



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

# Πτυχιακή Εργασία

## Η Τεχνητή Νοημοσύνη και το Blockchain στην εξέλιξη της Βιομηχανικής Αυτοματοποίησης

του

**Κωνσταντίνου Τσιώμου**

**AM 71427089**

Επιβλέπων Καθηγητής: Νικολάου Γρηγόριος

Αθήνα, 23 Μαΐου 2021



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

## **Η Τεχνητή Νοημοσύνη και το Blockchain στην εξέλιξη της Βιομηχανικής Αυτοματοποίησης**

**Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή**

Η πτυχιακή/διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

**Νικολάου Γρηγόριος**

**Βασιλειάδου Σουλτάνα**

**Δρόσος Χρήστος**

---

(υπογραφή)

(υπογραφή)

(υπογραφή)

**ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Ο/η κάτωθι υπογεγραμμένος **Τσιώμος Κωνσταντίνος του Παράσχου**, με αριθμό μητρώου **71427089** φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής **Μηχανικών** του Τμήματος **Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής** δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών

**Κωνσταντίνος Τσιώμος**



## Ευχαριστίες

*“Δεν τα κατάφερα έως εδώ από μόνος μου. Εννοώ ότι, το να αποδεχτώ αυτήν την τιμή ή αυτό το μετάλλιο, θα απέκλειε κάθε έναν άνθρωπο που με βοήθησε να φτάσω εδώ σήμερα, που με συμβούλευσε, που κατέβαλλε προσπάθεια, που με σήκωσε όταν είχα πέσει. Και θα έδινε την λάθος εντύπωση ότι όλοι μας μπορούμε να τα καταφέρουμε εντελώς από μόνοι μας. Κανείς μας δεν μπορεί. Η όλη ιδέα του αυτοδημιούργητου άνδρα ή γυναίκας είναι ένας μύθος”.*

### - Arnold Schwarzenegger

*Τελετή Αποφοίτησης 2017, Πανεπιστήμιο του Χιούστον, Η.Π.Α.*

Δράττομαι της ευκαιρίας να εκφράσω ταπεινά τις ευχαριστίες μου σε ανθρώπους-ορόσημα της ζωής μου που συνέδραμαν τα μέγιστα για να φτάσω έως εδώ, δίνοντας μου και εφόδια για να συνεχίσω παραπέρα:

*... στη γιαγιά μου, που δεν σταμάτησε ποτέ να υποστηρίζει την εκπαίδευσή μου,*

*... στη σύζυγό μου, που είναι συνοδοιπόρος μου στη ζωή,*

*... στους καθηγητές μου, κύριο Τσελέ Δημήτριο που έστρεψε το βλέμμα μου στη σωστή ακαδημαϊκή κατεύθυνση και τον κύριο Νικολάου Γρηγόριο για την αμέριστη και πολύτιμη καθοδήγησή του,*

*... στον μέντορά μου, κύριο Νικόλαο Μπογονικολό, που με βοηθά να κατακτήσω τα επαγγελματικά μου όνειρα.*

- Σας Ευχαριστώ -

## Περίληψη

Στο σύγχρονο τεχνολογικό περιβάλλον λειτουργούν και αναδύονται τεχνολογίες δραστηριοποιούμενες σε πληθώρα τομέων εφαρμογής. Η παρούσα πτυχιακή εργασία αναδεικνύει δύο εξ αυτών: την Τεχνητή Νοημοσύνη και το Blockchain, καθώς και τον τρόπο με τον οποίο οι δυο τους μπορούν να συνυπάρξουν και να δράσουν συνδυαστικά σε σημαντικούς τεχνολογικούς τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας, αναβαθμίζοντας, βελτιστοποιώντας και εξελίσσοντας τον βαθμό του αυτοματισμού που διέπει τον καθένα από αυτούς.

Η ικανότητα της Τεχνητής Νοημοσύνης να αναγνωρίζει μοτίβα και να ενεργεί βάσει ευρημάτων και να αυτοβελτιώνεται, καθώς και το χαρακτηριστικό τρίπτυχο της Αποκέντρωσης, της Αμεταβλητότητας και της Ιχνηλασιμότητας που διέπει την τεχνολογία Blockchain, δημιουργούν ένα μοναδικό μίγμα τεχνολογιών που προς ώρας δεν δύναται να το ανταγωνιστεί κάποια άλλη τεχνολογία ή συνδυασμός τεχνολογιών. Τόσο μεμονωμένα όσο και συνεργατικά, οι δύο αυτές τεχνολογίες μπορούν να μεταμορφώσουν τους τομείς στους οποίους εφαρμόζονται αλλά και να οδηγήσουν τις εξελίξεις της 4<sup>ης</sup> Βιομηχανικής Επανάστασης αυτοματοποιώντας περαιτέρω διαδικασίες και προσφέροντας παράλληλα ένα αδιάβλητο πέπλο προστασίας και ασφάλειας των δεδομένων.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι να παρουσιάσει με εύληπτο τρόπο τη λειτουργία της Τεχνητής Νοημοσύνης και της τεχνολογίας Blockchain, επιδεικνύοντας την ταυτότητά τους μέσα στο διαρκώς και δυναμικά μεταβαλλόμενο σύγχρονο τεχνολογικό τοπίο, αναγνωρίζοντας απειλές αλλά και κάνοντας μια απόπειρα προβολής του κοινού τους μέλλοντος.

**Λέξεις-Κλειδιά:** Τεχνητή Νοημοσύνη, Blockchain, Αυτοματισμός, Βιομηχανία 4.0

## **Abstract**

*In the modern technological environment technologies operate, and new ones emerge, in a variety of application fields. The aim of this dissertation is to present and highlight two of them: Artificial Intelligence and Blockchain, as well as the way in which the two can coexist and act combined in important technological areas of human activity, upgrading, optimizing, and evolving the automation degree that governs each one of them.*

*The ability of Artificial Intelligence to recognize patterns, to act based on findings and to improve itself as well as the characteristic triptych of Decentralization, Immutability and Traceability that governs Blockchain technology, create a unique blend of technologies that no other technology or combination of technologies can compete with at the moment. Both individually and collaboratively, these two technologies can transform the areas where they are applied and also lead the developments of the 4<sup>th</sup> Industrial Revolution by further automating processes while at the same time offering an inviolable veil of data protection and security.*

*The aim of this thesis is to demonstrate in an intelligible way the operation of Artificial Intelligence and Blockchain technology, presenting their identity in the constantly and dynamically changing, modern technological landscape, recognizing threats but also making an attempt to take a peek at their common future.*

**Key words:** *Artificial Intelligence, Blockchain, Automation, Industry 4.0*

## Πίνακας Περιεχομένων

Ευχαριστίες .....	4
Περίληψη .....	5
Πίνακας Περιεχομένων .....	7
Κατάλογος Εικόνων .....	10
Κατάλογος Πινάκων .....	12
Ευρετήριο.....	13
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	15
Ο όρος “Βιομηχανία” .....	15
Αντικείμενο και σκοπός .....	16
Δομή Πτυχιακής Εργασίας .....	17
1 ΤΕΧΝΗΤΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ .....	19
1.1 Βασικές έννοιες .....	19
1.1.1 Ορισμοί.....	19
1.1.2 Turing Test .....	20
1.2 Ιστορική αναδρομή – Η ΤΝ από τα μέσα του 20 <sup>ου</sup> αιώνα μέχρι σήμερα .....	22
1.3 Αυτόνομα Συστήματα.....	26
1.3.1 Απλά Συστήματα.....	26
1.3.2 Αυτόματα Συστήματα .....	28
1.3.3 Αυτόνομα Συστήματα.....	30
1.4 Έμπειρα Συστήματα.....	32
1.4.1 Ορισμός Έμπειρου Συστήματος.....	32
1.4.2 Γενική λειτουργία, σκοπός και χαρακτηριστικά .....	33
1.4.3 Δομή Έμπειρου Συστήματος.....	34
1.4.4 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα .....	39
1.4.5 Πεδία εφαρμογής .....	40
1.5 Μηχανική Μάθηση.....	41
1.5.1 Παλινδρόμηση .....	42

1.5.2	Ταξινόμηση .....	44
1.5.3	Συσταδοποίηση .....	47
1.6	Υπολογιστική Νοημοσύνη .....	52
1.6.1	Ασαφής Λογική .....	53
1.6.2	Εξελικτικοί Αλγόριθμοι .....	61
1.6.3	Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα .....	68
2	BLOCKCHAIN.....	76
2.1	Οι τεχνολογικές επαναστάσεις του παρελθόντος και η επανάσταση του Blockchain.....	76
2.2	Το Blockchain και η φιλοσοφία του.....	78
2.3	Βασικές έννοιες .....	81
2.4	Τι είναι το Blockchain .....	84
2.4.1	Κατηγορίες Blockchain.....	85
2.4.2	Λειτουργία και χρησιμότητα .....	86
2.4.3	Οφέλη υιοθέτησης της τεχνολογίας Blockchain.....	91
2.5	Τα Έξυπνα Συμβόλαια.....	93
2.6	Οι Αποκεντρωμένες Εφαρμογές.....	94
3	ΣΥΜΠΡΑΞΗ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗΣ & BLOCKCHAIN.....	97
3.1	Συνδυασμός Τεχνητής Νοημοσύνης και Blockchain .....	97
3.1.1	Τι προσφέρει η Τεχνητή Νοημοσύνη στο Blockchain.....	97
3.1.2	Τι προσφέρει το Blockchain στην Τεχνητή Νοημοσύνη .....	98
3.2	Ενδεικτικοί τομείς σύμπραξης.....	100
3.2.1	Κυβερνοασφάλεια .....	100
3.2.2	Οικονομία .....	102
3.2.3	Υγεία .....	104
3.2.4	Δημόσια Διοίκηση.....	106
3.2.5	Ενέργεια.....	108
3.2.6	Παραγωγικές διαδικασίες .....	112
4	ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΣΜΟΙ .....	118



4.1	Προβληματισμοί περί Τεχνητής Νοημοσύνης.....	118
4.1.1	Μείωση θέσεων εργασίας.....	118
4.1.2	Κοινωνικοοικονομική ανισότητα.....	120
4.1.3	Δημιουργία ψευδών βίντεο.....	121
4.1.4	Παραβιάσεις απορρήτου.....	124
4.1.5	Αυτοματοποίηση όπλων.....	128
4.1.6	Ανάγκη για ρυθμιστικό πλαίσιο.....	129
4.2	Προβληματισμοί περί Blockchain.....	131
4.2.1	Περιβαλλοντικά ζητήματα.....	131
4.2.2	Αποσταθεροποίηση αγοράς.....	131
4.2.3	Απάτες.....	133
4.2.4	Άλλες σκιάδεις δραστηριότητες.....	134
4.2.5	Ανάγκη για ρυθμιστικό πλαίσιο.....	136
5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	137
5.1	Η Τεχνητή Νοημοσύνη και το Blockchain στην καινοτομία.....	137
5.2	Επικουρικές τεχνολογίες και η ευκαιρία του Αυτοματισμού.....	139
5.3	Το μέλλον όπως προδιαγράφεται.....	141
	Βιβλιογραφία.....	144

## Κατάλογος Εικόνων

<b>Εικόνα 1.1:</b> Ο Alan M. Turing .....	20
<b>Εικόνα 1.2:</b> Παιχνίδι Μίμησης .....	20
<b>Εικόνα 1.3:</b> Turing Test .....	20
<b>Εικόνα 1.4:</b> Η διεπαφή χρήστη του Eugene Goostman .....	21
<b>Εικόνα 1.5:</b> Διάγραμμα ενδεικτικών υποσυνόλων της Τεχνητής Νοημοσύνης .....	25
<b>Εικόνα 1.6:</b> Τυπικό διάγραμμα απεικόνισης συστήματος .....	26
<b>Εικόνα 1.7:</b> Παράδειγμα συστήματος ανοικτού βρόχου .....	27
<b>Εικόνα 1.8:</b> Παράδειγμα επίδρασης θορύβου σε ένα σύστημα .....	28
<b>Εικόνα 1.9:</b> Τυπικό διάγραμμα απεικόνισης αυτόματου συστήματος .....	29
<b>Εικόνα 1.10:</b> Παράδειγμα συστήματος κλειστού βρόχου .....	30
<b>Εικόνα 1.11:</b> Παράδειγμα Αυτόνομου Συστήματος .....	31
<b>Εικόνα 1.12:</b> Ροή πληροφορίας σε ένα τυπικό Έμπειρο Σύστημα .....	35
<b>Εικόνα 1.13:</b> Διαδικασία αποθήκευσης γνώσης σε ένα Έμπειρο Σύστημα .....	37
<b>Εικόνα 1.14:</b> Επικοινωνία τελικού χρήστη με Έμπειρο Σύστημα .....	38
<b>Εικόνα 1.15:</b> Ενδεικτικοί τύποι Παλινδρόμησης .....	43
<b>Εικόνα 1.16:</b> Παράδειγμα υλοποίησης μοντέλου πολυωνυμικής παλινδρόμησης .....	44
<b>Εικόνα 1.17:</b> Τυπικό Διάγραμμα Ροής εκπαίδευσης και λειτουργίας μοντέλου Ταξινόμησης .....	45
<b>Εικόνα 1.18:</b> Γραφική αναπαράσταση εκπαιδευτικού συνόλου δεδομένων με είδη ζώων .....	46
<b>Εικόνα 1.19:</b> Γραφική αναπαράσταση ταξινόμησης των δεδομένων .....	46
<b>Εικόνα 1.20:</b> Παράδειγμα Συσταδοποίησης .....	47
<b>Εικόνα 1.21:</b> Διαφοροποίηση συσταδοποίησης βάσει επιθυμητού πλήθους συστάδων .....	48
<b>Εικόνα 1.22:</b> Ομαδοποίηση νέας οντότητας με προσέγγιση εγγύτερου γείτονα (3 clusters) .....	49
<b>Εικόνα 1.23:</b> Ομαδοποίηση νέας οντότητας με προσέγγιση κέντρων (3 clusters) .....	50
<b>Εικόνα 1.24:</b> Ομαδοποίηση νέας οντότητας με προσέγγιση εγγύτερου γείτονα (4 clusters) .....	50
<b>Εικόνα 1.25:</b> Ομαδοποίηση νέας οντότητας με προσέγγιση κέντρων (4 clusters) .....	51
<b>Εικόνα 1.26:</b> Απόσταση μεταξύ δύο αντικειμένων .....	53
<b>Εικόνα 1.27:</b> Απόσταση μεταξύ δύο οχημάτων με δυαδική προσέγγιση τιμών .....	54

<b>Εικόνα 1.28:</b> Απόσταση μεταξύ δύο οχημάτων με ασαφή προσέγγιση τιμών .....	55
<b>Εικόνα 1.29:</b> Γραφικές απεικονίσεις προσεγγίσεων των τιμών «κοντά-μακριά» .....	55
<b>Εικόνα 1.30:</b> Ασαφείς μεταβλητές προβλήματος και πεδία τιμών τους.....	56
<b>Εικόνα 1.31:</b> Γραφικές αναπαραστάσεις κανόνων του ευφυούς συστήματος πέδησης.....	58
<b>Εικόνα 1.32:</b> Διάγραμμα Συστήματος Ασαφούς Λογικής.....	60
<b>Εικόνα 1.33:</b> Τυπικό Διάγραμμα Ροής ενός Εξελικτικού Αλγόριθμου.....	64
<b>Εικόνα 1.34:</b> Παράδειγμα λειτουργίας Γενετικών Τελεστών .....	65
<b>Εικόνα 1.35:</b> Γραφική αναπαράσταση "ρουλέτας γονικής επιλογής" .....	65
<b>Εικόνα 1.36:</b> Εξαπλουστευμένη αναπαράσταση βιολογικού νευρώνα .....	69
<b>Εικόνα 1.37:</b> Αντιστοίχιση Συστήματος (α) με βιολογικό νευρώνα (β) και Αντιληπτήρα (γ) .....	69
<b>Εικόνα 1.38:</b> Λειτουργία αντιληπτήρα (α) και τυπική απεικόνισή του (β).....	70
<b>Εικόνα 1.39:</b> Παραδείγματα μονοστρωματικών ΤΝΔ.....	71
<b>Εικόνα 1.40:</b> Παράδειγμα πολυστρωματικού ΤΝΔ.....	72
<b>Εικόνα 1.41:</b> Ενδεικτικές αναπαραστάσεις εξόδων βάσει αρχιτεκτονικής ΤΝΔ .....	73
<b>Εικόνα 1.42:</b> Τυπικό Διάγραμμα Ροής εκπαίδευσης και λειτουργίας ΤΝΔ .....	74
<b>Εικόνα 2.1:</b> Συγκεντρωτικό Σύστημα (α), Αποκεντρωμένο Σύστημα (β), Κατανεμημένο Σύστημα (γ) .	80
<b>Εικόνα 2.2:</b> Γραφική αναπαράσταση Αλυσίδας Μπλοκ.....	83
<b>Εικόνα 3.1:</b> Κέντρο Heydar Aliyev.....	113
<b>Εικόνα 4.1:</b> Ο ψηφιακά δημιουργημένος πρώην Πρόεδρος των ΗΠΑ και ο ηθοποιός Jordan Peele .	122
<b>Εικόνα 4.2:</b> Γράφημα από προωθητικό υλικό της Clearview σε υπηρεσίες επιβολής του νόμου .....	126
<b>Εικόνα 4.3:</b> Φάρμα εξόρυξης κρυπτονομισμάτων στην Κίνα.....	132
<b>Εικόνα 4.4:</b> Απευθείας μεταφορά κρυπτονομισμάτων (α) ή μέσω συνδυαστικής υπηρεσίας (β) .....	134
<b>Εικόνα 4.5:</b> Μεταφορά κεφαλαίων μέσω συνδυαστικής υπηρεσίας κατακερματισμού .....	135

## Κατάλογος Πινάκων

<b>Πίνακας 1:</b> Ημερομηνίες ορόσημα για την Τεχνητή Νοημοσύνη .....	23
<b>Πίνακας 2:</b> Οι δομικές διαφορές των Έμπειρων Συστημάτων από τα συμβατικά.....	33

## Ευρετήριο

Blockchain .....	76	Initial Coin Offering .....	103
Genesis Block.....	82	<b>Manufacturing as a Service</b> .....	116
Αλυσίδα Συστοιχιών.....	82	Smartcheckr .....	125
Έξυπνο Συμβόλαιο .....	83, 93	Turing Test .....	20
Κατακερματισμός.....	82	Virtual Power Plants.....	111
Κατηγορίες		VPP.....	111
Δημόσιοι Κατάλογοι.....	85	Αποκεντρωμένες Εφαρμογές.....	94
Ιδιωτικοί Κατάλογοι .....	85	Ασαφής Λογική .....	53
Κοινοπρακτικοί Κατάλογοι.....	86	Αποασαφοποιητής.....	59
Υβριδικοί Κατάλογοι.....	86	Ασάφεια .....	53
Κόμβος .....	83	Ασαφοποιητής .....	59
Μηχανισμός Συναίνεσης.....	83	Βάση Γνώσης.....	59
Delegated Proof of Stake.....	90	Μηχανή Ασαφούς Συμπεράσματος.....	59
Practical Proof of Kernel Work .....	141	Βιομηχανία.....	15
Proof of Activity.....	90	Γενετικός Σχεδιασμός .....	112
Proof of Authority.....	91	Εξελικτικοί Αλγόριθμοι .....	61
Proof of Burn .....	90	<b>Αλληλόμορφο</b> .....	62
Proof of Capacity .....	91	<b>Αναπαραγωγή</b> .....	64
Proof of Elapsed Time.....	91	<b>Αξιολόγηση</b> .....	63
<i>Proof of Stake</i> .....	89	<b>Αρχικοποίηση</b> .....	63
<i>Proof of Work</i> .....	89	Γενεά .....	62
Μπλοκ δεδομένων .....	82	<b>Γενετικός Τόπος</b> .....	62
Συναλλαγή.....	82	Γενότυπος.....	62
Υπηρεσία Συνδυασμένων Πορτοφολιών .....	134	<b>Γονιδιακή Δεξαμενή</b> .....	62
Χαρακτηριστικά		<b>Γονιδιακή Θέση</b> .....	62
Αμεταβλητότητα.....	80	Γονίδιο.....	62
Αποκέντρωση .....	79	<b>Δημιουργία νέας γενιάς</b> .....	63
Διαφάνεια.....	81	<b>Διασταύρωση</b> .....	64
Ιχνηλασιμότητα .....	81	<b>Ελιτισμός</b> .....	63
Clearview AI .....	125	<b>Επιλογή</b> .....	63
Cobotics.....	114	<b>Μετάλλαξη</b> .....	64
DApps.....	94	Πληθυσμός.....	62
Decentralized Finance.....	95	<b>Ρουλέτα γονικής επιλογής</b> .....	65
DeepFake .....	121	Χρωμόσωμα .....	62
DeFi .....	95	<b>Κρυπτονόμισμα</b> .....	81
Financial Technology.....	102	Μηχανική Μάθηση .....	41
FinTech .....	102	Παλινδρόμηση .....	42
Generative Design .....	112	Συσταδοποίηση.....	47
Homomorphic Computation .....	99	Ταξινόμηση .....	44
ICO.....	103		

Τύποι εκπαίδευσης		Αυτόνομα Συστήματα .....30, 31
<b>Ενισχυτική Μάθηση</b> .....	41	Έμπειρα Συστήματα ..... 32
Επιτηρούμενη Μάθηση.....	41	Δομή ..... 34
Ημι-επιτηρούμενη Μάθηση.....	41	Ευφυές Υπολογιστικό Σύστημα..... 19
Μη Επιτηρούμενη Μάθηση.....	41	Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα ..... 68
Ομομορφική Υπολογιστική.....	99	<b>Αντιληπτήρας</b> ..... 69
<b>Παραγωγή ως Υπηρεσία</b> .....	116	Τεχνητή Νοημοσύνη..... 19
<b>Συνεργατική ρομποτική</b> .....	114	Ευφυές Υπολογιστικό Σύστημα..... 19
Συστήματα.....	26	Υπολογιστική Νοημοσύνη..... 52
Απλά Συστήματα.....	26	Φάρμες Εξόρυξης..... 131
Αυτόματα Συστήματα.....	28	

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### Ο όρος “Βιομηχανία”

Συχνά ο όρος “Βιομηχανία” συγχέεται λανθασμένα με τη φράση “Βαριά Βιομηχανία”, η οποία αποτελείται από τεράστιες παραγωγικές μονάδες. Στην ουσία της, η λέξη “Βιομηχανία” αποτελεί έναν ευρύτατο όρο που περιγράφει την παραγωγή αγαθών και υπηρεσιών σε μια οικονομία [1]. Το αρχικό μοντέλο τριών τομέων που είχε προταθεί κατά το πρώτο μισό του 20<sup>ου</sup> αιώνα [2], επεκτάθηκε ώστε να αντιπροσωπεύει καλύτερα το σύγχρονο βιομηχανικό πεδίο [3]. Πιο συγκεκριμένα οι πέντε (5) τομείς της βιομηχανίας είναι:

1. **Πρωτογενής Τομέας:** Αφορά την εξαγωγή και παραγωγή πρώτων υλών, οι οποίες θα αποτελέσουν δομικά υλικά για την δημιουργία αγαθών και υπηρεσιών από τον Δευτερογενή Τομέα. Στον Πρωτογενή Τομέα ανήκουν δραστηριότητες όπως η γεωργία, η αλιεία, η εξόρυξη μεταλλευμάτων, κλπ.
2. **Δευτερογενής Τομέας:** Διακρίνεται σε “Βαρύ” και “Ελαφρύ” (συχνά αναφέρεται ως “Βαριά” και “Ελαφριά Βιομηχανία” αντίστοιχα) με βάση την ποσότητα πρώτων υλών και εξοπλισμού που απαιτείται για την παραγωγή ενός προϊόντος. Περιλαμβάνει δραστηριότητες από τον μεταποιητικό και τον κατασκευαστικό κλάδο.
3. **Τριτογενής Τομέας:** Αφορά την παροχή υπηρεσιών και άυλων αγαθών ενώ συχνά καλείται και ως “Βιομηχανία Υπηρεσιών”. Στον Τριτογενή Τομέα ανήκουν δραστηριότητες όπως η μεταφορά και διανομή εμπορευμάτων, η αποκομιδή απορριμμάτων, ο τζόγος, κλπ.
4. **Τεταρτογενής Τομέας:** Περιλαμβάνει δραστηριότητες παραγωγής, μετάδοσης και διαμοιρασμού πληροφοριών. Σε αυτόν τον τομέα ανήκουν δραστηριότητες όπως η εκπαίδευση, τα μέσα μαζικής ενημέρωσης, οι συμβουλευτικές υπηρεσίες, η έρευνα και ανάπτυξη, κλπ.
5. **Πεμπτογενής Τομέας:** Επικεντρώνεται σε υπηρεσίες προς τον άνθρωπο και τον κοινωνικό έλεγχο. Παραδείγματα τέτοιων δραστηριοτήτων είναι η διακυβέρνηση ενός κράτους, οι φιλανθρωπικές δράσεις, κλπ. Μπορεί επίσης να περιλαμβάνει ειδικές και υψηλά αμειβόμενες δεξιότητες ανώτερων και ανώτατων στελεχών από τον δημόσιο

και ιδιωτικό τομέα, όπως κυβερνητικοί αξιωματούχοι, διευθυντικά στελέχη, ειδικοί επιστημονικοί συνεργάτες, κ.α.

Γίνεται σαφές ότι ο όρος “Βιομηχανική Παραγωγή” δεν θα πρέπει να περιορίζεται στον στενότερο κύκλο του Δευτερογενούς Τομέα, καθότι είναι ξεκάθαρο ότι η παραγωγή υφίσταται ως διαδικασία και στους πέντε (5) τομείς της βιομηχανικής δραστηριότητας.

Οι αποκτηθείσες πολύπλευρες και διεπιστημονικές γνώσεις που αποκτούν όσοι σπουδαστές στοχεύουν να καταξιωθούν επαγγελματικά ως *Μηχανικοί Αυτοματισμών και Συστημάτων*, δημιουργούν ένα ευρύ υπόβαθρο αντίληψης των μηχανισμών που διέπουν όλο το φάσμα της Βιομηχανίας. Αυτό επιτυγχάνεται αρχικά με την πλήρη κατανόηση του όρου “Σύστημα” και της αποδοχής ότι τα πάντα γύρω μας μπορούν να περιγραφούν ως Συστήματα. Ως εκ τούτου, οι *Μηχανικοί Αυτοματισμών και Συστημάτων* μπορούν να δραστηριοποιηθούν σε οποιοδήποτε κομμάτι της Βιομηχανίας, με ιδιαίτερη όμως έμφαση στον τεχνολογικό τομέα.

## **Αντικείμενο και σκοπός**

Η Βιομηχανία υπήρξε ανέκαθεν ένας χώρος διαρκούς καινοτομίας και εξέλιξης, με τους επιμέρους κλάδους της να συνεισφέρουν και να ανταλλάσσουν τεχνογνωσία, οδηγώντας την ανθρωπότητα σε νέα επιτεύγματα. Αυτό δεν θα ήταν ποτέ εφικτό εάν δεν υιοθετούνταν νέες ιδέες, μεθοδολογίες και προϊόντα μέσα από τον πειραματισμό και την απόκτηση γνώσης που απορρέει από αυτή την αέναη διαδικασία.

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία έχει ως αντικείμενο να εξετάσει την υφιστάμενη αλλά και μελλοντικά δυνητική συνδρομή δύο εκ των πιο ανερχόμενων τεχνολογιών της εποχής μας, την Τεχνητή Νοημοσύνη και το Blockchain, οι οποίες έχουν ήδη αποκτήσει ενεργό ρόλο στην εξέλιξη και την ανάπτυξη του τεχνολογικού τοπίου. Ο συνδυασμός της Τεχνητής Νοημοσύνης και του Blockchain διαφαίνεται να αποτελεί ένα *στάδιον δόξης λαμπρόν*, όμως κρίνεται ιδιαίτερα απαραίτητο να σημειωθεί ότι στην παρούσα φάση, διανύει τα πρώτα του βήματα.

Σκοπός είναι να παραχθεί ένας εύληπτος οδηγός ο οποίος θα αποτελέσει προθάλαμο γνώσης για όσους επιθυμούν να γνωρίσουν ή και να αξιοποιήσουν τα χαρακτηριστικά αυτών



των δύο ρηξικέλευθων τεχνολογιών σε εφαρμογές που άπτονται σε κάθε πτυχή των δραστηριοτήτων του Βιομηχανικού τομέα.

Για την εκπόνηση της παρούσης, δομήθηκε ένας βασικός σκελετός των περιεχομένων ώστε να συγκεντρωθεί και να ιεραρχηθεί ένα πρώτο επιστημονικό υλικό, όπως επίσης και να εντοπιστούν τυχόν κενά στη διαθέσιμη βιβλιογραφία, έκβαση που ήταν αναμενόμενη καθώς ο συνδυασμός της Τεχνητής Νοημοσύνης και τεχνολογίας Blockchain είναι ένα πεδίο που βρίσκεται ακόμα σε σχεδόν πειραματικό στάδιο. Ωστόσο, πολλά από τα εμπόδια που εμφανίστηκαν, ξεπεράστηκαν μέσα από γνώσεις που αποκτήθηκαν αλλά και από διαβουλεύσεις εντός του εργασιακού περιβάλλοντος του γράφοντος.

## **Δομή Πτυχιακής Εργασίας**

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία πραγματεύεται την ενσωμάτωση της Τεχνητής Νοημοσύνης όσο και της τεχνολογίας Blockchain στη Βιομηχανία, τόσο μεμονωμένα όσο και συνδυαστικά, καθώς και τον αναμενόμενο αντίκτυπό τους. Για την καλύτερη απόδοση του περιεχόμενου, η Εργασία έχει καταταμηθεί σε πέντε (5) Κεφάλαια τα οποία παρουσιάζουν βαθμηδόν όλες τις απαραίτητες πληροφορίες, ώστε να γίνονται κατανοητές ακόμα και από αναγνώστες που δεν διαθέτουν το σχετικό γνωστικό υπόβαθρο.

Στο πρώτο κεφάλαιο, γίνεται μια εισαγωγή στην Τεχνητή Νοημοσύνη κάνοντας μια ιστορική αναδρομή για το πώς η ανθρωπότητα ανέβηκε τα σκαλοπάτια της προόδου, ξεκινώντας από ένα απλό εργαλείο, περνώντας από τα εξελικτικά βήματα του απλού και αυτόματου ελέγχου, φτάνοντας εν τέλει στα ευφυή συστήματα. Επίσης, παρουσιάζονται κάποιες βασικές τεχνικές της Τεχνητής Νοημοσύνης ώστε ο αναγνώστης να αποκτήσει μια σφαιρική άποψη για τον τρόπο που αξιοποιείται η τεχνολογία αυτή ως εργαλείο.

Το δεύτερο κεφάλαιο αφορά την τεχνολογία Blockchain της οποίας η γνώση είναι περιορισμένη στο ευρύ κοινό, ακόμα και ως έννοια. Συχνά η τεχνολογία Blockchain περιγράφεται με αφηρημένους ή και αφαιρετικούς τρόπους. Το κεφάλαιο αυτό επιχειρεί να περιγράψει τις ιδιότητες, τις λειτουργίες και τα πλεονεκτήματα εφαρμογής του Blockchain με απλό, σαφή αλλά και πλήρη τρόπο.

Το τρίτο κεφάλαιο περιστρέφεται γύρω από τη συνύπαρξη των δύο τεχνολογιών σε ένα κοινό πεδίο δράσης ενώ αναφέρεται και η προσφορά της κάθε μίας στην άλλη. Στη συνέχεια, γίνεται επιλογή μερικών ενδεικτικών τομέων όπου η Τεχνητή Νοημοσύνη και το Blockchain μπορούν να συνυπάρξουν, να δώσουν περισσότερες λύσεις καθώς και να προσθέσουν αξία σε διεργασίες και παραγόμενα αποτελέσματα, ενώ η κριτική σκέψη του αναγνώστη οδηγείται ενσυναίσθητα και ασυναίσθητα στο να δημιουργήσει επιπρόσθετα σενάρια χρήσης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο εκτίθενται προβληματισμοί που εγείρονται από την υιοθέτηση των δύο τεχνολογιών, με την Τεχνητή Νοημοσύνη να απειλεί περισσότερο τον παράγοντα άνθρωπο ενώ το Blockchain να φέρνει στο προσκήνιο περιβαλλοντικά ζητήματα και κακόβουλες πρακτικές. Επίσης, περιγράφεται η ανάγκη για την ύπαρξη ενός ορθά δομημένου ρυθμιστικού πλαισίου για την κάθε τεχνολογία, καθότι και οι δύο είναι νέες και τρέχουν ανεξέλεγκτα με ταχύτατους ρυθμούς.

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα εξαγόμενα συμπεράσματα της εργασίας σχετικά με το πώς η Τεχνητή Νοημοσύνη και το Blockchain μπορούν να οδηγήσουν συμπορευόμενες την καινοτομία τα επόμενα χρόνια, με στόχο να μετασχηματίσουν το τεχνολογικό τοπίο, δημιουργώντας μια νέα δυναμική.

# 1 ΤΕΧΝΗΤΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ

## 1.1 Βασικές έννοιες

### 1.1.1 Ορισμοί

Η Τεχνητή Νοημοσύνη καλείται να προσομοιώσει τον τρόπο κατά τον οποίο το ανθρώπινο μυαλό προσλαμβάνει πληροφορίες από το περιβάλλον του, τις αντιλαμβάνεται, και μαθαίνει από αυτές, χρησιμοποιώντας τις ως γνώση σε μελλοντικές εφαρμογές. Κατά τους Avron Barr και Edward A. Feigenbaum:

*“Τεχνητή Νοημοσύνη είναι ο τομέας της επιστήμης των υπολογιστών που ασχολείται με τη σχεδίαση ευφυών υπολογιστικών συστημάτων.”*

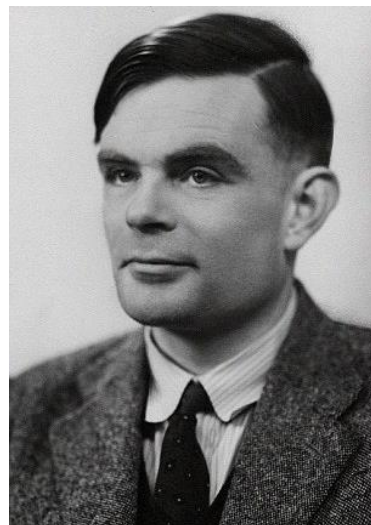
Με τον όρο “ευφύες υπολογιστικό σύστημα”, ορίζουμε το σύστημα εκείνο που επιδεικνύει χαρακτηριστικά ανθρώπινης συμπεριφοράς που σχετίζονται με την ευφυΐα. Τέτοια χαρακτηριστικά, μεταξύ άλλων, είναι η μάθηση, η οργανωτικότητα, η δυνατότητα επίλυσης προβλημάτων, η αναγνώριση μοτίβων, ακόμα και η ίδια η σκέψη.

Ως “σκέψη” εννοούμε την ανθρώπινη νοητική ικανότητα επεξεργασίας κατεργασμένων νοητικών συμβόλων (ιδεών) η οποία οδηγεί στη δημιουργία νέων ιδεών. Σημειώνεται επίσης ότι μια ιδέα μπορεί να αποτελείται από πολλές άλλες και να μην αποτελεί ένα απλό παράγωγο άλλων.

Ένα σύγχρονο υπολογιστικό σύστημα μπορεί να επεξεργαστεί περιορισμένο αριθμό συμβόλων, εφόσον προγραμματιστεί εκ των προτέρων με κατάλληλο τρόπο ώστε να τα αναγνωρίζει.

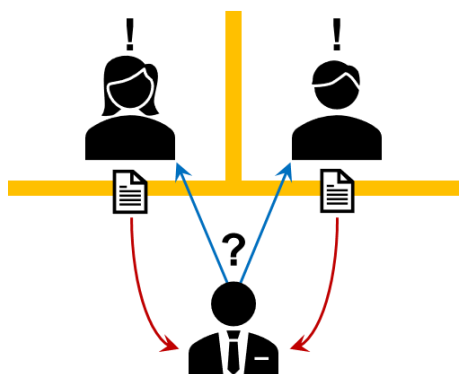
### 1.1.2 Turing Test

Ο Άγγλος μαθηματικός Alan Matheson Turing (1912-1954) ήταν ο πρώτος που εισήγαγε την έννοια της Τεχνητής Νοημοσύνης [4]. Παράλληλα, έθεσε το φιλοσοφικό ερώτημα για το αν οι μηχανές μπορούν να σκεφτούν και δημιούργησε ένα παιχνίδι μίμησης (μτφρ. *imitation game*). Το παιχνίδι αυτό, που ονομάστηκε “Turing Test”, συμπεριλαμβάνει τρεις οντότητες: έναν εξεταστή και δύο ερωτώμενους. Στην αρχική του μορφή, οι ερωτώμενοι, ένας άνδρας και μία γυναίκα, βρίσκονται σε διαφορετικά δωμάτια, τόσο μεταξύ του όσο και από τον εξεταστή ο οποίος τους απευθύνει ερωτήσεις. Εκείνοι απαντούν γραπτώς προκειμένου να μην αποκαλυφθούν από

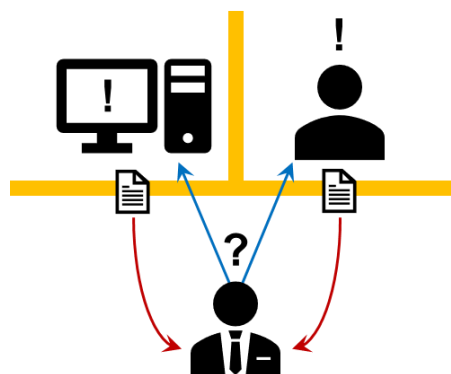


Εικόνα 1.1: Ο Alan M. Turing

τον τόνο ή τη χροιά της φωνής τους. Σκοπός του εξεταστή είναι να αναγνωρίσει το φύλο του κάθε ερωτώμενου. Στην τελική του μορφή, εκεί όπου το Turing Test άπτεται της Τεχνητής Νοημοσύνης, ο εξεταστής καλείται να προβεί σε επιτυχή αναγνώριση μεταξύ ενός ανθρώπου και μιας υπολογιστικής μηχανής. Κατ’ επέκταση, μια μηχανή μπορεί να χαρακτηριστεί ευφυής όταν επιδεικνύει επιτυχώς στοιχεία ανθρώπινης συμπεριφοράς και ο εξεταστής δεν βρίσκεται σε θέση να μαντέψει σωστά αν οι απαντήσεις που έλαβε προέρχονται από άνθρωπο ή μηχανή.



Εικόνα 1.2: Παιχνίδι Μίμησης



Εικόνα 1.3: Turing Test

Ο Turing είχε εκτιμήσει πως έως το έτος 2000, θα έχουν κατασκευαστεί τόσο ευφυείς μηχανές όπου οι εξεταστές, ύστερα από 5 λεπτά “ανάκρισης”, δεν θα μπορούν να κάνουν επιτυχείς εκτιμήσεις σε ποσοστό άνω του 70%. Οι τεχνολογικές συνθήκες δεν επέτρεψαν την πραγματοποίηση αυτής της πρόβλεψης στην αρχή της χιλιετίας. Παρόλα αυτά, λίγα χρόνια αργότερα, και πιο συγκεκριμένα στις 7 Ιουνίου 2014, ένα chatbot ονόματι Eugene Goostman, κατόρθωσε να περάσει το Turing Test έχοντας αποσπάσει 33% λανθασμένες εκτιμήσεις από πλευράς εξεταστών. Οι προγραμματιστές του, Vladimir Veselov, Eugene Demchenko και Sergey Ulasen, του είχαν αποδώσει την ταυτότητα ενός 13χρονου αγοριού από την Ουκρανία και ο Eugene κατάφερε να πείσει 10 από τους συνολικά 30 κριτές του διαγωνισμού ότι είναι άνθρωπος. Η εγκυρότητα αυτής της επιτυχίας αντιμετωπίστηκε με σκεπτικισμό. Το γεγονός ότι στο chatbot αποδόθηκε η ταυτότητα ενός έφηβου από την Ουκρανία, που δεν γνωρίζει άριστα την Αγγλική γλώσσα, θεωρήθηκε ότι αποσκοπούσε στην παραπλάνηση των εξεταστών ώστε να συγχωρούν άθελά τους τις “άτσαλες” απαντήσεις του Eugene. Ο Marvin Minsky [5], ένας από τους επιφανέστερους επιστήμονες στον τομέα της Τεχνητής Νοημοσύνης, χαρακτήρισε την όλη διαδικασία ως ένα “κακοσχεδιασμένο πείραμα” από το οποίο δεν προκύπτει γνώση και αντέτεινε “Ρωτήστε το πρόγραμμα εάν μπορεί να σπρώξει ένα αυτοκίνητο χρησιμοποιώντας ένα νήμα. Και αν όχι, τότε για ποιο λόγο;”. Δεν ήταν λίγοι εκείνοι που έσπευσαν να δοκιμάσουν τις ικανότητες του Eugene, μεταξύ των οποίων και ο γράφων. Οι γενικές κριτικές που απέσπασε ο Eugene όσο ήταν online, δεν ήταν ιδιαίτερα θετικές καθώς ακόμα και απλοί χρήστες αντιλαμβάνονταν εύκολα ότι έχουν να κάνουν με ένα πρόγραμμα υπολογιστή, καθώς αυτό φανερώνονταν μέσα από το παράξενο χιούμορ, τις απαντήσεις που κατά το ήμισυ ήταν εκτός θέματος και στην ανακύκλωση απαντήσεων όπου οι χρήστες μπορούσαν χωρίς ιδιαίτερη δυσκολία να τον παγιδεύσουν [6]. Παρόλες τις αμφισβητήσεις και τις διαμάχες που ξεκίνησαν εξαιτίας του Eugene, το μόνο σίγουρο είναι ότι αποτέλεσε ένα ορόσημο στον χώρο της Τεχνητής Νοημοσύνης.



Εικόνα 1.4: Η διεπαφή χρήστη του Eugene Goostman

## 1.2 Ιστορική αναδρομή – Η ΤΝ από τα μέσα του 20<sup>ου</sup> αιώνα μέχρι σήμερα

Η σύλληψη των αυτόματων ή/και ευφυών συστημάτων δεν είναι πρόσφατη. Η καταγωγή της μετράει πολλούς αιώνες πίσω. Ευφυή συστήματα, και μάλιστα με ανθρώπινη μορφή, συναντάμε ήδη από τον Όμηρο. Στην Ιλιάδα [7], και πιο συγκεκριμένα στην Ραψωδία Σ η οποία ονομάζεται και “Οπλοποιία”, ο επικός ποιητής περιγράφει το εργαστήριο του θεού Ηφαίστου. Μέσα από τις περιγραφές αυτές διακρίνονται πολλά αυτόματα συστήματα που αποτελούν εξοπλισμό εργαστηρίου, όπως τα Αυτορρυθμιζόμενα Φυσερά τα οποία ενεργοποιούνταν με φωνητικές εντολές (κελεύσματα) από τον θεό (*Ομήρου Ιλιάδα, Σ468-477*). Αναφέρονται επίσης και κατασκευές του Ηφαίστου, όπως οι Αυτόματοι Τρίποδες με τις χρυσές ρόδες, που από μόνοι τους εισέρχονταν και εξέρχονταν στις συνάξεις των θεών (*Ομήρου Ιλιάδα, Σ372-377*). Όσο εντυπωσιακά και αν φαίνονται ως συλλήψεις της εποχής τα αυτοκινούμενα σκεύη και τα voice-activated φυσερά, τίποτα δεν μπορεί να επισκιάσει τις χρυσές κορασίδες (βάγιες) του Ηφαίστου, “απαράλλαχτες με ζωντανές κοπέλες, με εξυπνάδα και μιλιά και δύναμη” (*Ομήρου Ιλιάδα, Σ410-422*). Είναι σαφής εδώ η περιγραφή, όχι ενός απλού αυτόματου αλλά ενός ανδροειδούς συστήματος εξοπλισμένο με νοημοσύνη.

Ακόμα και αν αφήσουμε τη σφαίρα της μυθολογίας, υπάρχουν ενδείξεις σε αρχαία και μη κείμενα που δείχνουν την επιθυμία των ανθρώπων να παραγάγουν αυτόνομα συστήματα που θα τους εξυπηρετούν. Η αυξανόμενη αυτή επιθυμία οδηγούσε τις σκέψεις των εφευρετών και των επιστημόνων σε μεταγενέστερα εξελικτικά βήματα όπου οι τεχνολογίες θα γίνονταν αυτόνομες και εν τέλει ευφυείς. Φυσικά, οι υφιστάμενες υποδομές των προηγούμενων αιώνων δεν άφηναν περιθώρια στους τότε πρωτοπόρους της τεχνολογικής σκέψης.

Τα πρώτα σημαντικά βήματα έγιναν σε θεωρητικό επίπεδο το 1854, όταν ο George Boole έβαλε τα θεμέλια της προτασιακής λογικής [8]. Έκτοτε, ακολούθησαν και άλλες ημερομηνίες-ορόσημα:

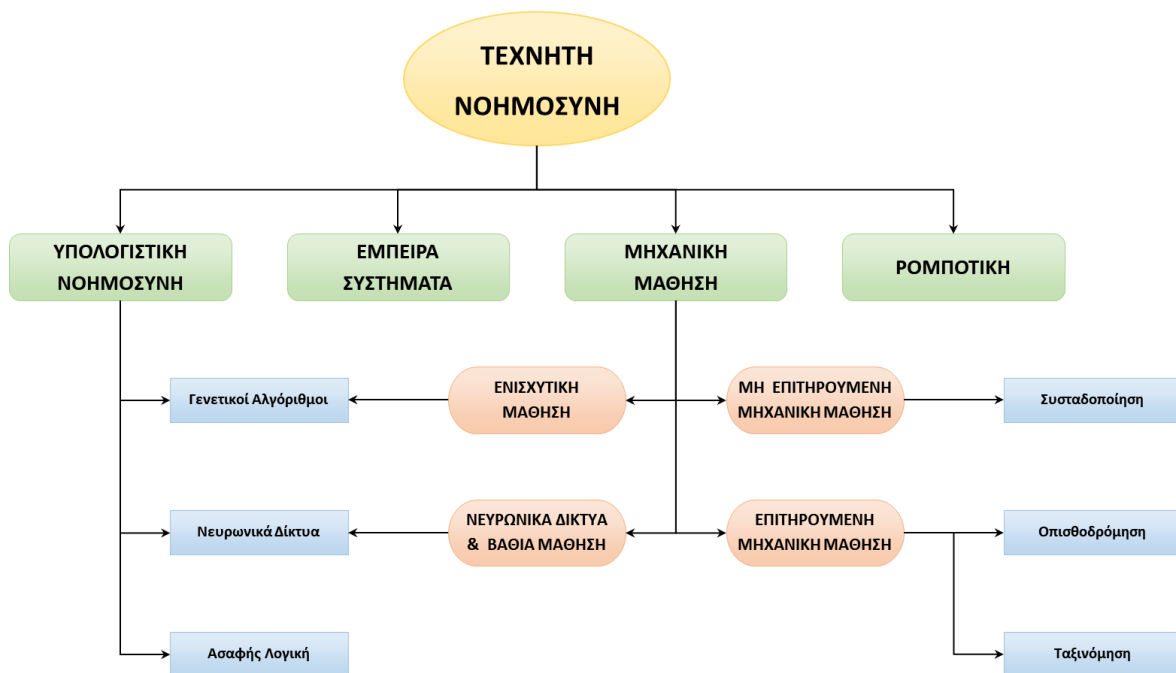
**Πίνακας 1:** Ημερομηνίες ορόσημα για την Τεχνητή Νοημοσύνη

1943-56 - Η γέννηση της Τεχνητής Νοημοσύνης	
1943	Οι Warren Sturgis McCulloch και Walter Pitts δημοσίευσαν σε εργασία το πρώτο μοντέλο τεχνητού νευρωνικού δικτύου που έχει τη δυνατότητα να μαθαίνει και να υπολογίζει κάθε υπολογίσιμη συνάρτηση [9].
1949	Ο Καναδός Donald Olding Hebb εισάγει τον “κανόνα μάθησης” [10].
1950	Ο Alan Turing, που θεωρείται ο πατέρας της Τεχνητής Νοημοσύνης, εμπνέεται το παιχνίδι της μίμησης (Turing Test) για την αναγνώριση ευφύων μηχανών [4].
1951	Οι Marvin Minsky και Dean Edmonds υλοποιούν το πρώτο νευρωνικό δίκτυο, το SNARC (Stochastic Neural Analog Reinforcement Calculator), το οποίο απαρτίζεσαι από 40 νευρώνες και 3000 λυχνίες [11].
1956-70 - Πρώτη φάση ανάπτυξης της Τεχνητής Νοημοσύνης.	
1956	Συνάντηση ερευνητών από το χώρο των Μαθηματικών, της Ηλεκτρονικής και Ψυχολογίας (McCarthy, Allen Newell, Herbert Simon, Marvin Minsky), στο Dartmouth College, με κοινό στόχο τη μελέτη δυνατοτήτων χρήσης των υπολογιστών για την προσομοίωση της ανθρώπινης νοημοσύνης [12].
1958	Ο Frank Rosenblatt εισάγει το μοντέλο του αντιληπτήρα ( <i>μτφρ. perceptron</i> ) [13].
1958	Δημιουργία της γλώσσας Lisp από τον McCarthy [14] [15].
1959	Οι Bernard Widrow και Marcian Edward Hoff ανέπτυξαν τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα ADALINE και MADALINE, και βοήθησαν να αναπτυχθεί αργότερα η τεχνική της οπισθοδιάδοσης ( <i>μτφρ. back propagation</i> ) [16].
1960	ο Frank Rosenblatt κατασκευάζει τον “Mark I Perceptron”, τον πρώτο υπολογιστή, ο οποίος χρησιμοποιώντας έναν τύπο νευρωνικού δικτύου που προσομοίωνε την ανθρώπινη σκέψη, μπορούσε να αναπτύξει νέες δεξιότητες δια της μεθόδου trial and error [17]. Το ίδιο έτος δημοσιεύει και την “Σύγκλιση του αντιληπτήρα” [18].
1965	Ο Lotfi Aliasker Zadeh εισάγει τον όρο “Ασαφή Σύνολα” (Fuzzy Sets, 1965) [19].
1966	Μετά από έρευνα γύρω από την κατανόηση γλώσσας και την αντίληψη μηχανής, ο Weizenbaum δημιουργεί το ELIZA [20].
1968	Ο Zadeh εισάγει τον όρο “Ασαφείς Αλγόριθμοι” (Fuzzy Algorithms, 1968) [21].
1969	Οι Marvin Minsky και Seymour Papert απέδειξαν μαθηματικά ότι τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα ενός επιπέδου αδυνατούν να επιλύσουν συγκεκριμένα προβλήματα [22].

1970-80 Ωρίμανση της συμβολικής και υπολογιστικής Νοημοσύνης.	
1970	Ανάπτυξη εξελικτικών αλγορίθμων.
1972	Οι Colmerauer και Roussel από το Πανεπιστήμιο της Μασσαλίας σε συνεργασία με τον R. Kowalski από το Πανεπιστήμιο του Εδιμβούργου καταλήγουν στη δημιουργία της γλώσσας λογικού προγραμματισμού PROLOG [23]. Ο Winograd εμβαθύνει στην κατανόηση φυσικής γλώσσας [24].
1973	Ο Rechenberg εκδίδει μελέτη για τη βελτιστοποίηση των τεχνικών συστημάτων και τις αρχές της βιολογικής εξέλιξης [25].
1974	Ο Marvin Minsky δημοσιεύει κεφάλαια περί αναπαράστασης της γνώσης [26].
1975	Ο Holland εκδίδει μελέτη για την προσαρμοστικότητα στα φυσικά και τεχνητά συστήματα [27].
1976	Οι Newell & Simon υποστηρίζουν την υπόθεση ότι ένα φυσικό συμβολικό σύστημα διαθέτει τα απαραίτητα χαρακτηριστικά για νοήμονες ενέργειες [28].
1977	Δημιουργία των πρώτων έμπειρων συστημάτων: DENDRAL (1971), MYCIN (1975), Prospector (1977) [29].
1980-95 Αναγέννηση των Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων.	
1982	Ο John Hopfield αποδεικνύει ότι ένα Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο πολλών επιπέδων μπορεί να αποθηκεύσει οποιαδήποτε πληροφορία και να την επανακτήσει όταν του δοθούν μερικά τμήματα αυτής [30].
1983	Ο Michio Sugeno διατυπώνει την “Ασαφή Θεωρία” [31].
1986	Οι James McClelland και David Rumelhart δημοσιεύουν το “Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition” όπου αναφέρεται το πώς δημιούργησαν υπολογιστικές προσομοιώσεις νοημοσύνης, δίνοντας στην επιστημονική κοινότητα της Γνωσιακής Επιστήμης τα πρώτα μοντέλα νευρωνικής επεξεργασίας [32].
1987	1ο Διεθνές Συνέδριο για τα Νευρωνικά Δίκτυα του IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers).
1990	Δημιουργία αφενός υπολογιστικών συστημάτων και μηχανών που βασίζονται σε αρχές της TN και τα οποία παρουσιάζουν τάσεις προσαρμογής στο περιβάλλον τους (π.χ. ρομπότ) και αφετέρου εφαρμογών που τείνουν να “μαθαίνουν” από την εμπειρία τους: Νοήμονες πράκτορες, Μηχανές Αναζήτησης στο Διαδίκτυο, Περιρρέουσα Νοημοσύνη.
1992	1ο Συνέδριο του IEEE για τα Ασαφή Σύνολα.
1992	Ο John Koza εκδίδει μελέτη για το Γενετικό Προγραμματισμό [33].
1995	Ο David Fogel εκδίδει μελέτη για τον Εξελικτικό Υπολογισμό [34].



