
Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο, στη πρώτη ενότητα απαντάμε στο ερώτημα που τίθεται σε όλα τα βιβλία Τεχνητής Νοημοσύνης, «Τί είναι Τεχνητή Νοημοσύνη (TN);». Στη δεύτερη ενότητα, κάνουμε ιστορική αναδρομή στην εξέλιξη της TN. Στη τρίτη ενότητα, παρουσιάζουμε ένα σύνολο βασικών αρχών στις οποίες στηρίζεται η TN. Σε αυτή την ενότητα γίνεται παρουσίαση του θέματος της αξιολόγησης της «νοημοσύνης» μιας υπολογιστικής μηχανής. Στη τέταρτη ενότητα, παρουσιάζουμε τη σύγχρονη προσέγγιση της TN. Παρουσιάζουμε την έννοια του ευφυή πράκτορα που ενεργεί αυτόνομα στο περιβάλλον του. Γίνεται μια εισαγωγή στη στατιστική και σχεσιακή TN. Ακολούθως γίνεται εισαγωγική παρουσίαση της δημιουργικής TN και των μεγάλων γλωσσικών μοντέλων. Στη πέμπτη ενότητα, παρουσιάζονται οι εφαρμογές της TN. Στην έκτη ενότητα, παρουσιάζεται η προσέγγιση που ακολουθήθηκε για τα αντικείμενα και τα κεφάλαια που συμπεριλαμβάνονται σε αυτό το βιβλίο ώστε το βιβλίο να δίνει μια συγκροτημένη πληρότητα του τομέα της TN. Τέλος, ακολουθεί η σύνοψη των υπόλοιπων κεφαλαίων του βιβλίου.

1.1. Τι είναι Τεχνητή Νοημοσύνη;

Σε αυτή την ενότητα θα γίνει σύντομη συζήτηση για τον ορισμό της *Τεχνητής Νοημοσύνης*. Θα αναφερθούμε και θα συζητήσουμε ορισμούς που έχουν δώσει κατά καιρούς διάφοροι εξέχοντες επιστήμονες της TN. Θα ολοκληρωθεί η ενότητα με τον ορισμό της TN για αυτό το βιβλίο.

Από τον ορισμό του όρου *Τεχνητή Νοημοσύνη (TN)* στο συνέδριο του Dartmouth (1956) μέχρι σήμερα συχνά γίνεται συζήτηση πως ορίζεται ο επιστημονικός κλάδος της TN. Τα πρώτα έτη της TN συνήθως οι ορισμοί της TN συνδέονταν με απαρίθμηση των συστημάτων λογισμικού TN που είχαν δημιουργηθεί και τις μεθόδους που είχαν χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη τους. Εκείνη την περίοδο, αντικείμενα της επιστήμης υπολογιστών των οποίων η ανάπτυξη συστημάτων λογισμικού ήταν σύνθετη και η τεχνολογία δεν είχε ωριμάσει για την κατασκευή τέτοιων συστημάτων εντασσόταν στην TN, όπως οι μεταγλωτιστές (compilers) οι οποίοι αρχικά θεωρούντο αντικείμενο της TN. Η σταδιακή ανάπτυξη της TN την οδήγησε σε ωρίμανση, την δεκαετία 1975-1984 η TN άρχισε να δίνει λύσεις σε προβλήματα του πραγματικού κόσμου μέσω της τεχνολογίας της μηχανικής γνώσης και των έμπειρων συστημάτων.

Νοημοσύνη σύμφωνα με το λεξικό της Ακαδημίας Αθηνών [Athens Academy, 2016] ορίζεται ως «η ικανότητα του ατόμου να καταλαβαίνει και να διαχειρίζεται αφηρημένες έννοιες, να μαθαίνει, να αντιμετωπίζει νέες ή δύσκολες και πολύπλοκες καταστάσεις και να επιλύει προβλήματα, αξιοποιώντας προηγούμενες εμπειρίες». *Νοημοσύνη (Intelligence)* σύμφωνα με τα λεξικό της Οξφόρδης [Oxford Dictionary, 2008] ορίζεται ως «η ικανότητα απόκτησης και εφαρμογής γνώσεων και δεξιοτήτων». *Ευφυΐα* σύμφωνα με το λεξικό της Ακαδημίας Αθηνών [Athens Academy, 2016] ορίζεται ως «μεγάλη εξυπνάδα, υψηλή νοημοσύνη». Οι όροι *ευφυΐα*, *ευφυής* και *ευφύες* αναφέρονται σε ποιοτικά χαρακτηριστικά της νοημοσύνης, δηλαδή σε υψηλό βαθμό νοημοσύνης

Θα δούμε με χρονική σειρά μερικούς ορισμούς της TN από αξιόλογες πηγές, κυρίως βιβλία της TN.

Ο Feigenbaum, ένας πρωτοπόρος επιστήμονας στη TN ο οποίος το 1994 τιμήθηκε με το βραβείο Turing, αναφέρει στο βιβλίο του [Barr, Feigenbaum, 1981] ότι: «η *Τεχνητή Νοημοσύνη* είναι το μέρος της επιστήμης των υπολογιστών που ασχολείται με το σχεδιασμό ευφύων συστημάτων υπολογιστών, δηλαδή συστημάτων που παρουσιάζουν τα χαρακτηριστικά που συνδέουμε με τη νοημοσύνη στην ανθρώπινη συμπεριφορά—*κατανόηση γλώσσας, μάθηση, συλλογισμός, επίλυση προβλημάτων κ.λπ.*». Αυτός ο ορισμός εντάσσει το αντικείμενο της TN στην επιστήμη υπολογιστών. Επιπλέον, η εστίαση αυτού του ορισμού βρίσκεται στην ανάπτυξη ευφύων υπολογιστικών συστημάτων με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά (κατανόηση γλώσσας, μάθηση, συλλογισμός, επίλυση προβλημάτων κ.λπ.) που συνδέονται με την νοημοσύνη στην ανθρώπινη συμπεριφορά.

Ο N.Nilsson στο τελευταίο βιβλίο του στη TN απαντώντας το ερώτημα τι είναι TN αναφέρει τα εξής [Nilsson, 1998]. «*Η τεχνητή νοημοσύνη ασχολείται με την*

ευφυή συμπεριφορά στα τεχνουργήματα. Η ευφυής συμπεριφορά, με τη σειρά της, περιλαμβάνει **αντίληψη, συλλογισμό, μάθηση, επικοινωνίες και δράση** σε πολύπλοκα περιβάλλοντα. Η τεχνητή νοημοσύνη έχει ως έναν από τους μακροπρόθεσμους στόχους της την ανάπτυξη μηχανών που μπορούν να κάνουν αυτά τα πράγματα τόσο καλά όσο μπορούν οι άνθρωποι, ή ίσως ακόμη καλύτερα. Ένας άλλος στόχος της τεχνητής νοημοσύνης είναι να κατανοήσει αυτό το είδος συμπεριφοράς είτε εμφανίζεται σε μηχανές είτε σε ανθρώπους είτε σε ζώα. Έτσι, η τεχνητή νοημοσύνη έχει στόχους σε θέματα τόσο της μηχανικής όσο και της επιστήμης.». Αυτός ο ορισμός θεωρεί ότι η TN είναι κλάδος τόσο της επιστήμης όσο και της μηχανικής. Επιπλέον, ορίζει την ευφυή συμπεριφορά υπολογιστικών μηχανών με ένα σύνολο από χαρακτηριστικά (αντίληψη, συλλογισμό, μάθηση, επικοινωνίες και δράση). Τέλος, σε αυτό τον ορισμό το κριτήριο του επιπέδου νοημοσύνης μιας μηχανής είναι η ανθρώπινη νοημοσύνη και δράση.

Ο John McCarthy ένας από τους θεμελιωτές της TN στο άρθρο του [McCarthy, 2007] ορίζει ότι «TN είναι η επιστήμη και η μηχανική της κατασκευής ευφύων μηχανών, ιδιαίτερα ευφύων προγραμμάτων υπολογιστών. Σχετίζεται με το παρόμοιο έργο της χρήσης υπολογιστών για την κατανόηση της ανθρώπινης νοημοσύνης, αλλά η τεχνητή νοημοσύνη δεν χρειάζεται να περιοριστεί σε μεθόδους που είναι βιολογικά παρατηρήσιμες.». Αυτός ο ορισμός θεωρεί ότι η TN είναι κλάδος της επιστήμης και της μηχανικής που ασχολείται με την κατασκευή ευφύων μηχανών. Η ευφυής μηχανή συνδέεται με τα ευφυή προγράμματα. Στο ίδιο άρθρο απαντώντας στο ερώτημα τι είναι νοημοσύνη, αναφέρει «Η νοημοσύνη είναι το υπολογιστικό μέρος της ικανότητας επίτευξης στόχων στον κόσμο. Διαφορετικά είδη και βαθμοί νοημοσύνης εμφανίζονται σε ανθρώπους, σε πολλά ζώα και μερικές μηχανές.». Ο McCarthy συνδέει την νοημοσύνη της μηχανής με την επίτευξη στόχων. Επιπλέον, θεωρεί ότι υπάρχουν πολλά είδη νοημοσύνης τόσο στους ανθρώπους, όσο και στις μηχανές, τα οποία φυσικά υπάρχουν, όπως η συναισθηματική νοημοσύνη, η κοινωνική νοημοσύνη, κ.α.

Ένα άλλο δημοφιλές βιβλίο σε TN του Luger [Luger, 2009], αρχικά αναφέρει ότι «Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να οριστεί ως ο κλάδος της επιστήμης των υπολογιστών που ασχολείται με την αυτοματοποίηση της ευφρούς συμπεριφοράς.». Σε αυτό τον ορισμό η TN θεωρείται κλάδος της Επιστήμης Υπολογιστών. Χρησιμοποιείται ο γενικός όρος «ευφυής συμπεριφορά» χωρίς να σχετίζει άμεσα την μηχανική νοημοσύνη με την ανθρώπινη νοημοσύνη αλλά έμμεσα. Στη συνέχεια αναφέρει ότι: «Λόγω του εύρους και της φιλοδοξίας της, η τεχνητή νοημοσύνη χρειάζεται απλό ορισμό. Προς το παρόν, θα την ορίσουμε απλώς ως τη συλλογή προβλημάτων και μεθοδολογιών που μελετήθηκαν από ερευνητές της τεχνητής νοημοσύνης.». Αυτός ο τρόπος ορισμού της TN, δηλαδή απαριθμώντας τα προβλήματα και τις μεθοδολογίες που

ακολούθησαν οι επιστήμονες της TN στην πορεία ανάπτυξης της τον βλέπουμε και σε άλλα βιβλία TN όπως στο βιβλίο του Nilsson [Nilsson, 1980].

Η Ε. Rich στο βιβλίο της [Rich, et al., 2009] καθώς και στις προηγούμενες εκδόσεις του [Rich, 1983] και [Rich, Knight, 1991], αναφέρει ότι: «*Η τεχνητή νοημοσύνη είναι η μελέτη του πώς να κάνουμε τους υπολογιστές να κάνουν πράγματα στα οποία, αυτή τη στιγμή, οι άνθρωποι είναι καλύτεροι.*». Αυτός ο ορισμός συνδέει την TN με την ανθρώπινη νοημοσύνη και δράση. Επιπλέον, σε αυτό το βιβλίο αναφέρεται ότι «*αυτός ο ορισμός είναι προσωρινός και επαρκής για τα επόμενα μερικά χρόνια, αναμένεται να αλλάξει ο ορισμός της TN με βάση την ανάπτυξη της*». Η εξέλιξη της TN επιβεβαίωσε αυτή την πρόβλεψη όπως θα δούμε στη συνέχεια.

Η κοινή συνισταμένη των προαναφερθέντων ορισμών της TN θεωρούν την TN ως την *ανάπτυξη ευφών υπολογιστικών συστημάτων*, δηλαδή συστημάτων με υψηλή νοημοσύνη, τα οποία έχουν χαρακτηριστικά της ανθρώπινης νοημοσύνης και δράσης. Αναφέρεται ότι ένα *ευφές υπολογιστικό σύστημα έχει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά τα οποία περιλαμβάνουν γνώση, συλλογιστική, αντίληψη, μάθηση, επικοινωνία, αναγνώριση, επίλυση προβλημάτων και σχεδίαση ενεργειών που μέχρι σήμερα, έχουν μόνο οι άνθρωποι.*

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει αλματώδης ανάπτυξη της Τεχνητής Νοημοσύνης σε διάφορα πεδία όπως είναι η μηχανική μάθηση, η πιθανοτική συλλογιστική και άλλα. Αυτή η ανάπτυξη της TN οδήγησε σε νέο ορισμό της, πιο γενικό από το προηγούμενο που συνδεόταν με την *ανθρώπινη νοημοσύνη και συμπεριφορά*. Κεντρικό στοιχείο του νέου ορισμού είναι «*ο πράκτορας*». Ένας πράκτορας μπορεί να είναι άνθρωπος, λογισμικό, ρομπότ, θερμοστάτης, κτλ. που λειτουργεί στο περιβάλλον του και κάνει κάτι. Συνήθως ο πράκτορας κάνει κάτι για λογαριασμό άλλων. Σύμφωνα με το λεξικό της Ακαδημίας Αθηνών [Athens Academy, 2016], *πράκτορας και ευφυής πράκτορας* στη Πληροφορική ορίζεται ως «*ευέλικτο και συνήθως αυτόνομο πρόγραμμα λογισμικού που επεξεργάζεται πληροφορίες από το περιβάλλον του, για να διεκπεραιώσει συγκεκριμένους σκοπούς.*». Στη TN ο πράκτορας μπορεί να είναι είτε λογισμικό που αλληλοεπιδρά με άλλο λογισμικό ή/και με τον άνθρωπο ή να έχει φυσική υπόσταση ως ένα ρομπότ, ή ως ένας βραχίονας, κτλ.

Ακολουθούν δύο ορισμοί της TN από δύο έγκυρα σύγχρονα βιβλία Τεχνητής Νοημοσύνης των Russell & Norving [Russell, Norvig, 2021] και των Poole & Mackworth [Poole Mackworth, 2023].

- Σύμφωνα με το βιβλίο των Russell & Norving [Russell, Norvig, 2021] «*Η Τεχνητή Νοημοσύνη εστιάζει στη μελέτη και κατασκευή πρακτόρων που κάνουν το σωστό. Το τι θεωρείται σωστό ορίζεται από τον στόχο που δίνουμε στον πράκτορα.*».

- Σύμφωνα με βιβλίο των Poole & Mackworth [Poole Mackworth, 2023] «*Τεχνητή Νοημοσύνη είναι το πεδίο που μελετά τη σύνθεση και ανάλυση υπολογιστικών πρακτόρων που ενεργούν έξυπνα.*».

