

Εισαγωγή στα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα

Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence)

- Ανάπτυξη μεθόδων και τεχνολογιών για την επίλυση προβλημάτων στα οποία ο άνθρωπος υπερέχει (?) του υπολογιστή
 - Συλλογισμοί (reasoning)
 - Αναγνώριση (recognition)
- Δύο επίπεδα της νοημοσύνης
 - Αναγνώριση/υποσυμβολικό
 - Συμβολικό

Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence)

- Αναγνώριση/υποσυμβολικό επίπεδο ----> επεξεργασία σημάτων και αριθμητικών πληροφοριών που δεχόμαστε από τους σένσορες (αισθήσεις) και μετατροπή τους σε σύμβολα
 - Αντικείμενο της **Υπολογιστικής Νοημοσύνης**
- Συμβολικό επίπεδο ----> επεξεργασία των συμβόλων για συλλογισμούς, συμπεράσματα, απόδειξη θεωρημάτων κλπ
 - Αντικείμενο της **Συμβολικής Τεχνητής Νοημοσύνης**

Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ΤΝΔ) (Artificial Neural Networks)

- Μια από τις τρεις βασικές κατηγορίες μεθόδων υπολογιστικής νοημοσύνης
- Οι άλλες δύο:
 - Ασαφής Λογική (Fuzzy Logic)
 - Εξελικτικός Υπολογισμός (evolutionary computing)
- ΤΝΔ: προέκυψαν από την ανάγκη να φτιάξουμε τεχνητά συστήματα (μηχανές, κυκλώματα) που να μιμούνται τον τρόπο λειτουργίας του βιολογικού εγκεφάλου (βιολογικά νευρωνικά δίκτυα)

Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ΤΝΔ) (Artificial Neural Networks)

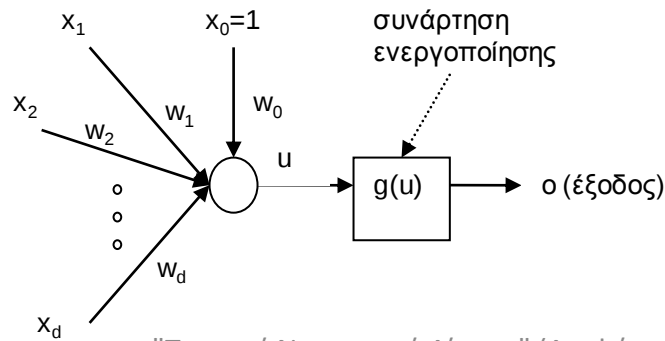
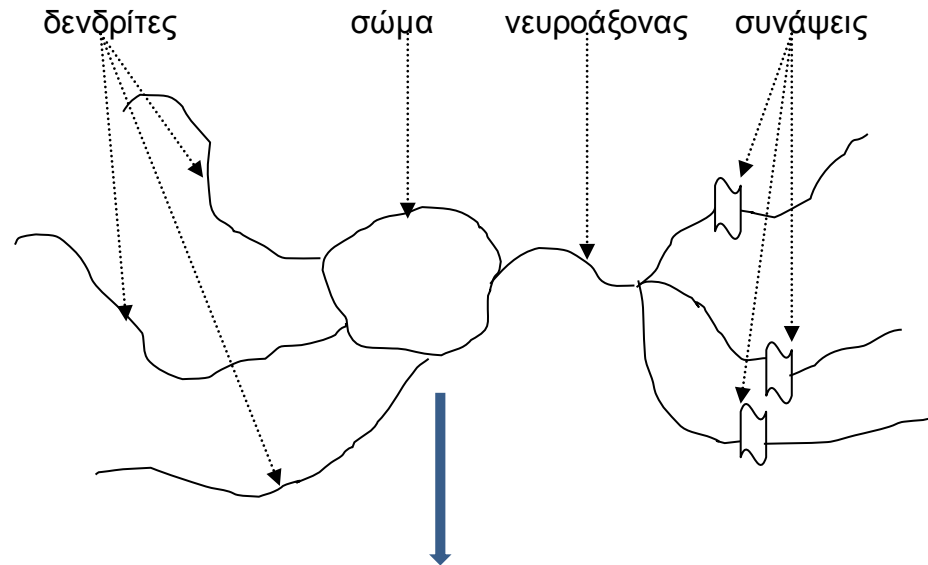
- Πρόβλημα: δεν ξέρουμε ακόμα (με ακρίβεια) πώς λειτουργεί ο ανθρώπινος εγκέφαλος!
- 1950: απλουστευμένα μαθηματικά μοντέλα του εγκεφάλου.
- Τα πρώτα ΤΝΔ: προσομοίωση αυτών των μοντέλων σε υπολογιστή (επίλυση στοιχειωδών προβλημάτων)

Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ΤΝΔ) (Artificial Neural Networks)

Βιολογικό ανάλογο:

- Ο εγκέφαλος αποτελείται από ένα τεράστιο αριθμό διασυνδεδεμένων **νευρώνων (neurons)**, δηλαδή νευρικών κυττάρων.
- Κάθε νευρώνας
 - δέχεται ερεθίσματα (εισόδους) από άλλα κύτταρα μέσω συνδέσεων τα οποία επηρεάζουν την κατάστασή του και, ανάλογα με την κατάσταση στην οποία βρίσκεται
 - στέλνει ερεθίσματα (εξόδους) για να επηρεάσει με τη σειρά του την κατάσταση άλλων νευρώνων.
- Κάθε σύνδεση μεταξύ δύο νευρώνων χαρακτηρίζεται από μια **τιμή ισχύος** η οποία υποδηλώνει πόσο ισχυρή είναι η μεταξύ τους αλληλεπίδραση.

Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ΤΝΔ) (Artificial Neural Networks)



"Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα" (Διαφάνειες),
Α. Λύκας, Παν. Ιωαννίνων

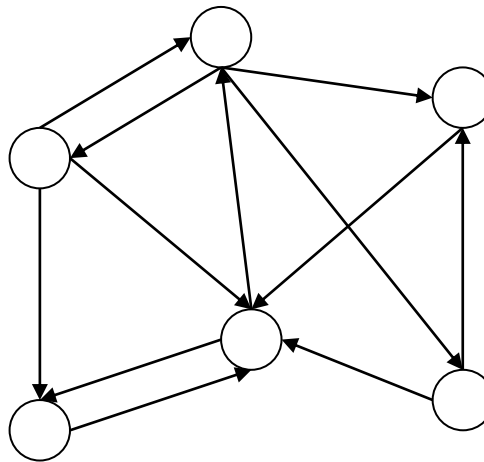
Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ΤΝΔ) (Artificial Neural Networks)

ΤΕΧΝΗΤΟ ΝΕΥΡΩΝΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ (ΤΝΔ)

- Μία αρχιτεκτονική δομή (**δίκτυο**) αποτελούμενη από ένα πλήθος διασυνδεδεμένων **μονάδων επεξεργασίας** (τεχνητοί νευρώνες).
- Κάθε **σύνδεση** μεταξύ δύο μονάδων χαρακτηρίζεται από μια **τιμή βάρους**.
- Κάθε μονάδα επεξεργασίας χαρακτηρίζεται από **εισόδους** και **εξόδους**. Υλοποιεί τοπικά έναν **απλό υπολογισμό** με βάση τις εισόδους που δέχεται και μεταδίδει το αποτέλεσμα (έξοδος) σε άλλες μονάδες επεξεργασίας με τις οποίες συνδέεται.
- Οι **τιμές των βαρών** των συνδέσεων αποτελούν τη **γνώση** που είναι αποθηκευμένη στο ΤΝΔ και καθορίζουν τη **λειτουργικότητά του**.
- Συνήθως ένα ΤΝΔ αναπτύσσει μία συνολική λειτουργικότητα μέσω μιας μορφής **εκπαίδευσης** (μάθησης).

Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ΤΝΔ) (Artificial Neural Networks)

- Οι μονάδες λειτουργούν παράλληλα (ταυτόχρονα) και ο αριθμός τους μπορεί να είναι πολύ μεγάλος.
- Τα ΤΝΔ αποτελούν χαρακτηριστικό παράδειγμα **μαζικά παράλληλου υπολογισμού** (massively parallel computing)



Δυνατότητες των ΤΝΔ

- Βασικές ικανότητες του **ανθρώπινου εγκεφάλου**
 - Μάθηση με παραδείγματα (π.χ. προβλήματα αναγνώρισης)
 - Ικανότητα Γενίκευσης
 - Αποθηκεύει εμπειρίες (κατανεμημένη αποθήκευση)
 - Αυτοοργάνωση
 - Ανοχή σε θόρυβο και ελλειπείς πληροφορίες
 - Ανοχή σε βλάβες
- Οι ικανότητες του εγκεφάλου συμπληρωματικές ως προς τους συμβατικούς υπολογιστές
- Τις παραπάνω δυνατότητες έχουν (σε κάποιο βαθμό) και τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα

Μάθηση με Παραδείγματα (Machine Learning)

