

Κεφάλαιο 2. Ιστορική αναδρομή

Σκοπός: Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μία σύντομη ιστορική ανασκόπηση της περιοχής των νευρωνικών δικτύων. Παρουσιάζονται επιγραμματικά τα έργα που σημάδευσαν την περιοχή αυτή, από τα πρώτα και πιο απλά, μέχρι τις τελευταίες εξελίξεις, καθώς και τα χαρακτηριστικά που καθιστούν τα νευρωνικά δίκτυα μια νέα περιοχή και επιστήμη.

Προσδοκώμενα αποτελέσματα: Όταν θα έχετε τελειώσει τη μελέτη του κεφαλαίου αυτού θα μπορείτε να περιγράψετε τα βήματα-σταθμούς στην ανάπτυξη των νευρωνικών δικτύων, τις επιτυχίες και αποτυχίες των πρώτων μοντέλων που προτάθηκαν, καθώς και την σημερινή κατάσταση στην περιοχή αυτή.

Έννοιες κλειδιά: νευρωνικά δίκτυα, νευρώνες, αισθητήρας (perceptron), adaline, madaline, παράλληλη επεξεργασία

Εισαγωγικές παρατηρήσεις: Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια σύντομη ιστορική αναδρομή της μικρής προϊστορίας που έχει η περιοχή των νευρωνικών δικτύων από τη δεκαετία του σαράντα μέχρι σήμερα. Δεν αναφέρονται διεξοδικά όλα τα σημαντικά επιτεύγματα, αλλά επιλεκτικά μόνον γίνεται μια παρουσίαση που δείχνει πώς εξελίσσεται μια νέα περιοχή, ποια στάδια περνάει, και τι προοπτικές έχει. Παρατίθενται μερικά από τα πρώτα μοντέλα της δεκαετίας του εξήντα, τι πέτυχαν αρχικά και πού κατέληξαν. Ακολούθως δίνονται οι πιο ώριμες εξελίξεις της δεκαετίας του ογδόντα και τέλος ορισμένα χαρακτηριστικά από το που βρισκόμαστε σήμερα, ποιά εφόδια έχουν αναπτυχθεί, κλπ.

Καθ' ότι η περιοχή των νευρωνικών δικτύων είναι σχετικά μία νέα περιοχή, δεν έχει ουσιαστικά μεγάλη προϊστορία, όπως άλλες παραδοσιακές επιστήμες. Ξεκίνησε μόλις πριν 50 χρόνια, αλλά η μεγάλη ώθηση σ' αυτά δόθηκε μετά το 1980. Αξίζει λοιπόν τον κόπο να κάνουμε μία σύντομη αναδρομή και να δούμε πως φτάσαμε στις τελευταίες εξελίξεις. Η ανάπτυξη των νευρωνικών δικτύων πέρασε από πολλές φάσεις, και εξελίξεις.

