

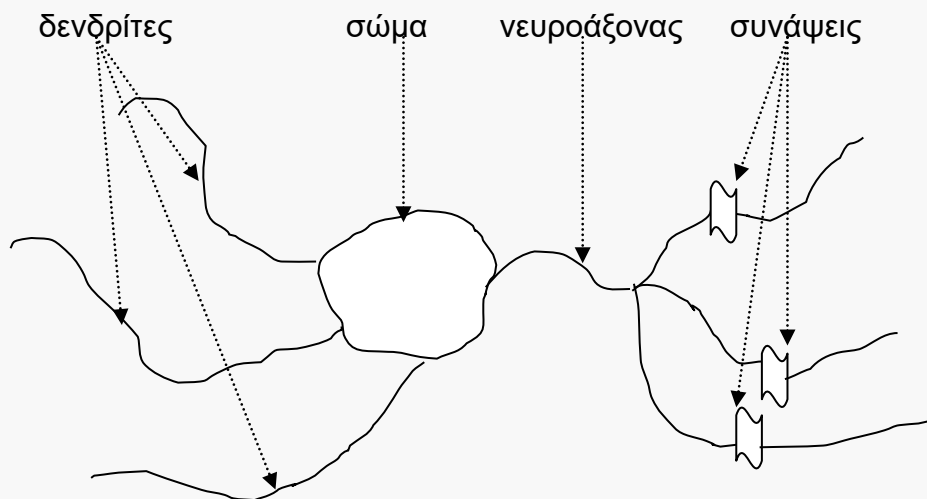
Ο τεχνητός νευρώνας

Διαφάνειες από ΕΑΠ-ΠΛΗ31

Α. Λύκας, Παν. Ιωαννίνων

Βιολογικός Νευρώνας

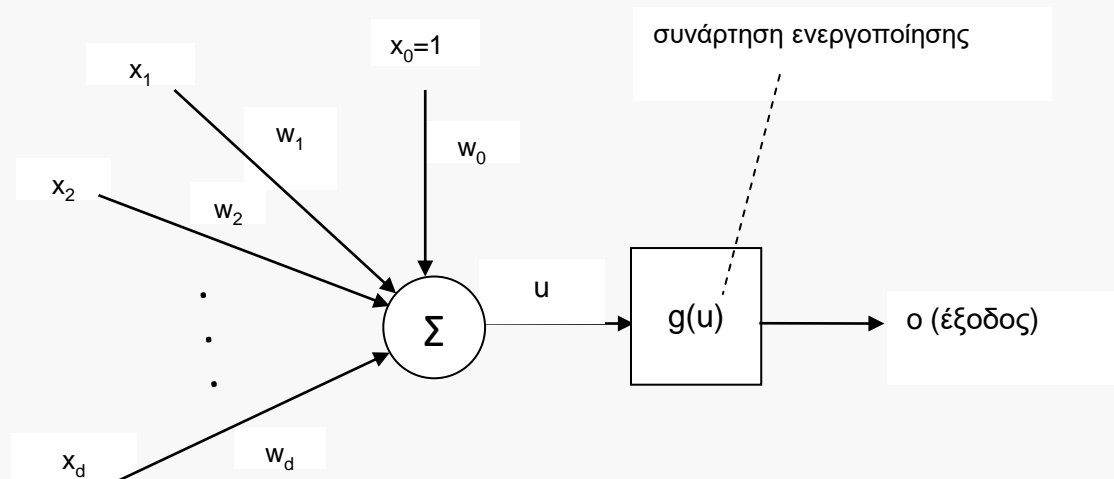
- **Δενδρίτες**, που αποτελούν τις γραμμές εισόδου των ερεθισμάτων (βιολογικών σημάτων)
- **Σώμα**, στο οποίο γίνεται η συσσώρευση των ερεθισμάτων και ο καθορισμός της διέγερσης του νευρώνα.
- **Νευροάξονας**, που αποτελεί τη γραμμή εξόδου του νευρώνα.
- **Σύναψη**, που είναι το σημείο διασύνδεσης μεταξύ δύο νευρώνων.
- Έχει παρατηρηθεί ότι το σήμα που εξέρχεται από το νευροάξονα ενός νευρώνα και εισέρχεται στο δενδρίτη του άλλου νευρώνα **διαμορφώνεται** κατά ένα ποσοστό που σχετίζεται με την **ισχύ της σύναψης** που ονομάζεται **συναπτικό δυναμικό**.



Συναπτικό Δυναμικό

- Το συναπτικό δυναμικό μπορεί να ενισχύει (θετικό) ή να καταστέλλει (αρνητικό) το σήμα εξόδου.
- Η γνώση μας είναι 'αποθηκευμένη' στις τιμές των συναπτικών δυναμικών.
- **Μάθηση στα βιολογικά συστήματα είναι η μεταβολή των συναπτικών δυναμικών.**
- Όσο περισσότερο χρησιμοποιείται μια σύναψη τόσο ενισχύεται το δυναμικό της.

