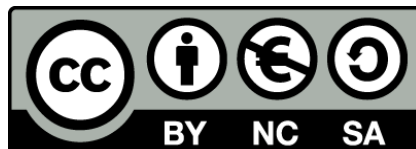




# Τεχνητή Νοημοσύνη (Θ)

## Ενότητα 11: Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (Neural Networks)

Κατερίνα Γεωργούλη  
Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής ΤΕ



Το περιεχόμενο του μαθήματος διατίθεται με άδεια Creative Commons εκτός και αν αναφέρεται διαφορετικά



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

# Επισκόπηση

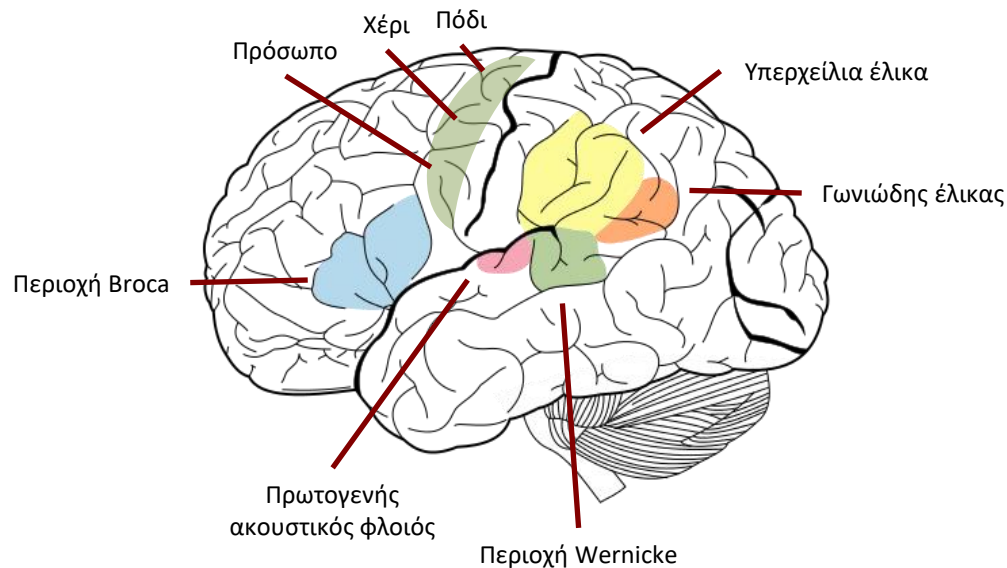
- Εισαγωγή,
- Επίλυση προβλημάτων,
- Αλγόριθμοι Αναζήτησης,
- Αναπαράσταση Γνώσης,
- Συστήματα βασισμένα στη γνώση,
- **Μηχανική Μάθηση**
  - Δένδρα Απόφασης - Παραγωγής
  - **Νευρωνικά Δίκτυα**
  - Γενετικοί Αλγόριθμοι
- Νοήμονες πράκτορες.

# Είδη μηχανικής μάθησης με νευρωνικά δίκτυα

- **Μάθηση με επίβλεψη (supervised learning – learning from examples)**  
*όπου ο αλγόριθμος κατασκευάζει μια συνάρτηση που απεικονίζει δεδομένες εισόδους σε γνωστές, επιθυμητές εξόδους (σύνολο εκπαίδευσης), με απώτερο στόχο τη γενίκευση της συνάρτησης αυτής και για εισόδους με άγνωστη έξοδο*
- **Μάθηση χωρίς επίβλεψη (unsupervised learning- learning from observations)**  
*όπου ο αλγόριθμος κατασκευάζει ένα μοντέλο για κάποιο σύνολο εισόδων χωρίς να γνωρίζει επιθυμητές εξόδους*
- **Ενισχυτική μάθηση (reinforcement learning)**  
*όπου ο αλγόριθμος μαθαίνει μια στρατηγική ενεργειών για μια δεδομένη παρατήρηση*

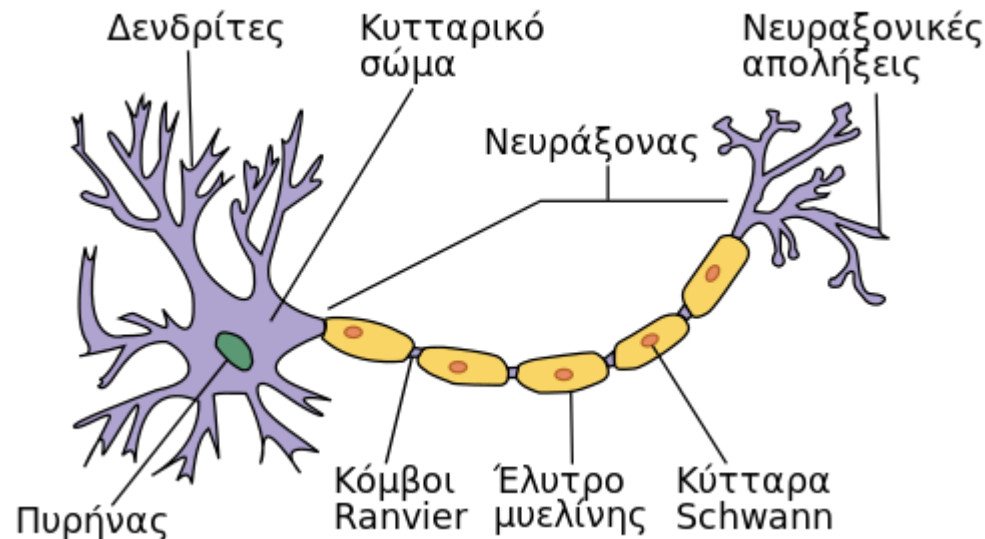
# Από τι αποτελείται ο εγκέφαλος;

Ήδη από το 19ο αιώνα οι επιστήμονες παραδέχονται ότι ο εγκέφαλος αποτελείται από διακριτά στοιχεία τους **νευρώνες** που επικοινωνούν το ένα με το άλλο.



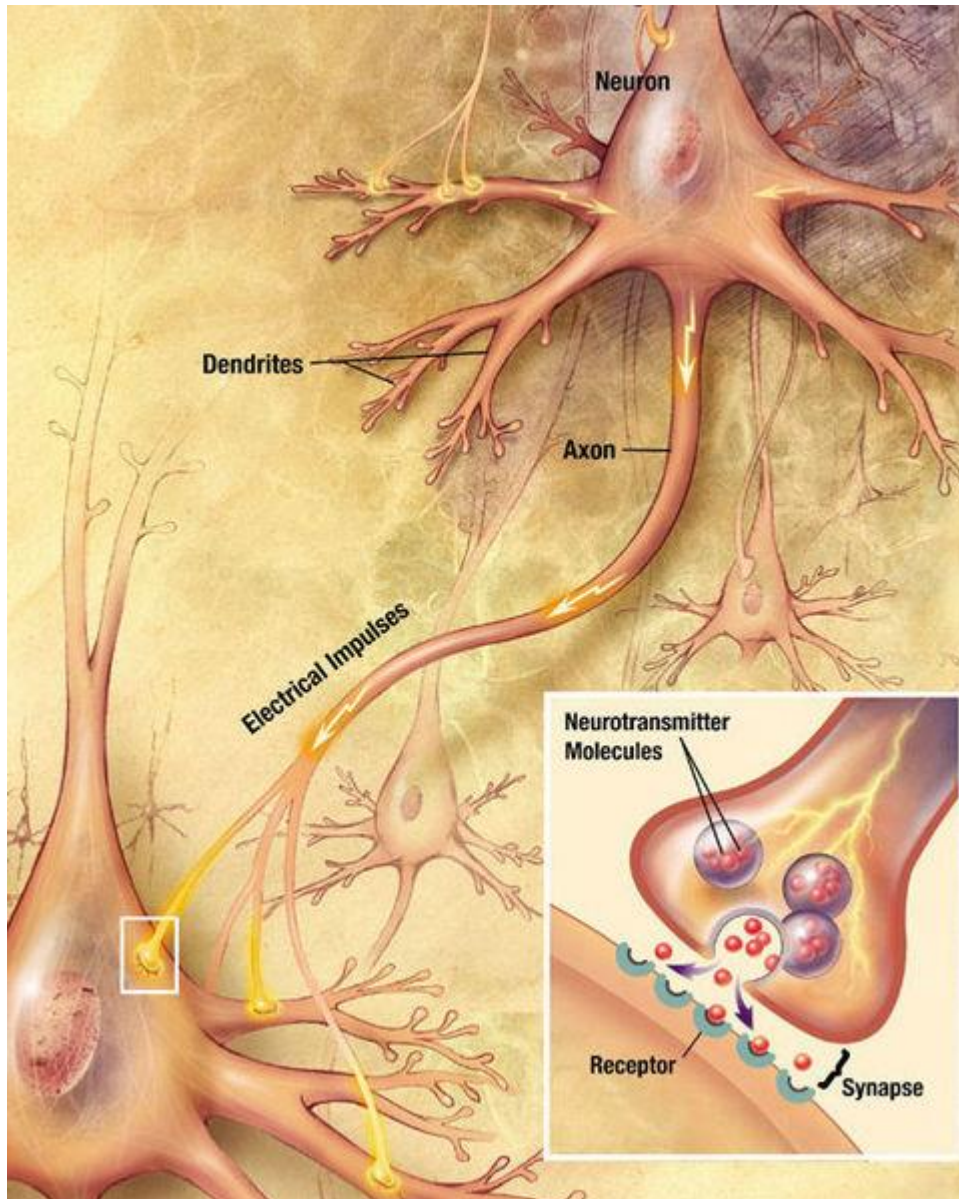
# Ψηφιακή λειτουργία νευρώνων

Ένας νευρώνας διαχωρίζεται από μια μεμβράνη από τα υπόλοιπα κύτταρα και έχει την ικανότητα να μεταφέρει ηλεκτρικά σήματα κατά μήκος του νευροάξονα του.