Από τους παραπάνω δύο ορισμούς βλέπουμε ότι και δύο ορισμοί εστιάζουν σε κατασκευή (ανάλυση & σύνθεση) πρακτόρων που ενεργούν έξυπνα ή που κάνουν το σωστό. Ένας πράκτορας που ενεργεί έξυπνα συνεπάγεται ότι πράττει το σωστό εφόσον του έχει δοθεί ο σωστός στόχος. Ένας πράκτορας που ενεργεί ώστε να επιτύχει το καλύτερο αποτέλεσμα ή το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα όταν υπάρχει αβεβαιότητα ονομάζεται *ορθολογικός πράκτορας* [Russell, Norvig, 2021]. Οι πράκτορες, που ενεργούν έξυπνα ή που κάνουν το σωστό (οι ορθολογικοί) έχουν τα εξής χαρακτηριστικά: 1) αντιλαμβάνονται το περιβάλλον τους, 2) μαθαίνουν από τις πράξεις τους, 3) δημιουργούν και επιδιώκουν στόχους και 4) προσαρμόζονται στις αλλαγές του περιβάλλοντος τους. Η προσέγγιση ορισμού της TN με ορθολογικούς πράκτορες (rational agents) που δρουν αυτόνομα στο περιβάλλον τους σε σχέση με τις άλλες προσεγγίσεις έχει δύο πλεονεκτήματα [Russell, Norvig, 2021]. Πρώτον, αυτός ο ορισμός είναι πιο γενικός από την προσέγγιση που έχει στο κέντρο της την ανθρώπινη νοημοσύνη και τους νόμους που τη διέπουν. Δεύτερον, αυτός ο ορισμός προσφέρεται περισσότερο για την επιστημονική ανάπτυξη της TN. Η ανάπτυξη της TN είναι το ζητούμενο, όπως είναι γνωστό και θα δούμε στη συνέχεια η TN πέρασε από μια δύσκολη περίοδο στην ανάπτυξη της, ο ονομαζόμενος «χειμώνας της TN». Σήμερα, λόγω της μηχανικής μάθησης, των μεγάλων δεδομένων, της πιθανοτικής συλλογιστικής γνωρίζει περίοδο ανάπτυξης. Υπάρχει η πεποίθηση από επιστήμονες της TN ότι αλλαγή στο τρόπο θεώρησης της TN θα βοηθήσει στην ανάπτυξη της όπως έγινε με την «τεχνητή πτήση». Σημειωτέο, ότι η «τεχνητή πτήση» γνώρισε αλματώδη ανάπτυξη όταν οι εφευρέτες σταμάτησαν να μιμούνται στις κατασκευές τους τα πουλιά και άρχισαν να μελετούν και να χρησιμοποιούν αεροδυναμική [Russell, Norvig, 2021].

Από την παραπάνω σύντομη παρουσίαση και συζήτηση διάφορων ορισμών της TN, βλέπουμε ότι η εξέλιξη της ανάπτυξης της TN καθορίζει και τον ορισμό της. Τα όρια θεώρησης της TN είναι χαλαρά και ευμετάβλητα. Στα αρχικά βήματα της TN σχεδιάστηκε το πείραμα Turing για να ορίσει εάν μια μηχανή έχει ή όχι νοημοσύνη. Συχνά η TN οριζόταν με βάσει τα προβλήματα και τις μεθοδολογίες που εφαρμοζόταν για την επίλυση τους. Καθώς ωρίμαζε το επιστημονικό πεδίο της TN οι ορισμοί προσαρμοζόταν ανάλογα αναφέροντας συγκεκριμένα χαρακτηριστικά π.χ. *κατανόηση γλώσσας, μάθηση, γνώση, συλλογισμός, επίλυση προβλημάτων* για να γίνει σύνδεση της νοημοσύνης της μηχανής με την ανθρώπινη νοημοσύνη και συμπεριφορά. Σε αυτό το βιβλίο υιοθετούμε την σύγχρονη προσέγγιση του ορισμού της *Τεχνητής*

Νοημοσύνης ότι: «η TN μελετά την κατασκευή ευφύων πρακτόρων που ενεργούν ορθολογικά, και που λειτουργούν αυτόνομα στο περιβάλλον τους.».

1.2. Η Εξέλιξη της Τεχνητής Νοημοσύνης

Η επίσημη μελέτη και ανάπτυξη της τεχνητής νοημοσύνης ως επιστημονικός κλάδος ξεκίνησε στα μέσα του 20ου αιώνα. Τα βασικά ορόσημα και οι σημαντικές εξελίξεις στην ιστορία της TN έχουν ως εξής.

Γέννηση της τεχνητής νοημοσύνης. Το πεδίο της τεχνητής νοημοσύνης ξεκίνησε τη δεκαετία του 1950, όταν ερευνητές όπως ο Alan Turing και ο John McCarthy άρχισαν να μελετούν την ιδέα δημιουργίας μηχανών που μπορούν να επιδεικνύουν έξυπνη συμπεριφορά.

1. *Alan Turing και η δοκιμασία Turing (1950).* Η έννοια της τεχνητής νοημοσύνης ως επιστημονικό πεδίο εμφανίστηκε το 1950 όταν ο Βρετανός μαθηματικός και επιστήμονας υπολογιστών Alan Turing πρότεινε τη δοκιμασία Turing. Στο άρθρο του ορόσημο, «Υπολογιστικές Μηχανές και Νοημοσύνη», ο Turing συζήτησε την ιδέα δοκιμής της ικανότητας μιας μηχανής να επιδεικνύει ευφυή συμπεριφορά που δεν διακρίνεται από αυτή του ανθρώπου [Turing, 1950].
2. *Συνέδριο Dartmouth (1956).* Ο όρος «τεχνητή νοημοσύνη» επισημοποιήθηκε στην επιστημονική κοινότητα το 1956 στο Συνέδριο στο Dartmouth College, στο οποίο συμμετείχαν εξέχοντες ερευνητές από πεδία που σχετίζονται με την TN, όπως ο John McCarthy, ο Marvin Minsky και άλλοι. Σ' αυτό το συνέδριο θεωρείται ότι θεμελιώθηκε η TN ως επίσημος επιστημονικός κλάδος.

Πρώιμη έρευνα στη TN. Την δεκαετία 1955-1964, οι ερευνητές επικεντρώθηκαν στην ανάπτυξη πρώιμων προγραμμάτων τεχνητής νοημοσύνης και στην μελέτη θεμελιωδών εννοιών. Η εργασία σε τομείς όπως *σλλογισμός με βάση τη λογική, τα παίγνια, η επίλυση προβλημάτων και ο συμβολικός υπολογισμός* έθεσαν τα θεμέλια για την τεχνητή νοημοσύνη. Αυτή τη περίοδο, οι ερευνητές ανέπτυξαν προγράμματα τεχνητής νοημοσύνης για την επίλυση μαθηματικών προβλημάτων και την απόδειξη θεωρημάτων, άλλωστε κάποιοι από αυτούς όπως ο John McCarthy ήταν μαθηματικοί. Ένα αξιοσημείωτο παράδειγμα είναι το Logic Theorist, που αναπτύχθηκε από τους Allen Newell και Herbert Simon, το οποίο μπορούσε να αποδείξει μαθηματικά θεωρήματα χρησιμοποιώντας τυπική λογική.

Συμβολική Τεχνητή Νοημοσύνη. Την δεκαετία 1965-1974, η συμβολική τεχνητή νοημοσύνη, κυριάρχησε στην έρευνα της τεχνητής νοημοσύνης. Οι ερευνητές για την κατασκευή ευφύων συστημάτων επικεντρώθηκαν στη χρήση συμβόλων και

κανόνων για αναπαράσταση της γνώσης και για τους συλλογισμούς χρησιμοποιήσαν λογικούς συμπερασμούς. Αυτή την περίοδο το 1972, ο Alain Colmerauer και ο Phillippe Roussel από το πανεπιστήμιο Aix-Marseille καθώς και ο Robert Kowalski από το πανεπιστήμιο του Ενδιβούργου δημιούργησαν την Prolog. Το 1969 ο Marvin Minsky και το 1971 ο John McCarthy πήραν το βραβείο Turing επειδή έθεσαν τα θεμέλια της TN με την αναπαράσταση γνώσης και το συλλογισμό.

Μηχανική Γνώσης και Έμπειρα Συστήματα. Την δεκαετία 1975-1984, η έρευνα της τεχνητής νοημοσύνης στράφηκε προς στην *μηχανική γνώσης* και στην ανάπτυξη συστημάτων που βασίζονται στη γνώση, τα ονομαζόμενα *έμπειρα συστήματα*. Αυτά ήταν συστήματα τεχνητής νοημοσύνης μεγάλης κλίμακας, αποδεικνύοντας την πρακτική σημασία και τον εμπορικό αντίκτυπο της τεχνολογίας της τεχνητής νοημοσύνης. Αυτά τα συστήματα βασίστηκαν σε κανόνες και λογικούς συμπερασμούς για την επίλυση συγκεκριμένων προβλημάτων σε τομείς όπως η ιατρική, η χημεία, η μηχανική και άλλες. Αξιοσημείωτα έμπειρα συστήματα που αναπτύχθηκαν αυτή τη περίοδο, ήταν το MYCIN [Buchanan, Shortliffe, 1984], για ιατρική διάγνωση βακτηριακών λοιμώξεων, και το DENDRAL [Lindsay, et al., 1980] για χημική ανάλυση. Τα έμπειρα συστήματα ήταν από τα πρώτα συστήματα TN που έλυαν προβλήματα του πραγματικού κόσμου και τα οποία έδειχναν την πρακτική εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης σε συγκεκριμένα πεδία με επίδοση ίση ή και που ξεπερνούσε τις δυνατότητες του ανθρώπου. Τα έμπειρα συστήματα ήταν δημοφιλή, βασιζόταν σε κανόνες που έφτιαχνε ο μηχανικός γνώσης με τον εμπειρογνώμονα. Το 1994 ο Edward Feigenbaum και ο Raj Reddy τιμήθηκαν με το βραβείο Turing για την συμβολή τους στη μηχανική γνώσης και στα έμπειρα συστήματα.

Ο χειμώνας της TN. Την δεκαετία 1985-1994, ο τομέας της τεχνητής νοημοσύνης αντιμετώπισε στασιμότητα γνωστή και ως «ο Χειμώνας της TN». Οι προσδοκίες για την τεχνητή νοημοσύνη ήταν υπερβολικά αισιόδοξες και τα πρώιμα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης απέτυχαν να τηρήσουν τις υποσχέσεις τους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ήταν το φιλόδοξο δεκαετές πρόγραμμα της Ιαπωνίας το 1982 για υπολογιστές 5^{ης} γενεάς [Feigenbaum, McCorduck, 1984]. Αυτό το πρόγραμμα στόχευε στην ανάπτυξη παράλληλων υπολογιστών και με βασική γλώσσα σε επίπεδο λειτουργικού συστήματος τη Prolog [Bratko, 2001], [Marakakis, 2019], η βασική πράξη των υπολογιστών θα ήταν ο *λογικός συμπερασμός* [Feigenbaum, McCorduck, 1984]. Ένας στόχος ήταν να γίνει μετάβαση από τους υπολογιστές που επεξεργάζονται *δεδομένα* και *πληροφορία* στους υπολογιστές που θα επεξεργάζονται *γνώση*. Οραματιζόταν την βιομηχανία γνώσης στην οποία η γνώση θα είναι εμπορεύσιμο αγαθό όπως τα τρόφιμα και το πετρέλαιο. Η ιδέα ήταν να φτιαχτούν μέχρι το 1990 ευφυείς υπολογιστές οι οποίοι θα είχαν τη δυνατότητα να *επικοινωνούν σε φυσική*

γλώσσα, να μαθαίνουν, να κάνουν συλλογισμούς, να παίρνουν αποφάσεις. Δηλαδή να έχουν νοημοσύνη και συμπεριφορά όπως οι άνθρωποι. Αυτό το πρόγραμμα απέτυχε να ικανοποιήσει τους στόχους που είχαν τεθεί. Επιπλέον, ενώ τη δεκαετία 1975-1984, η έρευνα της τεχνητής νοημοσύνης γνώρισε μια έκρηξη στη μηχανική γνώσης, όπου η γνώση κωδικοποιήθηκε ρητά στα έμπειρα συστήματα όπως το MYCIN [Buchanan, Shortliffe, 1984], DENDRAL [Lindsay, et al., 1980] και άλλα, ωστόσο, αυτή η προσέγγιση είχε περιορισμούς στον χειρισμό πολύπλοκων και αβέβαιων πεδίων.

Νευρωνικά Δίκτυα και αναβίωση της Μηχανικής Μάθησης. Την δεκαετία 1995-2004, τα νευρωνικά δίκτυα κέρδισαν την προσοχή ως υπολογιστικό μοντέλο εμπνευσμένο από τον ανθρώπινο εγκέφαλο. Σημαντικές εξελίξεις στους αλγόριθμους και στις αρχιτεκτονικές μάθησης νευρωνικών δικτύων έλαβαν χώρα, συμβάλλοντας στην ανάπτυξη της μηχανικής μάθησης. Αυτή τη δεκαετία, η εστίαση της TN μετατοπίστηκε στη μηχανική μάθηση, η οποία έδινε έμφαση στη χρήση στατιστικών μεθόδων για να επιτρέψουν στις μηχανές να μαθαίνουν από δεδομένα. Τεχνικές όπως τα νευρωνικά δίκτυα, οι γενετικοί αλγόριθμοι και τα δίκτυα Bayes κέρδισαν εξέχουσα θέση.

Ανοδος της Στατιστικής Σχεσιακής TN και της βαθιάς μάθησης με Νευρωνικά Δίκτυα. Την δεκαετία 2005-2014, αναζωπυρώθηκε το ενδιαφέρον για την τεχνητή νοημοσύνη λόγω της διαθεσιμότητας μεγάλων συνόλων δεδομένων, της ανάπτυξης των μεθόδων μηχανικής μάθησης και της προόδου των υπολογιστών σε υπολογιστική ισχύ. Αυτή την δεκαετία, δύο είναι οι αξιοσημείωτες κατευθύνσεις της TN, η *Στατιστική Σχεσιακή TN (Statistical Relational AI – StaR AI)* και η *βαθιά μάθηση με τα νευρωνικά δίκτυα*. Η *στατιστική σχεσιακή TN (StaR AI)* έχει ως βασικό δομικό στοιχείο τα σχεσιακά πιθανοτικά μοντέλα, τα οποία είναι συνδυασμός των πιθανοτήτων και της λογικής που επιτρέπουν την κατασκευή μοντέλων με άτομα, με σχέσεις ατόμων και με πιθανότητες. Η *βαθιά μάθηση*, ένα υποσύνολο της μηχανικής μάθησης που χρησιμοποιεί τεχνητά νευρωνικά δίκτυα με πολλά επίπεδα, έχει οδηγήσει σε σημαντικές επιτυχίες σε εργασίες όπως η αναγνώριση εικόνας, η επεξεργασία φυσικής γλώσσας και τα παίγνια. Το 2011 ο Judea Pearl τιμήθηκε με το βραβείο Turing για την συνεισφορά του στην ανάπτυξη ενός λογισμού για πιθανοτικό και αιτιακό συλλογισμό με Bayesian δίκτυα και γραφικά μοντέλα για αντιμετώπιση της *αβεβαιότητας* στη TN. Επίσης, το 2019 οι Yoshua Bengio, Geoffrey Hinton και Yann LeCun τιμήθηκαν με το βραβείο Turing για την συνεισφορά τους στη «*βαθιά μάθηση*» με πολυεπίπεδα νευρωνικά δίκτυα.

Αναγέννηση της τεχνητής νοημοσύνης και πρακτικές εφαρμογές της, 2014-σήμερα. Τα τελευταία χρόνια, η τεχνητή νοημοσύνη γνώρισε μια αναζωπύρωση και

αυξημένο ενδιαφέρον από τη βιομηχανία, λόγω των επιτυχιών της Μηχανικής Μάθησης και ιδιαίτερα της Στατιστικής Σχεσιακής ΤΝ, και της βαθιάς μάθησης με τα Νευρωνικά Δίκτυα. Οι εφαρμογές της ΤΝ έχουν γίνει ολοένα και πιο διαδεδομένες στην καθημερινή ζωή, με την ανάπτυξη εικονικών βοηθών, συστημάτων συστάσεων, αυτόνομων οχημάτων, συστήματα γνώσης και πολλά άλλα. Οι τεχνολογίες ΤΝ εφαρμόζονται σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένης της υγείας, της οικονομίας, της εκπαίδευσης και της ασφάλειας στον κυβερνοχώρο. Ιδιαίτερη συνεισφορά στην τεχνολογική ανάπτυξη των εφαρμογών της ΤΝ έχει η *δημιουργική ΤΝ* με τα *μεγάλα γλωσσικά μοντέλα*.