Μολονότι το ενδιαφέρον για την περαιτέρω ανάπτυξη της Τεχνητής Νοημοσύνης αναζωπυρώθηκε στα τέλη του προηγούμενου αιώνα, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ταχεία πρόοδος σε όλες τις υποκατηγορίες της. Ο όρος Τεχνητή Νοημοσύνη παραμένει ευρύς και πλέον χρησιμοποιούνται οι ονομασίες των υποσυνόλων της ώστε να αποτυπώνεται καθαρότερα κάθε φορά το πλαίσιο δραστηριοτήτων της στο οποίο γίνεται η εκάστοτε αναφορά. Παρόλα αυτά, υπάρχουν πεδία με κοινά αντικείμενα ενασχόλησης, όπου κάθε κατηγορία της Τεχνητής Νοημοσύνης αποπειράται να προσεγγίσει τα αντίστοιχα προβλήματα υπό το δικό της πρίσμα. Στο διάγραμμα που ακολουθεί (**Εικόνα 1.5**), παρουσιάζονται μερικά από τα βασικά υποσύνολα της Τεχνητής Νοημοσύνης τα οποία άπτονται της θεματολογίας της παρούσας εργασίας και θα επεξηγηθούν σε επόμενες παραγράφους του τρέχοντος κεφαλαίου.



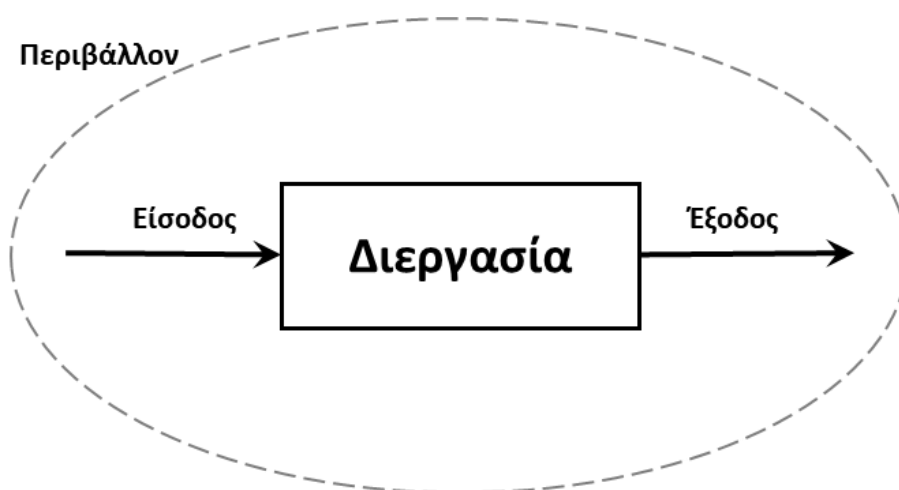
**Εικόνα 1.5:** Διάγραμμα ενδεικτικών υποσυνόλων της Τεχνητής Νοημοσύνης

### 1.3 Αυτόνομα Συστήματα

Πριν προβούμε στον ορισμό του Αυτόνομου Συστήματος είναι απαραίτητο να οριστούν και να περιγραφούν έννοιες χαμηλότερης τεχνικής στάθμης ώστε να γίνει περισσότερο κατανοητή η ταυτότητα και ο ρόλος που επιτελούν τα Αυτόνομα Συστήματα.

#### 1.3.1 Απλά Συστήματα

Ως Σύστημα ορίζουμε κάθε φυσικό ή τεχνητό σύνολο αλληλοεπιδρώντων στοιχείων που αποτελούν μια ενιαία οντότητα. Κάθε σύστημα, εκτελεί μια διεργασία η οποία όταν δέχεται ένα ερέθισμα από το περιβάλλον της (είσοδος) επιστρέφει σε αυτό ένα αποτέλεσμα (έξοδος) [35].

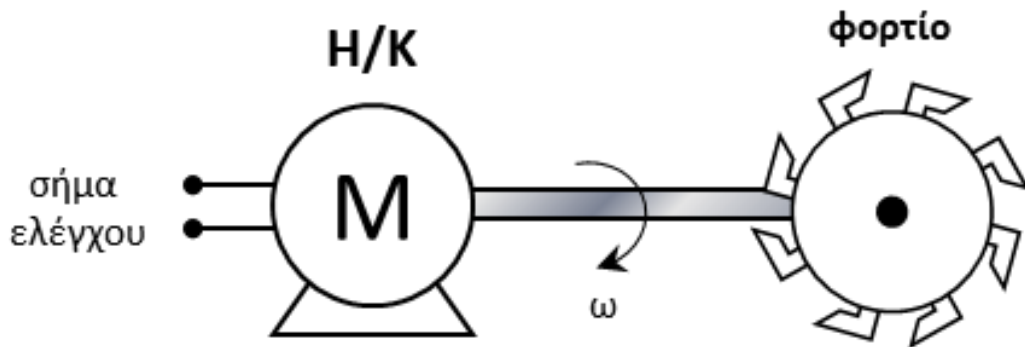


*Εικόνα 1.6: Τυπικό διάγραμμα απεικόνισης συστήματος*

Όπως φαίνεται στην **Εικόνα 1.6**, η είσοδος ενός συστήματος στην απλούστερη μορφή του, δεν είναι συναρτησει της εξόδου του. Τέτοια συστήματα ονομάζονται “συστήματα ανοικτού βρόχου”.

Για να μελετηθεί, ή να σχεδιαστεί, ένα σύστημα πρέπει να μοντελοποιηθεί μαθηματικά η διεργασία του. Η συνάρτηση που προκύπτει από την μοντελοποίηση αυτή ονομάζεται “συνάρτηση μεταφοράς”, η οποία στην είσοδό της δέχεται το σήμα ελέγχου και στην έξοδό της αποδίδει την απόκρισή της σε αυτό (απόκριση συστήματος).

Ως παράδειγμα απεικόνισης ενός απλού τεχνητού συστήματος μπορεί να θεωρηθεί, ένας τυπικός ηλεκτροκινητήρας. Ο ηλεκτροκινητήρας, δέχεται ηλεκτρική ενέργεια στην είσοδο του, και εκμεταλλευόμενος το φαινόμενο Laplace, την μετατρέπει σε κινητική στην έξοδό του.



Εικόνα 1.7: Παράδειγμα συστήματος ανοικτού βρόχου

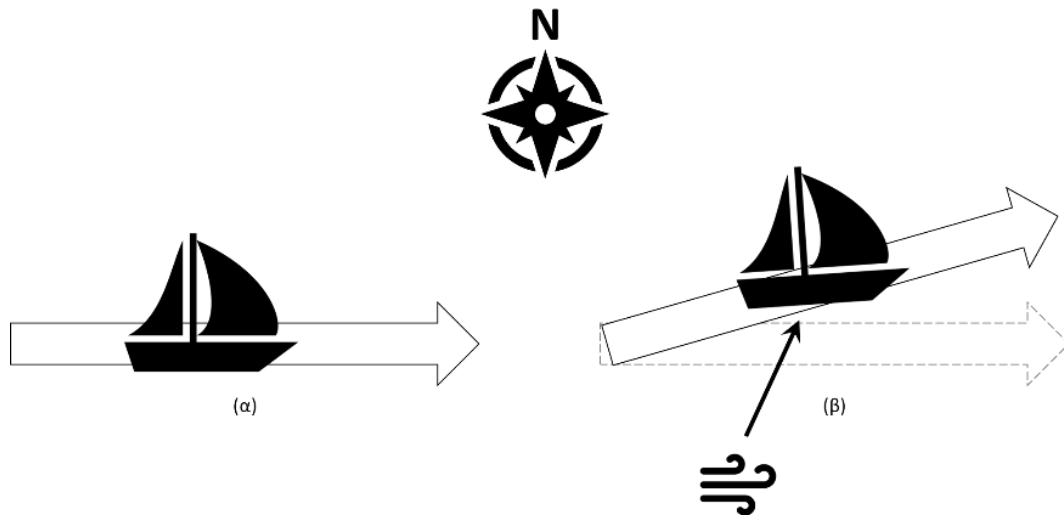
Με βάση το πλήθος των εισόδων και εξόδων του, ένα σύστημα μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ως εξής:

- μίας εισόδου, μίας εξόδου (Single Input, Single Output – SISO)
- πολλών εισόδων, μίας εξόδου (Multiple Inputs, Single Output – MISO)
- μίας εισόδου, πολλών εξόδων (Single Input, Multiple Outputs – SIMO)
- πολλών εισόδων, πολλών εξόδων (Multiple Inputs, Multiple Outputs – MIMO)

Η δε διεργασία ενός συστήματος, μπορεί με τη σειρά της να αναλυθεί σε επιμέρους υποσυστήματα, με την ίδια να αποτελεί το περιβάλλον από το οποίο τροφοδοτούνται με ερεθίσματα και επιστρέφουν σε αυτό τα αποτελέσματά τους.

Κάθε σύστημα, μπορεί να δέχεται από το περιβάλλον του ανεπιθύμητες παρεμβολές, που γενικότερα χαρακτηρίζονται ως “θόρυβος”, και μπορούν να προκαλέσουν αλλοιώσεις του αποτελέσματος στην έξοδο. Μπορούμε εύκολα να αντιληφθούμε την επίδραση του θορύβου εάν φανταστούμε ένα μικρό ιστιοφόρο που ο καπετάνιος του το έχει θέσει να κινείται με κατεύθυνση από τα δυτικά προς τα ανατολικά (Εικόνα 1.8α). Έστω ότι το σκάφος δέχεται στα πανιά του επίδραση από νότιο άνεμο. Ο άνεμος αυτός, λειτουργεί ως θόρυβος πάνω στο

σύστημα “σκάφος”, δίνοντάς του μια ελαφριά κλίση προς τα βόρεια και εκτρέποντάς το από την επιθυμητή πορεία του (Εικόνα 1.8β).

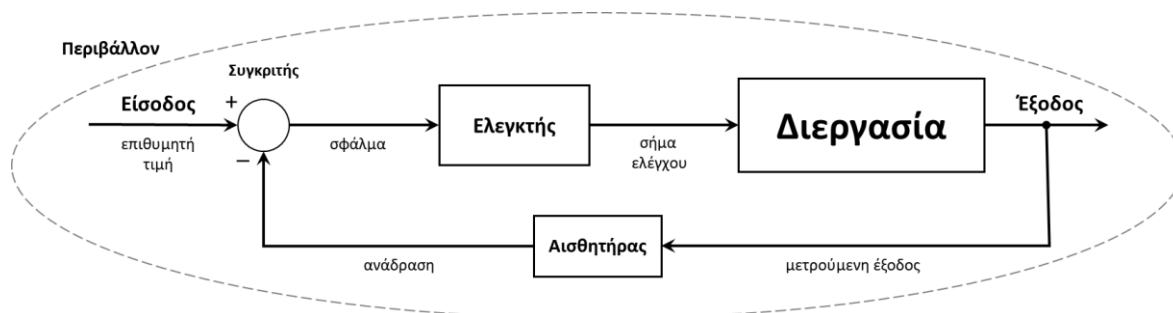


Εικόνα 1.8: Παράδειγμα επίδρασης θορύβου σε ένα σύστημα (ιστιοφόρο)

Εύλογα προκύπτει η ανάγκη αντιμετώπισης των παρενεργειών του θορύβου σε κάθε δεδομένο σύστημα ώστε το λαμβανόμενο στην έξοδο αποτέλεσμα να μην αποκλίνει από την επιθυμητή τιμή του. Είναι απαραίτητο δηλαδή, να ενσωματωθεί ένα σύστημα ελέγχου που θα επενεργεί στο σύστημα με τέτοιο τρόπο ώστε να διασφαλίζεται η επιθυμητή συμπεριφορά του.

### 1.3.2 Αυτόματα Συστήματα

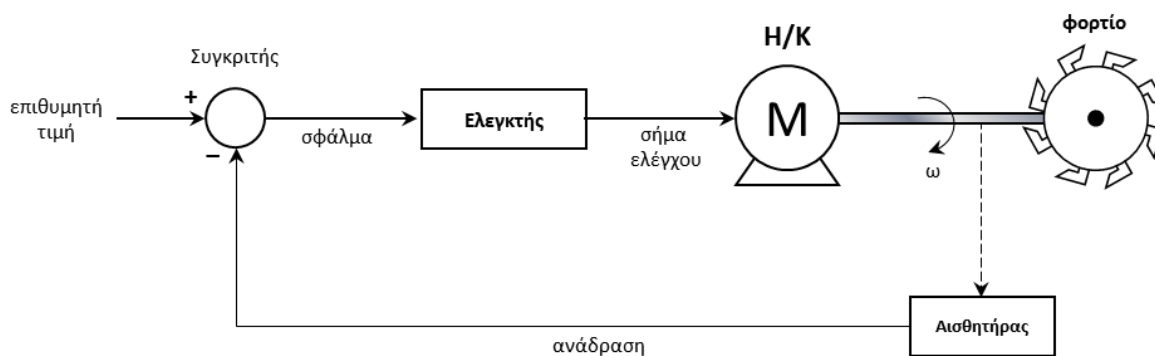
Ως Αυτόματο Σύστημα ή Σύστημα Αυτόματου Ελέγχου (ΣΑΕ) ορίζουμε κάθε φυσικό ή τεχνητό σύνολο αλληλοεπιδρώντων στοιχείων που αποτελούν μια ενιαία οντότητα, η οποία με την λειτουργία της αυτορρυθμίζει την έξοδό της ή ελέγχει άλλα συστήματα ώστε να λειτουργούν με έναν προκαθορισμένο τρόπο [35].



**Εικόνα 1.9:** Τυπικό διάγραμμα απεικόνισης αυτόματου συστήματος

Στην **Εικόνα 1.9**, είναι εμφανές πως η είσοδος ενός αυτόματου συστήματος είναι συναρτημένη της εξόδου του, χάρη στον μηχανισμό ανάδρασης που ανατροφοδοτεί την έξοδο στην είσοδο. Τέτοια συστήματα ονομάζονται “συστήματα κλειστού βρόχου”.

Το χαρακτηριστικό που καθιστά ένα σύστημα αυτόματο είναι η ύπαρξη ενός μηχανισμού ανάδρασης ο οποίος μετρά, μέσω ενός κατάλληλου αισθητηρίου οργάνου, το αποτέλεσμα της εξόδου του συστήματος και το ανατροφοδοτεί σε αυτό ως είσοδο. Ο μηχανισμός αυτός περιέχει επίσης δύο επιμέρους βαθμίδες, τον Συγκριτή και τον Ελεγκτή. Ο Συγκριτής βρίσκεται στην αρχή του συνολικού συστήματος και δέχεται ως κύριο σήμα εισόδου την επιθυμητή τιμή της εξόδου (είσοδος αναφοράς). Παράλληλα δέχεται και την τρέχουσα τιμή της εξόδου, όπως αυτή έχει μετρηθεί από το αισθητήριο όργανο. Στη συνέχεια, γίνεται σύγκριση των δύο τιμών, και το αποτέλεσμά της (σφάλμα) προωθείται ως σήμα εισόδου στον Ελεγκτή. Ο Ελεγκτής, “βλέπει” το μέγεθος της απόκλισης καθώς και το πρόσημό της και δίνει κατάλληλο σήμα ελέγχου στο σύστημα ώστε η έξοδος του τελευταίου να προσαρμοστεί καταλλήλως. Η διαδικασία είναι συνεχής και σκοπός της είναι να εκμηδενιστεί το σφάλμα στην έξοδο του συγκριτή. Εδώ γίνεται αντιληπτό ότι ο Ελεγκτής αποτελεί από μόνος του ένα ξεχωριστό σύστημα, καθώς στην είσοδό του δέχεται έναν αριθμό σημάτων, τα συγκρίνει, και στην έξοδό του αποδίδει το αποτέλεσμα της σύγκρισης αυτής. Ομοίως και ο Συγκριτής, προσαρμόζει την έξοδό του ανάλογα με το σήμα που λαμβάνει στην είσοδό του. Επεκτείνοντας το παράδειγμα με τον ηλεκτροκινητήρα ώστε να καταστεί αυτόματα ελεγχόμενος, προκύπτει το σχήμα της **Εικόνας 1.10**.



Εικόνα 1.10: Παράδειγμα συστήματος κλειστού βρόχου

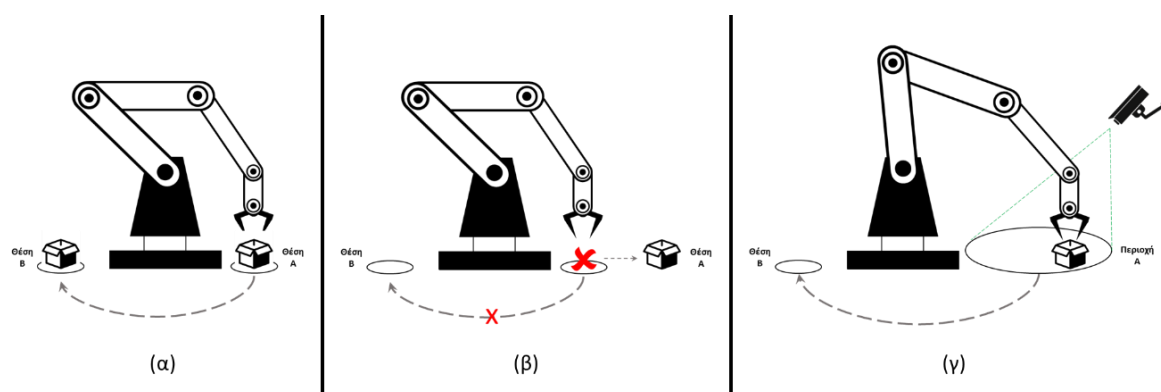
### 1.3.3 Αυτόνομα Συστήματα

Τα Αυτόματα Συστήματα μπορούν να εκτελούν ανένα και με ακρίβεια μία συγκεκριμένη λειτουργία, επιδεικνύοντας παράλληλα ανοχή σε παρεμβολές του περιβάλλοντός τους που ως αντίκτυπο θα είχαν την αλλοίωση της εξόδου τους. Με άλλα λόγια, ένα Αυτόματο Σύστημα προβαίνει μόνο του στις απαραίτητες διορθωτικές κινήσεις ώστε να διασφαλίζεται ένα σταθερό αποτέλεσμα στην έξοδό του.

Παρόλα αυτά, τα Αυτόματα Συστήματα υστερούν ή και αδυνατούν να αντιδράσουν αποτελεσματικά σε εξωγενείς παράγοντες οι οποίοι δεν αλλοιώνουν την έξοδο αλλά καθιστούν το ίδιο το Σύστημα ανεπαρκές.

Ας λάβουμε ως παράδειγμα έναν αυτόματο ρομποτικό βραχίονα, εγκατεστημένο σε αποθήκη, όπου η εργασία του είναι να μεταφέρει κιβώτια από τη Θέση Α στη Θέση Β (Εικόνα 1.11α) σε απαιτούμενο προκαθορισμένο διάστημα 2 δευτερολέπτων. Θεωρούμε ότι τα κιβώτια τοποθετούνται στη Θέση Α από διαφορετικό σύστημα που προηγείται επί της ίδιας γραμμής παραγωγής (έστω: σύστημα εναποθέσεως), και αντίστοιχα παραλαμβάνονται από τη Θέση Β από σύστημα που έπεται του ρομποτικού βραχίονα. Η διαδικασία έχει ρυθμιστεί να λειτουργεί απρόσκοπτα και συνεχόμενα, χωρίς ο χρόνος της να επηρεάζεται από τυχόν αυξήσεις στο βάρος των εισερχόμενων κιβωτίων. Έστω ότι το σύστημα εναποθέσεως παρουσιάζει δυσλειτουργία και τοποθετεί τα κιβώτια εκτός της Θέσης Α. Ο βραχίονας θα συνεχίζει να λειτουργεί, κινούμενος από τη Θέση Α στη Θέση Β αλλά χωρίς να μεταφέρει το παραμικρό φορτίο (Εικόνα 1.11β). Τη λύση σε προβλήματα τέτοιας φύσεως έρχονται να λύσουν το αυτόνομα συστήματα στα οποία ενσωματώνονται ευφυείς δυνατότητες ώστε

σχεδόν να εκμηδενίζεται η ανθρώπινη παρέμβαση. Στο παράδειγμα με τον βραχίονα, ενσωματώνεται ένα υποστηρικτικό σύστημα μηχανικής όρασης (**Εικόνα 1.11γ**) το οποίο εποπτεύει μια περιοχή (**Περιοχή Α**). Το σύστημα αυτό είναι ρυθμισμένο ώστε να αναγνωρίζει κιβώτια εντός της προκαθορισμένης περιοχής Α και να καθοδηγεί το άκρο εργασίας του βραχίονα στο ακριβές σημείο που βρίσκεται ένα κιβώτιο, ακόμα και αν το σύστημα εναποθέσεως παρουσιάσει απόκλιση στην έξοδό του. Γίνεται σαφές ότι ο ρομποτικός βραχίονας αποκτά μια σχετική ευφυΐα στο να επιλύει μόνος του το πρόβλημα της εσφαλμένης τοποθέτησης των κιβωτίων, καθιστώντας τον αυτόνομο όσον αφορά την συγκεκριμένη περίπτωση.



**Εικόνα 1.11:** Παράδειγμα Αυτόνομου Συστήματος

Μολονότι το παράδειγμα είναι ιδιαίτερα εξαπλουστευμένο, δίνει μια εύληπτη εικόνα της διαφοράς μεταξύ ενός συστήματος που εκτελεί συνεχώς μία συγκεκριμένη ενέργεια (αυτόματα) και ενός συστήματος που μπορεί να εκτελεί επιτυχώς την ίδια ενέργεια ακόμα και όταν παράμετροι του περιβάλλοντός του μεταβάλλονται. Κατ' επέκταση, και εφόσον έχουν γίνει κατανοητά τα παραπάνω, μπορούμε να δώσουμε τον ορισμό του Αυτόνομου Συστήματος:

*“Αυτόνομο Σύστημα ονομάζεται το σύστημα το οποίο*

*μπορεί να επιδείξει έναν ελάχιστο βαθμό αυτονομίας εκτελώντας εργασίες*

*ή εμφανίζοντας συμπεριφορές, χωρίς κάποια εξωτερική επιρροή”.*

Γίνεται εμφανές ότι τα Αυτόνομα Συστήματα αποτελούν εξελικτικό βήμα των Αυτόματων Συστημάτων Ελέγχου, χωρίς όμως να παραγκωνίζεται η χρησιμότητα των τελευταίων. Η αυξημένη ευελιξία και προσαρμοστικότητα που διαθέτουν, οφείλεται σε επιπρόσθετα συστήματα, τα οποία βασίζονται σε αισθητήρες και ευφυείς αλγορίθμους και προσδίδουν την ελάχιστη στοιχειώδη απαιτούμενη αυτονομία ώστε να μπορούν να ανταπεξέρχονται σε πολυπαραγοντικά περιβάλλοντα. Ως εκ τούτου, τα Αυτόνομα Συστήματα, προτιμάται να επιχειρούν σε απαιτητικές συνθήκες όπου απαιτούνται ταχύτητα αντανακλαστικά στη λήψη αποφάσεων και την εκτέλεση ενεργειών, υπερέχοντας σαφώς ενός ανθρώπινου χειριστή, και που η αποτελεσματικότητα ή/και η επιβιωσιμότητα του Συστήματος είναι κρίσιμης ή τουλάχιστον μείζονος σημασίας.

Η ανάπτυξη των Αυτόνομων Συστημάτων βασίζεται στα πορίσματα της Θεωρίας Συστημάτων, της Επιχειρησιακής Έρευνας και της Υπολογιστικής Νοημοσύνης.

## 1.4 Έμπειρα Συστήματα

### 1.4.1 Ορισμός Έμπειρου Συστήματος

Ένα Έμπειρο Σύστημα μπορεί να επιλύσει προβλήματα που κατά βάση θα απαιτούσαν παρουσία και επιμέλεια από ανθρώπινο εμπειρογνώμονα. Συνεπώς:

*“Έμπειρο Σύστημα ονομάζεται το διαδραστικό σύστημα*

*που καλείται να μιμηθεί την ικανότητα ενός εμπειρογνώμονα στη λήψη αποφάσεων,*

*πάνω σε ένα συγκεκριμένο επιστημονικό πεδίο.”*

Τα Έμπειρα Συστήματα αποτελούν τον προκάτοχο της σύγχρονης Τεχνητής Νοημοσύνης (μτφρ. *Artificial Intelligence*), της Βαθιάς Μάθησης (μτφρ. *Deep Learning*) και των Μηχανικής Μάθησης (μτφρ. *Machine Learning*). Για την υλοποίησή ενός τέτοιου συστήματος, απαιτείται ένα υπολογιστικό σύστημα στο οποίο ενσωματώνονται στοιχεία γνώσης, που προέρχονται



από έναν ειδήμονα και εισάγονται με κατάλληλη μορφή, ώστε το σύστημα να δύναται να προσφέρει ευφυείς συμβουλές ή να λάβει μια βέλτιστη απόφαση για τη λειτουργία ή διεκπεραίωση μιας διαδικασίας σε έναν συγκεκριμένο τομέα.

Είναι σημαντικό να τονίσουμε πως η παροχή συμβουλών ή η λήψη αποφάσεων δεν ακολουθεί μια συμβατικά αλγοριθμική οδό αλλά προσομοιάζεται με μία εμπειρική διαχείριση όπως θα έκανε ένας ανθρώπινος ειδήμονας.

Γνώση είναι η αποθηκευμένη πληροφορία ή τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται από έναν άνθρωπο ή μια μηχανή για να ερμηνεύσουν, να προβλέψουν και να αλληλεπιδράσουν κατάλληλα με το περιβάλλον τους.

**Πίνακας 2:** Οι δομικές διαφορές των Έμπειρων Συστημάτων από τα συμβατικά

Δεδομένα	+	Αλγόριθμος	→	Συμβατικό Λογισμικό
Γνώση	+	Συμπέρασμα	→	Έμπειρο Σύστημα

Αυτό που ξεχωρίζει τα Έμπειρα Συστήματα από τα υπόλοιπα συστήματα του χώρου είναι η ταχύτητα και η αξιοπιστία που τα χαρακτηρίζει, καθότι παρέχουν εμπεριστατωμένες συμβουλές και τεκμηριωμένες λύσεις σε προβλήματα αυξημένης περιπλοκότητας τα οποία για την επίλυσή τους απαιτείται συσσωρευμένη ανθρώπινη εμπειρία αλλά και τον κατάλληλο ειδήμονα που θα την αξιοποιήσει και θα την εφαρμόσει αποτελεσματικά.

#### 1.4.2 Γενική λειτουργία, σκοπός και χαρακτηριστικά

Η λειτουργία ενός Έμπειρου Συστήματος βασίζεται σε ευρετικές μεθόδους (*μτφρ. heuristics*) οι οποίες ορίζουν τους τρόπους με τους οποίους θα κινηθεί η Συλλογιστική του συστήματος μέχρι να καταλήξει στην εκάστοτε τελική απόφασή του. Στη διαδρομή αυτή, δύναται να καταγραφεί και η πορεία που ακολουθήθηκε ώστε αργότερα να αποτυπωθεί μέσω του Μηχανισμού Επεξήγησης.

Σκοπός των Έμπειρων Συστημάτων είναι να προσφέρουν το μέγιστο δυνατό βαθμό εξειδίκευσης για την επίλυση περίπλοκων προβλημάτων, παρέχοντας αποτελεσματικότητα και ακρίβεια στα αποτελέσματα. Είναι ευέλικτα και προσαρμοζόμενα καθώς διαθέτουν μηχανισμούς επέκτασης των υφιστάμενων Βάσεων Γνώσης τους. Κατ' επέκταση, αποτελούν αξιόπιστες εφαρμογές, διότι τα περιθώρια σφάλματός τους είναι ελαχιστοποιημένα και η απόδοση των αποτελεσμάτων γίνεται σε χρόνο σημαντικά μικρότερο από αυτόν που θα χρειαζόταν ένας ανθρώπινος ειδήμονας.

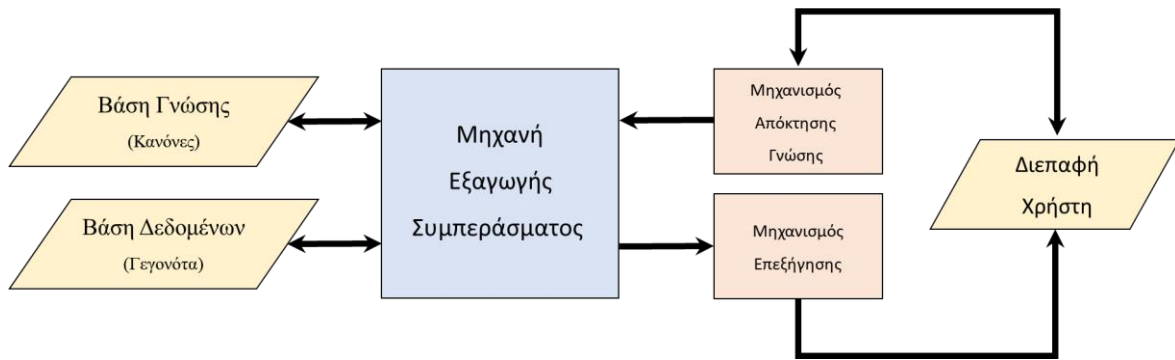
### 1.4.3 Δομή Έμπειρου Συστήματος

Στη σύγχρονη μορφή, του ένα Έμπειρο Σύστημα, αποτελείται από έξι στοιχεία:

1. Βάση Γνώσης (μτφρ. *Knowledge Base*)
2. Βάση Δεδομένων (μτφρ. *Database*)
3. Μηχανή Εξαγωγής Συμπεράσματος (μτφρ. *Inference Engine*)
4. Μηχανισμός Απόκτησης Γνώσης (μτφρ. *Knowledge Acquisition Process*)
5. Μηχανισμός Επεξήγησης (μτφρ. *Explanation Process*)
6. Σύστημα Διασύνδεσης ή Διεπαφή Χρήστη (μτφρ. *User Interface*)

Οι Allen Newell και Herbert Simon πρότειναν το μοντέλο στο οποίο θα στηρίζεται κάθε Έμπειρο Σύστημα. Η πρόταση τους βασίζεται στον τρόπο με τον οποίο ο ίδιος ο άνθρωπος βρίσκει λύσεις αφού πρώτα καταλήξει στο βέλτιστο δυνατό συμπέρασμα μέσω του νοητικού μηχανισμού που ονομάζεται Συλλογιστική. Αυτό επιτυγχάνεται εφαρμόζοντας τη γνώση που ήδη κατέχει πάνω σε έναν δεδομένο τομέα και τα προβλήματα που παρουσιάζονται. Το εκάστοτε πρόβλημα εμφανίζεται μέσω πληροφοριών που το περιγράφουν. Η γνώση, είναι αποθηκευμένη στην μακροχρόνια μνήμη του ανθρώπου, ενώ οι πληροφορίες, που αφορούν τα δεδομένα του εκάστοτε προβλήματος, αποθηκεύονται στην βραχυχρόνια μνήμη του. Οι γνωστικές αυτές αρχές, εφαρμόζονται αντιστοίχως και στα Έμπειρα Συστήματα.

Μια απλή αναπαράσταση που δείχνει την ροή της πληροφορίας σε ένα τυπικό έμπειρο σύστημα, είναι η ακόλουθη:



Εικόνα 1.12: Ροή πληροφορίας σε ένα τυπικό Έμπειρο Σύστημα

## Βάση Γνώσης

Στη Βάση Γνώσης περιέχεται όλη η συσσωρευμένη εμπειρία υπό μορφή Κανόνων. Οι Κανόνες αυτοί αντιστοιχούν στην μνήμη μακράς διάρκειας. Κάθε Κανόνας, αναφέρεται σε μια σχέση Αιτίου-Αποτελέσματος και αποτυπώνεται ως

**Εάν ΑΙΤΙΟ Τότε Αποτέλεσμα**

Οι Κανόνες μπορούν να ορίζονται με λογικές σχέσεις και λογικούς τελεστές όπως *ΚΑΙ*, *Η*, *ΟΧΙ*, κλπ. ώστε μέσα σε έναν κανόνα να αποτυπώνονται, όπου απαιτείται, περισσότερα από ένα αίτια ή/και αποτελέσματα. Για παράδειγμα:

***ΕΑΝ* Συνθήκη\_1 *Η* Συνθήκη\_2 *ΤΟΤΕ* Συμπέρασμα**

***ΕΑΝ* Συνθήκη\_1 *ΚΑΙ* *ΟΧΙ* Συνθήκη\_2 *ΤΟΤΕ* Συμπέρασμα**

***ΕΑΝ* Συνθήκη\_1 *ΚΑΙ* Συνθήκη\_2 *ΤΟΤΕ* Συμπέρασμα\_1 *ΚΑΙ* Συμπέρασμα\_2**

## Βάση Δεδομένων

Η Βάση Δεδομένων ή Μνήμη Εργασίας αφορά την μνήμη μικρής διάρκειας και σε αυτήν καταχωρούνται τα Γεγονότα σε μορφή πληροφορίας. Το σύνολο των πληροφοριών αυτών αντιστοιχεί στα δεδομένα του τρέχοντος προβλήματος που θα εκληφθούν ως Συνθήκες για τους Κανόνες.

## Μηχανή Εξαγωγής Συμπεράσματος

Η Μηχανή Εξαγωγής Συμπεράσματος είναι η κεντρική διεργασία του Έμπειρου Συστήματος η οποία αντιστοιχεί τα τρέχοντα Γεγονότα στους υφιστάμενους Κανόνες για να καταλήξει σε μια λύση ή συμβουλή μέσα από τη διαδικασία της Συλλογιστικής.

Σε κάθε περίπτωση εφαρμογής, ένα Έμπειρο Σύστημα αναζητά στη Βάση Γνώσης του ποιοι Κανόνες πυροδοτούνται από τις παραμέτρους του εκάστοτε τρέχοντος Γεγονότος και αποδίδουν ένα αποτέλεσμα στην έξοδό του, συνοδευόμενο από μια Επεξήγηση. Δεν είναι απίθανο, κατά τη διαδικασία εξαγωγής συμπεράσματος, το Σύστημα να βρεθεί σε κατάσταση Διένεξης ή Αβεβαιότητας:

- Σε περίπτωση Διένεξης, για παράδειγμα, δύο Κανόνες ενδεχομένως να πυροδοτούνται από τις παραμέτρους του τρέχοντος Γεγονότος, συνεπώς πρέπει να αποσαφηνιστεί ποιος Κανόνας θα υπερισχύσει. Για την βέλτιστη απόδοση του Συστήματος, υπάρχουν Στρατηγικές Επίλυσης Διενέξεων (μτφρ. *Conflict Resolution Strategies*) οι οποίες ενσωματώνονται στο Σύστημα και λαμβάνουν την τελική απόφαση για το ποιος Κανόνας θα πυροδοτηθεί αντί του άλλου.
- Αβεβαιότητα μπορεί να προκύψει από ημίτελή, ελλιπή ή αναξιόπιστά δεδομένα εισόδου, που δεν αρκούν για να περιγράψουν επαρκώς το πρόβλημα. Αυτό, αντιμετωπίζεται δίνοντας στον τελικό χρήστη τη δυνατότητα να ορίσει τον βαθμό της αποδεκτής για το πρόβλημα αβεβαιότητας.

Αβεβαιότητα μπορεί επίσης να εμφανιστεί και στην έξοδο του Συστήματος. Σε μια τέτοια περίπτωση, το Έμπειρο Σύστημα θα πρέπει να προβάλλει στον τελικό χρήστη τον βαθμό αβεβαιότητας ώστε να είναι ενήμερος για το όποιο ρίσκο θα κληθεί να πάρει εφόσον υιοθετήσει την παρουσιαζόμενη λύση. Τυπικό παράδειγμα θα μπορούσε να αποτελεί μια εφαρμογή πρόγνωσης καιρού, όπου ως αβεβαιότητα εμφανίζεται το ποσοστό εμφάνισης ενός φυσικού φαινομένου (π.χ. χαλαζόπτωση).

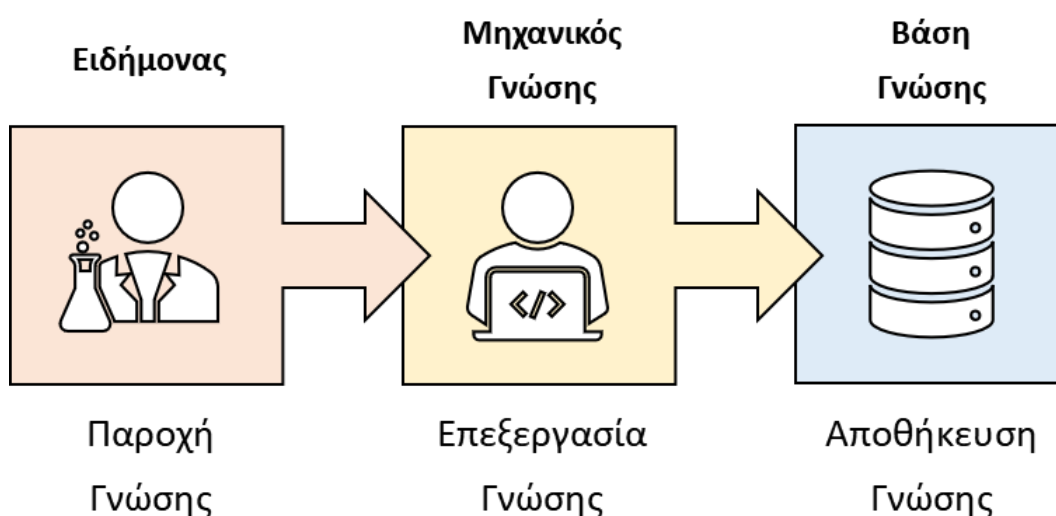
## Μηχανισμός Απόκτησης Γνώσης

Ο Μηχανισμός Απόκτησης Γνώσης είναι η διαδικασία εξαγωγής, διάρθρωσης και οργάνωσης γνώσεων από μία πηγή, ούτως ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν μελλοντικά στο Έμπειρο Σύστημα στο οποίο θα εισαχθούν.

Η συγκέντρωση εμπειρικής γνώσης (μτφρ. *Knowledge Elicitation*) διεξάγεται από Μηχανικούς Γνώσης, οι οποίοι αντλούν την ειδική γνώση και εμπειρία των επιστημόνων, τεχνικών, χειριστών, εμπειρογνομόνων, κλπ. μέσω προσεκτικά σχεδιασμένων διαδικασιών και την αναπαριστούν υπό τη μορφή Κανόνων, ώστε να ελαχιστοποιηθεί κατά το μέγιστο δυνατόν η πιθανότητα αβεβαιότητας ή ασυμφωνίας.

Εν συντομία, τα βήματα που ακολουθούνται για την εισαγωγή γνώσης σε ένα Έμπειρο Σύστημα είναι τα εξής:

1. Ο εμπειρογνώμονας/ειδήμονας παρέχει τη γνώση που πρέπει να μεταφερθεί στο Έμπειρο Σύστημα σε έναν Μηχανικό Γνώσης (μτφρ. *Knowledge Engineer*)
2. Ο Μηχανικός Γνώσης θα την μετατρέψει σε κατάλληλα δομημένους Κανόνες, ώστε να είναι αναγνωρίσιμη από το Σύστημα.
3. Οι παραχθέντες Κανόνες ενσωματώνονται στη Βάση Γνώσης και καθίστανται διαθέσιμοι στη Μηχανή Εξαγωγής Συμπεράσματος, προς εξυπηρέτηση των χρηστών.



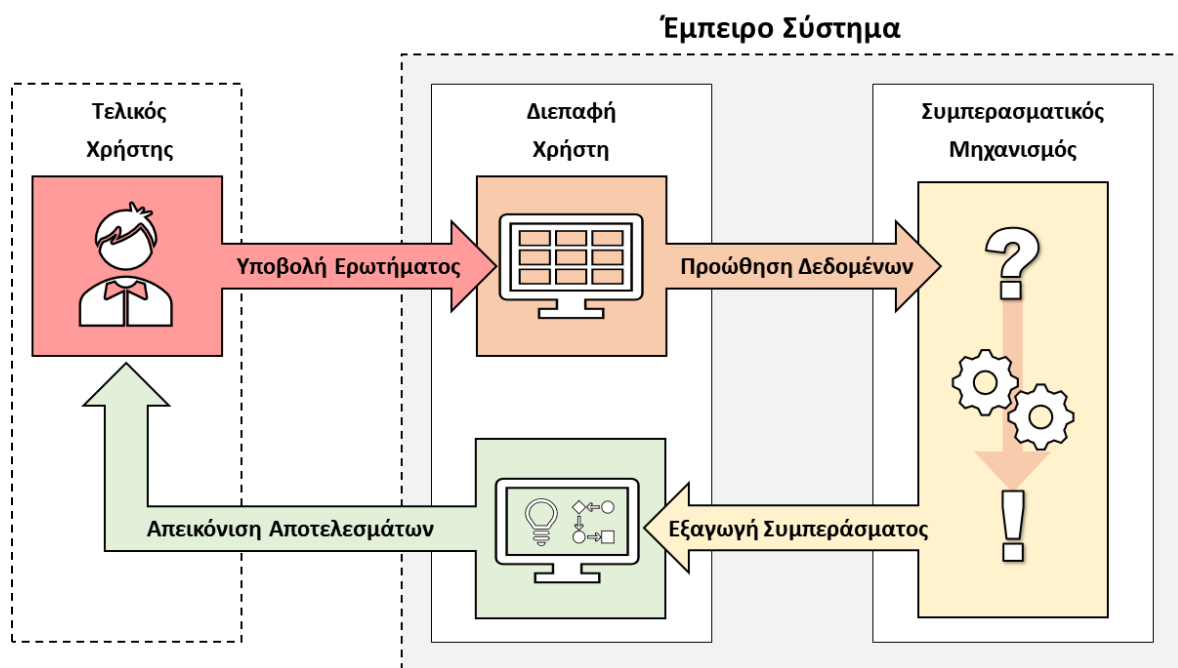
Εικόνα 1.13: Διαδικασία αποθήκευσης γνώσης σε ένα Έμπειρο Σύστημα

## Μηχανισμός Επεξήγησης

Ο Μηχανισμός Επεξήγησης είναι η διεργασία του Έμπειρου Συστήματος η οποία μέσω της Διεπαφής Χρήστη παρέχει την ετυμηγορία της Μηχανής Εξαγωγής Συμπεράσματος και αναλύει πώς και γιατί η Μηχανή κατέληξε στο όποιο Συμπέρασμα.

## Διεπαφή Χρήστη

Η Διεπαφή Χρήστη είναι το στοιχείο του Έμπειρου Συστήματος στο οποίο τελικός χρήστης και μηχανή μπορούν να ανταλλάσσουν πληροφορίες. Αρχικά, η Διεπαφή Χρήστη λαμβάνει το ερώτημα από τον τελικό χρήστη σχετικά με το πρόβλημα που ζητάει λύση. Τα δεδομένα που δίνει ο χρήστης μετατρέπονται σε κατάλληλη μορφή ώστε να είναι διαχειρίσιμα από το Σύστημα. Η Διεπαφή Χρήστη, επιστρέφει στην επικοινωνία της με τον χρήστη όταν τα αποτελέσματα του ερωτήματος που υπέβαλε είναι έτοιμα και, μαζί με αυτά, του παρέχει και την ανάλυση που προκύπτει από τον Μηχανισμό Επεξήγησης.



Εικόνα 1.14: Επικοινωνία τελικού χρήστη με Έμπειρο Σύστημα

#### 1.4.4 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

Τα Έμπειρα Συστήματα αποτελούν μια άκρως αξιόπιστη λύση ως υπολογιστικά συστήματα λήψης αποφάσεων. Σκοπός τους είναι να επιλύουν σύνθετα προβλήματα και θεωρείται ότι βρίσκονται σε επίπεδο ισάξιο της ανθρώπινης νοημοσύνης και εμπειρογνωμοσύνης, σε σχέση με τη δυνατότητα τους για εξαγωγή συμπερασμάτων. Τα οφέλη των Έμπειρων Συστημάτων είναι:

- Παρέχουν γρήγορες και αποτελεσματικές λύσεις σε περίπλοκα και απαιτητικά προβλήματα εντός ενός συγκεκριμένου τομέα εξειδίκευσης
- Μπορούν να χειριστούν ασαφή και ανακριβή δεδομένα.
- Μπορούν να λειτουργήσουν αποτελεσματικά ακόμα και με περιορισμένη γνώση ή/και σε περιπτώσεις έλλειψης πλήρους ποσοτικού μαθηματικού προτύπου της φυσικής διεργασίας για την οποία καλούνται να προβούν σε προβλέψεις
- Προσφέρουν συνεπείς απαντήσεις σε προβλήματα που επαναλαμβάνονται
- Παρέχουν επεξήγηση για το παρεχόμενο αποτέλεσμα
- Διαθέτουν ποιότητα και ποσότητα πληροφοριών που μπορεί να αναβαθμιστεί
- Μπορούν να λειτουργούν σταθερά και αδιάκοπα, χωρίς να επιβαρύνεται η απόδοσή τους με την πάροδο του χρόνου
- Μειώνουν τα λειτουργικά έξοδα

Παρόλα τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν, τα Έμπειρα Συστήματα υπόκεινται σε κάποιους περιορισμούς. Για παράδειγμα, δεν διαθέτουν δημιουργική σκέψη ώστε να ανταποκριθούν σε κάποια εξαιρετική κατάσταση που τυχόν προκύψει. Λαμβάνοντας υπόψη πως κάθε πρόβλημα είναι μοναδικό, ένας άνθρωπος ειδήμονας θα μπορούσε να ανταποκριθεί πιο δημιουργικά και άρα πιο αποτελεσματικά. Τέλος, τόσο η υλοποίηση ενός τέτοιου συστήματος όσο και η συντήρησή του, μπορεί να είναι κοστοβόρες. Παρόλα αυτά, τα οφέλη που παρέχουν υπερκαλύπτουν τις περισσότερες φορές τα προαναφερθέντα μειονεκτήματα.

#### 1.4.5 Πεδία εφαρμογής

Τα Έμπειρα Συστήματα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τέσσερις κατηγορίες, ανάλογα με τον ρόλο που επιτελούν:

- **Ταξινόμηση**
  - Αναγνώριση μικροοργανισμών
  - Κατανόηση μοτίβων
  - Κατανόηση φυσικής γλώσσας
- **Διάγνωση**
  - Διάγνωση ασθενειών
  - Εποπτικός έλεγχος παραγωγικής διαδικασίας
  - Πρόγνωση και διάγνωση βλαβών, δυσλειτουργιών κ.ά.
- **Συμβουλευτική**
  - Ανάλυση δανείων
  - Διαχείριση πρώτων υλών
  - Χρηματιστηριακές συναλλαγές
- **Σχεδιασμός / Προγραμματισμός**
  - Βελτιστοποίηση αποθήκης
  - Προγραμματισμός παραγωγής
  - Σχεδιασμός προϊόντων

Σαν παράδειγμα, μπορούμε να φανταστούμε μια περίπτωση χρήσης Έμπειρου Συστήματος Προσομοίωσης, στην τομέα του σχεδιασμού προϊόντων. Το Έμπειρο Σύστημα προσανατολίζεται σε σύνθετες διαδικασίες παραγωγής, δεχόμενο περιγραφές των λειτουργιών με μορφή γλωσσικών κανόνων, οι οποίοι μπορούν να μεταφερθούν σε πολυμεσικό περιβάλλον. Από εκεί, δύναται να πραγματοποιηθεί ανάλυση και μελέτη των διαδικασιών και του αποτελέσματος ώστε να γίνεται έγκαιρη και έγκυρη εκτίμηση σε ηλεκτρονικό υπολογιστή πριν την υλοποίηση σε πραγματικό περιβάλλον.



## 1.5 Μηχανική Μάθηση

Η Μηχανική Μάθηση ανήκει στην επιστήμη των υπολογιστών και δημιουργήθηκε ως εργαλείο για την αναγνώριση προτύπων και την ανάλυση δεδομένων, στα πλαίσια της Τεχνητής Νοημοσύνης. Οι αλγόριθμοι που προκύπτουν μαθαίνουν από διαθέσιμα σύνολα δεδομένων που αφορούν ένα αντικείμενο μελέτης, και κατόπιν μπορούν να αποδώσουν ακριβείς προβλέψεις αναφορικά με αυτά. Οι κυριότερες διαδικασίες εκπαίδευσης των αλγορίθμων είναι:

1. **Επιτηρούμενη Μάθηση** (μτφρ. *Supervised Learning*) Το υπό εκπαίδευση μοντέλο δέχεται τις παραδειγματικές εισόδους καθώς και τα αντίστοιχα επιθυμητά τους αποτελέσματα από ένα σύνολο δεδομένων (μτφρ. *dataset*). Στόχος της διαδικασίας είναι να εκπαιδευτεί το μοντέλο ώστε να “μάθει” έναν γενικό κανόνα προκειμένου να προβλέπει επιτυχώς και με ακρίβεια τα αποτελέσματα για κάθε σύνολο εισόδων που είναι διαφορετικές από το αρχικό εκπαιδευτικό σύνολο δεδομένων. Στην περίπτωση που το εκπαιδευτικό σύνολο δεδομένων είναι ημιτελές, (π.χ. λόγω απουσίας μεγάλου αριθμού επιθυμητών εξόδων) τότε αναφερόμαστε σε **Ημι-επιτηρούμενη Μάθηση** (μτφρ. *Semi-supervised Learning*).
2. **Μη Επιτηρούμενη Μάθηση** (μτφρ. *Unsupervised Learning*): Το υπό εκπαίδευση μοντέλο καλείται να ανακαλύψει από μόνο του μια δομή (μοτίβο) στα παραδειγματικά δεδομένα εισόδου, χωρίς να του έχει χορηγηθεί κάποια πρότερη γνώση.
3. **Ενισχυτική Μάθηση** (μτφρ. *Reinforced Learning*): Το υπό εκπαίδευση μοντέλο καλείται να αλληλεπιδράσει εντός ενός δυναμικού περιβάλλοντος στο οποίο πρέπει να επιτευχθεί ένας προκαθορισμένος στόχος. Ο προγραμματιστής-δάσκαλος δεν έχει ορίσει τις διαδικασίες με τις οποίες το μοντέλο θα φτάσει στον εν λόγω στόχο αλλά το επιβραβεύει κάθε φορά που πλησιάζει όλο και περισσότερο. Το μοντέλο αξιοποιεί αυτές τις πληροφορίες για να ανακαθορίζει την πορεία του προκειμένου να φτάσει στη βέλτιστη ζητούμενη λύση.

Όπως η Υπολογιστική Νοημοσύνη, έτσι και η Μηχανική Μάθηση, διαθέτει πλήθος μεθόδων επίλυσης, με κάθε μία εξ αυτών να μπορεί να ανταποκριθεί καλύτερα σε συγκεκριμένους τύπους προβλημάτων. Κάθε μοντέλο που εκπαιδεύεται, συνοδεύεται

από κάποια ποιοτικά χαρακτηριστικά που αφορούν την αποτελεσματικότητά του, όπως τα ποσοστά ακριβείας και σφάλματος, τον πίνακα σύγχυσης, κλπ. Ως εκ τούτου, η αποτελεσματικότητα αυτή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα και την ποσότητα των δεδομένων εκπαίδευσης, την επιλογή του κατάλληλου αλγορίθμου εκπαίδευσης όπως επίσης και από την παραμετροποίηση του.

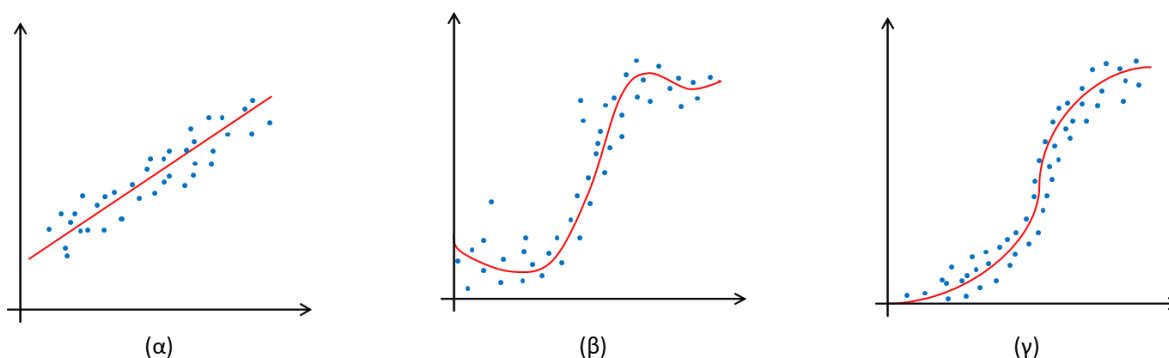
### 1.5.1 Παλινδρόμηση

Το πεδίο της Στατιστικής που εξετάζει σχέσεις ενός πλήθους μεταβλητών με σκοπό την πρόβλεψη μίας εξ' αυτών, ονομάζεται Ανάλυση Παλινδρόμησης (*μτφρ. Regression Analysis*). Στον τομέα της Μηχανικής Μάθησης, η διαδικασία αυτή καλείται απλά Παλινδρόμηση (*μτφρ. Regression*) όπου εκπαιδεύονται αλγόριθμοι οι οποίοι επιτελούν ακριβώς αυτή τη λειτουργία.

