

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
Π.Σ. ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Τ.Ε.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ
ΜΑΘΗΜΑ 2^ο

ΣΤΑΥΡΟΣ ΑΔΑΜ

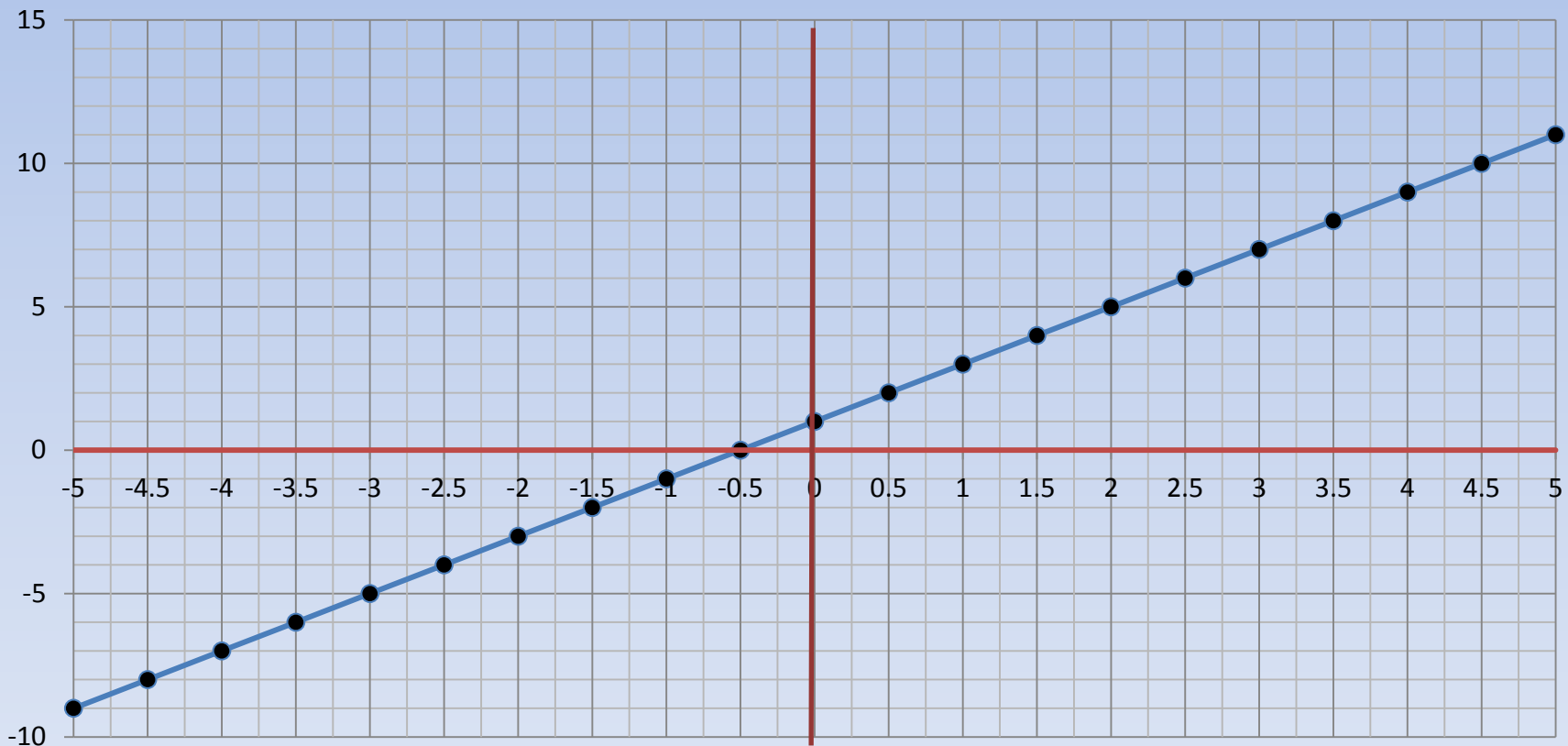
ΧΕΙΜΕΡΙΝΟ ΕΞΑΜΗΝΟ 2020-2021

Πρόβλημα ταξινόμησης

- Γραμμική διαχωρισιμότητα.
- Ύπαρξη μιας ευθείας που διαχωρίζει δύο κατηγορίες
- Εξίσωση ευθείας, $y = \alpha x + \beta$
- π.χ. $\alpha = 2, \beta = 1$ $y = 2x + 1$
- όπου α είναι η κλίση και β η μετατόπιση

