tau$  zależy od tego, jak były pobudzone (dostarczające mu bodźce) neurony z jego otoczenia oznaczone tu umownie jako zbiór  $\{j\}$  – w momencie poprzedzającym moment  $\tau$ . Neuron oblicza sumę ważoną dostarczanych mu sygnałów. O ile po dodaniu do wyznaczonej przez neuron sumy wartości progowej otrzyma się liczbę dodatnią, następuje zapłon. Wyrazić to można w sposób następujący:

$$z_i(\tau + \Delta\tau) = \Theta\left(\sum_j w_{ij} z_j(\tau) + w_{i0}\right) \quad (1.1)$$

Zmienna  $z_i(\tau)$  może mieć wartość 1, gdy  $i$ -ty neuron znajduje się w chwili  $\tau$  w stanie zapłonu, lub 0, gdy tak nie jest.

Wagi  $w_{ij}$  występujące w powyższym wzorze odzwierciedlają istotność synapsy łączącej neuron  $i$ -ty i  $j$ -ty. Wagi mogą przyjmować zarówno dodatnie jak i ujemne wartości:

$$w_{ij} \begin{cases} > 0 & : \text{odpowiednik synapsy pobudzającej} \\ = 0 & : \text{odpowiednik braku połączenia pomiędzy neuronami} \\ < 0 & : \text{odpowiednik synapsy hamującej.} \end{cases}$$

Natomiast funkcja  $\Theta(a)$  występująca we wzorze McCullocha i Pittsa to funkcja Heaviside'a (*hardlimit*) określona następująco:

$$\Theta(a) = \begin{cases} 1 & \text{dla } a \geq 0 \\ 0 & \text{dla } a < 0 \end{cases}$$

McCulloch i Pitts wykazali, że przy odpowiednio dobranych wagach  $w_{ij}$  synchroniczny zespół takich neuronów może wykonać te same obliczenia, co uniwersalna maszyna licząca.

Dalsze prace poszły w kierunku:

- użycia innych funkcji aktywacji – umożliwia to modelowanie procesów nieliniowych,
- przedstawienia sygnału  $z_i$  nie jako procesu dyskretnego, ale jako procesu ciągłego.

Stosuje się następujące uogólnienie modelu McCullocha i Pittsa:

$$z_i = g\left(\sum_j w_{ij}z_j + w_{i0}\right). \quad (1.2)$$

We wzorze tym nie uzależnia się stanu pobudzenia neuronu od czasu  $\tau$ . Funkcja progowa  $\Theta(\cdot)$  zastąpiona jest przez funkcję  $g(\cdot)$ , zwaną **funkcją aktywacji** (funkcją wygładzającą, funkcją przejścia, funkcją wzmocnienia). Model (1.2) uwzględnia aktualizację  $z_i$  w dowolnej chwili, umożliwia nieliniowość,  $z_i$  jest funkcją ciągłą określającą stan neuronu w chwili  $t$ .

## Literatura i Źródła danych

### Literatura

- [1] Ch. M. Bishop, *Neural Networks for Pattern Recognition*. Clarendon Press, Oxford, 1996.
- [2] Ian Nabney, *Netlab: Algorithms for Pattern Recognition*. Springer 2001. Seria: Advances in Pattern Recognition. ISBN 1-85233-440-1.
- [3] Stanisław Osowski, *Sieci neuronowe w ujęciu algorytmicznym*. WNT W-wa 1996.
- [4] Józef Korbicz, Andrzej Obuchowicz, Dariusz Uciński, *Sztuczne sieci neuronowe. Podstawy i Zastosowania*. Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa 1994.
- [5] Anna Kotula, *Sieci neuronowe i regresja na przykładzie pakietu Netlab*. Praca magisterska Wrocław 2001.
- [6] Raul Rojas, *Neural Networks – A Systematic Introduction*. Springer 1996.
- [7] Rosaria Silipo, *Neural Networks*, Rozdział 7 książki: M. Bertold, D.J. Hand (eds.) *Intelligent Data Analysis*, Springer Berlin 1999, pp. 217–268.
- [8] Hertz J., Krogh A., Palmer R.G., *Wstęp do teorii obliczeń neuronowych*. Tłum. z ang., wyd. II, WNT W-wa 1993.