Η Παλινδρόμηση ανήκει στην κατηγορία των μεθόδων επιτηρούμενης μηχανικής μάθησης και σκοπός της είναι να εκπαιδεύσει ένα μοντέλο το οποίο θα “ανακαλύψει” και θα καθορίσει μία μαθηματική συνάρτηση  $f$ . Η έξοδος αυτής της συνάρτησης θα χαράξει μία γραμμή η οποία θα χρησιμοποιείται από το μοντέλο, μετά το πέρας της εκπαίδευσής του, για να προβλέπει με ακρίβεια εξόδους για κάθε νέο σύνολο εισόδων που θα εισέρχονται σε αυτό. Φυσικά, η μέθοδος της Παλινδρόμησης δεν περιορίζεται μόνο στον ορισμό μια ευθείας ή καμπύλης αλλά μπορεί να σχηματίσει και υπερεπίπεδα.

Η Παλινδρόμηση διακρίνεται σε απλή και πολλαπλή. Στην απλή της μορφή, χρησιμοποιείται μόνο μία ανεξάρτητη μεταβλητή εισόδου για να προβλεφθεί η εξαρτημένη μεταβλητή εξόδου, ενώ στην πολλαπλή οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι δύο ή περισσότερες.

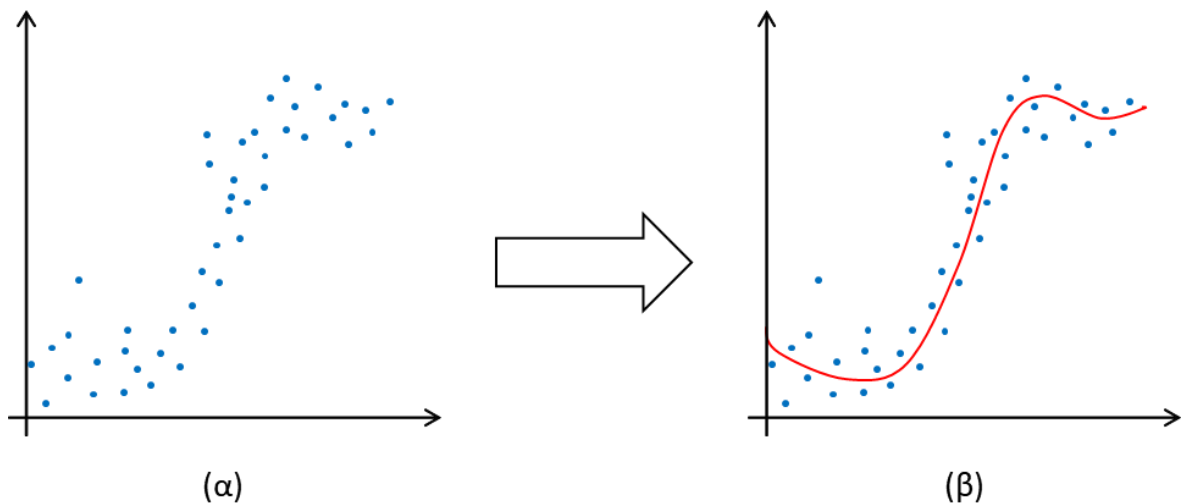
Υπάρχουν πολλοί τύποι Παλινδρόμησης, με τον καθένα να είναι κατάλληλος για την επίλυση διαφορετικών προβλημάτων. Οι κυριότεροι εξ αυτών είναι η Γραμμική Παλινδρόμηση (**Εικόνα 1.15α**), η Πολυωνυμική (**Εικόνα 1.15β**) και η Λογιστική (**Εικόνα 1.15γ**).



**Εικόνα 1.15:** Ενδεικτικοί τύποι Παλινδρόμησης

Για να επιλεγεί ο καλύτερος τύπος Παλινδρόμησης ώστε να εκπαιδευτεί ένα μοντέλο προβλέψεων που να δίνει αποτελέσματα με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια, θα πρέπει πρώτα να αποτυπώσουμε σε ένα διάγραμμα διασποράς (μτφρ. *scatter plot*) όλες τις εξαρτημένες μεταβλητές συναρτήσει όλων των ανεξάρτητων. Στη συνέχεια, μπορούμε εμπειρικά να συμπεράνουμε ποιος τύπος Παλινδρόμησης ταιριάζει στα δεδομένα μας, ή εναλλακτικά να προβούμε σε δοκιμές διαφορετικών τύπων μέχρι να βρούμε τον καταλληλότερο, και να τον παραμετροποιήσουμε ώστε να βελτιστοποιηθεί το τελικό μοντέλο μας. Για τον προσδιορισμό της τελικής εξίσωσης που θα αποδίδει την αποτελεσματικότερη καμπύλη προβλέψεων, θα πρέπει ο αλγόριθμος εκπαίδευσης να δημιουργήσει και να συγκρίνει πολλά μοντέλα, χρησιμοποιώντας διάφορες μαθηματικές μεθόδους. Από της δημοφιλέστερες είναι η μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων και το άθροισμα απόλυτων αποκλίσεων.

Έστω ότι το σύνολο δεδομένων που έχουμε στη διάθεσή μας για εκπαίδευση μοντέλου Παλινδρόμησης, αποτυπώνεται σε διάγραμμα διασποράς όπως στην **Εικόνα 1.16α**. Εκ πρώτης όψεως οι δύο επιλογές που φαίνεται ότι θα μας εξυπηρετούσαν καλύτερα είναι αυτές της πολυωνυμικής ή της λογιστικής παλινδρόμησης. Εν τέλει, ύστερα από δοκιμές και παραμετροποιήσεις προκύπτει ότι καταλληλότερος τύπος ήταν αυτός της πολυωνυμικής παλινδρόμησης.



**Εικόνα 1.16:** Παράδειγμα υλοποίησης μοντέλου πολυωνυμικής παλινδρόμησης

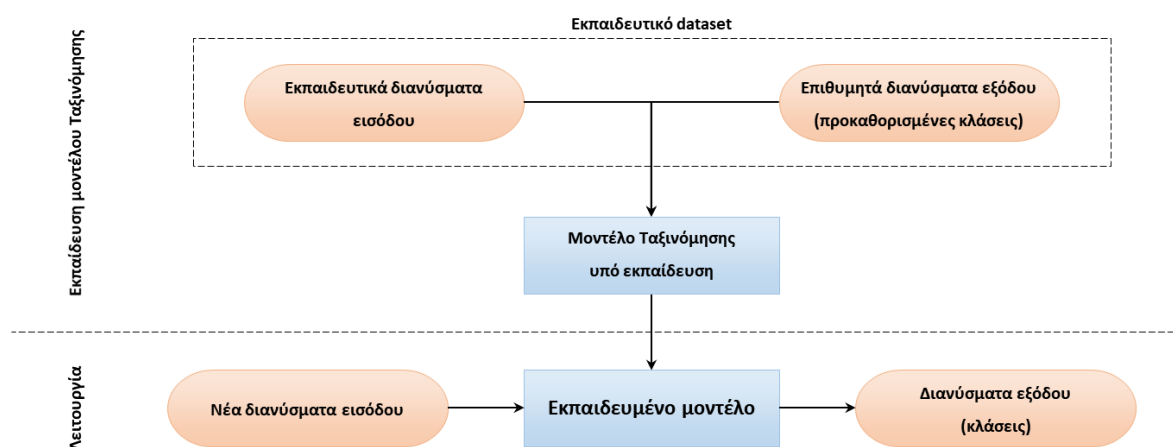
Η Παλινδρόμηση είναι ιδανική μέθοδος για ακριβείς προβλέψεις τιμών βάσει συσχετισμών με συγκεκριμένες παραμέτρους και, μεταξύ άλλων, βρίσκει άμεση εφαρμογή στους εξής κλάδους:

- **Οικονομία:** για την πρόβλεψη της πορείας χρηματιστηριακών μετοχών
- **Κτηματομεσιτικά:** για την εκτίμηση της τιμής ακινήτων
- **Ιατρική:** για την εκτίμηση της πορείας ασθενών
- **Εμπόριο:** για την πρόβλεψη της αγοραστικής κίνησης
- **Αγορά πρώτων υλών:** για την πρόβλεψη της τιμής πολύτιμων μετάλλων, ορυκτών καυσίμων, κλπ.

### 1.5.2 Ταξινόμηση

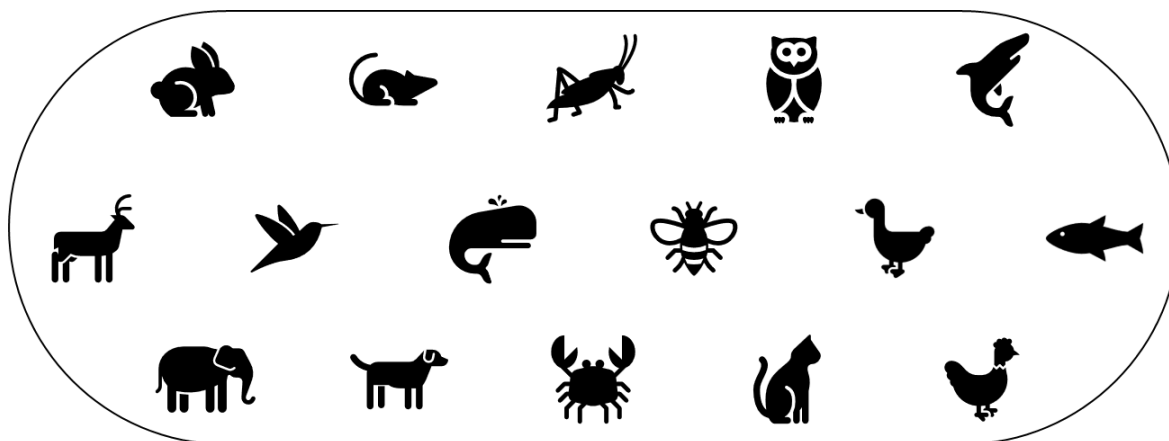
Μία ακόμα μέθοδος επιτηρούμενης μηχανικής μάθησης είναι η Ταξινόμηση (*μτφρ. Classification*) και χρησιμοποιείται όταν απαιτείται να αναγνωριστούν μοτίβα με σκοπό τον προσδιορισμό και την καταχώρηση ενός αντικειμένου σε ένα προκαθορισμένο σύνολο ή υποσύνολο.

Το μοντέλο εκπαιδεύεται με ένα σύνολο δεδομένων, και του υποδεικνύονται οι επιθυμητές έξοδοι. Οι έξοδοι αυτοί ονομάζονται *Κλάσεις* και αποτελούν τις κατηγορίες στις οποίες θα ταξινομούνται τα νέα διανύσματα εισόδου, που θα τροφοδοτούνται στο μοντέλο μετά το πέρας της εκπαίδευσής του. Η τελική λειτουργία του εκπαιδευμένου μοντέλου μπορεί να αφορά ταξινομήσεις δυαδικής ή πολλαπλής φύσεως. Στην πρώτη περίπτωση, το μοντέλο διαχειρίζεται δεδομένα που επιλύονται με απαντήσεις τύπου ΝΑΙ/ΟΧΙ, ενώ στη δεύτερη τα δεδομένα μπορούν να ταξινομηθούν σε περισσότερες κλάσεις.



**Εικόνα 1.17:** Τυπικό Διάγραμμα Ροής εκπαίδευσης και λειτουργίας μοντέλου Ταξινόμησης

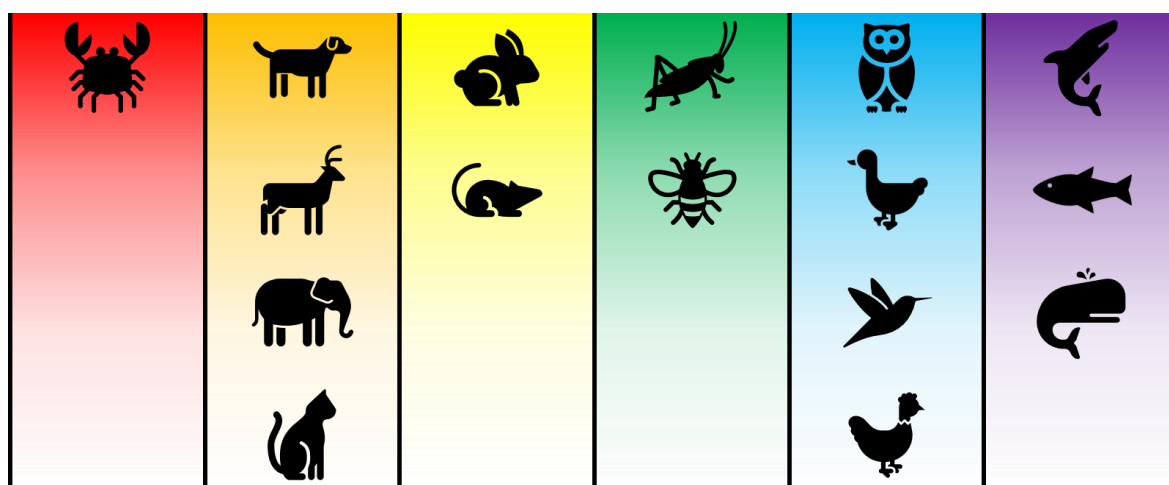
Για να γίνει καλύτερα αντιληπτή η λειτουργία ενός μοντέλου Ταξινόμησης, ας θεωρήσουμε ότι θέλουμε να υλοποιήσουμε ένα μοντέλο το οποίο θα ταξινομεί αυτόματα εισερχόμενες φωτογραφίες που απεικονίζουν κάποια είδη ζώων. Αρχικά θα πρέπει να εκπαιδεύσουμε το εν λόγω μοντέλο έχοντας ένα σύνολο δεδομένων με φωτογραφίες από τα είδη ζώων που επιθυμούμε να διαχειριζόμαστε (παραδειγματική απεικόνιση στην **Εικόνα 1.18**). Για τον λόγο αυτό, κάθε φωτογραφία με την οποία τροφοδοτούμε το υπό εκπαίδευση μοντέλο, θα συνοδεύεται και από επιπρόσθετα δεδομένα τα οποία είναι σεσημασμένα με ετικέτες (*μτφρ. labels*). Μία εξ αυτών θα πρέπει να αναφέρει ποιο ζώο απεικονίζεται. Οι υπόλοιπες μπορούν να αναφέρουν σχεδόν οτιδήποτε αναφορικά με τα χαρακτηριστικά του εικονιζόμενου ζώου, π.χ. τύπος (θηλαστικό, πτηνό, έντομο αμφίβιο, κλπ.), χρώμα, διατροφή (φυτοφάγο, σαρκοφάγο, παμφάγο), κ.α.



**Εικόνα 1.18:** Γραφική αναπαράσταση εκπαιδευτικού συνόλου δεδομένων με είδη ζώων

Στη συνέχεια, ορίζουμε τις επιθυμητές Κλάσεις, και προαιρετικά φροντίζουμε για μία ακόμα που θα αφορά μη ταξινομήσιμες εισόδους (non-classified). Στην τελευταία θα καταχωρούνται φωτογραφίες με αντικείμενα που δεν αντιστοιχούν σε κάποια από τις Κλάσεις ή που δεν μπορούν να αναγνωριστούν από τον αλγόριθμο.

Όταν ολοκληρωθεί η εκπαίδευση του μοντέλου, θα μπορούμε να το τροφοδοτήσουμε είτε με ένα νέο σύνολο δεδομένων είτε με μεμονωμένες φωτογραφίες, και εκείνο θα είναι στη θέση να ταξινομεί με ακρίβεια τις εισερχόμενες πληροφορίες, όπως για παράδειγμα στην **Εικόνα 1.19** που ακολουθεί:



**Εικόνα 1.19:** Γραφική αναπαράσταση ταξινόμησης των δεδομένων

Τα μοντέλα Ταξινόμησης μπορούν να εφαρμοστούν οπουδήποτε υπάρχουν δεδομένα, κυρίως πολυπαραγοντικά, που χρίζουν άμεσης, γρήγορης και ακριβούς αξιολόγησης. Μερικά παραδείγματα εφαρμογής είναι:

- η αναγνώριση ανεπιθύμητης ηλεκτρονικής αλληλογραφίας (spam e-mail)
- η αναγνώριση γραφικού χαρακτήρα
- η αναγνώριση αγοραστικής συμπεριφοράς χρήστη
- ικανότητα αποπληρωμής αιτούμενου δανείου

### 1.5.3 Συσταδοποίηση

Η Συσταδοποίηση (μτφρ. *Clustering*), ή αλλιώς Ομαδοποίηση, είναι μια μέθοδος μη επιτηρούμενης μηχανικής μάθησης κατά την οποία το μοντέλο αναλαμβάνει να εντοπίσει κοινά στοιχεία μεταξύ οντοτήτων (data points) και να τις ομαδοποιήσει. Αν θεωρούσαμε ως εκπαιδευτικό dataset το σύνολο δεδομένων της **Εικόνας 1.18**, ένα πιθανό αποτέλεσμα Συσταδοποίησης θα μπορούσε να ήταν το εξής, όπου ο αλγόριθμος θα είχε διαχωρίσει τα εικονιζόμενα ζώα με βάση το περιβάλλον στο οποίο κατέχουν εξελικτικό πλεονέκτημα, δηλαδή σε χερσαία, υδρόβια και ιπτάμενα:

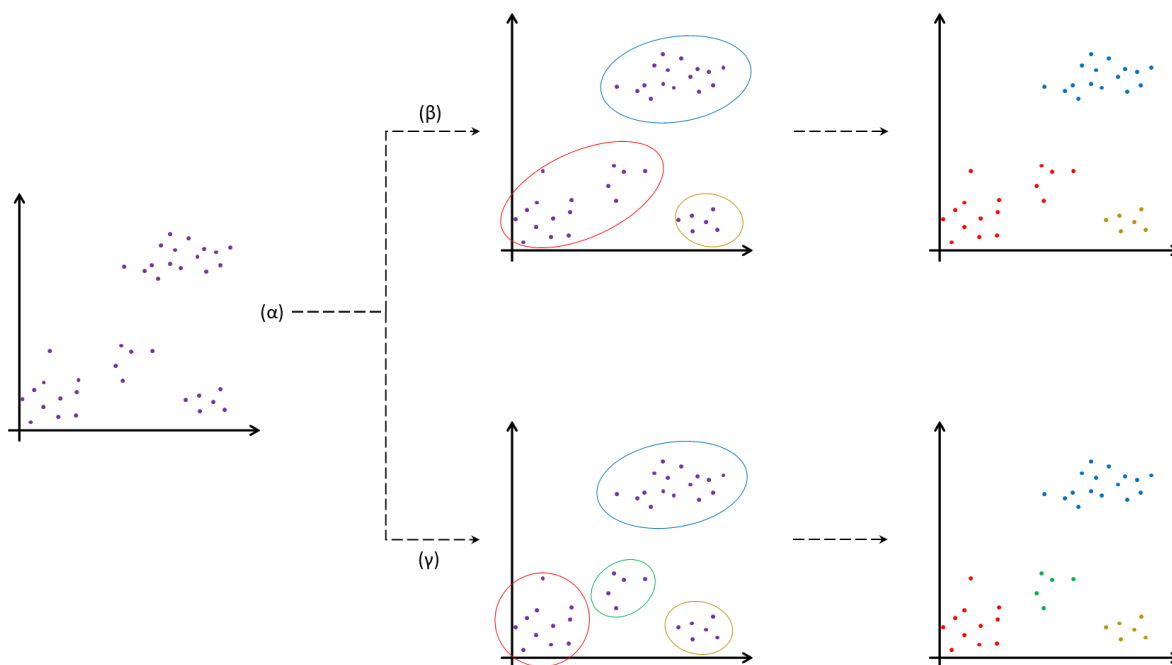


**Εικόνα 1.20:** Παράδειγμα Συσταδοποίησης

Στη Συσταδοποίηση, ο προγραμματιστής παραμετροποιεί τον αλγόριθμο εκπαίδευσης ορίζοντας σε πόσες συστάδες (μτφρ. *clusters*) επιθυμεί να καταταχθούν οι οντότητες των εκπαιδευτικών δεδομένων. Στη συνέχεια ο αλγόριθμος θα ομαδοποιήσει τις παραπάνω οντότητες κάνοντας συσχετίσεις μεταξύ των δεδομένων που τις απαρτίζουν. Οι συστάδες που

θα προκύψουν θα αποτελέσουν τα σημεία αναφοράς για νέες οντότητες τις οποίες θα κληθεί να αντιστοιχίσει το μοντέλο μετά την εκπαίδευσή του. Η κάθε νέα οντότητα θα τοποθετηθεί στη σχετικότερη σε αυτή συστάδα. Οι αντιστοιχίσεις των νέων οντοτήτων, πραγματοποιούνται με διάφορες προσεγγίσεις και η βέλτιστη επιλογή εξαρτάται από το προς επίλυση πρόβλημα. Δύο από τις δημοφιλέστερες είναι με βάση τα κέντρα βάρους κάθε συστάδας ή με βάση την εγγύτερη γειτνιάζουσα οντότητα (*μτφρ. nearest neighbour*). Η πρώτη προσέγγιση ορίζει ένα κεντρικό σημείο στη συστάδα ως σημείο αναφοράς, ενώ στη δεύτερη ως σημείο αναφοράς λαμβάνεται σχεδόν οποιαδήποτε data point βρίσκεται πιο κοντά στην υπό εξέταση οντότητα. Η τελευταία, υλοποιείται συνηθέστερα λαμβάνοντας υπόψη ένα πλήθος  $K$  εγγύτερων γειτόνων ( $K$  nearest neighbors, KNN) και όχι μόνο έναν.

Για παράδειγμα, στην **Εικόνα 1.21α** έχουμε ένα διάγραμμα διασποράς των οντοτήτων που προκύπτουν από ένα σύνολο δεδομένων. Κατά την παραμετροποίηση του αλγορίθμου εκπαίδευσης μπορούμε να επιλέξουμε οποιονδήποτε αριθμό συστάδων για την ομαδοποίηση των οντοτήτων. Παρόλα αυτά, από το διάγραμμα διασποράς διαφαίνεται πώς οι καλύτερες επιλογές θα ήταν τρεις (3) ή τέσσερις (4).

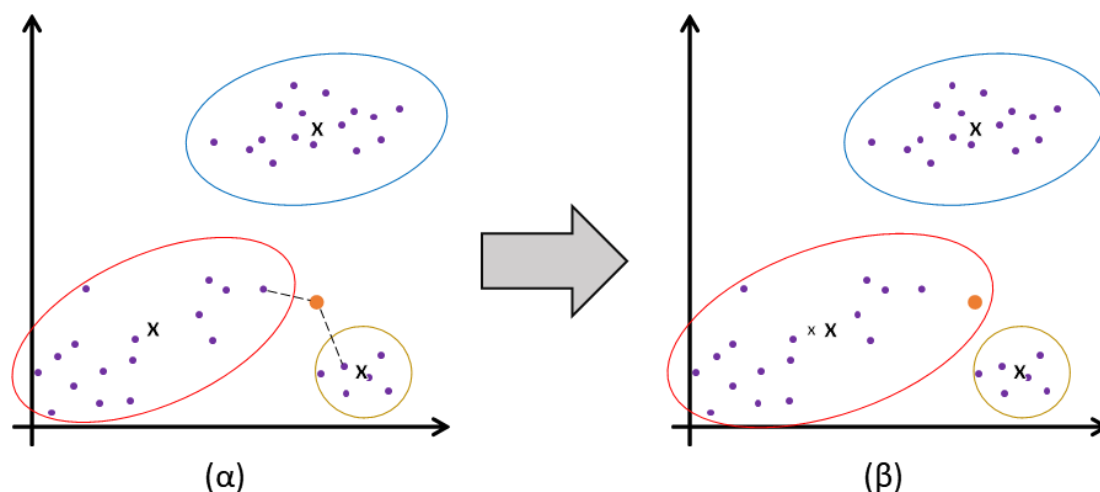


**Εικόνα 1.21:** Διαφοροποίηση συσταδοποίησης βάσει επιθυμητού πλήθους συστάδων



Αρχικά παραμετροποιούμε τον αλγόριθμο εκπαίδευσης επιλέγοντας να δημιουργήσει 3 συστάδες. Ο αλγόριθμος καταλήγει να έχει ομαδοποιήσει τις οντότητες όπως στην **Εικόνα 1.21β**. Κατόπιν, δημιουργούμε και ένα δεύτερο μοντέλο παραμετροποιώντας τον αλγόριθμο ώστε να δημιουργήσει 4 συστάδες, όπως προκύπτει στην **Εικόνα 1.21γ**. Έχοντας τώρα δύο λειτουργικά μοντέλα δοκιμάζουμε σε καθένα από αυτά να εισάγουμε μία νέα οντότητα για να εξετάσουμε πώς αυτή θα ομαδοποιηθεί. Για κάθε ένα από τα μοντέλα, η ομαδοποίηση θα γίνει τόσο με τη μέθοδο της εγγύτερης γείτονος οντότητας όσο και με βάση το κέντρο κάθε συστάδας. Σε κάθε παράδειγμα που ακολουθεί, η νέα οντότητα απεικονίζεται με πορτοκαλί χρώμα ενώ τα κέντρα βάρους κάθε συστάδας με ένα Χ.

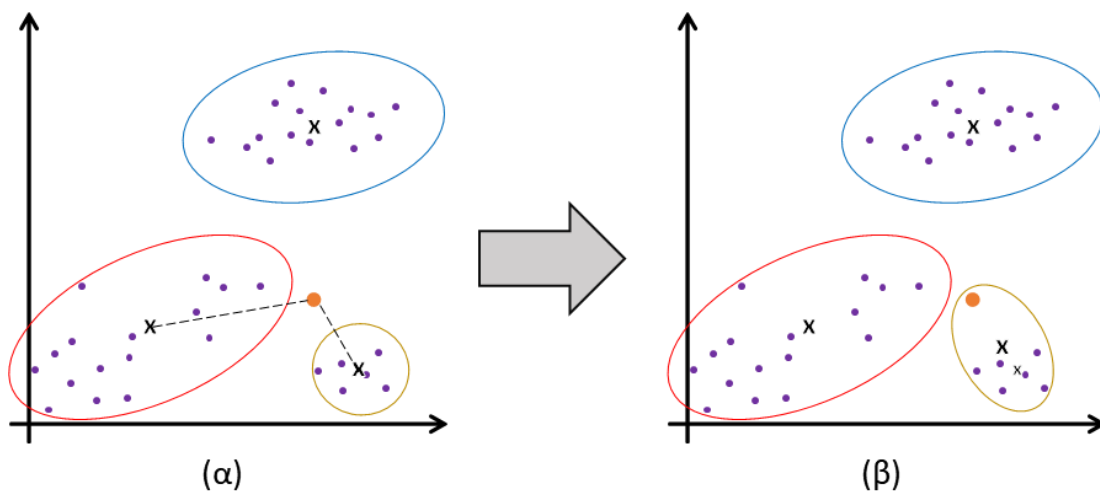
Στην **Εικόνα 1.22** τοποθετούμε την νέα οντότητα στον “χάρτη” του διαγράμματος διασποράς του μοντέλου με τις τρεις συστάδες. Για να δούμε που θα ενταχθεί, βάσει της μεθόδου εγγύτερης γείτονος, χαράσσουμε μία ευθεία από την πορτοκαλί οντότητα στην κοντινότερη του κόκκινου cluster. Αντίστοιχα πράττουμε και με την κοντινότερη οντότητα από το κίτρινο cluster. Παρατηρούμε ότι η πορτοκαλί οντότητα βρίσκεται πιο κοντά στο κόκκινο cluster από όσο στο κίτρινο, άρα θα ενταχθεί εκεί και τα όριά του κόκκινου cluster θα αναπροσαρμοστούν με βάση το νέο μέλος του.



**Εικόνα 1.22:** Ομαδοποίηση νέας οντότητας με προσέγγιση εγγύτερου γείτονα (3 clusters)

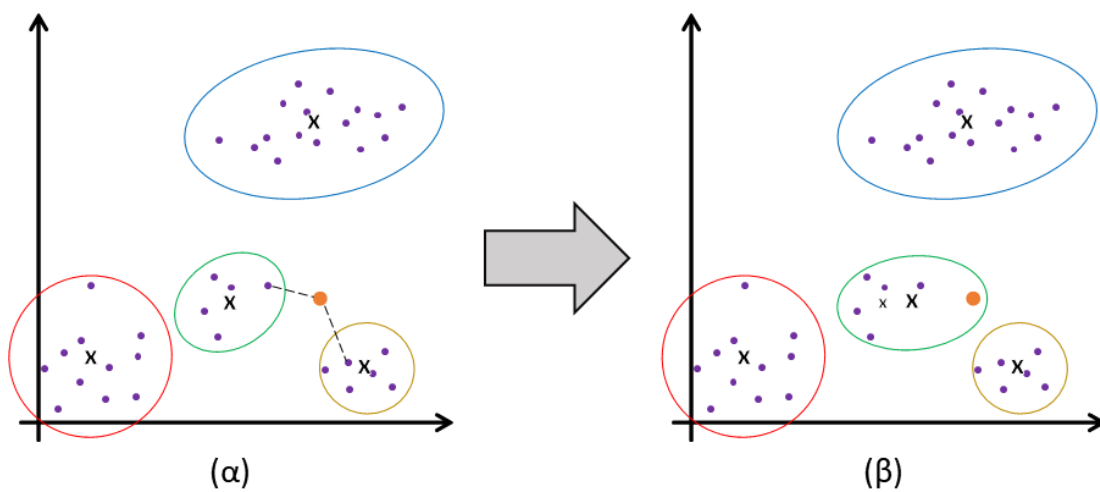
Δεν συμβαίνει όμως το ίδιο όταν για την ένταξή της, χρησιμοποιούμε τη μέθοδο των κέντρων (**Εικόνα 1.23**). Σε αυτήν την περίπτωση χαράσσουμε μία ευθεία από τη πορτοκαλί

οντότητα προς το κέντρο του κόκκινου cluster και άλλη μία προς το κέντρο του κίτρινου cluster. Παρατηρούμε εδώ ότι η πορτοκαλί οντότητα βρίσκεται σαφέστερα πιο κοντά στο κίτρινο cluster και κατ' επέκταση θα ενταχθεί εκεί. Η ενέργεια αυτή θα έχει ως αποτέλεσμα τον επανυπολογισμό και επαναπροσδιορισμό του κέντρου του εν λόγω cluster. Στην **Εικόνα 1.23β** βλέπουμε το νέο κέντρο βάρους, σημειωμένο με ένα **X** ενώ το προηγούμενο με ένα **x** μικρότερου μεγέθους, ώστε να διακρίνεται η μετατόπισή του.



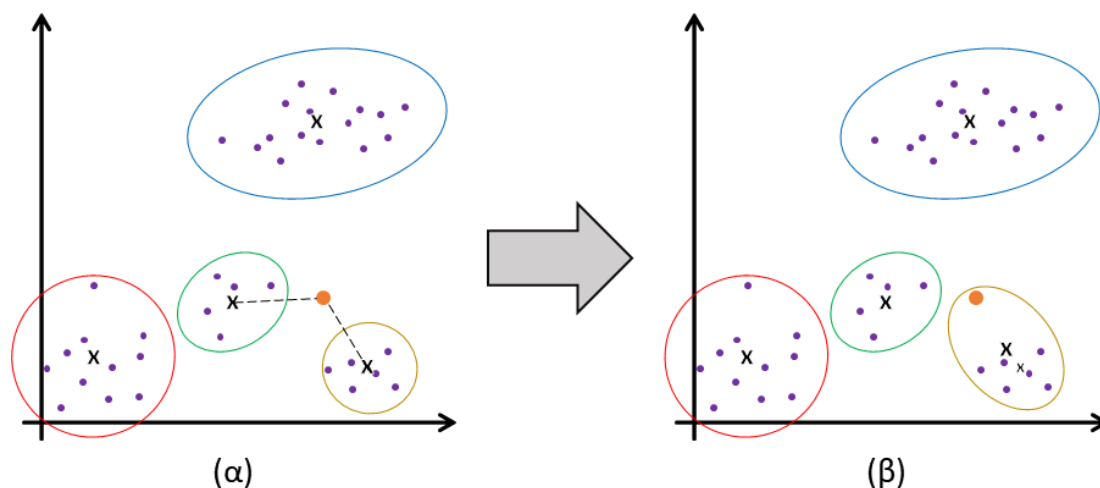
**Εικόνα 1.23:** Ομαδοποίηση νέας οντότητας με προσέγγιση κέντρων (3 clusters)

Επαναλαμβάνουμε τις ανωτέρω ενέργειες και για το μοντέλο με τις 4 συστάδες.



**Εικόνα 1.24:** Ομαδοποίηση νέας οντότητας με προσέγγιση εγγύτερου γείτονα (4 clusters)

Η **Εικόνα 1.24** δείχνει την ένταξη της νέας οντότητας σε cluster με τη μέθοδο της εγγύτερης γείτονος ενώ η **Εικόνα 1.25** που ακολουθεί, με τη μέθοδο των κέντρων.



**Εικόνα 1.25:** Ομαδοποίηση νέας οντότητας με προσέγγιση κέντρων (4 clusters)

Μολονότι στην πρώτη περίπτωση η πορτοκαλί οντότητα τοποθετήθηκε στο πράσινο cluster (όπου στο μοντέλο με τα 3 clusters άνηκε στο κόκκινο), στη δεύτερη τοποθετήθηκε οριακά το κίτρινο, καθώς η διαφορά των αποστάσεων της από τα αντίστοιχα κέντρα ήταν πολύ μικρή και όχι τόσο ευδιάκριτη όπως στην **Εικόνα 1.23**.

Μέσω αυτού του παραδείγματος, καθίσταται σαφές ότι τόσο ο αριθμός των clusters που θα υποδειχθεί μέσω παραμετροποίησης στο εκπαιδευόμενο μοντέλο, όσο και η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία του, παίζουν σημαντικό ρόλο στην επιχειρησιακή λειτουργία και απόδοση του μοντέλου καθώς από αυτά κρίνεται η κάθε μετέπειτα ένταξη νέων datapoints σε clusters.

Τα μοντέλα Συσταδοποίησης πεδία εφαρμογής μπορούν να εφαρμοστούν οπουδήποτε υπάρχουν δεδομένα, κυρίως πολυπαραγοντικά, που χρίζουν άμεσης, γρήγορης και ακριβούς αξιολόγησης. Μερικά παραδείγματα εφαρμογής είναι:

- Κατηγοριοποίηση ηλεκτρονικής αλληλογραφίας (ενοχλητική, επιβλαβής, διαφημιστική, κλπ.)
- Προσδιορισμός τύπου ψευδών ειδήσεων (fake news)
- Αναγνώριση παράνομων ή εγκληματικών δραστηριοτήτων
- Βελτιστοποίηση κατηγοριοποίησης πελατών για στοχευμένες προωθητικές ενέργειες

## 1.6 Υπολογιστική Νοημοσύνη

Ο όρος “Τεχνητή Νοημοσύνη” αποτελεί μια γενικότερη έννοια η οποία συμπεριλαμβάνει κάθε μη-βιολογική νοημοσύνη. Ο όρος Υπολογιστική Τεχνητή Νοημοσύνη (ή Υπολογιστική Νοημοσύνη), χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον James C. Bezdek [36] και αφορά κάθε τεχνητή νοημοσύνη που μπορεί να υλοποιηθεί με υπολογιστικές μεθόδους και διαδικασίες. Η Υπολογιστική Νοημοσύνη θα μπορούσε να περιγραφεί ως εξής:

*“Υπολογιστική Νοημοσύνη είναι ο επιστημονικός χώρος που προσφέρει τις τεχνικές για την επίλυση δύσκολων προβλημάτων, με τη μηχανή να μιμείται απλώς τις βιολογικές διεργασίες, χωρίς να είναι απαραίτητο να επιδεικνύει γενική νοημοσύνη.”*

Η Υπολογιστική Νοημοσύνη είναι αποτέλεσμα του συνδυασμού της Τεχνητής Νοημοσύνης με την Θεωρία Συστημάτων και στοχεύει να αναπαράγει στοιχεία της ανθρώπινης ευφυΐας με υπολογιστικές τεχνικές και μέσα, με σκοπό να καταστήσει τους υπολογιστές ικανούς να εκτελούν έργο για το οποίο ο άνθρωπος τα καταφέρνει καλύτερα μέχρι σήμερα. Η Υπολογιστική Νοημοσύνη, δεν αποτελεί από μόνη της έναν συγκεκριμένο τρόπο επίλυσης προβλημάτων. Απεναντίας, διαθέτει αρκετές διαφορετικές μεθόδους, με κάθε μία εξ αυτών να μπορεί να αντιμετωπίσει καλύτερα ένα δεδομένο πρόβλημα.

### 1.6.1 Ασαφής Λογική

Η Ασαφής Λογική (Fuzzy Logic) βασίζεται στην ασάφεια. Η ασάφεια είναι ένα εγγενές χαρακτηριστικό της γλώσσας και του τρόπου που συλλογίζομαστε και σχετίζεται με την αντίληψη που έχει ο καθένας για λεκτικούς προσδιορισμούς ποσοτικών μεγεθών και μετρά το βαθμό στον οποίο ένα γεγονός συμβαίνει. Η Ασαφής Λογική στηρίζεται στη Θεωρία των Ασαφών Συνόλων και χαρακτηρίζεται από την ποσοτικοποίηση της πληροφορίας, αναφερόμενη σε μη-ακριβή δεδομένα που δεν αντιστοιχούν σε έναν αριθμό αλλά σε μία πιο εμπειρική προσέγγιση ενός μεγέθους.

Αν πούμε απλά ότι «ο Γιάννης είναι γρήγορος» δεν προσδιορίζουμε ούτε το αντικείμενο στο οποίο ο Γιάννης επιδεικνύει χαρακτηριστική ταχύτητα ούτε το μέγεθος αυτής. Στην περίπτωση μας, ο Γιάννης θα μπορούσε να είναι, μεταξύ άλλων, ένας γρήγορος δρομέας, ένας γρήγορος οδηγός ή ένας υπάλληλος που διεκπεραιώνει γρήγορα την εργασίας του. Μολονότι υπάρχει ασάφεια στην πρότασή μας, ένα σχετικό νόημα μπορεί να εξαχθεί από διάφορα συμφραζόμενα της ροής του λόγου. Δεδομένου ότι η πρότασή μας λέχθηκε κατά την παρακολούθηση αγώνων στίβου συμπεραίνουμε ότι ο Γιάννης τρέχει γρήγορα, ενώ εάν λέχθηκε κατά τη διάρκεια μιας αξιολόγησης προσωπικού τότε το συμπέρασμα αφορά στις επιδόσεις του Γιάννη ως εργαζόμενου.

Η Ασαφής Λογική στην Υπολογιστική Νοημοσύνη μας βοηθά να αντιμετωπίζουμε προβλήματα που αφορούν ποσοτικοποιημένες πληροφορίες. Τα πεδία τιμών των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται (ασαφείς μεταβλητές) δεν περιέχουν αριθμούς ή ακριβή μεγέθη αλλά λέξεις. Αυτό σημαίνει ότι, για έναν δρομέα, η ασαφής μεταβλητή “ταχύτητα” θα μπορούσε να λάβει τις εξής τιμές: πολύ αργός, αργός, μέτριος, γρήγορος, πολύ γρήγορος.

Για την επίλυση συμβατικών προβλημάτων, πολλές φορές καλούμαστε να αντιμετωπίσουμε μεταβλητές που ξεφεύγουν από την κλασική δυαδική λογική (0-1, on-off, κλπ.). Με τον Ασαφή Λογισμό, οι τιμές μιας μεταβλητής μπορούν να βρίσκονται οπουδήποτε μεταξύ του 0 και του 1.



Εικόνα 1.26: Απόσταση μεταξύ δύο αντικειμένων

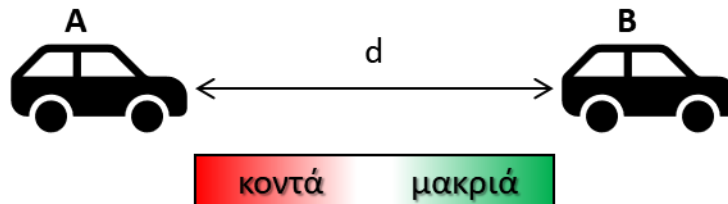
Ας πάρουμε για παράδειγμα μία απόσταση  $d$  μεταξύ δύο αντικειμένων. Μπορούμε να πούμε ότι το **αντικείμενο B** βρίσκεται είτε κοντά, είτε μακριά από το **αντικείμενο A**. Ρεαλιστικά, οι χαρακτηρισμοί “κοντά” και “μακριά” είναι σχετικοί, και πολλές φορές μπορεί να επηρεάζονται από την υποκειμενική αντίληψη του παρατηρητή ή του σχεδιαστή ενός συστήματος ελέγχου. Όμως, σε απόλυτους αριθμούς πόσο κοντά είναι το “κοντά” και πόσο μακριά το “μακριά”; Με μία προσέγγιση δυαδικής φιλοσοφίας, θα μπορούσαμε να θέσουμε το όριο μεταξύ «κοντά» και «μακριά» τραβώντας μία γραμμή ακριβώς στο μέσον της ενδιάμεσης απόστασης.



Εικόνα 1.27: Απόσταση μεταξύ δύο οχημάτων με δυαδική προσέγγιση τιμών

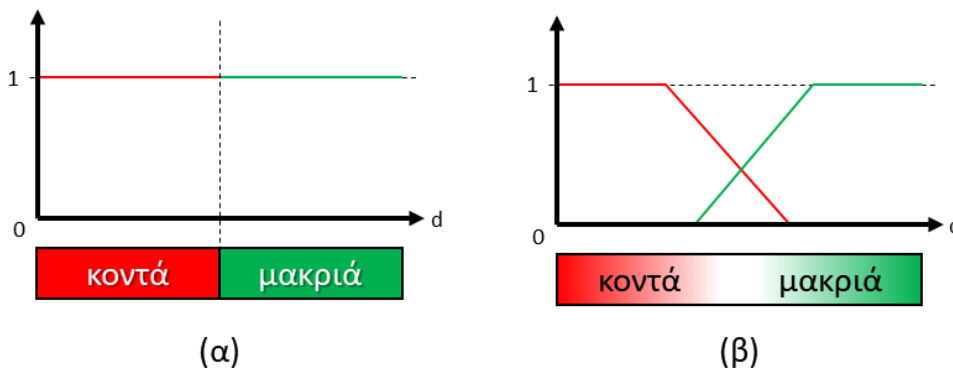
Έστω ότι τα δύο αντικείμενα στα οποία αναφερόμαστε είναι δύο αυτοκίνητα και εμείς καλούμαστε να υλοποιήσουμε ένα ευφυές αυτόματο σύστημα πέδησης για το **όχημα A**. Με τη συμβατική δυαδική προσέγγιση, το σύστημά μας δεν θα λειτουργούσε ομαλά καθώς θα παρουσίαζε διακοπτική συμπεριφορά όταν ο αισθητήρας θα διάβαζε την τιμή κατωφλίου μεταξύ κοντινής και μακρινής απόστασης. Πιο συγκεκριμένα, μόλις το προπορευόμενο αυτοκίνητο (**B**) εισέρχονταν στην κόκκινη ζώνη, τότε το σύστημα θα ενεργοποιούσε αυτομάτως τα φρένα στο 100%. Μόλις το **όχημα B** εξέρχονταν της κόκκινης ζώνης, τότε το σύστημα θα απελευθέρωνε τα φρένα και το **όχημα A** θα επιτάχυνε εκ νέου μέχρι να πλησιάσει και πάλι το **όχημα B** στην απόσταση κατωφλίου, όπου τα φρένα θα επανενεργοποιούνταν ξανά στο 100%. Φυσικά, μια τέτοια συμπεριφορά είναι επιζήμια για τα φρένα, καταπονεί το όχημα και σίγουρα δεν δημιουργεί συνθήκες άνεσης για τους επιβάτες.

Προσεγγίζοντας το ίδιο πρόβλημα με τη φιλοσοφία της Ασαφούς Λογικής, οι όροι κοντά-μακριά δεν θα χωρίζονταν από ένα σαφές όριο και το σύστημα, κατά τη συνεχή του λειτουργία, θα μπορούσε να αναγνωρίζει ταυτοχρόνως πόσο κοντά και πόσο μακριά βρίσκεται το προπορευόμενο όχημα.



Εικόνα 1.28: Απόσταση μεταξύ δύο οχημάτων με ασαφή προσέγγιση τιμών

Στην παρακάτω εικόνα διακρίνεται η διαφορά μεταξύ των δύο προσεγγίσεων, δυαδική (α) και ασαφής (β), ως προς τον διαχωρισμό των τιμών «κοντά-μακριά».

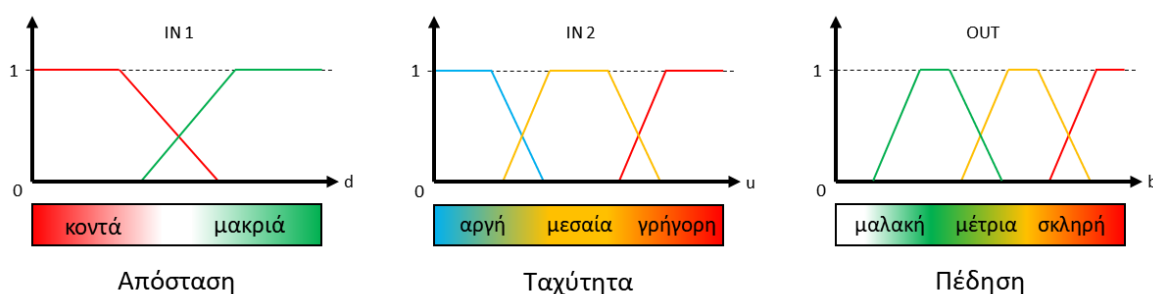


Εικόνα 1.29: Γραφικές απεικονίσεις προσεγγίσεων των τιμών «κοντά-μακριά»

Εφαρμόζοντας έναν αλγόριθμο Ασαφούς Λογικής στο δοθέν πρόβλημα, αποτέλεσμα θα ήταν μια ομαλότερη συμπεριφορά που θα επιδείκνυε πέδηση ανάλογη της απόστασης, εφόσον ικανοποιούνταν οι ασαφείς συνθήκες που έχουμε ορίσει (κανόνες). Οι κανόνες που ορίζουν την συμπεριφορά ενός Fuzzy Logic συστήματος περιγράφουν τους εμπειρικούς όρους με τους οποίους θα αντιδρούσε ένας άνθρωπος-χειριστής και δεν διαφέρουν ιδιαίτερα από τις κλασικές IF-THEN δηλώσεις μιας τυπικής γλώσσας προγραμματισμού. Για το παράδειγμα με το έξυπνο σύστημα πέδησης, θα μπορούσαμε να έχουμε τις εξής ασαφείς μεταβλητές, με τα αντίστοιχα πεδία τιμών εντός αγκυλών:

- Απόσταση {κοντινή, μακρινή}
- Ταχύτητα οχήματος {αργή, μεσαία, γρήγορη}
- Πέδηση {μηδενική, μαλακή, μέτρια, σκληρή}

των οποίων η γραφική αναπαράσταση γίνεται εδώ προς χάριν παραδείγματος με τραπεζοειδείς συναρτήσεις:



Εικόνα 1.30: Ασαφείς μεταβλητές προβλήματος και πεδία τιμών τους

Οι κανόνες που θα όριζαν τη συμπεριφορά του συστήματος, θα μπορούσαν να είναι:

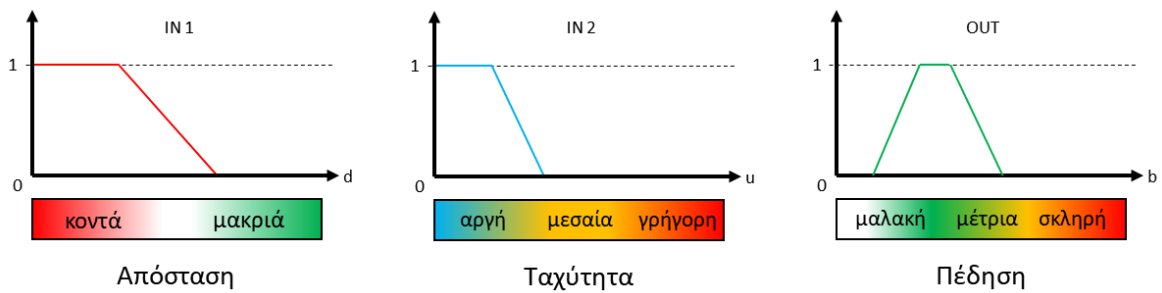
1. ΕΑΝ η ΑΠΟΣΤΑΣΗ είναι **ΚΟΝΤΙΝΗ** και η ΤΑΧΥΤΗΤΑ είναι **ΑΡΓΗ**,  
ΤΟΤΕ η ΠΕΔΗΣΗ θα είναι **ΜΑΛΑΚΗ**.
2. ΕΑΝ η ΑΠΟΣΤΑΣΗ είναι **ΚΟΝΤΙΝΗ** και η ΤΑΧΥΤΗΤΑ είναι **ΜΕΣΑΙΑ**,  
ΤΟΤΕ η ΠΕΔΗΣΗ θα είναι **ΜΕΤΡΙΑ**.
3. ΕΑΝ η ΑΠΟΣΤΑΣΗ είναι **ΚΟΝΤΙΝΗ** και η ΤΑΧΥΤΗΤΑ είναι **ΓΡΗΓΟΡΗ**,  
ΤΟΤΕ η ΠΕΔΗΣΗ θα είναι **ΣΚΛΗΡΗ**.
4. ΕΑΝ η ΑΠΟΣΤΑΣΗ είναι **ΜΑΚΡΙΝΗ** και η ΤΑΧΥΤΗΤΑ είναι **ΑΡΓΗ**,  
ΤΟΤΕ η ΠΕΔΗΣΗ θα είναι **ΜΗΔΕΝΙΚΗ**.
5. ΕΑΝ η ΑΠΟΣΤΑΣΗ είναι **ΜΑΚΡΙΝΗ** και η ΤΑΧΥΤΗΤΑ είναι **ΜΕΣΑΙΑ**,  
ΤΟΤΕ η ΠΕΔΗΣΗ θα είναι **ΜΑΛΑΚΗ**.
6. ΕΑΝ η ΑΠΟΣΤΑΣΗ είναι **ΜΑΚΡΙΝΗ** και η ΤΑΧΥΤΗΤΑ είναι **ΓΡΗΓΟΡΗ**,  
ΤΟΤΕ η ΠΕΔΗΣΗ θα είναι **ΜΕΤΡΙΑ**.



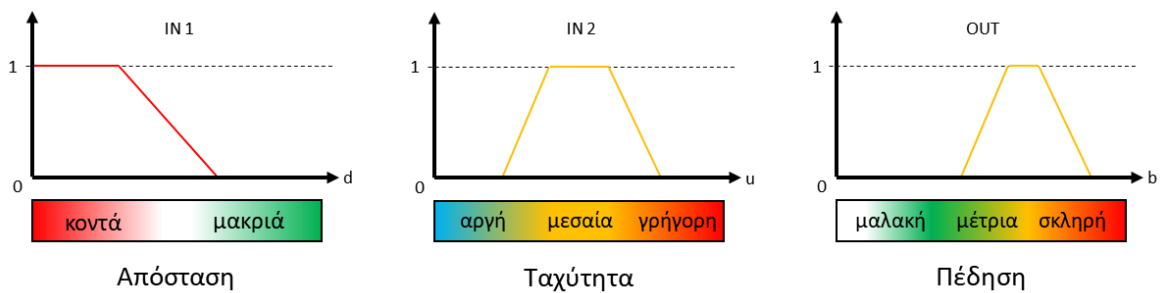
Οι κανόνες θα μπορούσαν να ήταν περισσότεροι αν είχαμε ορίσει περισσότερα πεδία τιμών σε τουλάχιστον μία ακόμα εκ των ασαφών μεταβλητών. Σημειώνεται επίσης ότι τα πεδία τιμών τους δύναται να έχουν και άλλες μορφές πέραν της τραπεζοειδούς: τριγωνικές, γκαουσιανές, καμπανοειδείς, σιγμοειδείς, κ.α. Επιπροσθέτως, για τη δημιουργία κανόνων μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για είσοδο ή για έξοδο περισσότερες των δύο ασαφών μεταβλητών, ενώ ως συνδεδετικά υπάρχουν τα: ΟΧΙ, ΚΑΙ, Ή. Παρόλα αυτά, με τα όσα έχουμε αρχικά ορίσει, οι κανόνες θα μπορούσαν να είναι και λιγότεροι. Για παράδειγμα:

1. ΕΑΝ η ΑΠΟΣΤΑΣΗ είναι **ΚΟΝΤΙΝΗ** και η ΤΑΧΥΤΗΤΑ είναι **ΑΡΓΗ**,  
ΤΟΤΕ η ΠΕΔΗΣΗ θα είναι **ΜΑΛΑΚΗ**.
2. ΕΑΝ η ΑΠΟΣΤΑΣΗ είναι **ΚΟΝΤΙΝΗ** και η ΤΑΧΥΤΗΤΑ είναι **ΜΕΣΑΙΑ**,  
ΤΟΤΕ η ΠΕΔΗΣΗ θα είναι **ΜΕΤΡΙΑ**.
3. ΕΑΝ η ΑΠΟΣΤΑΣΗ είναι **ΚΟΝΤΙΝΗ** και η ΤΑΧΥΤΗΤΑ είναι **ΓΡΗΓΟΡΗ**,  
ΤΟΤΕ η ΠΕΔΗΣΗ θα είναι **ΣΚΛΗΡΗ**.
4. ΕΑΝ η ΑΠΟΣΤΑΣΗ είναι **ΜΑΚΡΙΝΗ** και η ΤΑΧΥΤΗΤΑ είναι **ΓΡΗΓΟΡΗ**,  
ΤΟΤΕ η ΠΕΔΗΣΗ θα είναι **ΜΕΤΡΙΑ**.