Η ιστορία της τεχνητής νοημοσύνης σημαδεύεται από περιόδους ενθουσιασμού, προόδου και προκλήσεων. Καθώς η τεχνολογία προχωρά και η τεχνητή νοημοσύνη ενσωματώνεται περισσότερο στην καθημερινή μας ζωή, το μέλλον της τεχνητής νοημοσύνης υπόσχεται να μεταμορφώσει τις βιομηχανίες, να ενισχύσει τις ανθρώπινες ικανότητες και να αντιμετωπίσει τις κοινωνικές προκλήσεις. Βρισκόμαστε σε μια περίοδο όπου ένας από τους κεντρικούς στόχους που είχαν τεθεί στην Ιαπωνία το 1982 για τους υπολογιστές πέμπτης γενεάς, για τη βιομηχανία της γνώσης, φαίνεται να ικανοποιείται σήμερα μέσω άλλης επιστημονικής οδού ανάπτυξης της ΤΝ, αυτής της *μηχανικής μάθησης, της πιθανοτικής συλλογιστικής και του σημασιολογικού ιστού*.

1.3. Οι Βασικές Αρχές της Τεχνητής Νοημοσύνης

Η *Τεχνητή νοημοσύνη* είναι ένα ευρύ επιστημονικό πεδίο στο οποίο οι ερευνητές ασχολούνται με ένα *μεγάλο φάσμα προβλημάτων*, χρησιμοποιούν *ποικίλες μεθόδους*, και επιδιώκουν ένα *ευρύ φάσμα επιστημονικών στόχων*. Η ΤΝ μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε δύο γενικούς τύπους, τη *στενή ή αδύναμη ΤΝ* και στη *γενική ή ισχυρή ΤΝ*.

1. *Στενή ή αδύναμη ΤΝ* θεωρείται η ΤΝ που έχει σχεδιαστεί για να εκτελεί συγκεκριμένες εργασίες και περιορίζεται στο εύρος των προγραμματισμένων ικανοτήτων του ευφυούς πράκτορα. Παραδείγματα στενής τεχνητής νοημοσύνης περιλαμβάνουν εικονικούς προσωπικούς βοηθούς, συστήματα συστάσεων, συστήματα γνώσης για συγκεκριμένους τομείς, chatbots και άλλα.
2. *Γενική ή Ισχυρή τεχνητή νοημοσύνη* θεωρείται η ΤΝ που στοχεύει σε ευφυείς πράκτορες με την ικανότητα να κατανοούν και να εκτελούν οποιαδήποτε πνευματική εργασία που μπορεί να κάνει ένας άνθρωπος, αυτός ο τύπος ΤΝ είναι υποθετικός μέχρι σήμερα. Η γενική ΤΝ, εάν επιτευχθεί, θα είναι ικανή να μαθαίνει και να προσαρμόζεται σε διαφορετικούς τομείς και για διάφορα σενάρια, να επιδεικνύει υψηλού επιπέδου νοημοσύνη σε όλες τις πτυχές ίση ή και υψηλότερη ακόμα και από την ανθρώπινη νοημοσύνη.

Η ΤΝ ασχολείται με την κατασκευή ευφυών πρακτόρων που εκτελούν γνωστικές λειτουργίες όπως η μάθηση, η συλλογιστική, η επίλυση προβλημάτων, η αντίληψη, η αναγνώριση, η σχεδίαση ενεργειών και η επικοινωνία σε φυσική γλώσσα.

Η ΤΝ στηρίζεται σε ένα σύνολο από βασικές αρχές οι οποίες περιλαμβάνουν θεμελιώδεις έννοιες και προσεγγίσεις που αποτελούν τη βάση της ανάπτυξης της. Αυτές οι αρχές αποτελούν τη βάση για την κατασκευή ευφυών πρακτόρων που μπορούν να εκτελούν εργασίες με ανθρώπινες γνωσιακές ικανότητες. Ένα πρώτο βιβλίο που μελέτησε τις αρχές της ΤΝ από την σκοπιά των στόχων της μηχανικής για κατασκευή ευφυών μηχανών είναι το βιβλίο του Nilsson [Nilsson, 1980]. Ακολουθεί ένα σύνολο βασικών αρχών της ΤΝ από την σκοπιά των στόχων της επιστήμης και της μηχανικής για κατασκευή ευφυών πρακτόρων.

Γνώση και Αναπαράσταση. Ένας ευφυής πράκτορας θα πρέπει να είναι ικανός να αναπαριστάνει και να οργανώνει τη γνώση με ουσιαστικό τρόπο. Η αποτελεσματική αναπαράσταση της γνώσης επιτρέπει στους πράκτορες να συλλογίζονται, να λαμβάνουν αποφάσεις και να επιλύουν προβλήματα με βάση τη διαθέσιμη γνώση.

Συλλογισμός και επίλυση προβλημάτων. Οι πράκτορες τεχνητής νοημοσύνης χρησιμοποιούν συλλογισμό για την επεξεργασία πληροφοριών και γνώσης και για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Μπορούν να λύσουν σύνθετα προβλήματα εφαρμόζοντας λογικούς και πιθανοτικούς συμπερασμούς ή ευρετικές προσεγγίσεις για να καταλήξουν σε βέλτιστες λύσεις.

Μηχανική Μάθηση. Η μηχανική μάθηση είναι μια βασική μέθοδος της τεχνητής νοημοσύνης, όπου οι πράκτορες μαθαίνουν χωρίς να είναι ρητά προγραμματισμένοι. Οι αλγόριθμοι μάθησης επιτρέπουν στους πράκτορες τεχνητής νοημοσύνης να αναγνωρίζουν μοτίβα, να ανακαλύπτουν σχέσεις και να κάνουν προβλέψεις με βάση τα δεδομένα στα οποία εκτίθενται. Η *βαθιά μάθηση*, ένα υποσύνολο της μηχανικής μάθησης που περιλαμβάνει τεχνητά νευρωνικά δίκτυα με πολλαπλά επίπεδα, εξακολουθεί να είναι μια από τις κυρίαρχες τάσεις στην τεχνητή νοημοσύνη. Οι εξελίξεις στις αρχιτεκτονικές μοντέλων, τους αλγόριθμους βελτιστοποίησης και το υλικό έχουν οδηγήσει σε σημαντικές ανακαλύψεις σε τομείς όπως η μηχανική όραση, η επεξεργασία φυσικής γλώσσας και η αναγνώριση ομιλίας. Τελευταία, οι αναδυόμενες *βαθιές νευροσυμβολικές (deep neurosymbolic)* μέθοδοι υπόσχονται να κάνουν ερμηνεύσιμα στα μοντέλα της βαθιά μάθησης. Επίσης, η *ενισχυτική μάθηση (reinforcement learning)*, ένας τύπος μηχανικής μάθησης όπου ένας πράκτορας μαθαίνει να λαμβάνει αποφάσεις μέσω δοκιμής και λάθους, έχει αυξημένη προσοχή αυτή τη περίοδο.

Προσαρμοστικότητα και βελτιστοποίηση. Οι πράκτορες τεχνητής νοημοσύνης συχνά χρειάζεται να προσαρμόσουν τη συμπεριφορά τους με βάση τις μεταβαλλόμενες συνθήκες ή νέες πληροφορίες ή νέα γνώση. Οι τεχνικές βελτιστοποίησης βοηθούν τους πράκτορες τεχνητής νοημοσύνης να βρουν την καλύτερη δυνατή λύση ανάμεσα σε διάφορες εναλλακτικές λύσεις, ειδικά σε καταστάσεις περιορισμένων πόρων.

Αντίληψη και αίσθηση. Οι πράκτορες TN αλληλοεπιδρούν με το περιβάλλον τους μέσω αισθητήρων και αντιλαμβάνονται πληροφορίες από αυτό. Οι δυνατότητες αντίληψης και αίσθησης του περιβάλλοντος με μηχανική όραση και με επεξεργασία φυσικής γλώσσας, επιτρέπουν στους πράκτορες TN να ερμηνεύουν και να κατανοούν δεδομένα από διάφορες πηγές. Αυτή η δυνατότητα είναι ζωτικής σημασίας για την λήψη ορθών αποφάσεων και την αλληλεπίδραση του ευφυή πράκτορα με το περιβάλλον του.

Ενέργεια και Έλεγχος. Οι πράκτορες TN μπορούν να ενεργήσουν και να λάβουν αποφάσεις με βάση τις αντιλήψεις τους και τη γνώση τους. Διαθέτουν μηχανισμούς ελέγχου για να αλληλοεπιδρούν με το περιβάλλον, να τροποποιούν καταστάσεις και να επιτυγχάνουν συγκεκριμένους στόχους.

Αβεβαιότητα και πιθανοτικός συλλογισμός. Οι πράκτορες τεχνητής νοημοσύνης συχνά αντιμετωπίζουν αβεβαιότητα σε προβλήματα του πραγματικού κόσμου. Οι τεχνικές πιθανοτικής συλλογιστικής επιτρέπουν στους πράκτορες TN να χειρίζονται την αβεβαιότητα και να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις με βάση τις πιθανότητες.

Επεξεργασία Φυσικής Γλώσσας (ΕΦΓ). Η ΕΦΓ επιτρέπει στους πράκτορες TN να κατανοούν και να ερμηνεύουν την ανθρώπινη γλώσσα. Η επεξεργασία φυσικής γλώσσας επιτρέπει την αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή μέσω της κατανόησης ομιλίας, της μετάφρασης γλώσσας, της ανάλυσης συναισθημάτων και των λειτουργιών του chatbot. Η έρευνα στην ΕΦΓ έχει σημειώσει τεράστια πρόοδο λόγω της δημιουργικής TN, με μοντέλα όπως το GPT (Generative Pre-trained Transformer) και το BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) επιτυγχάνουν αξιοσημείωτη απόδοση σε εργασίες όπως η μετάφραση γλώσσας, η ανάλυση συναισθημάτων και η απάντηση ερωτήσεων.

Σχεδιασμός και λήψη αποφάσεων. Οι πράκτορες τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να σχεδιάσουν αλληλουχίες ενεργειών για την επίτευξη συγκεκριμένων στόχων. Η λήψη αποφάσεων περιλαμβάνει την αξιολόγηση των επιλογών, την εξέταση των περιορισμών και την επιλογή της καταλληλότερης πορείας δράσης.

Αυτονομία και νοημοσύνη. Οι τεχνολογίες της TN ενσωματώνονται σε αυτόνομους πράκτορες, συμπεριλαμβανομένων αυτοοδηγούμενων αυτοκινήτων, drones

και ρομποτικά συστήματα αυτοματοποίησης διαδικασιών, επιτρέποντας σε αυτούς τους πράκτορες να λαμβάνουν αποφάσεις σε πραγματικό χρόνο με βάση την αντίληψή τους για το περιβάλλον. Η TN στοχεύει στη δημιουργία αυτόνομων πρακτόρων ικανών να εκτελούν εργασίες με νοημοσύνη και με ελάχιστη ανθρώπινη παρέμβαση. Το επίπεδο αυτονομίας ποικίλλει μεταξύ διαφορετικών εφαρμογών TN.

Γενίκευση. Ένας ευφυής πράκτορας θα πρέπει να μπορεί να εφαρμόζει τη γνώση που αποκτήθηκε από έναν τομέα σε νέες, άγνωστες καταστάσεις και τομείς, επιδεικνύοντας ένα επίπεδο γενίκευσης πέρα από την απλή απομνημόνευση συγκεκριμένης γνώσης.

Δημιουργικότητα και πρωτοτυπία. Η δημιουργικότητα και η ικανότητα δημιουργίας καινοτόμων και ευφάνταστων λύσεων σε προβλήματα από εφαρμογές της TN μπορούν να θεωρηθούν ως σημάδι νοημοσύνης υψηλού επιπέδου, δηλαδή ευφυΐας, αν και δεν είναι απαραίτητο αυτό να ισχύει για όλες τις εφαρμογές.

Ηθική TN και υπεύθυνη TN (AI Ethics and Responsible AI). Με την αυξανόμενη εξάπλωση της τεχνητής νοημοσύνης σε διάφορους τομείς, δίνεται αυξανόμενη έμφαση στα ηθικά ζητήματα και στις υπεύθυνες πρακτικές τεχνητής νοημοσύνης. Οι ερευνητές και οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής αντιμετωπίζουν ζητήματα όπως η *δικαιοσύνη, η διαφάνεια, ο μετριασμός της μεροληψίας, το απόρρητο και η λογοδοσία* των ευφυών πρακτόρων.

Εξηγήσιμη TN (Explainable XAI). Οι εξηγήσιμες μέθοδοι TN κερδίζουν έδαφος, επιτρέποντας στους ευφυείς πράκτορες να παρέχουν κατανοητές εξηγήσεις για τις αποφάσεις τους. Αυτή η τάση είναι ζωτικής σημασίας για την οικοδόμηση εμπιστοσύνης, την κατανόηση της συμπεριφοράς του μοντέλου και τη συμμόρφωση με τις απαιτήσεις των κανονισμών. Η εξήγηση συνδέεται με την εσωτερική λογική και τη μηχανική πώς εξάχθηκε το αποτέλεσμα.

Αυτές οι βασικές αρχές χρησιμεύουν ως δομικά στοιχεία για την ανάπτυξη πρακτόρων TN με διάφορους βαθμούς πολυπλοκότητας και δυνατοτήτων. Οι ερευνητές και οι επαγγελματίες τεχνητής νοημοσύνης συνδυάζουν αυτές τις αρχές για να δημιουργήσουν ευφυείς πράκτορες που μπορούν να επιδείξουν ικανότητες *επίλυσης προβλημάτων, συλλογισμού, μάθησης, αντίληψης και λήψης αποφάσεων* σε διάφορους τομείς. Η αλληλεπίδραση αυτών των αρχών επιτρέπει στην τεχνητή νοημοσύνη να έχει σημαντικό αντίκτυπο σε διάφορους κλάδους και εφαρμογές της ανθρώπινης ζωής και δραστηριότητας.

Σήμερα λόγω και των επιτυχιών της δημιουργικής TN γίνεται πολύ συζήτηση για τις *ηθικές αρχές* και την *ασφάλεια* που πρέπει να έχουν τα συστήματα TN [Sadiq, Aqib, 2023], [Ballell, 2022], [Lo Piano, 2020], [Leslie, 2019], [Zeng, et al., 2019]

καθώς και για αρχές σε συγκεκριμένους τομείς όπως είναι η υγεία [Wieneke, Voigt, 2024], [Bellini, et al., 2022] και η εκπαίδευση [Nguyen, et al., 2023]. Καθώς η ΤΝ αναπτύσσεται, περισσότερες εφαρμογές της μπαίνουν στη ζωή μας, οι ηθικοί προβληματισμοί αυξάνονται και ζητούν επιτακτικά απαντήσεις και λύσεις. Ένας ευφυής πράκτορας θα πρέπει να επιδεικνύει κατανόηση των κοινωνικών κανόνων και των ηθικών αρχών, αποφεύγοντας επιβλαβείς ή μεροληπτικές συμπεριφορές στον άνθρωπο και στη κοινωνία γενικότερα.

