



Τμήμα Πληροφορικής με Εφαρμογές στη Βιοϊατρική
Σχολή Θετικών Επιστημών
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΩΝ

Νευρωνικά Δίκτυα

Αριστείδης Γ. Βραχάτης, Dipl-Ing, M.Sc, PhD

Τεχνικές Ταξινόμησης

- Γραμμικοί Ταξινομητές (Linear classifiers)
 - Logistic regression
 - Naive Bayes classifier
 - Αισθητήρας (Perceptron)
 - Μηχανές Διανυσμάτων Υποστήριξης (Support vector machines)
- Quadratic classifiers
- Κ-πλησιέστερων γειτόνων (k-nearest neighbor)
- Ενίσχυση (Boosting)
- Δέντρα Απόφασης (Decision trees)
 - Random forests
- Νευρωνικά Δίκτυα (Neural networks)
- Bayesian networks
- Hidden Markov models

Νευρωνικά δίκτυα

- Η ιδέα των Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων (ΤΝΔ) έχει προέλθει από τον τρόπο λειτουργίας των βιολογικών νευρωνικών δικτύων του ανθρώπινου εγκεφάλου
- Τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ΤΝΔ) ή απλά Νευρωνικά Δίκτυα (Ν.Δ.) αποτελούν μια προσπάθεια προσέγγισης της λειτουργίας του ανθρώπινου εγκεφάλου από μια μηχανή
- Η αρχιτεκτονική τους βασίζεται στην αρχιτεκτονική των Βιολογικών Νευρωνικών Δικτύων
- Τα ΤΝΔ είναι μια συλλογή από νευρώνες (Processing Units-PU) που συνδέονται μεταξύ τους
- Οι συνδέσεις μεταξύ των PU διαφέρουν ως προς τη σημαντικότητά τους, η οποία και προσδιορίζεται από το συντελεστή βάρους (σύναψη).

Νευρωνικά δίκτυα - Η βιολογική έμπνευση

- Ο ανθρώπινος εγκέφαλος αποτελείται κατά κύριο λόγο από ένα ευρύ φάσμα νευρώνων (86.000.000.000 κατά προσέγγιση), οι οποίοι είναι μαζικά διασυνδεδεμένοι με ένα μέσο όρο από διάφορες χιλιάδες διασυνδέσεις ανά νευρώνα.
- Κάθε νευρώνας είναι ένα εξειδικευμένο κύτταρο το οποίο έχει τη δυνατότητα μετάδοσης ενός ηλεκτροχημικού σήματος.
- Ο νευρώνας έχει μια διακλαδωτική διάρθρωση εισροών, τους δενδρίτες (dendrites), ένα κυτταρικό σώμα και μια διακλαδωτική δομή εκροών (τον άξονα). Οι άξονες ενός κυττάρου συνδέονται με τους δενδρίτες ενός άλλου, μέσω μιας σύναψης.
- Όταν, λοιπόν, ένας άξονας ενεργοποιηθεί, πυροδοτεί ένα ηλεκτροχημικό σήμα κατά μήκος του άξονα. Ένας νευρώνας εκτελεί αυτή τη διαδικασία μόνο όταν το συνολικό σήμα το οποίο λήφθηκε από τους δενδρίτες, υπερβεί ένα συγκεκριμένο επίπεδο, δηλαδή, το ουδό ενεργοποίησης (firing threshold).

Νευρωνικά δίκτυα - Η βιολογική έμπνευση

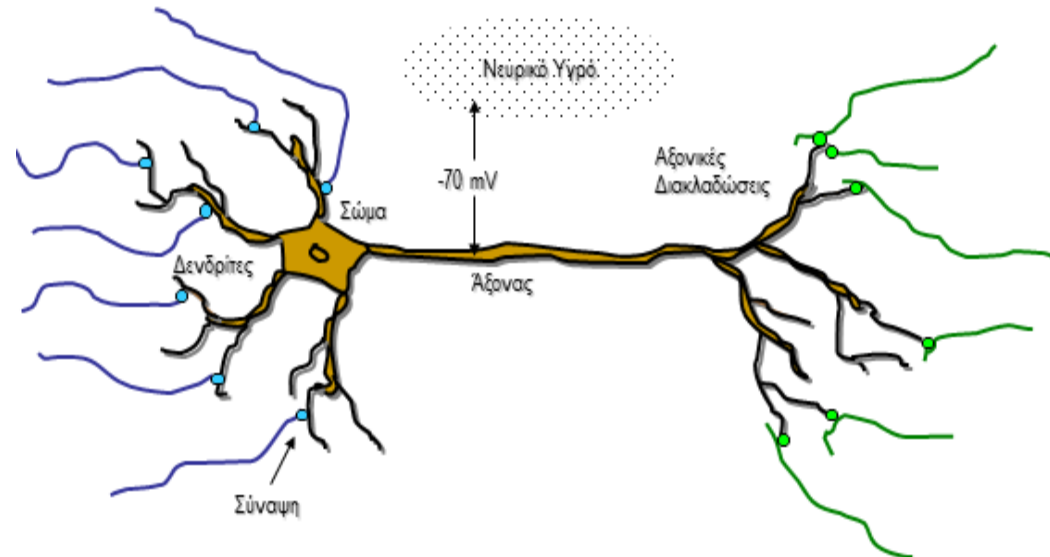
- Η ισχύς ενός σήματος που λαμβάνεται από ένα νευρώνα, εξαρτάται από την αποτελεσματικότητα των συνάψεων.
- Κάθε σύναψη περιέχει ένα κενό με νευροδιαβιβαστές χημικών ουσιών (neurotransmitter chemicals) που είναι σε ετοιμότητα για μετάδοση ενός μηνύματος.
- Ο Donald Hebb, ένας από τους πιο σημαντικούς ερευνητές στα νευρολογικά συστήματα, έθεσε ως ζήτημα πως η μάθηση συνιστάται κυρίως από τη μεταβολή της ισχύος των συναπτικών συνδέσμων.
- Κατά τη γέννησή του ο εγκέφαλος κατασκευάζει τους δικούς του κανόνες, “εμπειρία”, η οποία μεγαλώνει με την πάροδο του χρόνου.
- Κατά τα 2 πρώτα χρόνια ζωής, έχουμε τη μέγιστη ανάπτυξη, όπου δημιουργούνται περίπου 1 εκατομμύριο συνάψεις (synapses) στο δευτερόλεπτο.
- Οι συνάψεις μεσολαβούν στην ενδοεπικοινωνία των νευρώνων