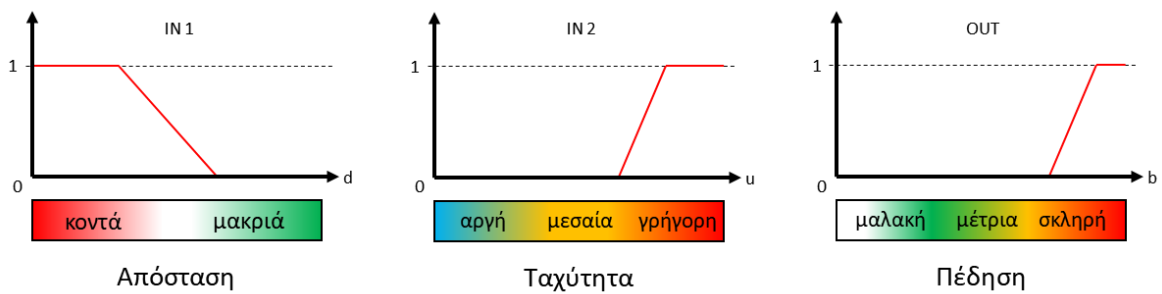
Γραφικά, οι τέσσερις παραπάνω κανόνες αποτυπώνονται γραφικά ως εξής:



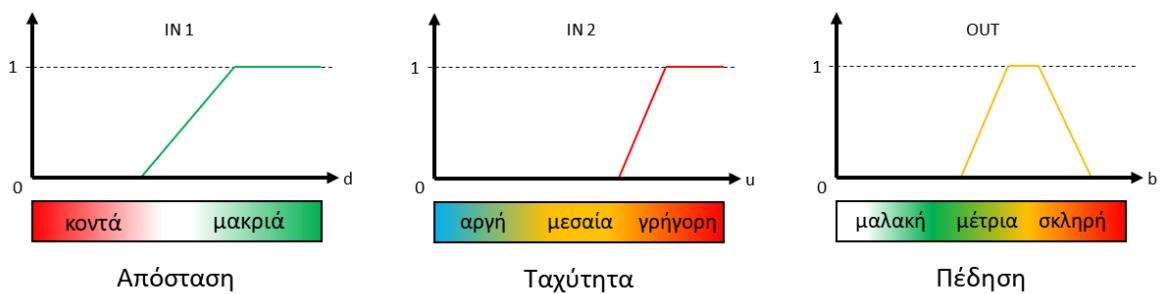
**Κανόνας 1:** ΕΑΝ η ΑΠΟΣΤΑΣΗ είναι **ΚΟΝΤΙΝΗ** και η ΤΑΧΥΤΗΤΑ είναι **ΑΡΓΗ**, ΤΟΤΕ η ΠΕΔΗΣΗ θα είναι **ΜΑΛΑΚΗ**



**Κανόνας 2:** ΕΑΝ η ΑΠΟΣΤΑΣΗ είναι **ΚΟΝΤΙΝΗ** και η ΤΑΧΥΤΗΤΑ είναι **ΜΕΣΑΙΑ**, ΤΟΤΕ η ΠΕΔΗΣΗ θα είναι **ΜΕΤΡΙΑ**



**Κανόνας 3:** ΕΑΝ η ΑΠΟΣΤΑΣΗ είναι **ΚΟΝΤΙΝΗ** και η ΤΑΧΥΤΗΤΑ είναι **ΓΡΗΓΟΡΗ**, ΤΟΤΕ η ΠΕΔΗΣΗ θα είναι **ΣΚΛΗΡΗ**

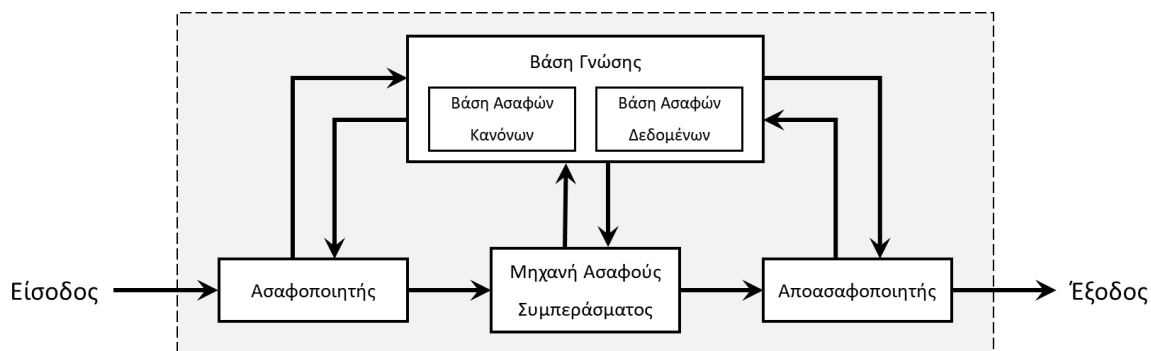


**Κανόνας 4:** ΕΑΝ η ΑΠΟΣΤΑΣΗ είναι **ΜΑΚΡΙΝΗ** και η ΤΑΧΥΤΗΤΑ είναι **ΓΡΗΓΟΡΗ**, ΤΟΤΕ η ΠΕΔΗΣΗ θα είναι **ΜΕΤΡΙΑ**

**Εικόνα 1.31:** Γραφικές αναπαράστάσεις κανόνων του ευφυούς συστήματος πέδησης

Ένα Σύστημα Ασαφούς Λογικής (μτφρ. *Fuzzy Logic System – FLS*), αποτελείται από τέσσερα (4) επιμέρους δομικά στοιχεία:

- Τον **Ασαφοποιητή**, ο οποίος λαμβάνει ως σήμα εισόδου μία τιμή και την ανάγει σε κάποιο από τα ασαφή σύνολα, όπως αυτά έχουν οριστεί στη Βάση Γνώσης. Αν για παράδειγμα έχουμε μια εφαρμογή ελέγχου θερμοκρασίας χώρου, η είσοδος του συστήματος θα είναι η τιμή που μετράει ένας αισθητήρας θερμοκρασίας. Ο Ασαφοποιητής θα λάβει αυτήν την τιμή, θα την κατηγοριοποιήσει σε *Ψυχρή*, *Άνετη* ή *Θερμή* και θα καθορίσει τον βαθμό συμμετοχής της στο σύνολο αυτό, πριν την προωθήσει στην επόμενη βαθμίδα του συστήματος, που είναι η Μηχανή Ασαφούς Συμπεράσματος (μτφρ. *Fuzzy Inference Engine - FIE*).
- Τη **Βάση Γνώσης**, που περιέχει τα Ασαφή Δεδομένα (σύνολα) και τους Ασαφείς Κανόνες με τους οποίους το σύστημα θα κληθεί να λάβει αποφάσεις. Η αποτελεσματικότητα των αποφάσεων στηρίζονται σε πολύ μεγάλο βαθμό από το εμπλουτισμό της Βάσης Γνώσης με σωστά καθορισμένα σύνολα που αντανακλούν την ανθρώπινη γνώση αλλά και με Ασαφείς Κανόνες που αναπαριστούν αποτελεσματικά την ανθρώπινη εμπειρία.
- Τη **Μηχανή Ασαφούς Συμπεράσματος**, η οποία βασίζεται στις αρχές της Ασαφούς Λογικής. Λαμβάνει ασαφή σύνολα από την είσοδό της και συνδυάζει Ασαφείς Κανόνες από τη Βάση Γνώσης ώστε να αποδώσει ένα ασαφές σύνολο στη έξοδο της. Υπάρχουν διάφορες Μηχανές Ασαφούς Συμπεράσματος (Larsen, Sugeno, Tsukamoto, TSK, κλπ.), κάθε μία με τα δικά της πλεονεκτήματα. Η σωστή επιλογή της, επαφίεται πάντα στην εφαρμογή που θέλουμε να υλοποιήσουμε.
- Τον **Αποασαφοποιητή**, που λαμβάνει ένα ασαφές σύνολο από τη Μηχανή Ασαφούς Συμπεράσματος και το μετατρέπει σε μία σαφή τιμή.



Εικόνα 1.32: Διάγραμμα Συστήματος Ασαφούς Λογικής

Λαμβάνοντας υπόψη τα ανωτέρω, θα μπορούσαμε να εφαρμόσουμε ένα FLS για τον έλεγχο ενός επιδαπέδιου συστήματος θέρμανσης. Για τη λειτουργία του εν λόγω συστήματος, έχει εγκατασταθεί κατάλληλη ηλεκτροβάννα η οποία ελέγχει τη ροή του θερμού νερού στις σωληνώσεις του συστήματος. Το FLS θα λαμβάνει στην είσοδό του, μέσω αισθητήρα, τη θερμοκρασία χώρου και θα καθορίζει πόσο ψυχρή, άνετη ή ψυχρή είναι. Ανάλογα με το ποιους Ασαφείς Κανόνες πυροδοτούνται κάθε φορά βάσει των τιμών εισόδου, το FLS θα επιστρέφει στην έξοδό του μία ορισμένη και σαφή τιμή η οποία θα οδηγεί την ηλεκτροβάννα (ενεργοποιητής), αυξάνοντας ή μειώνοντας κατά περίπτωση τη ροή του θερμού νερού στις σωληνώσεις.

Η Ασαφής Λογική βρίσκει πεδία εφαρμογής σε πολλούς κλάδους, μεταξύ των οποίων είναι και οι εξής:

- **Ηλεκτρονικά:** έλεγχος της αυτόματης έκθεσης σε βιντεοκάμερες, έλεγχος θερμοκρασίας/υγρασίας χώρου, χρονισμός πλυντηρίων ρούχων, κλπ.
- **Βιομηχανία:** έλεγχος θερμοκρασίας κλίβανου, έλεγχος διεργασιών επεξεργασίας λυμάτων, έλεγχος εγκαταστάσεων καθαρισμού νερού, διασφάλιση ποιότητας, κλπ.
- **Δευτερογενής τομέας:** βελτιστοποίηση παραγωγής τυριού, βελτιστοποίηση παραγωγής γάλακτος, κλπ.
- **Άμυνα:** αναγνώριση στόχων, συστήματα λήψης αποφάσεων, κλπ.
- **Αεροναυπηγική:** έλεγχος υψομέτρου διαστημικού σκάφους, ρύθμιση ροής και μείγματος σε οχήματα απόψυξης αεροσκαφών, κλπ.
- **Αυτοκινητοβιομηχανία:** έλεγχος ταχύτητας, συστήματα αυτόματης μετάδοσης, ευφυή συστήματα κυκλοφορίας, κλπ.

- **Μεταφορές:** αυτόματη λειτουργία υπόγειων συρμών, έλεγχος χρονοδιαγράμματος συρμών, κλπ.
- **Θαλάσσιος τομέας:** αυτόματος πιλότος για πλοία, βέλτιστη επιλογή πλεύσης, έλεγχος αυτόνομων υποβρύχιων οχημάτων, κλπ.
- **Επιχειρήσεις:** συστήματα λήψης αποφάσεων, αξιολόγηση προσωπικού, κλπ.
- **Οικονομικά:** έλεγχος μεταφοράς τραπεζογραμματίων, διαχείριση κεφαλαίων, χρηματιστηριακές προβλέψεις, κλπ.
- **Ιατρική:** υποστηρικτικά διαγνωστικά συστήματα, έλεγχος της αρτηριακής πίεσης κατά τη διάρκεια αναισθησίας, μοντελοποίηση νευροπαθολογικών ευρημάτων σε ασθενείς με Alzheimer, κλπ.
- **Ψυχολογία:** ανάλυση ανθρώπινης συμπεριφοράς, ποινική έρευνα και πρόληψη, κλπ.
- **Αναγνώριση και ταξινόμηση μοτίβων:** αναγνώριση ομιλίας, εικόνων, χειρόγραφων, εντολών, κλπ.

### 1.6.2 Εξελικτικοί Αλγόριθμοι

Οι Εξελικτικοί Αλγόριθμοι (μτφρ. *Evolutionary Algorithms*) αποτελούν έναν ιδιαίτερο τρόπο επίλυσης προβλημάτων καθώς δεν αποπειρώνται να εξομοιώσουν την ανθρώπινη σκέψη αλλά να μιμηθούν, ως ένα βαθμό, την ίδια τη φύση. Αποτελούν ένα υπερέσυνολο συστημάτων επίλυσης τέτοιων προβλημάτων το οποίο περιέχει τον *Εξελικτικό Προγραμματισμό*, τους *Γενετικούς Αλγόριθμους* με τον *Γενετικό Προγραμματισμό*, τις *Στρατηγικές Εξέλιξης* και τα *Συστήματα Ταξινόμησης*.

Όσον αφορά την εκπαίδευσή τους, στους Εξελικτικούς Αλγόριθμους χρησιμοποιούνται μέθοδοι Ενισχυμένης Μάθησης ενώ για την υλοποίησή τους εφαρμόζονται τεχνικές εμπνευσμένες από τη βιολογική εξέλιξη των ειδών. Για τον λόγο αυτό, δανείζονται και χρησιμοποιούν, με αφαιρετικό τρόπο, όρους από την επιστήμη της Βιολογίας. Σκοπός είναι η στοιχειώδης εξοικείωση με τις φυσικές διεργασίες ώστε αυτές να αναπαρασταθούν αλγοριθμικά στο επίπεδο που απαιτείται για την επίλυση προβλημάτων αναζήτησης και βελτιστοποίησης. Για την καλύτερη κατανόησή τους καθίσταται απαραίτητο να επεξηγηθούν

οι αντίστοιχοι όροι που έχουν υιοθετηθεί από τη Βιολογία και χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν ανάλογες διαδικασίες των Εξελικτικών Αλγορίθμων:

- **Πληθυσμός** (μτφρ. *population*) ονομάζεται το σύνολο ομοειδών αλληλοαναπαραγόμενων οντοτήτων.
- **Γενεά** (μτφρ. *generation*) ονομάζεται κάθε νέο σύνολο οντοτήτων (απόγονοι) που προκύπτει από προηγούμενα (πρόγονοι).
- **Γενότυπος** (μτφρ. *genotype*) ονομάζεται το σύνολο των γονιδίων μιας οντότητας. Για λόγους απλούστευσης, συχνά αναφερόμαστε στον γενότυπο ως “**οντότητα**” (μτφρ. *entity*) ή “**άτομο**” (μτφρ. *individual*) θέλοντας να περιγράψουμε ένα στοιχείο του πληθυσμού.
- **Χρωμόσωμα** (μτφρ. *chromosome*) είναι μια οργανωμένη δομή πληροφοριών (γονίδια).
- **Γονίδιο** (μτφρ. *gene*) ονομάζεται μια κληροδοτούμενη ιδιότητα ή χαρακτηριστικό γνώρισμα που κατέχει συγκεκριμένη θέση μέσα σε ένα χρωμόσωμα.
- **Γονιδιακή Θέση** ή **Γενετικός Τόπος** (μτφρ. *locus*) καλείται η θέση ενός γονιδίου σε ένα χρωμόσωμα.
- **Γονιδιακή Δεξαμενή** (μτφρ. *gene pool*) αντιπροσωπεύει τη συνολική γενετική ποικιλομορφία που είναι διαθέσιμη στον υπό εξέταση πληθυσμό.
- **Αλληλόμορφο** (μτφρ. *allele*): διαφορετικές μορφές ή παραλλαγές ενός γονιδίου, που δρουν για το ίδιο γνώρισμα αλλά με διαφορετικό τρόπο και βρίσκεται σε ένα συγκεκριμένο σημείο, ή γενετικό τόπο, ενός χρωμοσώματος.

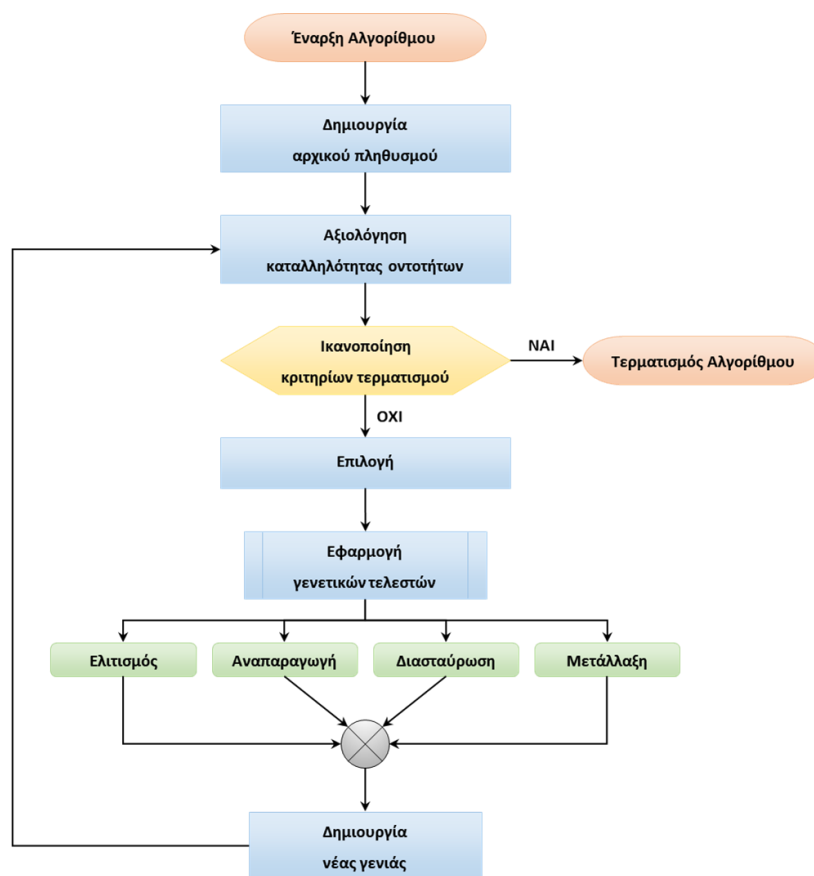
Οι Εξελικτικοί Αλγόριθμοι αποτελούν πιθανοτικές μεθόδους αναζήτησης βέλτιστων λύσεων, μέσα από ένα σύνολο που αποτελείται από όλες τις δυνατές λύσεις του δοθέντος προβλήματος. Ένας Εξελικτικός Αλγόριθμος ξεκινάει έχοντας ως αφετηρία ένα μέρος από τις δυνατές λύσεις τις οποίες και αξιολογεί. Στη συνέχεια, μέσα από διάφορες διεργασίες που ομοιάζουν των βιολογικών μηχανισμών της εξέλιξης (διασταύρωση, μετάλλαξη, κλπ.), προκύπτουν νέες λύσεις, και επιλέγονται οι καταλληλότερες εξ αυτών. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου βρεθεί η βέλτιστη λύση βάσει προεπιλεγμένων κριτηρίων ή μέχρι να τερματιστεί ο αλγόριθμος ύστερα από την πάροδο ενός προκαθορισμένου αριθμού

επαναλήψεων (μτφρ. *iterations*). Πιο συγκεκριμένα, τα κύρια βήματα προσδιορισμού της βέλτιστης λύσης που ακολουθεί ένας εξελικτικός αλγόριθμος είναι:

1. **Αρχικοποίηση** (μτφρ. *initialization*): Είναι η διαδικασία της δημιουργίας του αρχικού πληθυσμού. Από αυτήν την πρώτη γενιά (έστω:  $g$ ) θα προκύψουν οι επόμενες γενιές οντοτήτων. Ο καθορισμός αυτών των πρωταρχικών οντοτήτων γίνεται είτε με τυχαίο τρόπο είτε με χρήση προϋπάρχουσας γνώσης η οποία αξιοποιείται με σκοπό να κατευθύνει ή/και να διευκολύνει την αναζήτηση.
2. **Αξιολόγηση** (μτφρ. *evaluation*): Είναι η διαδικασία κατά την οποία κάθε οντότητα βαθμολογείται ως προς το κατά πόσο πλησιέστερα βρίσκεται στο επιθυμητό αποτέλεσμα. Για τον λόγο αυτό, η κάθε μία λαμβάνει μια τιμή καταλληλότητας (*fitness score*). Όσο μεγαλύτερη είναι αυτή η τιμή, τόσο καταλληλότερη θεωρείται η οντότητα ως βέλτιστη λύση.
3. **Επιλογή** (μτφρ. *selection*): Μετά το πέρας της αξιολόγησης, επιλέγονται οι οντότητες που θα διασταυρωθούν μεταξύ τους ώστε να αποδώσουν απογόνους. Η πιθανότητα επιλογής μιας οντότητας, για να περάσει τα γονίδια της στην επόμενη γενιά, είναι ανάλογη του μεγέθους της βαθμολογίας που έλαβε κατά τη διαδικασία της αξιολόγησης.
4. **Δημιουργία νέας γενιάς**: Αφού καθοριστούν οι βαθμολογίες των οντοτήτων του τρέχοντος πληθυσμού, ο Γενετικός Αλγόριθμος θα αξιοποιήσει μεθόδους για την δημιουργία της επόμενης γενιάς. Εάν η πρώτη γενιά είναι η  $g$ , η επόμενη θα είναι η  $g+1$ , η επόμενη αυτής θα είναι η  $g+2$ , κοκ. Κάθε γενιά έχει προκαθορισμένο αριθμό οντοτήτων που την απαρτίζουν και συνήθως είναι ίσος με αυτόν του αρχικού πληθυσμού. Ο αριθμός αυτός επιλέγεται με διάφορα κριτήρια, όπως για παράδειγμα για το πόσο κοστοβόρος καθίσταται ως προς τις υπολογιστικές δυνατότητες του υπολογιστικού συστήματος που “τρέχει” τον αλγόριθμο. Οι πιο συνήθεις μέθοδοι που ακολουθούνται για τον καθορισμό ενός νέου πληθυσμού ονομάζονται “Γενετικοί Τελεστές” και οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενοι εξ αυτών, είναι:
  - i. **Ελιτισμός** (μτφρ. *elitism*): αν ο Εξελικτικός Αλγόριθμος εντοπίσει μια οντότητα η οποία πληροί πολύ συγκεκριμένα κριτήρια (π.χ. σημειώνει ιδιαίτερα μεγάλη βαθμολογία έναντι των υπολοίπων του ίδιου πληθυσμού) τότε μπορεί να επιλεγεί ώστε να περάσει αυτούσια στην επόμενη γενιά.

- ii. **Αναπαραγωγή** (μτφρ. *replication*): η Αναπαραγωγή είναι μια μέθοδος κατά την οποία μια οντότητα αντιγράφεται αυτούσια στην επόμενη γενιά μέσω τυχαίας επιλογής. Πολύ συχνά, η μέθοδος αυτή χαρακτηρίζεται και ως “ρουλέτα επιλογής”. Η πιθανότητα επιλογής μιας οντότητας είναι ανάλογη του μεγέθους της βαθμολογίας που έλαβε κατά τη διαδικασία της αξιολόγησης
- iii. **Διασταύρωση** (μτφρ. *crossover*): είναι η διαδικασία κατά την οποία γίνεται ανταλλαγή γενετικής πληροφορίας μεταξύ δύο οντοτήτων ενός υφιστάμενου πληθυσμού. Μπορεί να αντιστοιχιστεί με την βιολογική αναπαραγωγή των ειδών όπου ο απόγονος δύο γονέων λαμβάνει διαφορετικά γονίδια από τον καθένα.
- iv. **Μετάλλαξη** (μτφρ. *mutation*): η μέθοδος της μετάλλαξης αφορά την απροσδόκητη αλλαγή της τιμής ενός τυχαίου γονιδίου που περνάει από έναν πρόγονο σε έναν απόγονο. Η συχνότητα εμφάνισης μεταλλάξεων (**mutation rate**) ορίζεται κατά την παραμετροποίηση του αλγορίθμου.

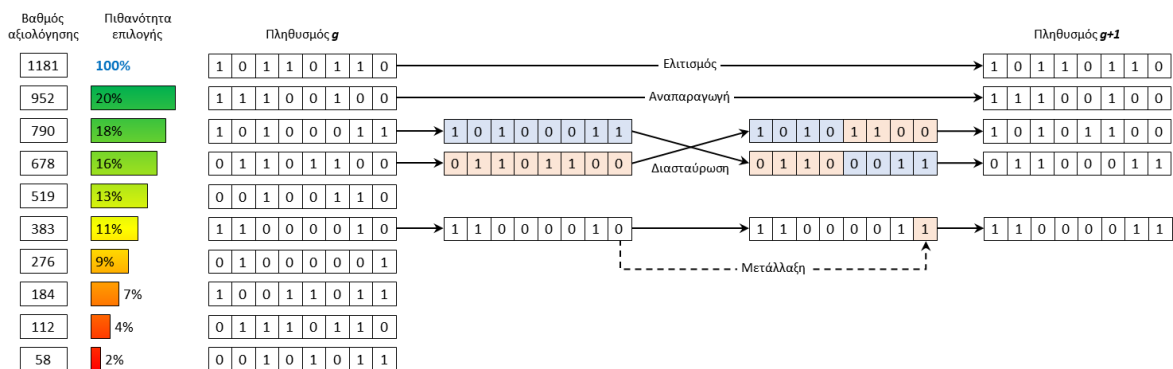
Ακολουθεί το Διάγραμμα Ροής της γενικής λειτουργίας ενός Εξελικτικού Αλγόριθμου:



Εικόνα 1.33: Τυπικό Διάγραμμα Ροής ενός Εξελικτικού Αλγόριθμου

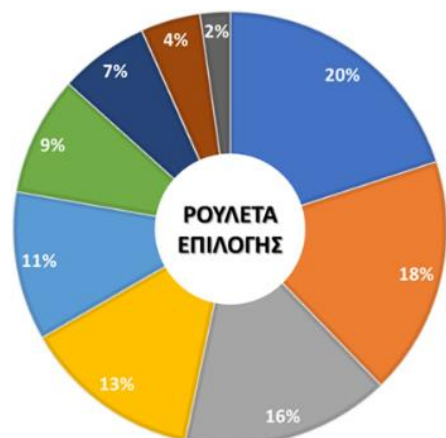


Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται πως λειτουργούν οι 4 Γενετικοί Τελεστές. Προς χάριν παραδείγματος και για την καλύτερη κατανόηση, χρησιμοποιούνται συμβολοσειρές των 8 bit και κάθε Γενετικός Τελεστής εφαρμόζεται μόνο μία φορά. Οι οντότητες αυτές έχουν ταξινομηθεί βάσει βαθμού καταλληλότητας με φθίνουσα σειρά. Αντίστοιχα, προκύπτει και η πιθανότητα επιλογής μιας οντότητας για να συμμετάσχει σε κάποιον εκ των Γενετικών Τελεστών (εκτός του Ελιτισμού).



Εικόνα 1.34: Παράδειγμα λειτουργίας Γενετικών Τελεστών

- Στην κορυφή εφαρμόζεται **Ελιτισμός**, μιας και ο βαθμός καταλληλότητας της συγκεκριμένης οντότητας είναι υψηλός και σίγουρα αποτελεί υποψήφιο του οποίου η ύπαρξη είναι ιδιαίτερα επιθυμητή στην επόμενη γενιά.
- Στη συνέχεια, εφαρμόζεται **Αναπαραγωγή**, κατά την παραμετροποίηση της οποίας ορίζεται πόσες οντότητες θα επιλεγούν για να περάσουν στην επόμενη γενιά. Όλες οι υποψήφιες οντότητες συμμετέχουν σε μια ψηφιακή κληρωτίδα (ρουλέτα γονικής επιλογής) όπου οι πιθανότητές τους να επιλεγούν είναι ανάλογες του fitness score που επέτυχαν κατά τη διαδικασία της Αξιολόγησης. Όσες τελικά επιλεγούν, μεταφέρονται αυτούσιες στην επόμενη γενιά.



Εικόνα 1.35: Γραφική αναπαράσταση "ρουλέτας γονικής επιλογής"

- Κατά τη **Διασταύρωση**, επιλέγονται δύο οντότητες όπου ανταλλάσσουν μεταξύ τους γονίδια (bits) μεταξύ ίδιων γονιδιακών θέσεων (θέσεις πίνακα).
- Η **Μετάλλαξη**, βάσει παραμετροποίησής της, μπορεί να συμβεί σε οποιοδήποτε γονίδιο, οποιασδήποτε γονιδιακής θέσης, σε οντότητες που επιλέχθηκαν τυχαία.

Βάσει των παραπάνω, υπάρχει πιθανότητα μια οντότητα να εμφανιστεί δύο φορές σε μια προκύπτουσα γενιά ή να επανεμφανιστεί ξανά στο “μέλλον”, ακόμα και αν στην πορεία εξαφανίστηκε. Κάθε φορά, η διαδικασία επιστρέφει στο βήμα της Αξιολόγησης και επαναλαμβάνεται έως ότου βρεθεί η βέλτιστη λύση ή μέχρι να τερματιστεί ο αλγόριθμος βάσει σχετικών κριτηρίων.

Τονίζεται ότι υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι βελτιστοποίησης ενός Εξελικτικού Αλγορίθμου, οι οποίοι ακολουθούνται κατά περίπτωση, ανάλογα με το είδος του προς επίλυση προβλήματος, τους διαθέσιμους υπολογιστικούς πόρους, κλπ. Για παράδειγμα, ένας Εξελικτικός Αλγόριθμος μπορεί να εκκινήσει με έναν πληθυσμό που απαρτίζεται από μεγάλο αριθμό οντοτήτων και στη συνέχεια, να μειωθεί κατά το ήμισυ. Αυτή η μέθοδος ακολουθείται όταν θέλουμε ο αλγόριθμός μας να εκκινήσει από περισσότερα σημεία και κατόπιν να επεκταθεί στα επικρατέστερα βάσει βαθμολογικών κριτηρίων. Οι Γενετικοί Τελεστές παραμετροποιούνται επίσης βάσει των αναγκών του προβλήματος και, φυσικά, δεν είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν όλοι.

Η μεθοδολογία που ακολουθούν οι Εξελικτικοί Αλγόριθμοι είναι απλή και ιδιαίτερα ευέλικτη. Αυτό την καθιστά αξιοποιήσιμη τόσο ως αυτόνομη λύση όσο και σε συνδυασμό με άλλες, δημιουργώντας έτσι πιο εξειδικευμένες υβριδικές μορφές Εξελικτικών Αλγορίθμων. Οι Εξελικτικοί Αλγόριθμοι δεν δουλεύουν με τις μεταβλητές του προβλήματος αλλά με μία κωδικοποιημένη μορφή του συνόλου τιμών που αυτές μπορούν να λάβουν. Είναι εφαρμόσιμοι ακόμα και σε δυναμικά συστήματα στα οποία ο στόχος και οι περιορισμοί του προβλήματος μπορεί να μεταβάλλονται σε σχέση με το χρόνο. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν με επιτυχία σε περιπτώσεις όπου ο χώρος αναζήτησης είναι ασυνεχής, έχει πολλά ακρότατα, είναι χαστικός και γενικότερα σε περιπτώσεις όπου οι παραδοσιακές μέθοδοι επίλυσης δεν δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Έστω, για παράδειγμα, ότι καλούμαστε να βρούμε τη μέγιστη δυνατή τιμή εξόδου μιας άγνωστης διεργασίας τεσσάρων εισόδων, οι οποίες μπορούν να λάβουν τιμές από το 0 έως

το 100. Έχουμε, λοιπόν  $100^4 = 100.000.000$  δυνατούς συνδυασμούς στις εισόδους του συστήματος. Μια συμβατική μέθοδος επίλυσης θα προσέγγιζε την ανεύρεση του βέλτιστου συνδυασμού τιμών εισόδου δοκιμάζοντας κάθε συνδυασμό ξεχωριστά και καταγράφοντας την εκάστοτε έξοδο. Στο τέλος θα επέστρεφε τις τιμές εισόδου οι οποίες θα αντιστοιχούσαν στην μέγιστη τιμή εξόδου. Σε αντίθεση με την παραπάνω μέθοδο, μια προσέγγιση με χρήση Εξελικτικών Αλγορίθμων πραγματοποιεί αναζήτηση σε πολλά σημεία ταυτοχρόνως και όχι μόνο σε ένα. Στο παράδειγμα μας, ένας Εξελικτικός Αλγόριθμος θα κωδικοποιούσε την είσοδο ως μία συμβολοσειρά (χρωμόσωμα) αποτελούμενη από 12 ψηφία, 3 για κάθε μία από τις 4 εισόδους του συστήματος (γονίδια). Κατόπιν θα εκκινούσε από έναν αρχικό πληθυσμό ( $g$ ) συγκεκριμένου αριθμού οντοτήτων και θα τις αξιολογούσε ως προς την τιμή της εξόδου που παράγει η κάθε μία. Στη συνέχεια, θα εφάρμοζε τις ορισθείσες μεθόδους για τη δημιουργία μιας νέας γενιάς οντοτήτων ( $g+1$ ). Οι απόγονοι που θα προκύψουν από τον αρχικό πληθυσμό θα αξιολογηθούν και οι καταλληλότεροι εξ αυτών θα χρησιμοποιηθούν για την δημιουργία μιας νέας γενιάς. Η διαδικασία θα επαναλαμβάνεται έως ότου να πληρούνται τα κριτήρια τερματισμού του αλγορίθμου.

Διαφαίνεται εδώ μια σημαντική διαφοροποίηση των Εξελικτικών Αλγορίθμων οι οποίοι διατηρούν, ανά πάσα στιγμή της λειτουργίας τους, έναν πληθυσμό λύσεων του προβλήματος με τις οποίες εργάζονται ταυτοχρόνως αναζητώντας τη βέλτιστη λύση σε πολλά σημεία του χώρου αναζήτησης.

Οι Εξελικτικοί Αλγόριθμοι βρίσκουν εφαρμογή κυρίως όπου τίθενται θέματα βελτιστοποίησης, και έχουν πεδία εφαρμογής σε πολλούς κλάδους, μεταξύ των οποίων είναι και οι εξής:

- **Γενικές Εφαρμογές:** σχεδιασμός χρονοδιαγραμμάτων, έλεγχος ποιότητας, κλπ.
- **Μετεωρολογία:** μοντελοποίηση των παγκόσμιων θερμοκρασιακών αλλαγών, κλπ.
- **Βιολογία:** ανάλυση προφίλ γονιδιακών εκφράσεων, κατασκευή φυλογενετικών δέντρων, πρόβλεψη δομής RNA, κλπ.
- **Κοινωνικές Επιστήμες:** σχεδιασμός αντιτρομοκρατικών συστημάτων, γλωσσικές αναλύσεις κλπ.
- **Οικονομικές Επιστήμες:** σχεδιασμός αυτοματοποιημένων χρηματοπιστωτικών συστημάτων συναλλαγών, βελτιστοποίηση χαρτοφυλακίου, εντοπισμός απατών κλπ.

- **Μεταφορές:** βελτιστοποίηση φόρτωσης κοντέινερ, δρομολογήσεις οχημάτων, κλπ.
- **Τηλεπικοινωνίες:** βελτιστοποίηση υποδομής κινητών επικοινωνιών, κλπ.
- **Σχεδιασμός Συστημάτων:** σχεδιασμός συστημάτων παροχής νερού, δίκτυα παρακολούθησης υπόγειων υδάτων, αυτοματοποιημένος σχεδιασμός μηχανημάτων, αυτοματοποιημένος σχεδιασμός βιομηχανικού εξοπλισμού, αυτοματοποιημένος σχεδιασμός σύνθετων υλικών, κλπ.

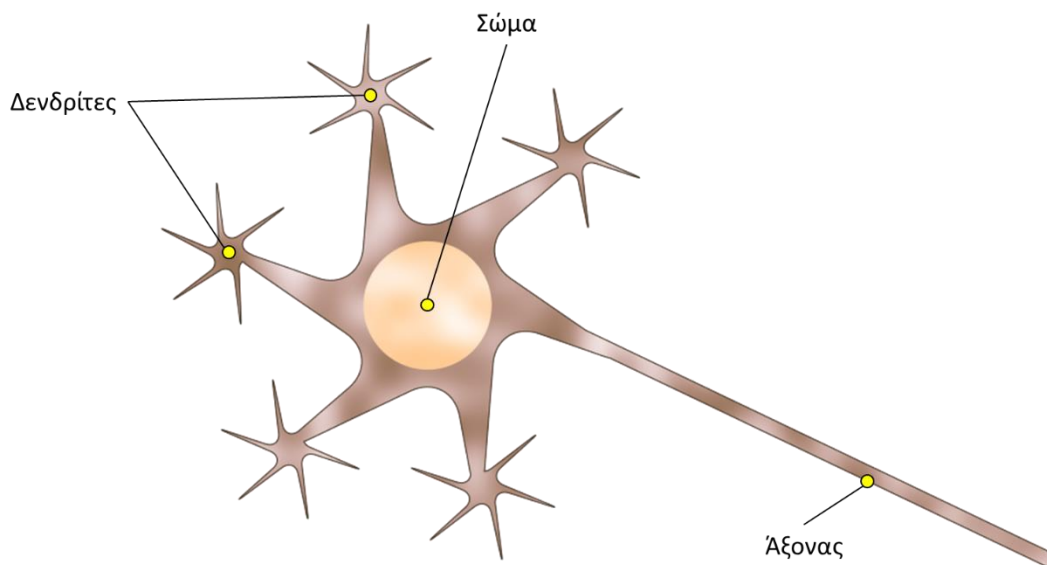
### 1.6.3 Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα

Νευρωνικό Δίκτυο (μτφρ. *Neural Network*) ονομάζεται ένα δίκτυο διασυνδεδεμένων βιολογικών νευρώνων, που αποτελούν τμήμα του νευρικού ιστού. Στον ψηφιακό κόσμο, και πιο συγκεκριμένα στον τομέα της Υπολογιστικής Νοημοσύνης, συναντάται ο όρος Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ΤΝΔ) τα οποία προσεγγίζουν την λειτουργία των νευρώνων του εγκεφάλου μέσω αλγοριθμικών τεχνικών που ως στόχο έχουν την επίλυση κάποιου πολυσύνθετου υπολογιστικού προβλήματος. Αυτό επιτυγχάνεται προσομοιώνοντας μέσω μαθηματικών μοντέλων τη λειτουργία των βιολογικών νευρώνων ως λειτουργικές μονάδες αλλά και ως δίκτυο [36]. Οι τεχνητοί νευρώνες που προσομοιώνουν τη λειτουργία των βιολογικών, ονομάζονται “Αντιληπτήρες” (μτφρ. *Perceptrons*).

Τα ΤΝΔ έχουν την δυνατότητα να εξάγουν ασφαλή συμπεράσματα με εξαιρετικά καλή ακρίβεια και ελάχιστα περιθώρια σφάλματος, ακόμα και αν στην είσοδό τους δέχονται περιορισμένες πληροφορίες. Σκοπός τους είναι η ανάκληση ή αντιστοίχιση πληροφοριών/αποτελεσμάτων μετά από τη συλλογή, αξιολόγηση και επεξεργασία πληροφοριών-ερεθισμάτων. Όπως τα βιολογικά δίκτυα με τους νευρώνες τους, ομοίως και τα ΤΝΔ, αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους ανταλλάσσοντας σήματα μέσω των συνάψεων που συνδέουν μεταξύ τους αντιληπτήρες. Στην ψηφιακή τους μορφή, οι συνάψεις αυτές αντιστοιχούν σε ένα συναπτικό βάρος.

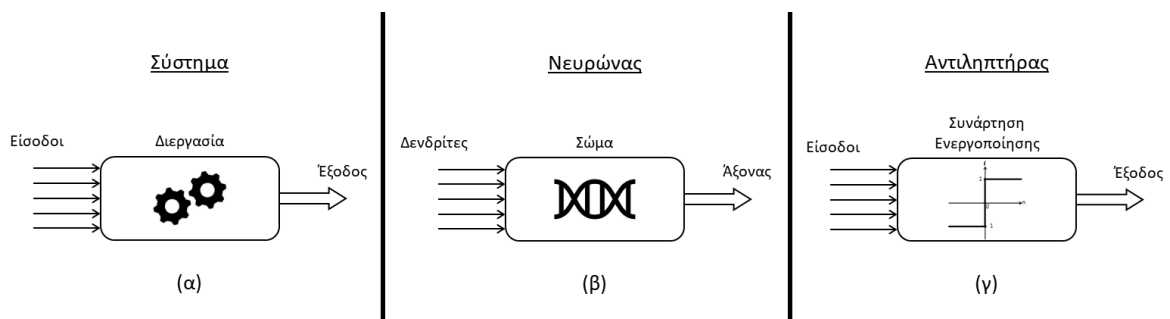
Καθότι τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα μιμούνται τη δομή και τη λειτουργία των βιολογικών, είναι χρήσιμο να παρουσιαστεί η σχετική αντιστοίχιση ώστε να γίνει πιο εύκολα κατανοητή η λειτουργία των εν λόγω αλγορίθμων. Ο τυπικός νευρώνας αποτελεί την επεξεργαστική μονάδα της βιολογικής πληροφορίας. Μολονότι πολύπλοκος ως οντότητα, τρία είναι τα κύρια τμήματα από τα οποία αποτελείται:

- τους **Δενδρίτες**, οι οποίοι αποτελούν τους υποδοχείς των ερεθισμάτων,
- το κυρίως **Σώμα** με τον **Πυρήνα**, που αποτελεί μια μονάδα επεξεργασίας των παραμέτρων του κάθε εισερχόμενου ερεθίσματος, και
- τον **Άξονα**, στον οποίο διοχετεύεται προς αποστολή το εξαχθέν αποτέλεσμα με προορισμό συνάψεις του νευρικού δικτύου, οι οποίες με τη σειρά τους συνδέονται με δενδρίτες άλλων νευρώνων.



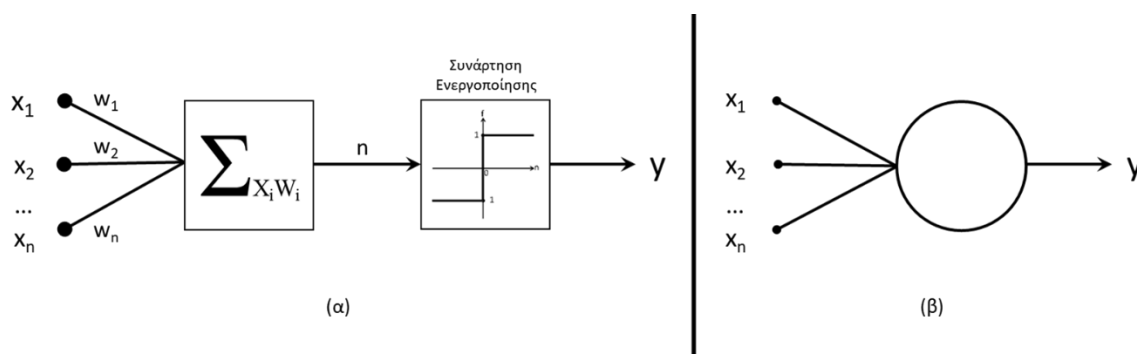
Εικόνα 1.36: Εξαπλουστευμένη αναπαράσταση βιολογικού νευρώνα

Στα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα, ο Αντιληπτήρας, ως μονάδα, αποτελεί την απλούστερη μορφή ΤΝΔ. Όπως διαφαίνεται, τόσο οι νευρώνες όσο και οι αντιληπτήρες, στην τυπική τους μορφή, είναι συστήματα Πολλών Εισόδων - Μίας Εξόδου (MISO).



Εικόνα 1.37: Αντιστοίχιση Συστήματος (α) με βιολογικό νευρώνα (β) και Αντιληπτήρα (γ)

Η λειτουργία του Αντιληπτήρα είναι απλή: όλα τα σήματα εισόδου  $x_i$  πολλαπλασιάζονται με το αντίστοιχο συναπτικό τους βάρος  $w_i$  και κατόπιν προωθούνται σε έναν αθροιστή. Το αποτέλεσμα του αθροιστή, που ονομάζεται σταθμισμένο άθροισμα (net input), οδηγείται σε βαθμίδα με συνάρτηση ενεργοποίησης, η οποία θα καθορίσει την τελική έξοδο του αντιληπτήρα.



**Εικόνα 1.38:** Λειτουργία αντιληπτήρα (α) και τυπική απεικόνισή του (β)

Σκοπός ενός μεμονωμένου Αντιληπτήρα είναι να επιλύει προβλήματα ταξινόμησης. Να δίνει δηλαδή τιμές εξόδου, εντός αποδεκτών ορίων, για κάθε συνδυασμό διανυσμάτων εισόδου. Ο Frank Rosenblatt απέδειξε ότι, εφόσον ο Αντιληπτήρας μπορεί να διαχωρίσει τις κλάσεις, τότε ο εκπαιδευτικός αλγόριθμος συγκλίνει και δίνει σωστά αποτελέσματα σε πεπερασμένο αριθμό βημάτων. Το θεώρημα αυτό ονομάζεται “Θεώρημα Σύγκλισης του Αντιληπτήρα” [18] και αποτελεί έναν κανόνα διόρθωσης σφαλμάτων. Τα συναπτικά βάρη παίζουν σημαντικό ρόλο για την αποτελεσματική λειτουργία ενός αντιληπτήρα. Οι τιμές τους καθορίζουν τον βαθμό συμμετοχής κάθε εισόδου στο σταθμισμένο άθροισμα. Για να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ποιότητα στα αποτελέσματα ενός Αντιληπτήρα, και κατ’ επέκταση στα αποτελέσματα ενός Νευρωνικού Δικτύου, είναι απαραίτητο όλα τα συναπτικά βάρη να καθοριστούν με ακρίβεια. Σε ένα Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο, το οποίο αποτελείται από πλήθος Αντιληπτήρων, αυτό επιτυγχάνεται εφαρμόζοντας κατάλληλες μεθόδους μηχανικής μάθησης.

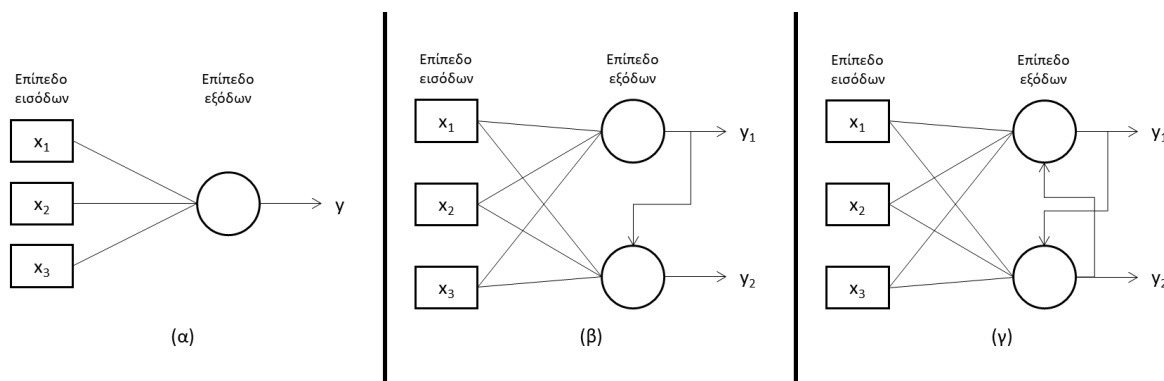
Όσον αφορά την αρχιτεκτονική τους, τα ΤΝΔ αποτελούνται από ένα αρχικό *επίπεδο* ή *στρώμα* (μτφρ. *layer*) εισόδων και ένα ή περισσότερα επίπεδα Αντιληπτήρων. Ως *επίπεδο* ορίζουμε κάθε ιεραρχικό στρώμα στο οποίο τελούνται υπολογισμοί. Σε κάθε περίπτωση, το τελευταίο επίπεδο Αντιληπτήρων ονομάζεται *επίπεδο εξόδων*. Ανάλογα με το πλήθος των

στρωμάτων που διαθέτουν αντληπτήρες, τα ΤΝΔ διακρίνονται σε *μονοστρωματικά* και *πολυστρωματικά*. Στα πολυστρωματικά ΤΝΔ, όλα τα επίπεδα Αντληπτήρων μεταξύ επιπέδου εισόδου και επιπέδου εξόδου, ονομάζονται *κρυφά επίπεδα*. Για τη συγκεκριμένη κατηγοριοποίηση, το επίπεδο εισόδων δεν προσμετράται στο πλήθος επιπέδων ενός ΤΝΔ. Η κατηγοριοποίηση των Τεχνητών Νευρικών Δικτύων, με βάση τη κατεύθυνση της πληροφορίας εντός του δικτύου έχει ως εξής:

1. ΤΝΔ πρόσθιας τροφοδότησης (*μτφρ. feed forward*) έχουμε όταν υφίσταται σύνδεση από τις εξόδους των Αντληπτήρων ενός επιπέδου με τις εισόδους των Αντληπτήρων του επόμενου.
2. Στα ΤΝΔ οπισθοδιάδοσης (*μτφρ. feedback*) δύναται να έχουμε σύνδεση των εξόδων των Αντληπτήρων ενός επιπέδου με μία ή περισσότερες εισόδους αντληπτήρων μη-επόμενου επιπέδου. Σε αυτήν την περίπτωση έχουμε μερική οπισθοδιάδοση (*partially connected neural network*).
3. Στα ΤΝΔ οπισθοδιάδοσης μπορούμε να έχουμε και σύνδεση όλων των εξόδων των νευρώνων με όλες τις εισόδους νευρώνων κάθε μη-επόμενου επιπέδου. Σε αυτήν την περίπτωση έχουμε πλήρη οπισθοδιάδοση (*fully connected neural network*).

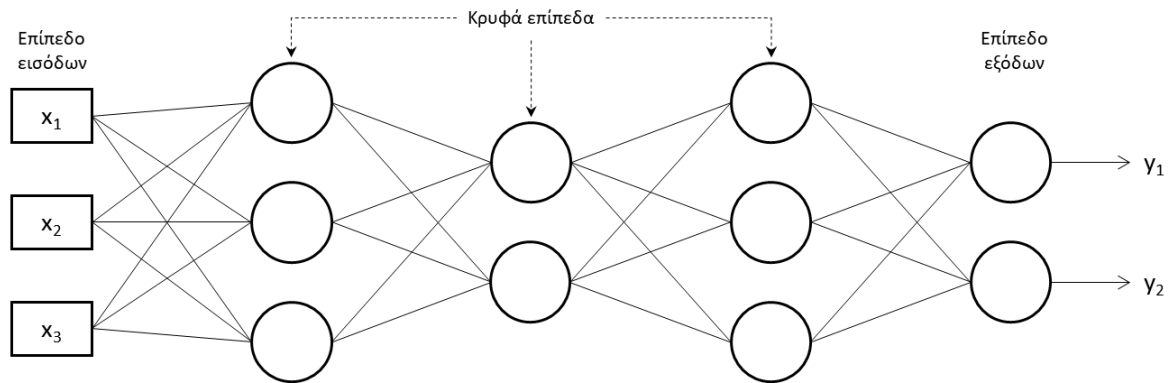
Στην επεξηγηματική **Εικόνα 1.39** διακρίνονται τρία μονοστρωματικά ΤΝΔ, όπου για λόγους απλούστευσης και οικονομίας χώρου, απεικονίζονται να διαθέτουν μόνο 3 εισόδους:

- α.** Τυπικός αντληπτήρας: μονοστρωματικό ΤΝΔ, πρόσθιας τροφοδότησης
- β.** Μονοστρωματικό ΤΝΔ, μερικής οπισθοδιάδοσης
- γ.** Μονοστρωματικό ΤΝΔ, πλήρους οπισθοδιάδοσης



**Εικόνα 1.39:** Παραδείγματα μονοστρωματικών ΤΝΔ

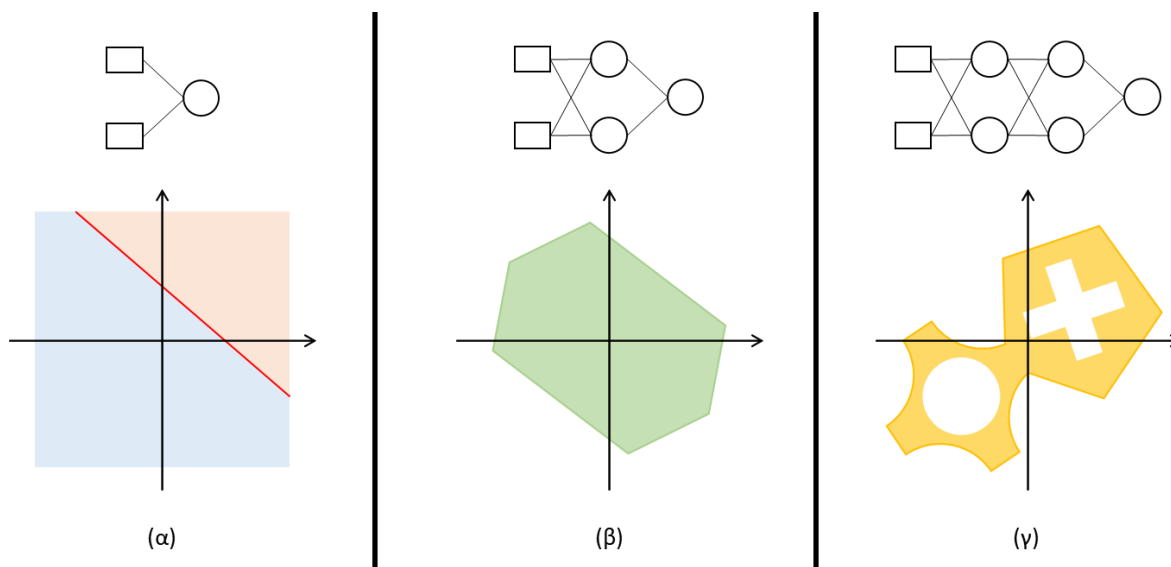
Στην **Εικόνα 1.40** παρουσιάζεται ένα πολυστρωματικό ΤΝΔ, πρόσθιας τροφοδότησης, τεσσάρων επιπέδων: τρία κρυφά και ένα για τις εξόδους.