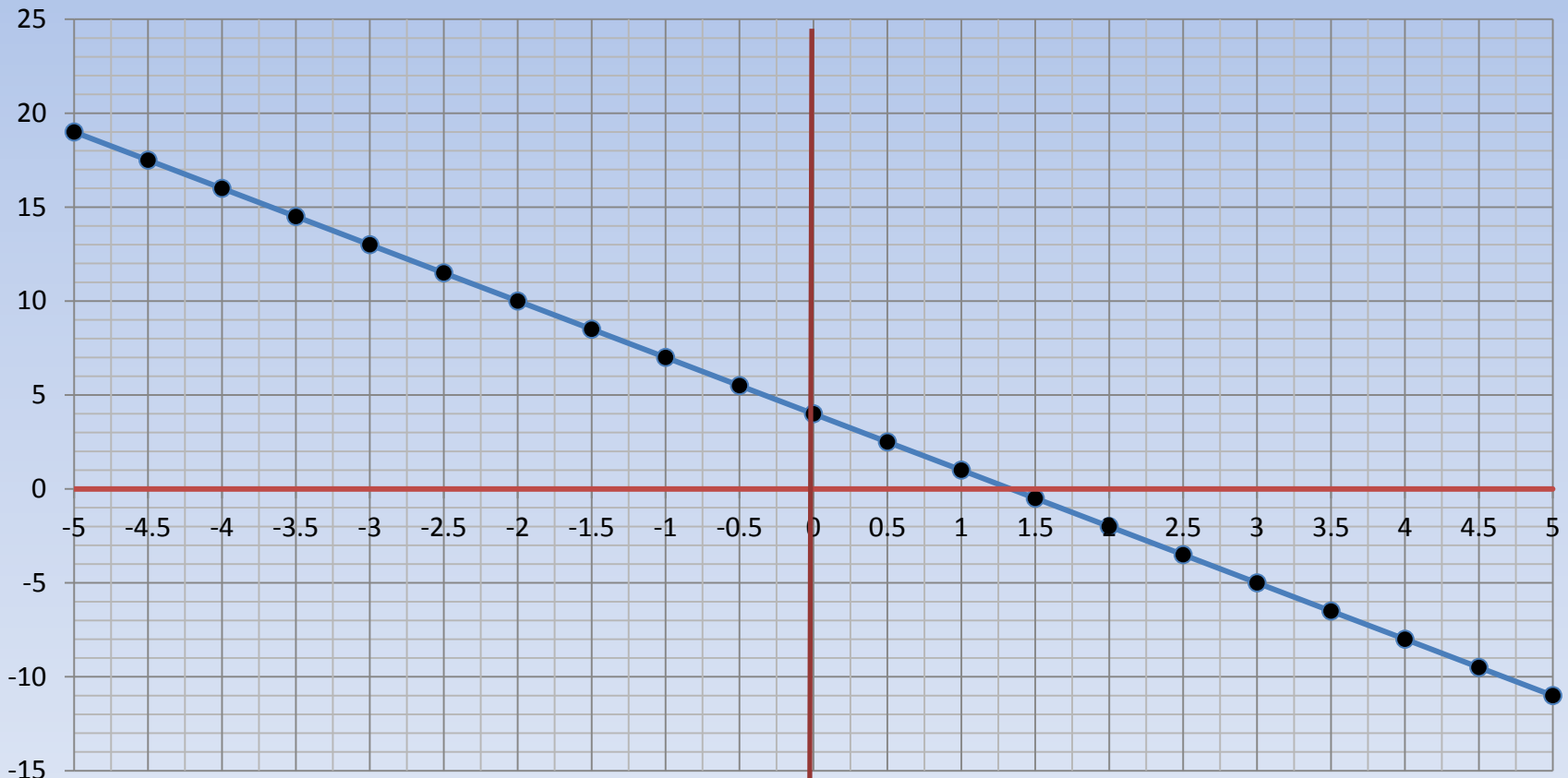
Πρόβλημα ταξινόμησης

- Γράφημα $y = 2x + 1$



Πρόβλημα ταξινόμησης

- Ευθεία $y = -3x + 4$



- Γενική μορφή εξίσωσης ευθείας στο επίπεδο

$$ax_1 + bx_2 + c = 0$$

ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ

- Γενική μορφή εξίσωσης ευθείας στο επίπεδο

$$ax_1 + bx_2 + c = 0$$

- Δύο βασικές ανισώσεις

$$ax_1 + bx_2 + c < 0 \quad ax_1 + bx_2 + c > 0$$

ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ

- Γενική μορφή εξίσωσης ευθείας στο επίπεδο

$$ax_1 + bx_2 + c = 0$$

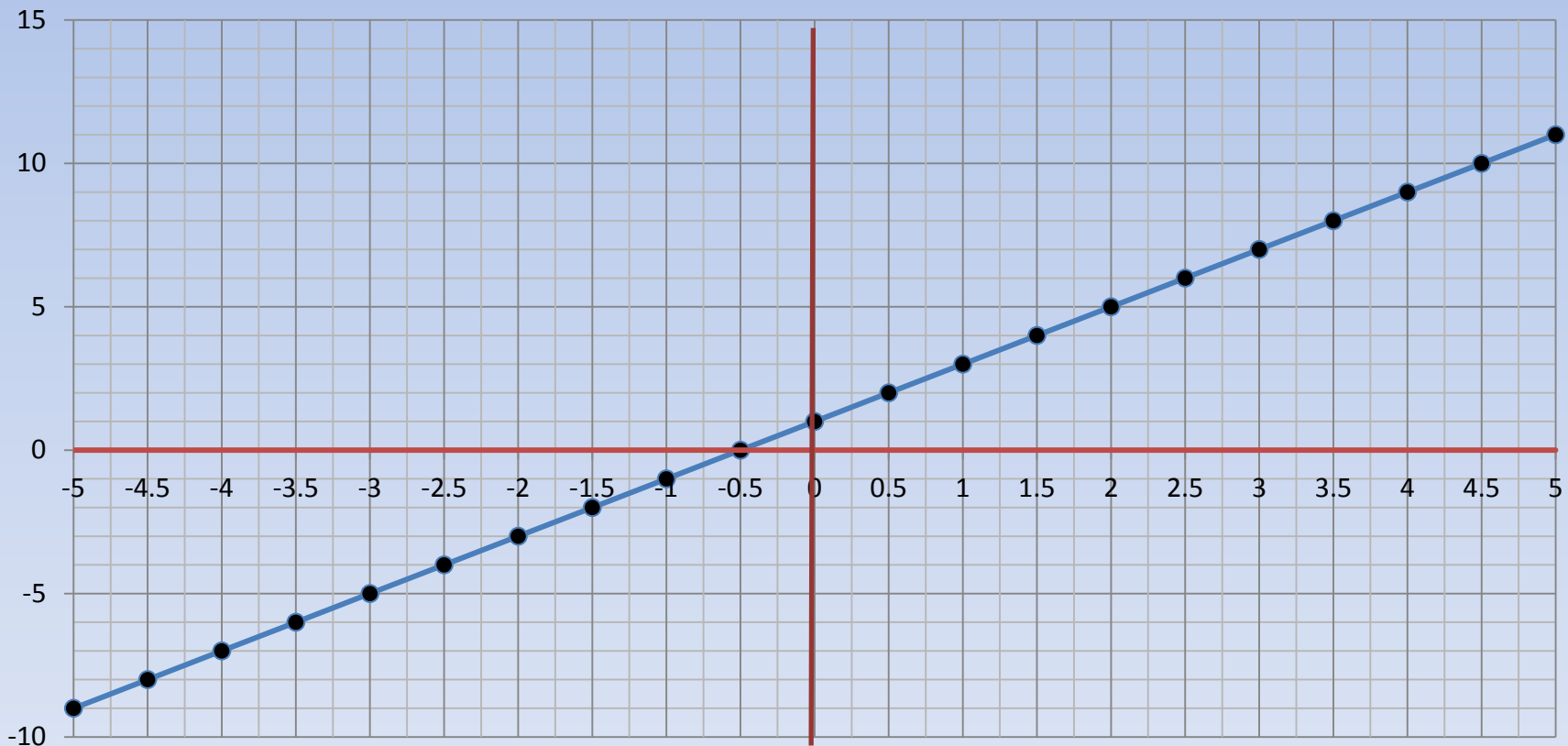
- Δύο βασικές ανισώσεις

$$ax_1 + bx_2 + c < 0 \quad ax_1 + bx_2 + c > 0$$

- Που αληθεύουν αυτές οι ανισώσεις;