Ενότητα 2.1: Η αρχή

Το πρώτο μοντέλο νευρωνικού δικτύου το οποίο προτείνει ότι οι νευρώνες είναι η βασική μονάδα του δικτύου παρουσιάστηκε το 1943 από τους McCulloch και Pitts [1]. Σε μία πρώτη εργασία τους παρουσίασαν για πρώτη φορά την ιδέα ότι ένα νευρωνικό δίκτυο αποτελείται από μία συλλογή ενός μεγάλου αριθμού νευρώνων, και έδειξαν πως θα μπορούσαν να λειτουργούν οι νευρώνες με τις διασυνδέσεις τους. Αυτή θεωρείται ιστορικά ότι είναι η πρώτη εικόνα ενός νευρωνικού δικτύου. Μάλιστα οι συγγραφείς θεώρησαν ότι οι νευρώνες και οι συνδέσεις τους είναι ένα πρότυπο, ανάλογο ενός ηλεκτρικού κυκλώματος. Ο McCulloch ήταν νευροφυσιολόγος και ο Pitts ένας 18χρονος πρωτοετής φοιτητής των Μαθηματικών. Οι ίδιοι συγγραφείς προχώρησαν το 1947 σε πιο εξελιγμένο πρότυπο για την αναγνώριση σχημάτων [2]. Το πρότυπο αυτό περιέχει πολλά χαρακτηριστικά από τα μεταγενέστερα πρότυπα. Ο νευρώνας θεωρείται ότι μπορεί να έχει δύο μόνον καταστάσεις. Μπορεί να δέχεται πολλές εισόδους αλλά δίνει μία μόνον έξοδο. Οι έξοδοι από διαφορετικούς νευρώνες δεν επιτρέπεται να ενώνονται, αλλά πρέπει υποχρεωτικά να οδηγούν σε είσοδο άλλου νευρώνα. Οι απολήξεις των νευρώνων είναι δύο ειδών: διεγερτικές και ανασταλτικές. Οι δύο καταστάσεις του νευρώνα είναι ότι είτε πυροδοτεί ή βρίσκεται σε ηρεμία. Η ροή της πληροφορίας μέσα στον νευρώνα ελέγχεται από πύλες, οι οποίες επίσης είναι διεγερτικές ή ανασταλτικές. Όταν πυροδοτεί στέλνει ένα παλμό. Οι λειτουργίες αυτές πάντα γίνονται σε διάκριτο χρόνο, και υποτίθεται ότι όλοι οι νευρώνες αποκρίνονται ταυτόχρονα, δηλ. το σύστημα δρα συγχρονισμένα. Η κατάσταση ενός νευρώνα σε χρόνο $t+1$ εξαρτάται από την κατάστασή του σε χρόνο t και από τις εισόδους που εισέρχονται στην χρονική αυτή στιγμή.

Στα δίκτυα McCulloch-Pitts μπορούμε να θεωρήσουμε ότι ο μηχανισμός μνήμης μπορεί να είναι η ύπαρξη κλειστών διαδρομών του σήματος μέσα στο δίκτυο. Αν δεν υπάρχει καμία τέτοια διαδρομή και χωρίς νέο εξερχόμενο σήμα, τότε το δίκτυο θα μείνει μόνιμα σε κατάσταση ηρεμίας. Έτσι, μια ίνα ενώνει την έξοδο ενός κυττάρου με το σημείο εισόδου στο ίδιο κύτταρο, δημιουργώντας έτσι έναν μηχανισμό ανάδρασης (feedback). Μόλις πυροδοτεί ένα τέτοιο κύτταρο θα συνεχίσει να πυροδοτεί μέχρι να έλθει σήμα από ανασταλτική ίνα. Καθ' όλη τη διάρκεια της λειτουργίας αποστέλλονται παλμοί στην πύλη των κυττάρων και μεταδίδεται το σήμα και η πληροφορία. Ο κύκλος αυτός του σήματος είναι ο μηχανισμός μνήμης.

Οι εργασίες αυτές πιθανόν να χάνονταν στην βιβλιογραφία αν δεν τις χρησιμοποιούσε ο J. von Neumann ως παράδειγμα για υπολογιστικές μηχανές την δεκαετία που διαδόθηκε ο ηλεκτρονικός υπολογιστής, δηλ. την δεκαετία του πενήντα. Τότε έγιναν και οι πρώτες προσπάθειες να αντλήσουμε πληροφορίες από τα βιολογικά δίκτυα και να δημιουργηθούν τα πρώτα τεχνητά δίκτυα [3].

Ένα άλλο έργο της πρώτης αυτής εποχής που αφήνει ακόμα και σήμερα την επιρροή του είναι το βιβλίο [4] του D. Hebb, “The organisation of behavior” (1949), το οποίο εισάγει τον κανόνα μάθησης του Hebb. Το μοντέλο του Hebb έχει ως κεντρική ιδέα τις συνδέσεις μεταξύ μονάδων του συστήματος, δηλαδή τους νευρώνες. Έφτασε στα συμπεράσματα αυτά μετά από σωρεία πειραμάτων νευροφυσιολογίας. Ο κανόνας αυτός λέγει ότι κάθε φορά που το δίκτυο χρησιμοποιεί τις νευρωνικές του συνδέσεις, οι συνδέσεις αυτές ενισχύονται και το δίκτυο πλησιάζει περισσότερο στο να μάθει το πρότυπο το οποίο παρουσιάζεται. Όταν ο νευρώνας i επανειλημμένα διεγείρει τον νευρώνα j , τότε συμβαίνει να αναπτύσσεται μια μεταβολική σύνδεση στον ένα ή και στους δύο νευρώνες, έτσι ώστε η απόδοση του φαινομένου (το i διεγείρει το j) να αυξάνεται. Αν w_{ij} είναι το βάρος της σύνδεσης μεταξύ i και j , x_i η είσοδος στον νευρώνα j από τον νευρώνα i , y_i η έξοδος του νευρώνα j , τότε ισχύει ότι:

$$w_{ij}(\text{new})=w_{ij}(\text{old})+ ax_i x_j$$

Εδώ a είναι μία θετική σταθερά που λέγεται παράμετρος του ρυθμού εκπαίδευσης. Ο κανόνας αυτός έχει τοπικό χαρακτήρα, ισχύει δηλαδή μόνο για την σύνδεση του νευρώνα i και j και όχι για άλλες συνδέσεις του δικτύου.

Ενότητα 2.2: Τα πρώτα μοντέλα

Το μοντέλο του αισθητήρα (perceptron) παρουσιάστηκε για πρώτη φορά το 1957 από τον F. Rosenblatt [5], ο οποίος αρχικά έφτιαξε το πρώτο δίκτυο με hardware, και το οποίο μπορούσε να κάνει πολλές και διάφορες διεργασίες. Είναι ένα πολύ απλό μοντέλο (οι λεπτομέρειες θα παρουσιαστούν στα επόμενα κεφάλαια) που έχει μόνο δύο επίπεδα, της εισόδου και της εξόδου. Το σήμα προχωρά μονοδρομικά από την είσοδο στην έξοδο. Το μοντέλο αυτό στην αρχή είχε πολλές επιτυχίες, δημιούργησε μεγάλο ενθουσιασμό, και μάλιστα ήδη αρχίζει να συζητείται η ιδέα ότι πιθανόν τα νευρωνικά δίκτυα να είναι η πιο ανώτερη τεχνική που λύνει όλα τα προβλήματα που μέχρι τότε παρέμεναν άλυτα. Οι πρώτες λοιπόν επιτυχίες μεγαλοποιήθηκαν, αλλά γρήγορα φάνηκε ότι τα μοντέλα αυτά είχαν πολλούς περιορισμούς. Μια συνολική και

εμπεριστατωμένη εικόνα του προτύπου αυτού παρουσιάστηκε το 1969 στο βιβλίο "Perceptrons" των Minsky και Papert. Στο βιβλίο αυτό γίνεται μία συνολική εκτίμηση της χρησιμότητας του προτύπου του αισθητήρα και όλων των διεργασιών για τα οποία είναι χρήσιμο. Αποδεικνύεται με αναλυτικά μαθηματικά ότι υπάρχουν συγκεκριμένοι περιορισμοί στο πρότυπο αυτό. Έτσι, δεν μπορεί να λύσει, π.χ. το σχετικά απλό πρόβλημα του X-OR. Οι αρχικές προσδοκίες που είχαν δημιουργηθεί ήδη φαίνεται ότι δεν επαληθεύονται, και προς το παρόν τα νευρωνικά δίκτυα χάνουν την δημοτικότητα τους, και ο κόσμος στρέφεται σε μία νέα παρεμφερή περιοχή που τότε άρχισε να γίνεται γνωστή, την Τεχνητή Νοημοσύνη.

Την ίδια περίπου εποχή με την ανάπτυξη του μοντέλου του αισθητήρα οι Widrow και Hoff ανέπτυξαν [7] το 1959 δύο νέα μοντέλα, το Adaline και το Madaline. Μάλιστα αυτά τα μοντέλα ήταν τα πρώτα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν επιτυχώς για πρακτικά προβλήματα: Χρησιμοποιήθηκαν ως φίλτρα για να εξαλείψουν την ηχώ σε τηλεφωνικές γραμμές.