- **Εκπαίδευση ενός ΤΝΔ:**
 - **καθορισμός των βαρών** των συνδέσεών του έτσι ώστε να επιτελείται μια **επιθυμητή λειτουργία** η οποία περιγράφεται με τη **χρήση παραδειγμάτων**
- **Ικανότητα Γενίκευσης:**
 - Ο αντικειμενικός στόχος της διαδικασίας εκπαίδευσης: να αποκτήσει δηλαδή το ΤΝΔ κατάλληλες τιμές βαρών ώστε να 'δίνει σωστές απαντήσεις' για παραδείγματα που 'μοιάζουν' σε αυτά με τα οποία εκπαιδεύτηκε
- Τα ΤΝΔ έχουν αποδειχθεί μια επιτυχημένη **τεχνολογία για την ανάπτυξη συστημάτων με καλή γενικευτική ικανότητα** χρησιμοποιώντας ένα σύνολο από αντιπροσωπευτικά παραδείγματα εκπαίδευσης.

Κατηγορίες Προβλημάτων Μάθησης με Παραδείγματα

- **Μάθηση με επίβλεψη** ή εποπτευόμενη μάθηση (supervised learning)
- **Μάθηση χωρίς επίβλεψη** ή μη εποπτευόμενη μάθηση (unsupervised learning)
- **Μάθηση με ενίσχυση** ή ενισχυτική μάθηση (reinforcement learning)
- Υπάρχουν και ενδιάμεσες κατηγορίες
 - π.χ. μάθηση με ημι-επίβλεψη (semi-supervised learning)

Μάθηση με Επίβλεψη (supervised learning)

- Τα στοιχεία του συνόλου των παραδειγμάτων είναι ζεύγη της μορφής: **(είσοδος, επιθυμητή έξοδος)** ($X=\{x^i, t^i\}$), $i=1,...,N$).
- Ποιοτικά μπορούμε να το σκεφτόμαστε και ως ζεύγη της μορφής: (ερώτηση, σωστή απάντηση).
- Το σύστημα μάθησης **υλοποιεί συσχετίσεις εισόδου – εξόδου**
- Όταν κάποιο δεδομένο x εμφανίζεται ως είσοδος θέλουμε το ΤΝΔ να παρέχει στην έξοδο την αντίστοιχη επιθυμητή τιμή t .

Μάθηση με Επίβλεψη (supervised learning)

- Ο όρος μάθηση με επίβλεψη προκύπτει από το ανθρωπομορφικό ανάλογο του 'επιβλέποντος':
 - εποπτεύει το σύστημα μάθησης, θέτοντας ερωτήσεις και παρέχοντας ταυτόχρονα και τις αντίστοιχες σωστές απαντήσεις.
- Δύο μεγάλες κατηγορίες προβλημάτων:
 - ταξινόμησης ή κατηγοριοποίησης (classification)
 - **t: ετικέτα κατηγορίας (class label)**
 - συναρτησιακής προσέγγισης (regression ή function approximation)
 - **t: αριθμός**

Μάθηση χωρίς Επίβλεψη (unsupervised learning)

- Τα παραδείγματα εκπαίδευσης **δεν** περιλαμβάνουν την επιθυμητή έξοδο αλλά μόνο τα δεδομένα εισόδου ($X=\{x^i\}$, $i=1,...,N$).
- Στόχος είναι η εξαγωγή κάποιων **βασικών δομικών ιδιοτήτων** των δεδομένων εκπαίδευσης (π.χ. εύρεση ομάδων).
- Παράδειγμα: έστω ένα σύνολο εκπαίδευσης που περιέχει **μη χαρακτηρισμένα** ως προς το περιεχόμενό τους κείμενα από μια εφημερίδα και στόχος της εκπαίδευσης είναι ο διαχωρισμός τους σε ένα δεδομένο αριθμό ομάδων ανάλογα με το περιεχόμενό τους.
 - Θέλουμε στο τέλος της εκπαίδευσης τα κείμενα με αθλητικό, πολιτικό κλπ περιεχόμενο να έχουν καταταχθεί στην αντίστοιχη ομάδα.