Νευρωνικά δίτυα

- Για να χρησιμοποιηθεί ένα ΤΝΔ πρέπει πρώτα να εκπαιδευτεί για να μάθει
- Η μάθηση συνίσταται στον προσδιορισμό των κατάλληλων συντελεστών βάρους, ώστε το ΤΝΔ να εκτελεί τους επιθυμητούς υπολογισμούς, και πραγματοποιείται με τη βοήθεια αλγορίθμων που είναι γνωστοί ως κανόνες μάθησης
- Ο ρόλος των συντελεστών βάρους μπορεί να ερμηνευτεί ως αποθήκευση γνώσης, η οποία παρέχεται μέσω παραδειγμάτων

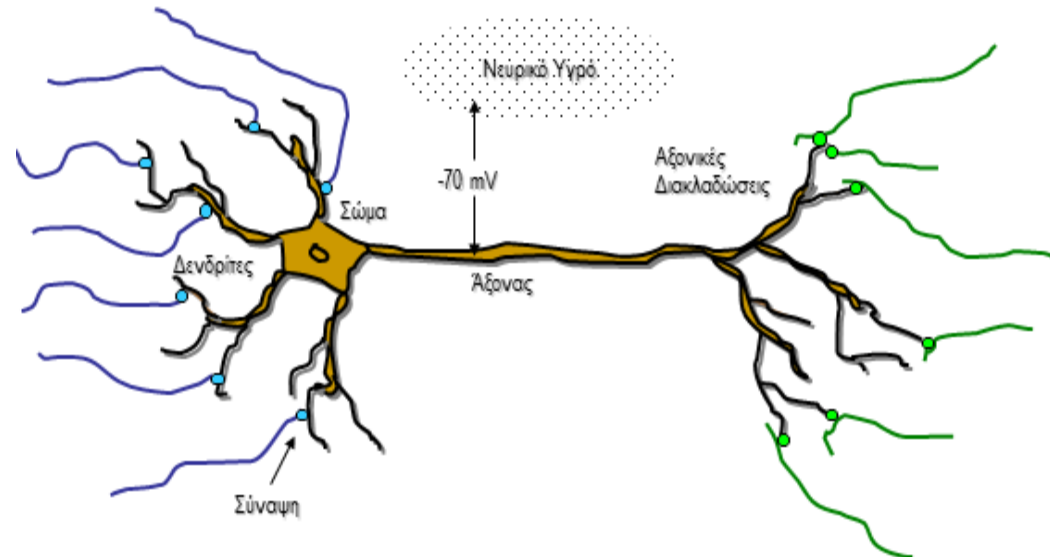
Ανθρώπινοι και Τεχνητοί Νευρώνες

- Διαδικασία εκμάθησης του ανθρώπινου εγκεφάλου
 - Υπολογίζεται πως ο ανθρώπινος εγκέφαλος περιέχει πάνω από 100 δισεκατομμύρια νευρώνες (10^{11}) και 10^{14} συνάψεις στο ανθρώπινο νευρικό σύστημα
 - Οι περισσότεροι νευρώνες έχουν δενδροειδείς δομές οι οποίες ονομάζονται δενδρίτες, και είναι αυτές που δέχονται σήματα εισόδου από τους άλλους νευρώνες, μέσω συνδέσεων, των επονομαζόμενων συνάψεων



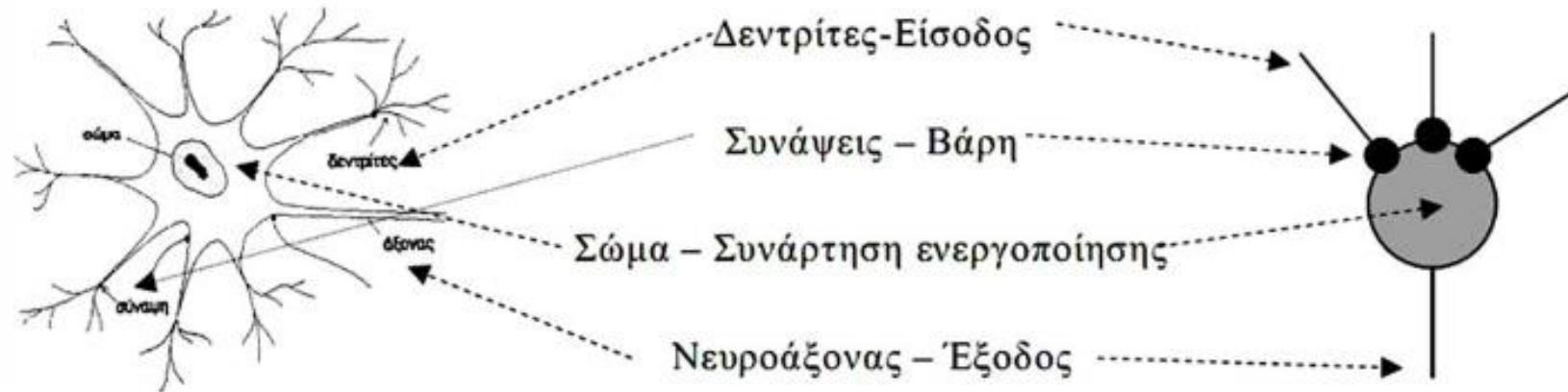
Ανθρώπινοι και Τεχνητοί Νευρώνες

- Στον ανθρώπινο εγκέφαλο, ένας τυπικός νευρώνας συγκεντρώνει τα σήματα από άλλους νευρώνες μέσω των δενδριτών.
- Ο νευρώνας στέλνει δυναμικά δράσης μέσω μακρών και λεπτών αξόνων οι οποίοι διαχωρίζονται σε χιλιάδες διακλαδώσεις
- Στο τέλος κάθε διακλάδωσης, η σύναψη μετατρέπει το δυναμικό του άξονα σε ηλεκτρικά δυναμικά τα οποία αναστέλλουν ή διεγείρουν τους συνδεδεμένους νευρώνες