1.3.1. Κριτήρια Νοημοσύνης ενός Υπολογιστικού Συστήματος

Από τα πρώτα βήματα της Τεχνητής Νοημοσύνης τέθηκε το ερώτημα. Με ποιο κριτήριο θα χαρακτηρίσουμε ένα υπολογιστικό σύστημα ότι διαθέτει νοημοσύνη. Η απάντηση δόθηκε από τον Alan Turing σ' ένα άρθρο του το 1950, γνωστό και ως δοκιμασία Turing [Turing, 1950]. Ένας άνθρωπος, ο αξιολογητής, αλληλοεπιδρά μέσω της οθόνης του με γραπτό κείμενο, κάνοντας ερωτήσεις, με δύο άλλες οντότητες η μία από τις οποίες είναι υπολογιστής και η άλλη είναι άνθρωπος. Δεν υπάρχει οπτική επαφή μεταξύ τους. Το έργο του αξιολογητή είναι να προσδιορίσει ποιος είναι ο υπολογιστής και ποιος είναι ο άνθρωπος με βάση τον διάλογο που θα γίνει. Εάν στο τέλος της αλληλεπίδρασης ο άνθρωπος δεν μπορεί να αποφανθεί ποιος από τους δύο συνομιλητές του ήταν ο υπολογιστής τότε αυτός ο υπολογιστής θεωρείται ευφυής, δηλαδή ο υπολογιστής έχει πείσει τον αξιολογητή ότι διαθέτει νοημοσύνη. Σ' αυτή τη περίπτωση, λέγεται ότι το μηχάνημα έχει περάσει τη δοκιμασία Turing και έχει δείξει μια μορφή ανθρώπινης νοημοσύνης. Η δοκιμασία Turing εξετάζει κυρίως την ικανότητα μιας μηχανής να μιμείται την ανθρώπινη νοημοσύνη σε ένα πλαίσιο συνομιλίας. Βασίζεται στην επεξεργασία φυσικής γλώσσας και δεν λαμβάνει υπόψη του άλλες απόψεις της ευφυΐας όπως *επίλυση προβλημάτων*, *μάθηση*, *δημιουργικότητα*, κτλ. Η τεχνολογία της ΤΝ δεν είχε προχωρήσει εκείνη τη εποχή γι' αυτό και ο έλεγχος νοημοσύνης ήταν ανάλογα σχεδιασμένος.

Τα τελευταία χρόνια επιστήμονες έχουν αρχίσει να αμφισβητούν την καταλληλότητα της δοκιμασίας Turing, για την αξιολόγηση της νοημοσύνης των μηχανών, υπό το πρίσμα της προόδου που έχει σημειωθεί τα τελευταία 70 χρόνια στην επιστήμη, στη τεχνολογία και ιδιαίτερα στη ΤΝ. Θεωρούν ότι η δοκιμασία Turing έχει μείνει πολύ πίσω από τις νέες εξελίξεις στην ΤΝ, παράλληλα προτείνουν είτε επέκταση και ανακατασκευή της δοκιμασίας Turing [Hernández-Orallo, 2020], [Gonçalves, 2023] ή εντελώς νέες μεθόδους αξιολόγησης της νοημοσύνης μιας μηχανής [Ayesh, 2019], [Hoffmann, 2022]. Ο Hernández-Orallo στο άρθρο του [Hernández-Orallo, 2020] επανεξετάζει μερικά από τα βασικά ερωτήματα γύρω από τη δοκιμασία Turing, όπως η *κατανόηση*, η *κοινή λογική* και η *εξαγωγή νοήματος*, και διερευνά πώς θα πρέπει να λειτουργούν τα νέα πρότυπα δοκιμασιών για να

ξεπεράσουν τους περιορισμούς της τρέχουσας και μελλοντικής τεχνητής νοημοσύνης. Επίσης, μελετάει πώς οι μετρήσεις ομοιότητας συμπεριφοράς θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία ταξινομιών για τεχνητή και φυσική νοημοσύνη. Τέλος, παραθέτοντας τα λόγια του Turing [Turing, 1950] «*μπορούμε να ελπίζουμε ότι οι μηχανές θα ανταγωνιστούν τελικά (τους ανθρώπους) σε όλους τους καθαρά πνευματικούς τομείς*» αναφέρει ότι η «*αξιολόγηση της νοημοσύνης*» είναι ένας από αυτούς τους τομείς στους οποίους οι υπολογιστές θα αντικαταστήσουν τους ανθρώπους. Ιδιαίτερα σε αυτό το σημαντικό θέμα της αξιολόγησης «της νοημοσύνης των μηχανών» από άλλες μηχανές, δηλαδή εάν οι άνθρωποι αξιολογητές θα αντικατασταθούν από μηχανές αξιολογητές αναφέρεται μια πρόσφατη ενδιαφέρουσα ειδική έκδοση του περιοδικού *New Directions for Evaluation* [NDE, 2023]. Ο Gonçaves στο άρθρο του [Gonçaves, 2023], μετά την παρατήρηση ότι 70 χρόνια μετά συζητάμε ακόμα για τη δοκιμασία Turing, η οποία εξακολουθεί να θεωρείται ευρέως είτε πολύ κακή είτε πολύ καλή για να είναι ένα πολύτιμο πείραμα για την τεχνητή νοημοσύνη προτείνει την ανακατασκευή της δοκιμασίας Turing ως ενός πειράματος σκέψης στη σύγχρονη επιστημονική παράδοση. Ο Ayesh στο άρθρο του [Ayesh, 2019] παρουσιάζει ένα νέο πλαίσιο βασισμένο στη γενική κατηγοριοποίηση τύπων και παραγόντων νοημοσύνης. Το προτεινόμενο πλαίσιο αξιολόγησης της νοημοσύνης επιτρέπει την πραγματοποίηση διαφορετικών δοκιμασιών που είναι κατάλληλες για διαφορετικά υπολογιστικά συστήματα. Ο Hoffmann στο άρθρο του [Hoffmann, 2022], εισάγει βασικές απαιτήσεις για μια πιο ισχυρή και έγκυρη προσέγγιση για την αξιολόγηση της νοημοσύνης των υπολογιστικών μηχανών από την δοκιμασία Turing η οποία δοκιμασία Turing δεν είναι ούτε έγκυρη ούτε ισχυρή. Ιδιαίτερα το δυαδικό αποτέλεσμα που δίνει η δοκιμασία Turing «είναι ή δεν είναι έξυπνη η υπολογιστική μηχανή» είναι πολύ λιγότερο ενημερωτικό και περιοριστικό από μια κλιμακωτή αξιολόγηση που θα δίνει το βαθμό νοημοσύνης μια υπολογιστικής μηχανής. Θεωρεί ότι το χαρακτηριστικό της νοημοσύνης θα πρέπει να μετράται, να συγκρίνεται και να αντιπαραβάλλεται μεταξύ διαφορετικών υπολογιστικών μηχανών. Αυτό το άρθρο ενδιαφέρεται για ένα καθολικό τεστ νοημοσύνης, καθώς και για συγκεκριμένα επιστημονικά μέτρα νοημοσύνης για μηχανές που περιλαμβάνουν όχι μόνο την ανθρώπινη νοημοσύνη αλλά και αυτή των ζώων. Προτείνει μέτρα νοημοσύνης για τα εξής κριτήρια στα οποία πρέπει να αξιολογείται η νοημοσύνη των μηχανών: α) μη δυαδικότητα, β) εμπειρικήτητα, γ) παραγοντικότητα/ειδίκευση (ανάλυση την νοημοσύνης σε μικρότερα τμήματα περισσότερο διαχειρίσιμα), δ) σχετικότητα, ε) επεκτασιμότητα, στ) να μπορεί να επαναληφθεί, ζ) επιλυσιμότητα με παραδείγματα, η) να είναι απρόβλεπτη η δοκιμασία, θ) να είναι μη ανθρωπόμορφη η δοκιμασία και ι) να οδηγεί σε ενεργητική και ευήμερυστα έρευνα.

Σήμερα η επιστήμη και μηχανική της TN έχει προχωρήσει πάρα πολύ και η δοκιμασία Turing για αξιολόγηση της νοημοσύνης μιας υπολογιστικής μηχανής θεωρείται ανεπαρκής. Οι ερευνητές και η κοινότητα της τεχνητής νοημοσύνης χρησιμοποιούν τώρα πιο ολοκληρωμένες προσεγγίσεις, συνδυάζοντας πολλαπλές μεθόδους αξιολόγησης προσαρμοσμένες σε συγκεκριμένες δυνατότητες TN. Συνεπώς, οι μετρήσεις για την αξιολόγηση της νοημοσύνης μιας υπολογιστικής μηχανής χρειάζεται να είναι πολύπλευρες και να ποικίλουν ανάλογα με τους συγκεκριμένους στόχους και το πλαίσιο λειτουργίας της υπολογιστικής μηχανής. Η νοημοσύνη είναι μια σύνθετη έννοια που περιλαμβάνει διάφορες γνωστικές ικανότητες. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι καμία μεμονωμένη μέτρηση δεν μπορεί να αποτυπώσει πλήρως την πολυπλοκότητα της ανθρώπινης νοημοσύνης και η αξιολόγηση συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης συχνά περιλαμβάνει συνδυασμό αυτών των μετρήσεων. Επιπλέον, ο τομέας της TN και της μηχανικής μάθησης εξελίσσεται συνεχώς και οι ερευνητές εργάζονται συνεχώς για να αναπτύξουν πιο ολοκληρωμένα μέτρα της νοημοσύνης.

1.4. Η Σύγχρονη Τεχνητή Νοημοσύνη

Πολλές σύγχρονες τάσεις διαμορφώνουν τον τομέα της TN. Αυτές οι τάσεις αντικατοπτρίζουν τις συνεχείς προόδους και εξελίξεις στην TN και τις εφαρμογές της. Οι εξέχουσες σύγχρονες τάσεις στην τεχνητή νοημοσύνη τις οποίες θα δούμε πιο αναλυτικά στη συνέχεια αυτής της ενότητας είναι α) *οι ευφυείς πράκτορες*, β) *η στατιστική σχεσιακή TN* και γ) *η δημιουργική TN* και ιδιαίτερα *τα μεγάλα γλωσσικά μοντέλα*.

1.4.1. Ευφυείς Πράκτορες

Η σύγχρονη αντίληψη της TN θεωρεί ότι είναι ο τομέας της επιστήμης και της μηχανικής που μελετά *την κατασκευή ευφύων υπολογιστικών πρακτόρων που ενεργούν ορθολογικά, και που λειτουργούν αυτόνομα στο περιβάλλον τους.*» [Poole, Mackworth, 2010] [Russell, Norvig, 2010], [Russell, Norvig, 2021]. Η προσέγγιση των υπολογιστικών πρακτόρων περιστρέφεται γύρω από τη δημιουργία πιο εξελιγμένων και αυτόνομων συστημάτων που μπορούν να αντιλαμβάνονται το περιβάλλον στο οποίο βρίσκονται, να συλλογίζονται και να ενεργούν σε πολύπλοκα περιβάλλοντα. Η TN έχει εξελιχθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, με έμφαση στην ανάπτυξη ευφύων πρακτόρων ικανών να μαθαίνουν, να αλληλοεπιδρούν με τον κόσμο και να λαμβάνουν αποφάσεις για την επίτευξη συγκεκριμένων στόχων.

Ένας *ευφυής πράκτορας* ή *πράκτορας* είναι μια οντότητα που δρα σε ένα περιβάλλον. Ένας *υπολογιστικός πράκτορας* είναι ένας πράκτορας του οποίου *οι αποφάσεις σχετικά με τις ενέργειές του* μπορούν να εξηγηθούν με όρους υπολογισμού.

Δηλαδή, η απόφαση μπορεί να αναλυθεί σε βασικές λειτουργίες που μπορούν να εφαρμοστούν σε μια φυσική συσκευή. Αυτός ο υπολογισμός μπορεί να πάρει πολλές μορφές [Poole & Mackworth, 2010]. Ένας *πράκτορας* ενεργεί με *ευφυΐα* όταν έχει τις ακόλουθες ιδιότητες.

- Αυτό που κάνει είναι κατάλληλο για τις περιστάσεις και τους στόχους του.
- Είναι ευέλικτος σε περιβάλλοντα που μεταβάλλονται και σε αλλαγή στόχων.
- Μαθαίνει από την εμπειρία του.
- Κάνει τις κατάλληλες επιλογές, δεδομένου των περιορισμών του σε αντίληψη και υπολογισμούς.

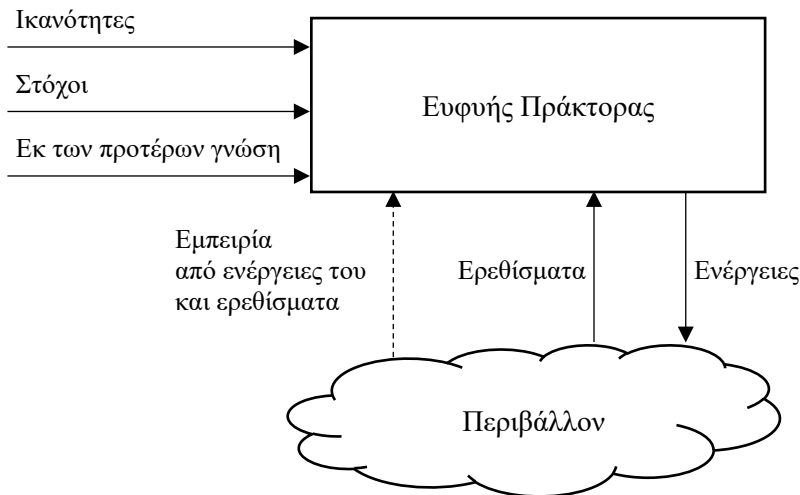
Το Σχήμα 1.1 περιγράφει ένα ευφυή πράκτορα [Poole, Mackworth, 2023], [Russell, Norvig, 2021] με βάση το περιβάλλον του, τις εισόδους που δέχεται από το περιβάλλον του και τις εξόδους του στο περιβάλλον. Ένας πράκτορας αποτελείται από τη σύζευξη *αντίληψης* (*perception*), *συλλογιστικής* και *ενεργειών*. Ο πράκτορας ενεργεί σε κάποιο περιβάλλον, το οποίο περιβάλλον μπορεί να έχει και άλλους πράκτορες. Ένας πράκτορας με το περιβάλλον του ονομάζεται *κόσμος* (*world*). Ένας πράκτορας μπορεί να είναι ένα υπολογιστικό σύστημα με αισθητήρες (*sensors*) και με μηχανισμούς δράσης (*actuators*), δηλαδή ένα ρομποτικό σύστημα. Ένας πράκτορας μπορεί να είναι ένα υπολογιστικό σύστημα το οποίο λειτουργεί σε ένα υπολογιστικό περιβάλλον *μόνο λογισμικού* όπως είναι το διαδίκτυο ο οποίος αλληλοεπιδρά με άλλους υπολογιστικούς πράκτορες, δηλαδή ένα *softbot*. Οι εισοδοί στον πράκτορα είναι οι εξής.

- *Εκ των προτέρων γνώση* που έχει για τον εαυτό του και το περιβάλλον του.
- *Εμπειρία από ενέργειες του και ερεθίσματα* από τα οποία μπορεί να μάθει. Δηλαδή, εμπειρία από ενέργειες του πράκτορα προς το περιβάλλον και από ερεθίσματα από το περιβάλλον στο πράκτορα.
- *Ικανότητες* οι οποίες είναι βασικές ενέργειες τις οποίες μπορεί να φέρει σε πέρας ο πράκτορας.
- *Ερεθίσματα* που λαμβάνει ο πράκτορας από το τρέχον περιβάλλον, όπως παρατηρήσεις για το περιβάλλον ή ενέργειες που δέχεται ο πράκτορας από το περιβάλλον.
- *Στόχοι* τους οποίους προσπαθεί να επιτύχει ο πράκτορας.
- *Ενέργειες* τις οποίες ο πράκτορας μπορεί να φέρει σε πέρας στο περιβάλλον.

