**ΤΕΧΝΗΤΑ ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ**

**Κωνσταντίνος Διαμαντάρας**

**(ΠΡΟΛΟΓΟΣ)**

Τα πρώτα μοντέλα των Τ.Ν.Δ. έκαναν την εμφάνιση τους τη δεκαετία του 1940 και του 1950, ξεκινώντας από το βασικό μοντέλο του νευρώνα των McCulloch-Pitts και τον πρώτο αλγόριθμο εκπαίδευσης ενός νευρώνα, το γνωστό Perceptron του Frank Rosenblatt. Ο αρχικός ενθουσιασμός που δημιουργήθηκε από το μοντέλο Perceptron δεν κράτησε πολύ καθώς αποδείχτηκαν οι περιορισμένες δυνατότητες του από τους Minsky και Papert το 1969. Την ύφεση της δεκαετίας του 1970 διαδέχτηκε η έκρηξη δραστηριότητας της δεκαετίας του 1980. Την αναγέννηση των Τ.Ν.Δ. σημάδεψαν το μοντέλο του Hopfield και το μοντέλο Perceptron πολλών στρωμάτων (Multi-Layer Perceptron ή MLP) σε συνδυασμό με τον αλγόριθμο εκπαίδευσης Back-Propagation. Για πρώτη φορά, παρουσιάζεται ένας αλγόριθμος ικανός να εκπαιδεύσει ένα δίκτυο με περισσότερους από έναν νευρώνες. Ωστόσο, το πιο σημαντικό είναι ότι το δίκτυο MLP έχει απεριόριστες δυνατότητες αναπαράστασης συναρτήσεων και διαχωρισμού κλάσεων. Δημιουργήθηκε ένα νέο παράδειγμα υπολογιστικού μοντέλου το λεγόμενο Connectionist model, με κύριο χαρακτηριστικό την διασύνδεση πολλών απλών υπολογιστικών κόμβων σε δίκτυο και τη δυνατότητα αυτοπροσαρμογής των συνδέσεων του δικτύου. Το μοντέλο αυτό προσέφερε μία νέα προσέγγιση στο πρόβλημα της τεχνητής νοημοσύνης μέσω της μάθησης, όπου το σύστημα αυτοπροσαρμόζεται χρησιμοποιώντας τα δεδομένα και δεν βασίζεται σε κάποιους προκαθορισμένους κανόνες λογικής για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Σήμερα, υπάρχει μία πληθώρα νευρωνικών μοντέλων που ακολουθούν διάφορα πρότυπα μάθησης, όπως εκπαίδευση με επίβλεψη, εκπαίδευση χωρίς επίβλεψη, ανταγωνιστικά μοντέλα, καθώς και αυτό-οργανούμενα μοντέλα.

Οι εφαρμογές των νευρωνικών δικτύων καλύπτουν πλέον πολύ μεγάλο φάσμα της επιστημονικής δραστηριότητας από την αναγνώριση προσώπων μέχρι την πρόβλεψη οικονομικών μεγεθών.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ**

Η έρευνα σχετικά με τα Τ.Ν.Δ. είναι εμπνευσμένη από τη δομή και τη λειτουργία του εγκεφάλου. Βασικό δομικό στοιχείο του εγκεφάλου είναι οι νευρώνες, δηλαδή τα νευρικά κύτταρα τα οποία δημιουργούν ένα πυκνό δίκτυο επικοινωνίας μεταξύ τους. Κίνητρο για τη μελέτη του νευρώνα και των νευρωνικών δικτύων είναι η ελπίδα ανακάλυψης ενός νέου υπολογιστικού μοντέλου βασισμένου σε μία δικτυακή δομή παρόμοια με αυτή του εγκεφάλου. Αυτή η καινούργια υπολογιστική πλατφόρμα - γνωστή ως Connectionist model - θα είναι πιο κατάλληλη για ανάπτυξη ευφυών αλγορίθμων και γενικότερα διαδικασιών σχετιζόμενων με τη νοημοσύνη όπως η μάθηση, η μνήμη, η γενίκευση, η ομαδοποίηση προτύπων, κ.λ.π.