“Neuron el” από [Badseed](#) διαθέσιμο με άδεια [CC BY-SA 3.0](#)

# Σύνδεση νευρώνων μέσω συνάψεων



“Chemical synapse schema cropped”  
από Looie496 διαθέσιμο ως κοινό  
κτήμα

# Ψηφιακή λειτουργία νευρώνων

2 διακριτές καταστάσεις σημάτων:

- Δυναμικό ηρεμίας (περίπου  $-65$  mV),
- Δυναμικό ενέργειας (περίπου  $+30$  mV).

Για την παραγωγή αυτού του σήματος ο νευρώνας δέχεται σήματα εισόδου που επιδρούν στο δυναμικό του αυξομειώνοντας το.

Όταν αθροιστικά το δυναμικό ξεπεράσει κάποιο όριο (το  $-55$  mV) τότε ο νευρώνας διεγείρεται και παράγει το ηλεκτρικό σήμα.

Ο νευρώνας μεταφέρει το ηλεκτρικό σήμα πάντοτε προς μια προβλέψιμη και σταθερή κατεύθυνση.

# Μεταβίβαση πληροφορίας

Η μεταβίβαση πληροφορίας γίνεται με ένα **δυναμικό ενέργειας** που καθορίζεται όχι από τον τύπο του σήματος αλλά από την οδό του εγκεφάλου μέσα από **διακριτά επικοινωνούντες νευρώνες** από τους οποίους περνάει το σήμα.

Τι μας θυμίζει η έκφραση:

**"διακριτά επικοινωνούντα στοιχεία"** ;

Είναι ο ορισμός των ψηφιακών κυκλωμάτων!

Μήπως λοιπόν ο εγκέφαλος είναι ένας ψηφιακός ηλεκτρονικός υπολογιστής;



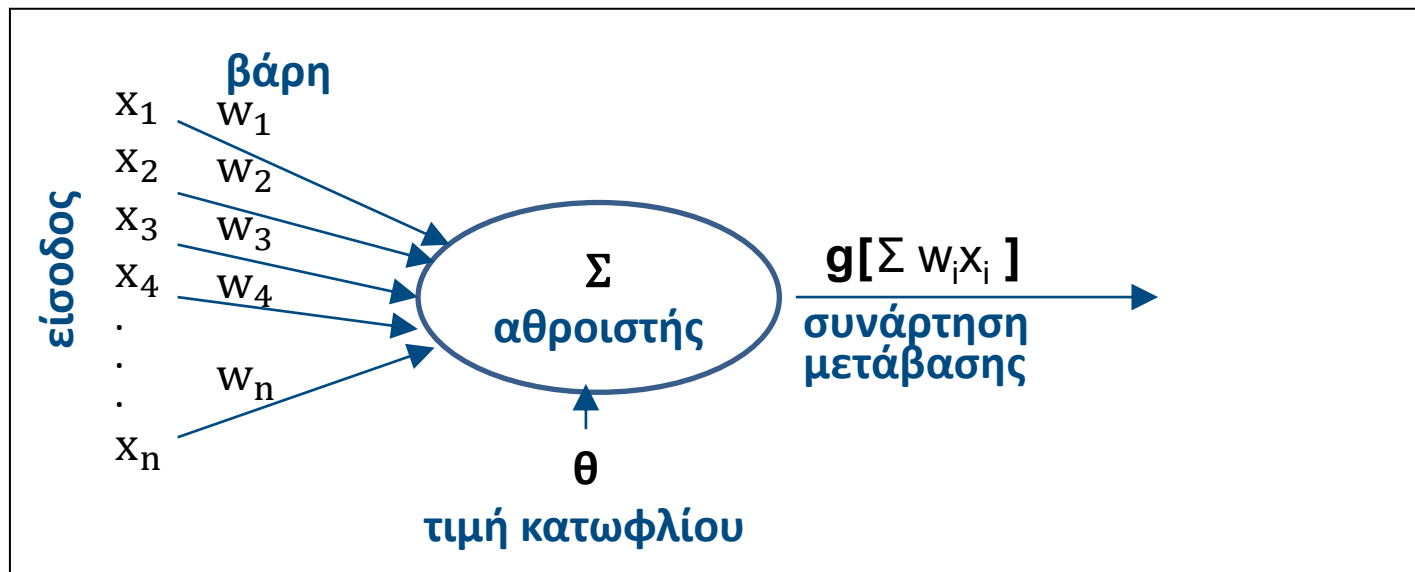
# Οργάνωση εγκεφάλου

Ο εγκέφαλος οργανώνεται σε πολλαπλά υποσυστήματα που **λειτουργούν παράλληλα** και το καθένα από αυτά μπορεί να προκαλέσει ανεξάρτητες συμπεριφορές που δεν μπορούν να εξομοιωθούν με ηλεκτρονικά κυκλώματα.

Τα τμήματα του εγκεφάλου εμφανίζουν μια **πλαστικότητα** στην ανάληψη λειτουργιών.

# Τεχνητός νευρώνας -Perceptron

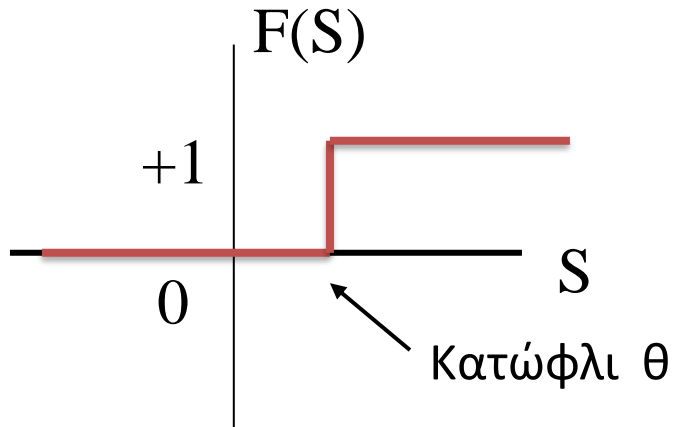
- Συνάρτηση αθροίσματος  $\Sigma$  (summation function):  $\sum_{i=1}^n x_i w_i$
- Έξοδος μέσω συνάρτησης μετάβασης  $g$  (transfer function) ή συνάρτηση ενεργοποίησης ή συνάρτηση κατωφλίου όταν:  $\sum_{i=1}^n x_i w_i - \theta > 0$



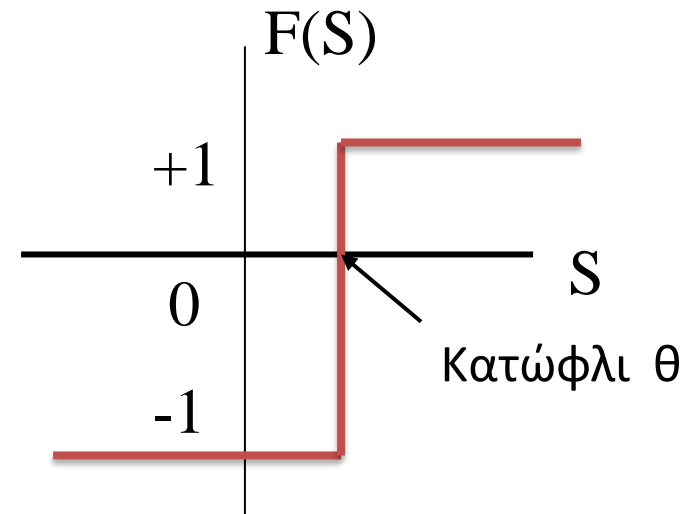
# Συναρτήσεις μετάβασης (1 από 2)