Ο πράκτορας εσωτερικά έχει μια *κατάσταση πεποίθησης* (*belief state*) η οποία αναπαριστά την πεποίθηση του πράκτορα για το περιβάλλον του, τι έχει μάθει, τι

προσπαθεί να κάνει και τι σκοπεύει να επιτύχει. Η πεποίθηση του πράκτορα αλλάζει με τα ερεθίσματα που δέχεται από το περιβάλλον. Ο πράκτορας με βάση την κατάσταση πεποίθησης του και τα ερεθίσματα αποφασίζει για τις ενέργειες του. Ένας πράκτορας απαιτεί κάποια εσωτερική αναπαράσταση της κατάστασης πεποίθησής του.

Γνώση και πεποίθηση (belief). Γνώση είναι οι πληροφορίες σχετικά με έναν τομέα που χρησιμοποιούνται για δράση σε αυτόν τον τομέα. Η πεποίθηση ενός πράκτορα αφορά την αναπαράσταση του άμεσου περιβάλλοντος του και η οποία αλλάζει με τον χρόνο, ενώ η γνώση του αφορά την μακροπρόθεσμη αναπαράσταση του πεδίου του προβλήματος. Ο όρος γνώση αναφέρεται σε σταθερή πληροφορία, γενική γνώση που μπορεί να εφαρμοστεί σε συγκεκριμένες καταστάσεις ενώ η πεποίθηση αναφέρεται σε μεταβατική πληροφορία, δηλαδή σε γνώση μιας συγκεκριμένης κατάστασης. Δεν μπορούμε να πούμε ότι ένας πράκτορας γνωρίζει κάτι το οποίο είναι ψευδές, δηλαδή η γνώση είναι δεν μπορεί να είναι ψευδής. Ενώ, μπορούμε να πούμε ότι η πεποίθηση του πράκτορα είναι ψευδής, δηλαδή κάποια πεποίθηση μπορεί να είναι ψευδής [Genesereth, Nilsson, 1987], [Poole, Mackworth, 2023]. Η γνώση αναπαριστάνεται σε λογική, σε γράφους γνώσης, κ.α., ενώ η πεποίθηση αναπαριστάνεται ως μια κατανομή των καταστάσεων του προβλήματος.

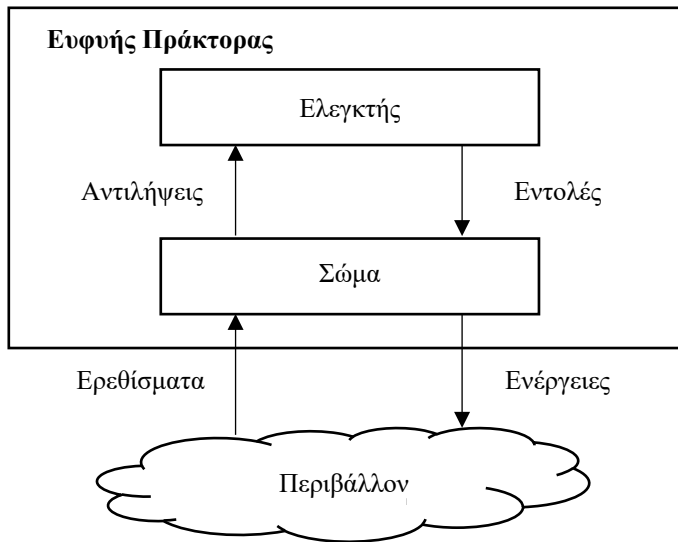


Σχήμα 1.1: Ευφυής πράκτορας που αλληλοεπιδρά με το περιβάλλον του.

Ένα σύστημα ευφυή πράκτορα αποτελείται από έναν ευφυή πράκτορα και το περιβάλλον στο οποίο δρα. Ο πράκτορας λαμβάνει ερεθίσματα από το περιβάλλον και πραγματοποιεί ενέργειες στο περιβάλλον. Ο πράκτορας με βάση την κατάσταση πεποίθησης του και τα ερεθίσματα που δέχεται από το περιβάλλον του αποφασίζει για

τις ενέργειες του. Η εσωτερική αρχιτεκτονική ενός πράκτορα απεικονίζεται στο Σχήμα 1.2 [Poole, Mackworth, 2023], [Russell, Norvig, 2021]. Με βάση αυτή την αρχιτεκτονική ένας πράκτορας αποτελείται από δύο κύρια τμήματα, ένα *σώμα* και έναν *ελεγκτή*.

- Ο *ελεγκτής* λαμβάνει αντιλήψεις από το σώμα και στέλνει εντολές στο σώμα. Ο *ελεγκτής* είναι ο *εγκέφαλος* του πράκτορα.
- Το *σώμα* περιλαμβάνει **α)** *αισθητήρες* που μετατρέπουν τα ερεθίσματα σε αντιλήψεις και **β)** *ενεργοποιητές* που μετατρέπουν τις εντολές σε ενέργειες. Τα *ερεθίσματα* περιλαμβάνουν ήχο, εικόνα, ομιλία, λέξεις από πληκτρολόγιο, κινήσεις του ποντικιού και άλλες. Τα ερεθίσματα μπορούν επίσης να περιλαμβάνουν πληροφορίες που λαμβάνονται από μια ιστοσελίδα ή από μια βάση δεδομένων.



Σχήμα 1.2: Ένας ευφυής πράκτορας με τα τμήματα του και το περιβάλλον του.

Τα κύρια χαρακτηριστικά ενός συστήματος ευφυή πράκτορα είναι τα ακόλουθα.

- Ένα *σύστημα πράκτορα* αποτελείται από έναν *πράκτορα* και ένα *περιβάλλον*.
- Οι *πράκτορες* διαθέτουν *αισθητήρες* και *ενεργοποιητές* για να αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον.
- Ένας *πράκτορας* αποτελείται από ένα *σώμα* και *αλληλεπιδρώντες ελεγκτές*.
- Οι *πράκτορες* έχουν αντίληψη του χρόνου και πρέπει να *λάβουν αποφάσεις* για το τι πρέπει να κάνουν με βάση το ιστορικό της αλληλεπίδρασής τους με το περιβάλλον.

- Ένας πράκτορας έχει άμεση πρόσβαση σε αυτό που θυμάται (την κατάσταση πεποιθήσής του) και σε αυτό που μόλις παρατήρησε. Σε κάθε χρονική στιγμή, ένας πράκτορας αποφασίζει τι να κάνει και τι να θυμάται με βάση την κατάσταση πεποιθήσής του και τις τρέχουσες παρατηρήσεις του.
- Οι σύνθετοι πράκτορες κατασκευάζονται αρθρωτά (*modularly*) με αλληλοεπιδρώντα ιεραρχικά επίπεδα.
- Ένας ευφυής πράκτορας απαιτεί γνώσεις που αποκτώνται κατά τον σχεδιασμό, εκτός σύνδεσης ή διαδικτυακά.

1.4.2. Στατιστική Σχεσιακή Τεχνητή Νοημοσύνη

Ένας πράκτορας χρειάζεται συνεχώς να μαθαίνει από το περιβάλλον του και από τις ενέργειες του. Μία από τις βασικές προκλήσεις στη δημιουργία *ευφύων πρακτόρων* είναι να κλείσει το χάσμα μεταξύ *λογικής και στατιστικής τεχνητής νοημοσύνης* [De Raedt, et al., 2016]. Έτσι ώστε να μπορούμε να έχουμε *πλούσιες αναπαραστάσεις* συμπεριλαμβανομένων *αντικειμένων, σχέσεων και αβεβαιότητας*, ώστε να έχουμε *αποτελεσματική μάθηση και εξαγωγή συμπερασμάτων*.

Η *Στατιστική Σχεσιακή Τεχνητή Νοημοσύνη (Statistical Relational Artificial Intelligence - StaR AI)* είναι μια σύγχρονη τάση της TN, ιδιαίτερα στο τομέα της μηχανικής μάθησης. Η *Star AI* εστιάζει στην ανάπτυξη μοντέλων και τεχνικών που μπορούν να αιτιολογήσουν αποτελεσματικά την αβεβαιότητα σε πολύπλοκα, *σχεσιακά δεδομένα*. Συνδυάζει αρχές από τη *στατιστική μάθηση, τις σχεσιακές βάσεις δεδομένων και τον λογικό προγραμματισμό* για τη διαχείριση δομημένων και διασυνδεδεμένων δεδομένων, καθιστώντας τη στατιστική, σχεσιακή TN κατάλληλη για εφαρμογές του πραγματικού κόσμου [De Raedt, et al., 2016].

Ορισμός 1.1

Η *Στατιστική Σχεσιακή Τεχνητή Νοημοσύνη (StaR AI)* ορίζεται ως η μελέτη και ο σχεδιασμός *ευφύων πρακτόρων* με ατελείς αισθητήρες που δρουν σε θορυβώδεις κόσμους που αποτελούνται από αντικείμενα, όπου μπορεί να υπάρχουν πολύπλοκες σχέσεις μεταξύ των αντικειμένων.

Η *Στατιστική Σχεσιακή TN* στοχεύει στην ολοκλήρωση της *λογικής ή σχεσιακής TN* με την *πιθανοτική ή στατιστική TN*. Η *σχεσιακή τεχνητή νοημοσύνη* έχει επιτύχει εντυπωσιακά αποτελέσματα στη *δομημένη μηχανική μάθηση* και στην *εξόρυξη δεδομένων*, ειδικά στη βιοπληροφορική και τη χημειοπληροφορική. Η *στατιστική τεχνητή νοημοσύνη* βασίζεται σε *πιθανοτικά (γραφικά) μοντέλα* που επιτρέπουν *αποτελεσματική συλλογιστική και μάθηση* και έχουν εφαρμοστεί σε μια μεγάλη ποικιλία τομέων

όπως η διάγνωση, η δικτυακή επικοινωνία, η υπολογιστική βιολογία, η μηχανική όραση και η ρομποτική [De Raedt, 2008], [De Raedt, et al., 2016], [Riguzzi, 2018].

Οι πραγματικοί πράκτορες πρέπει να ασχολούνται με την *αβεβαιότητα* και να κάνουν *συλλογισμούς* σχετικά με *οντότητες (άτομα)* και τις *σχέσεις* μεταξύ των οντοτήτων. Η Στατιστική Σχεσιακή TN μπορεί να προσφέρει καλά σημεία εκκίνησης για την ανάπτυξη συστημάτων TN με πολύπλοκη υπολογιστική και μαθηματική μοντελοποίηση και για να γίνουν η TN και η μηχανική μάθηση κλάδοι της μηχανικής.

Η TN είναι παντού, ωστόσο σημαντικοί περιορισμοί εμποδίζουν την υλοποίηση των πραγματικών δυνατοτήτων της. Αυτή τη στιγμή βιώνουμε το *δεύτερο κύμα της TN*, στο οποίο κυριαρχούν οι προσεγγίσεις της *βαθιάς και της στατιστικής μάθησης*. Το *τρίτο κύμα συστημάτων TN* αναμένεται να προσφέρει προσαρμογή στο πλαίσιο (contextual adaptation). Τα συστήματα TN θα *κατανοούν το πλαίσιο και το νόημα*, θα κάνουν *συλλογισμούς σ' αυτό και θα μπορούν να προσαρμοστούν ανάλογα*. Θα είναι σε θέση να *εξηγήσουν τι πάει στραβά και πώς κατέληξε σε αυτό το συμπέρασμα*. Ένα είδος συστημάτων σήμερα που προσφέρουν προσαρμογή στο πλαίσιο είναι τα συστήματα της *δημιουργικής TN* όπως τα *Μεγάλα Γλωσσικά Συστήματα (Large Language Models)*, π.χ. GPT, BERT και άλλα.

Τα πιθανοτικά γραφικά μοντέλα, Bayesian μοντέλα, αξιοποιώντας την πιθανοτική ανεξαρτησία έφεραν επανάσταση στη TN. Η ανεξαρτησία που ορίζεται σε αυτά τα μοντέλα είναι φυσική, δίνει δομή, δίνει τη δυνατότητα αποτελεσματικής μάθησης και αποτελεσματικών συλλογισμών και επιτρέπει τη μοντελοποίηση σύνθετων πεδίων προβλημάτων. Χτίζοντας πάνω σε σχεσιακά μοντέλα, η StaR AI υπερβαίνει κατά πολύ τη λογική, τη βελτιστοποίηση, τη μάθηση και τη βέλτιστη δράση όσον αφορά έναν σταθερό αριθμό χαρακτηριστικών ή μεταβλητών, όπως συνήθως μελετάται στη μηχανική μάθηση, την ικανοποίηση περιορισμών, την πιθανοτική συλλογιστική και άλλους τομείς της τεχνητής νοημοσύνης. Με αυτόν τον τρόπο, η StaR AI έχει τη δυνατότητα να κάνει την τεχνητή νοημοσύνη πιο ισχυρή και αποτελεσματική.

Τόσο η κατηγορηματική λογική (π.χ. ο κατηγορηματικός λογισμός πρώτης τάξης) όσο και η Μπεϋζιανή (Bayesian) πιθανότητα μπορούν να θεωρηθούν ότι επεκτείνουν την προτασιακή λογική ως εξής.

- Η κατηγορηματική λογική ενίσχυσε την προτασιακή λογική προσθέτοντας άτομα, σχέσεις και ποσοτικοποιημένες μεταβλητές.
- Η Μπεϋζιανή (Bayesian) πιθανότητα ενίσχυσε την προτασιακή λογική επιτρέποντας μετρήσεις σε δυνατούς κόσμους και ερωτήματα υπό συνθήκη.

Σχισιακά πιθανοτικά μοντέλα σημαίνει οποιαδήποτε μοντέλα που συνδυάζουν σχέσεις και πιθανότητες. Τα σχισιακά πιθανοτικά μοντέλα που αποτελούν τη βάση της στατιστικής σχισιακής TN μπορούν να θεωρηθούν ως συνδυασμοί πιθανοτήτων και κατηγορηματικού λογισμού που διαθέτουν άτομα, σχέσεις και πιθανότητες. Ο όρος *στατιστική σχισιακή TN* προέρχεται από τη δυνατότητα να έχουμε σε μοντέλα TN, πιθανότητες και σχέσεις και ότι αυτά τα μοντέλα TN παράγονται από δεδομένα και από εκ των προτέρων γνώση (*prior knowledge*) [De Raedt, et al., 2016].

Το βασικό επιχείρημα για τις πιθανότητες ως θεμέλιο της TN είναι ότι οι πράκτορες που ενεργούν υπό αβεβαιότητα λειτουργούν με τυχαιότητα και οι πιθανότητες είναι ο λογισμός της τυχαιότητας και οι πράκτορες που δεν χρησιμοποιούν την πιθανότητα θα χάσουν από αυτούς που τη χρησιμοποιούν. Υπάρχουν πολλές ερμηνείες της πιθανότητας, η πιο κατάλληλη είναι η *Bayesian* ή *υποκειμενική άποψη της πιθανότητας*. Οι πράκτορες δεν αντιμετωπίζουν γενικά γεγονότα, αλλά πρέπει να λάβουν αποφάσεις σε συγκεκριμένες περιστάσεις και να έχουν πρόσβαση μόνο στις ατιλήψεις τους και τις πεποιθήσεις τους.

Στη θεωρία πιθανοτήτων, οι δυνατοί κόσμοι περιγράφονται με τις λεγόμενες *τυχαίες μεταβλητές*, αν και δεν είναι ούτε τυχαίες ούτε μεταβλητές. Μια *τυχαία μεταβλητή* έχει μια τιμή σε κάθε κόσμο. Μπορούμε είτε να ορίσουμε τις τυχαίες μεταβλητές με βάση τους δυνατούς κόσμους (τις καταστάσεις του προβλήματος) είτε να ορίσουμε τους δυνατούς κόσμους (τις καταστάσεις του προβλήματος) με βάση τις τυχαίες μεταβλητές. Μια *τυχαία μεταβλητή* που έχει μια συγκεκριμένη τιμή είναι μια πρόταση. Η πιθανότητα ορίζεται ως ένα μη αρνητικό μέτρο σε σύνολα πιθανών κόσμων (καταστάσεις του προβλήματος) που ακολουθούν πολύ καλά ορισμένα αξιώματα.