Τα συνήθη Τ.Ν.Δ. χρησιμοποιούν πολύ απλοποιημένα μοντέλα νευρώνων τέτοια ώστε να διατηρούν μόνο τα πολύ αδρά χαρακτηριστικά των λεπτομερών μοντέλων που χρησιμοποιούνται στη νευρολογία. Θα έλεγε κανείς ότι τα συνήθη Τ.Ν μοντέλα έχουν ελάχιστη σχέση με τα βιολογικά νευρωνικά συστήματα. Ωστόσο πιστεύεται ότι οι λεπτομέρειες δεν έχουν ιδιαίτερη σημασία στην κατανόηση της ευφυούς συμπεριφοράς των βιολογικών νευρωνικών συστημάτων. Ακόμη και αυτά τα απλά μοντέλα νευρώνων μπορούν να δημιουργήσουν ιδιαιτέρως ενδιαφέροντα δίκτυα αρκεί να πληρούν 2 βασικά χαρακτηριστικά.

1. Οι νευρώνες να έχουν ρυθμιζόμενες παραμέτρους ώστε να διευκολύνεται η διαδικασία της μάθησης - ιδιότητα γνωστή ως πλαστικότητα των νευρώνων
2. Το δίκτυο να αποτελείται από μεγάλο πλήθος νευρώνων ώστε να επιταχύνεται **παραλληλισμός** της επεξεργασίας και **κατανομή** της πληροφορίας

Η πρόκληση που αντιμετωπίζει η θεωρία των Τ.Ν.Δ. είναι η εύρεση κατάλληλων αλγορίθμων εκπαίδευσης των δικτύων και ανάκλησης της πληροφορίας που αυτά περιέχουν έτσι ώστε να προσομοιάζονται ευφυείς διαδικασίες. Για την επίτευξη αυτού του στόχου απαιτείται ο ορισμός του κατάλληλου περιβάλλοντος εκπαίδευσης πχ αν το δίκτυο θα εκπαιδεύεται με επίβλεψη, δηλ. Με τη χρήση κάποιων δεδομένων οδηγών - δασκάλων ή αν το δίκτυο θα αφήνεται μόνο του να αυτό-οργανωθεί και με ποιο συγκεκριμένο κριτήριο και στόχο.

**1.1 - Ο ΝΕΥΡΩΝΑΣ**

Το νευρικό κύτταρο ή νευρώνας είναι το βασικό δομικό στοιχείο του εγκεφάλου τόσο στον άνθρωπο όσο και στα ζώα. Ο νευρώνας είναι ένα μεγάλο σε μέγεθος κύτταρο το οποίο, ανατομικά αποτελείται από τα εξής τμήματα:

1. **Σώμα**
2. **Δενδρίτες**   
    Είναι πύλες εισόδου του νευρώνα. Δέχονται ηλεκτρικά σήματα από άλλους νευρώνες
3. **Άξονα**  
    Είναι η πύλη εξόδου του νευρώνα. Μοιάζει με μια μακρόστενη κλωστή που μερικές φορές έχει μήκος μερικά χιλιοστά και άλλες φορές ξεπερνάει το 1m. Ο άξονας στέλνει σήματα προς άλλους νευρώνες υπό μορφή ηλεκτρικών παλμών σταθερού πλάτους αλλά μεταβλητής συχνότητας.
4. **Συνάψεις** - που συνδέουν τις διακλαδώσεις του άξονα με τους δενδρίτες άλλων νευρώνων δημιουργώντας έτσι ένα νευρωνικό δίκτυο