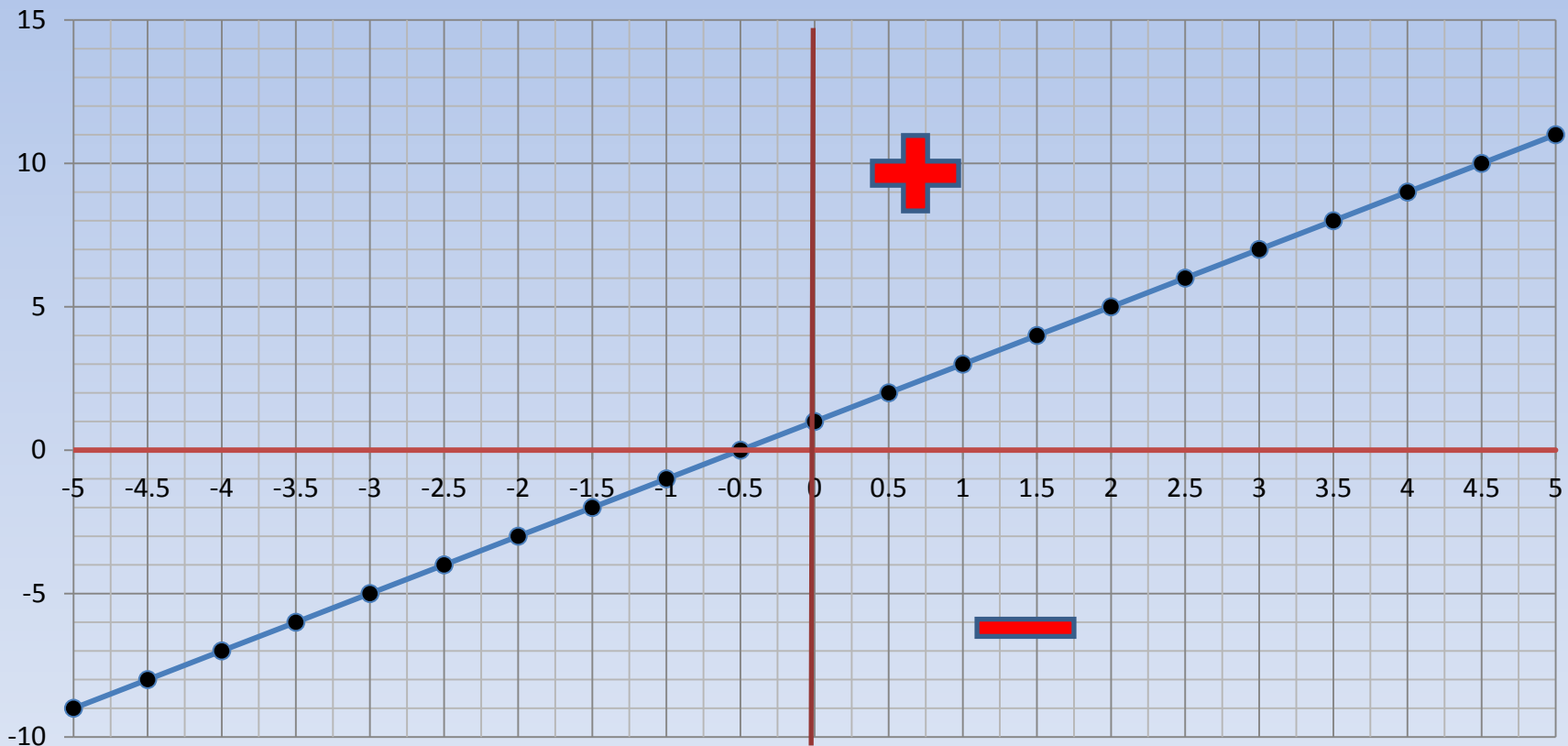
Πρόβλημα ταξινόμησης

- Γράφημα $y = 2x + 1 \Rightarrow y - 2x - 1 = 0$



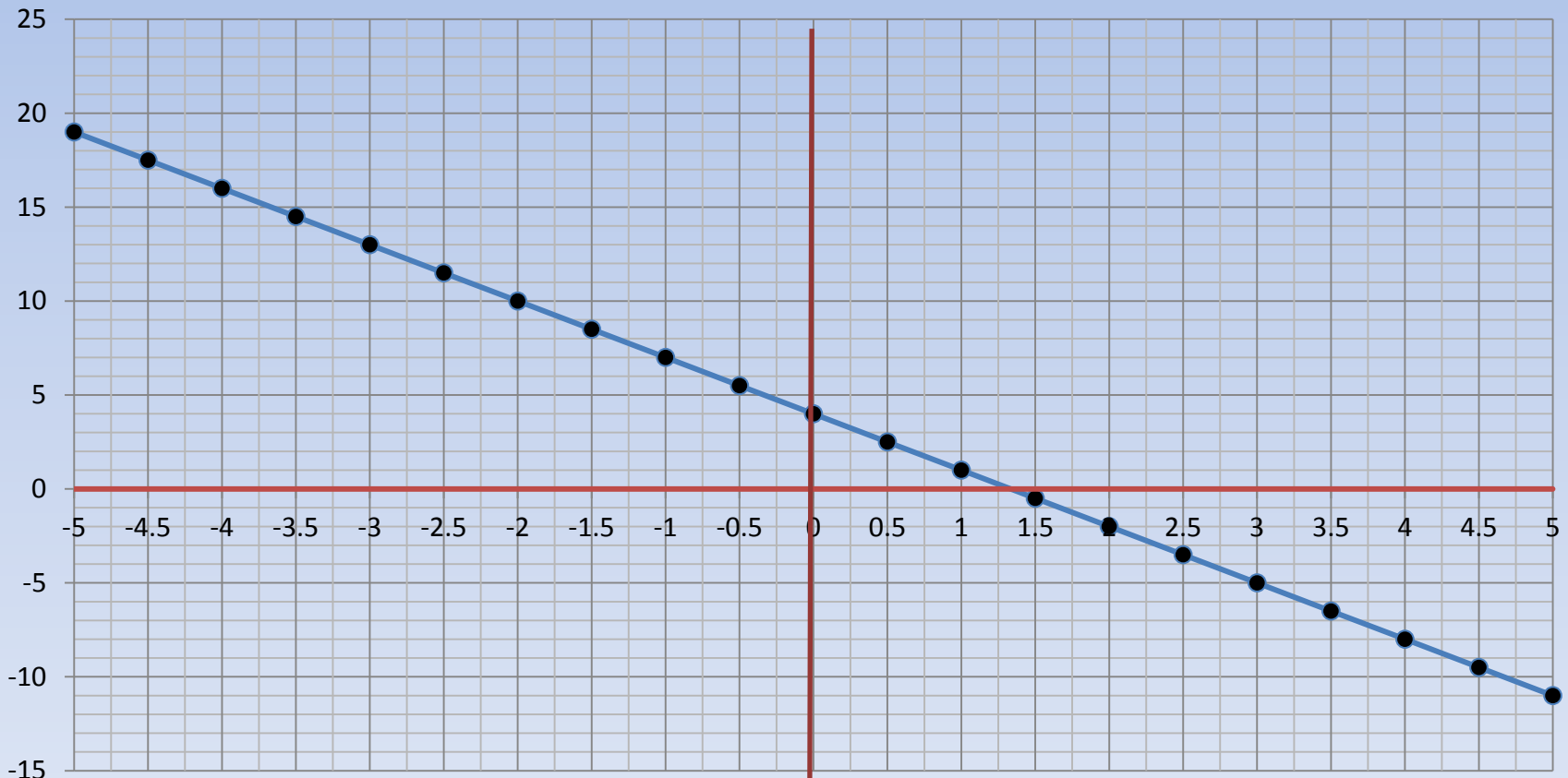
Πρόβλημα ταξινόμησης

- Γράφημα $y = 2x + 1 \Rightarrow y - 2x - 1 = 0$



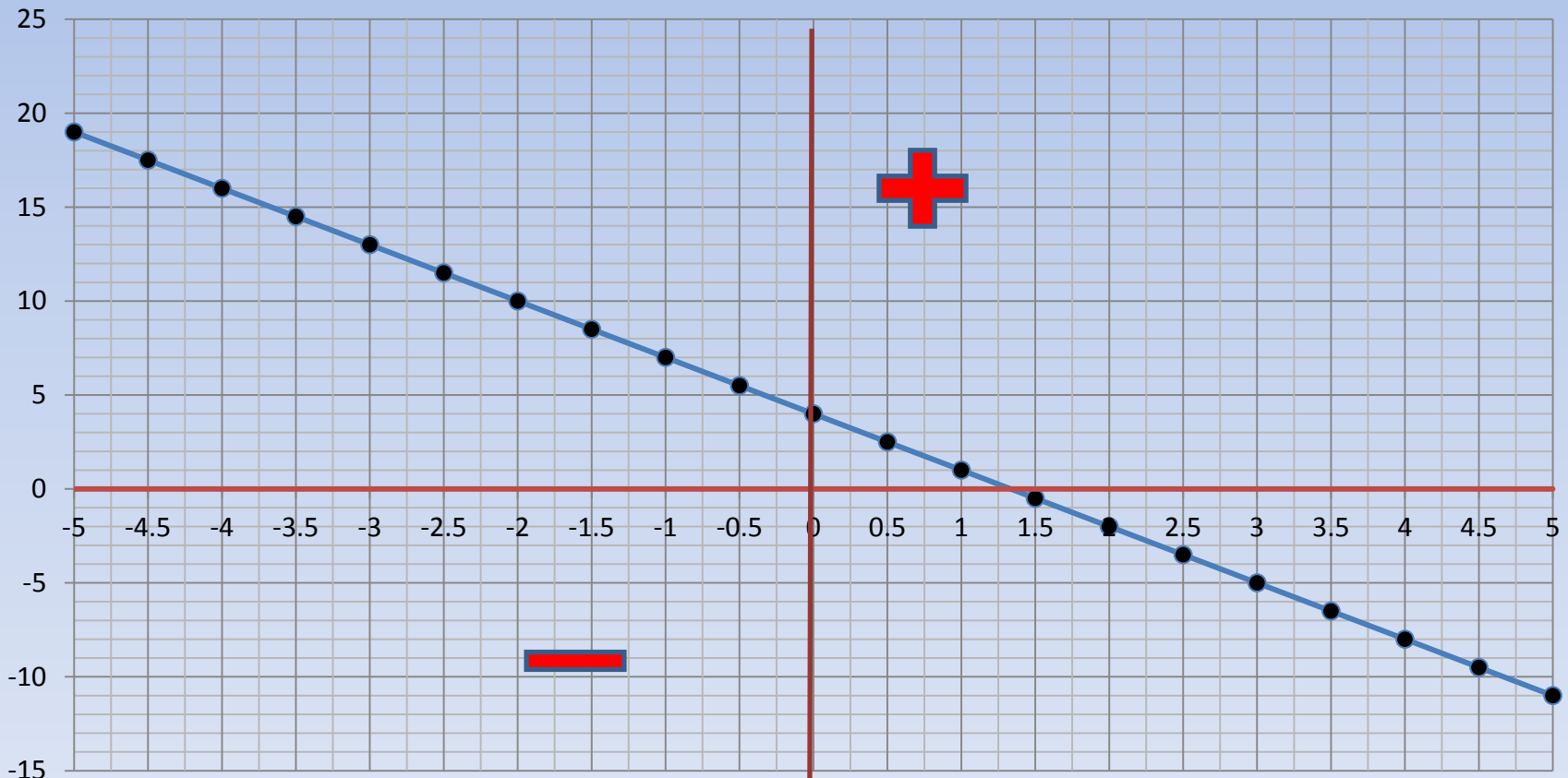
Πρόβλημα ταξινόμησης

- Ευθεία $y = -3x + 4 \Rightarrow y + 3x - 4 = 0$