1.4.3. Δημιουργική Τεχνητή Νοημοσύνη και Μεγάλα Γλωσσικά Μοντέλα

Η *Δημιουργική Τεχνητή Νοημοσύνη (Generative AI)* είναι μια αναδυόμενη κατηγορία αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης, ικανοί να παράγουν νέο περιεχόμενο σε ποικίλες μορφές όπως κείμενο, ήχο, βίντεο, εικόνες και κώδικα, με βάση τις προτροπές των χρηστών [Bahn, Strobel, 2023], [Bommasani, et al., 2022], [Lv, 2023], [Feuerriegel, et al., 2023]. Οι πρόσφατες εξελίξεις στη μηχανική μάθηση, τα τεράστια σύνολα δεδομένων και οι σημαντικές αυξήσεις στην υπολογιστική ισχύ έχουν ωθήσει τέτοια εργαλεία σε επιδόσεις σε ανθρώπινο επίπεδο [OpenAI, 2023].

Τα μοντέλα δημιουργικής τεχνητής νοημοσύνης έχουν πολλές διαφορετικές μορφές, χρησιμοποιώντας ποικίλες στατιστικές και υπολογιστικές τεχνικές για διάφορες στοχεύσεις, που κυμαίνονται από κώδικα και κείμενο έως ήχο και βίντεο. Αυτή η ενότητα εστιάζει σε *Μεγάλα Γλωσσικά Μοντέλα (Large Language Models - LLM)*

ικανά να δημιουργούν νέο κείμενο από κείμενο *προτροπής* (κείμενο εισόδου) [Naveed, et al., 2023], [Zhao, et al., 2023], [Min, et al., 2021]. Αυτή η επιλογή οφείλεται στο σημαντικό προβάδισμα των LLM στην καθοδήγηση της συνολικής χρήσης των δημιουργικών μοντέλων τεχνητής νοημοσύνης και στην κεντρική θέση της γλώσσας στη διαμόρφωση και την αντιμετώπιση εργασιών επεξεργασίας πληροφοριών.

Ένα *μεγάλο γλωσσικό μοντέλο* στον πυρήνα του υλοποιεί μια απλή λειτουργικότητα, προβλέπει την επόμενη λέξη σε ένα παράθυρο πλαισίου (context) που καθορίζει τις προηγούμενες λέξεις. Πιο συγκεκριμένα, δεδομένου ενός παραθύρου πλαισίου, ένα μοντέλο γλώσσας εξάγει μια κατανομή πιθανότητας για όλες τις πιθανές λέξεις στο λεξιλόγιό του, υποδεικνύοντας την πιθανότητα με την οποία κάθε δυνατή λέξη να ακολουθεί τη δεδομένη λίστα λέξεων. Το γλωσσικό μοντέλο επαναλαμβάνει σταδιακά αυτό το βασικό βήμα για να δημιουργήσει ένα πιο εκτεταμένο σώμα κειμένου. Η δειγματοληψία της επόμενης λέξης σε κάθε βήμα από την κατανομή εξόδου εισάγει αρκετή τυχαιότητα για να επιτρέψει ότι οι προβλεπόμενες ολοκληρώσεις θα μπορούσαν να είναι ουσιαστικά διαφορετικές σε κάθε νέα εκτέλεση. Αυτή η στοχαστικότητα είναι ο λόγος που το ChatGPT, για παράδειγμα, μπορεί να προσφέρει ποικίλες απαντήσεις για την ίδια *προτροπή* σε διαδοχικές εκτελέσεις. Τα γλωσσικά μοντέλα είναι *υπό συνθήκη πιθανοτικά μοντέλα* (*conditional probabilistic models*). Παράγουν μια ολοκλήρωση που είναι *υπό συνθήκη στο αρχικό σύνολο λέξεων*. Με αυτόν τον τρόπο, το αρχικό παράθυρο πλαισίου (context), που ονομάζεται *προτροπή* (*prompt*), έχει καθοριστική σημασία για την παραγόμενη ολοκλήρωση.

Βαθιά μάθηση ως αυτοματοποιημένη αναπαράσταση μάθησης.

Η επανάσταση στη βαθιά μάθηση ήταν να *αυτοματοποιήσει την ίδια την διαδικασία της αναπαράστασης της μάθησης*. Η βαθιά μάθηση χρησιμοποιεί νευρωνικά δίκτυα με πολλαπλά επίπεδα, κάθε επίπεδο μετατρέπει σταδιακά τα δεδομένα σε μια πιο διαχειρίσιμη μορφή, ώστε όλα τα επίπεδα για να κάνουν καλύτερες προβλέψεις. Αυτή η μορφή αυτοματοποιημένης μάθησης ιεραρχικής αναπαράστασης οδήγησε μια περίοδο τεράστιας προόδου στην αναγνώριση εικόνων και ομιλίας και τη μηχανική μετάφραση, η οποία ξεκίνησε με την πρωτοποριακή εργασία του Krizhevsky και των συνεργατών του [Krizhevsky, et al., 2017]. Αυτή η προσέγγιση εκμεταλλεύτηκε τις GPUs (Graphics Processing Unit) και τη διαθεσιμότητα ενός μεγάλου όγκου δεδομένων, επιπλέον μείωσε το ποσοστό σφάλματος για την αναγνώριση εικόνας κατά ένα σημαντικό πολλαπλάσιο. Αργότερα πραγματοποιήθηκαν παρόμοιες αρχιτεκτονικές βαθιάς μάθησης νευρωνικών δικτύων στην αναγνώριση ομιλίας και σε άλλους τομείς της μηχανικής μάθησης. Με αυτή την έννοια, η πρόοδος που επέτρεψε η βαθιά μάθηση ήταν για άγνωστους τομείς.

Τα βαθιά νευρωνικά δίκτυα απαιτούν ένα σημαντικό μεγάλο σύνολο δεδομένων για να αρχίσουν να κάνουν καλή πρόβλεψη. Στη διαδικασία της ιεραρχικής μάθησης αναπαραστάσεων, τα βαθιά νευρωνικά δίκτυα μαθαίνουν άγνωστα χαρακτηριστικά του συνόλου δεδομένων στα χαμηλότερα επίπεδα, ενώ τα υψηλότερα επίπεδα πιο κοντά στην έξοδο υπολογίζουν αναπαραστάσεις για συγκεκριμένες εργασίες. Αυτό μας επιτρέπει **(α)** να εκπαιδεύσουμε ένα βαθύ νευρωνικό δίκτυο για να διαχωρίσουμε εικόνες σε ένα μεγάλο σύνολο δεδομένων, π.χ. γατών και σκύλων, και **(β)** στη συνέχεια να δημιουργήσουμε ένα ρηχό (ακόμη και γραμμικό) αποτελεσματικό νευρωνικό δίκτυο που χρησιμοποιεί τα κατώτερα στρώματα του πρώτου για να δημιουργήσει χρήσιμες αναπαραστάσεις ταξινομήσεις εικόνων σε μικρά σύνολα δεδομένων, π.χ. λιονταριών και τίγρεων. Το **βήμα Α** ονομάζεται συχνά *προ-εκπαίδευση* και το **βήμα Β** αναφέρεται ως *εποπτευόμενη τελειοποίηση (finetuning)*. Αυτός ο τρόπος απόσβεσης της μάθησης σε εργασίες που δεν είναι πλούσιες σε δεδομένα είναι κεντρικός στα γλωσσικά μοντέλα.

Ενσωματώσεις Λέξεων (Word Embeddings).

Ενώ η πρόοδος της βαθιάς μάθησης στην ομιλία και τον ήχο κατέστη δυνατή χάρη στη διαθεσιμότητα μεγάλων συνόλων δεδομένων με ετικέτες, π.χ. 10 εκατομμύρια εικόνες με ετικέτες, τέτοια μεγάλα σύνολα δεδομένων υψηλής ποιότητας με ετικέτες απουσίαζαν από τον τομέα του κειμένου, παρά την πληθώρα δεδομένων που υπάρχουν χωρίς ετικέτα σε μορφή βιβλίων, περιοδικών, εφημερίδων, άρθρων της Wikipedia, άρθρων στο διαδίκτυο κτλ, συνεπώς χρειάζονται καλοί αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης που να χρησιμοποιούν τα φθηνά, χωρίς ετικέτα δεδομένα [Naveed, et al., 2023], [Zhao, et al., 2023].

Στην υπολογιστική γλωσσολογία, η υπόθεση κατανομής κωδικοποιεί μια ελκυστική και διαισθητική ιδέα ότι *παρόμοιες λέξεις εμφανίζονται σε παρόμοια πλαίσια*. Το 2013, εμπνευσμένοι από αυτή την παρατήρηση, ο Mikolov και οι συνεργάτες του εκπαιδύσαν ένα νευρωνικό δίκτυο, που ονομάζεται Word2Vec [Mikolov, et al., 2013], για να προβλέψει τυχαία επιλεγμένες λέξεις σε ένα σώμα κειμένου δοθέντων γειτονικών λέξεων για κάθε μία. Σημειώστε ότι αυτό το βήμα δεν απαιτεί ανθρώπινους σχολιαστές διότι δεν χρειάζεται δεδομένα με ετικέτες. Παρατήρησαν ότι οι διανυσματικές αναπαραστάσεις 300 διαστάσεων που έμαθε το νευρωνικό δίκτυο για λέξεις είχαν εξαιρετικές γραμμικές αλγεβρικές ιδιότητες που αντανάκλουσαν με διαφάνεια την υποκείμενη σημασιολογία. Κάθε διανυσματική διάσταση κατέλαβε κάποιο αφηρημένο σημασιολογικό βαθμό ελευθερίας. Αυτές οι αναπαραστάσεις ήταν επίσης πολύτιμες για εργασίες φυσικής ταξινόμησης με *περιορισμένα δεδομένα*, όπως η ταξινόμηση συναισθημάτων, δοθέντος ενός μικρού αριθμού παραδειγμάτων.

Μετασχηματιστές (Transformers).

Ενώ οι ενσωματώσεις λέξεων χρησιμεύουν ως απόδειξη ότι οι σημασιολογικές κανονικότητες του κειμένου μπορούν να αξιολογηθούν με δεδομένα χωρίς ετικέτα, οι ουσιαστικές εργασίες επεξεργασίας γλώσσας χρειάζονται μια αλγοριθμική εφαρμογή της έννοιας της μνήμης για την καταγραφή των σχέσεων μεταξύ λέξεων που βρίσκονται σε απόσταση μεταξύ τους.

Η πρώτη γενιά νευρωνικών δικτύων που συνέλαβε την έννοια της μνήμης ήταν τα *επαναλαμβανόμενα νευρωνικά δίκτυα (Recurrent Neural Networks - RNNs)*, επεξεργάζοντας διαδοχικά ένα κομμάτι κειμένου, μία λέξη τη φορά, ενώ ταυτόχρονα ενημερώνουν μια εσωτερική κατάσταση για να διατηρηθεί η συνέχεια. Δυστυχώς, η βελτιστοποίηση τέτοιων επαναλαμβανόμενων νευρωνικών δικτύων για την εύρεση αυτού που ταιριάζει καλύτερα σε ένα δεδομένο σύνολο δεδομένων αποδείχθηκε εξαιρετικά επιρρεπής σε σφάλματα και προκλήσεις.

Μία διαφορετική αρχιτεκτονική νευρωνικών δικτύων εισήχθη από τον Vaswani και τους συνεργάτες του [Vaswani, et al., 2017], που ονομάζεται *Μετασχηματιστής (Transformer)*. Αυτή η αρχιτεκτονική μπορούσε να συλλάβει αποτελεσματικά τις σχέσεις μεγάλης εμβέλειας μεταξύ μη διαδοχικών λέξεων (tokens) με ταυτόχρονη επεξεργασία ολόκληρου του περιβάλλοντος πλαισίου του παράθυρου. Η εισαγωγή μετασχηματιστών ώθησε την έρευνα στα γλωσσικά μοντέλα, με αποκορύφωμα μοντέλα εκπαίδευσης με ολοένα και μεγαλύτερο αριθμό παραμέτρων που εκπαιδεύονται σε όλο και μεγαλύτερα σύνολα δεδομένων. Για παράδειγμα, το GPT2 (Generative Pre-trained Transformer 2), που κυκλοφόρησε το 2019, είναι ένα μοντέλο με 1.5 δισεκατομμύρια παραμέτρους που εκπαιδεύεται σε 40 GB δεδομένα, ενώ το GPT3, που κυκλοφόρησε το 2020, είναι ένα μοντέλο με 175 δισεκατομμύρια παραμέτρους που εκπαιδεύεται σε 570 GB δεδομένα κειμένου. Η αρχιτεκτονική του μοντέλου του GPT3 περιγράφεται στο άρθρο [Brown, et al., 2020]. Μια σημαντική πρόοδος του GPT3 είναι ότι εκδημοκρατίζει τη χρήση των LLM, όχι όμως και την εκπαίδευσή τους.

1.5. Εφαρμογές της Τεχνητής Νοημοσύνης

Η τεχνητή νοημοσύνη έχει εφαρμογή σε πολλούς τομείς της ανθρώπινης ζωής και δραστηριότητας, από τη διασκέδαση και την υγεία μέχρι την οικονομία και τη βιομηχανία. Ο αντίκτυπός της συνεχίζει να αυξάνεται με ταχείς ρυθμούς. Ακολουθούν μερικές από τις πιο σημαντικές εφαρμογές της TN.

Μηχανική μάθηση. Η μηχανική μάθηση χρησιμοποιείται σε διάφορες εφαρμογές, όπως η επεξεργασία φυσικής γλώσσας, η μηχανική όραση, η αναγνώριση ομιλίας

και τα συστήματα συστάσεων. Χρησιμοποιείται ευρέως στην υγειονομική περίθαλψη, στα χρηματοοικονομικά, στο ηλεκτρονικό εμπόριο, στη ψυχαγωγία και στη βιομηχανία για να εξάγουν πληροφορίες από δεδομένα και να κάνουν προβλέψεις.

Αυτόνομα οχήματα. Οι τεχνολογίες TN διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην ανάπτυξη αυτό-οδηγούμενων αυτοκινήτων και αυτόνομων οχημάτων. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν αλγόριθμους μηχανικής όρασης, και λήψης αποφάσεων για την πλοήγηση και την ασφαλή λειτουργία οχημάτων χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση.

Υγεία και Ιατρική. Η TN μεταμορφώνει την υγειονομική περίθαλψη με εφαρμογές στην ανάλυση ιατρικών εικόνων, τη διάγνωση ασθενειών, την ανακάλυψη φαρμάκων, την παρακολούθηση της υγείας ασθενών και τις εξατομικευμένες συστάσεις θεραπείας (εξατομικευμένη ιατρική). Τα συστήματα που βασίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη μπορούν να βοηθήσουν τους επαγγελματίες του ιατρικού τομέα στην έγκαιρη ανίχνευση, στον σχεδιασμό θεραπειών και στη φροντίδα των ασθενών.

Εικονικοί Βοηθοί και Chatbots. Οι εικονικοί βοηθοί όπως το Siri, η Alexa και το Google Assistant και τα chatbot τροφοδοτούνται από αλγόριθμους TN. Μπορούν να κατανοήσουν τη φυσική γλώσσα, να απαντήσουν σε ερωτήματα και να παρέχουν εξατομικευμένες πληροφορίες και υπηρεσίες.

