Εισαγωγή

Η προσαρμοστική μηχανική μάθηση (adaptive machine learning) αποτελεί ένα κλάδο της επιστήμης των υπολογιστών που μελετά την κατασκευή αλγορίθμων που μπορούν να μαθαίνουν από τα δεδομένα που εισάγονται στο υπολογιστικό σύστημα και να κάνουν προβλέψεις σχετικά με αυτά. Κατά κάποια έννοια, αφορά τη μετατροπή μιας μηχανής σε ένα «νοήμων» σύστημα που μπορεί να λειτουργεί περίπου όπως ο ανθρώπινος εγκέφαλος, δηλαδή να φτιάχνει ένα μοντέλο της πραγματικότητας με βάση την εμπειρία, να μπορεί να το προσαρμόσει το μοντέλο με βάση νέα δεδομένα και να εξάγει χρήσιμες πληροφορίες για το παρόν ή προβλέψεις για το μέλλον. Υπάρχουν 3 κύριες κατηγορίες μηχανικής μάθησης με κριτήριο την «ανατροφοδότηση» που λαμβάνει ο αλγόριθμος μάθησης για να χτίσει το μοντέλο λειτουργίας του:

* Επιτηρούμενη μάθηση (supervised learning): Αποτελεί τον πιο χρησιμοποιούμενο τύπο μηχανικής μάθησης. Υπάρχει μια ακολουθία από δείγματα εκμάθησης (training sequence) με την αντίστοιχη επιθυμητή έξοδο που έχει καθοριστεί από τον άνθρωπο (labeled data). Ο αλγόριθμος μαθαίνει ένα γενικό κανόνα αντιστοίχισης των δεδομένων εισόδου στην έξοδο.
* Μη επιτηρούμενη μάθηση (unsupervised learning): Τα δεδομένα δεν έχουν «ετικέτες» (labels) με την επιθυμητή έξοδο, αλλά ο αλγόριθμος πρέπει μόνος του να βρει πρότυπα ή μοτίβα και να εξάγει πληροφορία από τα δεδομένα. Θυμίζει πιο πολύ τον τρόπο με τον οποίο μαθαίνει το περιβάλλον ο άνθρωπος.
* Ενισχυτική μάθηση (reinforcement learning): Ο αλγόριθμος αλληλοεπιδρά με το περιβάλλον με σκοπό να μεγιστοποιήσει κάποια αθροιστική ανταμοιβή (για παράδειγμα στην περίπτωση κάποιου παιχνιδιού). Δεν υπάρχει συνεχώς κάποια αντιστοιχία μεταξύ δεδομένων εισόδου – εξόδου παρά μόνο κάποια ανταμοιβή περιστασιακά (πχ. στο τέλος του παιχνιδιού).

Ο πρώτος αλγόριθμος μηχανικής μάθησης που αναπτύχθηκε ήταν ο νευρώνας perceptron το 1957 και μπορεί να θεωρηθεί ως το απλούστερο νευρωνικό δίκτυο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για γραμμική ταξινόμηση. Αποτελεί, φυσικά, ένα είδος επιτηρούμενης μάθησης, αφού κατά τη διαδικασία εκμάθησης το επιθυμητό αποτέλεσμα για κάθε είσοδο χρησιμοποιείται για την ανανέωση των συντελεστών βάρους. Από τότε έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα αλγορίθμων μηχανικής μάθησης με βασικότερο τα συνελικτικά νευρωνικά δίκτυα (convolutional neural networks) που χρησιμοποιούνται ευρέως και σήμερα στον τομέα της μηχανικής όρασης. Αποτελούνται από πολλά επίπεδα νευρώνων από τα οποία τα πρώτα έχουν την τάση να αναγνωρίζουν απλά χαρακτηριστικά (πχ. ακμές, κορυφές) και τα τελευταία πιο σύνθετα (πχ. γράμματα, ζώα, αντικείμενα). Παρόλο που αυτή η υλοποίηση προσεγγίζει τη φύση της ανθρώπινης όρασης, απαιτεί πάλι έναν μεγάλο όγκο δεδομένων εκμάθησης με προκαθορισμένες τις επιθυμητές εξόδους, ώστε να γίνει η ανανέωση των διαφόρων βαρών που εμπεριέχονται στην υλοποίηση.