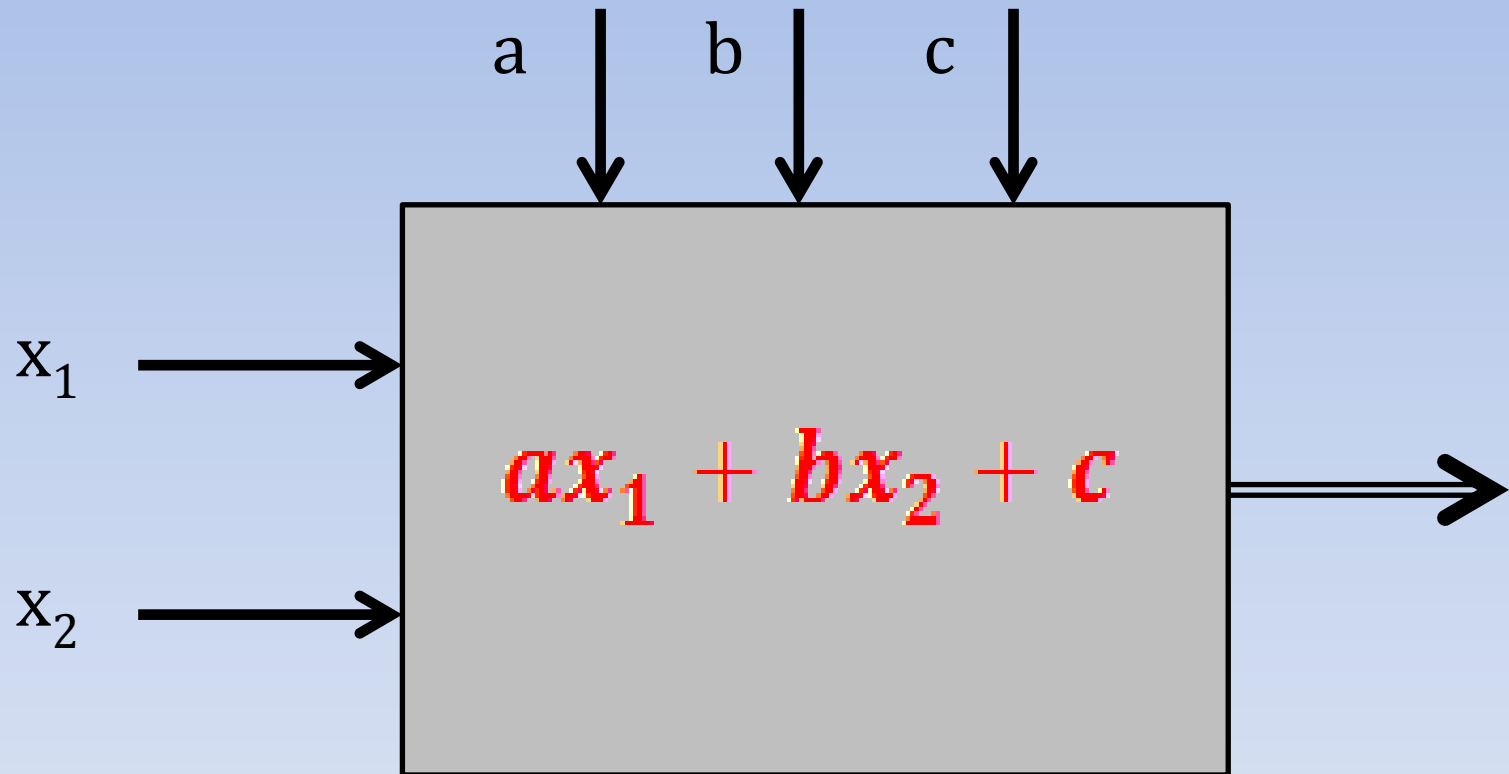
Πρόβλημα ταξινόμησης

- Ευθεία $y = -3x + 4 \Rightarrow y + 3x - 4 = 0$



ΑΠΟ ΤΟ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟ ΣΤΟΝ ΤΕΧΝΗΤΟ ΝΕΥΡΩΝΑ

Υπολογιστική Μονάδα

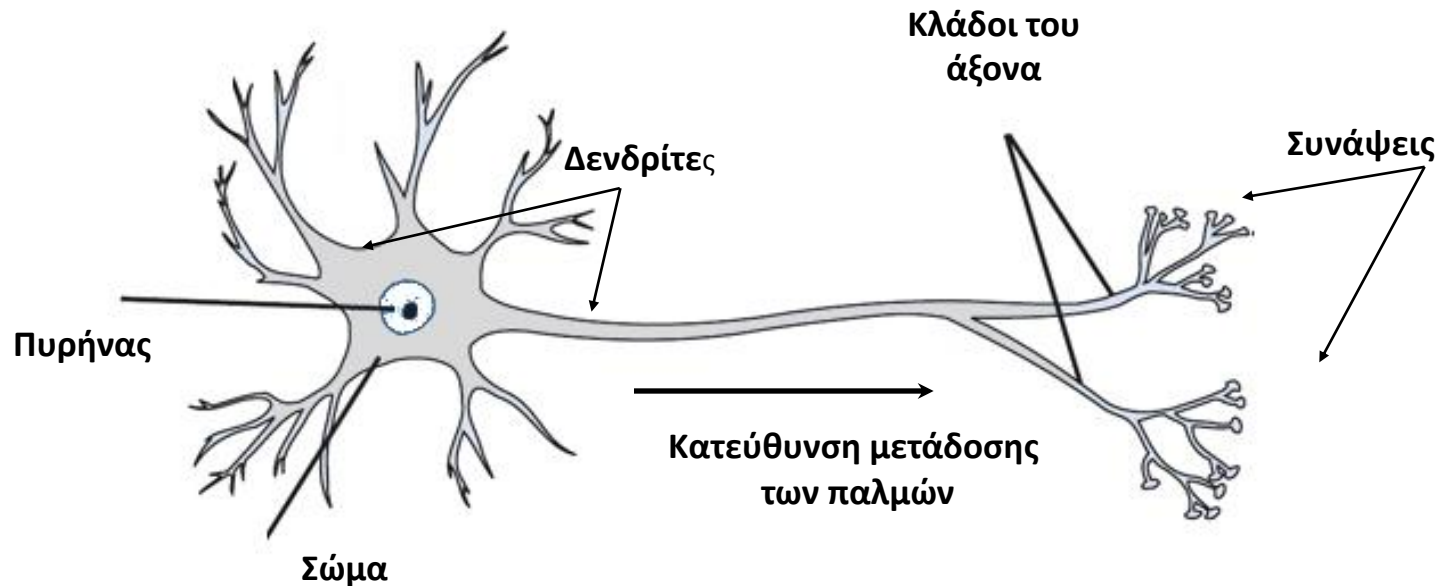


Σχόλια

- Τιμές για την έξοδο της υπολογιστικής μονάδας:
 $\rightarrow +, -, 0 \text{ ή } 0, 1 \text{ ή } -1, 1$