**Εικόνα 1.40:** Παράδειγμα πολυστρωματικού ΤΝΔ

Τα μονοστρωματικά ΤΝΔ δημιουργούν γραμμικά όρια, συνεπώς χρησιμοποιούνται σε πιο απλές εφαρμογές, όπως ταξινόμηση (classification). Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα περισσότερων επιπέδων μπορούν να συνδυάσουν γραμμικά όρια και να επιλύσουν μη-γραμμικά προβλήματα ταξινόμησης. Όπως φαίνεται στα σχήματα της **Εικόνας 1.41**, ο απλός Αντιληπτήρας δημιουργεί ένα γραμμικό όριο ( $\alpha$ ), ενώ ένα ΤΝΔ δύο επιπέδων μπορεί να συνδυάσει γραμμές ( $\beta$ ). Εύλογα εξάγεται το συμπέρασμα ότι όσο αυξάνονται τα κρυφά επίπεδα, τόσο πιο πολύπλοκα σχήματα δημιουργούνται ( $\gamma$ ), όχι μόνο σε δύο αλλά σε περισσότερες διαστάσεις. Σημειώνεται ότι τα σχήματα ( $\beta$ ) και ( $\gamma$ ) είναι ενδεικτικά για λόγους κατανόησης και ο αριθμός των ενδεικνυόμενων επιπέδων δεν ανταποκρίνεται στα σχήματα που παρατίθενται.



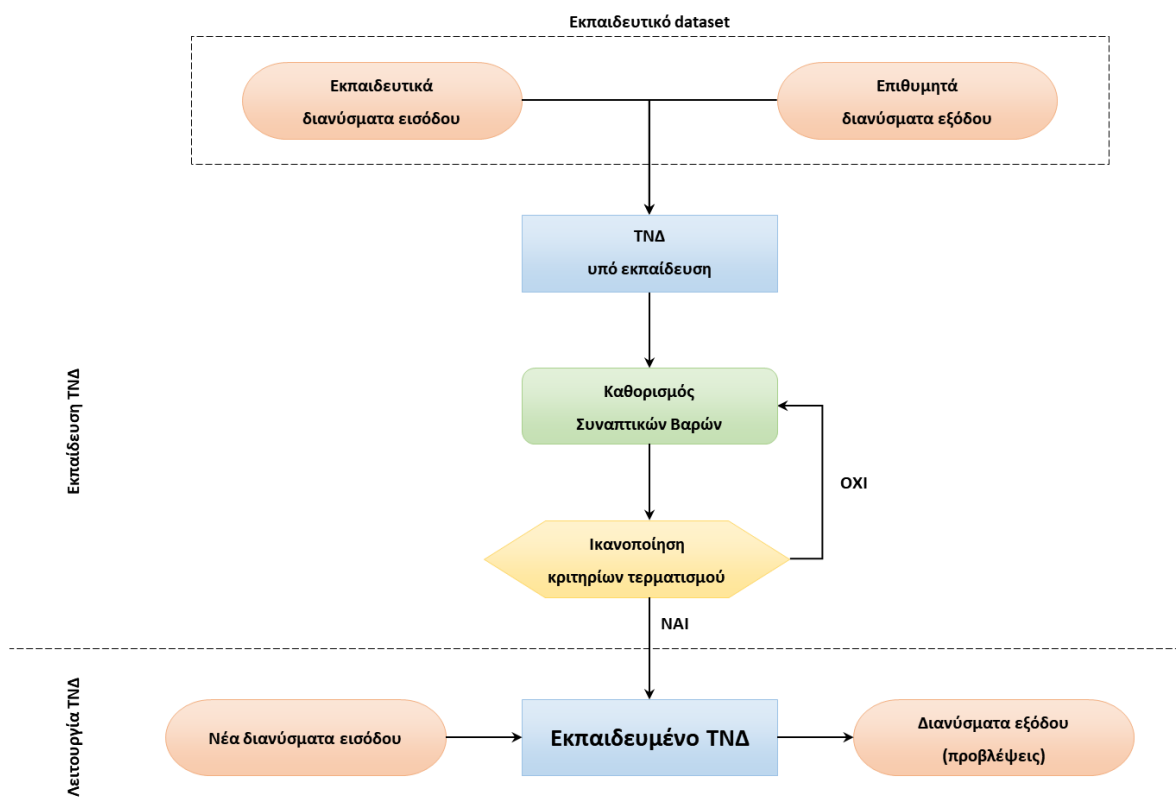


**Εικόνα 1.41:** Ενδεικτικές αναπαραστάσεις εξόδων βάσει αρχιτεκτονικής ΤΝΔ

Είτε όμως μιλάμε για μονοστρωματικά είτε για πολυστρωματικά ΤΝΔ, πρέπει να τονιστεί ότι θεωρητικά δεν υπάρχει μέγιστος αριθμός στο πλήθος των στρωμάτων ή/και των Αντιληπτήρων που απαρτίζει το καθένα από αυτά. Αντίστοιχα ισχύει και για τον αριθμό εισόδων και εξόδων. Παρόλα αυτά, στην πράξη, οι αριθμοί αυτοί υφίστανται περιορισμούς τόσο για λόγους βελτιστοποίησης του σχεδιαζόμενου ΤΝΔ όσο και από πλευράς επεξεργαστικής ισχύος αλλά και χρόνου εκπαίδευσης που θα απαιτηθούν για την εκπαίδευση και τη λειτουργία του.

Η εκπαίδευση ενός ΤΝΔ μπορεί να είναι επιτηρούμενη ή μη και αφορά τη διαδικασία της τροποποίησης των τιμών όλων συναπτικών του βαρών (*μτφρ. synaptic weights*), ώστε όταν δίνεται ένα συγκεκριμένο διάνυσμα εισόδου να παράγεται συγκεκριμένο και ακριβές διάνυσμα εξόδου. Τα συναπτικά βάρη ή αλλιώς οι συντελεστές βάρους (*μτφρ. weight coefficients*) είναι η κωδικοποιημένη εμπειρική γνώση που αποκτά το Νευρωνικό Δίκτυο, είτε διαμέσου της εκπαίδευσης είτε μέσω της αλληλεπίδρασής του με το περιβάλλον αφότου αυτό τεθεί σε επιχειρησιακή λειτουργία. Αποτελούν το χαρακτηριστικό εκείνο που δίνει στο ΤΝΔ την ικανότητα για εξέλιξη και διαρκή προσαρμογή στο περιβάλλον του. Η εκπαίδευση πραγματοποιείται με ειδικούς αλγόριθμους οι οποίοι ονομάζονται “αλγόριθμοι εκπαίδευσης” ή “κανόνες μάθησης” και ως σκοπό έχουν την βελτίωση της τελικής απόδοσης του δικτύου. Η διαδικασία είναι επαναληπτικού χαρακτήρα. Ύστερα από κάθε επανάληψη,

τα συναπτικά βάρη αναπροσαρμόζονται, σε σχέση με την έξοδο, ώστε να δίνουν επιθυμητές τιμές εξόδου. Με αυτόν τον τρόπο το ΤΝΔ αποκτά περισσότερη γνώση και την αποθηκεύει στο εσωτερικό του. Η διαδικασία εκπαίδευσης σταματά όταν δεν χρειάζεται να γίνει οποιαδήποτε αναπροσαρμογή των συναπτικών βαρών ή όταν έχει παρέλθει ένας πεπερασμένος αριθμός επαναλήψεων. Η μέθοδος εκπαίδευσης ενός ΤΝΔ εξαρτάται τόσο από την αρχιτεκτονική του όσο και από την εφαρμογή θα κληθεί να δραστηριοποιηθεί μετέπειτα.



Εικόνα 1.42: Τυπικό Διάγραμμα Ροής εκπαίδευσης και λειτουργίας ΤΝΔ

Μετά το πέρας της εκπαίδευσης, το ΤΝΔ είναι έτοιμο να τεθεί σε επιχειρησιακή λειτουργία και να αποδώσει σωστές τιμές εξόδου χάρη στην ικανότητα ανάκλησης πληροφοριών από την μνήμη του. Ως ανάκληση (*μτφρ. recall*) καλείται η διαδικασία υπολογισμού ενός διανύσματος εξόδου για συγκεκριμένο διάνυσμα εισόδου. Ένα ΤΝΔ μπορεί να γενικεύει, κυρίως όταν δεν λάβει στην είσοδο του ένα διάνυσμα τιμών το οποίο ήδη “γνωρίζει” ή “θυμάται” από την εκπαίδευσή ή την εμπειρία του. Γενίκευση ονομάζεται η ικανότητα ενός

ΤΝΔ να αποδίδει επιτυχώς διανύσματα εξόδου, όχι μόνο για τα διανύσματα εισόδου που έχει "μάθει", αλλά και για διανύσματα εισόδου που δεν έχει "συναντήσει" ποτέ ξανά στο παρελθόν. Η ικανότητα γενίκευσης επηρεάζεται, μεταξύ άλλων, από την πολυπλοκότητα του προς επίλυση προβλήματος, το μέγεθος και την αρχιτεκτονική του ΤΝΔ καθώς και από το πλήθος των διανυσμάτων εκπαίδευσης.

Πολλά συστήματα, μπορούν να τεθούν ολοκληρωτικά εκτός λειτουργίας εάν υποστεί βλάβη έστω και ένα μικρό εξάρτημά τους. Τα ΤΝΔ έχουν ανοχή, όχι μόνο σε βλάβες αλλά και σε θόρυβο. Αυτό συμβαίνει διότι η πληροφορία είναι κατανεμημένη σε διάφορα σημεία του συστήματος. Εάν ένας νευρώνας υποστεί φθορά, η απόδοση του συστήματος και της εξόδου του επηρεάζονται αρνητικά αλλά σε βαθμό που δεν μπορεί να χαρακτηριστεί σημαντικός. Για να θεωρήσουμε ότι ένα ΤΝΔ έχει υποστεί βλάβη, αυτή θα πρέπει να είναι ιδιαίτερα εκτεταμένη, σε βαθμό που η ακρίβεια πρόβλεψης να έχει μειωθεί αρκετά και οι έξοδοι του συστήματος να βρίσκονται εκτός αποδεκτών ορίων.

Οι ιδιαίτερες δυνατότητες των Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων τα καθιστούν ένα πολύ ευέλικτο και αξιόπιστο εργαλείο που βρίσκει εφαρμογή σε ένα ευρύτατο σύνολο επιστημών. Ενδεικτικά:

- **Αεροδιαστημική:** ανίχνευση βλαβών, έλεγχος αεροσκάφους, προσομοιωτές πτήσεων, κλπ.
- **Βιομηχανία:** έλεγχος διεργασιών, ποιοτικός έλεγχος, διάγνωση βλαβών, κλπ.
- **Ηλεκτρονική:** πρόβλεψη ακολουθίας κωδικών, τεχνητή όραση, σύνθεση ήχου, κλπ.
- **Ιατρική:** ανάλυση συμπτωμάτων, πρόβλεψη αντίδρασης οργανισμών σε νέες δραστικές ουσίες, κλπ.
- **Οικονομικά:** πρόβλεψη δεικτών χρηματιστηρίου, αξιολόγηση αιτήσεων τραπεζικών δανείων, κλπ.
- **Τζόγος:** πρόβλεψη αποτελεσμάτων αγώνων, κλπ.

## 2 BLOCKCHAIN

### 2.1 Οι τεχνολογικές επαναστάσεις του παρελθόντος και η επανάσταση του Blockchain

Αυτό που αδιαμφισβήτητα ξεχώρισε τον άνθρωπο ως είδος ήταν η νοημοσύνη του. Από την αρχή της ιστορίας του, τα τεχνολογικά του επιτεύγματα ήταν εκείνα που του έδωσαν το προβάδισμα υπεροχής απέναντι στα υπόλοιπα είδη αλλά και την ίδια τη φύση. Κάθε μεγάλο τεχνολογικό επίτευγμα αποτελεί και μια επανάσταση διότι κάλυψε μία μεγάλη ανάγκη διαθέτοντας περισσότερους ή/και νέους πόρους στον άνθρωπο της εκάστοτε εποχής.

Ξεκινώντας από τα πρώτα ξύλινα εργαλεία, πριν από περίπου 4.000.000 χρόνια, ο άνθρωπος κατάφερε να εξελίξει τον τρόπο συλλογής της τροφής του και να ανεβάσει το τότε βιοτικό του επίπεδο. Έτσι, μέσα από το κυνήγι μπορούσε να εξασφαλίσει τροφή, γούνες, και άλλα αγαθά που τον βοηθούσαν να επιβιώσει αποτελεσματικότερα ενάντια σε δύσκολες συνθήκες, όπως σε περιόδους αυξημένου ψύχους. Εξέλιξη αυτού του πρώτου τεχνολογικού άλματος αποτέλεσαν τα λίθινα εργαλεία, τα οποία εκτιμάται ότι ανακάλυψε πριν από περίπου 2,6 εκατομμύρια χρόνια. Ως νέο υλικό προς χρήση, η μεταμορφωμένη σε εργαλείο πέτρα, ήταν όχι μόνο αποτελεσματικότερη αλλά και σαφέστατα ανθεκτικότερη από το ξύλο. Παράλληλα, το εύρος των εργασιών που μπορούσε να επιτελέσει ο άνθρωπος με την νέα αυτή τεχνολογία ήταν σημαντικά μεγαλύτερο.

Φυσικά, από τις μεγάλες ανακαλύψεις των πρώτων ανθρώπων δεν θα μπορούσε να μην αναφερθεί η φωτιά. Η σημαντικότερη αυτή ανακάλυψη αποτέλεσε μια πρωτόγονη τεχνολογική επανάσταση χάρη στην οποία έγιναν τα πρώτα βήματα υπεροχής του στο περιβάλλον που διαβιούσε. Με τη φωτιά ο άνθρωπος κατάφερε να έχει πρόσβαση σε θερμότητα, όπου και όποτε τη χρειαζόταν, αλλά και σε έναν αμυντικό μηχανισμό απέναντι στα άγρια ζώα που τον απειλούσαν. Επίσης, η φωτιά αποτέλεσε έναν σημαντικό παράγοντα βελτιστοποίησης των εργαλείων όταν η ανθρωπότητα πέρασε στην εποχή του μετάλλου.

Η τελευταία τεχνολογική επανάσταση της αρχαιότητας, ήταν ο τροχός. Με τον τροχό ο άνθρωπος μπόρεσε να μικρύνει τις αποστάσεις και να ταξιδεύει πιο άνετα, μεταφέροντας ανθρώπους, υπάρχοντα και αργότερα εμπορεύματα.

Κάνοντας ένα μεγάλο χρονικό άλμα, φτάνουμε στο 1698 όπου ο Thomas Savery υλοποιεί την πρώτη ατμομηχανή [37]. Στον παρελθόν είχαν κατασκευαστεί πολλές απλές ατμομηχανές, με χαρακτηριστικότερο παράδειγμα την αιολόσφαιρα του Ήρωνα. Χρειάστηκε όμως να φτάσουμε μέχρι την εποχή του Savery, η εφεύρεση του οποίου χρησιμοποιήθηκε για άντληση νερού. Αυτή ήταν ουσιαστικά η πρώτη πρακτική εφαρμογή της ατμομηχανής. Με την πρώτη Βιομηχανική Επανάσταση (γνωστή και ως Industry 1.0) να λαμβάνει χώρα μεταξύ 1760-1860, η ατμομηχανή έπαιξε σπουδαίο ρόλο αλλάζοντας τη μορφή εργασίας από χειρωνακτική σε μηχανοποιημένη. Επίσης άλλαξε τον τομέα των μεταφορών μεταμορφώνοντας τη ναυσιπλοΐα και τον σιδηρόδρομο. Τέλος, η ατμομηχανή αποτέλεσε τον πρόγονο της μηχανής εσωτερικής καύσης, η οποία εμφανίστηκε με διάφορες πρώιμες μορφές κατά τη διάρκεια της Βιομηχανικής Επανάστασης. Γνωρίζουμε, φυσικά, ότι το όφελος που αποκόμισε ο άνθρωπος από αυτό το τεχνολογικό βήμα είναι η δυνατότητα αξιοποίησης μεγαλύτερης ισχύος για εκτενέστατα χρονικά διαστήματα.

Η δεύτερη Βιομηχανική Επανάσταση (Industry 2.0) έλαβε χώρα μεταξύ 1863-1947 με τις νέες εφαρμογές που ήρθαν στο προσκήνιο χάρη στον ηλεκτρισμό και τις γραμμές παραγωγής, να φέρνουν σημαντικά μικρότερους χρόνους υλοποίησης και μείωση του κόστους.

Η αρχή της τρίτης Βιομηχανικής Επανάστασης (Industry 3.0) τοποθετείται περί το 1970 και συντελέστηκε με την εξέλιξη των ηλεκτρονικών, των τηλεπικοινωνιών και των ηλεκτρονικών υπολογιστών που μέσω αυτών πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή στοιχείων αυτοματισμού και ρομποτικής στη βιομηχανία, μέσω προγραμματιζόμενων ελεγκτών και υπολογιστών.

Στην δεκαετία του 1970, γεννήθηκε η τεχνολογία που όχι μόνο άλλαξε τον τρόπο που επικοινωνούμε αλλά και τον τρόπο με τον οποίο συναλλασσόμαστε. Επιπροσθέτως, εκμηδένισε τις αποστάσεις, τουλάχιστον σε επίπεδο επικοινωνίας και ανταλλαγής πληροφοριών. Ο λόγος για το Internet. Στις μέρες μας, είναι σχεδόν αδύνατον να φανταστούμε την καθημερινότητά μας χωρίς αυτό. Οι διευκολύνσεις που μας παρέχει είναι ανεκτίμητες: επικοινωνούμε, συναλλασσόμαστε, εργαζόμαστε και συνεργαζόμαστε με οποιονδήποτε στον πλανήτη και από οποιαδήποτε γωνιά του. Πρέπει να σημειωθεί επίσης, ότι μέχρι και σήμερα, το Internet αποτελεί ίσως τον σημαντικότερο παράγοντα προόδου της

τεχνολογίας και θα συνεχίσει να είναι το υπόβαθρο ενός πολύ μεγάλου ποσοστού των καθημερινών δραστηριοτήτων του είδους μας.

Στις μέρες μας, διανύουμε την τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση (Industry 4.0) όπου η αυτοματοποίηση της βιομηχανίας εμπλουτίζεται με κυβερνοφυσικά συστήματα που απαρτίζονται από στοιχεία Διαδικτύου των Πραγμάτων (μτφρ. *Internet of Things - IoT*), επικοινωνιών από Μηχανή-σε-Μηχανή (μτφρ. *Machine-to-Machine - M2M*) σε ευρεία κλίμακα, Υπολογιστική Νέφους (μτφρ. *Cloud Computing*) και Τεχνητή Νοημοσύνη. Λίγο πριν την υιοθέτηση του όρου Industry 4.0 στην Έκθεση του Ανόβερο το 2011 (Hannover Fair 2011), και πιο συγκεκριμένα το 2009, εμφανίζεται το Bitcoin. Από τότε, μας δίνεται η ευκαιρία να παρακολουθούμε τη γέννηση και την εξέλιξη του Blockchain: μιας ακόμη καινοτόμου σύλληψης, η οποία αλλάζει τον τρόπο που εμπιστευόμαστε. Εύλογα θα αναρωτηθεί κανείς για ποιο λόγο μας είναι απαραίτητη μια τέτοια επανάσταση. Κι όμως, η επανάσταση αυτή αποτελεί συνέχεια της φυσικής εξέλιξης της τεχνολογίας.

Στο παρελθόν οι τεχνολογίες που εμφανίζονταν παρείχαν λύσεις, αλλά όσο κάθε μία από αυτές εξελισσόταν, προκύπτan νέα, μικρά ή μεγάλα κενά που έπρεπε να καλυφθούν. Με την εμφάνιση του Internet, μπορεί να εκμηδενίστηκαν οι επικοινωνιακές και συναλλακτικές αποστάσεις, όμως προέκυψαν δύο πολύ βασικά κενά: το πρώτο αφορά την ασφάλεια των δεδομένων και την ανωνυμία του χρήστη ενώ το δεύτερο την εμπιστοσύνη μεταξύ συναλλασσόμενων πλευρών. Το πρόβλημα της ασφάλειας των δεδομένων αντιμετωπίστηκε με διάφορους τρόπους και κυρίως με μεθόδους κωδικοποίησης και κρυπτογράφησης. Παρόλα αυτά, στον τομέα της εμπιστοσύνης, το πρόβλημα παρέμενε.

## 2.2 Το Blockchain και η φιλοσοφία του

Το πρόβλημα της εμπιστοσύνης είναι διαχρονικό. Όταν υπάρχουν πλευρές που θέλουν να προβούν σε μία οποιαδήποτε συναλλαγή, η κάθε μία θέλει να είναι εξασφαλισμένη πως καθόλη τη διάρκεια της διαδικασίας δεν θα υπάρξουν λάθη ή απόπειρες εξαπάτησης από τους υπόλοιπους εμπλεκόμενους. Στις πρώιμες εμπορικές συναλλαγές της ανθρωπότητας, οι εμπλεκόμενοι σε μία συναλλαγή ήταν αναγκασμένοι να δείχνουν καλή πίστη. Φυσικά, υπήρχαν και συναλλαγές που δεν είχαν αίσιο τέλος.

Χρειαζόταν, λοιπόν, ένας ουδέτερος και έμπιστος ενδιάμεσος ο οποίος θα γινόταν ο έμπιστος εγγυητής των ασφαλών συναλλαγών. Τέτοιους ενδιάμεσους αποτέλεσαν οι ναοί της αρχαιότητας. Αργότερα, το τραπεζικό σύστημα ήρθε να πάρει τον ρόλο του ουδέτερου και αμερόληπτου φορέα κοινής εμπιστοσύνης μεταξύ συναλλασσόμενων πλευρών. Οι τράπεζες δεν εμπλέκονται στην παραμικρή καθημερινή συναλλαγή, αλλά είναι παρούσες σε συγκεκριμένες κατηγορίες αυτών, όπου απαιτείται εξασφάλιση μεταξύ συναλλασσόμενων. Όμως, παρόλη την ασφάλεια που προσφέρει το τραπεζικό σύστημα, κουβαλάει παράλληλα και δύο πολύ σημαντικά ελαττώματα:

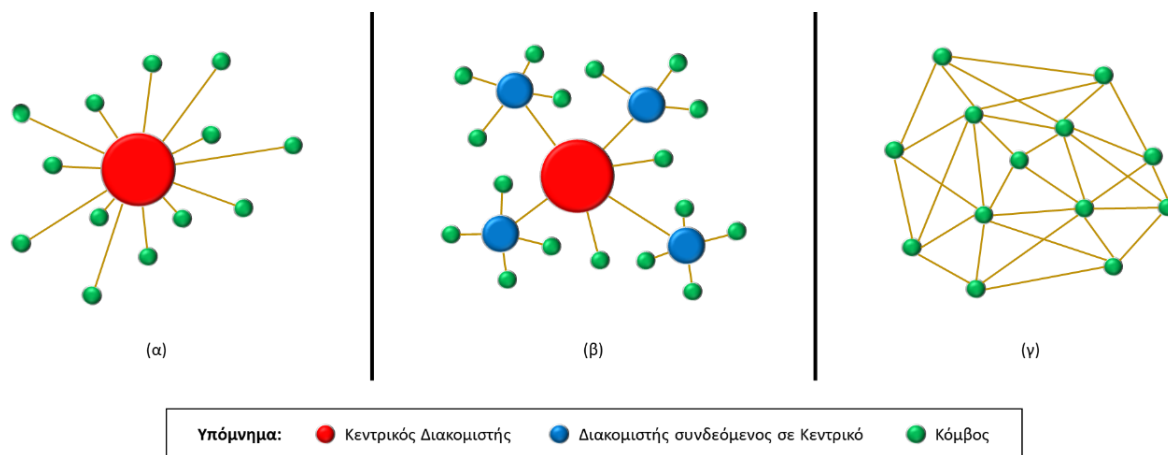
1. Οι συναλλαγές επιβαρύνουν με πρόσθετο κόστος τον καταναλωτή μέσω τραπεζικών προμηθειών
2. Οι συναλλαγές, στην συντριπτική τους πλειοψηφία δεν εκτελούνται άμεσα εκτός εάν επιβαρυνθούν με μεγαλύτερη τραπεζική προμήθεια

Σε κάθε περίπτωση, οι τράπεζες διατηρούν έναν συγκεντρωτικό χαρακτήρα, με σκοπό το κέρδος διαμέσου των προμηθειών, των τοκοφόρων ημερομηνιών (valeur), κλπ. Απεναντίας, το Blockchain έχει αποκεντρωτικό χαρακτήρα. Η φιλοσοφία του βασίζεται στο εξής τρίπτυχο χαρακτηριστικών:

#### Αποκέντρωση - Αμεταβλητότητα - Ιχνηλασιμότητα

**Αποκέντρωση** (μτφρ. *Decentralization*) είναι η μεταφορά διαδικασιών, δραστηριοτήτων, αρμοδιοτήτων ή εξουσιών από έναν κεντρικό φορέα σε περισσότερους του ενός περιφερειακούς. Στην περίπτωση του Blockchain, η αποκέντρωση μπορεί να είναι πλήρης, με όλους τους εμπλεκόμενους να είναι ισότιμοι μεταξύ τους και να μοιράζονται ταυτόχρονα το ίδιο σύνολο δεδομένων, με τον καθένα να έχει το δικό του έγκυρο αντίγραφο. Κάνοντας αναγωγή στον φυσικό κόσμο, θα μπορούσαμε να το συγκρίνουμε με ένα λογιστικό βιβλίο (καθολικό, μτφρ. ledger) ή κάποιο άλλο αρχείο καταγραφών το οποίο είναι κατανεμημένο (μτφρ. *distributed*) σε όλους όσους αφορά και ενημερώνεται ταυτόχρονα για όλους. Το Blockchain ως τεχνολογία είναι ένα είδος κατανεμημένων υπολογιστικών συστημάτων, γι'

αυτό και πολλές φορές αναφέρεται και ως Τεχνολογία Κατανεμημένου Καθολικού (μτφρ. Distributed Ledger Technology - DLT)



Εικόνα 2.1: Συγκεντρωτικό Σύστημα (α), Αποκεντρωμένο Σύστημα (β), Κατανεμημένο Σύστημα (γ)

**Αμεταβλητότητα** (μτφρ. *Immutability*) είναι το χαρακτηριστικό γνώρισμα του Blockchain το οποίο του προσδίδει ένα ανταγωνιστικό πλεονέκτημα. Όλα τα δεδομένα που εγγράφονται σε ένα δίκτυο Blockchain, δεν είναι δυνατόν να τροποποιηθούν. Μια συναλλαγή, άπαξ και ολοκληρωθεί δεν μπορεί να ακυρωθεί παρά μόνο με μία νέα. Εάν, δηλαδή, κάποιος αποστείλει κατά λάθος περισσότερα χρήματα σε έναν παραλήπτη, τότε ο μόνος τρόπος για να διορθωθεί αυτό το λάθος είναι να διεκπεραιωθεί μια νέα συναλλαγή, από τον παραλήπτη προς τον αποστολέα, όπου πραγματοποιείται επιστροφή του περίσσιου ποσού. Ακόμα και τυχόν απόπειρες αλλοίωσης των συναλλαγών καθίστανται ανεπιτυχείς διότι το Blockchain διαθέτει μηχανισμούς αποκατάστασής τους οι οποίοι βασίζονται στην αποκεντρωμένη δομή του. Αυτό μπορεί να γίνει σαφές με το ακόλουθο παράδειγμα. Θεωρούμε ότι σε μια συναλλαγή εμπλέκονται δύο συναλλασσόμενοι και ένας τρίτος με ρόλο ενδιάμεσου. Για την συναλλαγή αυτή εκδίδεται τριπλότυπη απόδειξη και κάθε ένας εμπλεκόμενος λαμβάνει από ένα αντίτυπο. Σε περίπτωση που ένας από τους τρεις παραχαράξει το αντίτυπό του, τότε αντιπαραβάλλεται με τα υπόλοιπα δύο και διαπιστώνεται η μη-εγκυρότητά του. Σε τέτοιες περιπτώσεις, ένα δίκτυο Blockchain αντικαθιστά τα μη-έγκυρα δεδομένα με ένα έγκυρο αντίγραφο. Εδώ διαφαίνεται η δημοκρατικότητα που διέπει την τεχνολογία Blockchain, καθώς υπερισχύει η πλειοψηφία. Τίθεται, λοιπόν, το ερώτημα: τι συμβαίνει εάν η



πλειοψηφία καταφέρει να δημιουργήσει μια αλλοίωση; Η απάντηση είναι πως σε αυτή την περίπτωση θα υπερισχύσει η αλλοίωση. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο θα πρέπει η αλλοίωση να πραγματοποιηθεί (σχεδόν) την ίδια χρονική στιγμή από περισσότερους του 50% των συμμετεχόντων στην Αλυσίδα. Αυτό ονομάζεται **Επίθεση 51%** (51% Attack) και μολονότι θεωρητικά είναι επιτεύξιμη, στην πραγματικότητα οι “επιτιθέμενοι” θα έπρεπε σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα να δαπανήσουν ποσά επεξεργαστικής ισχύος που δεν είναι ρεαλιστικά.

**Ιχνηλασιμότητα** (μτφρ. *Traceability*) μέσω του αποκεντρωμένου δικτύου Blockchain, τα δεδομένα αποθηκεύονται χρονοσημασμένα (μτφρ. *timestamped*) και μπορούν να περιέχουν επιπρόσθετες πληροφορίες ιχνηλασιμότητας σχετικά με την προέλευση μιας συναλλαγής. Σε συνδυασμό με την αμεταβλητότητα των δεδομένων και τη χρονοσήμανση που λαμβάνουν κατά την αποθήκευσή τους σε περιβάλλον Blockchain, δημιουργείται αυτομάτως μια αδιάψευστη σειρά συναλλαγών που μπορούν να ιχνηλατηθούν μέχρι και το πρώτο block της Αλυσίδας.

Είναι ξεκάθαρο ότι το τρίπτυχο των χαρακτηριστικών της τεχνολογίας Blockchain, προσφέρει **Διαφάνεια** (μτφρ. *Transparency*), με αποτέλεσμα να εγκαθιδρύεται ένα ψηφιακό καθεστώς αμοιβαίας εμπιστοσύνης που προκύπτει από μια Αλυσίδα αμετάβλητων και αδιαμφισβήτητων δεδομένων.

## 2.3 Βασικές έννοιες

Προτού προχωρήσουμε βαθύτερα, είναι απαραίτητο να αναφερθούν και να περιγραφούν κάποιες βασικές έννοιες γύρω από το Blockchain και το περιβάλλον του.

**Κρυπτονόμισμα** (μτφρ. *Cryptocurrency*): είναι κάθε ψηφιακό νόμισμα το οποίο χρησιμοποιεί μεθόδους κρυπτογράφησης για να διασφαλίσει τα δεδομένα των χρηστών του και των μεταξύ τους συναλλαγών. Σχεδόν όλα τα κρυπτονομίσματα διέπονται από ισοτιμίες μεταξύ τους. Κάποια εξ αυτών διαθέτουν ισοτιμία έναντι φυσικών νομισμάτων, ενώ όσα δεν έχουν βρίσκουν χρήση κυρίως εντός κλειστών, ιδιωτικών δικτύων με τη μορφή ειδικών νομισμάτων (tokens). Σε κάθε περίπτωση, τα κρυπτονομίσματα και τα tokens θεωρούνται, από οικονομική άποψη, κεφάλαιο ή περιουσιακό στοιχείο (asset), καθότι έχουν δαπανηθεί πόροι

για τη δημιουργία τους. Η υποδομή κάθε κρυπτονομίσματος αλλά και των διαφόρων συναλλαγών με αυτό, βασίζονται στην τεχνολογία Blockchain.

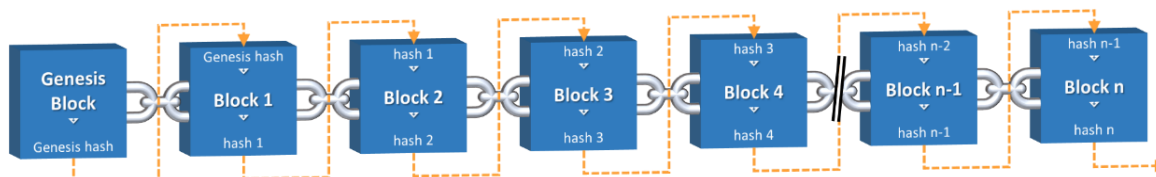
**Συναλλαγή (Transaction):** αφορά την ενέργεια παροχής αγαθών ή υπηρεσιών έναντι ενός αντιτίμου, μεταξύ δύο πλευρών: πάροχοι - αγοραστές. Στον χρηματοοικονομικό τομέα, το αντίτιμο αυτό έχει συνήθως χρηματική υπόσταση ή αντιστοιχεί σε κάποια άλλη κοινώς αποδεκτή αξία. Στον ψηφιακό κόσμο, και δη σε περιβάλλοντα Blockchain, οι συναλλαγές αφορούν δεδομένα τα οποία δεν είναι απαραίτητο να αντιστοιχούν σε χρηματική αξία, όπως το Bitcoin. Ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα είναι η μεταφορά ψηφιακών πληροφοριών από μία βάση δεδομένων σε μία άλλη.

**Κατακερματισμός (μτφρ. Hashing):** είναι μια υπολογιστική συνάρτηση η οποία στην είσοδό της δέχεται ένα σύνολο δεδομένων και στην έξοδό της παράγει μια κρυπτογραφημένη συμβολοσειρά συγκεκριμένου μήκους (hash). Εάν γίνει μια οποιαδήποτε αλλαγή στα δεδομένα εισόδου, η συνάρτηση θα παραγάγει μια εντελώς διαφορετική έξοδο. Στην τεχνολογία Blockchain, τέτοιες συναρτήσεις χρησιμοποιούνται για την επαλήθευση των αποθηκευμένων δεδομένων. Η έξοδος μιας hashing συνάρτησης συνοδεύει τα δεδομένα από τα οποία προέκυψε και μπορεί να χαρακτηριστεί ως το δακτυλικό αποτύπωμά τους.

**Μπλοκ (μτφρ. Block):** ως block θεωρούμε ένα σύνολο ομαδοποιημένων συναλλαγών (δεδομένων) που έχουν αποθηκευτεί εντός Blockchain δικτύου. Κάθε block που δημιουργείται, απαρτίζεται από τα δεδομένα που περιέχει, το hash του, το hash του προηγούμενου block καθώς και από χρονοσήμανση.

**Blockchain (μτφρ. Αλυσίδα των Μπλοκ ή Αλυσίδα Συστοιχιών):** είναι το δικτυακό υπόβαθρο λειτουργίας που βασίζεται στην αλληλουχία blocks. Λειτουργεί ως ένα αποκεντρωμένο, ψηφιακό, λογιστικό βιβλίο (καθολικό) στο οποίο αποθηκεύονται όλες οι συναλλαγές που διεκπεραιώνονται εντός του δικτύου αυτού. Κάθε block, δέχεται το hash του προηγούμενου block και αποστέλλει το δικό του στο επόμενο. Έτσι δημιουργείται μια αλυσίδα από χρονοσημασμένα blocks, όπου κάθε block αποτελεί έναν κρίκο στην αλυσίδα αυτή.

**Genesis Block:** Σε κάθε Αλυσίδα block, υπάρχει ένα block το οποίο δεν διαθέτει το hash του προηγούμενου. Αυτό το block είναι το πρώτο θεμέλιο block της αλυσίδας και ονομάζεται Genesis Block.



Εικόνα 2.2: Γραφική αναπαράσταση Αλυσίδας Μπλοκ

**Κόμβος** (μτφρ. *Node*): σε ένα δίκτυο Blockchain, κόμβοι είναι τα θεμελιώδη στοιχεία της υποδομής του, και μπορούν να παραλληλιστούν με μικρούς δικτυακούς διακομιστές. Είναι συνήθως ηλεκτρονικοί υπολογιστές (σταθεροί, φορητοί υπολογιστές ή ακόμα μεγαλύτεροι διακομιστές) διασυνδεδεμένοι μεταξύ τους και όλα τα δεδομένα αποθηκεύονται σε αυτούς. Κάθε φορά που δημιουργείται ένα block και προστίθεται στον τελευταίο “κρίκο” μιας Αλυσίδας, το block αυτό κοινοποιείται και αντιγράφεται σε όλους τους κόμβους ώστε η Αλυσίδα να παραμένει παντού και πάντα ενημερωμένη. Αυτός ο τρόπος διαμοιρασμού των δεδομένων αποδίδει στο Blockchain τον αποκεντρωτικό του προσανατολισμό, καθώς η πληροφορία υπάρχει ταυτόχρονα σε πολλαπλά αντίγραφα εντός του δικτύου. Επιπροσθέτως, οι υφιστάμενοι κόμβοι είναι εκείνοι που θα ενημερώσουν έναν νεοεισαχθέντα στο δίκτυο, συγχρονίζοντας με αυτόν τα δεδομένα της Αλυσίδας.

**Μηχανισμός Συναίνεσης** (μτφρ. *Consensus Mechanism*): είναι ένας αλγοριθμικός μηχανισμός και σκοπό έχει να διασφαλίζει τη διαδικασία επικύρωσης των δεδομένων εντός του δικτύου Blockchain. Τέτοιοι μηχανισμοί χρησιμοποιούνται σε υπολογιστικά συστήματα και περιβάλλοντα Blockchain για την επίτευξη της απαραίτητης συμφωνίας για μία και μόνο τιμή δεδομένων. Στην τεχνολογία Blockchain, αυτή η τιμή αφορά το hash.

**Έξυπνο Συμβόλαιο ή Έξυπνη Σύμβαση** (μτφρ. *Smart Contract*): είναι ένα ψηφιακό συμβόλαιο το οποίο εκτελείται αυτόματα όταν εκπληρωθούν κάποιοι συγκεκριμένοι όροι και προϋποθέσεις.

## 2.4 Τι είναι το Blockchain

Περίπου 4 δεκαετίες μετά την γέννηση του Internet, και πιο συγκεκριμένα στις 3 Ιανουαρίου του 2009, παρουσιάζεται το πρώτο block με 50 Bitcoins, από τον Satoshi Nakamoto. Το ποιος ήταν πραγματικά, παραμένει άγνωστο. Κάποιοι θεωρούν ότι το όνομα αυτό αναφέρεται σε ομάδα ανθρώπων και όχι σε ένα μεμονωμένο πρόσωπο. Μπορεί οι απόψεις να δίστανται ως προς την ταυτότητά, όμως το “Satoshi Nakamoto” θεωρείται κατά πλειοψηφία ψευδώνυμο.

Το Bitcoin είναι το πρώτο αποκεντρωμένο ψηφιακό νόμισμα. Για την ακρίβεια, το Bitcoin είναι ένα κρυπτονόμισμα, καθώς για τη δημιουργία του εφαρμόζονται τεχνικές κρυπτογράφησης προς επαλήθευση των συναλλαγών και τη διασφάλιση του δικτύου παραγωγής. Και μολονότι πολύς κόσμος γνωρίζει, έστω και εξ ακοής, το Bitcoin, λίγοι γνωρίζουν την υποδομή στην οποία στηρίχτηκε: το Blockchain. Το Bitcoin δημιουργήθηκε με σκοπό να αντιμετωπιστούν κάποια μείζονα ελαττώματα που παρουσιάζουν τα συμβατικά συστήματα συναλλαγών όπως ευπάθειες, ανεπάρκειες, πολυπλοκότητα και περιττό επιπρόσθετο κόστος. Τα παραπάνω ελαττώματα παρουσιάζουν αυξητικές τάσεις όσο ο όγκος των συναλλαγών μεγαλώνει. Η αποκεντρωμένη φύση του Bitcoin φροντίζει ώστε το συγκεκριμένο νόμισμα να μην έχει μόνιμο διαχειριστή ή μια σταθερή αρχή που να το ελέγχει, όπως συμβαίνει με το παραστατικό χρήμα το οποίο εκδίδεται και ελέγχεται από κεντρικούς οργανισμούς.

Φυσικά, για όλα τα παραπάνω απαιτείται ένα τεχνολογικό υπόβαθρο ώστε να μπορούν να λειτουργούν απρόσκοπτα και αποτελεσματικά. Το υπόβαθρο αυτό, περιλαμβάνει σαφώς ένα απαραίτητο υλισμικό αλλά κυρίως ένα αλγοριθμικό πλαίσιο λειτουργίας πάνω στο οποίο θα “τρέξουν” οι απαραίτητες εφαρμογές. Θα μπορούσαμε να το συγκρίνουμε με ένα λειτουργικό σύστημα στο οποίο εγκαθίστανται και λειτουργούν τα διάφορα λογισμικά. Το αλγοριθμικό πλαίσιο λειτουργίας για την περίπτωση των κρυπτονομισμάτων είναι το Blockchain.

Το Blockchain είναι ένα ψηφιακό καθολικό στο οποίο καταχωρούνται χρονοσημασμένες συναλλαγές. Και μολονότι ως συναλλαγή συνηθίζουμε να θεωρούμε τη μεταφορά χρήματος (παραστατικού ή ψηφιακού) από ένα πορτοφόλι ή λογαριασμό σε έναν άλλο, είναι απαραίτητο να θυμόμαστε ότι στον κόσμο του Blockchain αναφερόμαστε σε οποιαδήποτε

δοσοληψία δεδομένων λαμβάνει χώρα εντός του δικτύου και πληροί τις προϋποθέσεις του, είτε αυτά αναφέρονται σε αξίες είτε σε άλλους είδους πληροφορίες.

### 2.4.1 Κατηγορίες Blockchain

Οι Αλυσίδες Συστοιχιών μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως κατάλογοι με βάση τον τύπο πρόσβασης σε αυτές. Για ευκολότερη κατανόηση θα μπορούσαν να παρομοιαστούν με τυπικά δίκτυα πληροφορικής (WAN, LAN, κλπ.) όπου η έκταση και η δυνατότητα συμμετοχής σε κάθε τύπο διαφέρει. Πιο αναλυτικά, οι κατηγορίες Blockchain είναι:

**Δημόσιοι Κατάλογοι Blockchain** (μτφρ. *Public Blockchains*): Οι Αλυσίδες αυτές δεν έχουν ιδιοκτήτη. Κάθε συμμετέχοντας μπορεί να αναγνώσει (read), να εγγράψει (write) και να λάβει μέρος στις διαδικασίες συναίνεσης των δεδομένων της, χωρίς να απαιτείται κάποιου είδους άδεια για οποιαδήποτε από τις παραπάνω ενέργειες. Για τον λόγο αυτό οι συγκεκριμένοι κατάλογοι αναφέρονται και ως *Permissionless Blockchains* και η λειτουργία τους συνδέεται κυρίως με κρυπτονομίσματα: το Bitcoin, το Ethereum και το Litecoin αποτελούν τις τρεις πιο γνωστές και διαδεδομένες δημόσιες Αλυσίδες.

**Ιδιωτικοί Κατάλογοι Blockchain** (μτφρ. *Private Blockchains*): Οι ιδιωτικές Αλυσίδες είναι κλειστές στο ευρύ κοινό και ανήκουν αποκλειστικά σε μία οντότητα (οργανισμό ή πρόσωπο) η οποία ορίζει και τα δικαιώματα των συμμετεχόντων (πρόσβαση, ανάγνωση, εγγραφή, κλπ.). Όπως αντίστοιχα συμβαίνει σε ένα τοπικό δίκτυο υπολογιστών (LAN), έτσι και στις ιδιωτικές Αλυσίδες η πρόσβαση γίνεται μόνο από μια συγκεκριμένη ομάδα εμπιστων συμμετεχόντων οι οποίοι είναι αναγνωρίσιμοι και αποδεκτοί από το δίκτυο. Εξού και οι Αλυσίδες αυτές αναφέρονται και ως *Permissioned Blockchains*. Δεν αποτελούν πλήρως αποκεντρωμένες Αλυσίδες αλλά η έκτασή τους, μολονότι σαφέστερα μικρότερη από αυτή των Public Blockchains, τις καθιστά σημαντικά ταχύτερες. Τυπικά πεδία εφαρμογής απαντώνται σε εταιρείες όπου χρησιμοποιούνται εσωτερικά για διασφάλιση των διαδικασιών, π.χ. παραγγελιοληψία, δελτία παραλαβής, δελτία ελέγχου, έκδοση παραστατικών, κλπ. Τα πιο γνωστά Private Blockchains είναι τα Hyperledger Fabric, Hyperledger Sawtooth, Multichain και Corda.

**Υβριδικοί Κατάλογοι Blockchain** (μτφρ. *Hybrid Blockchains*): Μια υβριδική αρχιτεκτονική Blockchain απαρτίζεται από ένα ιδιωτικό και ένα δημόσιο τμήμα (δίκτυο), συνδυάζοντας τα προτερήματά τους και προάγοντας τη διαλειτουργικότητα μεταξύ οντοτήτων. Είναι αποκεντρωμένες Αλυσίδες και η χρήση τους ενδείκνυται όπου απαιτείται επεκτασιμότητα. Ένας χρήστης μπορεί να συμμετέχει δημιουργώντας κατακερματισμένα blocks δεδομένων στο ιδιωτικό δίκτυο και στη συνέχεια να τα αποθηκεύει στο δημόσιο δίκτυο της Αλυσίδας, παραμένοντας ανώνυμος σε αυτό. Η ταυτότητά του γνωστοποιείται μόνο σε αυτούς με τους οποίους προβαίνει σε άμεσες συναλλαγές. Για παράδειγμα, ένας οργανισμός μπορεί να στηριχτεί σε μια υβριδική πλατφόρμα Blockchain για τη διασφάλιση των διαδικασιών του. Παράλληλα μπορεί να γνωστοποιεί μια επιλεγμένη μερίδα των δεδομένων του σε τρίτες οντότητες με τις οποίες συνεργάζεται ώστε αυτές να μπορούν να έχουν πρόσβαση σε έγκυρες πληροφορίες. Για να διασφαλιστεί ότι η παραπάνω διαδικασία αναγνώρισης πραγματοποιείται με ορθό τρόπο, οι εκάστοτε οργανισμοί εφαρμόζουν πρακτικές KYC (Know Your Customer). Μια χαρακτηριστική κατηγορία οργανισμών που εφαρμόζουν τέτοιες πρακτικές είναι τα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα, καθώς δεν μπορούν να επιτρέψουν την πραγματοποίηση συναλλαγών από έναν χρήστη που δεν είναι ταυτοποιημένος, τόσο γενικά όσο και στο Blockchain. Οι πιο γνωστές υβριδικές πλατφόρμες Blockchain είναι το LTO Network και το Dragonchain.

**Κοινοπρακτικοί Κατάλογοι Blockchain** (μτφρ. *Consortium ή Federated Blockchains*): Είναι ένα είδος υβριδικών Αλυσίδων (με παράλληλο ιδιωτικό και δημόσιο δίκτυο), με το όνομα αυτής της κατηγορίας απορρέει από την ιδιοκτησία αυτών των Αλυσίδων, καθώς η διαχείρισή τους επιτελείται από μία ομάδα οντοτήτων. Είναι μερικώς αποκεντρωμένες και αποσκοπούν στο να ενθαρρύνουν τη συνεργασία μεταξύ εταιρειών προσφέροντας ένα κοινό πεδίο εμπιστοσύνης. Γνωστές πλατφόρμες υλοποίησης Consortium Blockchains είναι το Hyperledger, το Corda, and το Quorum.

#### 2.4.2 Λειτουργία και χρησιμότητα

Ένα περιβάλλον Blockchain, μπορεί να χαρακτηριστεί σαν μία online Βάση Δεδομένων, διανεμημένη σε κόμβους, όπου τα καταχωρημένα δεδομένα από κάθε χρήστη παραμένουν αποθηκευμένα και αδιάβλητα εις αεί. Μολονότι στη θεωρία δύναται να προκύψουν

ζητήματα αλλοιώσεων ή απώλειας (π.χ. μέσω μιας Επίθεσης 51%), στην πράξη καθίστανται ανέφικτα λόγω της αποκεντρωμένης φύσης του. Όσο πιο εκτεταμένο είναι ένα δίκτυο Blockchain, από πλευράς πλήθους ενεργών κόμβων, τόσο πιο στιβαρό και ασφαλές είναι, αλλά ταυτόχρονα και πιο αργό.

Η ανταλλαγή δεδομένων σε περιβάλλον Blockchain πραγματοποιείται εντός δικτύου ομότιμων κόμβων (Peer-to-Peer (P2P) network) οι οποίοι μοιράζονται ισοδύναμα τους πόρους τους, χωρίς τη ανάγκη συντονισμού ή διαμεσολάβησης από έναν κεντρικό εξυπηρετητή και κάθε συμμετέχοντας κόμβος κατέχει ακριβές αντίγραφο όλης της Αλυσίδας, δηλαδή όλων των διαμοιραζόμενων πληροφοριών. Κάθε φορά που προστίθεται ένα νέο block στην Αλυσίδα, η ενημέρωση πραγματοποιείται άμεσα και ταυτόχρονα σε όλους τους κόμβους.

Όταν τίθεται για πρώτη φορά σε λειτουργία μια νέα Αλυσίδα, γεννιέται μαζί της και το Genesis Block. Πάνω σε αυτό θα συνδεθεί το πρώτο block συναλλαγών. Όταν ένας συμμετέχοντας θέλει να προσθέσει ένα νέο block συναλλαγών στο δίκτυο, το μεταδίδει σε όλους τους ενεργούς κόμβους. Με βάση τον αλγόριθμο επαλήθευσης του δικτύου, οι κόμβοι μπορούν να αποδεχτούν ή να απορρίψουν το υπό εξέταση block. Εφόσον επικυρωθεί, θα αποθηκευτεί προστιθέμενο στο πιο πρόσφατα αποθηκευμένο block της Αλυσίδας και στη συνέχεια θα διανεμηθεί αντίγραφό του σε όλους τους συμμετέχοντες κόμβους. Το νέο αυτό block θα αναμένει τη σύνδεση του επόμενου και η διαδικασία αυτή συνεχίζεται επ' άπειρον. Τα αποθηκευμένα δεδομένα, δύναται επίσης να ανακτηθούν προς επαλήθευση μίας ήδη καταχωρημένης συναλλαγής.

### **Κατηγορίες συμμετεχόντων**

Ο έλεγχος του Bitcoin, αλλά και γενικότερα μιας οποιαδήποτε Αλυσίδας Συστοιχιών, διενεργείται από την εκάστοτε “κοινότητα”, δηλαδή όλους τους συμμετέχοντες χρήστες. Αυτοί μπορεί να είναι:

1. **Εξορύκτες** (μτφρ. *Miners*): οι Εξορύκτες είναι οι εκείνοι οι χρήστες που “παράγουν” κρυπτονομίσματα μέσω υπολογιστικών διατάξεων που ονομάζονται *Εξορυκτικοί Κόμβοι* (μτφρ. *mining nodes*). Η παραγωγή κρυπτονομισμάτων θα μπορούσε να

χαρακτηριστεί ως το ανάλογο της κοπής νέου παραστατικού χρήματος. Για να παραχθεί ένα μικρό τμήμα κρυπτονομίσματος, ένας Εξορύκτης πρέπει να επιλύσει ένα αλγοριθμικό πρόβλημα επιβεβαίωσης μιας συναλλαγής μέσω κρυπτογράφησης. Εάν τα καταφέρει πριν από τους υπόλοιπους Εξορύκτες που βρίσκονται στο ίδιο δίκτυο με αυτόν, τότε “αμείβεται” με ένα τμήμα κρυπτονομίσματος. Σημειώνεται πως, για την παραγωγή αυτού του μικρού τμήματος, απαιτείται ένα εξορυκτικό σύστημα σημαντικής υπολογιστικής ισχύος. Οι ενδιαφερόμενοι μπορούν να συνθέσουν ένα δικό τους εξορυκτικό σύστημα αποτελούμενο από πολλές κάρτες γραφικών συνδεδεμένες παράλληλα ή να αγοράσουν ένα έτοιμο ASIC (Application-Specific Integrated Circuit, *μτφρ. Ολοκληρωμένο Κύκλωμα για Συγκεκριμένες Εφαρμογές*) που αποτελεί μια πιο προσιτή λύση, τόσο από οικονομική άποψη όσο και από πλευράς συντηρησιμότητας.

2. **Επικυρωτές** (*μτφρ. Validators*): σε Αλυσίδες όπου δεν πραγματοποιούνται εξορύξεις, η επιβεβαίωση μιας συναλλαγής γίνεται από συγκεκριμένους συμμετέχοντες στο δίκτυο. Σε κλειστά δίκτυα Blockchain οι Επικυρωτές μπορούν να απαρτίζονται από έναν συγκεκριμένο αριθμό προκαθορισμένων κόμβων.
3. **Προγραμματιστές**: η κατηγορία αυτή αφορά εκείνους τους χρήστες που συντηρούν τον κώδικα λειτουργίας της εκάστοτε Αλυσίδας Συστοιχιών.
4. **Πάροχοι υπηρεσιών**: αφορά εταιρείες που παρέχουν υπηρεσίες σχετικές με κρυπτονομίσματα ή Blockchain. Ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα αποτελούν τα ανταλλακτήρια κρυπτονομισμάτων τα οποία κατακρατούν ένα μέρος κρυπτονομίσματος ως προμήθεια (*μτφρ. fee*) για κάθε συναλλαγή που διεκπεραιώνουν.
5. **Τυπικοί χρήστες**: δηλαδή εκείνοι οι οποίοι χρησιμοποιούν τις Αλυσίδες Συστοιχιών για τις συναλλαγές τους ή/και την εγκατάσταση και λειτουργία των ψηφιακών εφαρμογών τους.