Όπως σε όλους τους αναπτυσσόμενους επιστημονικούς κλάδους, έτσι και στην προσαρμοστική μηχανική μάθηση οι προκλήσεις και οι ανάγκες για νέες ιδέες και τεχνικές είναι τεράστιες. Οι συμβατικές υλοποιήσεις νευρωνικών δικτύων, αν και πετυχαίνουν εξαιρετικές επιδόσεις σε συγκεκριμένες εφαρμογές, αποτυγχάνουν στο να μαθαίνουν αποδοτικά νέα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος. Αυτό συνεπάγεται ότι αν μετά τη διαδικασία της εκμάθησης το περιβάλλον αλλάξει, ο αλγόριθμος πιθανότατα θα αποτύχει να προσαρμοστεί σε αυτό και θα είναι πρακτικά άχρηστος. Επίσης, δε διαθέτουν το χαρακτηριστικό της πρόσφατης μνήμης (short – term memory) , ώστε να αναγνωρίζουν καταστάσεις του περιβάλλοντος και να κάνουν προβλέψεις για αυτό. Τέλος, κρίνεται αναγκαίο να δημιουργηθούν υλοποιήσεις και αρχιτεκτονικές υπολογιστικών συστημάτων που να ανταποκρίνονται καλύτερα από τους σημερινούς επεξεργαστές στους νέους αλγορίθμους.

Σε αυτή την εργασία, θα παρουσιάσουμε κάποιες από τις πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα της προσαρμοστικής μηχανικής μάθησης. Πιο συγκεκριμένα, θα μελετήσουμε αναλυτικά το μοντέλο ΗΤΜ (hierarchical temporal memory) της Numenta που προσδοκά να φέρει τη μηχανική μάθηση πιο κοντά στον τρόπο που λειτουργεί ο ανθρώπινος εγκέφαλος. Στη συνέχεια, θα εξετάσουμε κάποιο υλικό (hardware) που μπορεί να υποστηρίξει αλγορίθμους μηχανικής μάθησης σαν το HTM. Τέλος, θα αναλύσουμε το AlphaGo της Google, ένα παράδειγμα πράκτορα λογισμικού (agent) που χρησιμοποίησε νευρωνικά δίκτυα και ενισχυτική μάθηση για να πετύχει υπεράνθρωπες επιδόσεις στο παιχνίδι GO.

Μοντέλο HTM

α. Σκοπός HTM

Το HTM (Hierarchical Temporal Memory) ή αλλιώς NuPIC project είναι ένα open-source μοντέλο νευρωνικού δικτύου που έχει αναπτυχθεί από τη Numenta και βελτιώνεται συνεχώς. Έχει ως στόχο την ανάλυση μιας συνεχούς ροής δεδομένων από οποιοδήποτε αισθητήρα (πχ. φωνή, video, κείμενο), την αναγνώριση προτύπων και τη δημιουργία προβλέψεων. Η θεμελιώδης λογική του HTM είναι να δημιουργηθούν αλγόριθμοι που προσομοιώνουν τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί ο ανθρώπινος εγκέφαλος, σύμφωνα με τα ευρήματα της νευροεπιστήμης.

Οι εφαρμογές που απαιτούν την εύρεση προτύπων σε πραγματικό χρόνο πληθαίνουν και οι παραδοσιακοί αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης συχνά αποτυγχάνουν, επειδή έχουν προγραμματιστεί να λειτουργούν καλά σε ένα στατικό data set. Το HTM μοντέλο θα πρέπει να αξιολογηθεί, λοιπόν, με βάση τα εξής κριτήρια:

· Συνεχές online (unsupervised) learning: Τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο μπορεί να αλλάζουν και ο αλγόριθμος θα πρέπει να προσαρμόζεται το γρηγορότερο. Οι περισσότεροι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης θα απαιτούσαν την αποθήκευση δεδομένων και εκ νέου διαδικασία εκμάθησης. Αντιθέτως, το HTM μοντέλο χρησιμοποιεί online learning τεχνικές που προσαρμόζονται σε κάθε επανάληψη.