- Τι χρειάζεται επί πλέον ώστε να δίνει τις τιμές αυτές;
- Σε ποió βαθμό η υπολογιστική μονάδα που περιγράψαμε μοιάζει με το βιολογικό νευρώνα;
- Πως υπολογίζονται δηλ. πως ρυθμίζονται οι συντελεστές a, b, c ;

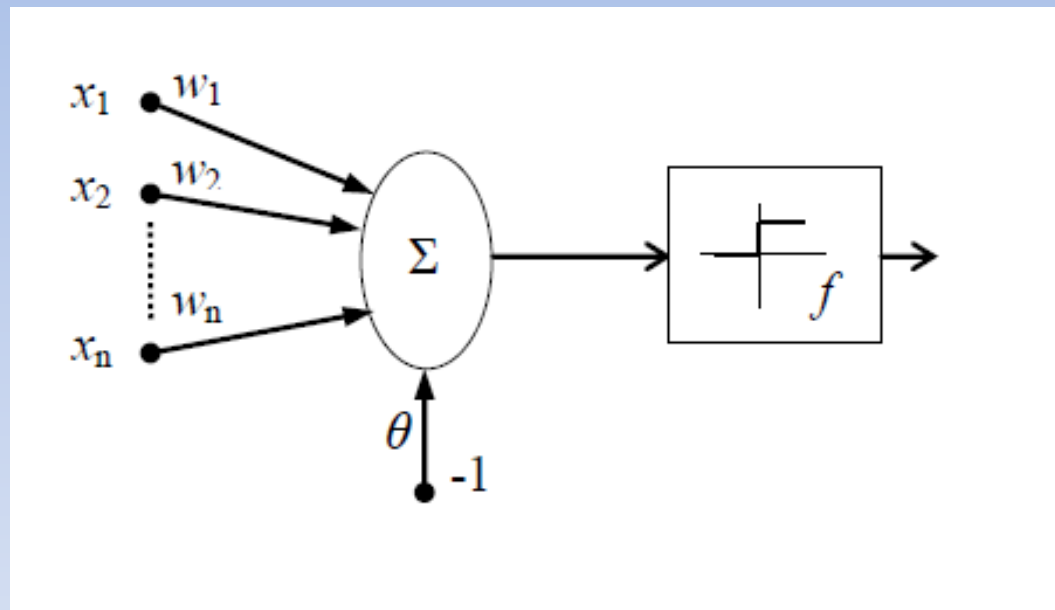
ΑΠΟ ΤΟ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟ ΣΤΟΝ ΤΕΧΝΗΤΟ ΝΕΥΡΩΝΑ