### **Επικύρωση Αλυσίδας**

Για την επικύρωση των δεδομένων, κάθε δίκτυο Blockchain μπορεί να υιοθετήσει ένα Μηχανισμό Συναίνεσης. Κάθε αλυσίδα χρησιμοποιεί έναν τέτοιο αλγόριθμο για την



επικύρωση των hash, με τον κάθε έναν να έχει τα δικά του προτερήματα έναντι των άλλων, όπως για παράδειγμα μικρότερη κατανάλωση ενέργειας, μικρότερους χρόνους επικύρωσης, κλπ. Οι πιο διαδομένοι είναι οι μηχανισμοί συναίνεσης *Proof of Work* και *Proof of Stake*. Ο πρώτος, προϋπήρχε του Bitcoin αλλά υιοθετήθηκε από αυτό για την υλοποίησή του. Ο δεύτερος, εμφανίστηκε αργότερα ώστε να αντιμετωπιστούν διάφορα ζητήματα του *Proof of Work*, και πιο συγκεκριμένα το πρόβλημα της εκτεταμένης κατανάλωσης ενέργειας. Μάλιστα, μια μελέτη του 2014, έδειξε ότι η κατανάλωση της ενέργειας από το δίκτυο του Bitcoin ήταν συγκρίσιμη με αυτήν της Ιρλανδίας για το ίδιο έτος, ενώ σύμφωνα με τη σχετική ιστοσελίδα του [Πανεπιστημίου του Cambridge](#) [38], στις 15 Μαρτίου 2021 εμφάνιζε ετήσια κατανάλωση περί τις 129,14TWh ανά έτος και πλησιάζει αυτή της Σουηδίας με 131.80TWh ανά έτος!

Στον Μηχανισμό Συναίνεσης *Proof of Work* (PoW), ένας Εξορύκτης πρέπει να αποδείξει ότι το mining node του κατάφερε να αναγνωρίσει πρώτο το hash το οποίο επικυρώνει και επαληθεύει ένα block. Εφόσον το καταφέρει, αμείβεται με ένα μικρό τμήμα κρυπτονομίσματος. Ένας Εξορύκτης με μεγαλύτερη υπολογιστική ισχύ έχει περισσότερες πιθανότητες να κερδίσει την αμοιβή σε σχέση με έναν που διαθέτει μικρότερη. Ο αλγόριθμος PoW διαθέτει το εγγενές χαρακτηριστικό να αυξάνει το επίπεδο δυσκολίας της εξόρυξης με την πάροδο του χρόνου. Αυτή η μέθοδος δυσκολεύει και αποτρέπει τυχόν κακόβουλες επιθέσεις στο δίκτυο αλλά παράλληλα οδηγεί στην κατανάλωση όλο και περισσότερης υπολογιστικής ισχύος, άρα και ενέργειας, για την εξόρυξη κρυπτονομισμάτων. Αυτό, οδηγεί τους Εξορύκτες σε μία κούρσα εξοπλισμών ώστε να αυξάνουν την υπολογιστική τους ισχύ, με αποτέλεσμα να δημιουργείται έλλειψη καρτών γραφικών στην αγορά, ενώ οι τιμές αυξάνονται λόγω της σχέσης προσφοράς-ζήτησης. Εκτιμάται ότι μόνο για το Bitcoin, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά έτος από εξορυκτικά συστήματα ανέρχεται σε περισσότερες από 120 TWh [39], με το μερίδιο κατανάλωσης να εκτιμάται στο 0,12% της συνολικής παγκόσμιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο μηχανισμός συναίνεσης *Proof of Stake* (PoS) προτάθηκε το 2012 [40] [41] σαν εναλλακτική λύση έναντι του ιδιαίτερα ενεργοβόρου PoW. Στον PoS οι χρήστες που το επιθυμούν μπορούν να συμμετέχουν στη διαδικασία επαλήθευσης, όχι ως Εξορύκτες αλλά ως Επικυρωτές. Ο κάθε Επικυρωτής λαμβάνει επικυρωτική ισχύ ανάλογη του ποσοστού

κρυπτονομισμάτων που διαθέτει στο δίκτυο, με αποτέλεσμα να συμμετέχει σε έναν αριθμό επικυρώσεων ανάλογο του ποσοστού αυτού. Εάν είναι αυτός ο πρώτος που θα καταφέρει να επαληθεύσει μια συναλλαγή τότε αμείβεται με ένα τέλος συναλλαγής (μτφρ. *transaction fee*). Όπως στον PoW οι έχοντες πλεονέκτημα έναντι των άλλων είναι οι Εξορύκτες με μεγάλη υπολογιστική ισχύ, αντίστοιχα στον PoS το πλεονέκτημα ανήκει σε εκείνους τους Επικυρωτές που διαθέτουν τα μεγαλύτερα ποσά κρυπτονομισμάτων στα ψηφιακά πορτοφόλια τους. Μολονότι με αυτόν τον τρόπο αντιμετωπίζεται το πρόβλημα της ενεργειακής κατανάλωσης, η μέθοδος PoS οδηγεί τους Επικυρωτές στο να συσσωρεύουν κρυπτονομίσματα αντί να τα ξοδεύουν (φαινόμενο hoarding).

Άλλοι μηχανισμοί συναίνεσης, αποτελούν συνήθως τροποποιήσεις των PoW και PoS. Μερικοί εξ αυτών είναι οι παρακάτω:

- **Proof of Burn:** Όπως και με τους PoW και PoS, ο μηχανισμός αυτός σχεδιάστηκε ώστε να αποτρέπει τυχόν απάτες και άλλες κακόβουλες συμπεριφορές εντός του δικτύου αλλά και για αντιμετωπίσει το πρόβλημα της υψηλής κατανάλωσης ενέργειας που έχει ο PoW. Η μέθοδος δίνει στους Εξορύκτες την δυνατότητα να “κάψουν” ένα ποσόν από τα κρυπτονομίσματά τους και στη συνέχεια τους δίνεται το δικαίωμα να επιβεβαιώνουν έναν αριθμό blocks ανάλογο του ποσού που “έκαψαν”.
- **Delegated Proof of Stake (DPoS):** Ο μηχανισμός PoS δι’ Αντιπροσώπων, λειτουργεί ακριβώς όπως ο τυπικός PoS με τη διαφορά ότι οι Επικυρωτές του δικτύου αποτελούν μια κλειστή ομάδα με σταθερό αριθμό συμμετεχόντων (συνήθως από 21 έως 100). Ένα τέτοιο σύστημα είναι μερικώς συγκεντρωτικό και θα μπορούσε να συγκριθεί με το πολίτευμα της κοινοβουλευτικής δημοκρατίας όπου μια μερίδα εκπροσώπων καλείται να λάβει αποφάσεις για το σύνολο του πληθυσμού.
- **Proof of Activity:** Ο συγκεκριμένος μηχανισμός συναίνεσης αποτελεί έναν συνδυασμό των PoW και PoS και μέσω μιας διαδικασίας δύο φάσεων, αποπειράται να εκμεταλλευτεί τα προτερήματα και των δύο. Στην πρώτη, ξεκινάει η διαδικασία εξόρυξης και εξελίσσεται ακριβώς όπως στον PoW. Μόλις προκύψει το νέο block, το σύστημα μεταπίπτει σε PoS, όπου περιέχονται ελάχιστα δεδομένα που αφορούν ένα header και τη διεύθυνση του ψηφιακού πορτοφολιού του χρήστη. Ένα νέο block

συνδέεται στην Αλυσίδα όταν υπογράψουν όλοι οι συμμετέχοντες Επικυρωτές του δικτύου.

- **Proof of Authority:** Σε αντίθεση με τη τον μηχανισμό συναίνεσης PoS, όπου ποντάρονται νομισματικές αξίες, στον Proof of Authority ποντάρονται οι πραγματικές ταυτότητες των κόμβων στο σύστημα. Πρόκειται για μια τροποποιημένη εκδοχή του PoS στην οποία δεν υπερισχύει η νομισματική δύναμη ενός κόμβου αλλά η φήμη του εντός του δικτύου. Όταν υιοθετείται αυτός ο μηχανισμός τότε το δίκτυο γίνεται πιο συγκεντρωτικό, συνεπώς η εφαρμογή του αφορά ιδιωτικά δίκτυα.
- **Proof of Elapsed Time:** Δημιουργήθηκε από την Intel το 2016 με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας σε επιτρεπόμενα δίκτυα Blockchain, ορίζοντας σε κάθε κόμβο ένα χρονικό διάστημα ανάπαυσης το οποίο προκύπτει από μια γεννήτρια τυχαίων αριθμών. Ο κόμβος με τον μικρότερο χρόνο αναμονής θα είναι εκείνος που θα “ξυπνήσει” πρώτος και θα κερδίσει το block με την αντίστοιχη προβλεπόμενη αμοιβή.
- **Proof of Capacity:** Η επικύρωση των δεδομένων μέσω του *Proof of Capacity* γίνεται σε δύο φάσεις. Η πρώτη περιλαμβάνει τον προσδιορισμό όλων των πιθανών λύσεων της hashing συνάρτησης. Στη δεύτερη πραγματοποιείται η εξόρυξη. Σκοπός είναι η κατανάλωση λιγότερης ενέργειας, βρίσκοντας τη συντομότερη λύση για τον αλγόριθμο εξόρυξης, που έχει αποθηκευτεί εκ των προτέρων στον σκληρό δίσκο του κόμβου.

Φυσικά υπάρχουν περισσότεροι αλγόριθμοι που λειτουργούν ως μηχανισμοί συναίνεσης για δίκτυα Blockchain. Κάθε ένας αντιμετωπίζει διαφορετικές ανάγκες συνεπώς κανείς δεν μπορεί αποτελέσει μια ενιαία ή ολοκληρωμένη λύση για κάθε τύπο Blockchain.

### 2.4.3 Οφέλη υιοθέτησης της τεχνολογίας Blockchain

Όλα τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά καθιστούν το Blockchain επαναστατικά καινοτόμο καθώς χάρη σε αυτά υπερκεράζει συγκεκριμένες ανεπάρκειες των υφιστάμενων συμβατικών συστημάτων χωρίς να εμφανίζει τα μειονεκτήματά τους.

Η αποκεντρωμένη δομή του εξαιρεί την ύπαρξη μεσαζόντων μεταξύ συναλλασσόμενων, αφαιρώντας έτσι από τη συναλλαγή κάθε επιπρόσθετο κόστος ή περιορισμό που θα προέκυπταν από τυχόν ανάμειξή τους. Σε συνδυασμό με τη γρήγορη διεκπεραίωση των

συναλλαγών το κόστος μειώνεται περαιτέρω καθότι μειώνεται και το εκάστοτε λειτουργικό κόστος.

Οι συναλλασσόμενοι μέσω δικτύου Blockchain μπορούν να είναι βέβαιοι πως οτιδήποτε διακινείται, είτε πρόκειται για πληροφορίες που αφορούν assets είτε για απλά δεδομένα, καταγράφεται συνοδευόμενο από χρονοσήμανση και στην συνέχεια αποθηκεύεται σε πολλαπλά αμετάβλητα αντίγραφα, σε κάθε κόμβο της Αλυσίδας. Έτσι, καθιερώνεται ένα “διαφανές” περιβάλλον όπου οι συναλλασσόμενοι έχουν πλήρη έλεγχο των assets τους και είναι ελεύθεροι να ανταλλάξουν οποιαδήποτε αξία ή δεδομένα, χωρίς περιορισμούς ως προς το μέγεθός ή τη χρονική στιγμή.

Επιπροσθέτως, το περιβάλλον αυτό προσφέρει απόλυτη και κοινώς αποδεκτή εμπιστοσύνη καθώς οι συναλλαγές εντός αυτού είναι πλήρως διασφαλισμένες, τόσο από πλευράς πιστότητας όσο και από πλευράς ιχνηλασιμότητας.

Όταν ένα σύστημα ενισχύεται με δυνατότητες τεχνολογίας Blockchain (Blockchain-enabled) καθίσταται εξαιρετικά πιο σταθερό, αξιόπιστο και ασφαλές ως προς τα δεδομένα που φιλοξενεί και διακινεί, και ως εκ τούτου αποκτά σημαντική προστιθέμενη αξία. Για παράδειγμα, ένα Blockchain-enabled σύστημα που δραστηριοποιείται στον χώρο του εμπορίου και γενικότερα της αγοράς αποκτά την εγγενή δυνατότητα να εξαλείφει διάφορες τριβές που εμφανίζονται σε αντίστοιχα συμβατικά συστήματα, όπως εμπόδια στην ανταλλαγή assets, επιπρόσθετες επιβαρύνσεις χρηματικές και χρονικές επιβαρύνσεις (μεσάζοντες, φόροι, γραφειοκρατικές διαδικασίες, κλπ.), δυσκολίες στην ορθή ροή των πληροφοριών, κ.α.

Όμως οι δυνατότητες που παρέχει η τεχνολογία Blockchain δεν περιορίζονται απλά στη χρονοσημασμένη και αμετάβλητη αποθήκευση δεδομένων. Υπάρχουν περιβάλλοντα Blockchain τα οποία επιτρέπουν την αμετάβλητη αποθήκευση εκτελέσιμου κώδικα, στοιχείο που πολλαπλασιάζει τις δυνατότητες και τα οφέλη της τεχνολογίας αυτής, εκτοξεύοντας παράλληλα τη χρησιμότητα και την αξία της.

## 2.5 Τα Έξυπνα Συμβόλαια

Έξυπνα Συμβόλαια ή Έξυπνες Συμβάσεις (μτφρ. *Smart Contracts*) ονομάζονται λειτουργικά κομμάτια εκτελέσιμου κώδικα που τρέχουν σε περιβάλλον Blockchain και επιτελούν μία συγκεκριμένη διεργασία.

Τα Smart Contracts λειτουργούν ακριβώς όπως τα συμβατικά συμβόλαια, με τη διαφορά ότι οι όροι και προϋποθέσεις τους αναπαρίστανται σε μορφή κώδικα. Η γενική δομή τους υλοποιείται από εντολές ελέγχου ροής προγράμματος, κάτι που αυτομάτως τους προσδίδει ευελιξία και ποικιλία στο εύρος των δυνατοτήτων που προσφέρουν. Κατά συνέπεια, ένα Έξυπνο Συμβόλαιο μπορεί να προγραμματιστεί έτσι ώστε να αποτελεί μια δυναμική οντότητα που να προσαρμόζει άμεσα τη συμπεριφορά της ανάλογα με τις υφιστάμενες συνθήκες. Έτσι, για παράδειγμα, η χρονική του ισχύς μπορεί να μην είναι σταθερή αλλά να μεταβάλλεται, πάντα υπό όρους, και εφόσον αυτό έχει προσυμφωνηθεί από τις εμπλεκόμενες πλευρές, προτού μεταφραστεί σε κώδικα.

Ένα Smart Contract δέχεται ψηφιακά δεδομένα ως εισόδους, τα οποία αφορούν τις συνθήκες που θα το ενεργοποιήσουν ή θα το απενεργοποιήσουν. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να προέρχονται από το ίδιο το δίκτυο Blockchain αλλά και από εξωτερικές πηγές όπως βάσεις δεδομένων, συσκευές IoT, κλπ.

Κάθε Έξυπνο Συμβόλαιο ελέγχει αν όλες οι συνθήκες του ικανοποιούνται. Όταν αυτό συμβεί, τότε ενεργοποιείται αυτομάτως κάποιο συμβάν εκπληρώνοντας την προκαθορισμένη λειτουργία του. Για παράδειγμα, ένα Smart Contract θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για crowdfunding, ώστε μόλις συμπληρωθεί το απαιτούμενο ποσό να το αποστείλει στον δικαιούχο, ειδάλλως, εάν το ποσό δεν συμπληρωθεί εντός ενός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος, τα καταβληθέντα ποσά να επιστρέφονται στους αρχικούς ιδιοκτήτες τους. Οι κώδικες αυτοί εξυπηρετούν άμεσα, με ασφάλεια και διαφάνεια, χωρίς διαμεσολάβηση τρίτων και τα σενάρια που μπορούν να εξυπηρετηθούν μέσω αυτών είναι πρακτικά απεριόριστα, ξεκινώντας από απλές συναλλαγές, (π.χ. μεταφορές χρημάτων ή ανταλλαγή δεδομένων), έως πολυσύνθετες διεργασίες όπως η παρακολούθηση όλων των σταδίων μιας εφοδιαστικής αλυσίδας, με παράλληλη εκτέλεση προσυμφωνημένων ενεργειών ή την ενσωμάτωση μεθόδων της θεωρίας παιγνίων για την αποκόμιση μέγιστου οφέλους μεταξύ συμμετεχόντων σε μια δραστηριότητα.

Τα Smart Contracts αποτελούν την αιχμή του δόρατος της τεχνολογίας Blockchain γιατί είναι ευέλικτα και μπορούν να προσαρμοστούν σχεδόν σε οποιαδήποτε πληροφοριακή (και μη) ανάγκη, δίνοντας λύσεις, αυτοματοποιώντας και απλοποιώντας διεργασίες, μειώνοντας παράλληλα τους χρόνους διεκπεραίωσης και το λειτουργικό κόστος. Παρόλο που η χρήση κώδικα με εντολές ελέγχου ροής προγράμματος είναι μια πρακτική που εφαρμόζεται εδώ και δεκαετίες σε οποιοδήποτε πρόγραμμα υπολογιστή, η ενσωμάτωση των Έξυπνων Συμβάσεων στο σύγχρονο τεχνολογικό τοπίο είναι κάτι καινοτόμο που διευρύνει ακόμα περισσότερο τους ορίζοντες εφαρμογής της τεχνολογίας Blockchain.

## 2.6 Οι Αποκεντρωμένες Εφαρμογές

Οι Αποκεντρωμένες Εφαρμογές (μτφρ. *Decentralized Applications - DApps*) είναι εφαρμογές υπολογιστή και κατά κόρον είναι ανοικτού κώδικα (μτφρ. *open source*). Το back-end κομμάτι τους είναι προγραμματισμένο να λειτουργεί σε περιβάλλοντα κατακεντρωμένων υπολογιστικών συστημάτων, και δη σε Blockchain, ενώ το front-end σχεδιάζεται συνήθως ως διαδικτυακή εφαρμογή (web application). Τα εισερχόμενα δεδομένα, μπορούν να προέρχονται από διάφορες πηγές, όπως ακριβώς και με τα Smart Contracts, καθώς βασίζονται σε αυτά.

Πολλές φορές τα DApps αναφέρονται και ως Έξυπνα Συμβόλαια. Εν μέρει αυτό ισχύει. Ένα DApp μπορεί να υλοποιείται από ένα και μόνο Smart Contract όμως οι μεγάλες Αποκεντρωμένες Εφαρμογές αποτελούνται από πολλά περισσότερα, καλύπτοντας έτσι ένα ευρύτερο φάσμα λειτουργιών. Ως εκ τούτου, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι τα Smart Contracts αποτελούν δομικό στοιχείο των DApps.

Υπάρχει πληθώρα DApps στο Διαδίκτυο, που άπτονται σε πολλούς τομείς δραστηριοτήτων: από παιχνίδια και τζόγο μέχρι οικονομικά. Ίσως το πιο διάσημο DApp παιχνίδι είναι το CryptoKitties που τρέχει σε περιβάλλον Ethereum. Εκεί, ο παίκτης μπορεί να αγοράσει διάφορες ψηφιακές γάτες, να τις κάνει συλλογή, να τις διασταυρώνει και να τις πουλάει. Η πορεία της ιδιοκτησίας κάθε γάτας που έχει δημιουργηθεί και υπάρχει μέσα στο παιχνίδι ανιχνεύεται μέσω ενός Smart Contract. Κάθε γάτα έχει τη δική της εμφάνιση, βάσει τον “γονιδίων” της. Η λίστα δυνητικών συνδυασμών που μπορούν να προκύψουν μέσω

διασταυρώσεων φτάνει τα 4 δισεκατομμύρια. Τα “γονίδια” κάθε ψηφιακού κατοικίδιου καταχωρούνται στο Blockchain περιβάλλον ώστε να παραμένουν αμετάβλητα.

Ένας τομέας DApps που γνωρίζει άνθιση, είναι αυτός του τζόγου. Τα online blockchain-enabled καζίνο, εκτός από χαμηλό λειτουργικό κόστος διαθέτουν χαρακτηριστικά που είναι ιδιαίτερα ελκυστικά για τους παίκτες: προσφέρουν ανωνυμία, μεγαλύτερες πιθανότητες δυνητικού κέρδους και τη βεβαιότητα ότι τα παίγνια διεξάγονται τίμια και δίκαια.

Ένα DApp που έχει αξιοσημείωτο ενδιαφέρον είναι το theContractApp. Το συγκεκριμένο DApp τρέχει στο Blockchain του LTO Network και μέσω αυτού δύο υποψήφιοι συμβαλλόμενοι μπορούν να συνυπογράψουν ένα Συμφωνητικό Μη-Κοινολόγησης (*μτφρ. Non-Disclosure Agreement - NDA*). Το DApp αυτό προσφέρει, μεταξύ άλλων, τη δυνατότητα δημιουργίας ενός NDA προσαρμόσιμου στις ανάγκες των υποψήφιων συμβαλλόμενων. Ο κάθε ένας εξ αυτών, μπορεί να διαλέξει μέσα από μία εκτενή λίστα όρων και προϋποθέσεων εκείνους που επιθυμεί να περιέχονται στο συμφωνητικό, επιλέγοντας παράλληλα και τον βαθμό σημαντικότητας του κάθε όρου ώστε να συμπεριληφθεί στο τελικό κείμενο: Απαιτούμενος – Προτιμώμενος – Αποδεκτός – Έσχατη Λύση – Μη αποδεκτός. Όταν οι υποψήφιοι συμβαλλόμενοι ολοκληρώσουν τις επιλογές τους τότε η εφαρμογή δημιουργεί αυτομάτως ένα συμφωνητικό που καλύπτει τις απαιτήσεις και των συμμετεχόντων πλευρών και τους το αποστέλλει. Τμήματα του κειμένου που ενδεχομένως να αποτελέσουν αντικείμενο περαιτέρω διαπραγματεύσεων, αποτυπώνονται με διαφορετικό χρώμα ώστε να είναι διακριτικά από τους παραλήπτες. Όταν οι συμβαλλόμενες πλευρές συμφωνήσουν επί του τελικού κειμένου, τότε μπορούν να προχωρήσουν στην υπογραφή του, ακόμα και ψηφιακά. Το theContractApp προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα στους χρήστες του γιατί αφαιρεί την ανάγκη συγγραφής, αποθήκευσης και συντήρησης τέτοιων κειμένων, μια κοστοβόρα διαδικασία η οποία τις περισσότερες φορές εμπλέκει μεσάζοντες, άρα και επιπρόσθετες οικονομικές επιβαρύνσεις. Το τελευταίο είναι ιδιαίτερα σημαντικό καθώς μεγάλοι οργανισμοί έχουν μεγαλύτερη οικονομική άνεση σε σχέση με μια μικρή ή μεσαία επιχείρηση. Μέσω του theContractApp γεφυρώνεται αυτό το χάσμα επιτυγχάνοντας ισότητα στην πρόσβαση δαπανηρών υπηρεσιών και ισοτιμία μεταξύ εταίρων.

Στον οικονομικό τομέα, ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχουν τα Decentralized Finance (DeFi) ή αλλιώς Open Finance. Πρόκειται για DApps τα οποία έχουν ως αντικείμενο δάνεια,

ασφαλίσεις, crowdfunding δραστηριότητες ακόμα και στοιχήματα, αποκόπτοντας από αυτά τους μεσάζοντες από κάθε είδους συναλλαγή. Από τα πιο βασικά DeFi είναι τα ανταλλακτήρια νομισμάτων. Εκεί, οι χρήστες μπορούν να μετατρέψουν ένα ποσό κρυπτονομισμάτων σε ένα άλλο. Εναλλακτικά, μπορούν να αγοράσουν ή να πουλήσουν έναντι παραστατικού χρήματος την αντίστοιχη αξία σε κάποιο κρυπτονόμισμα της επιλογής τους. Υπάρχουν επίσης DeFi που λειτουργούν ως Αγορές Προβλέψεων (μτφρ. *Prediction Markets*) όπου λαμβάνουν χώρα στοιχηματισμοί για μελλοντικά γεγονότα, όπως εκλογικά αποτελέσματα, νικητές μεγάλων διαγωνισμών και διοργανώσεων, κλπ. Ιδιαίτερα δημοφιλείς είναι οι Αγορές Δανεισμού (μτφρ. *Lending Markets*) οι οποίες συνδέουν άμεσα και ανώνυμα δανειστές με δανειολήπτες. Οι δανειστές μπορούν να αποκομίσουν κέρδη από τους τόκους που προκύπτουν δανείζοντας κρυπτονομίσματα από το ψηφιακό τους πορτοφόλι. Lending Markets, όπως η εφαρμογή Compound, καθορίζουν αλγοριθμικά τα επιτόκια, βάσει της τρέχουσας σχέσης μεταξύ προσφοράς και ζήτησης. Σε κάθε περίπτωση, για τη λήψη δανείου ο δανειζόμενος πρέπει να ορίσει μία εγγύηση (εχέγγυο). Αμφότερες πλευρές μπορούν να είναι απολύτως βέβαιες ότι οι όροι του συμβολαίου δανεισμού θα τηρηθούν απαρέγκλιτα, χάρη στην τεχνολογία Blockchain.

Με βάση τα ανωτέρω παραδείγματα, γίνεται απολύτως σαφές πως οποιαδήποτε εφαρμογή αποσκοπεί στην προώθηση της εμπιστοσύνης ως πρόσθετη αξία, μέσω της διασφάλισης δεδομένων ή διαδικασιών τότε οι Έξυπνα Συμβόλαια αποτελούν τη μόνη αξιόπιστη οδό για τη δημιουργία Αποκεντρωμένων Εφαρμογών που θα επιτελούν τις επιθυμητές λειτουργίες.



### 3 ΣΥΜΠΡΑΞΗ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗΣ & BLOCKCHAIN

Από καιρό η Τεχνητή Νοημοσύνη αλλά και το Blockchain τα τελευταία χρόνια, έχουν κατακτήσει επάξια τον τίτλο των τεχνολογιών που θα οδηγούν τα επόμενα κύματα του ψηφιακού μετασχηματισμού. Στις μέρες μας, οι δύο αυτές τεχνολογίες αναγνωρίζονται ως καινοτόμες που διαθέτουν τη δυνατότητα να βελτιώσουν τις τρέχουσες διαδικασίες, να δημιουργήσουν νέα μοντέλα και να αναδιαμορφώσουν ολόκληρους κλάδους.

Τόσο η Τεχνητή Νοημοσύνη όσο και το Blockchain είναι δυνατόν να συνυπάρχουν σε μία εφαρμογή χωρίς να αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους, με την κάθε μία τεχνολογία να επιτελεί το έργο της ανεξάρτητα από τη λειτουργία της άλλης, παρέχοντας την αντίστοιχη προστιθέμενη λειτουργικότητα αλλά και αξία στην εν λόγω εφαρμογή. Επιγραμματικά, η Τεχνητή Νοημοσύνη μπορεί και βελτιώνει υφιστάμενες διαδικασίες ανιχνεύοντας μοτίβα και βελτιστοποιώντας τα αποτελέσματα αυτών των διαδικασιών, ενώ το Blockchain, αυξάνει την εμπιστοσύνη, τη διαφάνεια, την ασφάλεια και το απόρρητο των διαδικασιών παρέχοντας ένα κοινόχρηστο και αποκεντρωμένο περιβάλλον λειτουργίας. Επίσης, χάρη στα Έξυπνα Συμβόλαια, το Blockchain μπορεί να γίνει ο ρυθμιστής των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των συμμετεχόντων εξαλείφοντας την ανάγκη για κάποιο κοινώς αποδεκτό τρίτο μέρος σε ρόλο διαμεσολαβητή ή μεσάζοντα. Ωστόσο, μπορούν να προκύψουν πολύ μεγαλύτερα οφέλη με την σύμπραξη των δύο σε μια ψηφιοποιημένη κοινωνία όπου τα δεδομένα απειλούνται. Απέναντι σε τέτοιες προκλήσεις, η σύμπραξη Τεχνητής Νοημοσύνης και Blockchain φαίνεται να αποτελεί ιδανική λύση. Είναι απαραίτητο, λοιπόν, να τονιστεί τι μπορεί να προσφέρει η μία τεχνολογία στην άλλη και ο ρόλος της κάθε μίας στη σύμπραξη αυτή.

#### 3.1 Συνδυασμός Τεχνητής Νοημοσύνης και Blockchain

##### 3.1.1 Τι προσφέρει η Τεχνητή Νοημοσύνη στο Blockchain

Η Τεχνητή Νοημοσύνη μπορεί να διαχειριστεί Αλυσίδες με πολύ πιο αποτελεσματικό τρόπο τόσο σε σύγκριση με τους ανθρώπους-χειριστές όσο και με συμβατικά συστήματα, τα οποία ναί μεν είναι ταχύτερα των ανθρώπων αλλά δεν διαθέτουν το γνωστικό στοιχείο για να κάνουν έξυπνες επιλογές με σκοπό την επιτάχυνση των διαδικασιών και την εξοικονόμηση

πόρων. Για παράδειγμα, οι αλγόριθμοι κατακερματισμού του Bitcoin λειτουργούν δια της μεθόδου της “ωμής δύναμης” (μτφρ. *brute force method*) όπου εξαναγκασμένα δοκιμάζουν κάθε δυνατό συνδυασμό χαρακτήρων μέχρι να καταλήξουν σε αυτόν που επαληθεύει μία συναλλαγή, ενώ η διαδικασία απαιτεί μεγάλη επεξεργαστική ισχύ καθώς βασίζεται σε συναίνεση τύπου *Proof of Work*.

Με την εισαγωγή μοντέλων Τεχνητής Νοημοσύνης σε διαδικασίες όπως οι παραπάνω, απαγκιστρωνόμαστε από μεθόδους που χρησιμοποιούν “ωμή δύναμη” ή σειριακές προσεγγίσεις επίλυσης προβλημάτων και οδηγούμαστε σε πιο αποτελεσματικές λύσεις που λειτουργούν πιο έξυπνα και στοχαστικά.

Με την πρόσφατη είσοδο των δικτύων επικοινωνίας 5<sup>ης</sup> γενιάς (5G) και με την σύμπραξή τους με συσκευές Internet of Things, δεν αργούμε να εισέλθουμε σε μία νέα τεχνολογική περίοδο όπου εκμεταλλευόμενοι τις νέες αυτές ταχύτητες, τα Συστήματα Συλλογής Δεδομένων (ΣΣΔ, μτφρ. *Data Acquisition Systems - DAS*) θα υφίστανται έναν καταγισμό εισροών και εκροών από δεδομένα. Όσα συστήματα από αυτά ενσωματώνουν τεχνολογίες Blockchain, θα διέπονται από μία εγγενή ανάγκη ταχύτερης και αποτελεσματικότερης διαχείρισης των δεδομένων ως προς την Αλυσίδα που άπτονται. Ως εκ τούτου, η συνδρομή της Τεχνητής Νοημοσύνης θα είναι σχεδόν επιβεβλημένη.

### **3.1.2 Τι προσφέρει το Blockchain στην Τεχνητή Νοημοσύνη**

Η Τεχνητή Νοημοσύνη διαθέτει μια ευρύτατη, ευέλικτη και άκρως αποτελεσματική δυνατότητα ως προς την αναγνώριση μοτίβων. Αυτό ακριβώς το χαρακτηριστικό εκμεταλλευόμαστε για να εκπαιδύσουμε μοντέλα που όταν τεθούν σε επιχειρησιακή λειτουργία να μπορούν να αξιολογούν μια κατάσταση, να εξάγουν ορθά συμπεράσματα και, εφόσον το επιθυμούμε, να προβαίνουν στις κατάλληλες ενέργειες. Έτσι επιτυγχάνεται η ταχύτερη, ασφαλέστερη και πιο αξιόπιστη λήψη αποφάσεων αναβαθμίζοντας, βελτιστοποιώντας και εξελίσσοντας περαιτέρω την αυτοματοποίηση διεργασιών. Λαμπρό παράδειγμα είναι τα μεγάλα βήματα προόδου στον τομέα της αυτόνομης οδήγησης. Δεν είναι λίγα τα βίντεο που κυκλοφορούν στο Διαδίκτυο και εμφανίζουν τους αυτόματους

πλότους να διενεργούν ελιγμούς ακριβείας προς αποφυγή σύγκρουσης του αυτοκινήτου με κάποιο άλλο όχημα ή ένα άγριο ζώο.

Για την εκπαίδευση όμως των μοντέλων της Τεχνητής Νοημοσύνης, απαιτούνται κατάλληλα datasets, τα οποία πολλές φορές χρειάζεται να υποστούν επεξεργασία ώστε να αποτελέσουν καταλληλότερο εκπαιδευτικό υλικό για το μοντέλο. Το πρόβλημα που προκύπτει είναι πως με την πάροδο του χρόνου η διαθεσιμότητα αξιόλογων και ταυτόχρονα ενημερωμένων datasets μειώνεται, είτε σε ποιότητα, είτε σε ποσότητα, είτε και στα δύο. Αυτό συμβαίνει για διάφορους λόγους, όπως για παράδειγμα επειδή οι εταιρείες που παράγουν μεγάλα σύνολα δεδομένων προτιμούν να μην τα κοινοποιούν ή για διασφάλιση του απορρήτου που απορρέουν από σχετικές νομοθεσίες και κανονισμούς, όπως φέρ' ειπείν σε αυτόν του Ευρωπαϊκού Γενικού Κανονισμού Προστασίας Δεδομένων [42]. Έτσι, οι εταιρείες καταλήγουν να κρατούν τα datasets είτε για ίδια αξιοποίηση, είτε τα αποθηκεύουν κρυπτογραφημένα για λόγους ασφαλείας.

Εκμεταλλεόμενη την ικανότητα αναγνώρισης μοτίβων, η Τεχνητή Νοημοσύνη μπορεί εκπαιδευτεί με κρυπτογραφημένα δεδομένα αλλά και στη συνέχεια να τεθεί σε λειτουργία χρησιμοποιώντας τα. Το γεγονός ότι οι κρυπτογραφημένες πληροφορίες είναι ακατάληπτες από τον άνθρωπο δεν εμποδίζει σε τίποτα τους αλγορίθμους της Μηχανικής Μάθησης να επιτελέσουν το έργο τους, χωρίς να θυσιάζεται η ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Η πρακτική αυτή, όπου εκτελούνται υπολογισμοί σε κρυπτογραφημένα δεδομένα χωρίς αυτά να έχουν αποκρυπτογραφεί πρωτίτερα, ονομάζεται Ομομορφική Υπολογιστική [43] (μτφρ. *Homomorphic Computation*), η οποία αν και προτάθηκε σαν όρος το 1978, οι σύγχρονες ανάγκες, όπως ο μειούμενος πληθυσμός μη-κρυπτογραφημένων datasets, την επανάφεραν ενεργά στο προσκήνιο και πλέον αποτελεί ένα αναπόσπαστο εργαλείο στα χέρια των αναλυτών δεδομένων.

Το Blockchain φέρει όλα τα χαρακτηριστικά που αποζητούν οι απανταχού οργανισμοί και πλέον στρέφονται προς αυτό για τη διασφάλιση των δεδομένων τους, τόσο εκείνων που αξιοποιούν εσωτερικά όσο και εκείνων που διακινούν εξωτερικά. Ακολουθώντας μεθόδους αποθήκευσης ολόκληρων συνόλων δεδομένων σε μια Αλυσίδα, θωρακίζονται έναντι μη εξουσιοδοτημένης πρόσβασης. Εμφανίζεται, λοιπόν, εδώ ένα νέο περιβάλλον το οποίο εμπλουτίζεται διαρκώς με δεδομένα προς αξιοποίηση ενώ παραμένει ασφαλές ως προς το

διαμοιρασμό τους. Παράλληλα, μπορεί να προστεθεί και η δυνατότητα ιχνηλασιμότητας που προσφέρει το Blockchain ώστε να υπάρχει πλήρης διαφάνεια μέσω της χρονοσημασμένης καταγραφής των όσων προσπέλασαν τα δεδομένα. Έτσι, όλοι όσοι αναπτύσσουν μοντέλα Μηχανικής Μάθησης θα μπορούν να αποκτούν πρόσβαση σε μια αστείρευτη πηγή από αξιόπιστα και ενημερωμένα datasets [44]. Το τελευταίο, αποτελεί ένα σημαντικό πλεονέκτημα διότι οι προγραμματιστές μπορούν να ελέγχουν συνεχώς τη αξιοπιστία και την ακρίβεια των μοντέλων τους, διενεργώντας επαληθευτικές προβλέψεις στις νέες καταχωρήσεις που προστίθενται στα datasets του ενδιαφέροντός τους.

## 3.2 Ενδεικτικοί τομείς σύμπραξης

### 3.2.1 Κυβερνοασφάλεια

Η πρόοδος που σημειώνεται σε διάφορους ψηφιακούς τεχνολογικούς τομείς αναπόφευκτα οδηγεί στην εξέλιξη των κλάδων στους οποίους άπτονται. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται “ψηφιακός μετασχηματισμός”. Πιο συγκεκριμένα, με τον όρο αυτό περιγράφεται η εισαγωγή νέων και καινοτόμων στοιχείων τεχνολογίας ώστε διάφορες διεργασίες και διαδικασίες να καθίστανται αποτελεσματικότερες και αποδοτικότερες. Οι κυριότερες μετασχηματιστικές τεχνολογίες της εποχής μας είναι η Υπολογιστική Νέφος (*μτφρ. Cloud Computing*), τα Μεγάλα Δεδομένα (*μτφρ. Big Data*), το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, η Τεχνητή Νοημοσύνη (*μτφρ. Artificial Intelligence*) και το Blockchain.

Η μετάβαση σε όλο και πιο ψηφιοποιημένες διεργασίες και διαδικασίες δημιουργεί παράλληλα και τρωτά σημεία τα οποία οι κυβερνοεγκληματίες προσπαθούν να εντοπίσουν και να τα εκμεταλλευτούν προς όφελός τους: είτε παρανόμως αποσπώντας δεδομένα είτε “κλειδώνοντας” συστήματα με σκοπό την απόκτηση λύτρων για το ξεκλείδωμά τους (επιθέσεις τύπου ransomware) είτε και τα δύο. Οι τυπικές πρακτικές κυβερνοασφάλειας δεν θεωρούνται επαρκείς λόγω των συντονισμένων μαζικών κυβερνοεπιθέσεων οι οποίες δύσκολα αντιμετωπίζονται από αμιγώς ανθρώπινο δυναμικό.

Η ταχύτητα και η ακρίβεια της Τεχνητής Νοημοσύνης την καθιστά ως ιδανική πρόσθετη λύση η οποία βοηθά τους οργανισμούς με ευαίσθητα δεδομένα, λειτουργώντας αδιαλείπτως

επιτηρώντας την κίνηση του δικτύου για τυχόν ύποπτη κίνηση πακέτων δεδομένων. Μολονότι ο όγκος των διακινούμενων πακέτων μπορεί να είναι τεράστιος ακόμα και εντός πολύ μικρών χρονικών διαστημάτων, η ιδιότητα της Τεχνητής Νοημοσύνης να αναγνωρίζει μοτίβα της δίνει τη δυνατότητα άμεσης επέμβασης σε περίπτωση εντοπισμού ασυνήθιστης δικτυακής συμπεριφοράς, αποκόπτοντας συγκεκριμένες επικοινωνίες ή την πρόσβαση σε τμήματα του δικτύου που ενδεχομένως να επηρεάζονται. Φυσικά, αυτοί οι αλγόριθμοι δεν χρησιμοποιούνται μόνο για προστασία από εξωτερικούς επιτιθέμενους αλλά μπορούν να εφαρμοστούν για τη συμπεριφορική ανάλυση χρηστών (ανθρώπων και συσκευών) εντός του υπό προστασία δικτύου ώστε να σηματοδοτηθούν πιθανές κακόβουλες ενέργειες προερχόμενες εκ των έσω, ιδανικά ακόμα και πριν αυτές εκδηλωθούν.

Παράλληλα, το Blockchain, ως Τεχνολογία Κατανεμημένων Καθολικών, μπορεί να παρεμβληθεί, χωρίς να επηρεάσει τα υφιστάμενα συστήματα, και να δημιουργήσει ένα αποκεντρωμένο ή κατανεμημένο, δικτυακό οικοσύστημα ανταλλαγής και διαχείρισης διασφαλισμένων δεδομένων. Στο οικοσύστημα αυτό, πρόσβαση μπορούν να έχουν μόνο προκαθορισμένοι κόμβοι των οποίων τα δικαιώματα μπορούν να αφορούν την προσπέλαση ή την αποθήκευση δεδομένων ή και τα δύο. Έτσι προστατεύονται περαιτέρω τα αποθηκευμένα στην Αλυσίδα δεδομένα, που σε κάθε περίπτωση είναι κρυπτογραφημένα. Έτσι, οποιαδήποτε εξωτερική πρόσβαση ή παρέμβαση καθίσταται πρακτικά ανίσχυρη, καθώς η τεχνολογία Blockchain δημιουργεί ένα αδιαπέραστο τείχος προστασίας, ακόμα και χωρίς την ανάγκη χρήσης κωδικού ασφαλείας για την πρόσβαση στα δεδομένα της Αλυσίδας. Παρόλα αυτά, η προσθήκη μεθόδων ασφαλούς εισόδου για τους χρήστες, όπως κωδικοί πρόσβασης, επαλήθευση σε 2 βήματα, βιομετρικά στοιχεία, κλπ., μπορούν να ενισχύσουν περαιτέρω το σύστημα, αποτρέποντας και μειώνοντας κακόβουλες ενέργειες, όπως για παράδειγμα επιθέσεις τύπου Άρνησης Υπηρεσιών (*μτφρ. Denial of Services attacks - DoS attacks*), όπου οι επιτιθέμενοι έχουν ως σκοπό να καταστήσουν ένα σύστημα ανήμπορο να εξυπηρετήσει νέες αλλά και υφιστάμενες συνδέσεις.

Οι οικονομικές ζημιές που προκαλούν, οι κυβερνοεπιθέσεις εκτιμάται ότι θα έχουν αυξητικές τάσεις, από το 2020 και για τα επόμενα πέντε χρόνια, φτάνοντας τα 10,5 τρισεκατομμύρια δολάρια το 2025 [45], όταν το 2015 το αντίστοιχο κόστος εκτιμήθηκε στα 3 τρισεκατομμύρια δολάρια [46]. Για τις περισσότερες εταιρείες, ακόμα και για τις μικρομεσαίες, μία διαρροή ή απώλεια δεδομένων θα μπορούσε να έχει καταστροφικές

συνέπειες αναφορικά με τη βιωσιμότητά τους, καθιστώντας το κόστος απόκτησης και συντήρησης ενός συστήματος κυβερνοασφάλειας ως αποδοτική επένδυση.

Η υιοθέτηση των δύο εξεταζόμενων τεχνολογιών σε πληροφοριακά συστήματα που περιέχουν κρίσιμα δεδομένα, όπως υπουργεία, υπηρεσίες πολιτικής προστασίας, υπηρεσίες πληροφοριών και εθνικής άμυνας σύντομα θα είναι μείζονος σημασίας διότι σε αυτά, πλην των εξωτερικών παραγόντων, ελλοχεύει πάντα ο κίνδυνος εσωτερικών διαρροών, δολιοφθορών, κλπ. Είναι λοιπόν εξαιρετικά σημαντικό, τα πληροφοριακά συστήματα τέτοιων οργανισμών να είναι πλήρως ανθεκτικά από όλες τις πλευρές: θα πρέπει οι διαδικασίες προσπέλασης, καταγραφής και διαχείρισης των δεδομένων (όχι τα ίδια τα δεδομένα, λόγω όγκου) να καταγράφονται αμετάβλητα ενώ παράλληλα οι αλγόριθμοι της Τεχνητής Νοημοσύνης να αναλύουν την κίνηση των δεδομένων αναζητώντας ύποπτα μοτίβα. Σε περίπτωση εντοπισμού ύποπτης συμπεριφοράς, αυτή μπορεί επίσης να καταγράφεται στην Αλυσίδα ενώ παράλληλα μπορούν να ενεργοποιηθούν οι προβλεπόμενοι μηχανισμοί συναγερμού και προστασίας των περιεχόμενων του συστήματος, μέσω Smart Contracts. Αντίστοιχες εφαρμογές μπορούν να υλοποιηθούν και για συστήματα κρίσιμων υποδομών (μτφρ. *Critical Infrastructure - CI*) όπως μονάδες υγείας, δίκτυα ενέργειας, τηλεπικοινωνιών, μεταφορών, κλπ.

### 3.2.2 Οικονομία

Ο κλάδος της οικονομίας απαρτίζεται από μια πληθώρα τομέων, με πολλαπλά αντικείμενα δραστηριοτήτων με επίκεντρο τις οικονομικές συναλλαγές και απώτερο στόχο τη μεγιστοποίηση του κέρδους. Η οικονομία ως επιστήμη ανέκαθεν αποζητούσε τη βελτίωσή των πρακτικών της ώστε να βρίσκεται, κατά το δυνατόν, ένα βήμα μπροστά εκσυγχρονίζοντας διαρκώς τις μεθόδους της. Για τον σκοπό αυτό, δεν δίστασε ποτέ να επενδύσει σε νέες θεωρίες αλλά και τεχνολογίες. Ο τομέας μελέτης που εξετάζει, προτείνει την υιοθέτηση και εφαρμόζει νέες και καινοτόμες τεχνολογίες στον κλάδο της οικονομίας ονομάζεται “Χρηματοοικονομική Τεχνολογία” (μτφρ. *Financial Technology - FinTech*).

Η Τεχνητή Νοημοσύνη, δεν αποτέλεσε εξαίρεση. Αντιθέτως, υιοθετήθηκε ευρέως και ανταποκρίθηκε στον ρόλο της σε εφαρμογές για διαχείριση κεφαλαίων, χρηματιστηριακές

προβλέψεις, σχεδιασμό αυτοματοποιημένων χρηματοπιστωτικών συστημάτων συναλλαγών, βελτιστοποίησης χαρτοφυλακίων, αναγνώρισης αγοραστικής ικανότητας και συμπεριφοράς χρηστών, αξιολόγησης ικανότητας αποπληρωμής αιτούμενων δανείων, πρόβλεψης της πορείας χρηματιστηριακών μετοχών, κρυπτονομισμάτων πολύτιμων μετάλλων και λίθων, και πολλά άλλα. Όλες σχεδόν οι εφαρμογές συνεπικουρούν στη λήψη βέλτιστων αποφάσεων, ελαχιστοποιώντας τις απαιτούμενες ανθρωπόωρες για μελέτη και εξαγωγή εμπειριστατωμένων συμπερασμάτων. Τα μοντέλα της Τεχνητής Νοημοσύνης, σε ελάχιστο χρόνο εξάγουν συμπεράσματα και τα παρουσιάζουν στον χειριστή τους, αφήνοντας αρκετές φορές τον τελευταίο λόγο στην ανθρώπινη κρίση. Παρόλα αυτά, δεν λείπουν και οι πλήρως αυτόνομες εφαρμογές, όπως για παράδειγμα τα bots αγοραπωλησιών κρυπτονομισμάτων ή άλλων assets.

Η τεχνολογία Blockchain, είναι νέα, ανερχόμενη και προσφέρει δύο χαρακτηριστικά τα οποία πάντα αποζητούσε ο κλάδος της οικονομίας: ασφάλεια και εμπιστοσύνη. Έχει φέρει επίσης στο προσκήνιο τη δυνατότητα των πιο άμεσων οικονομικών συναλλαγών, οι οποίες εκτελούνται ταχύτερα και με μικρότερο κόστος λόγω της μη-ύπαρξης μεσαζόντων. Επιπροσθέτως, με το Initial Coin Offering (ICO) έχει δημιουργήσει ένα εναλλακτικό περιβάλλον crowdfunding μέσω κρυπτονομισμάτων, το οποίο δίνει τη δυνατότητα ακόμα και σε μικρομεσαίες επιχειρήσεις να διεκδικήσουν χρηματοδότηση και να αποκτήσουν ένα αρχικό κεφάλαιο, παρακάμπτοντας ενδιάμεσους που θα μπορούσαν να καθυστερήσουν σημαντικά ή και να εμποδίσουν πλήρως την υλοποίηση ενός έργου.

Σε μια παγκοσμιοποιημένη αγορά που έχει ήδη περάσει στην ψηφιακή εποχή αλλά παραμένει γεμάτη προκλήσεις και ρίσκα, το Blockchain μπορεί να παράσχει το ιδανικό περιβάλλον για τη δημιουργία σχετικών DApps αλλά και νέων οικονομικών μοντέλων που θα βασίζονται στο νέο αυτό πρότυπο που θα περιλαμβάνει συναλλαγές με κρυπτονομίσματα (ή άλλα crypto-assets) ενώ παράλληλα θα εκμεταλλεύεται τα πλεονεκτήματα των Έξυπνων Συμβολαίων για την ασφαλή και διαφανή αυτοματοποίηση των διαδικασιών.

Οικονομικοί οργανισμοί, όπως τράπεζες, ανταλλακτήρια νομισμάτων, χρηματιστήρια, κλπ. μπορούν εύκολα και γρήγορα να μεταφέρουν τις KYC διαδικασίες τους στο Blockchain δημιουργώντας ένα δίκτυο πληροφοριών που θα επιταχύνει τις εσωτερικές διαδικασίες τους καθώς δεν θα απαιτείται η ταυτοποίηση του πελάτη σε κάθε νέα συναλλαγή (π.χ. άνοιγμα

θυρίδας ή νέου λογαριασμού σε τράπεζα). Αυτό φυσικά, έχει θετικό αντίκτυπο και στον ίδιο τον πελάτη ο οποίος θα απαλλάσσεται από χρονοβόρες γραφειοκρατικές διαδικασίες όπου ενδεχομένως να απαιτούνταν η φυσική του παρουσία, η εκ νέου προσκόμιση δικαιολογητικών, κλπ. Επίσης, εξαιτίας του γεγονότος ότι το Blockchain μπορεί να περιορίσει δραστικά ή ακόμα και να εξαλείψει τους μεσάζοντες, οι διαδικασίες επισπεύδονται περαιτέρω με αποτέλεσμα τη μείωση του λειτουργικού κόστους.

### 3.2.3 Υγεία

Η Υγεία αποτελεί έναν κρίσιμο τομέα όπου η υιοθέτηση νέων τεχνολογιών πρέπει να εφαρμόζεται με φειδώ, λόγω της ευαίσθητης ιδιαιτερότητας του ρόλου που κατέχει: τη διαφύλαξη τόσο της ατομικής όσο και της δημόσιας υγείας. Είναι λοιπόν σημαντικό, οι τεχνολογίες που υιοθετούνται, ακόμα και σε πειραματικό στάδιο, να υπερκαλύπτουν ένα ελάχιστο επίπεδο προϋποθέσεων που απορρέουν από θεσπισμένα υγειονομικά πρωτόκολλα αλλά και πρότυπα ασφαλείας.

Η Τεχνητή Νοημοσύνη εισήχθη με μεγάλη επιτυχία στον τομέα της Υγείας και οι εφαρμογές που έχουν αναπτυχθεί καλύπτουν όλο το φάσμα αναγκών του, όχι μόνο στο επιχειρησιακό κομμάτι αλλά και στο διοικητικό:

- Διαχείριση μονάδων υγείας και έλεγχος διαδικασιών
  - Διαχείριση και σχεδιασμός στρατηγικών μάρκετινγκ
  - Έρευνα αγοράς και τιμολόγηση υπηρεσιών
  - Αυτοματοποίηση λειτουργιών μονάδων υγείας
  - Chatbots εξυπηρέτησης πελατών
  - Ανίχνευση απατών
- Διαγνώσεις
  - Έγκαιρη διάγνωση ασθενειών, πριν την εκδήλωση τους
  - Εντοπισμός ευρημάτων σε απεικονιστικές εξετάσεις
  - Εξέλιξη της υγείας ασθενών
- Φροντίδα ασθενών
  - Αυτοματοποιημένη ή υποβοηθούμενη συνταγογράφηση



- Έλεγχος συνταγογράφησης
- Διαχείριση εγκυμοσύνης
- Προτεραιοποίηση εξυπηρέτησης και φροντίδας ασθενών ή θυμάτων
- Εξατομίκευση φαρμακευτικών αγωγών
- Εξατομίκευση φροντίδας ασθενών
- Βελτιστοποίηση εμπειρίας ασθενών
- Έρευνα και Ανάπτυξη
  - Ανακάλυψη δραστικών ουσιών
  - Ανάλυση γονιδίων
  - Προσομοιώσεις κλινικών δοκιμών

Παρά την αποδεδειγμένα αξιοσημείωτη συμβολή της, η Τεχνητή Νοημοσύνη αντιμετωπίζει μια σειρά από εμπόδια στον τομέα της Υγείας. Το κυριότερο αφορά την υιοθέτηση των λύσεων που προσφέρει κόντρα στις χρονοβόρες διαδικασίες έγκρισης από τους αρμόδιους φορείς υγείας, όπως ο Οργανισμός Τροφίμων και Φαρμάκων (μτφρ. *Food and Drug Administration, FDA*) των Ηνωμένων Πολιτειών. Πέρα όμως από τις τυπικές διαδικασίες, οι μεγαλύτερες δυσκολίες αφορούν τη διασφάλιση των δεδομένων και τη προστασία της ιδιωτικότητας. Σε τομείς όπου διακινούνται κρίσιμες προσωπικές πληροφορίες, όπως ιατρικά δεδομένα, όλα τα συστήματα που διαχειρίζονται έστω και κατ' ελάχιστο τις πληροφορίες αυτές, υποχρεούνται να συμμορφώνονται με κανονιστικά πλαίσια και νομοθεσίες. Αυτές οι προκλήσεις μπορούν να αντιμετωπιστούν ενσωματώνοντας το Blockchain ως συμπληρωματική λύση. Το αποτέλεσμα θα είναι ένα σύστημα στιβαρό απέναντι σε εξωτερικές επιθέσεις καθώς πρόσβαση σε αυτό θα έχουν μόνο πιστοποιημένοι χρήστες, το οποίο ταυτόχρονα θα προστατεύει και τα δεδομένα με μεθόδους ισχυρής κρυπτογράφησης ώστε ακόμα και αν υπάρξει διαρροή πληροφοριών, τα δεδομένα να μην είναι προσπελάσιμα από μη-εξουσιοδοτημένους τρίτους. Φυσικά, η Τεχνητή Νοημοσύνη μπορεί να εφαρμοστεί επιπρόσθετα και ως λύση κυβερνοασφάλειας επιτηρώντας την διακίνηση των δεδομένων εντός του συστήματος για ασυνήθιστες ή ύποπτες συμπεριφορές.

