

Η Αινιγματική Γοητεία των Δικτύων του Εγκεφάλου

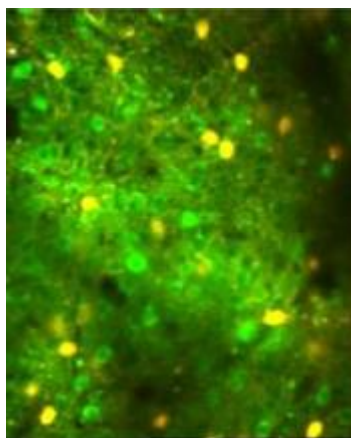


Μαρία Παπαδοπούλη

Καθηγήτρια Επιστήμης Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Κρήτης,
Συνεργαζόμενο Μέλος ΔΕΠ, Ινστιτούτο Πληροφορικής, ΙΤΕ

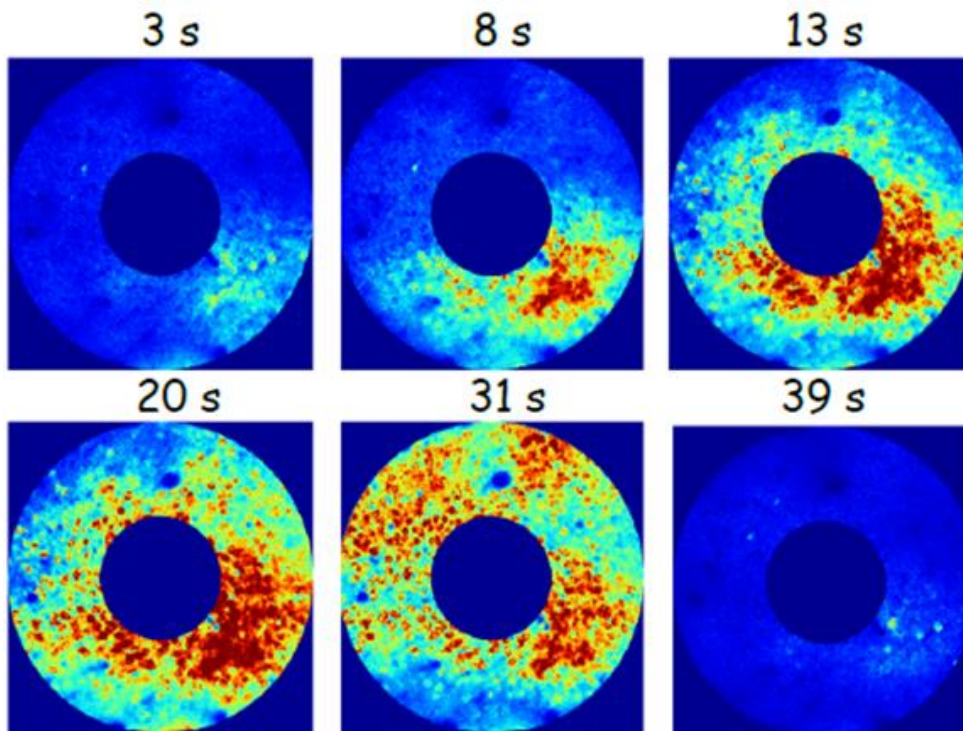
<https://projects.ics.forth.gr/neuronxnet/>

Πώς ο εγκέφαλος εκτελεί τους πολύπλοκους υπολογισμούς που μας επιτρέπουν να σκεφτούμε και να αλληλοεπιδράσουμε με το περιβάλλον; Ο φλοιός του εγκεφάλου



αποτελείται από κύτταρα που πυροδοτούν, συντονίζονται και αλληλο-επιδρούν μεταξύ τους προκειμένου να επεξεργαστούν τις πληροφορίες. Οι νευρώνες συντονίζουν τη δράση τους για να κωδικοποιήσουν τις πληροφορίες ανάλογα με τα ερεθίσματα. Ωστόσο δεν γνωρίζουμε πώς αυτό γίνεται. Οι αποκρίσεις των νευρώνων στο ίδιο ερέθισμα μπορεί να ποικίλλουν σημαντικά και οι αποκρίσεις σε διαφορετικά ερεθίσματα μπορεί να είναι ίδιες. Ο φλοιός οργανώνεται σε λειτουργικά δίκτυα. Αυτά “διαμορφώνονται” κυρίως με βάση τον συγχρονισμό των πυροδοτήσεων των νευρώνων. Πώς ο εγκέφαλος επεξεργάζεται και μεταφέρει την πληροφορία από τη μια περιοχή στην άλλη κατά τη διαδικασία αναγνώρισης αντικειμένων ή της μάθησης; Πώς αλλάζει η συνδεσιμότητα των δικτύων όταν υπάρχει κάποιο εγκεφαλικό τραύμα ή νόσος?