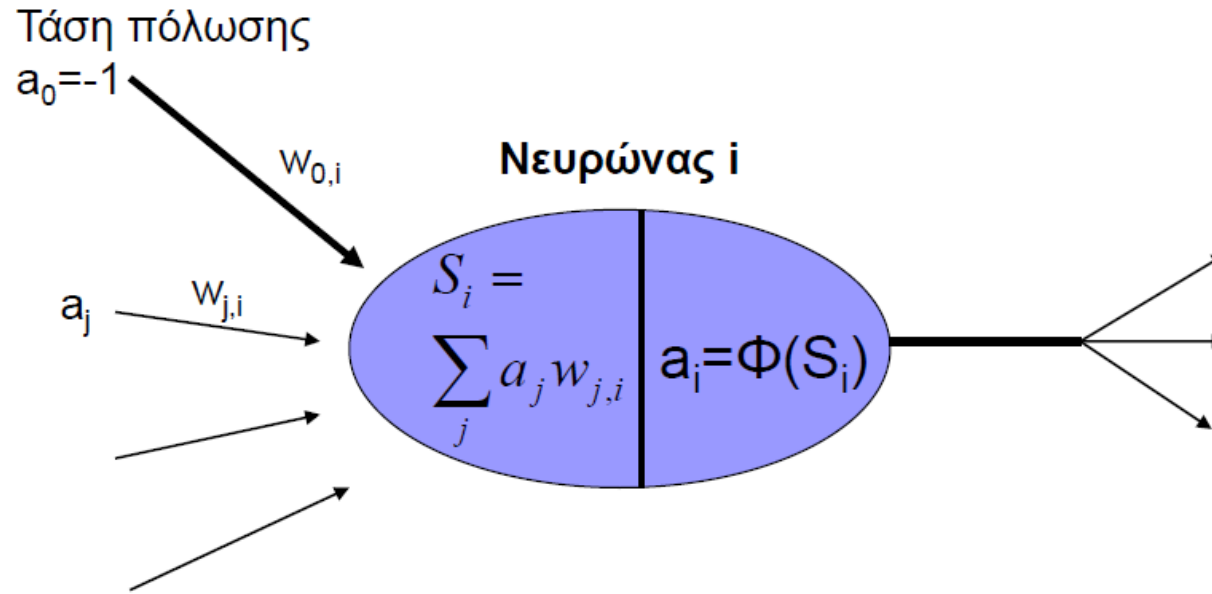


Από τους ανθρώπινους στους τεχνητούς νευρώνες

- Για την προσομοίωση των ανθρώπινων νευρωνικών δικτύων καταγράφονται αρχικά τα βασικά χαρακτηριστικά των νευρώνων και των διασυνδέσεών τους.
- Στη συνέχεια προγραμματίζεται ο υπολογιστής για την προσομοίωση αυτών των χαρακτηριστικών.
- τα μοντέλα που έχουν δημιουργηθεί είναι αδρές απομιμήσεις των πραγματικών εγκεφαλικών νευρωνικών δικτύων.

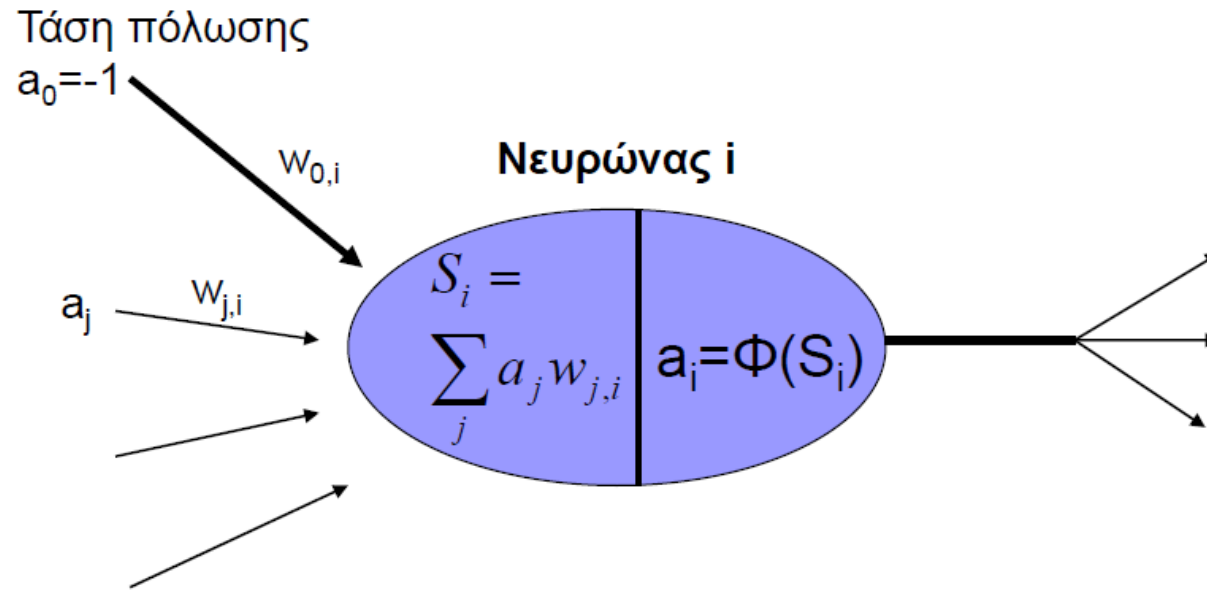


ΔΟΜΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΝΕΥΡΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ



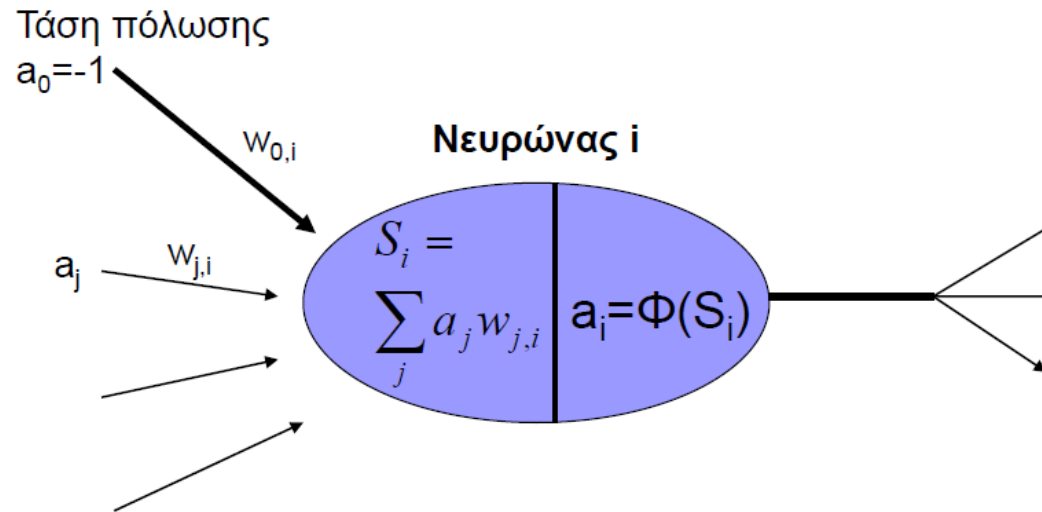
- Κάθε νευρώνας δέχεται μια σειρά τιμών εισόδου και αποδίδει μια τιμή εξόδου.
- Οι νευρώνες του πρώτου κρυφού επιπέδου λαμβάνουν ως τιμές εισόδου τις τιμές των νευρώνων του επιπέδου εισόδου με το οποίο είναι συνδεδεμένοι μέσω των συνάψεων.
- Όλα τα υπόλοιπα κρυφά επίπεδα λαμβάνουν ως τιμές εισόδου, τις τιμές εξόδου των νευρώνων των κρυφών επιπέδων με τα οποία είναι συνδεδεμένα

ΔΟΜΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΝΕΥΡΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ



- Η σύνδεση των νευρώνων υλοποιείται με «βάρη»:
 - Σε κάθε νευρώνα οι τιμές εισόδου πολλαπλασιάζονται με μια τυχαία τιμή που αποκαλείται βάρος.
 - Στο αποτέλεσμα αυτό προστίθεται ένα άλλο βάρος, το πολωμένο, το οποίο αρχικά λαμβάνει τιμή 1.
 - Το άθροισμα αυτό διοχετεύεται σε μια συνάρτηση που ονομάζεται συνάρτηση μεταφοράς (transfer function) και οδηγεί στην κανονικοποίησή του.
 - Το τελικό αποτέλεσμα αποστέλλεται μέσω των συνάψεων σε άλλους νευρώνες.
 - Οι τιμές των βαρών διαφοροποιούνται σε κάθε κύκλο λειτουργίας του νευρωνικού δικτύου με τη βοήθεια των αλγόριθμων εκπαίδευσης, ώστε να υλοποιηθεί η επιθυμητή μετατροπή των διανυσμάτων εισόδου σε διανύσματα εξόδου

Συνολική είσοδος τεχνητού νευρώνα



- ✓ a_i , a_j κλπ είναι οι έξοδοι των διαφόρων νευρώνων i , j κλπ, οι οποίοι γίνονται εισοδοι σε άλλους νευρώνες.
- ✓ Υπάρχει ένα "σήμα", το a_0 , το οποίο έχει σταθερή τιμή (συνήθως -1 ή 1) και το οποίο αποτελεί είσοδο για όλους τους νευρώνες.
- ✓ Τα διάφορα σήματα a_j τα οποία αποτελούν είσοδο ενός νευρώνα i , πολλαπλασιάζονται με συντελεστές βαρύτητας $w_{j,i}$.
- ✓ Η συνολική είσοδος στον νευρώνα i είναι τελικά το άθροισμα όλων των επιμέρους εισόδων της, μετά τον πολλαπλασιασμό τους με τους συντελεστές βαρύτητας:

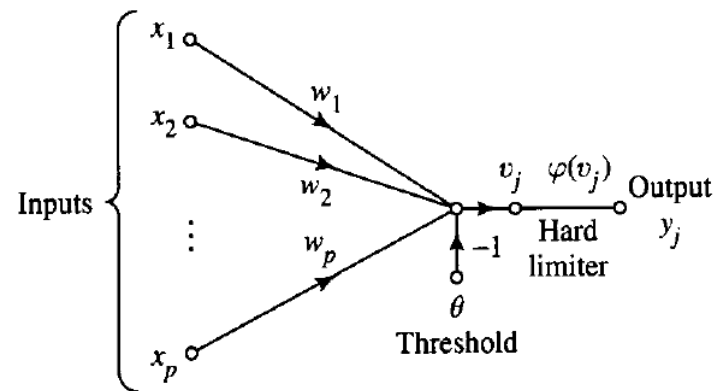
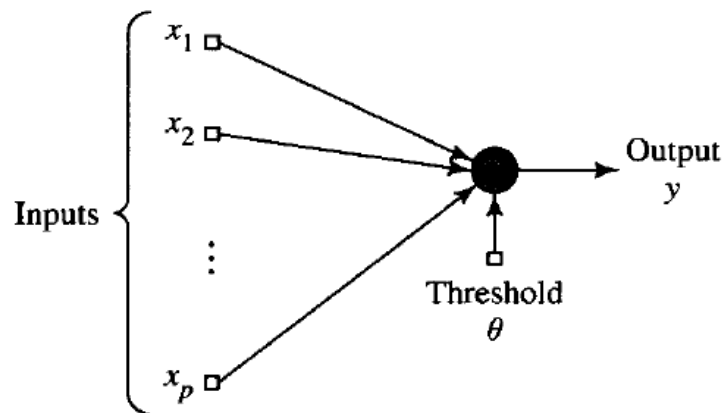
$$S_i = \sum_j a_j w_{j,i}$$

Ταξινομητής Perceptron

- ✓ Ο Perceptron είναι ένας δυαδικός ταξινομητής, δηλαδή μία συνάρτηση η οποία απεικονίζει την είσοδο x (ένα διάνυσμα με πραγματικές τιμές) σε μία τιμή εξόδου $f(x)$ (μία και μοναδική δυαδική τιμή).

$$f(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } w \cdot x + b > 0 \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

- ✓ Το Perceptron είναι η απλούστερη μορφή Νευρωνικού δικτύου, το οποίο χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση ενός ειδικού τύπου προτύπων, που είναι γραμμικά διαχωριζόμενα.



$$v = \sum_{i=1}^p w_i x_i - \theta$$

Έξοδος τεχνητού νευρώνα

- ✓ Η έξοδος του τεχνητού νευρώνα προκύπτει από την εφαρμογή της συνάρτησης ενεργοποίησης (activation function) στην συνολική του είσοδο S_i :