$$\alpha_j = g \left( \sum_{i=1}^n x_i w_i \right)$$

**Βηματική** (έξοδος 1 ή 0)

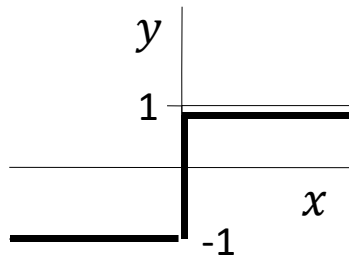


**Πρόσημου** (έξοδος θετική ή αρνητική πληροφορία,  $+1, -1$ )



# Συναρτήσεις μετάβασης (2 από 2)

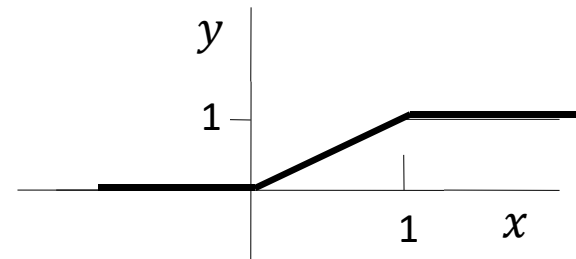
## Hard Limiter



$$x < 0, y = -1$$

$$x \geq 0, y = 1$$

## Ramping Function

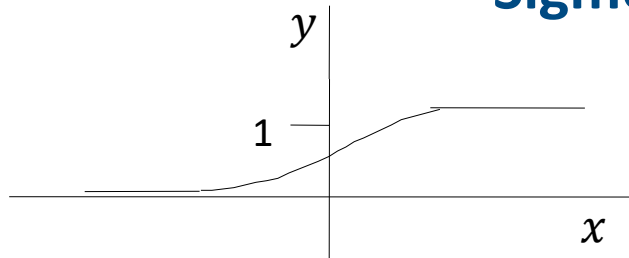


$$x < 0, y = 0$$

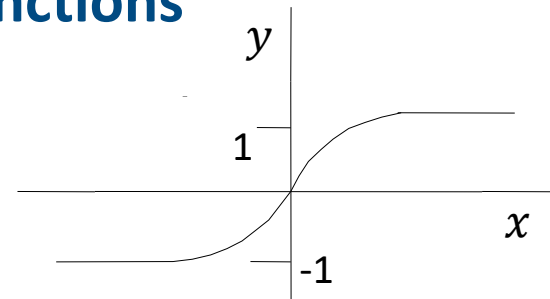
$$0 \leq x \leq 1, x = y$$

$$x > 1, y = 1$$

## Sigmoid Functions



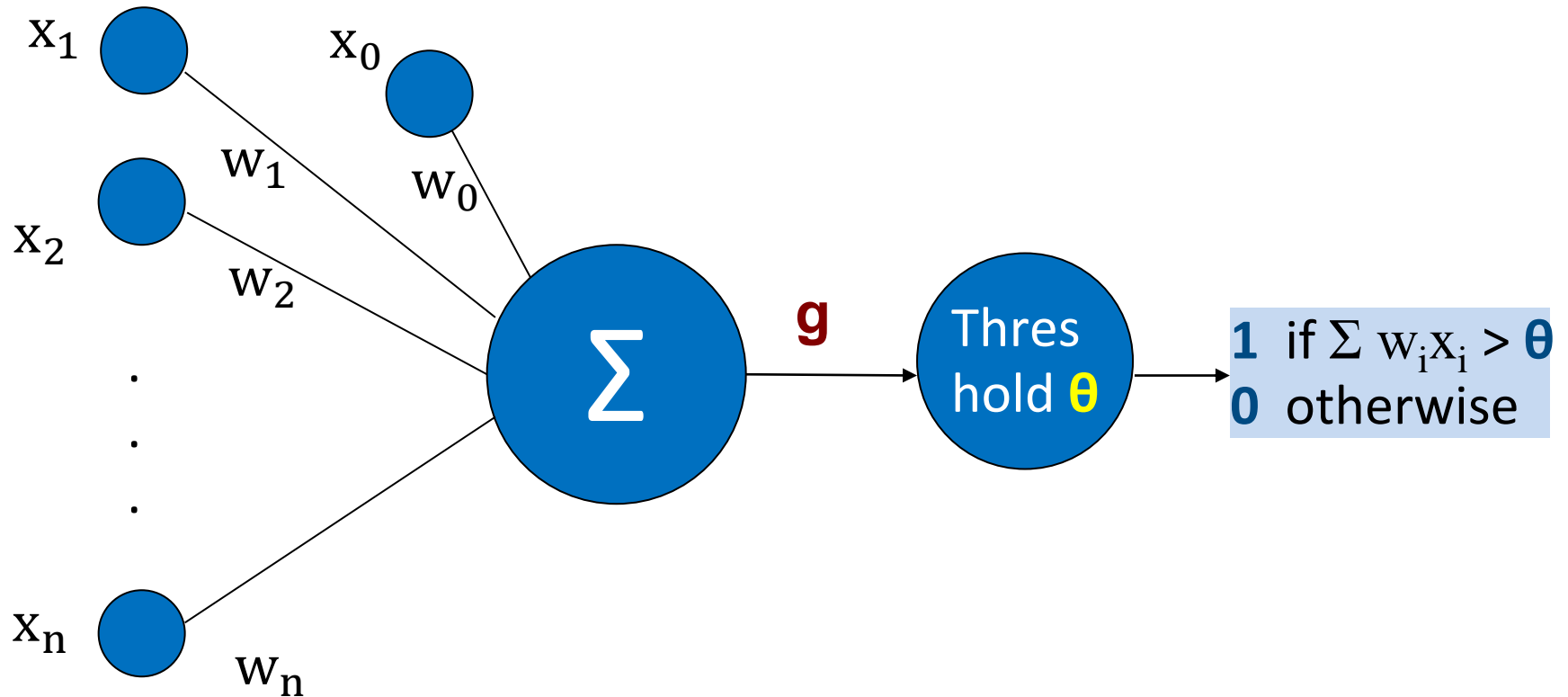
$$y = 1/(1 + e^{-x})$$



$$x \geq 0, y = -1 + 1/(1+x)$$

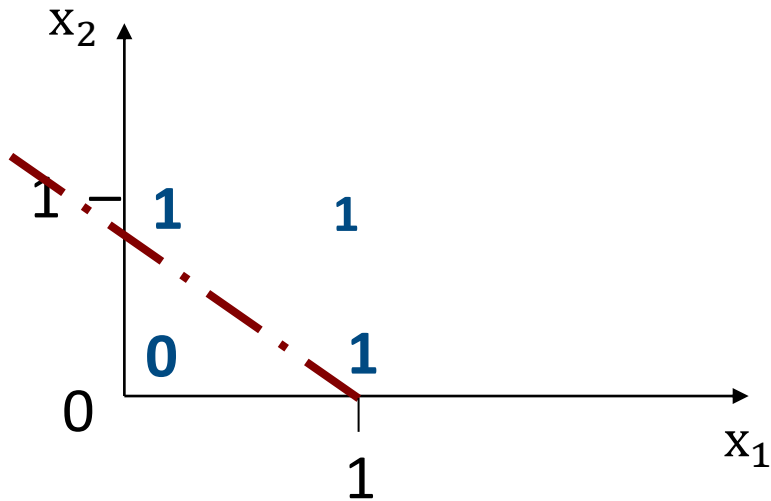
$$x < 0, y = -1 + 1/(1-x)$$

# Παράδειγμα Perceptron με βηματική συνάρτηση

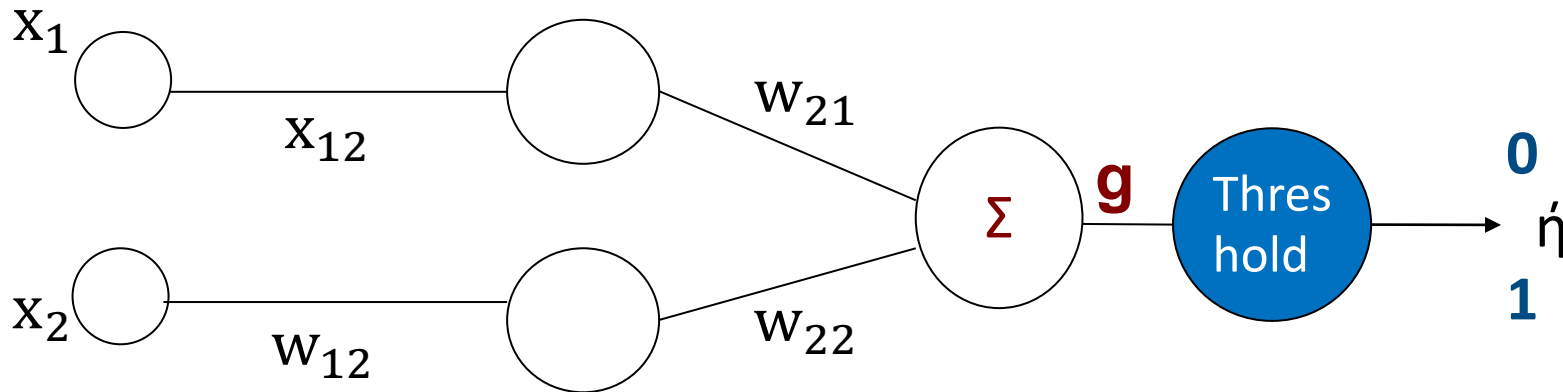


# Μοντελοποίηση συνάρτησης OR (1 από 4)

Συνάρτηση OR γραμμικά διαχωρίσιμη:



# Μοντελοποίηση συνάρτησης OR (2 από 4)



Είσοδοι: **2**, Έξοδοι: **1**, Κρυμμένα επίπεδα: *κανένα*

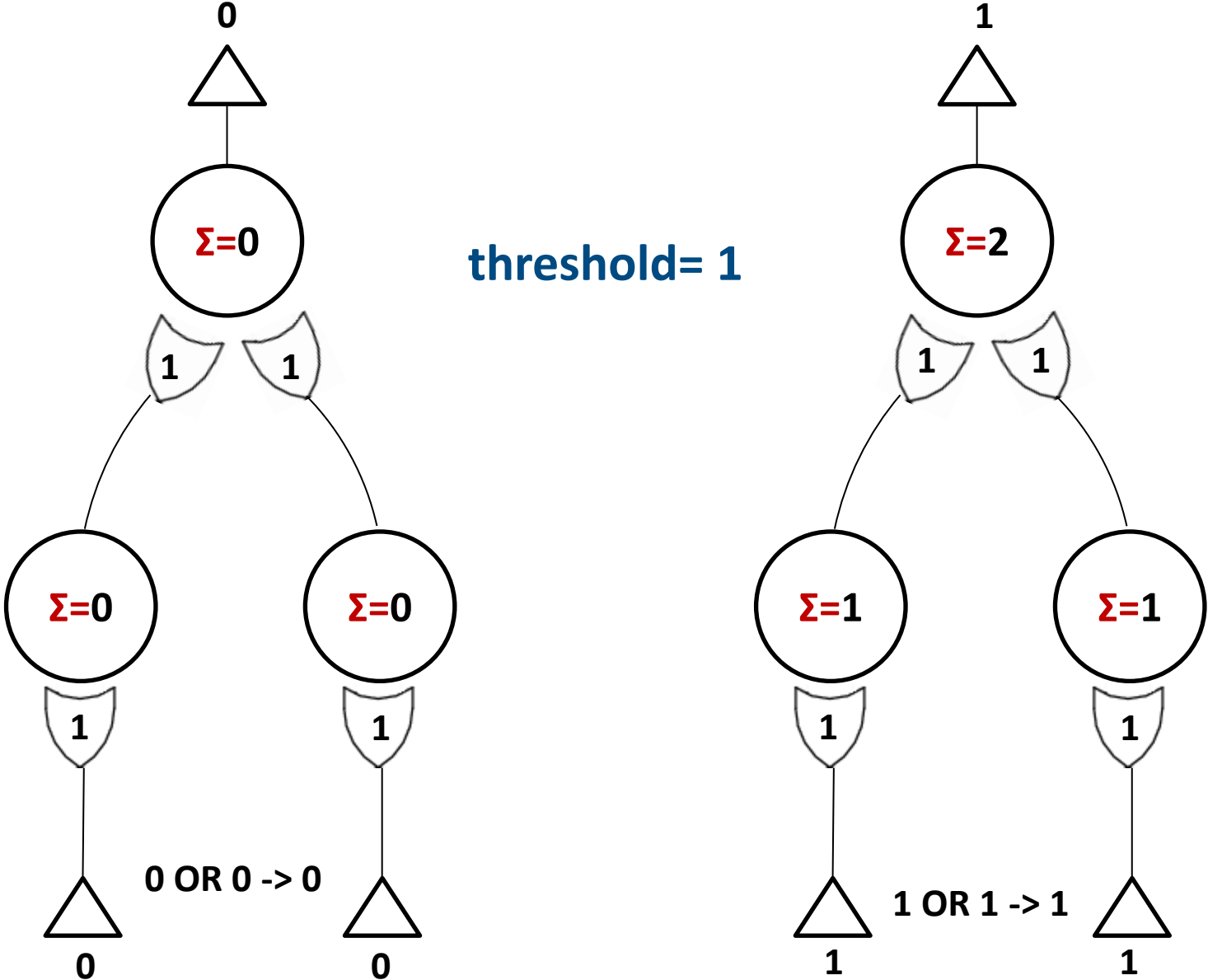
Κανόνας εκπαίδευσης: **Delta Rule**

Συνάρτηση ενεργοποίησης: βηματική **g**

Έξοδος: **0** ή **1**

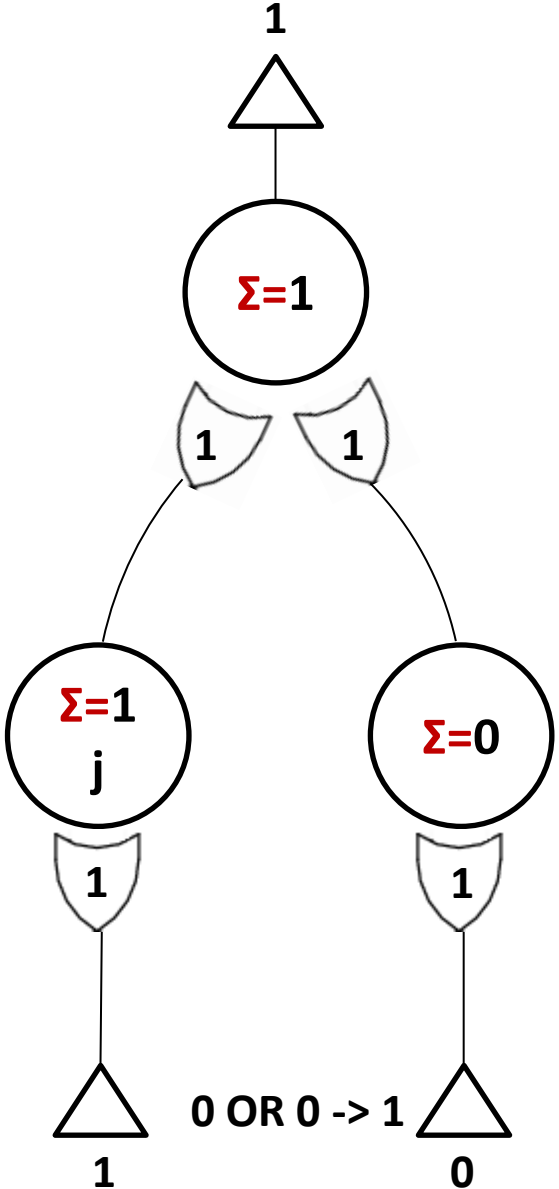
Μεταβολή βάρους  $w_i$ :  $w_i = w_{i-old} - d * (a_j - a_{\epsilon}) i_i$

# Μοντελοποίηση συνάρτησης OR (3 από 4)

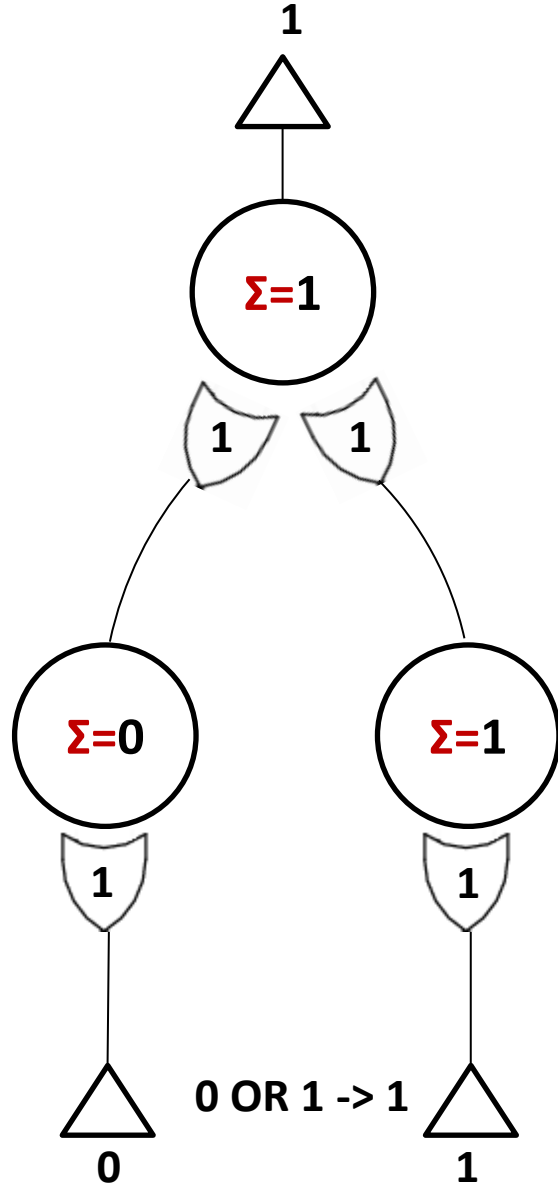




# Μοντελοποίηση συνάρτησης OR (4 από 4)

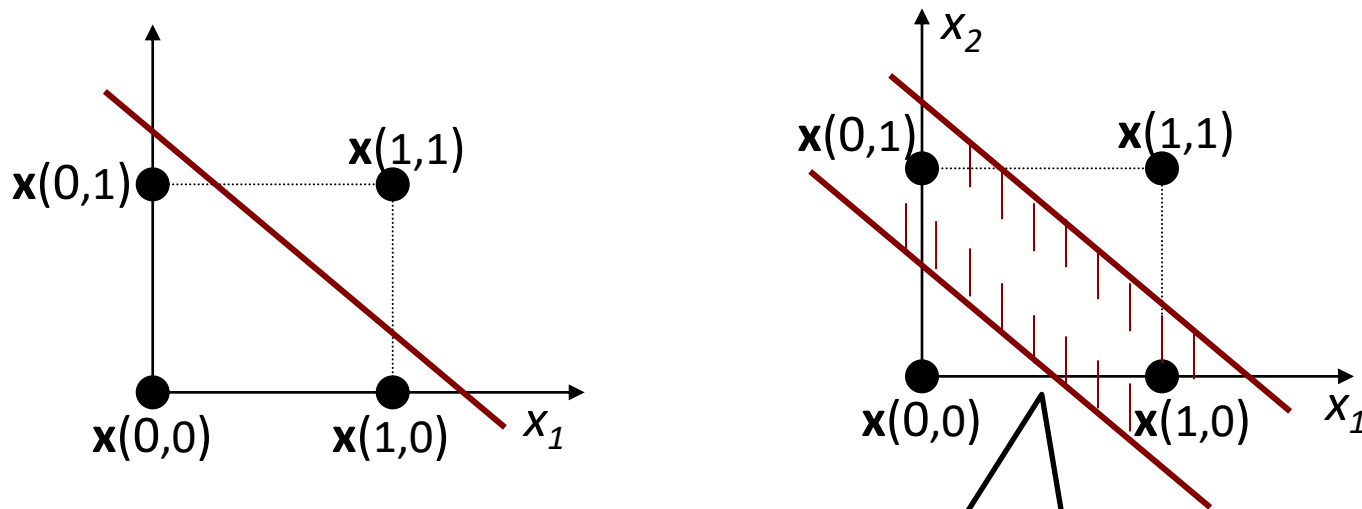


threshold= 1



# Μοντελοποίηση συνάρτησης XOR

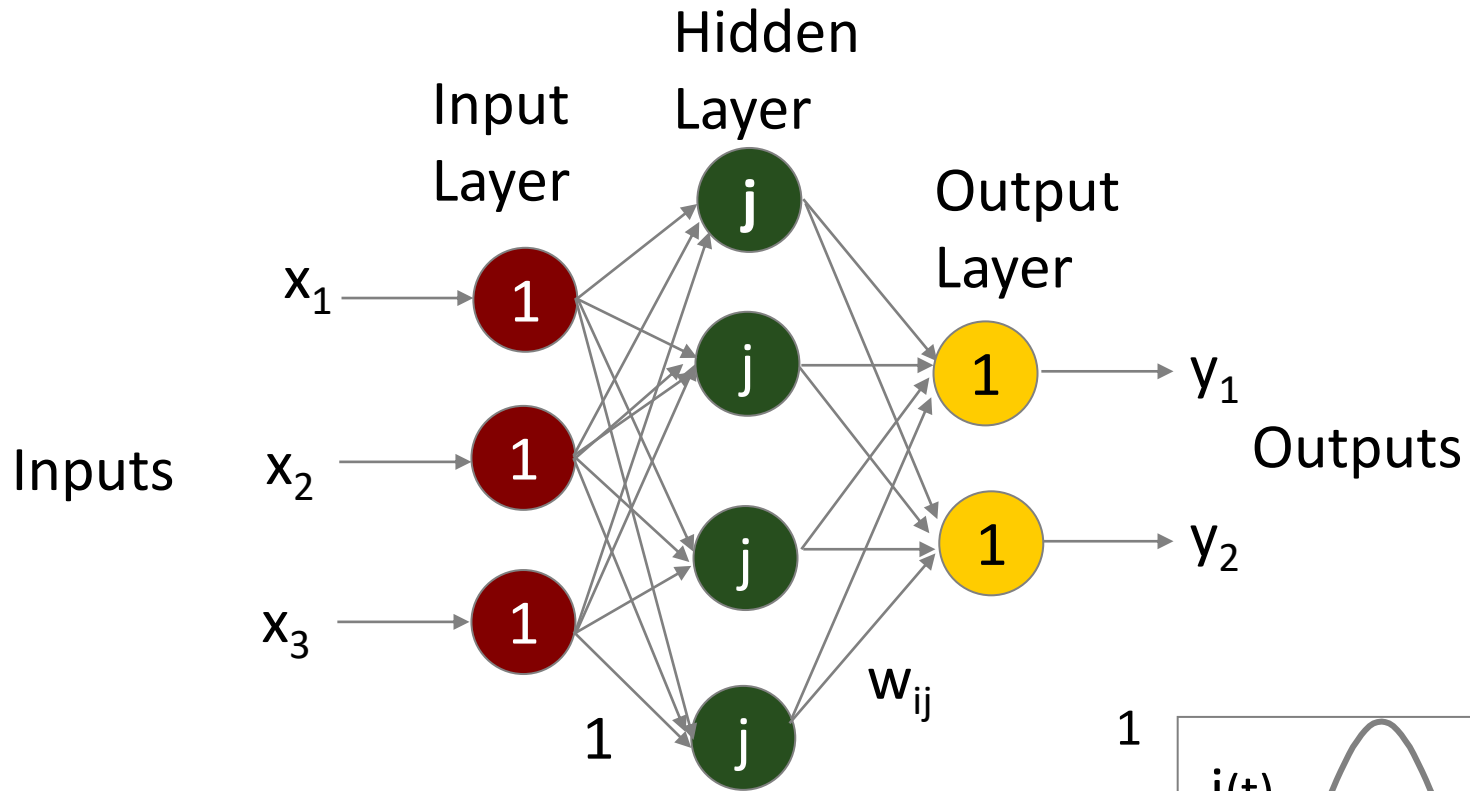
Συνάρτηση XOR μη γραμμικά διαχωρίσιμη:



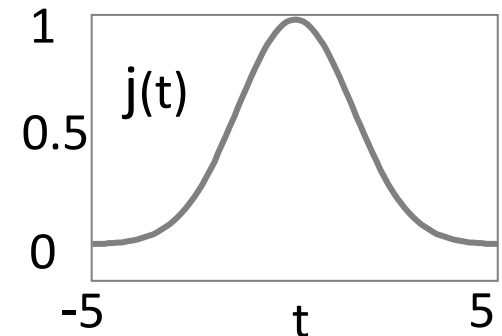
Minsky and Papert (1969)

**Απαιτείται η δημιουργία  
κρυμμένων επιπέδων**

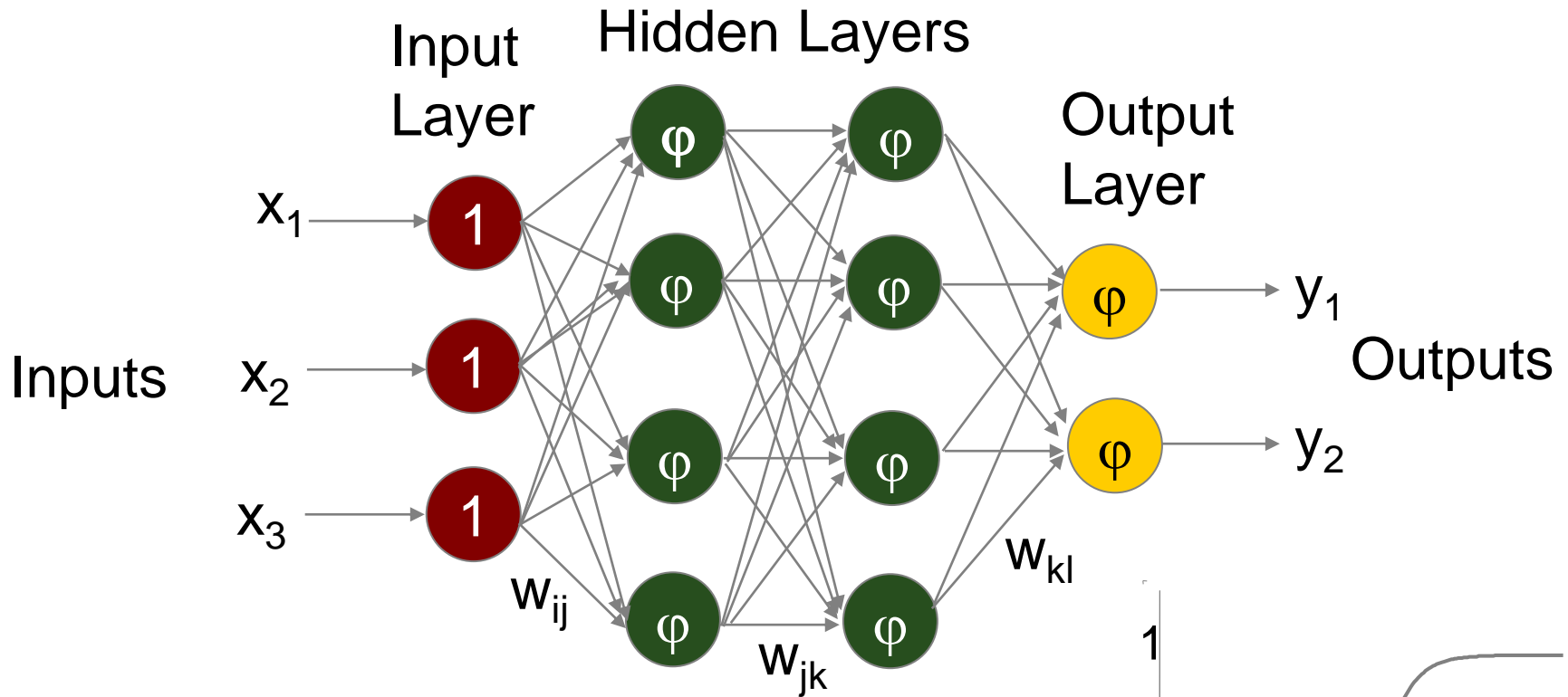
# Multi-Layer perceptron (MLP)



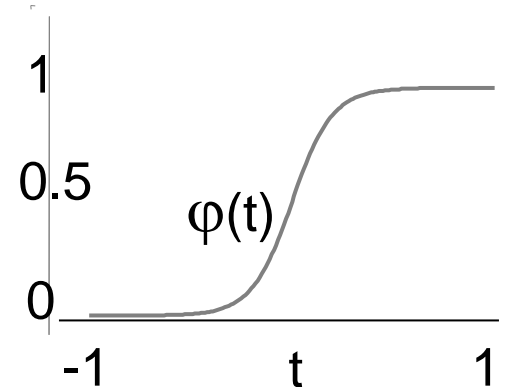
$$\varphi_{ij} = e^{-\frac{\|\underline{x}_i - \underline{c}_j\|^2}{2\sigma^2}}$$



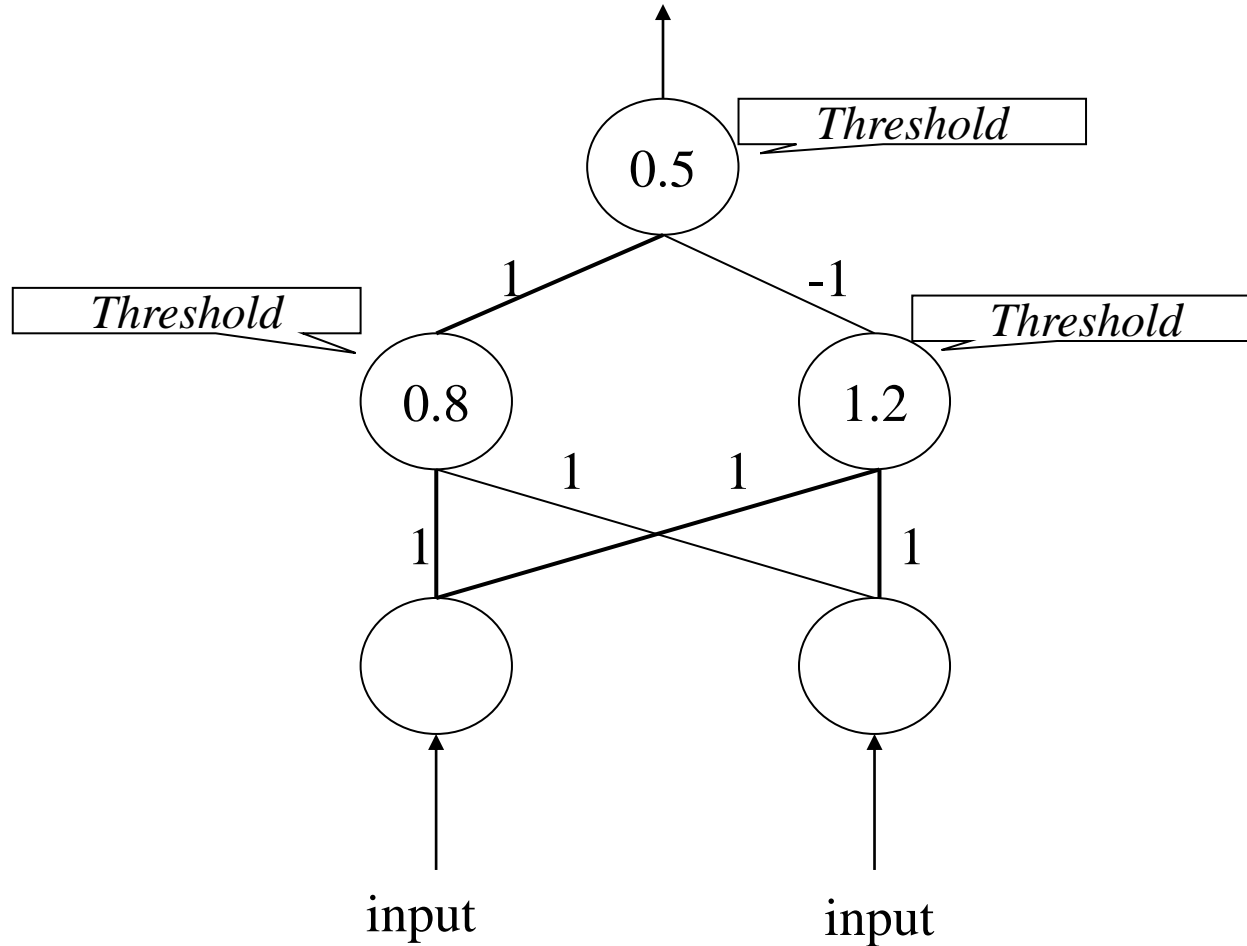
# Multi-Layer perceptron (MLP) (feedforward)