Τυπική δομή βιολογικού νευρώνα



ΑΠΟ ΤΟ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟ ΣΤΟΝ ΤΕΧΝΗΤΟ ΝΕΥΡΩΝΑ

Ο νευρώνας των McCulloch – Pitts



$$u = \sum_{i=1}^n w_i x_i$$

$$y = f(u - \theta)$$

$$s = u - \theta$$

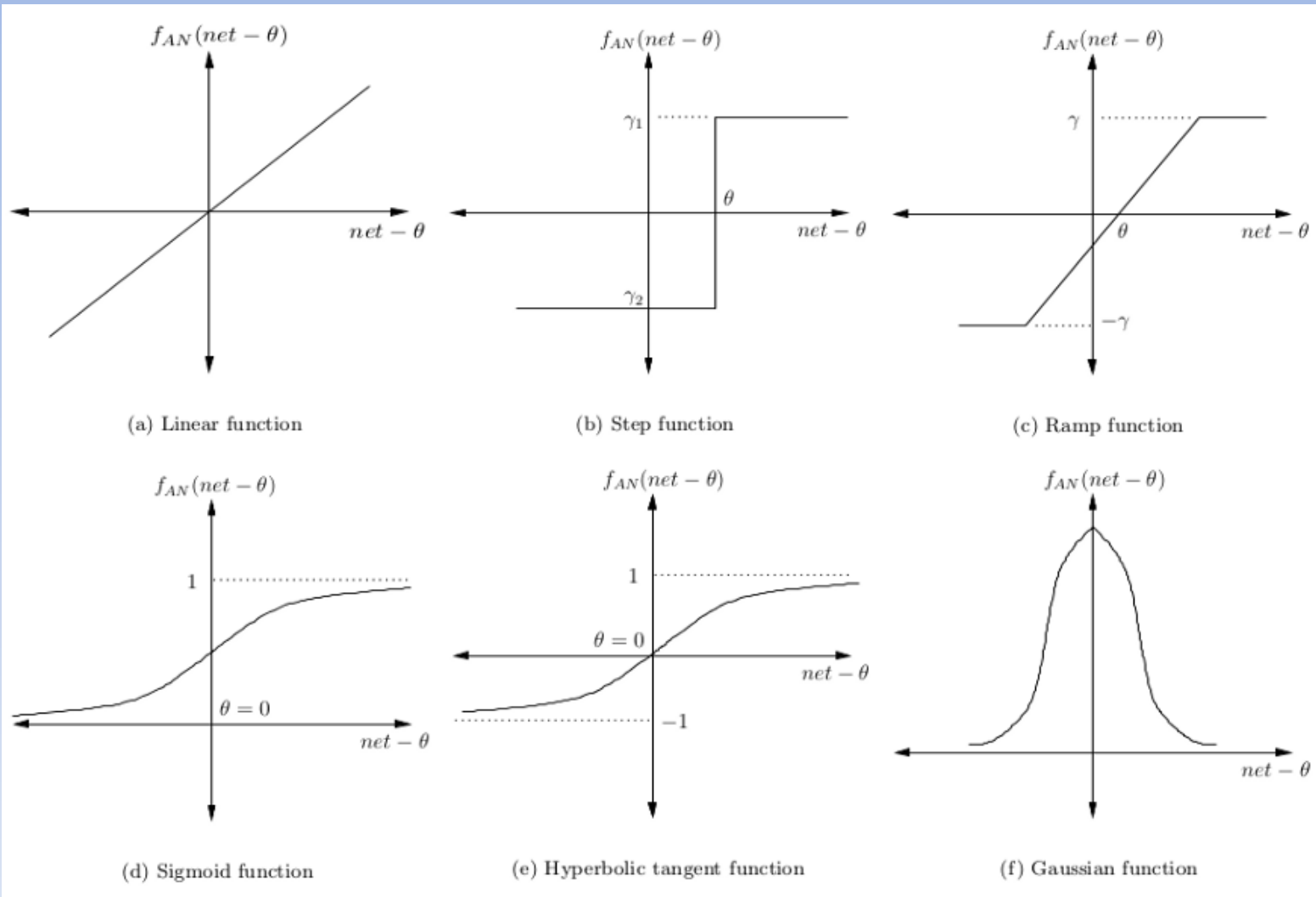
$$f(s) = \begin{cases} 0, & \alpha \nu s \leq 0 \\ 1, & \alpha \nu s > 0 \end{cases}$$

ΑΠΟ ΤΟ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟ ΣΤΟΝ ΤΕΧΝΗΤΟ ΝΕΥΡΩΝΑ

- Το άθροισμα είναι το εσωτερικό γινόμενο δύο διανυσμάτων:
 - του διανύσματος των δεδομένων εισόδου
 - του διανύσματος των συναπτικών βαρών
- Η συνάρτηση ενεργοποίησης του νευρώνα $f(s)$ είναι μη γραμμική
- Έχουν προταθεί διάφορες μοντελοποιήσεις του νευρώνα McCulloch-Pitts οι οποίες διαφέρουν κυρίως ως προς τον τύπο της συνάρτησης ενεργοποίησης
- Μορφές της συνάρτησης ενεργοποίησης.

(Εικόνα από το site <https://medium.com>)

ΑΠΟ ΤΟ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟ ΣΤΟΝ ΤΕΧΝΗΤΟ ΝΕΥΡΩΝΑ



Γενικές αρχές:

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

ΑΠΟ ΤΟ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟ ΣΤΟΝ ΤΕΧΝΗΤΟ ΝΕΥΡΩΝΑ

Η υπόθεση του Hebb:

Donald Hebb, “The Organization of Behavior”, (1949)

... When an axon of cell *A* is near enough to excite a cell *B* and repeatedly or persistently takes part in firing it, some growth process or metabolic change takes place in one or both cells such that *A*'s efficiency, as one of the cells firing *B*, is increased.

Στην αρχή αυτή βασίζονται διάφοροι κανόνες με τους οποίους ρυθμίζονται οι τιμές των συναπτικών βαρών στα Τ.Ν.Δ.

Στη συνέχεια θα μελετήσουμε ένα κανόνα προσαρμογής, δηλ. ρύθμισης, των συναπτικών βαρών σε ένα απλό μοντέλο τεχνητού νευρώνα ο οποίος θα εκπαιδευτεί σε ένα απλο πρόβλημα ταξινόμησης μιας στοιχειώδους λογικής συνάρτησης.

Στην αρχή θα κάνουμε κάποιες υποθέσεις για το μοντέλο του τεχνητού νευρώνα, στη συνέχεια θα περιγράψουμε τον κανόνα προσαρμογής των συναπτικών βαρών και τέλος θα δείξουμε πως εφαρμόζεται ο εν λόγω κανόνας στο απλό πρόβλημα ταξινόμησης.