Τεχνητός Νευρώνας (neuron)



- d είσοδοι,
- σήμα εισόδου x_i ($i=1, \dots, d$)
- βάρη εισόδων w_i , ($i=1, \dots, d$)
- πόλωση $w_0 \rightarrow$ τιμή βάρους μιας σύνδεσης που η είσοδός της είναι μόνιμα στην τιμή 1

Τεχνητός Νευρώνας (neuron)

- Ο υπολογισμός σε **δύο στάδια**:
 - υπολογισμός της **συνολικής εισόδου (ενεργοποίηση)**:

$$u(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^d w_i x_i + w_0$$

- υπολογισμός της εξόδου $o(\mathbf{x})$ του νευρώνα περνώντας την συνολική είσοδο $u(\mathbf{x})$ από μια **συνάρτηση ενεργοποίησης (activation function)**

$$o(\mathbf{x}) = g(u)$$

- **νευρώνας εσωτερικού γινομένου**

$$u(\mathbf{x}) = \mathbf{w}^T \mathbf{x} + w_0$$

Τεχνητός νευρώνας

- Εναλλακτική διατύπωση:
 - Διάνυσμα βαρών: $w=(w_1, w_2, \dots, w_d)^T$
 - Εκτεταμένο (extended) διάνυσμα βαρών:
 - $w_e=(w_0, w_1, w_2, \dots, w_d)^T$
 - Εκτεταμένο (extended) διάνυσμα εισόδου:
 - $x_e=(1, x_1, x_2, \dots, x_d)^T$
- $u(x)=w_e^T x_e \iff u(x)=w^T x + w_0$

Συναρτήσεις ενεργοποίησης

- **Βηματική Συνάρτηση (ή συνάρτηση κατωφλίου):**
 - Η συνάρτηση ενεργοποίησης στο βιολογικό νευρώνα
 - Χαρακτηρίζεται από δύο τιμές **a** και **b**.
 - Αν $x < 0$ τότε $g(x) = a$ και εάν $x > 0$ τότε $g(x) = b$. Συνήθως χρησιμοποιούνται οι τιμές $a = 0$ και $b = 1$ είτε $a = -1$ και $b = 1$.
 - Η βηματική συνάρτηση έχει το μειονέκτημα ότι η παράγωγός της είναι μηδέν.
 - Δεδομένου ότι μάθηση στα ΤΝΔ είναι η μεταβολή των τιμών των βαρών και μεταβολή σχετίζεται με την παράγωγο, η βηματική συνάρτηση δεν θεωρείται βολική ως συνάρτηση ενεργοποίησης των νευρώνων στα ΤΝΔ

Συναρτήσεις ενεργοποίησης

- Σιγμοειδείς συναρτήσεις
 - Έχουν μορφή τελικού σίγμα
 - Αποτελούν **συνεχείς και παραγωγίσιμες** προσεγγίσεις της βηματικής.
 - Στο όριο που η κλίση γίνεται πολύ μεγάλη, η σιγμοειδής γίνεται βηματική.
 - Δύο βασικοί τύποι:

1) Λογιστική:

$$\sigma(x) = 1 / (1 + \exp(-ax))$$

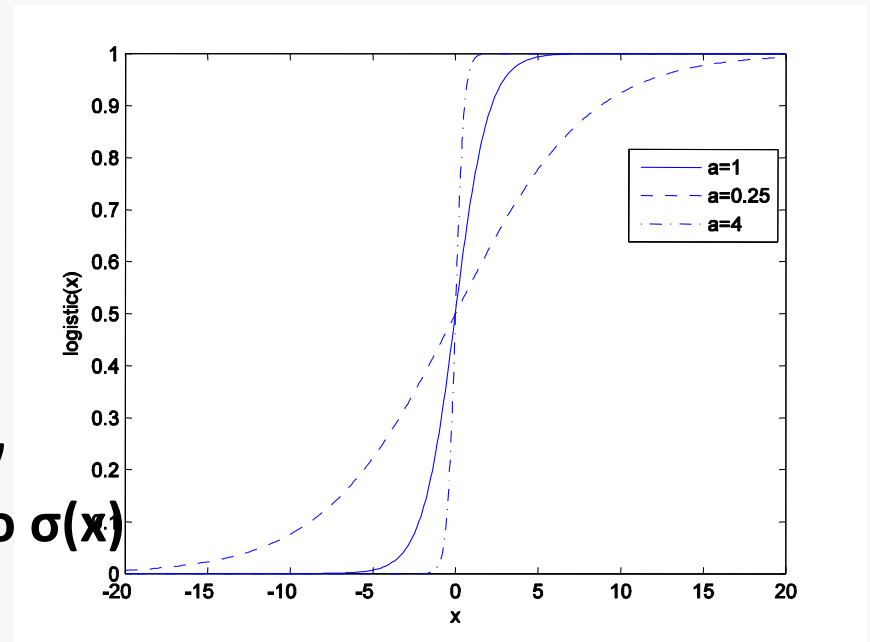
(a: κλίση, συνήθως $a=1$)