Χρηματοοικονομικά και εμπόριο. Η TN χρησιμοποιείται ευρέως στον χρηματοπιστωτικό τομέα για τον εντοπισμό απάτης, αξιολόγηση πιστωτικού κινδύνου, αλγοριθμικές συναλλαγές, αυτοματοποίηση της εξυπηρέτησης πελατών, εξατομικευμένες οικονομικές συμβουλές και για οικονομικές προβλέψεις. Τα μοντέλα που βασίζονται στη TN βοηθούν τα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα να λαμβάνουν αποφάσεις με βάση διαθέσιμα δεδομένα και να βελτιστοποιούν τις επενδυτικές στρατηγικές.

Βιομηχανικός αυτοματισμός. Η TN και η ρομποτική χρησιμοποιούνται στις κατασκευές και στη βιομηχανία για εργασίες όπως ο ποιοτικός έλεγχος, η βελτιστοποίηση διαδικασιών, η προγνωστική συντήρηση και ο ρομποτικός αυτοματισμός. Αυτό ενισχύει την αποτελεσματικότητα και μειώνει την ανθρώπινη παρέμβαση σε επαναλαμβανόμενες ή επικίνδυνες εργασίες.

Επεξεργασία φυσικής γλώσσας (Natural Language Processing - NLP). Η NLP επιτρέπει στις μηχανές να κατανοούν, να ερμηνεύουν και να δημιουργούν ανθρώπινη γλώσσα. Οι εφαρμογές περιλαμβάνουν ανάλυση συναισθήματος, μετάφραση γλώσσας, αναγνώριση φωνής και σύνοψη κειμένου.

Παιχνίδι και ψυχαγωγία. Οι τεχνολογίες TN χρησιμοποιούνται στα βιντεοπαιχνίδια για τη δημιουργία χαρακτήρων παικτών με ρεαλιστική συμπεριφορά, στη βελτίωση των γραφικών του παιχνιδιού και στη δημιουργία δυναμικών περιβαλλόντων

παιχνιδιού. Η TN χρησιμοποιείται επίσης σε συστήματα συστάσεων περιεχομένου για υπηρεσίες ροής (streaming) και διαδικτυακές πλατφόρμες.

Έξυπνες πόλεις. Η τεχνητή νοημοσύνη χρησιμοποιείται σε πρωτοβουλίες έξυπνων πόλεων για τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης της κυκλοφορίας, της κατανάλωσης ενέργειας, της διαχείρισης απορριμμάτων και της δημόσιας ασφάλειας. Βοηθά τις πόλεις να γίνουν πιο αποτελεσματικές και βιώσιμες.

Εκπαίδευση. Τα εκπαιδευτικά εργαλεία και οι πλατφόρμες που βασίζονται στην TN προσφέρουν εξατομικευμένες μαθησιακές εμπειρίες, προσαρμοστικές αξιολογήσεις και έξυπνα συστήματα διδασκαλίας που καλύπτουν τις ατομικές ανάγκες των μαθητών.

Η TN σε δημιουργικά μοντέλα. Η πρόοδος στα δημιουργικά μοντέλα επέτρεψε τη δημιουργία νέου περιεχομένου, όπως ρεαλιστικές εικόνες, μουσική και κείμενο, με εφαρμογές σε δημιουργικές βιομηχανίες και παραγωγή περιεχομένου.

Η TN στον Υπολογισμό των Άκρων (Edge Computing). Η TN στον υπολογισμό των άκρων περιλαμβάνει την ανάπτυξη μοντέλων TN απευθείας σε συσκευές edge (π.χ. smartphone, συσκευές IoT) αντί να στηρίζεται αποκλειστικά σε επεξεργασία που βασίζεται σε σύννεφο. Αυτή η τάση μειώνει τον λανθάνοντα χρόνο, ενισχύει το απόρρητο και επιτρέπει την πραγματοποίηση συμπερασμών σε πραγματικό χρόνο σε συσκευές με περιορισμένη συνδεσιμότητα στο διαδίκτυο.

Αυτές οι εφαρμογές είναι απλώς μια εικόνα από τον ευρύ αντίκτυπο της TN σε διάφορους τομείς. Η έρευνα στη TN και οι εφαρμογές της συνεχίζουν να επεκτείνονται σε διάφορους τομείς, μεταμορφώνοντας τη βιομηχανία και επηρεάζοντας τον τρόπο με τον οποίο αλληλοεπιδρούμε με την τεχνολογία. Καθώς προχωρά η ανάπτυξη της TN είναι πιθανό να συνεχίσει να φέρνει επανάσταση στη βιομηχανία και να ανοίγει νέες δυνατότητες για βελτίωση της αποτελεσματικότητας σε διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες, στη λήψη αποφάσεων και άλλων. Τέλος, είναι σημαντικό να παραμείνουμε προσεκτικοί στις ηθικές, νομικές και κοινωνικές επιπτώσεις, διασφαλίζοντας την υπεύθυνη ανάπτυξη της TN.

1.6. Η Προσέγγιση μας και τα Υπόλοιπα Κεφάλαια του Βιβλίου

1.6.1. Η Προσέγγιση του Βιβλίου

Η TN είναι ένας πολύ ευρύς τομέας της επιστήμης και της μηχανικής στον οποίον γίνεται αλληλοεπίδραση και σύνθεση πολλών άλλων επιστημονικών τομέων και διαφορετικών τεχνολογιών. Δεν είναι στους στόχους αυτού του βιβλίου η κάλυψη

όλων των αντικειμένων και των τεχνολογικών προσεγγίσεων, παρά μόνο αυτά τα αντικείμενα που συνδέονται με τη θεμελίωση της TN και την εξέλιξη της. Μας ενδιαφέρουν οι προσεγγίσεις που αναπτύσσουν ευφυείς πράκτορες που είναι *διαφανείς* και όχι «*μαύρα κουτιά*», που μπορούν να λειτουργούν σε *αβέβαιους κόσμους* και που μπορούν να εξηγήσουν πως έφτασαν στις αποφάσεις τους (*εξηγήσιμοι*). Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων ενός ευφυή πράκτορα καθώς και η απόδειξη της ορθότητας του αποτελέσματος είναι σημαντική, γι' αυτό οι μέθοδοι που παρουσιάζονται και αναλύονται σε αυτό το βιβλίο στηρίζονται σε μαθηματικά μοντέλα τα οποία παράγουν αποτελέσματα που είναι ερμηνεύσιμα και των οποίων η ορθότητα μπορεί να αποδειχθεί. Η μαθηματική βάση των μεθοδολογιών που ακολουθούνται σε αυτό το βιβλίο είναι η *μαθηματική λογική* και οι *πιθανότητες*.

Αυτό το βιβλίο TN παρέχει ολοκληρωμένη κάλυψη διαφορετικών μεθοδολογιών TN, που κυμαίνονται από την παραδοσιακή συμβολική TN έως τα σύγχρονα πιθανοτικά μοντέλα. Οι αναγνώστες του βιβλίου θα αποκτήσουν ολοκληρωμένη κατανόηση σ' ένα ευρύ φάσμα προσεγγίσεων της TN και των αντίστοιχων δυνατών και αδύναμων σημείων της. Η *συμβολική TN* και η *μη συμβολική προσέγγιση* των πιθανοτήτων και των γραφικών μοντέλων αντιπροσωπεύουν δύο συμπληρωματικούς τομείς στην TN. Αυτό το βιβλίο τους φέρνει κοντά και προσφέρει στους αναγνώστες μια ολιστική κατανόηση της δύναμης και της ευελιξίας της TN, επιτρέποντάς τους να αξιοποιήσουν τόσο τον αιτιοκρατικό (deterministic) συλλογισμό όσο και την πιθανοτική αβεβαιότητα για να αντιμετωπίσουν πιο αποτελεσματικά προβλήματα του πραγματικού κόσμου.

Αναπαράσταση γνώσης και συλλογιστική. Το βιβλίο εμβαθύνει σε φορμαλισμούς αναπαράστασης γνώσης και μηχανισμούς συλλογιστικής, δίνοντας τη δυνατότητα στους αναγνώστες να δημιουργήσουν *εξελιγμένα συστήματα TN βασισμένα σε γνώση*. Η συμβολική TN υπερέχει στην αναπαράσταση δομημένης γνώσης χρησιμοποιώντας τυπική λογική, καθιστώντας την κατάλληλη για την σύλληψη της γνώσης του πεδίου και την κωδικοποίηση σύνθετων σχέσεων. Από την άλλη πλευρά, οι προσεγγίσεις των πιθανοτήτων όπως η στατιστική σχεσιακή μάθηση παρέχουν ένα ισχυρό πλαίσιο για τον *χειρισμό δεδομένων* που είναι *αβέβαια*, *ελλιπή* και *έχουν θόρυβο*. Ο συνδυασμός και των δύο προσεγγίσεων επιτρέπει την αναπαράσταση της γνώσης με μια ισορροπία ακρίβειας και ευελιξίας. Συστήματα TN η αναπαράσταση γνώσης των οποίων βασίζεται σε μεθόδους όπως οι κανόνες, η λογική (ο λογικός προγραμματισμός), τα σημασιολογικά δίκτυα, οι γράφοι γνώσης και οι οντολογίες είναι *διαφανή* και μπορούν να *εξηγήσουν* τα συμπεράσματα τους. Ιδιαίτερα, με τον αυξανόμενο όγκο και την πολυπλοκότητα των δεδομένων, οι *οντολογίες* και οι *γράφοι γνώσης* είναι απαραίτητοι για την οργάνωση, την ενοποίηση και την ανταλλαγή

γνώσεων σε διαφορετικές εφαρμογές TN. Διευκολύνουν τη διαλειτουργικότητα δεδομένων και τη συλλογιστική σε συστήματα TN μεγάλης κλίμακας.

Κάθε μέθοδος αναπαράστασης γνώσης έχει τα δυνατά της σημεία και είναι κατάλληλη για διαφορετικούς τύπους προβλημάτων, καθιστώντας τη σημαντική για τους επαγγελματίες TN ώστε να γνωρίζουν πώς να αναπαριστούν και να χειρίζονται αποτελεσματικά τη γνώση.

Μηχανική μάθηση με δομημένα δεδομένα. Ενσωματώνοντας τη συμβολική TN με τις προσεγγίσεις των πιθανοτήτων και της μηχανικής μάθησης, οι αναγνώστες μπορούν να εξερευνήσουν τρόπους για να αξιοποιήσουν τα δυνατά σημεία και των τριών προσεγγίσεων όταν ασχολούνται με δομημένα δεδομένα, όπως γράφοι και σχεσιακά δεδομένα. Οι τεχνικές της στατιστικής σχεσιακής μάθησης (SRL) γεφυρώνουν το χάσμα μεταξύ στατιστικών μεθόδων και σχεσιακών δεδομένων. Επιτρέπουν στα συστήματα TN να χειρίζονται πολύπλοκα, πολυσχεσιακά δεδομένα, ενσωματώνοντας στατιστικά μοντέλα στην αναπαράσταση γνώσης, κάτι που είναι κρίσιμο για εφαρμογές TN του πραγματικού κόσμου που ασχολούνται με διασυνδεδεμένα δεδομένα.

Αβεβαιότητα. Σε πολλά προβλήματα του πραγματικού κόσμου, τα δεδομένα μπορεί να είναι αβέβαια, ανακριβή ή ελλιπή. Ενσωματώνοντας τη προσέγγιση των πιθανοτήτων με τη συμβολική TN, το βιβλίο δείχνει στους αναγνώστες πώς να χειριστούν την αβεβαιότητα, επιτρέποντας στα συστήματα TN να λαμβάνουν πιο ενημερωμένες και πιο αξιόπιστες αποφάσεις. Τα πιθανοτικά γραφικά μοντέλα, τα δίκτυα Bayes, τα δίκτυα Markov και τα κρυφά μοντέλα Markov είναι ζωτικής σημασίας για τη μοντελοποίηση της αβεβαιότητας σε συστήματα TN. Η αβεβαιότητα είναι μια κοινή πτυχή των δεδομένων του πραγματικού κόσμου και η ενσωμάτωση αυτών των τεχνικών ενισχύει την αξιοπιστία και την ευρωστία των συστημάτων TN. Τα πιθανοτικά γραφικά μοντέλα όπως είναι τα δίκτυα Bayes, τα δίκτυα Markov και τα κρυφά μοντέλα Markov είναι αποτελεσματικά εργαλεία για τον χειρισμό της αβεβαιότητας και ελλιπών δεδομένων, τα οποία αποτελούν κοινές προκλήσεις σε εφαρμογές TN του πραγματικού κόσμου. Το βιβλίο καθοδηγεί τους αναγνώστες σχετικά με τον τρόπο χρήσης αυτών των τεχνικών για τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων σε αβέβαια περιβάλλοντα.

Εξηγήσιμη τεχνητή νοημοσύνη και ερμηνεύσιμα μοντέλα. Η συμβολική TN, όπως η λογική, οι οντολογίες, οι γράφοι γνώσης, κτλ, παρέχουν εξηγήσιμες αναπαραστάσεις και ερμηνεύσιμα μοντέλα. Δηλαδή, τα συστήματα TN που τις χρησιμοποιούν μπορούν να εξηγήσουν γιατί έφθασαν σε συγκεκριμένο αποτέλεσμα και τα παραγόμενα μοντέλα είναι ερμηνεύσιμα. Ενσωματώνοντας αυτές τις προσεγγίσεις με τα πιθανοτικά και γραφικά μοντέλα τα οποία είναι ερμηνεύσιμα και τα συστήματα

που τα χρησιμοποιούν μπορούν να εξηγήσουν τις αποφάσεις τους, δημιουργούνται ισχυρά συστήματα TN που είναι *εξηγήσιμα* και τα μοντέλα που χρησιμοποιούν είναι *ερμηνεύσιμα* και ικανά να αντιμετωπίσουν την *αβεβαιότητα*. Επιπλέον, τέτοια συστήματα μπορούν να μαθαίνουν από δεδομένα και πληροφορίες του ιστού. Μάθηση στη TN σημαίνει παραγωγή γνώσης από δεδομένα και πληροφορίες. Επειδή τα δεδομένα και οι πληροφορίες αυξάνονται εκθετικά σημαίνει διαρκή παραγωγή νέας σύγχρονης γνώσης που συμβάλει στην ανάπτυξη της κοινωνίας μας συνολικά.

Εφαρμογές-Επίλυση προβλημάτων πραγματικού κόσμου. Πολλά προβλήματα TN του πραγματικού κόσμου απαιτούν έναν συνδυασμό διαφορετικών μεθοδολογιών και τεχνολογιών για να επιλυθούν αποτελεσματικά. Ενσωματώνοντας συμβολική TN με στατιστικές μεθόδους (SRL), το βιβλίο εξοπλίζει τους αναγνώστες στο να αντιμετωπίσουν αποτελεσματικά πολύπλοκες προκλήσεις TN. Ο συνδυασμός συμβολικής TN με πιθανοτικά και γραφικά μοντέλα βρίσκει εφαρμογές σε διάφορους τομείς, όπως η επεξεργασία φυσικής γλώσσας, η ρομποτική, η υγειονομική περίθαλψη, τα οικονομικά, η ανάλυση κοινωνικών δικτύων και άλλες. Η ενσωμάτωση συμβολικής TN με πιθανοτικές προσεγγίσεις σχετίζεται με τη *γνωσιακή (cognitive) TN* και την *επεξεργασία φυσικής γλώσσας*. Επιτρέπει σύνθετη συλλογιστική, την κατανόηση του πλαισίου και τον καλύτερο χειρισμό της ασάφειας στη γλώσσα. Στην υγεία, ο συνδυασμός συμβολικής TN με τις προσεγγίσεις των πιθανοτήτων και των γραφικών μοντέλων μπορεί να βελτιώσει τη διαγνωστική ακρίβεια, να εξατομικεύσει τις θεραπείες και να προβλέψει τα αποτελέσματα των ασθενών ενσωματώνοντας τόσο σαφή γνώση όσο και στατιστικά πρότυπα από δεδομένα ασθενών.