### 3.2.4 Δημόσια Διοίκηση

Ο τομέας της Δημόσιας Διοίκησης αποτελούσε ανέκαθεν στόχο για παραποιήσεις δημοσίων εγγράφων: άδειες, βεβαιώσεις, ενημερότητες, πιστοποιητικά, πτυχία, κλπ. Η πλαστογράφηση εγγράφων είναι μία πρακτική με αρχαίες ρίζες η οποία δεν σταμάτησε ποτέ. Από αντίγραφα βασιλικών σφραγίδων μέχρι τη χρήση σύγχρονων εφαρμογών επεξεργασίας εικόνας, οι επίδοξοι απατεώνες συνεχώς ανακάλυπταν καινούργιους τρόπους για να δημιουργούν πλαστά έγγραφα με εξαιρετική πιστότητα στη λεπτομέρεια, ξεπερνώντας οποιοδήποτε εμπόδιο από όσα μέτρα έχουν κατά καιρούς παρθεί για τη διασφάλιση της αυθεντικότητας του εκάστοτε εγγράφου.

Ο όγκος παραγωγής παραποιημένων εγγράφων είναι μεγάλος σε παγκόσμιο επίπεδο. Ακόμα και τα πιο εκσυγχρονισμένα κράτη δεν διαθέτουν τους απαραίτητους πόρους σε προσωπικό και τεχνολογία για την αναχαίτιση όλου αυτού του όγκου, ενώ ταυτόχρονα βρίσκονται εγκλωβισμένα στις θεσπισμένες, χρονοβόρες γραφειοκρατικές διαδικασίες όταν προσπαθούν να εισάγουν μια λύση. Η δε αξιοποίηση εξειδικευμένων εμπειρογνομώνων, είναι κοστοβόρα και απαιτεί πολλές εργατοώρες οι οποίες δεν μπορούν να καλύψουν τους ελεγκτικούς μηχανισμούς στο σύνολό τους, γι' αυτό και η συγκεκριμένη λύση αξιοποιείται σε περιπτώσεις με υψηλά διακυβεύματα, όπως δικαστικές διαμάχες.

Η ψηφιοποίηση του δημόσιου τομέα, στο κομμάτι της διασφάλισης των εκδοθέντων εγγράφων ενισχύθηκε με διάφορες πρακτικές που ξεκινούν από τη δημιουργία ενός εγγράφου και φτάνουν μέχρι και την τελική του μορφή η οποία και εκδίδεται. Μολονότι εισήχθησαν και στοιχεία για τον μετέπειτα άμεσο έλεγχό τους, όπως εισαγωγή Barcodes και QR Codes, οι απατεώνες διαθέτουν τα μέσα για να τα παρακάμψουν. Για παράδειγμα, μια συνήθης πρακτική είναι η αντικατάσταση του κωδικού QR που συνοδεύει το έγγραφο με έναν άλλο ο οποίος επιβεβαιώνει τα αναληθή στοιχεία. Εάν ο εν λόγω κωδικός οδηγεί σε κάποιο ιστότοπο, τότε αλλοιώνεται έτσι ούτως ώστε να οδηγεί σε ιστότοπο-αντίγραφο του αυθεντικού, που σε έναν γρήγορο έλεγχο δύσκολα θα γίνει αντιληπτή η διαφορά. Οι τρόποι δράσης των απατεώνων είναι πολλοί όμως σαν κοινός παρονομαστής παραμένει η αυθεντικοφανής αναπαράσταση ενός εγγράφου.

Η Τεχνητή Νοημοσύνη μπορεί να δράσει μέσα από κατάλληλα εκπαιδευμένα μοντέλα ώστε για ένα έγγραφο που της ανατίθεται (π.χ. ένα πιστοποιητικό) να μπορεί να διεξάγει σε δευτερόλεπτα πολλαπλές αναλύσεις αυθεντικότητας, όπως:

- Αναγνώριση γνησιότητας μορφοποίησης κειμένου και λογοτύπων
- Αναγνώριση γνησιότητας ψηφιακής υπογραφής
- Αναγνώριση γνησιότητας γραφικού χαρακτήρα
- Αναγνώριση γνησιότητας και πιστότητας barcodes και QR Codes
- Αναγνώριση γνησιότητας και πιστότητας παραπομπών (π.χ. ιστοσελίδες)
- Αναγνώριση και επαλήθευση ολογραμμάτων
- Εντοπισμός και αναγνώριση μικροεκτυπώσεων (μοτίβα τυπωμένα σε μικροκλίμακα)
- Αναγνώριση και επαλήθευση ειδικών υλικών εκτύπωσης (π.χ. χαρτί, μελάνι)
- Αναγνώριση φυσικών φθορών (π.χ. σημεία όπου έχουν υποστεί τσαλάκωμα ή σκίσιμο)
- Αναγνώριση ψηφιακών παρεμβάσεων (π.χ. μέσω προγραμμάτων επεξεργασίας εικόνας)

Υιοθετώντας λύσεις βασισμένες στην Τεχνητή Νοημοσύνη και δημιουργώντας υπηρεσίες επαλήθευσης εγγράφων, οι κρατικοί φορείς μπορούν να αποθαρρύνουν και να μειώσουν δραματικά κακόβουλες ενέργειες παραποίησης εγγράφων. Φυσικά, υπάρχουν και άλλες επιλογές οι οποίες μπορούν να ωφελήσουν τη Δημόσια Διοίκηση και σε άλλα πεδία. Μερικά ενδεικτικά παραδείγματα:

- Ψηφιακοί βοηθοί και chatbots για την εξυπηρέτηση των πολιτών και την ορθή καθοδήγησή τους για τη διεκπεραίωση διαφόρων συναλλαγών τους με δημόσιους φορείς.
- Αξιολόγηση βαθμού κρισιμότητας περιστατικών για προτεραιοποίηση ραντεβού σε δημόσιες υπηρεσίες.
- Παρακολούθηση των λογαριασμών δημόσιων φορέων στα κοινωνικά δίκτυα για τον εντοπισμό κρίσιμων πληροφοριών για τη διαμόρφωση πολιτικών ή την έγκαιρη αντιμετώπιση επειγόντων ζητημάτων.

Η ταχύτητα και η ευκολία αποτελούν τα δύο σημαντικότερα χαρακτηριστικά για το κοινό όταν πρόκειται για συναλλαγές κάθε τύπου. Η μείωση του χρόνου εξυπηρέτησης εξοικονομεί

πόρους για το δημόσιο, βελτιώνει την καθημερινότητα των πολιτών και αυξάνει την ικανοποίησή τους.

Όσον αφορά τη συνεισφορά της τεχνολογίας Blockchain, αυτή μπορεί να καλύψει όλα τα κενά που αφορούν τη διασφάλιση των δεδομένων και τη θέσπιση ενός περιβάλλοντος εμπιστοσύνης στη σχέση κράτους-πολίτη. Για την πρώτη περίπτωση χρήσης, το Blockchain μπορεί να κρυπτογραφεί και να αποθηκεύει στο δίκτυό του όλες τις απαραίτητες πληροφορίες που απαιτείται να παραμείνουν ασφαλείς από ακούσιες και εκούσιες αλλοιώσεις ώστε τα μοντέλα Τεχνητής Νοημοσύνης μπορούν να ανατρέχουν στα διασφαλισμένα δεδομένα για την επαλήθευση ενός εγγράφου. Κατ' αυτόν τον τρόπο, ενσωματώνεται ένα επιπρόσθετο επίπεδο ασφάλειας και δημιουργείται μια ολιστική λύση αξιόπιστου ελέγχου γνησιότητας συγκεκριμένων πληροφοριών.

Τα οφέλη που προσφέρει το Blockchain μπορούν να επεκταθούν και στις υπόλοιπες τρεις περιπτώσεις χρήσης που αναφέρθηκαν σχετικά με την καλύτερη εξυπηρέτηση του πολίτη και την αναβάθμιση των υπηρεσιών που προσφέρει το κράτος. Και στις τρεις, η αμετάβλητη και χρονοσημασμένη καταχώρηση των πληροφοριών του κάθε συμβάντος μπορεί να αποτελέσει μια αξιοσημείωτη επένδυση ενάντια σε διάφορα φαινόμενα κακών πρακτικών από πλευράς φορέων όπως αδιαφορία, ολιγωρία επίλυσης προβλημάτων κλπ. Προσθέτοντας στην εξίσωση και τον παράγοντα “ιχνηλασιμότητα” μπορεί να δημιουργηθεί ένα αποτελεσματικό εργαλείο για την καταπολέμηση της διαφθοράς, της κατασπατάλησης πόρων και της διασπάθισης δημοσίου χρήματος.

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά δεν αποτελούν μόνο αντικείμενο προς έλεγχο από ανώτερες βαθμίδες της Δημόσιας Διοίκησης αλλά και από τους ίδιους τους πολίτες. Έτσι, ενδυναμώνονται οι δημοκρατικοί θεσμοί και οι σχέσεις μεταξύ κράτους και πολιτών χάρη στη διαφάνεια η οποία προσφέρεται από συστήματα με ενσωματωμένη τεχνολογία Blockchain.

### **3.2.5 Ενέργεια**

Ο τομέας της Ενέργειας είναι ένας από τους σημαντικότερους σε ένα κράτος καθώς αποτελεί μέρος των κρίσιμων υποδομών του καθώς οποιαδήποτε διαταραχή της ομαλής του

λειτουργίας μπορεί να διαταράξει σημαντικές λειτουργίες του κρατικού μηχανισμού. Το σύνολο αυτών των υποδομών απαρτίζεται από πολυδαίδαλα δίκτυα, εκλεπτυσμένα πληροφοριακά συστήματα και έναν τεράστιο αριθμό εμπλεκόμενων παραγόντων, που ανήκουν στις εξής βασικές κατηγορίες:

- **Παραγωγή:** Στην κατηγορία αυτή, εμπλέκονται μονάδες παραγωγής ενέργειας τόσο από ορυκτά καύσιμα όσο και από ανανεώσιμες πηγές (ΑΠΕ). Εδώ ανήκουν και οι μικρότεροι παραγωγοί, όπως οικιακοί, που παράγουν ενέργεια με ίδια μέσα, την αποθηκεύουν, χρησιμοποιούν όση χρειάζονται και, βάσει συμφωνητικού, διαθέτουν το πλεόνασμα στο δίκτυο διανομής, για αξιοποίηση από παρόχους ηλεκτρικής ενέργειας.
- **Μεταφορά:** Στην κατηγορία αυτή, εμπλέκονται παράγοντες οι οποίοι έχουν αναλάβει το έργο της μεταφοράς ενέργειας από τις εγκαταστάσεις παραγωγής στους τοπικούς υποσταθμούς διανομής.
- **Διανομή:** Στην κατηγορία αυτή, εμπλέκονται παράγοντες οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για την απρόσκοπτη και ποιοτική παροχή ενέργειας από τους κατά τόπους υποσταθμούς στους τελικούς καταναλωτές.
- **Αποθήκευση:** Στην κατηγορία αυτή, εμπλέκονται παράγοντες σχετικοί με την αποθήκευση της πλεονάζουσας παραγόμενης ενέργειας, προς διάθεσή της στο δίκτυο σε περιόδους όπου η ζήτηση ξεπερνά την προσφορά.
- **Κατανάλωση:** Στην κατηγορία αυτή, ανήκουν όλοι οι τελικοί χρήστες του δικτύου ενέργειας, είτε αυτοί είναι απλοί οικιακοί χρήστες είτε μεγάλες εργοστασιακές μονάδες. Σημειώνεται εδώ πώς και οι οικιακοί παραγωγοί ενέργειας είναι ταυτόχρονα και καταναλωτές (της ίδιας τους της παραγωγής). Για αυτόν τον λόγο, κατηγοριοποιούνται ως παραγωγοί-καταναλωτές (*μτφρ. prosumers*, από τη σύνθεση των λέξεων *producers-consumers*).

Όλο αυτό το πλήθος των συμμετεχόντων, αλληλοεπιδρά και συναλλάσσεται ποικιλοτρόπως έμμεσα και άμεσα. Για τη διασφάλιση της ομαλής και απρόσκοπτης λειτουργίας του τομέα από άκρο σε άκρο, έχουν θεσπιστεί κανονισμοί και πρότυπα ασφάλειας και λειτουργίας.

Παράλληλα υιοθετήθηκαν τεχνολογίες οι οποίες δεν αποσκοπούσαν μόνο στον εκσυγχρονισμό των υποδομών αλλά και στη βελτιστοποίηση των λειτουργιών τους. Η

ψηφιοποίηση του τομέα της Ενέργειας, σε συνδυασμό με την εισαγωγή ευφυών συστημάτων, οδήγησε στη δημιουργία των Έξυπνων Ηλεκτρικών Δικτύων (μτφρ. *Smart Grids*). Μέσα από αυτά τα δίκτυα δεν μεταφέρεται μόνο ενέργεια αλλά και δεδομένα, με τους Έξυπνους Μετρητές να αποτελούν το πιο απλό παράδειγμα. Οι μετρητές αυτοί, μεταδίδουν ανά περιοδικά διαστήματα, το αναγνωριστικό τους, το ποσόν της ενέργειας που καταναλώθηκε, το χρονοδιάγραμμα της κατανάλωσης, κάποιες αυτό-διαγνωστικές πληροφορίες, κλπ. Όπως γίνεται αντιληπτό η ψηφιοποίηση του τομέα προσέφερε ένα μεγάλο εύρος και όγκο δεδομένων ώστε η Τεχνητή Νοημοσύνη να κληθεί για να αναλάβει πολλούς νευραλγικούς ρόλους με αποτέλεσμα να μετασχηματίσει το ενεργειακό τοπίο:

- **Πρόβλεψη ενεργειακών αναγκών:** Τα μοντέλα Τεχνητής Νοημοσύνης επιτηρούν και αξιολογούν μια πληθώρα μεταβλητών (παραγόμενη ενέργεια, ενεργειακά αποθέματα, υφιστάμενες και αναμενόμενες καιρικές συνθήκες, τοποθεσία, κλπ.) ώστε να εκτιμήσουν με ακρίβεια τις ενεργειακές ανάγκες που θα προκύψουν στο επόμενο χρονικό διάστημα. Λόγου χάρη, μια απότομη πτώση της θερμοκρασίας μπορεί να αυξήσει τη κατανάλωση ενέργειας για λόγους θέρμανσης.
- **Εξισορρόπηση προσφοράς-ζήτησης:** Τόσο σε περιπτώσεις πλεονάσματος, όσο και σε περιπτώσεις ελλείμματος ενέργειας, το οικονομικό βάρος περνάει στον τελικό καταναλωτή. Αυτές μπορούν να δημιουργηθούν από οποιαδήποτε ανωμαλία προκύψει κατά την παραγωγή, τη μεταφορά ή τη διανομή. Η Τεχνητή Νοημοσύνη, μπορεί να επιτηρεί σε πραγματικό χρόνο τα μεγέθη της προσφοράς και της ζήτησης, να ανιχνεύει ανωμαλίες στο δίκτυο και να προβαίνει εγκαίρως σε όλες τις απαραίτητες δράσεις για την ενεργειακή του εξισορρόπηση. Αυτό έχει επιπρόσθετο θετικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Για παράδειγμα, σε περιπτώσεις μειωμένης ζήτησης μπορεί να απενεργοποιηθούν αιολικές μονάδες, ενώ σε περιπτώσεις αυξημένης ζήτησης να διοχετευθεί αυτόματα και βέλτιστα στο δίκτυο η ενέργεια που είχε προηγουμένως αποθηκευτεί.
- **Πρόβλεψη βλαβών:** Όπως και σε άλλους τεχνολογικούς τομείς, η Τεχνητή Νοημοσύνη επιτηρεί την υγεία των συστημάτων, προβλέπει πιθανές βλάβες και παρέχει έγκαιρες ειδοποιήσεις ώστε τα τεχνικά κλιμάκια να ενεργήσουν στα πλαίσια μιας μη-

προγραμματισμένης προληπτικής συντήρησης, μειώνοντας τις πιθανότητες για εκδήλωση ανωμαλίας στο δίκτυο, εξοικονομώντας πόρους.

Ως εξέλιξη που αποτελεί τη βάση των μελλοντικών έξυπνων δικτύων ενέργειας, έχουν αναδυθεί οι Εικονικές Μονάδες Παραγωγής Ενέργειας (μτφρ. *Virtual Power Plants - VPP*). Τα VPP απαρτίζονται από αποκεντρωμένες μονάδες σε ένα δίκτυο τροφοδοσίας που συνδέονται και λειτουργούν από ένα κεντρικό σύστημα ελέγχου. Αυτές οι αποκεντρωμένες μονάδες μπορούν να ανήκουν σε οποιαδήποτε από τις πέντε (5) βασικές κατηγορίες εμπλεκόμενων παραγόντων σε ένα δίκτυο ενέργειας (παραγωγή, μεταφορά, διανομή, αποθήκευση, κατανάλωση). Το επιχειρησιακό κέντρο ενός VPP συντονίζει και διαχειρίζεται την παραγωγή διαφόρων μικρών σταθμών παραγωγής ενέργειας στην επικράτεια εποπτείας του με κύριες αποστολές την εξισορρόπηση της προσφοράς και ζήτησης ενέργειας, την αποτελεσματική παροχή καθαρότερης ενέργειας σε όλο το δίκτυο και την αποκόμιση μεγαλύτερων οικονομικών οφελών για όλους τους εμπλεκόμενους, συμπεριλαμβανομένων και των καταναλωτών.

Με έναν σημαντικό όγκο δεδομένων να διακινείται μεταξύ συμμετεχόντων σε ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, η ενσωμάτωση μεθόδων Blockchain αποτελεί βιώσιμη λύση ώστε:

- Να διασφαλιστεί το απόρρητο και η ακεραιότητα των ευαίσθητων δεδομένων, χάρη στις μεθόδους ισχυρής κρυπτογράφησης
- Να εξασφαλιστεί η διαφάνεια των συναλλαγών για όλα τα κατά περίπτωση ενδιαφερόμενα μέρη
- Να δημιουργηθεί ένα ενιαίο περιβάλλον εμπιστοσύνης που θα προωθεί την συνεργασία μεταξύ συμμετεχόντων
- Να μειωθούν τα κόστη, μέσα από την επίσπευση των διαδικασιών και τη μείωση των μεσαζόντων

Για την επίτευξη των παραπάνω, η τεχνολογία Blockchain μπορεί να αξιοποιηθεί ώστε να υλοποιηθούν λύσεις όπου:

- Μπορεί να δημιουργηθεί ένα περιβάλλον όπου οι συμμετέχοντες οργανισμοί θα μπορούν να ανταλλάσσουν με ασφάλεια δεδομένα που αφορούν τη μεταφορά, τη διανομή και την παροχή ενέργειας.

- Οι καταναλωτές θα μπορούν να αγοράζουν ενέργεια απευθείας από το δίκτυο, και όχι μέσω κάποιου προμηθευτή λιανικής.
- Μπορεί να δημιουργηθούν ομότιμες (μτφρ. *peer-to-peer*) αγορές ενέργειας όπου οι συμμετέχοντες θα έχουν τη δυνατότητα να προχωρούν σε απευθείας αγοραπωλησίες πλεονάζουσας ενέργειας. Αυτό σημαίνει ότι η ενέργεια θα μπορεί να ανταλλάσσεται ακόμα και μεταξύ φίλων, συγγενών, συναδέλφων ή μέσω online marketplaces.

### 3.2.6 Παραγωγικές διαδικασίες

Το σύγχρονο περιβάλλον των παραγωγικών διαδικασιών μεταβάλλεται διαρκώς με δυναμικό τρόπο ώστε να προσαρμόζεται στις αναδυόμενες ανάγκες της εποχής. Σχεδόν κάθε νέα τεχνολογία που ωριμάζει υιοθετείται με σκοπό τη βελτιστοποίηση των απανταχού διεργασιών. Ανάμεσα σε αυτές υπάρχουν και τεχνολογίες που επενεργούν καταλυτικότερα από τις άλλες, πράγμα το οποίο καταφέρνουν χάρη στην εξαιρετική ικανότητά τους να αυτοματοποιούν ολόκληρη την υποδομή στην οποία εφαρμόζονται. Για παράδειγμα, η τεχνολογία του Διαδικτύου των Πραγμάτων εισήγαγε νέους, οικονομικότερους και αποδοτικότερους τρόπους για την επικοινωνία μεταξύ συστημάτων.

Από την πλευρά της, η Τεχνητή Νοημοσύνη, εφαρμόζεται ήδη σε όλα τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας, ξεκινώντας από την έρευνα και ανάπτυξη προϊόντων και φτάνοντας μέχρι το τελικό στάδιο παραγωγής όπου το προϊόν περνάει από ποιοτικό έλεγχο. Ενδεικτικά ακολουθούν μερικά επιφανή παραδείγματα:

- **Ανάπτυξη προϊόντων:** Οι κατασκευαστές μπορούν να χρησιμοποιήσουν μοντέλα Τεχνητής Νοημοσύνης (π.χ. Γενετικούς/Εξελικτικούς Αλγορίθμους) για να επισπεύσουν τη διαδικασία της έρευνας. Παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών συναντώνται στην ανάπτυξη νέων δραστικών ουσιών από τις φαρμακοβιομηχανίες.
- **Προσαρμογή σχεδιασμού:** Οι κατασκευαστές μπορούν να χρησιμοποιήσουν μοντέλα Τεχνητής Νοημοσύνης για να παραγάγουν παραλλαγές ενός προϊόντος. Αυτή η πρακτική ονομάζεται “Γενετικός Σχεδιασμός” (μτφρ. *Generative Design*) όπου οι εφαρμοζόμενοι αλγόριθμοι Μηχανικής Μάθησης έχουν υλοποιηθεί ώστε να προσεγγίζουν τον τρόπο με τον οποίο ένας μηχανικός θα σχεδίαζε ένα προϊόν. Πιο



συγκεκριμένα, ο σχεδιαστής ενός προϊόντος εισάγει όλες τις επιθυμητές παραμέτρους για το προϊόν (διαστάσεις, βάρος, αντοχή, ανοχές, περιορισμούς, κλπ.) και ο αλγόριθμος θα επιστρέψει έναν αριθμό αποτελεσμάτων που πληρούν αυτές τις προϋποθέσεις. Ως παράδειγμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα από τα εμβληματικότερα κτίρια που κοσμεί το Μπακού του Αζερμπαϊτζάν: το Κέντρο Heydar Aliyev.



*Εικόνα 3.1: Κέντρο Heydar Aliyev*

Ο Γενετικός Σχεδιασμός μπορεί να βρει πεδία εφαρμογής στη σχεδίαση εργονομικότερων προϊόντων (π.χ. καρέκλες, λαβές εργαλείων, κλπ.) στη σχεδίαση οχημάτων με ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης καυσίμων και ενέργειας, στον σχεδιασμό ενεργειακά αποδοτικών κτιρίων με βελτιωμένη αντισεισμική προστασία, στον σχεδιασμό σωμάτων για ανδροειδή ρομπότ, κ.α.

- **Πρόβλεψη κόστους πρώτων υλών:** Σε τομείς που οι τιμές των πρώτων υλών είναι ασταθείς, οι κατασκευαστές καλούνται να ανταποκριθούν στην πρόκληση του να προβλέπουν εγκαίρως και με ακρίβεια τις διακυμάνσεις τους. Τυχόν λάθη στις εκτιμήσεις μπορούν να οδηγήσουν σε μείωση των κερδών. Για τον λόγο αυτό,

“στρατολογούνται” αλγόριθμοι Τεχνητής Νοημοσύνης οι οποίοι παρέχουν ακριβέστερες εκτιμήσεις ενώ παράλληλα εξακολουθούν να μαθαίνουν τόσο από τα νέα ιστορικά δεδομένα που προκύπτουν όσο και από τις μη-εύστοχες προβλέψεις τους.

- **Αποτροπή υπέρβασης κόστους:** Πολλά μεγάλα έργα υπερβαίνουν τον αρχικό προϋπολογισμό τους, ακόμα και αν για τη σύνταξή του έχει εργαστεί έμπειρο εξειδικευμένο προσωπικό. Εδώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν αλγόριθμοι Μηχανικής Μάθησης οι οποίοι ως εισόδους μπορούν να δέχονται παραμέτρους όπως το μέγεθος και το είδος του έργου που θα υλοποιηθεί, τον χρονικό ορίζοντα μέχρι την παράδοσή του, τους διαθέσιμους πόρους, το διαθέσιμο ανθρώπινο δυναμικό, κλπ.
- **Συνεργατική ρομποτική:** Τα κατασκευαστικά ρομπότ εισήχθησαν στα εργοστάσια παραγωγής περίπου στα τέλη της δεκαετίας του 1970. Έκτοτε έχουν εκσυγχρονιστεί με διάφορες νέες τεχνολογίες. Μεταξύ άλλων η Τεχνητή Νοημοσύνη τους χάρισε τη μηχανική όραση, η οποία τους επιτρέπει να εργάζονται προσαρμοζόμενα δυναμικά στο περιβάλλον τους και με μεγαλύτερη ασφάλεια. Μία από τις κυριότερες αποστολές των ρομπότ είναι η άσκηση επαναλαμβανόμενης εργασίας, για μεγάλα χρονικά διαστήματα και χωρίς φθίνουσα απόδοση καθόλη τη διάρκεια εργασίας, κάτι το οποίο δεν είναι επιτεύξιμο από τον άνθρωπο. Επιπροσθέτως, τα ρομπότ αποτελούν την ιδανική λύση για εργασίες υπό εξαιρετικά αντίξοες συνθήκες, όπως σε μεγάλο θαλάσσιο βάθος, κοντά σε ενεργές ηφαιστειακές εστίες, περιοχές με έκθεση σε επικίνδυνα χημικά και ακτινοβολίες ή ακόμα και στο διάστημα. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις όπου η συνεργασία ανθρώπου-μηχανής καθίσταται πιο ωφέλιμη και αποδοτική από όσο θα ήταν στην περίπτωση που θα δρούσε μόνο ένας εκ των δύο. Έτσι, γεννήθηκε η Συνεργατική Ρομποτική (μτφρ. *Cobotics*, από τη σύνθεση των λέξεων *Cooperative* ή *Collaborative* και *Robotics*) όπου άνθρωπος και μηχανή κατέχουν συμπληρωματικούς ρόλους, και εργάζονται κοντά ο ένας στον άλλο. Η ανθρώπινη διάνοηση των χειριστών εξακολουθεί να υπερέχει και εκείνοι είναι που αποφασίζουν εάν θα αλληλεπιδράσουν με το ρομπότ ή όχι. Η Συνεργατική Ρομποτική εφαρμόζεται σε περιπτώσεις όπου οι εργασίες προς ολοκλήρωση μπορεί να είναι δύσκολες, επίπονες ή επικίνδυνες για τον άνθρωπο. Εκεί, τα Cobots συνδράμουν επαυξάνοντας τις δυνατότητες των ανθρώπων, επιτρέποντάς τους να χειριστούν εξαρτήματα που είναι για παράδειγμα βαριά,

ογκώδη, μικροσκοπικά, εύθραυστα, πολύ ζεστά ή κρύα, κλπ. Τα Cobots μπορούν να έχουν τη δυνατότητα να μαθαίνουν όσο “ζουν” και να βελτιώνουν την απόδοσή τους.

- **Πρόβλεψη βλαβών και Διασφάλιση Ποιότητας:** Η παραγωγή είναι μία διαδικασία η οποία λειτουργεί χωρίς διαλείμματα, και σταματάει μόνο σε συγκεκριμένες περιπτώσεις όπως για εργασίες προγραμματισμένης συντήρησης, σοβαρές βλάβες, ατυχήματα, κλπ. Οποιαδήποτε παύση στη λειτουργία της αντιστοιχεί σε οικονομικές απώλειες για αυτό και είναι ζωτικής σημασίας να ελαχιστοποιούνται οι περιπτώσεις μη-λειτουργίας των συστημάτων (*μτφρ. system downtime*). Η Τεχνητή Νοημοσύνη χρησιμοποιείται κατά τη παραγωγική διαδικασία για να παρακολουθεί αδιαλείπτως τον εν ενεργεία εξοπλισμό ώστε να εντοπίζει εγκαίρως τυχόν ανωμαλίες, να προβλέπει βλάβες πριν ακόμα αυτές εκδηλωθούν και να ενημερώνει άμεσα για τα ευρήματά της. Επιπροσθέτως, στα πλαίσια της Διασφάλισης Ποιότητας (*μτφρ. Quality Assurance - QA*) μπορεί παράλληλα να επιτηρεί ποιοτικά χαρακτηριστικά των παραγόμενων αγαθών, σε όλα τα στάδια της παραγωγής, ώστε να διασφαλίζεται το ελάχιστο επιτρεπόμενο ποιοτικό επίπεδο των προϊόντων.

Μολονότι αποτελεί νεότερη τεχνολογία, το Blockchain αποδεικνύει ότι έχει μεγάλη προοπτική για να παράσχει λύσεις και στον τομέα της παραγωγής. Η αποκεντρωμένη φύση του δημιουργεί νέα επιχειρηματικά μοντέλα όπου διασυνδέονται με ασφάλεια εμπλεκόμενοι τόσο εντός όσο και εκτός της παραγωγικής διαδικασίας. Έτσι, για κάθε προϊόν, μπορούν να έρθουν πιο κοντά όλοι οι εμπλεκόμενοι παράγοντες από τους πέντε (5) τομείς της Βιομηχανίας: προμηθευτές πρώτων υλών, κατασκευαστές, εφοδιαστικές αλυσίδες, έμποροι, κλπ. Όλοι τους, μπορούν να αξιοποιήσουν το Blockchain για να ανταλλάσσουν δεδομένα με ασφάλεια και να διασφαλίσουν την ποιότητα των μεταξύ τους συνεργασιών.

Πολλοί τομείς του Δευτερογενούς Τομέα αντιμετωπίζουν τεκμηριωμένα προβλήματα ιχνηλασιμότητας, πλαστογράφησης, παραποίησης, κλπ. Η τεχνολογία Blockchain μπορεί να τους εξασφαλίσει τη γνησιότητα των πρώτων υλών και των παραγόμενων από αυτές προϊόντων. Χάρη σε αυτό, το Blockchain παρέχει τη δυνατότητα για αδιαμφισβήτητο έλεγχο ποιότητας καθόλη τη διαδρομή των αγαθών, από την παραγωγή των πρώτων υλών τους μέχρι και την απόκτηση του ολοκληρωμένου και πλήρους προϊόντος από τον τελικό χρήστη.

Αναλυτικότερα, η τεχνολογία Blockchain μπορεί να προσφέρει στον τομέα της παραγωγής τα ακόλουθα:

- **Ιγνηλασιμότητα:** Χάρη στη χρονοσήμανση που συνοδεύει κάθε block δεδομένων που προστίθεται σε μια Αλυσίδα, οι συμμετέχοντες σε αυτή μπορούν να γνωρίζουν ανά πάσα στιγμή τη διαδρομή των αγαθών σε οποιοδήποτε στάδιο της παραγωγής.
- **Διασφάλιση ποιότητας:** Τα δεδομένα που αποδεικνύουν το ποιοτικό επίπεδο ενός προϊόντος, μπορούν να καταγραφούν σε Blockchain και να το συνοδεύουν στο ταξίδι τους μέχρι τον τελικό χρήστη. Αυτό δυνητικά μπορεί να ελαχιστοποιήσει τον αριθμό των επανελέγχων ή τον χρόνο διεξαγωγής τους, μειώνοντας παράλληλα το κόστος του αγαθού για τον καταναλωτή, ο οποίος θα μπορεί επίσης να ελέγξει τα διαπιστευτήρια ποιότητας του προϊόντος που αγόρασε ή προτίθεται να αγοράσει.
- **Συντήρηση εξοπλισμού:** Το Blockchain μπορεί να συμβάλλει σε αποτελεσματικότερες διαδικασίες συντήρησης, παρέχοντας για παράδειγμα αυτοματοποιημένες συμφωνίες παροχής συντήρησης. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για παραγωγικές μονάδες όπου για τη συντήρηση ενός μηχανήματος απαιτείται η παρουσία εξειδικευμένου τεχνικού προσωπικού από τον ίδιο τον προμηθευτή του. Η τεχνολογία Blockchain μπορεί να διαχειριστεί τα συμφωνητικά, τα έγγραφα τεκμηρίωσης του παρεχόμενου εξοπλισμού, τις αναφορές συντήρησης και άρσης βλαβών, κλπ. Επίσης, μέσω των Έξυπνων Συμβολαίων, μπορούν να δρομολογούνται με αυτόματο τρόπο αιτήματα για επισκέψεις παραμετροποίησης, συντήρησης ή επιδιόρθωσης. Όλα, αμετάβλητα αποθηκευμένα και χρονοσημασμένα ώστε να διασφαλίζεται η εμπιστοσύνη μεταξύ εταιρών, οι οποίοι σε περίπτωση οποιασδήποτε διένεξης θα έχουν άμεσα διαθέσιμες αδιαμφισβήτητες πληροφορίες που θα οδηγήσουν στην δίκαιη επίλυση της όποιας ασυμφωνίας.
- **Παραγωγή ως Υπηρεσία:** Σε κάθε χώρο του Δευτερογενούς Τομέα, υπάρχουν επιχειρήσεις, νεοφυείς και υφιστάμενες, που επιθυμούν να παράγουν ένα προϊόν αλλά δεν διαθέτουν ούτε τον χώρο ούτε την οικονομική δυνατότητα για να αποκτήσουν τον κατάλληλο εξοπλισμό. Το Blockchain, ανοίγει έναν νέο ορίζοντα όπου πολλά assets θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μορφή δανεισμού. Ας λάβουμε ως παράδειγμα έναν επιχειρηματία που ενδιαφέρεται να παράγει είδη ρουχισμού αλλά δεν διαθέτει το

απαραίτητο κεφάλαιο για την απόκτηση όλου του απαραίτητου εξοπλισμού. Έστω ότι ο εν λόγω επιχειρηματίας χρειάζεται μια κεντητική μηχανή, είτε μόνιμα είτε κατά περίπτωση. Χάρη στο Blockchain, θα μπορεί να μισθώσει μια τέτοια μηχανή από κάποιον που κατέχει, για όσο χρόνο χρειάζεται και μέχρι να ολοκληρωθεί η εργασία που θέλει. Ο εκμισθωτής μπορεί να είναι είτε η παραγωγός εταιρεία της κεντητικής μηχανής ή κάποια άλλη επιχείρηση που τη διαθέτει και επιθυμεί να εξακολουθεί να κερδίζει από αυτήν όσο δεν τη χρησιμοποιεί για τα δικά της προϊόντα. Και εδώ, τα Έξυπνα Συμβόλαια μπορούν να αναλάβουν τα διαδικαστικά όσον αφορά τη συνεργασία των δύο πλευρών.

Το πλήθος των παραδειγμάτων και περιπτώσεων χρήσης που μπορούν να αναδείξουν τις δυνατότητες και τα προτερήματα της Τεχνητής Νοημοσύνης και του Blockchain ως προς την εξέλιξη της Βιομηχανικής Αυτοματοποίησης, είναι σχεδόν ανεξάντλητο. Ως εκ τούτου, σε αυτή την παράγραφο έγινε επιλογή μερικών από των πιο αντιπροσωπευτικών δειγμάτων.

## 4 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

Τόσο η Τεχνητή Νοημοσύνη όσο και το Blockchain αναζητούν και βρίσκουν νέους τρόπους για να εμπλουτίζουν τη φαρέτρα τους με νέα εργαλεία που τους προσδίδουν επιπρόσθετες δυνατότητες και ανοίγουν τους ορίζοντες εφαρμογής τους. Είναι κοινώς αποδεκτό ότι ενώ οι δύο τεχνολογίες βρίσκονται ακόμα στην παιδική τους ηλικία, η προσφορά τους στο σύγχρονο τεχνολογικό τοπίο είναι αδιαμφισβήτητη, αντιμετωπίζοντας επιτυχώς πολλές προκλήσεις. Η εξέλιξή τους διαγράφεται λαμπρή, με τις συντηρητικότερες εκτιμήσεις να κάνουν λόγο για μεγάλα επιτεύγματα ακόμα και στο εγγύς μέλλον, ενώ ήδη υπάρχουν ενδείξεις ότι μαζί θα οδηγήσουν τις εξελίξεις στην 4<sup>η</sup> Βιομηχανική Επανάσταση.

Παρόλα αυτά, όπως ισχύει για οποιαδήποτε νέα τεχνολογία, έτσι και με την Τεχνητή Νοημοσύνη και το Blockchain εγείρονται κάποιοι εύλογοι προβληματισμοί αναφορικά με τη χρήση τους.

### 4.1 Προβληματισμοί περί Τεχνητής Νοημοσύνης

#### 4.1.1 Μείωση θέσεων εργασίας

Ανέκαθεν, η πρόοδος της τεχνολογίας δημιουργούσε και δημιουργεί προβληματισμούς για δυνητικές απώλειες θέσεων εργασίας. Μεγαλύτερη ανησυχία προκαλούν οι εξελίξεις στον αυτοματισμό, είτε φυσικό είτε ψηφιακό, όπου προβλέπεται αντικατάσταση της ανθρώπινης παρουσίας από μηχανές. Φυσικά, τέτοιες ανησυχίες είναι απολύτως βάσιμες και απασχολούν, όχι μόνο τους απλούς πολίτες αλλά, και την παγκόσμια ακαδημαϊκή κοινότητα.

Το ζήτημα που προκύπτει είναι σε τι βαθμό επηρεάζει τις υφιστάμενες εργασιακές συνθήκες κάθε νέο βήμα προόδου. Στην πρώτη Βιομηχανική Επανάσταση χρειάστηκε τεράστιος αριθμός εργατικών χεριών για την επάνδρωση των εργοστασίων. Με την ανάπτυξη της ρομποτικής οι ανειδίκευτοι εργάτες που διεκπεραιώναν χειρωνακτικές εργασίες αντικαταστάθηκαν από μηχανές που επιτελούσαν το ίδιο έργο συνεχόμενα, ακούραστα, με μεγαλύτερη ταχύτητα και τις περισσότερες φορές σε μικρότερα χρονικά διαστήματα. Για τους ιδιοκτήτες εργοστασίων και γραμμών παραγωγής, αυτό μεταφράζεται διαχρονικά σε αύξηση της παραγωγικότητας και μείωση του λειτουργικού κόστους. Με την αυξανόμενη εξέλιξη της

Τεχνητής Νοημοσύνης, τα ρομποτικά συστήματα αυτοματοποιούνται περαιτέρω σε βαθμό αυτονομίας με αποτέλεσμα να μειώνεται αντίστοιχα η ανάγκη εποπτείας τους από τον ανθρώπινο παράγοντα.

Μολονότι προς ώρας οι αντικαταστάσεις αυτές αφορούν ως επί το πλείστον χειρωνακτικές εργασίες, στο κοντινό ορίζοντα διαφαίνεται και η αντικατάσταση προσωπικού που εκτελεί πνευματικές εργασίες. Στην παρούσα φάση, οι ψηφιακοί βοηθοί έχουν μια σχετική χρησιμότητα στην ανεύρεση πληροφοριών από το Διαδίκτυο όντας διασυνδεδεμένοι με μηχανές αναζήτησης, ή ακόμα εκτελώντας κατά παραγγελία από τον χρήστη εργασίες πάνω σε μια έξυπνη συσκευή, όπως για παράδειγμα κλήση μιας επαφής στο κινητό τηλέφωνο ή προγραμματισμός μιας συνάντησης στο ημερολόγιο. Η δε είσοδος εντολών προς εκτέλεση από τους ψηφιακούς βοηθούς πραγματοποιείται με σημασιολογικό τρόπο, είτε πληκτρολογώντας μια εντολή είτε μέσω φωνητικών εντολών σε φυσική γλώσσα. Ωστόσο, η συνεχόμενη βελτιστοποίηση των εν λόγω μοντέλων φαίνεται να πορεύεται προς την υλοποίηση ολοκληρωμένων ψηφιακών βοηθών με ενδεχόμενη κατάρτιση σε συγκεκριμένα πεδία. Αυτοί οι βοηθοί νέας γενιάς θα αντικαταστήσουν δυνητικά μη-χειρώνακτες εργαζόμενους, όπως υπαλλήλους γραφείου, ασφαλιστές, λογιστές, νομικούς σύμβουλους, κλπ.

Σαφέστατα, το όλο ζήτημα είναι εξαιρετικά πολυπαραγοντικό και δεν δύναται να αναλυθεί στα πλαίσια της παρούσης Πτυχιακής Εργασίας. Παρόλο που η Τεχνητή Νοημοσύνη επιτελεί προς το παρόν βοηθητικό έργο, αποτελώντας ένα συμπληρωματικό εργαλείο για τον εκάστοτε ειδικό (π.χ. αναγνώριση παθολογικών εστιών σε εξετάσεις MRI, με ελάχιστο περιθώριο σφάλματος), δύσκολα θα μπορέσει να αντικαταστήσει τον υποστηριζόμενο ειδήμονα στο εγγύς μέλλον. Δεν είναι όμως το ίδιο ευοίωνες οι προβλέψεις για έναν υποστηρικτικό εργαζόμενο, όπως για παράδειγμα έναν κτηματομεσιτικό σύμβουλο. Δύο πράγματα είναι βέβαιο ότι θα συμβούν από την εξέλιξη της Τεχνητής Νοημοσύνης τα επόμενα χρόνια:

1. Μείωση θέσεων εργασίας, με το βάρος να πέφτει κυρίως προς τους ανειδίκευτους εργαζόμενους ή/και εκείνους με λιγότερα τυπικά προσόντα

2. Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας που προκύπτουν από τις ανάγκες εξέλιξης της τεχνολογίας, με ωφελούμενους κυρίως τους εξειδικευμένους εργαζόμενους ή/και εκείνους που πληρούν πολύ συγκεκριμένα κριτήρια επιλεξιμότητας.

Τόσο η ποσότητα, όσο και η ποιότητα των ανωτέρω είναι δύσκολο να προβλεφθεί. Σε κάθε περίπτωση όμως, αναμένεται σημαντική βελτίωση του βιοτικού επιπέδου και της ποιότητας παροχής προϊόντων και υπηρεσιών, όπως ακριβώς παρατηρείται να συμβαίνει γενικότερα με την εξέλιξη της τεχνολογίας σε διάφορους τομείς τις τελευταίες δεκαετίες.

#### **4.1.2 Κοινωνικοοικονομική ανισότητα**

Η απώλεια θέσεων εργασίας που θα προκύψει από την εξέλιξη της Τεχνητής Νοημοσύνης, θα επιφέρει αναπόφευκτα διεύρυνση της κοινωνικοοικονομικής ανισότητας. Τα επαγγέλματα που απειλούνται περισσότερο είναι εκείνα τα οποία απαρτίζονται από προβλέψιμες ή/και επαναλαμβανόμενες εργασίες. Καθότι η εργασία αποτελεί έναν από τους άξονες της κοινωνικής κινητικότητας, το σχετικό εργατικό δυναμικό θα εστιάσει στην ανάπτυξη των δεξιοτήτων του ή και την αναβάθμιση του ακαδημαϊκού του επιπέδου ώστε να παραμείνει ανταγωνιστικό στην αγορά εργασίας. Ωστόσο, αυτό δεν θα καταστεί δυνατόν για ένα μέρος του επηρεαζόμενου ανθρώπινου δυναμικού λόγω ανισότητας διαθέσιμων πόρων (χρόνος, χρήμα, κ.α.). Συνεπώς, εκείνοι που βρίσκονται σε ένα συγκριτικά υψηλότερο βιοτικό επίπεδο θα επιδιώξουν και θα επιτύχουν ευκολότερα τον συγκεκριμένο στόχο.

Πρόκειται λοιπόν για ένα θέμα με κοινωνικοοικονομικές αλλά και κοινωνικοπολιτικές προεκτάσεις λόγω της διαρκούς επιδίωξης για μεγαλύτερα κέρδη στον ιδιωτικό τομέα, ο οποίος έχει την τάση να υιοθετεί οποιοδήποτε στοιχείο, τεχνολογικό και μη, που μπορεί να οδηγήσει ταχύτερα και αποτελεσματικότερα σε αυτόν τον στόχο. Κατά συνέπεια, η πρόκληση που έχει να αντιμετωπίσει η επιστημονική κοινότητα που δραστηριοποιείται στον τομέα της Τεχνητής Νοημοσύνης είναι η καλύτερη δυνατή κατανόηση της κοινωνικής δυναμικής καθώς οι όποιες τεχνολογικές εξελίξεις επηρεάζουν πρωτίστως και κυρίως το κοινωνικό επίπεδο.



### 4.1.3 Δημιουργία ψευδών βίντεο

Η ραγδαία εξέλιξη των Νευρωνικών Δικτύων έφερε στο προσκήνιο μια εξαιρετικά ενδιαφέρουσα εφαρμογή: αυτή της αντικατάστασης ενός προσώπου με ένα άλλο, όχι μόνο σε μια στατική εικόνα αλλά και σε ένα βίντεο. Ουσιαστικά, ένα κατάλληλα εκπαιδευμένο Νευρωνικό Δίκτυο λαμβάνει δύο εισόδους. Η πρώτη αφορά ένα βίντεο (που λειτουργεί ως βάση), στο οποίο εντοπίζει καρέ-καρέ ένα πρόσωπο, τη γεωμετρία του, τις γωνίες θέασής του αλλά και τις εκφράσεις του. Η δεύτερη είσοδος αφορά ένα πλήθος φωτογραφιών (ή ένα δεύτερο βίντεο) ενός προσώπου εντελώς ξένου με το βίντεο της πρώτης εισόδου. Σε κάθε μία εκ των φωτογραφιών, γίνεται αναγνώριση της γεωμετρίας του προσώπου του, των γωνιών θέασής του και των εκφράσεών του. Στη συνέχεια, το μοντέλο εκτελεί καρέ-καρέ προσάρτηση του δεύτερου προσώπου πάνω σε εκείνο που απεικονίζεται στο βίντεο-βάση. Ακόμα και αν οι εικόνες της δεύτερης εισόδου δεν έχουν κοινά γνωρίσματα με εκείνες του βίντεο (π.χ. γωνίες, εκφράσεις, κλπ.) το αποτέλεσμα είναι εξαιρετικά ρεαλιστικό, και σε πολλές περιπτώσεις οι τεχνητές αλλοιώσεις δεν είναι διακριτές δια “γυμνού οφθαλμού”.

Τα παράγωγα βίντεο που δημιουργούνται από αυτήν την τεχνική ονομάζονται DeepFakes, με την ονομασία να προκύπτει από τη σύζευξη του “Deep Learning” (μτφρ. Βαθιά Μάθηση) και “Fake” (μτφρ. Ψεύτικο). Σε ελεύθερη απόδοση, είναι τα βίντεο που παράγονται με ψευδή απεικόνιση προσώπου, μέσω τεχνολογίας Βαθιάς Μάθησης. Το φαινόμενο των DeepFakes ξεκίνησε τα πρώτα του βήματα παρουσιάζοντας δείγματα όπου οι τεχνητές αλλοιώσεις ήταν εμφανέστατες. Με την πάροδο του χρόνου όμως, τα μοντέλα βελτιώθηκαν σε σημείο που πλέον οι εισοδοί μπορεί να είναι δύο εντελώς διαφορετικά βίντεο και το αποτέλεσμα που προκύπτει να είναι ένα τρίτο, που ομοιάζει με το πρώτο (βάση) αλλά έχει σημαντικές διαφορές. Σε αυτές τις περιπτώσεις, οι αλλοιώσεις δεν περιορίζονται απλά στην επικόλληση του δεύτερου προσώπου πάνω σε αυτό της βάσης με προσαρμογή της υφιστάμενης έκφρασής του. Πιο συγκεκριμένα, δημιουργείται ένα βίντεο που επιπροσθέτως περιλαμβάνει στοιχεία από τις εκφραστικές και κινησιολογικές ιδιομορφίες του πρώτου προσώπου, όπως για παράδειγμα οι χειρονομίες που κάνουν κατά τις ομιλίες τους τα πολιτικά πρόσωπα ή οι παρουσιαστές ειδήσεων. Αυτή η τεχνολογία μπορεί να εφαρμοστεί αποτελεσματικά στον χώρο του κινηματογράφου και της ψυχαγωγίας γενικότερα. Μια ενδιαφέρουσα εφαρμογή θα ήταν η δημιουργία βίντεο που αποθανόντες λογοτέχνες θα

ξαναζωντάνευσαν στις οθόνες μας, απαγγέλοντας τα δημιουργήματά τους, όχι μόνο στη δική τους αλλά σε οποιαδήποτε γλώσσα! Δυστυχώς όμως, υπάρχει και η αντίθετη όψη του νομίσματος όπου κάθε τεχνολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κακόβουλους σκοπούς.

Η εταιρεία BuzzFeed Motion Pictures δημιούργησε ένα DeepFake βίντεο [47] όπου ο πρώην Πρόεδρος των Ηνωμένων Πολιτειών, Barack Obama, εμφανίζεται να ομιλεί για το εν λόγω θέμα αναφέροντας πως βρισκόμαστε σε μια εποχή όπου η τεχνολογία μπορεί να παρουσιάσει οποιονδήποτε, να λέει οτιδήποτε, ακόμα και αν δεν το έχει πει ποτέ. Στη συνέχεια του βίντεο, εμφανίζεται σε διπλανό παράθυρο ο ηθοποιός Jordan Peele και η ομιλία συνεχίζεται με τα δύο πρόσωπα να απαγγέλουν με μια φωνή ακριβώς τα ίδια λόγια. Μη έχοντας γνώση της τεχνολογίας ή έστω του αντικειμένου του βίντεο, ένας ανυποψίαστος θεατής ενδεχομένως να αντιλαμβανόταν ότι το ένα πρόσωπο επαναλαμβάνει τα λόγια του άλλου. Το μήνυμα του βίντεο είναι σαφές: δεν πρέπει να εμπιστευόμαστε οτιδήποτε συναντάμε στο Διαδίκτυο και αντ' αυτού να συμβουλευόμαστε έγκυρες πηγές.



**Εικόνα 4.1:** Ο ψηφιακά δημιουργημένος πρώην Πρόεδρος των ΗΠΑ και ο ηθοποιός Jordan Peele

πηγή: [YouTube](#)

<https://www.youtube.com/watch?v=cQ54GDM1eL0>

Στην πραγματικότητα, η απειλή των DeepFakes δεν είναι απλώς υπαρκτή αλλά μπορεί να λάβει μεγάλες διαστάσεις ανά πάσα στιγμή. Τα πρώτα αποτελέσματα των DeepFake

αλγορίθμων εμφανίστηκαν σε ιστοσελίδες φιλοξενίας πορνογραφικού υλικού όπου ως βίντεο-βάσεις χρησιμοποιούνταν υπάρχοντα βίντεο ερωτικού περιεχομένου και πάνω σε αυτά γινόταν επικόλληση προσώπων από γνωστές ηθοποιούς που δεν ανήκουν στο συγκεκριμένο χώρο. Φυσικά αυτή δεν είναι η χειρότερη των περιπτώσεων. Πλέον, οποιοσδήποτε με στοιχειώδεις γνώσεις προγραμματισμού μπορεί να ακολουθήσει απλά βήματα που θα βρει στο Διαδίκτυο και να δημιουργήσει ένα αντίστοιχο βίντεο επικολλώντας σε αυτό ένα πρόσωπο το οποίο θα ήθελε να εκβιάσει. Ακόμα και αν η δημιουργία ενός τέτοιου βίντεο έχει ως σκοπό κάποιο κακόγουστο αστείο, η οποιαδήποτε διαρροή του προς τη δημόσια σφαίρα μπορεί να επιφέρει ανεπανόρθωτες βλάβες (π.χ. ηθικές, ψυχολογικές, κλπ.) στο άτομο το οποίο απεικονίζεται.

Διανύοντας την Εποχή της Πληροφορίας, υπάρχει παράλληλα με αυτήν το επικίνδυνο μονοπάτι της “πρώτης εντύπωσης”. Η τελευταία, αποτελεί ένα δυνατό εργαλείο marketing αλλά και ένα ισχυρό όπλο διαμόρφωσης της κοινής γνώμης ή ακόμα και προπαγάνδας. Αυτό σημαίνει ότι μια πλευρά έχει την ευχέρεια να εκμεταλλευτεί την δυνητικά εκρηκτική διάδοση (virality) μιας πληροφορίας από το ευρύ κοινό χωρίς την πρότερη διασταύρωση της αξιοπιστίας της. Έτσι, είναι δυνατόν να δημιουργήσει ένα DeepFake βίντεο όπου ένας πολιτικός, θρησκευτικός ή άλλος ηγέτης να εκφράζει θέσεις που μπορούν να δημιουργήσουν διπλωματικά επεισόδια, κοινωνικές αναταράξεις, κλπ.