Eίναι τα σημεία ένωσης μεταξύ διακλαδώσεων του άξονα ενός νευρώνα και των δενδριτών από άλλους νευρώνες. ~~Είναι κύστες με ηλεκτροχημικό υλικό - ιόντα, κυρίως Νατρίου και Καλίου. Το υλικό αυτό μεταδίδει την ηλεκτρική δραστηριότητα του άξονα-αποστολέα στους δενδρίτες-παραλήπτες.~~ Το πλάτος της σύναψης, η απόσταση της από τον δενδρίτη ~~και η πυκνότητα του ηλεκτροχημικού υλικού~~ επηρεάζουν την ευκολία με την οποία η ηλεκτρική δραστηριότητα μεταδίδεται από τον άξονα στο δενδρίτη. Το ποσοστό της ηλ. Δραστηριότητας που μεταδίδεται τελικά στο δενδρίτη λέγεται **συναπτικό βάρος**. Οι συνάψεις χωρίζονται σε **ενισχυτικές** (exitatory) και σε **ανασταλτικές** (inhibitory) ανάλογα με το αν το φορτίο που εκλύεται από τη σύναψη ερεθίζει το νευρώνα προς το να παράγει παλμούς με μεγαλύτερη συχνότητα ή αντίθετα αν τον καταστέλλει εμποδίζοντας τον να παράγει παλμούς.

**1.1.1**

**ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΝΕΥΡΩΝΑ**

Στους βιολογικούς νευρώνες, φορείς πληροφορίας είναι ηλεκτρικοί παλμοί που ταξιδεύουν στον άξονα κάθε νευρώνα και μέσω συνάψεων διαδίδονται στους δενδρίτες των παραληπτών νευρώνων. Κάθε νευρώνας Α συλλέγει όλο το ηλεκτρικό φορτίο που δέχεται από κάθε σύναψη στους δενδρίτες του ζυγίζοντας το εισερχόμενο φορτίο με το αντίστοιχο συναπτικό βάρος, Έτσι, όσο πιο ισχυρή είναι η συναπτική ζεύξη τόσο πιο πολύ έντονα συμμετέχει το συγκεγκριμένο φορτίο εισόδου στο συνολικό άθροισμα. Αν το άθροισμα του φορτίου ξεπερνάει κάποιο κατώφλι τότε ο άξωνας του Α αρχίζει να παράγει ηλεκτρικούς παλμούς με μεγάλη συχνότητα, οπότε λέμε ότι ο νευρώνας πυροβολεί (fires). Αν όμως το φορτίο δεν περνάει το συγκεκριμένο αυτό όριο τότε ο νευρώνας παράγει πολύ αραιά παλμούς σε τυχαίες στιγμές οπότε λέμε ότι ο νευρώνας είναι αδρανής. Κάθε παλμός έχει συγκεκριμένο χρονικό πλάτος C:/Users/Evita/AppData/Local/Temp/wps.DJjIsuwps και μετά από κάθε παλμό ο νευρώνας χρειάζεται ένα ελάχιστο χρόνο ανάπαυσης wps. Έτσι ο μέγιστος ρυθμός των παλμών δεν ξεπερνάει το όριο

Τελικά οι παλμοί που παράγονται ταξιδεύουν κατά μήκος του άξονα και τροφοδοτούν τους άλλους νευρώνες με τους οποίους συνδέεται ο Α.

**1.1.2**

**ΜΟΝΤΕΛΟ McCulloch-Pitts**

Τη δεκαετία του 1940 υπήρξε μία εντονότατη δραστηριότητα προς την κατεύθυνση της μελέτης των βιολογικών νευρωνικών δικτύων και της μαθηματικής μοντελοποίησης τους. Πρωτοπόροι στον τομέα αυτό οι Αμερικανοί επιστήμονες McCulloch και Pitts που περιέγραψαν ένα απλό μοντέλο της δραστηριότητας του νευρώνα. Η κατάσταση του νευρώνα περιγράφεται από ένα δυαδικό αριθμό y ο οποίος όταν είναι 0 σημαίνει πως ο νευρώνας είναι αδρανής (δε πυροβολεί) ενώ όταν είναι 1σημαίνει πως ο νευρώνας πυροβολεί στη μέγιστη ταχύτητα.

Οι συνάψεις περιγράφονται από τα συναπτικά βάρη (synaptic weights) wps που είναι πραγματικοί αριθμοί, θετικοί για τις ενισχυτικές συνάψεις και αρνητικοί για στις ανασταλτικές συνάψεις. Αν wpsείναι οι είσοδοι του νευρώνα τότε το άθροισμα u του φορτίου που δέχεται ο νευρώνας είναι απλά:

**u**

Αν το άθροισμα u είναι μεγαλύτερο από το κατώφλι (threshold) θ τότε ο νευρώνας πυροβολεί , διαφορετικά παραμένει αδρανής. Χρησιμοποιώντας μαθηματικά γράφουμε

wps

Όπου f(.) είναι η λεγόμενη βηματική συνάρτηση.