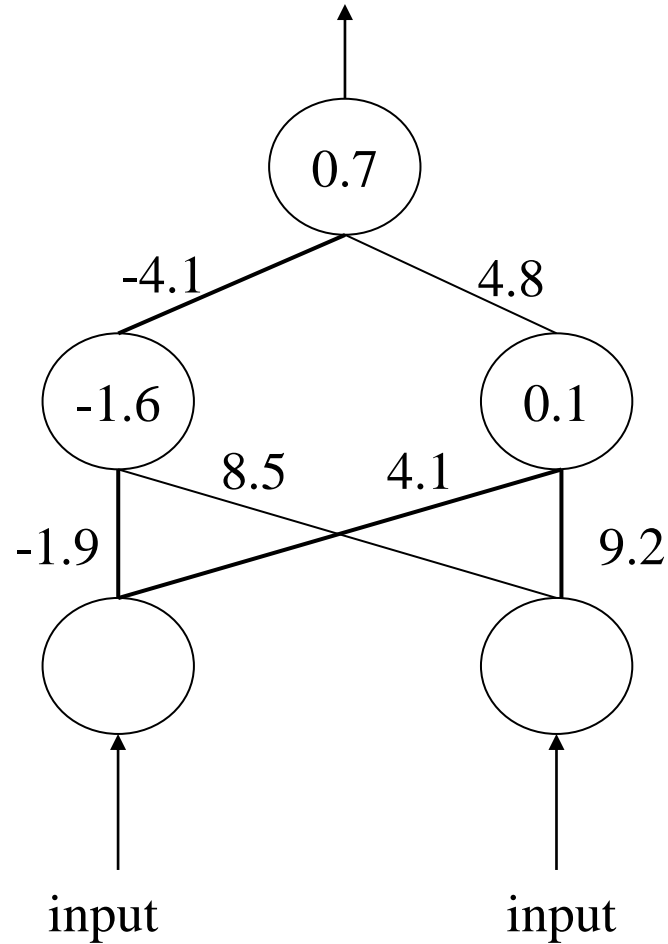
$$\varphi_j = \frac{1}{-a} \sum_i w_{ij} x_i$$
$$1 + e$$



# Ένας multi-Layer perceptron για το xor



# Άσκηση: Το παρακάτω δίκτυο λύνει το xor πρόβλημα;



# Χαρακτηριστικά πολυεπίπεδων νευρωνικών δικτύων

Οι νευρώνες των διαφόρων στρωμάτων μπορεί να είναι:

- Πλήρως συνδεδεμένοι (fully connected),
- Μερικώς συνδεδεμένοι (partially connected).

Τα ΤΝΔ χαρακτηρίζονται ως:

- Δίκτυα με πρόσθια τροφοδότηση (feedforward),
- Δίκτυα με ανατροφοδότηση (feedback ή recurrent).

Στην πλειοψηφία των εφαρμογών χρησιμοποιούνται δίκτυα απλής τροφοδότησης.

# Εκπαίδευση ΤΝΔ (1 από 2)

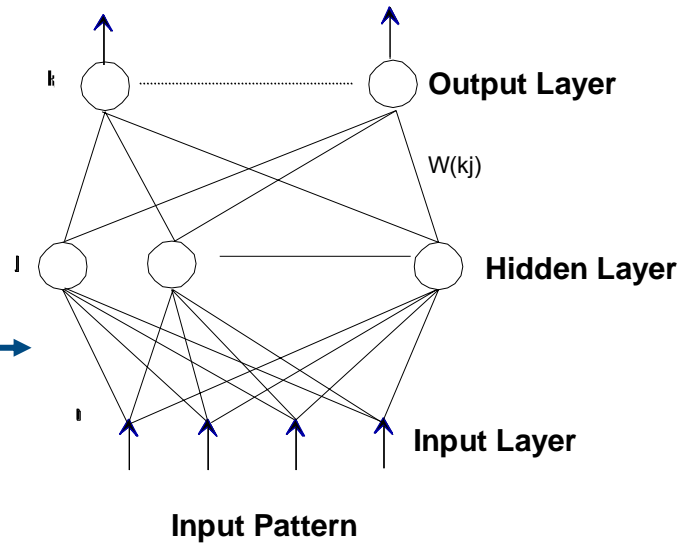
Η εκπαίδευση έχει ως βασικό στόχο να βρεθεί ένας τρόπος αλλαγής των βαρών που θα έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της ικανότητας του δικτύου να παρέχει στο μέλλον μία επιθυμητή έξοδο μετά από μία δεδομένη είσοδο.

- Όταν η έξοδος είναι εκ των προτέρων γνωστή λέμε ότι το δίκτυο μαθαίνει κάτω από επίβλεψη (**supervised learning**), (backpropagation δίκτυα)
- αλλιώς μαθαίνει χωρίς επίβλεψη (**unsupervised learning**), (δίκτυα Kohonen).

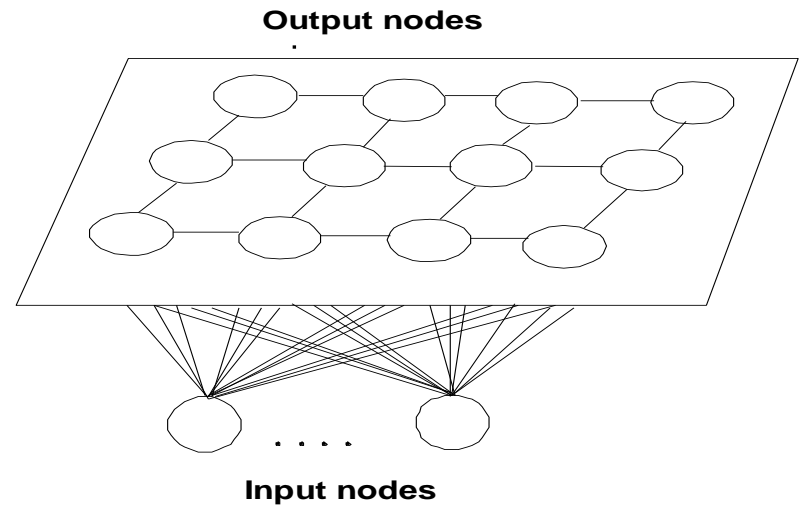


# Εκπαίδευση ΤΝΔ (2 από 2)

**Κάτω από επίβλεψη**  
(supervised learning)  
Backpropagation

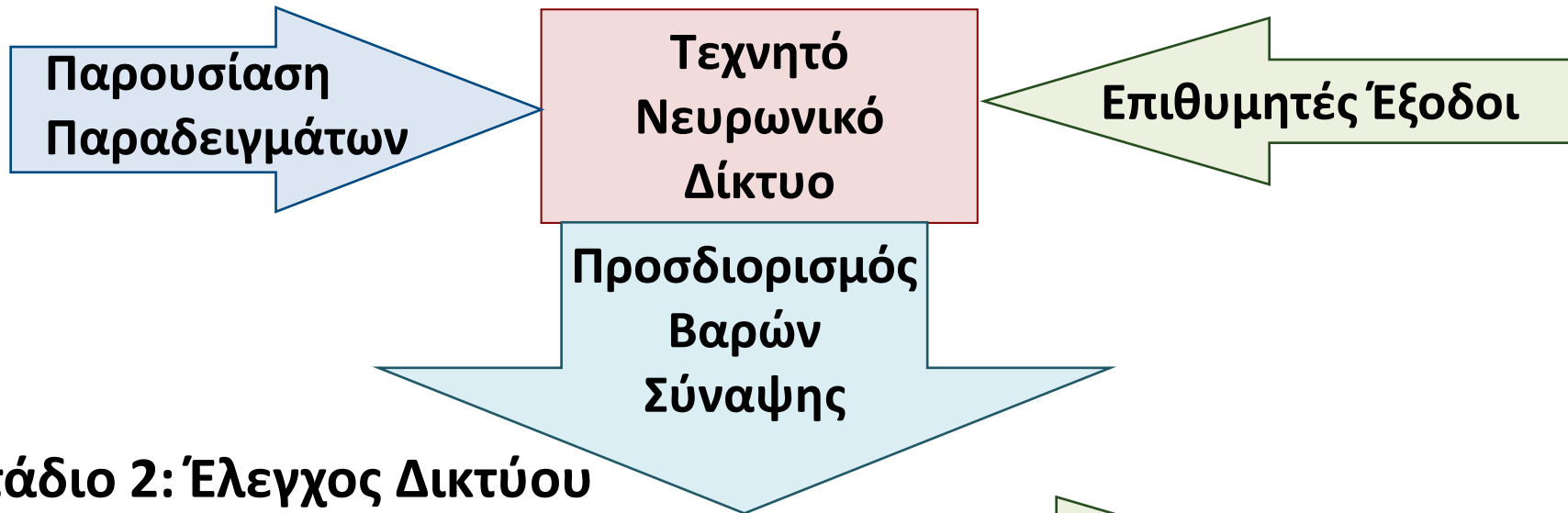


**Κάτω από επίβλεψη**  
(supervised learning)  
Backpropagation

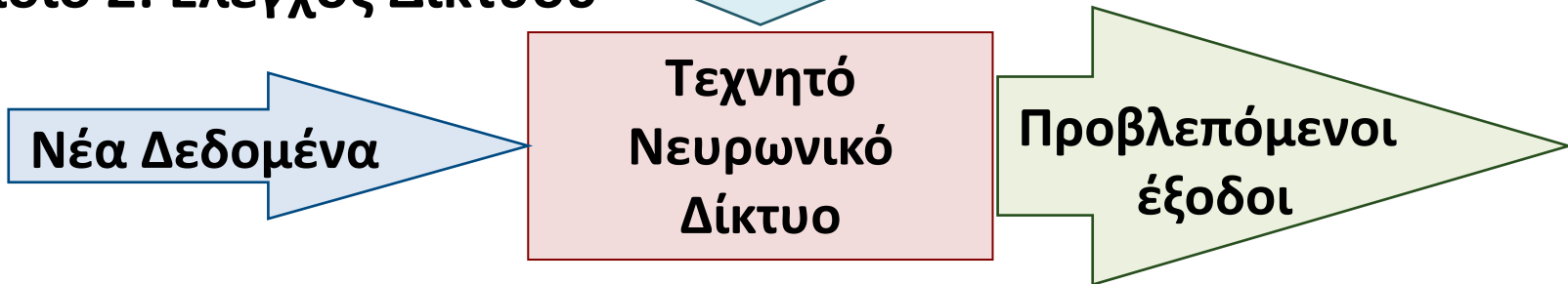


# Στάδια εκπαίδευσης τεχνητού νευρωνικού δικτύου

## Στάδιο 1: Εκπαίδευση Δικτύου



## Στάδιο 2: Έλεγχος Δικτύου



# Κανόνες εκμάθησης perceptron

## Αλλαγή Βαρών

$$W^{new} = W^{old} + ep^T$$

**Όπου: e=error**  
**p=input**  
**T=target**

# Δίκτυα Backpropagation (FF) (1 από 3)

**Εκπαίδευση:** συνεχής παρουσίαση παραδειγμάτων των οποίων είναι γνωστή εκ των προτέρων η κατηγορία που ανήκουν (**επιβλεπόμενη μάθηση**).