Υποθέσεις για τον τεχνητό νευρώνα:

- Δύο είσοδοι x_1 και x_2
- Το σήμα εισόδου για το Bias είναι $+1$
- Η συνάρτηση ενεργοποίησης είναι

$$f(s) = \begin{cases} 0, & \text{αν } s \leq 0 \quad (1) \\ s, & \text{αν } s > 0 \quad (2) \end{cases}$$

- (1) η έξοδος χαρακτηρίζεται ανενεργή (Inactive)
- (2) η έξοδος χαρακτηρίζεται ενεργή (Active)
- Με τον ίδιο τρόπο μια είσοδος χαρακτηρίζεται ενεργή ή ανενεργή ανάλογα με την τιμή της

Κανόνας (αλγορίθμος) προσαρμογής των βαρών του τεχνητού νευρώνα

- Στις εισόδους του τεχνητού νευρώνα δίνονται με τη σειρά οι τιμές εισόδου για κάθε πρότυπο και η τρέχουσα έξοδος (**A**ctual **O**utput) του νευρώνα συγκρίνεται με την αντίστοιχί επιθυμητή έξοδο (**D**esired **O**utput) για το κάθε πρότυπο
- Η διόρθωση (ρύθμιση) των συναπτικών βαρών εκτελείται εφαρμόζοντας τον επόμενο κανόνα:

Αν η έξοδος του νευρώνα

- είναι ενεργή (θετική τιμή) και είναι επιθυμητό να είναι ενεργή
ή
- είναι ανενεργή (τιμή αρνητική ή μηδέν) και είναι επιθυμητό να είναι ανενεργή
τότε
- καμμία διόρθωση των τιμών για τα βάρη

Αν η έξοδος του νευρώνα

- είναι ανενεργή (τιμή αρνητική ή μηδέν) και είναι επιθυμητό να είναι ενεργή (τιμή θετική)

τότε

- αύξησε τις τιμές των βαρών για τις ενεργές εισόδους κατά μία σταθερή ποσότητα δ , έστω $0 < \delta \leq 1$.

Αν η έξοδος του νευρώνα

- είναι ενεργή (τιμή θετική) και είναι επιθυμητό να είναι ανενεργή (τιμή αρνητική ή μηδέν)

τότε

- μείωσε τις τιμές των βαρών για τις ενεργές εισόδους κατά μία σταθερή ποσότητα δ , έστω $0 < \delta \leq 1$.

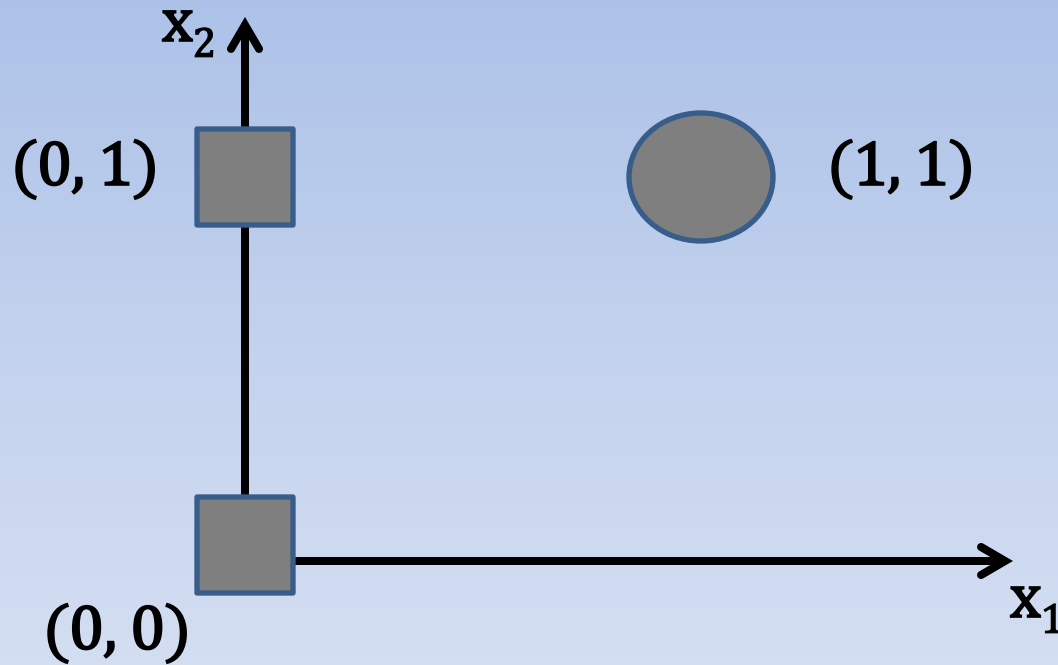
ΕΚΠΑΪΔΕΥΣΗ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΝΕΥΡΩΝΑ

Παράδειγμα εφαρμογής για το πρόβλημα:

x_1	x_2	Έξοδος
0	0	Ενεργή (A)
0	1	Ενεργή (A)
1	1	Ανενεργή (I)

ΕΚΠΑΪΔΕΥΣΗ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΝΕΥΡΩΝΑ

Γραφικά:



ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΝΕΥΡΩΝΑ

Bias	x_1	x_2	DO	w_0	w_1	w_2	AO	I/D/N
+1	0	0	A	0	0	0	I	
				+0.1	—	—		Incr.
+1	0	1	A	0.1	0	0	A	
				—	—	—		No c.
+1	1	1	I	0.1	0	0	A	
				-0.1	-0.1	-0.1		Decr.
+1	0	0	A	0	-0.1	-0.1	I	
				+0.1	—	—		Incr.
+1	0	1	A	0.1	-0.1	-0.1	I	
				+0.1	—	+0.1		Incr.

ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΝΕΥΡΩΝΑ

Bias	x_1	x_2	DO	w_0	w_1	w_2	AO	I/D/N
+1	1	1	I	+0.2	-0.1	0	A	
				-0.1	-0.1	-0.1		Decr.
+1	0	0	A	+0.1	-0.2	-0.1	A	
				—	—	—		No c.
+1	0	1	A	+0.1	-0.2	-0.1	I	
				+0.1	—	+0.1		Incr.
+1	1	1	I	+0.2	-0.2	0	I	
				—	—	—		No c.
+1	0	0	A	+0.2	-0.2	0	A	
				—	—	—		No c.

ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΝΕΥΡΩΝΑ

Bias	x_1	x_2	DO	w_0	w_1	w_2	AO	I/D/N
+1	0	1	A	+0.2	-0.2	0	A	
				—	—	—		No c.
+1	1	1	I	+0.2	-0.2	0	I	
				—	—	—		No c.
				+0.2	-0.2	0		

- **DO**: Desired Output, η έξοδος που θέλουμε για το συγκεκριμένο πρότυπο
- **AO**: Actual Output, η έξοδος που παίρνουμε για το συγκεκριμένο πρότυπο με τα συγκεκριμένα βάρη
- **I/D/N**: Increase/Decrease/No change, αύξηση/μείωση/καμμία αλλαγή στις τιμές των βαρών

ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΝΕΥΡΩΝΑ

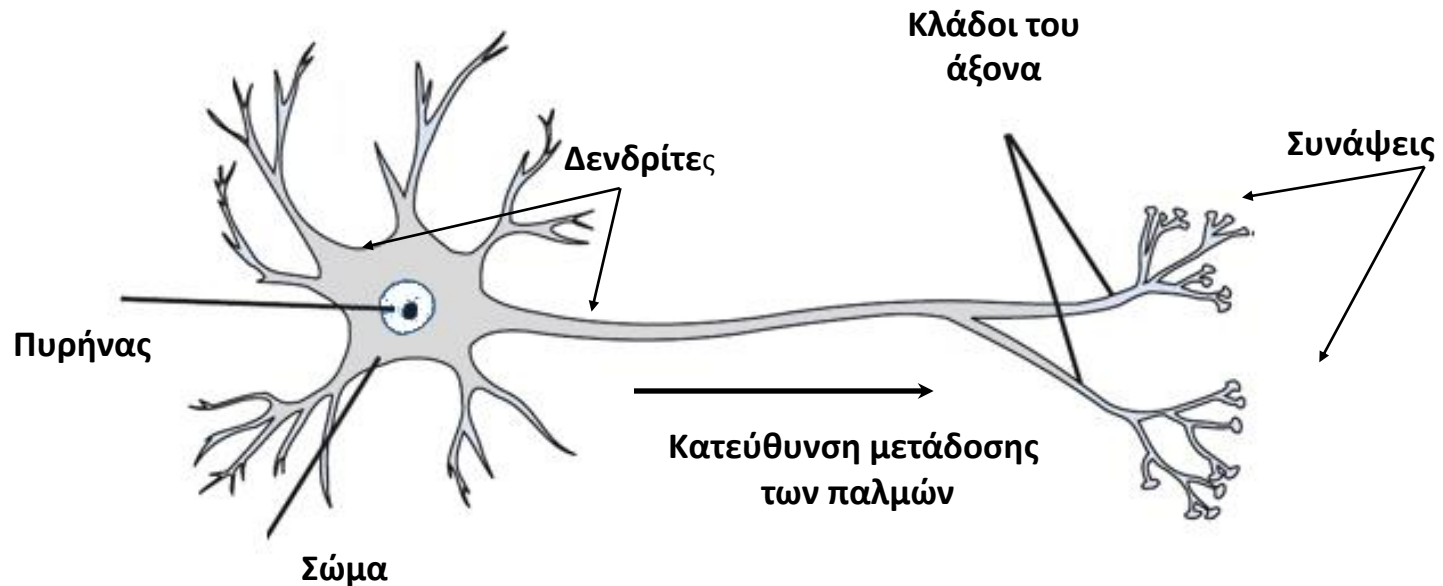
Ασκήσεις:

1. Να επαναλάβετε την προηγούμενη διαδικασία με τιμή για το $\text{bias} = -1$ και για $\delta = 0.5$
2. Να επαναλάβετε τον αλγόριθμο με τιμές για το $\text{bias} = +1$ και το $\delta = 0.5$, για το πρόβλημα:

x_1	x_2	Έξοδος
0	0	Ενεργή (A)
1	1	Ενεργή (A)
1	0	Ανενεργή (I)

ΑΠΟ ΤΟ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟ ΣΤΟΝ ΤΕΧΝΗΤΟ ΝΕΥΡΩΝΑ

Τυπική δομή βιολογικού νευρώνα



ΤΕΧΝΗΤΑ ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

- Κατά τη λειτουργία του βιολογικού νευρώνα η συνολική διέγερση είναι το άθροισμα των διεγέρσεων σε όλους τους δενδρίτες
- Η συχνότητα των παλμών που δημιουργούνται στην έξοδο του νευρώνα και άρα μεταφέρονται μέσω του άξονα είναι ανάλογη της συνολικής διέγερσης
- Στον ανθρώπινο εγκέφαλο υπάρχουν περίπου 100 δισεκατομμύρια νευρώνες
- Κάθε νευρώνας επεξεργάζεται τα σήματα εισόδου και τα μεταφέρει σε άλλους νευρώνες μέσω περίπου 1000 (περίπου) συνάψεων
- Οι νευρώνες είναι διασυνδεδεμένοι μεταξύ τους σχηματίζοντας τον εγκεφαλικό ιστό που αποτελεί ένα δίκτυο νευρώνων

ΤΕΧΝΗΤΑ ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ΤΝΔ)

Βιολογικός νευρώνας $\Leftrightarrow$ τεχνητός νευρώνας

Εγκεφαλικός ιστός $\Leftrightarrow$ δομή δικτύου

- Ένα ΤΝΔ είναι μια αρχιτεκτονική δομή (δίκτυο) αποτελούμενη από ένα πλήθος διασυνδεδεμένων μονάδων επεξεργασίας (τεχνητοί νευρώνες)
- Κάθε μονάδα επεξεργασίας εκτελεί έναν απλό υπολογισμό και με βάση το αποτέλεσμα μεταδίδει πληροφορία στις υπολογιστικές μονάδες με τις οποίες είναι συνδεδεμένη
- Οι συνδέσεις μεταξύ των μονάδων επεξεργασίας αντιστοιχούν στις συνάψεις και κάθε σύναψη χαρακτηρίζεται από ένα συντελεστή δηλ. το συναπτικό βάρος

Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα

Παραδοχή:

Οι νοήμονες λειτουργίες δεν είναι αποκλειστικότητα του ανθρώπινου εγκεφάλου

Δυνατότητες των ΤΝΔ:

- Μάθηση με παραδείγματα (αναγνώριση, ταξινόμηση, κλπ.)
- Ικανότητα γενίκευσης
- Ανοχή σε θόρυβο και βλάβες
- Διαχείριση ελλιπούς πληροφορίας και αβεβαιότητας
- Ικανότητα αποθήκευσης γνώσης
- Αυτοοργάνωση
- Απομνημόνευση «γνώσης»

Σχετικά με τη Μάθηση

- Η μάθηση από παραδείγματα είναι αποτέλεσμα της διαδικασίας εκπαίδευσης. Στόχος της είναι ο καθορισμός των τιμών των συναπτικών βαρών ώστε το δίκτυο να επιτελεί μια νοήμονα λειτουργία η οποία περιγράφεται άτυπα από τα παραδείγματα.
- Ικανότητα γενίκευσης. Η μάθηση είναι επιτυχής όταν το ΤΝΔ είναι ικανό να επιτελεί την επιθυμητή λειτουργία όχι μόνο στα γνωστά παραδείγματα αλλά και σε άγνωστα, επιδεικνύοντας έτσι ικανότητα γενίκευσης.

Σχετικά με τη Μάθηση

- Όταν τα παραδείγματα εκπαίδευσης είναι αντιπροσωπευτικά της λειτουργίας για εκμάθηση τότε τα ΤΝΔ έχουν αποδείξει ότι αποτελούν συστήματα με αξιόλογη γενικευτική ικανότητα.