· High – order predictions: Οι ακολουθίες δεδομένων μπορεί να επεκτείνονται σε αρκετά χρονικά βήματα στο παρελθόν. Ο αλγόριθμος θα πρέπει να προσαρμόζει κατάλληλα το βάθος της μνήμης (ή την τάξη της αλυσίδας Markov), ώστε να πετυχαίνει ακριβείς προβλέψεις.

· Πολλαπλές προβλέψεις: Για μια δεδομένη ακολουθία δεδομένων, ο αλγόριθμος είναι χρήσιμο να μας δίνει αρκετές προβλέψεις με την αντίστοιχη πιθανότητα εμφάνισης για την επόμενη χρονική στιγμή και όχι μόνο την επικρατέστερη.

· Αντοχή στο θόρυβο: Το περιβάλλον είναι θορυβώδες, οι αισθητήρες μπορεί να μη λειτουργούν τέλεια και το ίδιο το σύστημα μπορεί να έχει κάποιες κατεστραμμένες συνδέσεις μεταξύ των νευρώνων. Όλα αυτά θα πρέπει να αντιμετωπίζονται αποδοτικά από το μοντέλο HTM.

· Οι κανόνες θα πρέπει να είναι τοπικοί σε κάθε νευρώνα και να μην απαιτείται κάποια ολική “objective function”, όπως στα παραδοσιακά νευρωνικά.

β. Δομή νεοφλοιού (neocortex)

Η πλειοψηφία των νευρώνων στο νεοφλοιό είναι πυραμιδικοί νευρώνες (pyramidal neurons). Κάθε νευρώνας δέχεται ένα πλήθος εισόδων από άλλους νευρώνες ή αισθητήρια όργανα και αποφασίζει αν θα προκαλέσει έναν ηλεκτρικό παλμό (spike) ή θα μείνει ανενεργός. Αντίστοιχα, αυτός ο ηλεκτρικός παλμός μπορεί να αποτελέσει είσοδο σε άλλους νευρώνες με τους οποίους υπάρχουν νευρικές συνάψεις. Το σύνολο των συνάψεων (synapses) διαχωρίζεται σε 3 κατηγορίες δενδριτών (dendrites) που εκτελούν διαφορετικές λειτουργίες:

- Proximal dendrites: Αποτελούν τις εισόδους που βρίσκονται κοντά στο σώμα του νευρώνα και έχουν τη μεγαλύτερη επίδραση. Αν ενεργοποιηθεί ένα πλήθος συνάψεων αυτής της κατηγορίας, ο νευρώνας θα ενεργοποιηθεί και θα υπάρξει ηλεκτρικό σήμα.

- Basal dendrites: Βρίσκονται πιο μακρυά από το σώμα του νευρώνα και δέχονται είσοδο συνήθως από τους κοντινούς νευρώνες. Η ενεργοποίηση μεγάλου πλήθους συνάψεων αυτής της κατηγορίας δε είναι αρκετή για να οδηγήσει σε spike, αλλά θα αποπολώσει το σώμα. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα ο συγκεκριμένος νευρώνας να ενεργοποιηθεί νωρίτερα, όταν δεχτεί τις κατάλληλες εισόδους, εμποδίζοντας την ενεργοποίηση των γειτονικών. Το ΗΤΜ εκμεταλλεύεται αυτή την ιδέα για να δημιουργήσει ακολουθιακή μνήμη. Η κατάσταση αποπόλωσης δημιουργείται από κάποιο μοτίβο που έχει αναγνωριστεί και σημαίνει ότι ο συγκεκριμένος νευρώνας είναι πολύ πιθανό να ενεργοποιηθεί στην επόμενη είσοδο.

- Apical dendrites: Λαμβάνουν ανάδραση από τα ανώτερα επίπεδα ιεραρχίας. Έχουν παρόμοια λειτουργία με τα basal dendrites και συνεπώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν ένα είδος top-down πρόβλεψης.

γ. Sparse Distributed Representations (SDR)