Ενότητα 2.3: Η ωρίμανση

Ένα μνημιώδες έργο [8] παρουσιάστηκε το 1982 από τον J. Hopfield, ο οποίος είναι βιολόγος, και το οποίο έδωσε μεγάλη ώθηση στην ανάπτυξη των δικτύων. Σε μία εργασία του μόλις 5 σελίδων ο Hopfield έδειξε με αυστηρά μαθηματική απόδειξη πως ένα νευρωνικό δίκτυο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αποθηκευτικός χώρος (storage device), και πως επίσης μπορεί ένα δίκτυο να επανακτήσει όλη την πληροφορία ενός συστήματος έστω και του δοθούν μερικά τμήματα μόνο, και όχι ολόκληρο το σύστημα. Αμέσως εκτιμήθηκε η σπουδαιότητα της ιδιότητας αυτής, και ως εκ τούτου η εργασία αυτή έγινε έμπνευση για πολλές άλλες ιδέες που ακολούθησαν.

Το 1986 δημοσιεύεται ένα άλλο σημαντικό έργο από τους McClelland και Rumelhart, το "Parallel Distributed Processing" το οποίο ανοίγει νέους δρόμους στην εκπαίδευση των νευρωνικών δικτύων. Παρουσιάζεται η ιδέα πώς ένα νευρωνικό δίκτυο μπορεί να θεωρηθεί και χρησιμοποιηθεί ως παράλληλος επεξεργαστής. Το έργο αυτό κάνει ένα σημαντικό βήμα πέραν από το Perceptron, με το να επιτρέπει την ύπαρξη και άλλων επιπέδων νευρώνων, εκτός από την είσοδο και την έξοδο, που αποτελούν την εσωτερική δομή του δικτύου. Προτείνουν μία νέα διαδικασία εκπαίδευσης [9], την μέθοδο της οπισθοδιάδοσης (back-propagation), η οποία κατέληξε να είναι η πιο χρήσιμη σήμερα τεχνική εκπαίδευσης δικτύων. Η μέθοδος

αυτή είχε συζητηθεί και από άλλους νωρίτερα, αλλά για πρώτη φορά το 1986 παρουσιάστηκε ολοκληρωμένα και με αυστηρό μαθηματικό τρόπο.

Ενότητα 2.4: Η κατάσταση σήμερα

Μετά την πρόοδο σε τόσα πολλά σημεία που παρουσιάστηκε ιδιαίτερα την δεκαετία του 1980, τα τελευταία δέκα χρόνια παρατηρούμε ότι αρχίζουν να εμφανίζονται πολλά σημεία που δείχνουν ότι η περιοχή των νευρωνικών δικτύων έχει πλέον αναπτυχθεί σε ένα ανεξάρτητο πεδίο της επιστήμης με δικά του στοιχεία, δικό του χαρακτήρα σαφώς καθορισμένο, και τέλος με μεγάλο αριθμό επιστημόνων που ασχολούνται αποκλειστικά τώρα με την νέα αυτή περιοχή. Τα στοιχεία αυτά είναι:

Από το 1985 και μετά αρχίζουν τα πρώτα συνέδρια που είναι αφιερωμένα αποκλειστικά σε νευρωνικά δίκτυα, από την American Physical Society, και από την IEEE. Παρακολουθούνται από περισσότερους από χίλιους συνέδρους. Ταυτόχρονα δημιουργούνται ειδικές επαγγελματικές εταιρίες νευρωνικών δικτύων με χιλιάδες μέλη, όπως η International Neural Network Society με τρεις πόλους: Αμερική (με διευθυντή τον Grossberg), Ευρώπη (Kohonen), και Ιαπωνία (Amari).

Προς τα τέλη της δεκαετίας του ογδόντα παρουσιάζονται τουλάχιστον πέντε (5) νέα περιοδικά αφιερωμένα αποκλειστικά στα νευρωνικά δίκτυα, ενώ πριν λίγα χρόνια δεν υπήρχε ούτε ένα. Τα τελευταία χρόνια μετά το 1990 εκδίδονται και άλλα 3-4 νέα, με συνέπεια να υπάρχουν σήμερα περίπου 10 επιστημονικά περιοδικά αφιερωμένα στα νευρωνικά δίκτυα. Φυσικά, και τα γνωστά περιοδικά της Επιστήμης Υπολογιστών, της Φυσικής, και των Ηλεκτρολόγων Μηχανικών επίσης περιλαμβάνουν πλειάδα άρθρων με νέα αποτελέσματα. Κάθε μήνα πλέον δημοσιεύονται εκατοντάδες εργασίες με αποκλειστικό θέμα κάποια άποψη των νευρωνικών δικτύων. Μερικά από τα εξειδικευμένα νέα περιοδικά είναι:

- Neural Networks: The Official Journal of the International Neural Network Society (Pergamon Press).
- Network: Computation in Neural Systems (Institute of Physics Publishing).
- International Journal of Neural Systems (World Scientific).
- Neural Computation
- Connection Science: Journal of Neural Computing, Artificial Intelligence and Cognitive Research (Carfax Publishing).

- Neural Network World: Neural and Massively Parallel Computing and Information Systems (Computer World, Prague)

Πολύ σημαντικό είναι επίσης το γεγονός ότι τα τελευταία δεκαπέντε χρόνια δημιουργήθηκαν και οι πρώτες εμπορικές εταιρίες οι οποίες ασχολούνται αποκλειστικά με νευρωνικά δίκτυα. Βρίσκονται σχεδόν όλες στις ΗΠΑ, συνήθως έχουν μικρό αριθμό εργαζομένων (π.χ. 20 άτομα), και παράγουν εξειδικευμένα προγράμματα για την λύση συγκεκριμένων προβλημάτων. Μερικά από αυτά έχουν επιτυχία, αλλά διαφαίνεται με το πέρασμα του χρόνου ότι οι αρχικές προσδοκίες για ραγδαία αύξηση των εμπορικών εφαρμογών δεν επαληθεύονται. Έχουν φθάσει πλέον σε ένα σταθερό επίπεδο ανάπτυξης, ενώ η ετήσια αύξηση είναι μικρή. Συζητήσαμε μερικές από τις εφαρμογές αυτές στο Κεφάλαιο 1.

Σύνοψη: Το ιστορικό ενδιαφέρον για τα νευρωνικά δίκτυα προέρχεται από δύο πηγές: (1) από την θέληση να γνωρίσουμε τον τρόπο λειτουργίας του εγκεφάλου, και (2) από την θέληση να φτιάξουμε μηχανές που είναι ικανές να επιτελούν πολύ περίπλοκες πράξεις και οποίες δεν γίνονται με επιτυχία από τον σειριακό τρόπο λειτουργίας του μοντέλου του von Neumann. Η ανάπτυξη των νευρωνικών δικτύων πέρασε πολλές φάσεις, άλλες από τις οποίες ήταν πολύ ενδιαφέρουσες με μεγάλα επιτεύγματα, και άλλες όχι τόσο. Απαριθμούν μια ιστορία περίπου 40-50 ετών. Το βέβαιο είναι ότι από το 1980 και μετά η περιοχή αυτή έχει πάρει την θέση της ως μία νέα ειδικότητα διαθεματικού χαρακτήρα, όπως φαίνεται από την έρευνα που γίνεται καθημερινά, τα σχετικά δημοσιεύματα, και τις εμπορικές εφαρμογές που αρχίζουν να κυκλοφορούν.

Βιβλιογραφία

1. W. S. McCulloch and W. Pitts, A logical calculus of ideas immanent in nervous activity, Bulletin of Mathematical Biophysics, **5**, 115(1943).
2. W. Pitts and W. S. McCulloch, Bulletin of Mathematical Biophysics, **9**, 127(1947).
3. J. von Neumann, The computer and the brain, Yale University Press, New Haven (1958).
4. D. Hebb, The organisation of behavior, (1949).
5. F. Rosenblatt, Principles of Neuodynamics, Spartan (N.Y), 1962.
6. M. Minsky and S. Papert, Perceptrons, MIT Press (1969); expanded edition, 1988.

7. B. Widrow and M. E. Hoff, Adaptive Switching Circuits, 1960 WESCON Convention, Record Part 4, pp. 96-104; Human Neurobiology, **4**,229(1985).
8. J. J. Hopfield, Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities, Proceedings of the National Academy of Sciences, **79**,2554(1982).
9. J. L. McClelland and D. E. Rumelhart, Parallel Distributed Processing, Volumes 1 and 2, MIT Press, Cambridge, Mass. (1986).