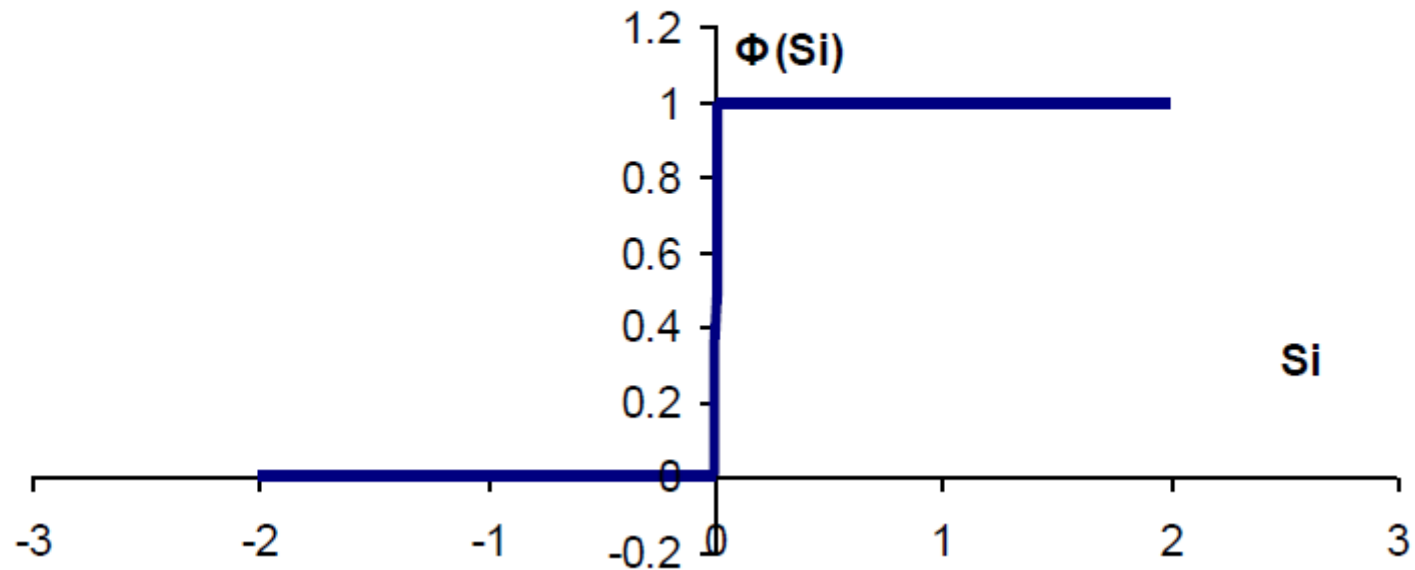
$$a_i = \Phi(S_i)$$

- ✓ Υπάρχουν διάφορες περιπτώσεις συναρτήσεων ενεργοποίησης:
 - ✓ Βηματική συνάρτηση (step function) ή συνάρτηση κατωφλίου (threshold function)
 - ✓ Συνάρτηση προσήμου (sign function)
 - ✓ Σιγμοειδής συνάρτηση (sigmoid ή logistics function)
 - ✓ Γραμμική συνάρτηση (linear function)
 - ✓

Βηματική Συνάρτηση Ενεργοποίησης

$$\Phi(S) = \begin{cases} 1, & \text{αν } S > 0 \\ 0, & \text{αν } S \leq 0 \end{cases}$$

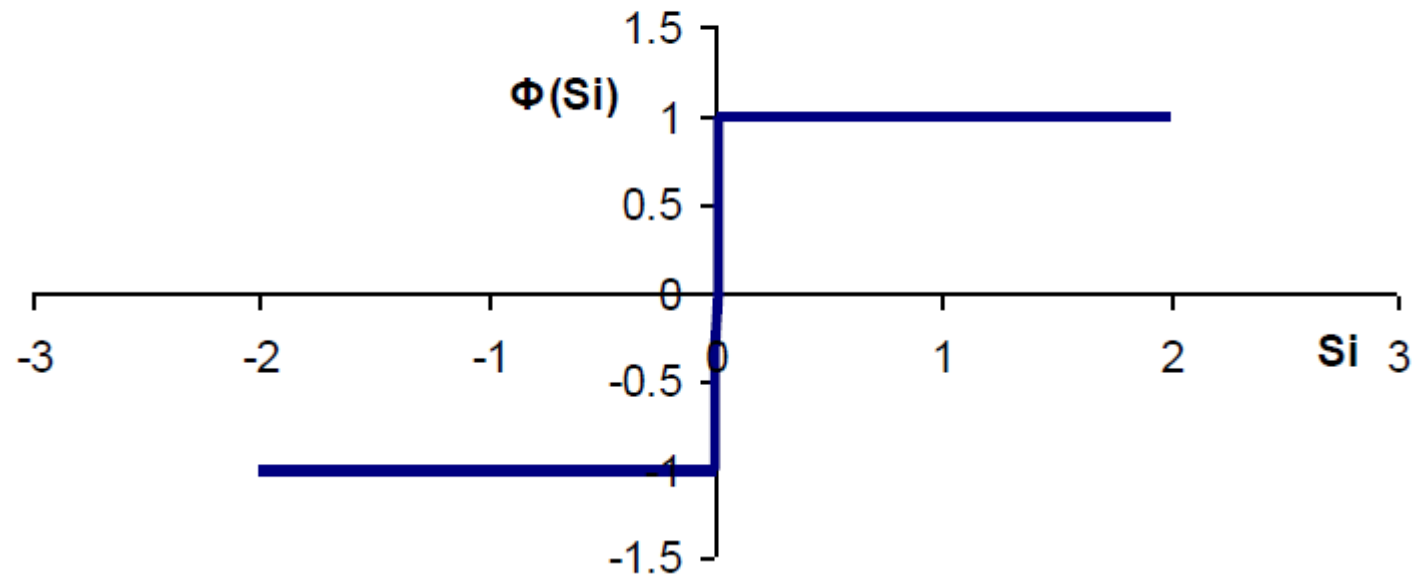
Βηματική συνάρτηση



Συνάρτηση Προσήμου

$$\Phi(S) = \begin{cases} 1, & \text{αν } S > 0 \\ -1, & \text{αν } S \leq 0 \end{cases}$$