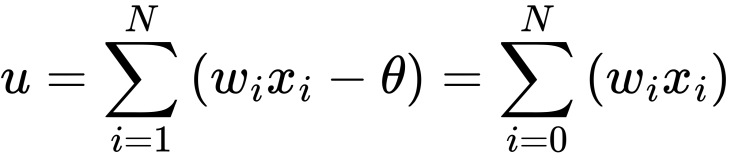
## [1.2 Μάθηση συναρτήσεων]

**ΒΗΜΑΤΙΚΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ**

Βηματική συνάρτηση 0/1 (Step function 0/1):

Σχηματικά το παραπάνω μαθηματικό μοντέλο παριστάνεται από ένα άθροισμα ακολουθούμενο από ένα μη-γραμμικό μετασχηματιστή. Το κατώφλι θ είναι ένας πραγματικός αριθμός (θετικός ή αρνητικός) όπως άλλωστε και τα συναπτικά βάρη wps. Κατ’ αυτή την έννοια το κατώφλι θ μπορεί να θεωρηθεί ως ένα επί πλέον συναπτικό βάρος συνδεδεμένο με μία σταθερή είσοδο wps η οποία έχει πάντα τιμή -1.

Έτσι, θα μπορούσαμε να γράψουμε



Όπου wps= θ και wps

**ΑΛΛΑ ΔΙΑΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΟΝΤΕΛΑ**

Υπάρχουν πολλές διαφορετικές μοντελοποιήσεις του νευρώνα που αποκλίνουν από το απλό μοντέλο McCulloch-Pitts. Η πιο σημαντική διαφορά είναι στη μορφή της μη γραμμικής συνάρτησης f() που χρησιμοποιείται στην έξοδο. Η συνάρτηση αυτή (που καλείται και συνάρτηση ενεργοποίησης του νευρώνα (neuron activation function) μπορεί να πάρει εναλλακτικά τις παρακάτω μορφές:

|  |  |
| --- | --- |
| Βηματική συνάρτηση -1/1 (step function -1/1) | Η συνάρτηση αυτή συμβολίζεται επίσης και sng από το λατινικά “sugnum”=”πρόσημο” |
| Γραμμική (linear) | **wps** |
| Σιγμοειδής (sigmoid): | **wps** |
| **Υπερβολική εφαπτομένη (hyperbolic tangent)** | **wps** |
| **Συνάρτηση κατωφλιού (threshold function)** | **C:/Users/Evita/AppData/Local/Temp/wps.lypOpYwps** |
| **Συνάρτηση ράμπας (ramp function)** | **wps** |

**1.2 - ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΝΕΥΡΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ**

Ο ανθρώπινος εγκέφαλος αποτελείται από περίπου 100 δισεκατομμύρια νευρώνες και σε κάθε νευρώνα αντιστοιχούν κατά μέσο όρο περίπου 1000 συνάψεις (δηλ. έχουμε ένα σύνολο 100 τρισεκατομμυρίων συνάψεων).

## [2.6 Παραδείγματα εφαρμογής νευρωνικών δικτύων]

Η τρομερή πολυπλοκότητα του εγκεφάλου τον καθιστά ικανό να εκτελεί με επιτυχία διάφορες λειτουργίες που συλλογικά οδηγούν σε αυτό που αποκαλούμαι νοημοσύνη. Τέτοιες λειτουργίες είναι:

* Η αναγνώριση εικόνων (προσώπων, αντικειμένων, κλπ)
* Η μνήμη
* Η αναγνώριση φωνής, η κατανόηση και η παραγωγή της γλώσσας
* Η αυτόνομη πλοήγηση στο χώρο
* Η λήψη αποφάσεων
* Η κατάστρωση στρατηγικής και η επιλογή της καλύτερης με βάση διάφορα κριτήρια κόστους
* Η λογική, η ανάπτυξη επιχειρημάτων, η συνεπαγωγή
* Η μάθηση και η αυτοπροσαρμογή σε νέο περιβάλλον και σε νέες καταστάσεις