Για κάθε είσοδο που δίνεται στο δίκτυο, υπολογίζονται οι έξοδοι εφαρμόζοντας τις συναρτήσεις μετάβασης σε κάθε μονάδα κρυμμένου ή εξωτερικού επιπέδου.

**Διαδικασία Backpropagation:** οι διαφορές μεταξύ του υπολογιζόμενου και του επιθυμητού αποτελέσματος λαμβάνονται υπ' όψιν και προπαγανδίζονται προς τα πίσω στις κρυμμένες μονάδες έτσι ώστε να καθορίσουν τις **απαραίτητες αλλαγές (κανόνες εκμάθησης)** στα βάρη σύνδεσης μεταξύ των μονάδων.

**Feed Forward (FF) Neural Networks**

# Δίκτυα Backpropagation (FF) (2 από 3)

## Κανόνες Εκμάθησης

- Κανόνας Δέλτα (Delta rule learning)
- Αλγόριθμος ανάστροφης μετάδοσης λάθους (back propagation)
- Ανταγωνιστική μάθηση (competitive learning)
- Τυχαία μάθηση (random learning)

Το δίκτυο εν συνεχεία εφαρμόζει εκ νέου τις συναρτήσεις μετάβασης για να υπολογίσει το νέο σφάλμα. Η διαδικασία της εκμάθησης περιλαμβάνει ένα πλήθος τέτοιων κύκλων και τερματίζει με τη μείωση του λάθους κάτω από ένα επιθυμητό όριο.

# Δίκτυα Backpropagation (FF) (3 από 3)

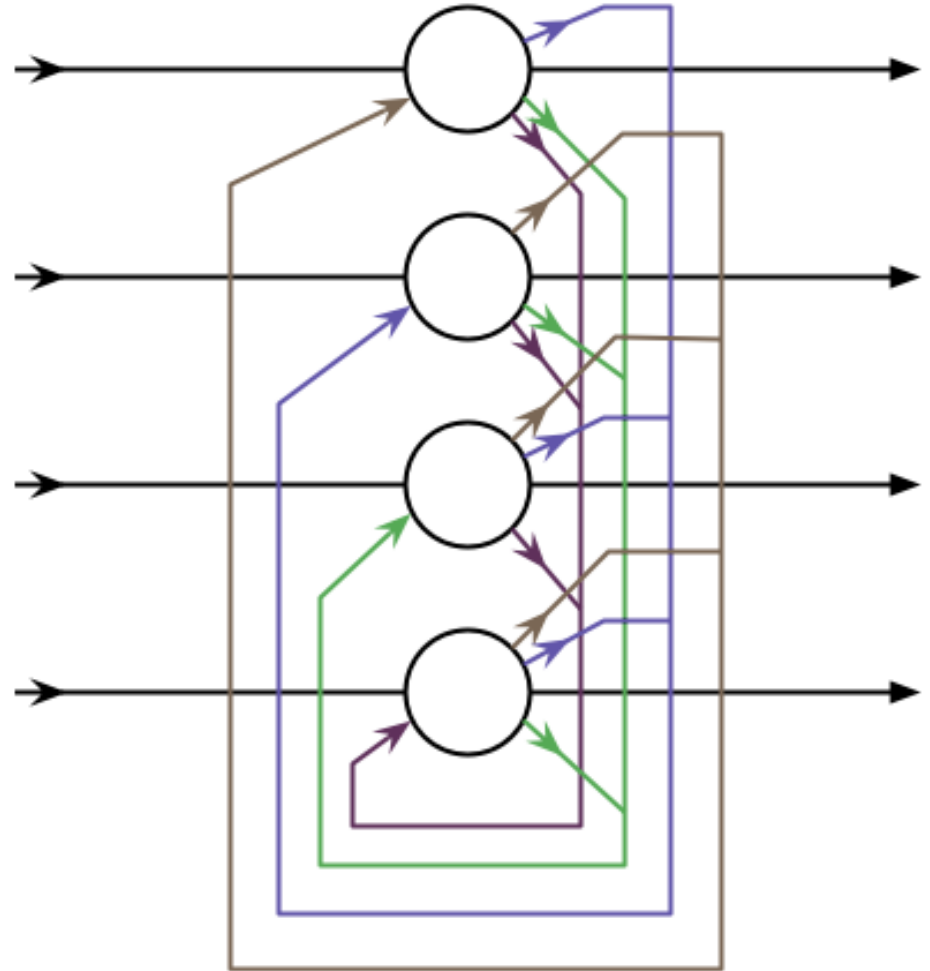


# Δίκτυα Hopfield (1 από 2)

(ανατροφοδοτούμενα – autoassociative memories)

Στα δίκτυα τύπου Hopfield:

- Υπάρχει μόνο ένα επίπεδο
- Οι συνδέσεις μεταξύ των νευρώνων είναι αμφίδρομες.
- Όλοι οι νευρώνες λειτουργούν ταυτόχρονα σαν είσοδοι και έξοδοι του δικτύου.



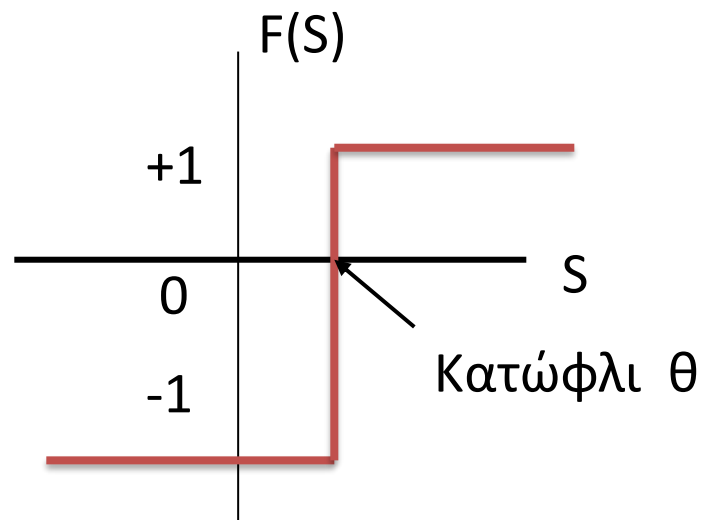
**Αναδρομικά ΤΝΔ**

Επιβλεπόμενη μάθηση

# Δίκτυα Hopfield (2 από 2)

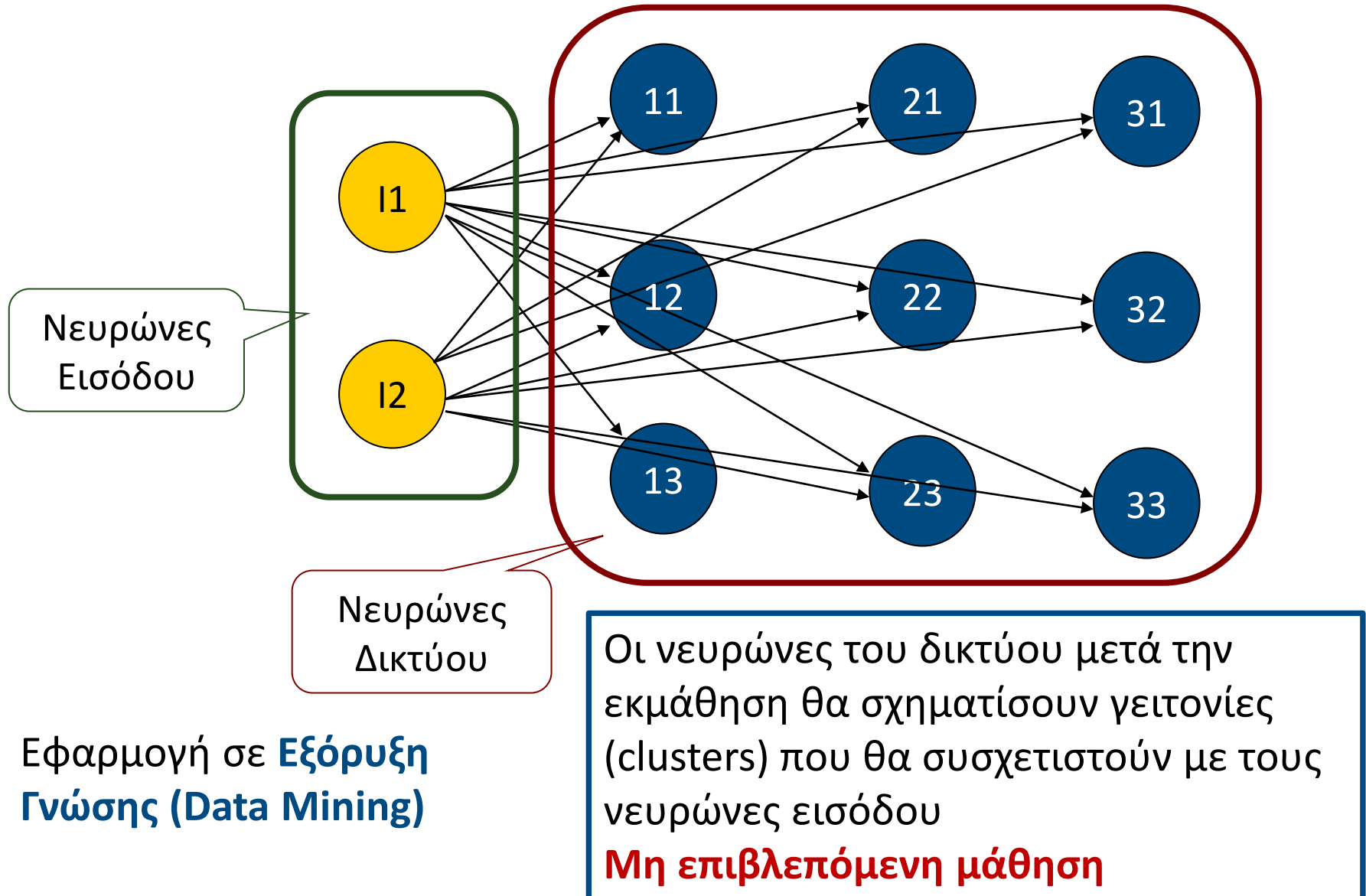
Οι νευρώνες σε ένα δίκτυο Hopfield μπορούν να πάρουν τιμές 1 ή -1.