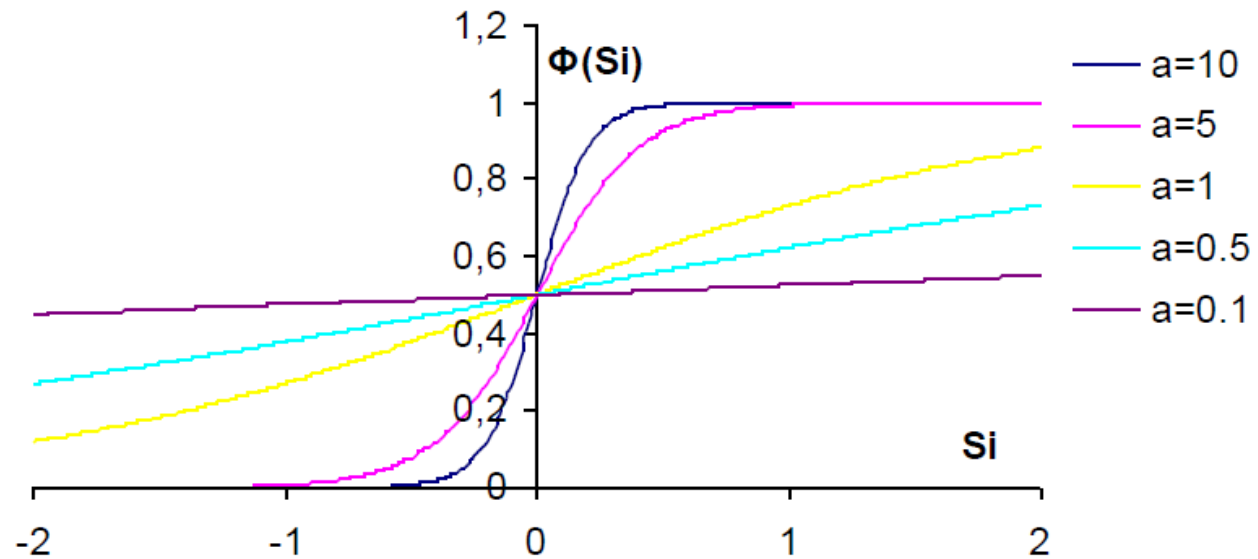
Συνάρτηση προσήμου



Σιγμοειδής συνάρτηση

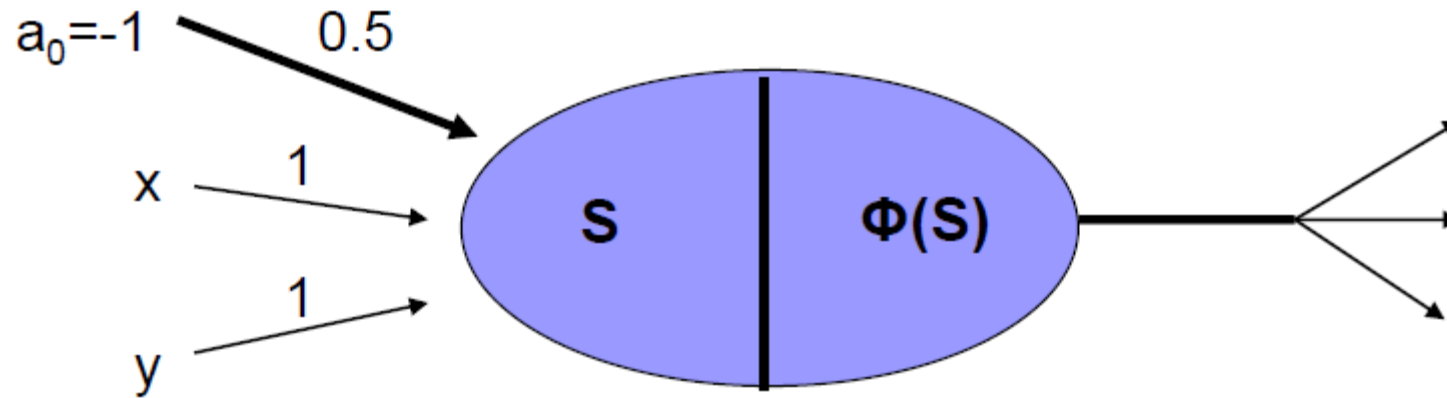
$$\Phi(S_i) = \frac{1}{1 + e^{-a \cdot S_i}}$$

Σιγμοειδής συνάρτηση



Παράδειγμα: Συνάρτηση OR

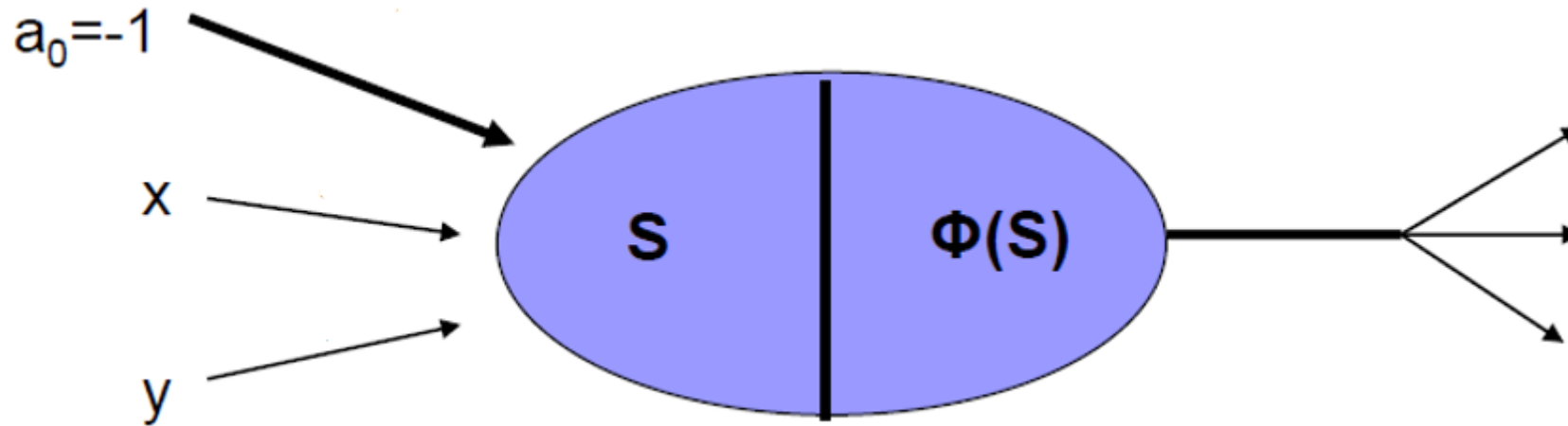
- Βηματική συνάρτηση ενεργοποίησης



x	y	S	$\Phi(S)$
0	0	-0.5	0
0	1	0.5	1
1	0	0.5	1
1	1	1.5	1

Παράδειγμα: Συνάρτηση AND ???