Ας πάρουμε για παράδειγμα την επιληψία. Οι ασθενείς με εγκεφαλικό τραύμα παρουσιάζουν υψηλό κίνδυνο επιληψίας για δεκαετίες μετά τον τραυματισμό. Ο τραυματισμός που προκαλεί επιληψία συνήθως οδηγεί σε μη-φυσιολογική δραστηριότητα των νευρώνων. Αλλά αυτά τα πρότυπα πυροδότησης των νευρώνων δεν έχουν κατανοηθεί σε βάθος. Πώς αποτυγχάνουν οι μηχανισμοί που ρυθμίζουν τη δραστηριότητα του νευρωνικού δικτύου; Στον εγκέφαλο υπάρχουν δυο βασικοί τύποι νευρώνων: οι διεγερτικοί (πυραμιδικοί) και οι ανασταλτικοί (διαμεσολαβητικοί). Οι διαμεσολαβητικοί νευρώνες είναι σημαντικοί στη ρύθμιση της δραστηριότητας των πυραμιδικών νευρώνων. Για παράδειγμα, σε υγιή ποντίκια, τα μοτίβα πυροδότησης όταν δεν υπάρχουν οπτικά ερεθίσματα ακολουθούν ορισμένους κανόνες οργάνωσης, π.χ., συγκεκριμένες ομάδες πυραμιδικών νευρώνων ενεργοποιούνται και αναστέλλονται από συγκεκριμένους γειτονικούς διαμεσολαβητικούς νευρώνες. Αυτοί όμως οι «κανόνες οργάνωσης» στην επιληψία διαταράσσονται.



Εικόνα 1. Οξείες Εστιακές Επιληπτικές Κρίσεις (4AP). Στιγμιότυπα όπου φαίνονται οι πυροδοτήσεις νευρώνων σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Όσο πιο έντονο το χρώμα κόκκινο, τόσο περισσότεροι νευρώνες με συγχρονισμένες πυροδοτήσεις¹.

Καθώς εξελίσσεται η έρευνα αποκαλύπτονται θεμελιώδεις αρχές της αρχιτεκτονικής και της λειτουργίας του εγκεφάλου. Η αυξανόμενη διαθεσιμότητα δεδομένων που καταγράφονται με διάφορες μεθόδους απεικόνισης έχει συμβάλει σημαντικά στις εξελίξεις των υπολογιστικών νευροεπιστημών. Για παράδειγμα, υπάρχει η δυνατότητα απεικόνισης με κυτταρική μικροσκοπία 2-φωτονίων χιλιάδων νευρώνων και ταυτόχρονη ηλεκτροκορτικογραφία σε ζωντανά ποντίκια. Αυτό δίνει τη δυνατότητα λεπτομερούς καταγραφής της δραστηριότητας των νευρώνων σε χωρικό επίπεδο και ανάλυσης των δεδομένων. Τα δεδομένα που αναλύουμε συλλέγονται από πειράματα σε ποντίκια από την ομάδα του καθηγητή Στέλιου Συμυρνάκη στο τμήμα Νευρολογίας της Ιατρικής Σχολής του Πανεπιστημίου Harvard, με το οποίο έχουμε αναπτύξει διεπιστημονική συνεργασία. Για παράδειγμα, διαπιστώσαμε ότι οι νευρώνες των στιβάδων του πρωτογενή οπτικού φλοιού (V1) έχουν στατιστικά σημαντική λειτουργική συνδεσιμότητα τόσο μεταξύ νευρώνων της ίδιας στοιβάδας (π.χ., L2/3) όσο και άλλων στοιβάδων (π.χ., L4 προς L2/3), και πώς αυτά τα δίκτυα έχουν δομή. Επίσης, τα μοτίβα πυροδότησης ομάδων νευρώνων της στοιβάδας L4 μπορούν να προβλέψουν τις πυροδοτήσεις νευρώνων των στοιβάδων L2/3 στον V1.

Ταυτόχρονα, η παρουσία ισχυρών υπολογιστών και στατιστικών μεθόδων ανάλυσης καθιστά ευκολότερη από ό, τι στο παρελθόν την ανάλυση και μοντελοποίηση της συμπεριφοράς τέτοιων συστημάτων. Στην ομάδα μας εφαρμόζουμε προηγμένες μεθόδους ανάλυσης δικτύων και αλγορίθμους μηχανικής μάθησης, θεωρίας γράφων, θεωρίας πληροφορίας, θεωρίας επικοινωνιών, και επεξεργασίας σημάτων, για τη μελέτη των αρχών που διέπουν την οργάνωση αυτών των λειτουργικών δικτύων και την αναπαράσταση των αισθητηριακών πληροφοριών. Στοχεύουμε στην ανάπτυξη αλγορίθμων με σκοπό την ανακάλυψη των οικουμενικών αρχών που διέπουν τον σχηματισμό και την αλληλεπίδραση των διαφορετικών νευρωνικών δικτύων στον εγκεφαλικό φλοιό.

¹ Οι εικόνες του κειμένου συλλέχθηκαν από το εργαστήριο του κ. Συμυρνάκη στην Ιατρική Σχολή του Πανεπιστημίου Harvard.

Τα νευρωνικά δίκτυα του εγκεφάλου χρησιμοποιούν προηγμένες μορφές μάθησης για να εξάγουν συμπεράσματα για τον κόσμο από περιορισμένα δεδομένα. Έχουν εξελιχθεί με την πάροδο εκατομμυρίων ετών για την επίλυση περίπλοκων προβλημάτων. Ένας άλλος παράπλευρος μακροπρόθεσμος στόχος είναι η εύρεση των αρχών που θα βοηθήσουν στην σχεδίαση αρχιτεκτονικών βαθιάς μάθησης των οποίων η απόδοση είναι ικανοποιητική ακόμα κι όταν η πρόσβαση σε εποπτευόμενα δεδομένα είναι σχετικά περιορισμένη.