Το τελευταίο αντικείμενο, δηλ. η μάθηση είναι ίσως ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του εγκεφάλου και γενικά των βιολογικών νευρωνικών δικτύων (σημειώνεται ότι ικανότητα μάθησης δεν έχουν μόνο οι άνθρωποι αλλά και τα ζώα). Ο λόγος που η μάθηση θεωρείται το κλειδί της νοημοσύνης είναι το γεγονός ότι οι περισσότερες από τις υπόλοιπες λειτουργίες που περιγράψαμε παραπάνω μαθαίνονται κατά τη διάρκεια του βίου και συνήθως κατά τη βρεφική ή την πρώιμη παιδική ηλικία και δεν προκύπτουν εκ γενετής.

Βασική αρχή της Τ.Ν. είναι η ύπαρξη ενός υλικού στρώματος πάνω στο οποίο εκτελούνται όλες οι παραπάνω λειτουργίες. Στον άνθρωπο και στα ζώα το υλικό αυτό είναι οι νευρώνες και η δομή του υλικού είναι ένα πυκνό δίκτυο μεταξύ των νευρώνων με εκατοντάδες έως χιλιάδες συνάψεις ανά νευρώνα. Το αντικείμενο μελέτης της Τ.Ν. είναι διπλό.  
  
1. Η ανάπτυξη ενός υλικού το οποίο θα μπορεί να υποστηρίξει τις παραπάνω επιθυμητές λειτουργίες, άσχετα αν αυτό το υλικό μιμείται τους νευρώνες ή όχι. Ένα τέτοιο υλικό είναι το υλικό των υπολογιστών που αποτελείται από ημιαγωγά στοιχεία και τρανζίστορ.  
  
2. Η ανάπτυξη αλγορίθμων που θα μιμούνται αυτές τις λειτουργίες, δηλαδή θα κάνουν αναγνώριση φυσικής γλώσσας, θα κάνουν αναγνώριση προσώπων και περιβάλλοντος θα επιτυγχάνουν αυτόματη πλοήγηση ενός ρομπότ σε περιβάλλον με φυσικά εμπόδια, θα αναπτύσσουν βέλτιστες στρατηγικές για ένα πρόβλημα, θα εκτελούν συλλογισμούς και θα καταλήγουν σε λογικά συμπεράσματα, θα έχουν μνήμη, και τέλος θα αυτοπροσαρμόζονται σε νέες καταστάσεις και σε γνωστά περιβάλλοντα, και θα μαθαίνουν από την εμπειρία τους.

Τα Τ.Ν.Δ. είναι μοντέλα που μιμούνται τη λειτουργία των βιολογικών νευρώνων και τη δομή των βιολογικών νευρωνικών δικτύων.  
  
Το αντικείμενο των Τ.Ν.Δ. είναι η ανάπτυξη και η μελέτη μαθηματικών αλγορίθμων που μιμούνται την αρχιτεκτονική και το πρότυπο των βιολογικών νευρωνικών δικτύων.

**1.3 - ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΝΕΥΡΩΝΙΚΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ**

1. Εκπαιδευόμενα βάρη
   1. Με επίβλεψη
      1. Perceptron
      2. ADALINE
      3. Back-Propagation
      4. Αναδρομικά Δίκτυα Back-propagation
      5. Δίκτυα RBF
      6. Μοντέλα SVM
      7. Στοχαστικές μηχανές
   2. Χωρίς επίβλεψη
      1. Συσχετιστικά Μοντέλα (Κανόνας του Hebb)
         1. Δίκτυα PCA
         2. Δίκτυα ICA
      2. Ανταγωνιστικά μοντέλα
         1. Δίκτυα Kohonen (SOM)
         2. Learning VQ
         3. ART
2. Σταθερά βάρη
   1. Δίκτυο Hopfield
   2. Συσχετιστικές μνήμες
   3. Brain State in a Box