δίνει τιμές στο **(0,1)**

$$\sigma'(x) = \sigma(x)(1 - \sigma(x)) \quad (\text{για } a=1)$$

$$\sigma''(x) = \sigma(x)(1 - \sigma(x))(1 - 2\sigma(x))$$

Μπορούμε να υπολογίσουμε την παράγωγο $\sigma'(x)$ ξέροντας μόνο το $\sigma(x)$ χωρίς να χρειάζεται η τιμή του x .



Συναρτήσεις ενεργοποίησης

2) Υπερβολική εφαπτομένη:

$$\tanh(x) = \frac{e^{ax} - e^{-ax}}{e^{ax} + e^{-ax}}$$

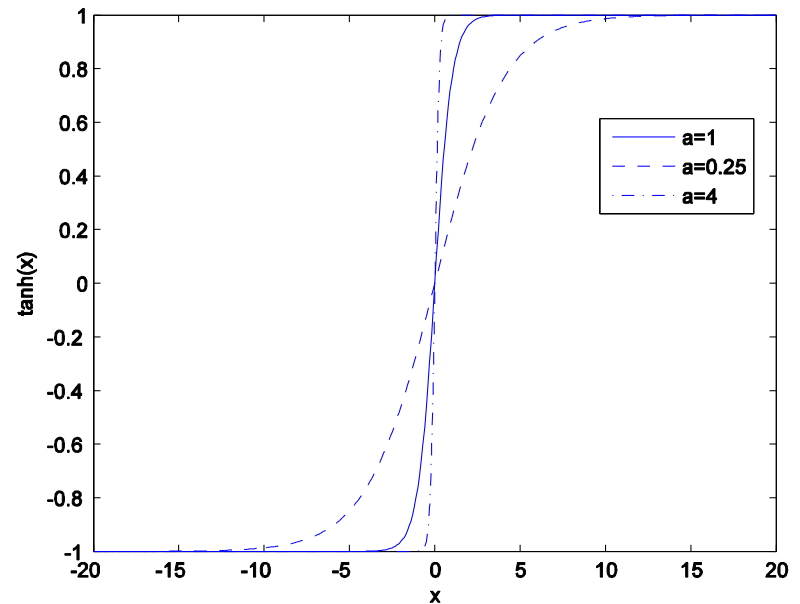
(a: κλίση, συνήθως $a=1$)
δίνει τιμές στο $(-1,1)$

$$\tanh'(x) = 1 - \tanh^2(x) \text{ (για } a=1)$$

- Γραμμική συνάρτηση

$$g(x) = x, g'(x) = 1$$

δίνει τιμές στο \mathbb{R}



Συναρτήσεις Ενεργοποίησης

- **Rectified linear unit (Relu)**

$$f(x) = \max(0, x)$$

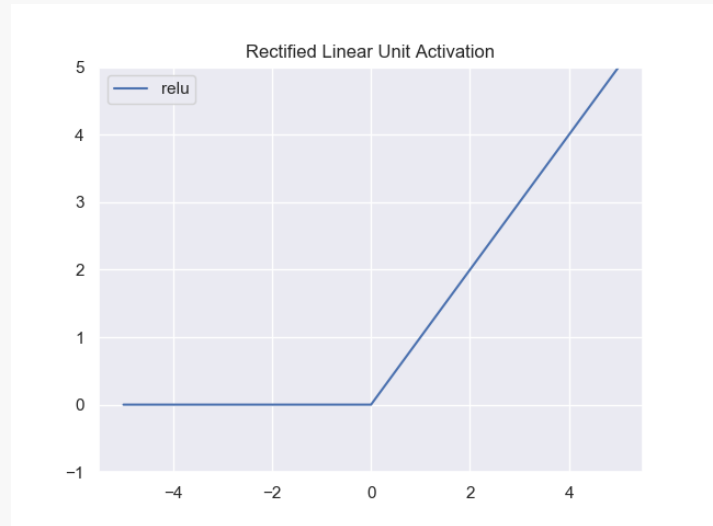
- Χαρακτηριστικά

- Μη γραμμική

- $(f(-1) + f(1) = 1, f(-1+1) = 0)$

- Αραιότερες ενεργοποιήσεις-υπολογιστικά ευνοϊκή

- Ιδανική για βαθιά δίκτυα



- **Μειονεκτήματα:**

- Δεν είναι άνω φραγμένη

- Για αρνητικές παραμέτρους, η τοπική παράγωγος είναι 0, επομένως δεν ανταποκρίνονται κατά την εκπαίδευση (dying Relu problem)