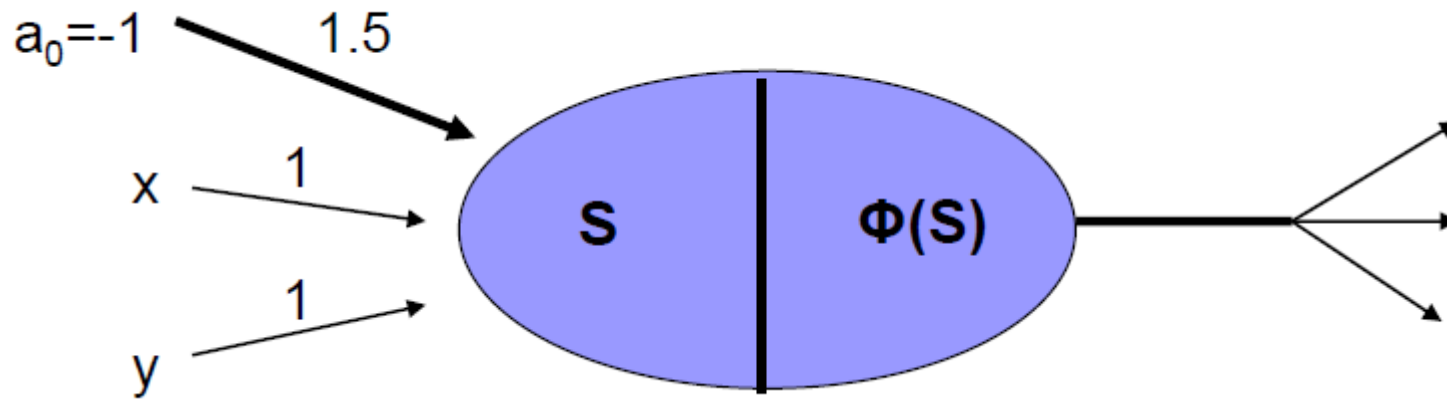
- Βηματική συνάρτηση ενεργοποίησης



x	y	S	Φ(S)
0	0		0
0	1		0
1	0		0
1	1		1

Παράδειγμα: Συνάρτηση AND

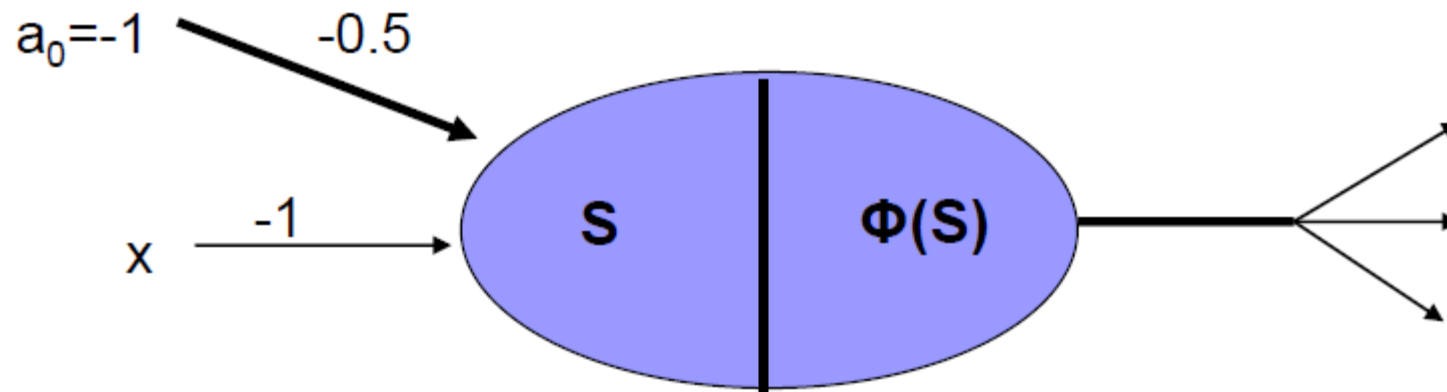
- Βηματική συνάρτηση ενεργοποίησης



x	y	S	$\Phi(S)$
0	0	-1.5	0
0	1	-0.5	0
1	0	-0.5	0
1	1	0.5	1

Παράδειγμα: Συνάρτηση NOT

- Βηματική συνάρτηση ενεργοποίησης



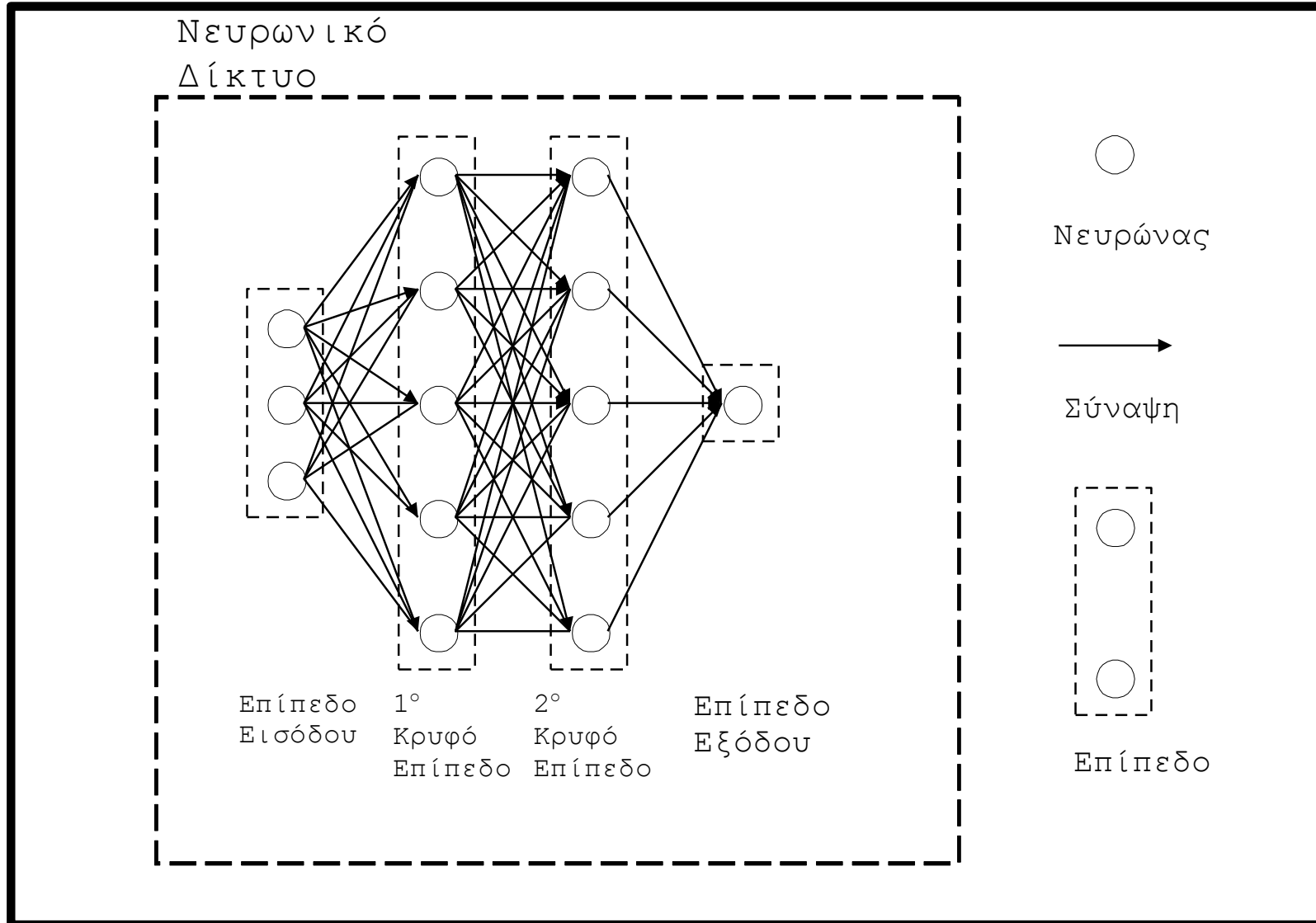
x	S	Φ(S)
0	0.5	1
1	-0.5	0

ΔΟΜΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΝΕΥΡΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

- Ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο αποτελείται από:
 - Ένα σύνολο κόμβων ή τεχνητών νευρώνων (neurons),
 - Τα οποία είναι οργανωμένα σε επάλληλα επίπεδα (layers),
 - Ενώ κάθε νευρώνας ενώνεται με όλους τους άλλους μέσω των συνάψεων (synapses).

- Ένα νευρωνικό δίκτυο αποτελείται από:
 - Ένα επίπεδο εισόδου (input layer), στο οποίο εισάγεται το εκπαιδευτικό διάνυσμα εισόδου ή το διάνυσμα ελέγχου,
 - Ένα ή περισσότερα κρυφά επίπεδα (hidden layers), όπου τα στοιχεία εισόδου υφίστανται επεξεργασία με διάφορους μαθηματικούς τρόπους
 - Ένα επίπεδο εξόδου (output layer), με κάποια υπολογιστική ικανότητα, το οποίο περιέχει τα τελικά αποτελέσματα που μεταφέρονται στον έξω κόσμο

ΔΟΜΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΝΕΥΡΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ



ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ

- Οι πιο γνωστές μέθοδοι εκπαίδευσης είναι:
 - Ο αλγόριθμος δέλτα (delta rule) και
 - Ο αλγόριθμος οπισθόδρομης διάδοσης σφάλματος.
- Η διαφορά τους έγκειται:
 - Στις μαθηματικές εξισώσεις στις οποίες βασίζονται.