Ηθική και αξιοπιστία της τεχνητής νοημοσύνης. Αυτό το βιβλίο συνεισφέρει στο να αντιμετωπιστούν ηθικά ζητήματα της TN και ιδιαίτερα το θέμα της *εμπιστοσύνης* στη λήψη αποφάσεων από συστήματα TN δείχνοντας πώς η συμβολική TN, και οι προσεγγίσεις με τα πιθανοτικά και τα γραφικά μοντέλα συμβάλλουν σε *διαφανή* και *εξηγήσιμα (explainable)* συστήματα TN και σε *ερμηνεύσιμα (interpretable)* μοντέλα. Η συμβολική TN και στατιστική σχεσιακή TN οδηγούν σε συστήματα TN που είναι *διαφανή, αξιόπιστα* και *υπεύθυνα*, δίνοντας λύση στα ηθικά ζητήματα που υπάρχουν σχετικά με χρήση των συστημάτων TN.

Συμπερασματικά, με τον συνδυασμό της συμβολικής TN και της στατιστικής σχεσιακής TN το βιβλίο παρέχει μια ολοκληρωμένη κατανόηση των προσεγγίσεων TN που μπορούν να χειριστούν τόσο *δομημένη γνώση* όσο και την *αβεβαιότητα* που υπάρχει σε πολλά προβλήματα. Η ενοποίηση αυτών των δύο προσεγγίσεων μπορεί να ανοίξει νέες δυνατότητες και εφαρμογές σε διαφορετικούς τομείς, οδηγώντας σε πιο *ισχυρά, έξυπνα* και *ηθικά* θεμελιωμένα συστήματα TN. Οι αναγνώστες θα

αποκτήσουν πολύτιμες γνώσεις για να συνδυάσουν αποτελεσματικά τη συμβολική συλλογιστική με την πιθανοτική και Bayesian συλλογιστική για να λύσουν πολύπλοκες πραγματικές προκλήσεις και να κάνουν την ΤΝ *ασφαλέστερη, αξιόπιστη, και εξηγήσιμη*.

1.6.2. Σύνοψη των Υπόλοιπων Κεφαλαίων του Βιβλίου

Αυτή η ενότητα παρουσιάζει συνοπτικά τα υπόλοιπα κεφάλαια του βιβλίου.

Το *δεύτερο κεφάλαιο* θέτει τα θεμέλια για την κατανόηση διαφόρων τεχνικών επίλυσης προβλημάτων και αλγορίθμων αναζήτησης. Είναι απαραίτητο επειδή η επίλυση προβλημάτων είναι μια θεμελιώδης πτυχή της ΤΝ και η κατανόηση του τρόπου αποτελεσματικής αναζήτησης στο χώρο καταστάσεων είναι κρίσιμη για την κατασκευή ευφυών πρακτόρων. Στην 1^η ενότητα παρουσιάζεται το θέμα της αναπαράστασης ενός προβλήματος του πραγματικού κόσμου ως πρόβλημα αναζήτησης σε χώρο καταστάσεων. Στη 2^η ενότητα παρουσιάζονται οι βασικοί αλγόριθμοι τυφλής και ευρετικής αναζήτησης σε χώρο καταστάσεων. Στη 3^η ενότητα παρουσιάζεται το θέμα της αναζήτησης σε παίγνια δύο αντιπάλων.

Το *τρίτο κεφάλαιο* παρουσιάζει μεθόδους αναπαράστασης γνώσης και συλλογιστικής. Η αναπαράσταση γνώσης και η συλλογιστική βρίσκεται στον πυρήνα της ΤΝ, καθώς καθορίζει τον τρόπο *οργάνωσης, αποθήκευσης και χρήσης* της γνώσης για συλλογισμό. Στη 1^η ενότητα γίνεται μια εισαγωγή στις βασικές έννοιες, της αναπαράστασης γνώσης, και της συλλογιστικής. Στη 2^η ενότητα παρουσιάζεται η προτασιακή και κατηγορηματική λογική ως μέθοδος αναπαράστασης γνώσης, συμπερασμών και συλλογισμών. Στη 3^η ενότητα παρουσιάζεται η αναπαράσταση γνώσης και η συλλογιστική σε κανόνες. Στη 3^η ενότητα παρουσιάζονται οι δομημένες μέθοδοι αναπαράστασης γνώσης όπως είναι τα σημασιολογικά δίκτυα, τα πλαίσια, οι οντολογίες και οι γράφοι γνώσης. Αυτή η ποικιλόμορφη κάλυψη διασφαλίζει ότι οι αναγνώστες έχουν πλήρη κατανόηση της αναπαράστασης και της οργάνωσης της γνώσης καθώς και της συλλογιστικής σε συστήματα ΤΝ.

Η αβεβαιότητα είναι μια διάχυτη πτυχή του πραγματικού κόσμου και της λήψης αποφάσεων. Η κατανόηση του τρόπου χειρισμού της αβεβαιότητας, συμπεριλαμβανομένης της πιθανοτικής συλλογιστικής και της μοντελοποίησης αβεβαιότητας, είναι ζωτικής σημασίας για την κατασκευή ευφυών πρακτόρων που μπορούν να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις υπό αβέβαιες συνθήκες. Το *τέταρτο κεφάλαιο* εμβαθύνει σε πιθανοτικές μεθόδους, στο θεώρημα του Bayes, στη προσέγγιση της εύνοιας-πιθανοφάνειας (odds-likelihood), στους παράγοντες βεβαιότητας και στη ασαφή λογική για την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας στη λήψη αποφάσεων. Η

κατανόηση της διαχείρισης της αβεβαιότητας είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη αξιόπιστων και ισχυρών συστημάτων TN.

Η στατιστική σχεσιακή μάθηση γεφυρώνει το χάσμα μεταξύ της στατιστικής μοντελοποίησης και των σχεσιακών δεδομένων. Το *πέμπτο κεφάλαιο* εστιάζει στη στατιστική σχεσιακή μάθηση, η οποία συνδυάζει στατιστικές τεχνικές με σχεσιακά δεδομένα. Αυτή η συγχώνευση είναι πολύτιμη για τη μοντελοποίηση πολύπλοκων σχέσεων και εξαρτήσεων σε διάφορους τομείς στο πραγματικό κόσμο. Το *πέμπτο κεφάλαιο*, αρχικά κάνει μια επισκόπηση στη μηχανική μάθηση, στη συνέχεια μελετά το θέμα της στατιστικής και σχεσιακής μηχανικής μάθησης από σχεσιακά δεδομένα, επιτρέποντας στους ευφυείς πράκτορες να αιτιολογήσουν περίπλοκες σχέσεις μεταξύ οντοτήτων.

Η σημασιολογία των δυνατών κόσμων είναι μια ουσιαστική έννοια στην TN, που επιτρέπει συλλογιστική για εναλλακτικές καταστάσεις του κόσμου του προβλήματος. Το *έκτο κεφάλαιο* εμβαθύνει στο πώς χρησιμοποιούνται οι δυνατοί κόσμοι σε συλλογιστική στη λογική. Η κατανόηση αυτής της προσέγγισης επιτρέπει πιο ευέλικτη και διορατική συλλογιστική στη TN σε προβλήματα με αβεβαιότητα. Το *έκτο κεφάλαιο*, αρχικά παρουσιάζει την αναπαράσταση προβλήματος σε δυνατούς κόσμους, στη συνέχεια αναλύει την έννοια του συλλογισμού σε δυνατούς κόσμους. Τέλος, παρουσιάζει τον πιθανοτικό λογικό προγραμματισμό, ένα ισχυρό εργαλείο για την αναπαράσταση της αβεβαιότητας και για συλλογισμό σε δυνατούς κόσμους.

Τα πιθανοτικά γραφικά μοντέλα παρέχουν έναν κομψό τρόπο αναπαράστασης και αιτιολογίας της αβεβαιότητας με δομημένο τρόπο. Επίσης παρέχουν ένα αποτελεσματικό τρόπο εκτέλεσης των πιθανοτικών συμπερασμών και υπολογισμού της αβεβαιότητας. Το *έβδομο κεφάλαιο* καλύπτει διάφορα γραφικά μοντέλα, όπως τα δίκτυα Bayes, τα δίκτυα Markov και τα κρυφά δίκτυα Markov και τις εφαρμογές τους στην TN. Αυτά τα γραφικά δίκτυα παρέχουν διαισθητική και συμπαγή αναπαράσταση πολύπλοκων πιθανοτικών εξαρτήσεων, χρησιμοποιούνται ευρέως για τη λήψη αποφάσεων σε συνθήκες αβεβαιότητας.

Ο Σημασιολογικός Ιστός είναι μια ισχυρή προσέγγιση που στοχεύει στο να κάνει τον Ιστό πιο δομημένο και με σημασιολογικό νόημα. Το *όγδοο κεφάλαιο* εισάγει στον Σημασιολογικό Ιστό καλύπτοντας XML, RDF, τη περιγραφική λογική και τις οντολογίες (OWL). Αυτή η γνώση είναι ζωτικής σημασίας για εφαρμογές TN που περιλαμβάνουν ενσωμάτωση δεδομένων και ανταλλαγή γνώσης στον Ιστό.

Τα συστήματα γνώσης αξιοποιούν τη διαθέσιμη γνώση για τη λήψη αποφάσεων και την επίλυση προβλημάτων. Το *ένατο κεφάλαιο* διερευνά την οργάνωση, την κατασκευή και την ανάπτυξη συστημάτων γνώσης που αξιοποιούν τη γνώση, ρητή και

αβέβαιη, για τη συλλογιστική και τη λήψη αποφάσεων. Αυτή η προσέγγιση με επίκεντρο τη γνώση (γνωσιοκεντρική) είναι πολύτιμη σε τομείς που απαιτούν ειδικές γνώσεις. Αυτό το κεφάλαιο παρέχει μεθόδους για τη δημιουργία ευφυών πρακτόρων που βασίζονται στην πραγματογνωμοσύνη του πεδίου ενός προβλήματος. Συμπεριλαμβάνει δύο αναλυτικά παραδείγματα με διαφορετικές προσεγγίσεις που βοηθούν τους αναγνώστες να κατανοήσουν πώς να εφαρμόσουν τις έννοιες που έχουν μάθει, σε προβλήματα του πραγματικού κόσμου. Τέτοια συστήματα γνώσης μπορούν να εξηγήσουν τα συμπεράσματά τους, να αιτιολογήσουν τις ενέργειές τους και να προσαρμόσουν τη συμπεριφορά τους με βάση τη διαθέσιμη γνώση. Αυτή η πρακτική προσέγγιση είναι ζωτικής σημασίας για τη μεταφορά της θεωρητικής γνώσης σε πρακτικές εφαρμογές.

Στο βιβλίο υπάρχουν τρία παραρτήματα, στο *πρώτο παράρτημα*, «θέματα πιθανοτήτων και κατανομών τυχαίων μεταβλητών» απευθύνεται σε αναγνώστες με ανεπαρκές υπόβαθρο σε θεωρία πιθανοτήτων και στατιστικής. Αρχικά παρουσιάζονται αναλυτικά οι πιθανότητες με ενδεχόμενα και στη συνέχεια η μοντελοποίηση πιθανοτικών προβλημάτων με τυχαίες μεταβλητές. Το *δεύτερο παράρτημα*, «Γλώσσες Πιθανοτικού Λογικού Προγραμματισμού», απευθύνεται σε αναγνώστες που επιθυμούν να υλοποιήσουν εφαρμογές TN με αβεβαιότητα σε δυνατούς κόσμους καθώς και εφαρμογές μηχανικής μάθησης. Παρουσιάζονται βασικές έννοιες από δύο γλώσσες του πιθανοτικού λογικού προγραμματισμού, την ProbLog και την Cplint. Εάν ο αναγνώστης θέλει να εμβαθύνει σε κάποια από τις δύο γλώσσες, τότε χρειάζεται να ανατρέξει στις ιστοσελίδες [Web ProbLog] για την ProbLog και [Web Cplint] για την Cplint. Στην πρώτη ενότητα παρουσιάζεται ο πιθανοτικός λογικός προγραμματισμός με ProbLog και στη δεύτερη ενότητα παρουσιάζεται ο πιθανοτικός λογικός προγραμματισμός με Cplint. Επιλέχθηκαν δύο γλώσσες του πιθανοτικού λογικού προγραμματισμού διότι η μία, η ProbLog, είναι βιβλιοθήκη της Python και η Cplint είναι βιβλιοθήκη της SWI-Prolog, ώστε αναγνώστες με διαφορετικό υπόβαθρο σε προγραμματισμό (δηλωτικό ή προστακτικό προγραμματικό) να μπορούν να υλοποιήσουν συστήματα TN με αβεβαιότητα καθώς και συστήματα TN με μηχανική μάθηση. Το *τρίτο παράρτημα*, «XML Schema», απευθύνεται σε αναγνώστες που δεν γνωρίζουν την XML Schema, ώστε οι γνώσεις τους για τις τεχνολογίες του σημασιολογικού ιστού να αποκτήσουν πληρότητα μαζί με τις υπόλοιπες τεχνολογίες που αναλύονται στο Κεφάλαιο 8.

1.7. Ασκήσεις

Άσκηση 1

Δώστε ένα σύγχρονο ορισμό της TN.

Άσκηση 2

Ποια είναι τα σημαντικότερα στάδια στην ιστορική εξέλιξη της TN μέχρι σήμερα;

Άσκηση 3

Περιγράψτε τις δύο μεγάλες κατηγορίες στην οποίες μπορούμε να χωρίσουμε την TN με βάση τις δυνατότητες των αντίστοιχων συστημάτων TN.

Άσκηση 4

Ποιες είναι οι βασικές αρχές που αποτελούν τη βάση ανάπτυξης και λειτουργίας συστημάτων TN;

Άσκηση 5

Τι γνωρίζετε για τα κριτήρια μέτρησης της νοημοσύνης ενός υπολογιστικού συστήματος TN;

Άσκηση 6

Ποιες είναι οι εξέχουσες σύγχρονες τάσεις που διαμορφώνουν το κλάδο της TN και τι γνωρίζετε για αυτές;

Άσκηση 7

Τι είναι ο ευφυής πράκτορας και τι ιδιότητες χρειάζεται να έχει;

Άσκηση 8

Δώστε με ένα σχήμα την αλληλοεπίδραση ενός πράκτορα με το περιβάλλον του. Να εξηγήσετε τις εισόδους που δέχεται ο πράκτορας καθώς και την έξοδο του.

Άσκηση 9

Δώστε με ένα σχήμα την εσωτερική αρχιτεκτονική ενός πράκτορα. Να εξηγήσετε της λειτουργία κάθε τμήματος του σχήματος σας.

Άσκηση 10

Δώστε ένα σχήμα με την εσωτερική αρχιτεκτονική ενός ευφυούς πράκτορα. Να εξηγήσετε τα τμήματα του σχήματος σας.

Άσκηση 11

Τι είναι στατιστική, σχεσιακή TN; Ποιοι είναι οι στόχοι της;

Άσκηση 12

Γιατί έφεραν επανάσταση στη TN τα πιθανοτικά γραφικά μοντέλα;

Άσκηση 13

Τι είναι η δημιουργική TN και τι είναι τα μεγάλα γραφικά μοντέλα;

Άσκηση 14

Περιγράψετε τα κυριότερα χαρακτηριστικά των μεγάλων γλωσσικών μοντέλων.

Άσκηση 15

Αναφέρατε σημαντικούς τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας με κυρίαρχες τις εφαρμογές της TN.