Επομένως κατάλληλη συνάρτηση ενεργοποίησης είναι η προσήμου:





# Δίκτυα Kohonen (1 από 3) (Self-organizing map)



# Δίκτυα Kohonen (2 από 3)

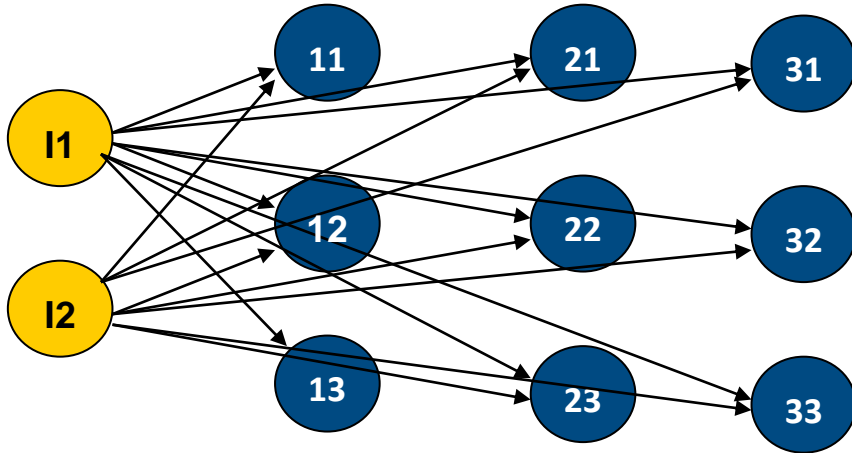
Η εκμάθηση περιλαμβάνει τη παρουσίαση στο δίκτυο ενός **μοντέλου εισόδου** και την εύρεση στους νευρώνες του δικτύου εκείνης της μονάδας που το σύνολο των βαρών που καταλήγουν σ' αυτήν είναι κοντύτερα στο μοντέλο.

Στη συνέχεια τα βάρη της μονάδας που "κέρδισε" όπως και τα βάρη όλων των μονάδων που αποτελούν τη γειτονιά, **ρυθμίζονται βάσει του κανόνα εκμάθησης**.

Η γειτονιά, στην αρχή της περιόδου εκμάθησης, είναι ένα μεγάλο μέρος του εξωτερικού επιπέδου, μέσα σε μια προκαθορισμένη ακτίνα από τη μονάδα που κερδίζει, **η ακτίνα όμως αυτή μειώνεται προοδευτικά** όσο προχωράει η εκμάθηση.

Η προσαρμογή των βαρών των μονάδων διαφέρει από μονάδα σε μονάδα της γειτονιάς αλλά συνήθως ακολουθεί την συνάρτηση του μεξικάνικου καπέλου (mexican hat function).

# Δίκτυα Kohonen (3 από 3)

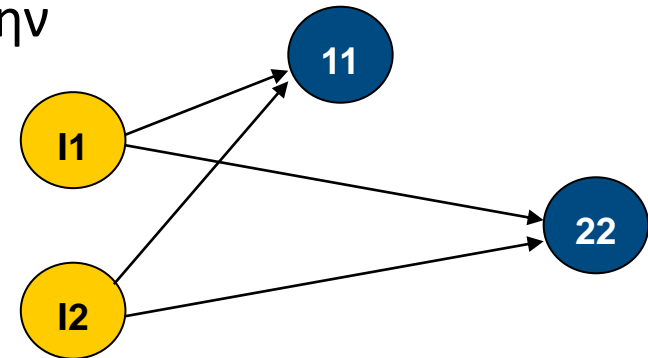


Για παράδειγμα:

Περιμένουμε **2** γειτονιές-clusters,  
Έτσι αρχίζουμε **3 x 3** νευρώνες.

Για κάθε επιδιωκόμενη γειτονιά εκπαιδεύουμε με αντιπροσωπευτικό δείγμα. Στο παράδειγμα για την 1η γειτονιά μετά τον πρώτο κύκλο:

- Πετάμε τους 7 ποιο αδύνατους νευρώνες,
- επαναλαμβάνουμε την εκμάθηση των 2 που απομείνανε,
- Έτσι καταλήγουμε στα τελικά βάρη του δικτύου.



# Διαφορές από άλλα υπολογιστικά συστήματα

- ✓ Όχι χρήση συμβόλων για αναπαράσταση εννοιών του μοντέλου
- ✓ Όχι (σαφής) προγραμματισμός της συμπεριφοράς του μοντέλου
- ✓ Αυτοπρογραμματισμός με το να "μαθαίνουν" να παράγουν συγκεκριμένες εξόδους όταν δίνονται κάποιες είσοδοι

# Κοινή συμπεριφορά με ανθρώπινη μνήμη

1. Βιολογικά ερμηνευμένη συμπεριφορά.
2. Μαθαίνουν με επαναληπτική παρουσίαση παραδειγμάτων.
3. Δίνουν συγκεκριμένες απαντήσεις σε συγκεκριμένα ερεθίσματα.
4. Αναγνωρίζουν και κατηγοριοποιούν νέες πληροφορίες παρόμοιες με ήδη αναγνωρισμένες.
5. Λειτουργούν ικανοποιητικά ακόμα και μετά από καταστροφή ορισμένων κόμβων ή με ελλιπείς εισόδους.
6. Εξηγούν το φαινόμενο της αμνησίας.

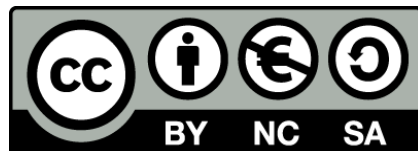
# Εφαρμογές ΤΝΔ

Δημοφιλή σε προβλήματα που περιέχουν μη-προβλέψιμες λειτουργίες και τα οποία δεν είναι πλήρως κατανοητά (κατηγοροποίηση, αποτίμηση, πρόβλεψη).

1. Αναγνώριση Εικόνας
2. Επεξεργασία φωνής
3. Σχεδιασμός Ενεργειών (PLANNING),
4. Εξόρυξη Πληροφορίας
5. Χρονοπρογραμματισμός (SCHEDULING),
6. Συστήματα Ελέγχου και Παραγωγής,
7. Ιατρική διάγνωση,

Ρομποτική  
Άμυνα  
Αεροπορία  
Αυτοκίνηση  
Ιατρική  
Τραπεζικές Εφαρμ.  
Γεωλογικές έρευνες  
Οικονομία  
Βιομηχανία  
.....

# Τέλος Ενότητας



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

**Σημειώματα**



# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Αθήνας, Κατερίνα Γεωργούλη 2014. Κατερίνα Γεωργούλη. «Τεχνητή Νοημοσύνη (Θ). Ενότητα 11: Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (Neural Networks)». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: [ocp.teiath.gr](http://ocp.teiath.gr).

# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό. Οι όροι χρήσης των έργων τρίτων επεξηγούνται στη διαφάνεια «Επεξήγηση όρων χρήσης έργων τρίτων».

Τα έργα για τα οποία έχει ζητηθεί άδεια αναφέρονται στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

# Επεξήγηση όρων χρήσης έργων τρίτων

© Δεν επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου, παρά μόνο εάν ζητηθεί εκ νέου άδεια από το δημιουργό.

---

διαθέσιμο με άδεια CC-BY  
Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου και η δημιουργία παραγώγων αυτού με απλή αναφορά του δημιουργού.

---

διαθέσιμο με άδεια CC-BY-SA  
Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου με αναφορά του δημιουργού, και διάθεση του έργου ή του παράγωγου αυτού με την ίδια άδεια.

---

διαθέσιμο με άδεια CC-BY-ND  
Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου με αναφορά του δημιουργού. Δεν επιτρέπεται η δημιουργία παραγώγων του έργου.

---

διαθέσιμο με άδεια CC-BY-NC  
Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου με αναφορά του δημιουργού. Δεν επιτρέπεται η εμπορική χρήση του έργου.

---

διαθέσιμο με άδεια CC-BY-NC-SA  
Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου με αναφορά του δημιουργού και διάθεση του έργου ή του παράγωγου αυτού με την ίδια άδεια. Δεν επιτρέπεται η εμπορική χρήση του έργου.

---

διαθέσιμο με άδεια CC-BY-NC-ND  
Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου με αναφορά του δημιουργού. Δεν επιτρέπεται η εμπορική χρήση του έργου και η δημιουργία παραγώγων του.

---

διαθέσιμο με άδεια CCO Public Domain  
Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου, η δημιουργία παραγώγων αυτού και η εμπορική του χρήση, χωρίς αναφορά του δημιουργού.

---

διαθέσιμο ως κοινό κτήμα  
Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου, η δημιουργία παραγώγων αυτού και η εμπορική του χρήση, χωρίς αναφορά του δημιουργού.

---

χωρίς σήμανση  
Συνήθως δεν επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου.

# Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο ΤΕΙ Αθήνας**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