 - Στον τρόπο με τον οποίο επιδρούν στα επίπεδα του δικτύου.
- Στους αλγόριθμους αυτούς προσδιορίζονται παράμετροι όπως:
 - Το βήμα εκπαίδευσης καθορίζει το μέγεθος της αλλαγής της τιμής του βάρους σε κάθε βήμα και παίρνει τιμές από 0 έως 2.
 - Ο παράγοντας ορμής (momentum), ο οποίος πολλαπλασιάζεται με το βάρος του προηγούμενου επιπέδου και στη συνέχεια προστίθεται στο βάρος του επιπέδου που εκπαιδεύει.

ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΝΕΥΡΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

- Η διαδικασία δημιουργίας ενός τεχνητού νευρωνικού δικτύου που αποτελεί το σχεδιασμό της αρχιτεκτονικής του, απαιτεί τον προσδιορισμό μιας σειράς παραμέτρων, όπως:
 - Ο αριθμός των κρυφών επιπέδων
 - Ο αριθμός των νευρώνων ανά επίπεδο
 - Ο κανόνας μάθησης
 - Ο αλγόριθμος εκπαίδευσης
 - Ο ρυθμός εκπαίδευσης
 - Οι κύκλοι λειτουργίας του δικτύου
 - Οι συναρτήσεις μεταφοράς
 - Η γενική κατηγορία (στατική ή δυναμική) στην οποία ανήκει.

ΑΣΚΗΣΗ

Δίνονται τα πρότυπα $x_1 = \begin{bmatrix} -1 \\ -1 \end{bmatrix}$, $x_2 = \begin{bmatrix} -2 \\ 2 \end{bmatrix}$, $x_3 = \begin{bmatrix} 1.5 \\ 2 \end{bmatrix}$, $x_4 = \begin{bmatrix} -3 \\ -2 \end{bmatrix}$. Τα πρότυπα διαχωρίζονται γραμμικά στις κλάσεις $\omega_1 = \{x_1, x_4\}$ (+) και $\omega_2 = \{x_2, x_3\}$ (-).

1. Σχεδιάστε νευρωνικό δίκτυο-ταξινομητή (perceptron) που να μπορεί να εκτελεί την ταξινόμηση των κλάσεων αυτών, με αρχικές συνθήκες: $w_1 = [0 \ 0 \ 0]^T$ και συντελεστή μάθησης $\rho = 0.5$.
2. Παρουσιάζεται το άγνωστο πρότυπο $X = [0 \ 1 \ 1]^T$. Ποια είναι η έξοδος του ταξινομητή και που ταξινομείται το εν λόγω πρότυπο ?