Μάθηση χωρίς Επίβλεψη (unsupervised learning)

- Κατηγορίες Προβλημάτων
 - **Ομαδοποίηση (clustering):** χωρισμός των δεδομένων εκπαίδευσης σε ομάδες έτσι ώστε δεδομένα στην ίδια ομάδα να 'μοιάζουν' αρκετά μεταξύ τους και να είναι αρκετά 'διαφορετικά' από τα δεδομένα των άλλων ομάδων.
 - **Μείωση της διάστασης των δεδομένων (dimensionality reduction):** προβολή των δεδομένων σε ένα χώρο μικρότερης διάστασης στον οποίο να διατηρούνται κατά το δυνατόν οι σχετικές αποστάσεις μεταξύ των δεδομένων στον αρχικό πολυδιάστατο χώρο (μέθοδος PCA)
 - Αν η διάσταση του χώρου προβολής είναι δύο τότε είναι δυνατή η **οπτικοποίηση (visualisation)** των αρχικών πολυδιάστατων δεδομένων.
 - **Τοπογραφικός Χάρτη Δεδομένων (topographic data map)**

Μάθηση με Ενίσχυση (reinforcement learning)

- Στο σύστημα μάθησης δεν παρέχεται η επιθυμητή έξοδος για κάθε είσοδο, αλλά μόνο η τιμή μιας ποσότητας που ονομάζεται **σήμα ενίσχυσης (reinforcement signal)** ($X=\{x^i, r^i\}$), $i=1,...,N$),
- Το σήμα ενίσχυσης r δηλώνει εάν το σύστημα παρείχε σωστή ή λάθος απόκριση χωρίς όμως να παρέχει λεπτομέρειες για το ποια είναι η σωστή απόκριση
- Στην περίπτωση που το σύστημα μάθησης παρέχει λάθος έξοδο, ενημερώνεται ότι απάντησε λανθασμένα, αλλά δεν πληροφορείται σχετικά με το ποια είναι η σωστή έξοδος.
- Εφαρμογές σε ρομποτική, games

Παραδείγματα εφαρμογών ΤΝΔ

- **Εφαρμογές Αναγνώρισης:** Αναγνώριση φωνής, αναγνώριση ομιλούντος, αναγνώριση αντικειμένων σε εικόνες και video, αναγνώριση χαρακτήρων χειρόγραφου κειμένου, αναγνώριση προσώπων.
- **Επεξεργασία πολυμεσικών δεδομένων:** Ανάλυση, κατάτμηση και συμπίεση κατάτμηση εικόνων και video, παρακολούθηση τροχιάς αντικειμένων, αναγνώριση γεγονότων σε video.
- **Διαχείριση Γνώσης:** Ταξινόμηση κειμένων με βάση το περιεχόμενο, αυτόματη ομαδοποίηση ιστοσελίδων, ανίχνευση spam μηνυμάτων, ταξινόμηση χρηστών με βάση κάποιο προφίλ.

Παραδείγματα εφαρμογών ΤΝΔ

- **Οικονομία, Επιχειρησιακή έρευνα:** Μοντελοποίηση και πρόβλεψη χρονοσειρών σχετιζόμενων με τιμές μετοχών και οικονομικών δεικτών, συστήματα υποστήριξης αποφάσεων (π.χ. για χορήγηση δανείων).
- **Ιατρική:** Ανάλυση ηλεκτροκαρδιογραφήματος και άλλων βιολογικών σημάτων, επεξεργασία και κατάτμηση ιατρικών εικόνων (π.χ. εικόνων MRI, μαστογραφιών), συστήματα υποστήριξης ιατρικής διάγνωσης
- **Βιοπληροφορική:** Συστήματα διάγνωσης του καρκίνου με βάση εξετάσεις DNA (εικόνες από μικροσυστοιχίες DNA), ταξινόμηση πρωτεϊνών.

Παραδείγματα εφαρμογών ΤΝΔ

- **Ρομποτική και Διαστημική τεχνολογία:** Τα αυτόνομα ρομποτικά συστήματα που εξερευνούν τους ανεξερεύνητους πλανήτες εμπεριέχουν πολλά συστήματα ΤΝΔ για διάφορες λειτουργίες.
- **Ταυτοποίηση και έλεγχος πολύπλοκων συστημάτων:** Τα ΤΝΔ για συναρτησιακή προσέγγιση έχουν πολυάριθμες εφαρμογές για την ταυτοποίηση (μοντελοποίηση) συστημάτων (π.χ. βιομηχανικών διεργασιών) με βάση μετρήσεις εισόδου – εξόδου, καθώς και για την κατασκευή ελεγκτών (controllers) για τα ταυτοποιημένα συστήματα.

Παραδείγματα εφαρμογών ΤΝΔ

- **Οπτική παρακολούθηση σε γραμμές παραγωγής:** Ανίχνευση (συνήθως με τη βοήθεια κάμερας) και απόρριψη ελαττωματικών αντικειμένων στις γραμμές παραγωγής.
- **Μετεωρολογία:** Μοντέλα πρόβλεψης της κίνησης των αερίων μαζών.
- **Φυσική υψηλών ενεργειών:** Αναγνώριση του τύπου των φυσικών σωματιδίων που δημιουργούνται στους αντιδραστήρες με βάση την τροχιά τους.