Η ερευνητική κοινότητα έχει ήδη δραστηριοποιηθεί στην ανάπτυξη αντισταθμιστικών τεχνολογιών (μτφρ. *countermeasure technologies*) για τον εντοπισμό ψευδών φωτογραφιών και βίντεο. Ένα τέτοιο εργαλείο είναι το Reality Defender [48] το οποίο αποτελεί μια πρωτοβουλία του μη-κερδοσκοπικού οργανισμού A.I. Foundation. Στην εν λόγω διαδικτυακή πλατφόρμα, ο χρήστης μπορεί να “ανεβάσει” μία φωτογραφία ή ένα βίντεο και η εφαρμογή τρέχει μια σειρά μοντέλων με σκοπό τον εντοπισμό αλλοιώσεων, επιστρέφοντας τα σχετικά αποτελέσματα. Το Reality Defender είναι ένα αξιόλογο πρώτο εργαλείο στα χέρια των εγκληματολογικών υπηρεσιών ανά τον κόσμο ή των διαφόρων οργανισμών που ελέγχουν την αξιοπιστία περιεχομένου στο Διαδίκτυο (Fact Checking Organizations).

#### 4.1.4 Παραβιάσεις απορρήτου

Η εργαλειοποίηση της Τεχνητής Νοημοσύνης αποτελεί ένα σημαντικό βήμα για την εξέλιξη του ανθρώπινου είδους σε βιοτικό, κοινωνικό, οικονομικό, και τεχνολογικό επίπεδο. Σχεδόν όλοι οι τομείς δραστηριότητας μπορούν να επωφεληθούν από τη χρήση της, με έναν από τους πρώτους και σημαντικότερους να είναι αυτός της Ασφάλειας και Προστασίας.

Για παράδειγμα, ένα σύστημα άμεσης αναγνώρισης προσώπου θα μπορούσε να αποτελέσει ισχυρό αποτρεπτικό μέσο για την καταπολέμηση της παραβατικότητας και της εγκληματικότητας. Η δυνατότητα άμεσης ταυτοποίησης υπόπτων και ενόχων θα διασφάλιζε αποτελεσματικότερα την ανθρώπινη ζωή και περιουσία, αναβαθμίζοντας παράλληλα το αίσθημα ασφάλειας των πολιτών. Για την υλοποίηση μιας τέτοιας εφαρμογής, θα πρέπει να εκπαιδευτεί ένα μοντέλο Τεχνητής Νοημοσύνης το οποίο θα μπορεί να επιστρέφει εξαιρετικά αξιόπιστα αποτελέσματα.

Το πρόβλημα για την πραγματοποίηση αυτού του έργου, δεν επαφίεται στον αλγόριθμο που θα το υλοποιεί ούτε στον όγκο ή την ποιότητα των δεδομένων εκπαίδευσης του μοντέλου. Η μεγαλύτερη δυσκολία για την επιτυχή αντιπαραβολή μιας εικόνας υπόπτου (είσοδος) με τα όποια δυναμικά αποτελέσματα (έξοδοι) είναι η πρόσβαση σε μια υπερ-επαρκέστατη βάση δεδομένων η οποία θα συγκεντρώνει δισεκατομμύρια φωτογραφίες όπου το πρόσωπο κάθε πολίτη θα απεικονίζεται σε διάφορες οπτικές γωνίες είτε άμεσα (π.χ. σε φωτογραφίες που έχουν αναρτήσει οι ίδιοι σε κοινωνικά δίκτυα) είτε έμμεσα (π.χ. σε φωτογραφίες τρίτων όπου εμφανίζεται τυχαία σε αυτές).

Οι εγκληματολογικές υπηρεσίες συνήθως διαθέτουν βάσεις δεδομένων με στοιχεία και μικρό αριθμό φωτογραφικού υλικού, κυρίως από σεσημασμένους πολίτες. Ο αναπόφευκτος περιορισμός που προκύπτει αφορά τους μη-σεσημασμένους πολίτες οι οποίοι εκούσια ή ακούσια διαπράττουν μία αξιόποινη πράξη, και ο εντοπισμός τους με τη βοήθεια μιας τέτοιας εφαρμογή καθίσταται ανέφικτος. Κατ' επέκταση, οι διωκτικές αρχές θα πρέπει να αφιερώσουν μεγαλύτερο αριθμό πόρων για τη διαλεύκανση της υπόθεσης.

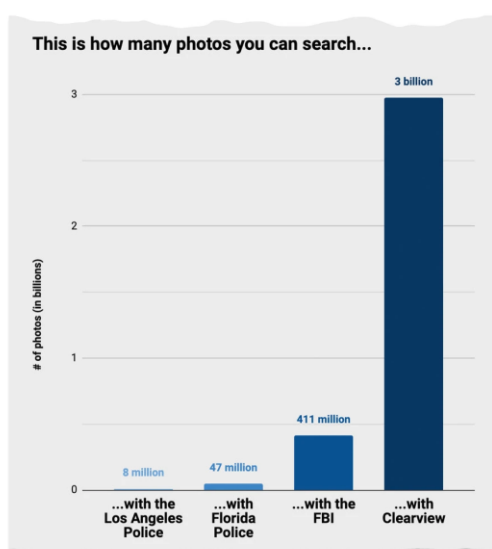
Αδιαμφισβήτητα, οι βάσεις δεδομένων που διαθέτουν πληθώρα και ποικιλομορφία φωτογραφικού υλικού για αναγνώριση προσώπων είναι εκείνες των μεγάλων κοινωνικών δικτύων (Facebook, Twitter, Instagram, LinkedIn, κλπ.), αλλά και των εταιρειών που προσφέρουν λειτουργικά συστήματα για φορητές και μη συσκευές (Google, Microsoft, Apple,

κλπ.). Πολλοί από τους ψηφιακούς αυτούς κολοσσούς, έχουν αναπτύξει δικά τους μοντέλα για χρήση επί των προϊόντων τους και όχι από τρίτους. Το αντίθετο θα εξέγειρε μεγάλο προβληματισμό, και ίσως αντιδράσεις, ως προς τη δυνατότητα παραβίασης του προσωπικού απορρήτου από μη-εξουσιοδοτημένες πλευρές. Γι' αυτό και οι εταιρείες αυτές συνεργάζονται στενά με τις δικωτικές αρχές των κρατών, όπου απαιτείται, για θέματα ασφάλειας και προστασίας. Παρόλα αυτά, διαδικασίες όπως η άρση απορρήτου για συγκεκριμένα πρόσωπα που εμπλέκονται σε εγκληματικές ενέργειες, παραμένουν χρονοβόρες.

Το 2011, στο συνέδριο “Big Tent” της Google, για το απόρρητο στο Διαδίκτυο, ο τότε εκτελεστικός πρόεδρος της εταιρείας, κύριος Eric Schmidt, απαντώντας σε σχετική ερώτηση ανέφερε ότι θεωρεί απίθανη την υλοποίηση μιας βάσης δεδομένων που θα αξιοποιούσε αλγόριθμους αναγνώρισης προσώπου και θα διατίθετο ως υπηρεσία από την Google. Παρόλα αυτά δεν έκρυψε ότι στο μέλλον, ενδεχομένως κάποια εταιρεία να ξεπερνούσε αυτά τα όρια [49]. Η εκτίμησή του χρειάστηκε μόλις λίγα χρόνια για να επαληθευθεί. Το 2016, ο Hoan Ton-That, σε συνεργασία με τον πολιτικό Richard Schwartz [50], ξεκίνησε ένα ιδιαίτερα φιλόδοξο και αμφιλεγόμενο project πάνω στην αναγνώριση προσώπων. Έχοντας διαπιστώσει ότι οι δικωτικές αρχές έχουν στη διάθεσή τους πολύ περιορισμένα εργαλεία, ίδρυσε μία εταιρεία η οποία κρατούσε ένα ιδιαίτερα χαμηλό προφίλ, μέχρι και τα τέλη του 2019, όπου έγινε γνωστή η χρήση των υπηρεσιών της από τις υπηρεσίες επιβολής του νόμου [51]. Στη συνέχεια, επιστράτευσε δύο μηχανικούς λογισμικού για την πραγματοποίηση του οράματός του. Ο πρώτος ανέπτυξε ένα εξαιρετικά αποτελεσματικό Νευρωνικό Δίκτυο αναγνώρισης προσώπων, το οποίο δημιούργησε βελτιστοποιώντας κώδικα από ακαδημαϊκές εργασίες. Ο δεύτερος, σχεδίασε ένα πρόγραμμα που συνέλεγε αυτόματα εικόνες προσώπων από ολόκληρο το Διαδίκτυο, με έμφαση στα κοινωνικά δίκτυα, τους εκπαιδευτικούς και ειδησεογραφικούς ιστότοπους, πλατφόρμες ανεύρεσης εργασίας, κλπ. Το αποτέλεσμα ήταν μία βάση δεδομένων με 3 δισεκατομμύρια φωτογραφίες.

Το τελικό προϊόν ονομάστηκε Smartcheckr, και η χρήση του ήταν απλή: ο χρήστης ανέβαζε μία εικόνα προσώπου και το πρόγραμμα του επέστρεφε δημόσιες φωτογραφίες του εικονιζόμενου καθώς και συνδέσμους για κάθε ένα αποτέλεσμα. Η εταιρεία ονομάστηκε Clearview AI [52] και από τότε ξεκίνησε η προώθησή του Smartcheckr σε υπηρεσίες επιβολής του νόμου. Σύμφωνα με τη δημοσιογράφο Kashmir Hill των New York Times, στο εκτενές

άρθρο της για την Clearview AI με τίτλο “*The Secretive Company That Might End Privacy as We Know It*” [53] αναφέρει πως περισσότερες από 600 υπηρεσίες επιβολής του νόμου υιοθέτησαν την λύση της Clearview AI έως τον Ιανουάριο του 2020 ενώ σε επόμενο άρθρο της με τίτλο “*What We Learned About Clearview AI and Its Secret ‘Co-Founder’*” [54] σημειώνει πως η εταιρεία δηλώνει πως έχει φτάσει τους 3.100 πελάτες. Κάθε πελάτης έχει ορίσει έναν αριθμό προσωπικού (χρήστες) το οποίο αξιοποιεί την υπηρεσία, αποκτώντας πρόσβαση στην πολυπληθέστερη ίσως βάση δεδομένων με φωτογραφίες.



**Εικόνα 4.2:** Γράφημα από προωθητικό υλικό της Clearview σε υπηρεσίες επιβολής του νόμου

πηγή [53]: [The New York Times](https://www.nytimes.com)

<https://static01.nyt.com/images/2020/01/18/business/18clearview-05/18clearview-05-jumbo.jpg?quality=90&auto=webp>

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι το πελατολόγιο ενδιαφέροντος της Clearview AI είναι οι απανταχού υπηρεσίες εσωτερικής (και εξωτερικής) ασφάλειας. Στο πελατολόγιό της ανήκουν ο Στρατός και η Αεροπορία των Η.Π.Α., το Ομοσπονδιακό Γραφείο Ερευνών (F.B.I.), καθώς επίσης και η υπηρεσία Μετανάστευσής και Τελωνείων. Φυσικά, δεν είναι λίγες οι αναφορές των επιτυχιών του συγκεκριμένου λογισμικού το οποίο στοχεύει, μεταξύ άλλων, στην αντιμετώπιση κλοπών καταστημάτων, κλοπών ταυτότητας, απάτες με πιστωτικές κάρτες, δολοφονίες, αλλά και περιπτώσεις εμπορίας ανθρώπων και σεξουαλικής εκμετάλλευσης παιδιών. Μολονότι στο σύνολό της, η συγκεκριμένη εφαρμογή φαίνεται να είναι στην

υπηρεσία του νόμου και κατ' επέκταση του πολίτη, υπάρχουν ωστόσο πολλές σκιώδεις λεπτομέρειες που από την αποκάλυψή τους και μετά έχουν προκαλέσει αντιδράσεις και περαιτέρω προβληματισμούς.

Κατά την διενέργεια του ρεπορτάζ της [53], η Hill, αναζητούσε πληροφορίες για την Clearview AI. Η τότε ιστοσελίδα της εταιρείας ανέφερε ως φυσική έδρα για τις δραστηριότητές της μια ανύπαρκτη διεύθυνση στο Manhattan. Επίσης, στο LinkedIn εμφανιζόταν μόνο ένας υπάλληλος, ονόματι John Good με ρόλο διευθυντή πωλήσεων. Αργότερα αποδείχθηκε ότι ήταν ο ίδιος ο Hoan Ton-That, ο οποίος είχε χρησιμοποιήσει ψεύτικο όνομα.

Ένα άλλο μελανό σημείο είναι ο τρόπος με τον οποίο αποκτήθηκαν τα 3 δισεκατομμύρια αρχεία με εικόνες πολιτών. Τα κοινωνικά δίκτυα απαγορεύουν τη συλλογή εικόνων άλλων χρηστών. Η Clearview AI φέρεται να παραβίασε τους όρους παροχής υπηρεσιών των ιστότοπων αυτών, παρόλο που υποστήριξε ότι το εν λόγω περιεχόμενο ήταν δημοσίως προσβάσιμο. Τον Ιανουάριο του 2020, το Twitter απέστειλε εξώδικο στην εταιρεία, ζητώντας τη διαγραφή των δεδομένων που συλλέχθηκαν από την πλατφόρμα του. Ακολούθησε το YouTube (μέσω της Google) και στη συνέχεια το Facebook, τον Φεβρουάριο του ίδιου έτους.

Μολονότι ο Hoan Ton-That έχει ξεκαθαρίσει ότι η χρήση της προσφερόμενης τεχνολογίας απευθύνεται αυστηρά για υπηρεσίες επιβολής του νόμου και πως η εταιρεία του εστιάζει σε επιχειρηματικές δραστηριότητες στις Η.Π.Α. και τον Καναδά. Έγγραφα που διέρρευσαν στον Τύπο [55] και αφορούν το πελατολόγιο της Clearview AI, φαίνεται να δείχνουν μια άλλη πραγματικότητα, με την εταιρεία να παρέχει τις υπηρεσίες της σε περισσότερες από 200 εταιρείες (αεροδρόμιο John F. Kennedy , Walmart, Wells Fargo, Best Buy, Macy's, κ.α.), αλλά και σε χώρες της Ευρώπης, της Νότιας Αμερικής, στην Ανατολική Ασία και τη Μέση Ανατολή. Αν και η εταιρεία επιβεβαίωσε τη διαρροή [56], ο πληρεξούσιος δικηγόρος της εταιρείας έχει δηλώσει ότι υπάρχουν ανακρίβειες στο περιεχόμενο αυτών των παράνομα αποκτηθέντων πληροφοριών, και δεν προχώρησε σε περαιτέρω σχόλια επικαλούμενος την εν εξελίξει Ομοσπονδιακή έρευνα.

Η έρευνα των New York Times [53], συμπεριλάμβανε και ανάλυση του κώδικα της εφαρμογής. Τα ευρήματα αυτού του τμήματος της έρευνας έδειξαν ότι υπάρχει δυνατότητα διασύνδεσης της υπηρεσίας με γυαλιά επαυξημένης πραγματικότητας, δίνοντας έτσι στους

εξουσιοδοτημένους χρήστες τη δυνατότητα να αναγνωρίζουν άμεσα οποιονδήποτε πολίτη βρεθεί στο οπτικό τους πεδίο αλλά και να αποκτήσουν ευαίσθητες προσωπικές πληροφορίες, όπως διευθύνσεις οικίας, κλπ.

Οι προβληματισμοί που προκύπτουν από τα παραπάνω είναι κατά πόσο ένα τέτοιο εργαλείο μπορεί να παραμείνει ασφαλές ή να μετατραπεί σε όπλο στα χέρια ακατάλληλων χρηστών. Θα μπορούσε ένα διεφθαρμένος υπάλληλος να το χρησιμοποιήσει για να παρέχει πληροφορίες που παραβιάζουν την ιδιωτικότητα σε μη εξουσιοδοτημένους τρίτους; Θα μπορούσε ένας βιαστής να την εκμεταλλευτεί για να παρακολουθεί δυνητικούς στόχους; Θα μπορούσε μία ξένη κυβέρνηση ή μια μαφία να την αξιοποιήσει ώστε να ξεθάψει τυχόν μυστικά κυβερνητικών υπαλλήλων με σκοπό να τους εκβιάσει; Ανεξάρτητα από την αθωότητα ή την ενοχή της Clearview AI ή το κατά πόσο νομιμοποιείται η δραστηριότητά της σε διάφορες χώρες βάσει των εκάστοτε νομοθετικών πλαισίων, αυτό το οποίο είναι ουσιώδους σημασίας είναι το επίτευγμά της στο να δραστηριοποιηθεί πάνω στα υφιστάμενα νομικά και ηθικά όρια με τρόπο που διαρρηγνύει τους φραγμούς αυτούς. Από εδώ και πέρα, μοιάζει να είναι ζήτημα χρόνου η εμφάνιση νέων παικτών που θα αντιγράψουν, είτε φανερά είτε κρυφά, την πρακτική της Clearview AI.

#### 4.1.5 Αυτοματοποίηση όπλων

Σχεδόν κάθε νέα τεχνολογία που εφευρίσκεται ή εξελίσσεται βρίσκει σχεδόν αμέσως εφαρμογή και στον τομέα της άμυνας. Δεν είναι μάλιστα λίγες οι φορές που κάποιες τεχνολογίες γεννήθηκαν και αναπτύχθηκαν εντός στρατιωτικών κόλπων. Οι τηλεπικοινωνίες, η κρυπτογράφηση, διάφοροι αισθητήρες και τα μη-επανδρωμένα σκάφη αποτελούν τυπικά παραδείγματα τέτοιων τεχνολογιών. Σύμφωνα με την έκθεση *Science & Technology Trends 2020-2040* του NATO [57], οι τεχνολογίες που δυνητικά θα αποτελέσουν την αιχμή του δόρατος για την Βορειοατλαντική Συμμαχία είναι:

- Big Data and Advanced Analytics (BDAA),
- Artificial Intelligence (AI),
- Autonomy,
- Space Technologies (ST),



- Hypersonic Weapon Systems (HWS),
- Quantum Technologies (QT),
- Bio- & Human Enhancement Technologies (BHET),
- NMM Novel Materials and Manufacturing (NMM).

Μπορεί η ανάπτυξη οπλικών συστημάτων να συντελείται από μια βιομηχανία που χαρακτηρίζεται ως Αμυντική, όμως κάθε τέτοιο σύστημα μπορεί να διατελέσει και επιθετικό ρόλο. Αυτό έχει εγείρει πολλούς προβληματισμούς στην ερευνητική κοινότητα, και ιδιαίτερα στους ερευνητές που ασχολούνται με τη Τεχνητή Νοημοσύνη και τη Ρομποτική. Το 2015, στο Διεθνές Κοινό Συνέδριο για την Τεχνητή Νοημοσύνη (International Joint Conference on Artificial 2015 - IJCAI-15) [58] που διεξήχθη στο Μπουένος Άιρες, συντάχθηκε μία ανοικτή επιστολή η οποία μέχρι σήμερα έχει υπογραφεί από περισσότερους από 30.000 ερευνητές και άλλους υποστηρικτές [59], μεταξύ αυτών και οι Stephen Hawking, Elon Musk (Paypal, Space-X, Tesla, Neuralink, Hyperloop, Solar City), Noam Chomsky, Steve Wozniak (Apple). Το περιεχόμενο της σύντομης επιστολής δηλώνει πως όπως οι επιστήμονες στον τομέα της Χημείας και της Βιολογίας **δεν** επιθυμούν την ανάπτυξη βιολογικών όπλων, έτσι και επιστήμονες στον τομέα της Τεχνητής Νοημοσύνης **δεν** επιθυμούν την ανάπτυξη ευφυών οπλικών συστημάτων. Αντιθέτως πιστεύουν ότι η Τεχνητή Νοημοσύνη διαθέτει εξαιρετική προοπτική για να ωφελήσει ποικιλοτρόπως την ανθρωπότητα και αυτός θα πρέπει να είναι ο μοναδικός της σκοπός. Ως εκ τούτου, οποιαδήποτε κούρσα ευφυών εξοπλισμών θεωρείται κακή ιδέα και θα πρέπει να γίνει πρόβλεψη απαγόρευσης των αυτόνομων επιθετικών οπλικών συστημάτων τα οποία ξεφεύγουν πέραν του ουσιαστικού και άμεσου ανθρωπίνου ελέγχου.

#### 4.1.6 Ανάγκη για ρυθμιστικό πλαίσιο

Η Τεχνητή Νοημοσύνη παρομοιάζεται στη σημαντικότητά της με τον ηλεκτρισμό και το Διαδίκτυο καθότι και τα δύο είναι πανταχού παρόντα και διαδραμάτισαν καθοριστικό ρόλο για την εξέλιξη της ανθρωπότητας μετασχηματίζοντας ολοκληρωτικά το τεχνολογικό τοπίο και δημιουργώντας νέες τάσεις σχεδόν σε κάθε έκφανση της ανθρώπινης δραστηριότητας, όπως στους τομείς της επικοινωνίας και της αγοράς. Για την λειτουργία του ηλεκτρισμού

θεσπίστηκαν πρότυπα ασφαλείας για τη παραγωγή, τη μεταφορά, τη διανομή, και τη λειτουργία του. Για το Διαδίκτυο, λόγω της διαφορετικής φύσης του, χρειάστηκε να παρθούν αποφάσεις κλειδιά ως προς την πολιτική της λειτουργίας του. Στις μέρες μας, είμαστε μάρτυρες της νεαρής ηλικίας της Τεχνητής Νοημοσύνης, και βάσει των αιτιολογημένων προβληματισμών που εγείρονται, εύλογα οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι είναι απαραίτητο να διαμορφωθεί ένα κανονιστικό πλαίσιο λειτουργίας το οποίο θα έχει ως πρωταρχικό σκοπό την προστασία του ανθρώπου και των δικαιωμάτων του.

Μολονότι η Ευρωπαϊκή Επιτροπή σημειώνει ότι υπάρχουν ήδη κανονιστικά πλαίσια που έχουν εφαρμογή στον τομέα της Τεχνητής Νοημοσύνης (όπως ο *“Γενικός Κανονισμός Προστασίας Δεδομένων”* (GDPR) [42] και η *“Οδηγία σχετικά με τα δικαιώματα των καταναλωτών”* [60]), η περίπλοκη φύση της τεχνολογίας αυτής αλλά και η απροσδιόριστη εξέλιξή της απαιτεί να ληφθούν πιο στοχευμένα μέτρα.

Τον Φεβρουάριο του 2020, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δημοσίευσε τη *“Λευκή Βίβλο για την Τεχνητή Νοημοσύνη - Μια Ευρωπαϊκή προσέγγιση για την αριστεία και την εμπιστοσύνη”* [61] η οποία περιέχει προτεινόμενα μέτρα και κανονισμούς για την προώθηση και υποστήριξη της ανάπτυξης και χρήσης της Τεχνητής Νοημοσύνης, εστιάζοντας σε τρεις βασικούς πυλώνες:

1. Ειδικές δράσεις για την υποστήριξη, την ανάπτυξη και την υιοθέτηση της Τεχνητής Νοημοσύνης σε ολόκληρο το φάσμα της οικονομίας και της δημόσιας διοίκησης της Ευρωπαϊκής Ένωσης.
2. Επιλογές για ένα μελλοντικό ρυθμιστικό πλαίσιο για την Τεχνητή Νοημοσύνη.
3. Πτυχές ασφάλειας και ευθύνης για την Τεχνητή Νοημοσύνη.

Το σχέδιο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής είναι να εγκαθιδρύσει δύο οικοσυστήματα. Το πρώτο θα αφορά την αριστεία, και δη την προώθηση της ανάπτυξης της Τεχνητής Νοημοσύνης αλλά και των πρωτοβουλιών που λαμβάνονται σχετικά με αυτή. Το δεύτερο, αφορά ένα οικοσύστημα εμπιστοσύνης το οποίο θα δομηθεί πάνω στην παρακολούθηση των κινδύνων που συνδέονται με την Τεχνητή Νοημοσύνη και στην παροχή διευκολύνσεων ως προς την ανάπτυξη νομικών πρωτοβουλιών. Μεταξύ των προτάσεών της, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή προτείνει μια εφαρμογή Τεχνητής Νοημοσύνης να θεωρείται επικίνδυνη όταν ο τομέας στον οποίο εφάπτεται ενέχει σημαντικούς κινδύνους ή όταν η ίδια η εφαρμογή μπορεί να αποτελέσει από μόνη της κίνδυνο. Η Λευκή Βίβλος έμεινε ανοικτή προς δημόσια

διαβούλευση μέχρι και τον Ιούνιο, ενώ τον Νοέμβριο του ίδιου έτους δημοσιεύθηκε η τελική έκθεση με τα αποτελέσματα των απαντήσεων που συγκέντρωσε [62]. Αξίζει να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη διαδικτυακή διαβούλευση αποτελεί μέρος μιας ευρύτερης διαδικασίας η οποία θα συμβάλει στην προετοιμασία διαφόρων ρυθμιστικών επιλογών. Ως εκ τούτου, μια πλήρης κανονιστική πρόταση αναμένεται να υποβληθεί κατόπιν εμπειριστατωμένης ανάλυσης του συνόλου των αποτελεσμάτων της ευρύτερης διαβούλευσης καθώς και της λεπτομερούς εκτίμησης των επιπτώσεων.

## 4.2 Προβληματισμοί περί Blockchain

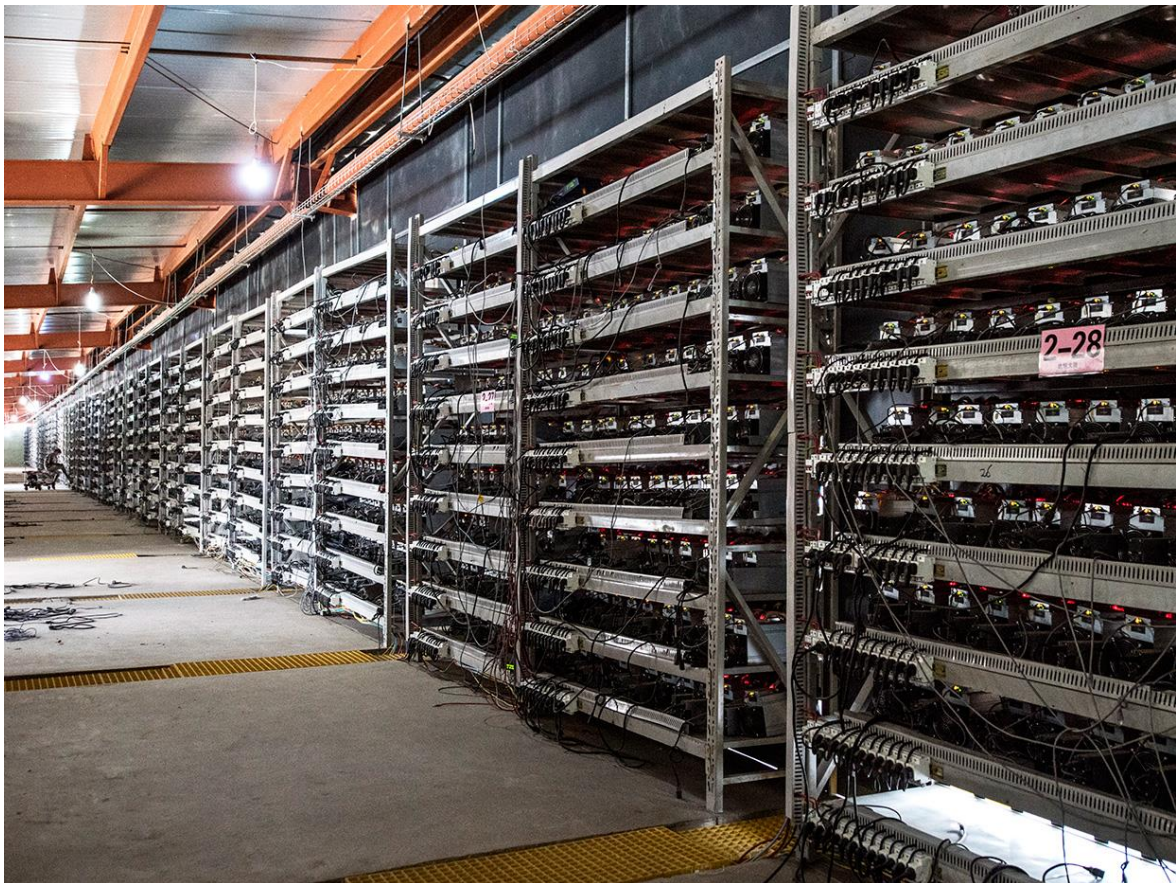
### 4.2.1 Περιβαλλοντικά ζητήματα

Για το Blockchain, οι κύριοι προβληματισμοί είναι το μέλλον της καταναλισκόμενης ενέργειας η οποία θα απαιτείται για την εξόρυξη κρυπτονομισμάτων και επαλήθευση blocks σε Αλυσίδες με μηχανισμό συναίνεσης τύπου *Proof of Work*. Το συγκεκριμένο θέμα έχει ιδιαίτερο περιβαλλοντικό και ηθικό αντίκτυπο, καθώς σύμφωνα με τη σχετική ιστοσελίδα του [Πανεπιστημίου του Cambridge](#) [38], στις 15 Μαρτίου 2021, το Bitcoin από μόνο του καταναλώνει 0,59% της παγκόσμια παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Φυσικά, συνυπολογίζοντας και άλλα κρυπτονομίσματα που βασίζονται σε PoW, όπως το Litecoin, το Monero και το Dogecoin, το ποσοστό αυτό αυξάνεται. Εξάιρεση αποτελεί το Ethereum καθώς βρίσκεται σε ένα στάδιο μετάβασης από μηχανισμό συναίνεσης *Proof of Work* σε *Proof of Stake* (Ethereum 2.0 [63]).

### 4.2.2 Αποσταθεροποίηση αγοράς

Μένοντας το θέμα της εξόρυξης, ένα επιπρόσθετο πρόβλημα που έχει δημιουργηθεί αφορά τις αυξανόμενες ανάγκες υπολογιστικής ισχύος για τις ανάγκες εξόρυξης. Οι μεμονωμένοι χρήστες-εξορύκτες, καλούνται να αναβαθμίζουν διαρκώς τις υπολογιστικές δυνατότητες των εξορυκτικών μηχανημάτων τους προκειμένου να κατορθώσουν να εξασφαλίσουν ένα στοιχειώδες κέρδος, ανταγωνιζόμενοι ολόκληρες φάρμες εξόρυξης που εδρεύουν κυρίως στην Κίνα. Στην προσπάθειά τους αυτή, αγοράζουν περισσότερες από μία κάρτες γραφικών

τελευταίας τεχνολογίας, ή όσο πιο σύγχρονες γίνεται με αποτέλεσμα η αγορά καρτών γραφικών να αντιμετωπίζει ήδη σοβαρά προβλήματα προσφοράς. Οι ελλείψεις που παρατηρούνται επηρεάζουν όχι μόνο τους χρήστες ηλεκτρονικών παιχνιδιών οι οποίοι καταλήγουν να μην απολαμβάνουν γραφικά τελευταίας τεχνολογίας στους τίτλους της επιλογής τους, αλλά και την ερευνητική κοινότητα η οποία δραστηριοποιείται στον τομέα της Μηχανικής Μάθησης και της Τεχνητής Νοημοσύνης. Η συγκεκριμένη κοινότητα βασίζεται ιδιαίτερα στην επεξεργαστική ισχύ των καρτών γραφικών για την υλοποίηση εκλεπτυσμένων μοντέλων. Οποιοσδήποτε συμβιβασμός με μικρότερη υπολογιστική ισχύ έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των χρόνων εκπαίδευσης και εκτέλεσης των μοντέλων, τη μείωση της παραγωγικότητας αλλά και της προόδου στον τομέα αυτό.



**Εικόνα 4.3:** Φάρμα εξόρυξης κρυπτονομισμάτων στην Κίνα

φωτογραφία από: *Stefen Chow*

πηγή: [IEEE Spectrum](https://spectrum.ieee.org/computing/networks/why-the-biggest-bitcoin-mines-are-in-china)

<https://spectrum.ieee.org/computing/networks/why-the-biggest-bitcoin-mines-are-in-china>

### 4.2.3 Απάτες

Η έντονη δραστηριότητα εξόρυξης κρυπτονομισμάτων δημιουργεί πόλους έλξης για άτομα, ή ομάδες ατόμων, που αποσκοπούν στο να εκμεταλλευτούν κάποια κενά ή καταστάσεις, παραβιάζοντας τους όποιους κανόνες, ώστε να επωφεληθούν εις βάρος των υπολοίπων συμμετεχόντων. Φυσικά, τέτοια γεγονότα δεν ανήκουν στη σφαίρα της θεωρίας ως ενδεχόμενα να συμβούν. Στην πραγματικότητα, τα δύο δημοφιλέστερα κρυπτονομίσματα έχουν ήδη πληγεί από κακόβουλες ενέργειες.

Πρώτο το Bitcoin, επλήγη το 2014 από το σκάνδαλο του Mt. Cox. Το Mt. Cox ήταν ένα ανταλλακτήριο Bitcoin που ιδρύθηκε το 2014 και μέχρι το 2014 έφτασε να διαχειρίζεται το 70% των συναλλαγών παγκοσμίως. Ξαφνικά, τον Φεβρουάριο του 2014, το Mt. Cox έπαυσε τη δραστηριότητά του και υπέβαλε αίτηση πτώχευσης. Το ανταλλακτήριο ανακοίνωσε ότι χάθηκαν περίπου 850.000 BTC, πιθανότατα λόγω κλοπής. Τα κρυπτονομίσματα αυτά ανήκαν όχι μόνο στην εταιρεία αλλά και σε πελάτες της. Το συνολικό ποσόν που απωλέσθη εκτιμήθηκε ότι ξεπερνούσε τα 450 εκατομμύρια δολάρια, βάσει της τότε ισχύουσας ισοτιμίας. Μπορεί στο διάστημα που ακολούθησε να βρέθηκαν περί τα 200.000 BTC, οι λόγοι απώλειάς τους όμως παραμένουν μέχρι σήμερα ομιχλώδεις, χωρίς να έχει καθοριστεί εάν πρόκειται για κλοπή, κακοδιαχείριση, απάτη ή κάποιο συνδυασμό αυτών.

Το 2016, ήταν η σειρά του Ethereum να επηρεαστεί. Το Decentralized Autonomous Organization (DAO) ήταν ακριβώς αυτό που περιέγραφε το όνομά του: ένας αποκεντρωμένος αυτόνομος οργανισμός. Λειτουργούσε ως ένα αυτόνομο, επενδυτικό, αποκεντρωμένο συμβόλαιο όπου όσοι συμμετείχαν μπορούσαν να δημιουργούν προτάσεις για επενδύσεις με ψηφοφορία επί των ETH tokens που κατείχε ο καθένας (*Proof of Stake*). Ένα μικρό ελάττωμα στον κώδικα του Smart Contract του ήταν αρκετό ώστε το εκμεταλλευτεί κάποιος άγνωστος και να αποσπάσει 3 εκατομμύρια ETH, με συνολική αξία μεγαλύτερη των 50 εκατομμυρίων δολαρίων, βάσει της τότε ισχύουσας ισοτιμίας. Η συγκεκριμένη κακόβουλη ενέργεια κλόνησε την εμπιστοσύνη προς το Ethereum με το δε ETH να καταγράφει απώλειες της τάξεως του 50% μέσα στο πρώτο 24ωρο από την επίθεση.

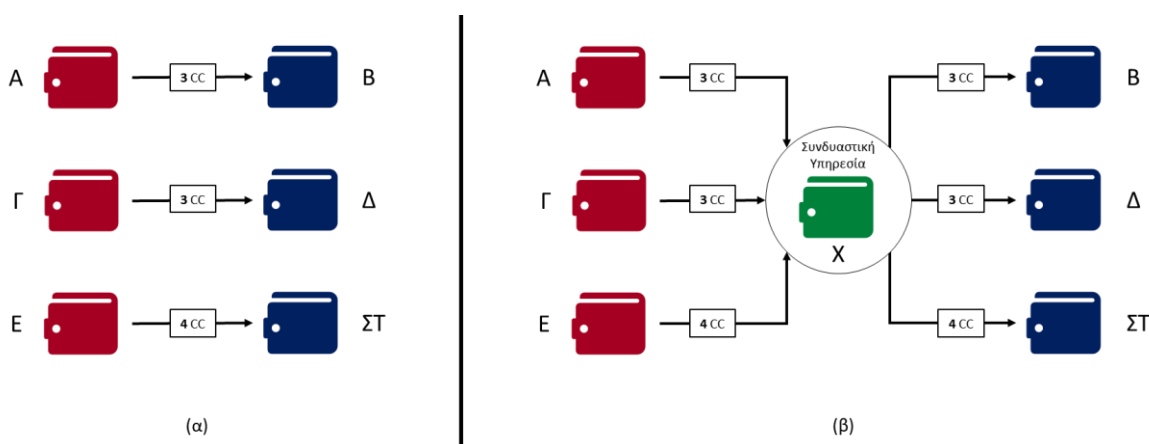
Πλην των ανωτέρω, και άλλα κρυπτονομίσματα έχουν κατά καιρούς πληγεί από απάτες. Πολλά από αυτά μάλιστα χρησιμοποιούν σχήματα Ponzi με “πυραμίδες επενδυτών” ώστε να προσελκύσουν κοινό και να αυξήσουν την αξία τους.

#### 4.2.4 Άλλες σκιάδεις δραστηριότητες

Φυσικά, η προσφερόμενη ανωνυμία που προσφέρουν τα blockchain δίκτυα, έχουν αποτελέσει πόλους έλξης και για άλλες παράνομες δραστηριότητες [64], όπως πληρωμή λύτρων, ξέπλυμα χρήματος και συναλλαγές αγοραπωλησιών όπλων, ναρκωτικών, κλπ. Αν και στην ουσία δεν πρόκειται για ανωνυμία αλλά για ψευδωνυμία, οι εγκληματίες φαίνεται ότι προτιμούν τα κρυπτονομίσματα ως μέσον συναλλαγής καθότι οι πραγματικές τους ταυτότητες δεν διατρέχουν ιδιαίτερο κίνδυνο να αποκαλυφθούν. Επίσης, οι μέθοδοι που χρησιμοποιούν για την μεταφορά κεφαλαίων προς τα κρυπτο-πορτοφόλια τους, κυρίως μέσω υπηρεσιών συνδυασμένων πορτοφολιών, καθιστούν πολύ δύσκολο τον εντοπισμό τους [65]. Πιο συγκεκριμένα, σε μια τυπική συναλλαγή, πραγματοποιείται μεταφορά κεφαλαίων απευθείας από ένα πορτοφόλι σε ένα άλλο. Ας υποθέσουμε ότι ως νομισματική μονάδα έχουμε το Κρυπτονόμισμα, με αρκτικόλεξο CC). Έστω ότι για μία δεδομένη στιγμή έχουμε τρεις εκκρεμείς συναλλαγές (**Εικόνα 4.4α**)

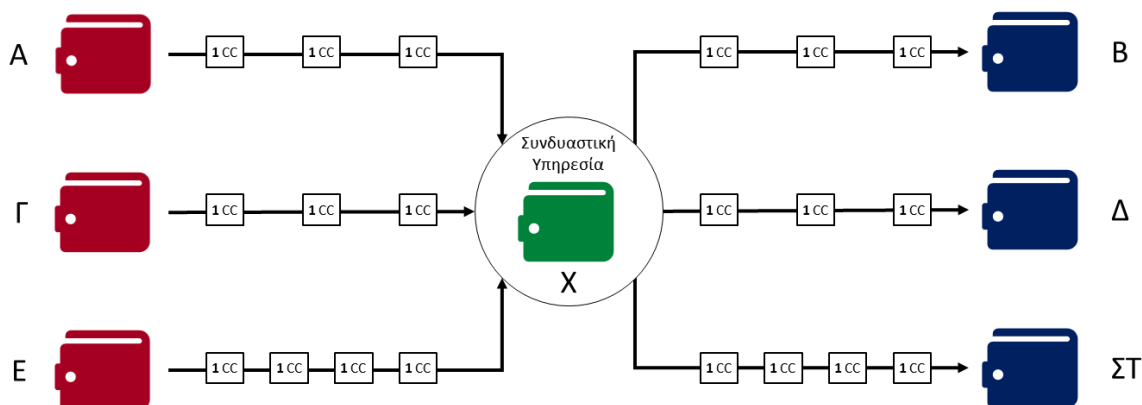
- 3 CC από το πορτοφόλι A στο πορτοφόλι B,
- 3 CC από το πορτοφόλι Γ στο πορτοφόλι Δ, και
- 4 CC από το πορτοφόλι E στο πορτοφόλι ΣΤ

και οι συναλλασσόμενοι κάνουν χρήση μιας ενδιάμεσης υπηρεσίας, που έναντι μιας μικρής προμήθειας, μπορεί να παρεμβληθεί μεταξύ των συναλλαγών ώστε να αποκρύψει την όποια ιχνηλασιμότητα των διακινούμενων κεφαλαίων (**Εικόνα 4.4β**).



**Εικόνα 4.4:** Απευθείας μεταφορά κρυπτονομισμάτων (α) ή μέσω συνδυαστικής υπηρεσίας (β)

Ακόμα και έτσι, δεν μπορούμε να αποδείξουμε εύκολα εάν ήταν το πορτοφόλι **A** ή το πορτοφόλι **Γ** εκείνο που έστειλε **3 CC** στο πορτοφόλι **B** ή στο πορτοφόλι **Δ**. Από την άλλη, είναι εύκολο να παρατηρήσουμε ότι το πορτοφόλι **E** έχει πολύ μεγάλη πιθανότητα να μετέφερε **4 CC** στο πορτοφόλι **ΣΤ**. Παρόλα αυτά, πολλές συνδυαστικές υπηρεσίες προτείνουν ή ορίζουν στους πελάτες τους να αποστέλλουν τα όποια κεφάλαια σε κατακερματισμένα ισόποσα πακέτα, ώστε κι εκείνη με τη σειρά της να τα προωθήσει στα πορτοφόλια-προορισμούς σε εξίσου κατακερματισμένα ισόποσα πακέτα. Αν φέρ' ειπείν στο προηγούμενο παράδειγμα η υπηρεσία αυτή ζητάει κατακερματισμό του ενός CC τότε η ροή εισερχόμενων και εξερχόμενων ποσών θα ήταν ως εξής:



**Εικόνα 4.5:** Μεταφορά κεφαλαίων μέσω συνδυαστικής υπηρεσίας κατακερματισμού

Τέτοιες πρακτικές δυσχεραίνουν εξαιρετικά το όποιο έργο ιχνηλάτισης καθώς στο παράδειγμά μας δεν μπορεί να υπάρξει βεβαιότητα για τη συσχέτιση προέλευσης-προορισμού του εκάστοτε πακέτου. Φυσικά, οι πραγματικές πρακτικές που εφαρμόζουν τέτοιες υπηρεσίες είναι πιο περίπλοκες σε σχέση με το δοθέν παράδειγμα. Σκοπός είναι πάντοτε η διασφάλιση, κατά το μέγιστο δυνατόν, της αδυναμίας ιχνηλάτισης των συναλλαγών του πελατολογίου τους.

#### 4.2.5 Ανάγκη για ρυθμιστικό πλαίσιο

Εδώ προκύπτει εύλογα η ανάγκη για τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου και ολιστικού σχεδίου δράσης που θα καθιερώσει ένα ρυθμιστικό πλαίσιο όχι μόνο για τα κρυπτονομίσματα αλλά και για όλα περιβάλλοντα blockchain που διαθέτουν δημόσια δραστηριότητα. Ένα τέτοιο εγχείρημα καθίσταται ιδιαίτερα δύσκολο και περίπλοκο καθώς θα πρέπει να τηρηθούν συγκεκριμένες ισορροπίες, όπως το δικαίωμα στην ανωνυμία, και το δικαίωμα στη λήθη [42] ενώ ταυτόχρονα θα πρέπει να υπάρχει πρόβλεψη σχετικά με τη νομιμοποίηση εσόδων από παράνομες δραστηριότητες, αλλά και δικλίδες ασφαλείας για την προστασία των συμμετεχόντων. Λόγω τη αποκεντρωμένης “διοίκησης” των blockchains, οι όποιοι νέοι κανονισμοί οριστούν από τα θεσμικά όργανα θα πρέπει να γίνουν κοινώς αποδεκτά από την κοινότητα της εκάστοτε Αλυσίδας. Για να επιτευχθεί αυτό, οι νέοι κανονισμοί θα πρέπει να σέβονται και να αποδέχονται την ιδιαίτερη φύση της τεχνολογίας Blockchain και οι όποιοι περιορισμοί τεθούν να μην περιορίζουν τη βιωσιμότητα και την εξέλιξη της.

Ένα θεωρητικό παράδειγμα, θα ήταν η αποδοχή ενός κρυπτονομίσματος από το υφιστάμενο χρηματοπιστωτικό σύστημα, με τις τράπεζες να μπορούν να το χρησιμοποιούν επίσημα για τις συναλλαγές που διεκπεραιώνουν. Για να επισημοποιηθεί όμως ένα κρυπτονόμισμα θα πρέπει να αποτινάξει οποιοδήποτε ενεργοβόρο μηχανισμό συναίνεσης διαθέτει (π.χ. PoW) και να μεταβεί σε κάποιον φιλικότερο προς το περιβάλλον (π.χ. PoS). Αυτό, θα μπορούσε δυνητικά να επηρεάσει προς τα άνω την αξία του εν λόγω κρυπτονομίσματος, το οποίο θα πρέπει να κάνει παραχωρήσεις που θα έχουν άμεσο θετικό αντίκτυπο στο περιβάλλον και την αγορά καρτών γραφικών και ημιαγωγών.

Σε κάθε περίπτωση, ένα ισορροπημένο ρυθμιστικό πλαίσιο θα πρέπει να επιφέρει ομαλοποίηση στο χώρο της τεχνολογίας Blockchain καθώς οι οδικοί χάρτες θα είναι πιο ξεκάθαροι και οι βάσεις για την ανάπτυξη της καινοτομίας θα είναι πιο στέρεες και σαφείς. Ήδη από τις αρχές του 2021 η πρόεδρος της Ευρωπαϊκής Κεντρικής Τράπεζας, Christine Lagarde, τόνισε την ανάγκη για ένα παγκόσμιο ρυθμιστικό πλαίσιο για το Bitcoin [66]. Αυτό δείχνει ότι υπάρχει ήδη μια σχετική κινητοποίηση και στα επόμενα χρόνια θα έχουμε τα πρώτα εμφανή αποτελέσματα των πρώτων ρυθμιστικών δράσεων.



## 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 5.1 Η Τεχνητή Νοημοσύνη και το Blockchain στην καινοτομία

Σύμφωνα με το εγχειρίδιο Frascati που δημοσιεύθηκε από τον Οργανισμό Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (Ο.Ο.Σ.Α.) [67] και έχει υιοθετήσει η Ευρωπαϊκή Ένωση, ως καινοτομία ορίζεται:

*“...ο μετασχηματισμός μιας ιδέας σε εμπορεύσιμα προϊόντα ή υπηρεσίες (νέα ή βελτιωμένα) σε μεθόδους παραγωγής και διανομής”*

Ως εκ τούτου, η καινοτομία αναφέρεται σε όλο το φάσμα της Έρευνας και Ανάπτυξης καθώς αντιπροσωπεύει τόσο τη διαδικασία όσο και το αποτέλεσμα της. Η Τεχνητή Νοημοσύνη και το Blockchain είναι δύο ρηξικέλευθες τεχνολογίες που κατέχουν όλα τα τυπικά προσόντα, και ακόμα παραπάνω, για να συνεισφέρουν σε αυτό. Η εφαρμογή της κάθε μίας προσφέρει τα δικά της πλεονεκτήματα. Ο δε συνδυασμός τους, μπορεί να αποφέρει αποτελέσματα με δραματικές διαφορές σε σχέση με τη μεμονωμένη υιοθέτηση τους.

Η Τεχνητή Νοημοσύνη προσθέτει αξία αντικαθιστώντας σημαντικά τον ανθρώπινο παράγοντα με αυτόνομα συστήματα. Ο αντίκτυπος της έχει ήδη εμφανή θετικά αποτελέσματα. Μπορεί να παρέχει ταχύτερες και αποτελεσματικότερες αποφάσεις, όχι μόνο προς την ποιοτική και τη ποσοτική αναβάθμιση της παραγωγής αλλά και για την διασφάλιση της σωματικής ακεραιότητας του ανθρώπινου δυναμικού, κυρίως όταν εφαρμόζεται σε τομείς αυξημένης επικινδυνότητας.

Το Blockchain, μολονότι νέο και αναδυόμενο ως τεχνολογία, αποτελεί την απόλυτη δικλείδα ασφαλείας του ψηφιακού κόσμου. Προσφέροντας αμεταβλητότητα δεδομένων και κώδικα στα απανταχού δίκτυά του, η τεχνολογία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εγκαθιδρύει αδιαμφισβήτητη αξιοπιστία και εμπιστοσύνη μεταξύ οποιονδήποτε συνεργαζόμενων πλευρών που επιθυμούν να συναλλαχθούν σε οποιοδήποτε επίπεδο.

Το κοινό χαρακτηριστικό που ξεχωρίζει αυτές τις δύο τεχνολογίες από άλλες εξίσου σημαντικές, είναι ότι διαθέτουν μια εξαιρετική προσαρμοστικότητα εφαρμογής σε πλήθος τομέων της ανθρώπινης δραστηριότητας, αυτοματοποιώντας από απλές διαδικασίες μέχρι ολόκληρες υποδομές, προσφέροντας παραγωγική ώθηση και προστιθέμενη αξία στο τελικό προϊόν ή υπηρεσία, με αποτέλεσμα την περαιτέρω προοπτική εξέλιξής τους.

Γίνεται ξεκάθαρο ότι η Τεχνητή Νοημοσύνη και το Blockchain αποτελούν ένα από τα ιδανικότερα τεχνολογικά ζευγάρια που μπορούν να δράσουν συμπληρωματικά μεταμορφώνοντας ριζικά οτιδήποτε αγγίζουν. Η ραγδαία εξάπλωση της παγκοσμιοποίησης, η αυξανόμενη πολυπλοκότητα των απανταχού διεργασιών και των απαιτήσεων ως προς τις προδιαγραφές των τελικών προϊόντων, όπως αυτές ορίζονται από τις ποικίλες και αυξανόμενες απαιτήσεις της αγοράς, ωθούν τις εταιρείες να αντικαθιστούν τις υφιστάμενες τεχνολογίες τους με νέες προηγμένες, προκειμένου να ανταποκρίνονται άμεσα και αποτελεσματικά στις σύγχρονες συνθήκες.

Η συνέργειά τους σε μια οποιαδήποτε εφαρμογή μπορεί να την εκτοξεύσει από λειτουργική, παραγωγική και οικονομική άποψη, καθιστώντας τις έτσι θεμελιώδεις τεχνολογικές δυνάμεις για τις προσεχείς δεκαετίες. Μαζί μπορούν να δημιουργούν και να οργανώνουν τεράστιες βάσεις δεδομένων με πολυποίκιλα datasets καθώς και να ενισχύσουν πρωτόκολλα κυβερνοασφάλειας, εκτελώντας διεργασίες σε κλάσματα του χρόνου συγκριτικά με τους ανθρώπους. Εδώ διαφαίνεται ότι ο συνδυασμός των δύο τεχνολογιών είναι τα Big Data: η Τεχνητή Νοημοσύνη μπορεί να τα διαχειρίζεται και να τα αναλύει γρήγορα και αποτελεσματικά, ενώ το Blockchain αναβαθμίζει την ποιότητα και την αξία τους μέσω των διαδικασιών διασφάλισης και της ευέλικτης προσβασιμότητας που προσφέρει. Όμως, το πιο ενδιαφέρον πεδίο της συνεργασίας τους, είναι η ανάπτυξη αλγορίθμων Τεχνητής Νοημοσύνης οι οποίοι θα τρέχουν σε περιβάλλον blockchain. Το συγκεκριμένο αντικείμενο αποτελεί στις μέρες μας ένα μεγάλο κεφάλαιο μελέτης και έρευνας καθώς τα αποτελέσματα που θα προκύψουν θα απελευθερώσουν την Τεχνητή Νοημοσύνη αποκεντρώνοντάς την και δίνοντάς της πρόσβαση σε τεράστιες ποσότητες δεδομένων, ενώ παράλληλα εξετάζεται και η αλληλεπίδραση διαφορετικών οντοτήτων Τεχνητής Νοημοσύνης μεταξύ τους.

## 5.2 Επικουρικές τεχνολογίες και η ευκαιρία του Αυτοματισμού

Η Τεχνητή Νοημοσύνη και το Blockchain προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα όπου εφαρμόζονται, και κυρίως όταν συνδυάζονται, όπως η αυξημένη αυτοματοποίηση, ο αποτελεσματικότερος έλεγχος, το μικρότερο λειτουργικό κόστος και η ενισχυμένη ασφάλεια τόσο στον υλικό όσο και στον ψηφιακό κόσμο.

Η Τεχνητή Νοημοσύνη παρέμενε για καιρό μόνο με τη μορφή μοντέλων μέχρις ότου άρχισαν να εμφανίζονται τα Big Data [68], οπότε και τροφοδοτήθηκε με πλούσιο υλικό για ανάλυση που οδήγησε αναπόφευκτα στην εξέλιξή της. Πλέον, σχεδόν όλοι οι κλάδοι της ανθρώπινης δραστηριότητας έχουν δεχτεί έστω ένα μικρό άγγιγμα από την Τεχνητή Νοημοσύνη. Εφαρμογές AI συναντάμε στην καθημερινότητά μας, από chatbots ψυχαγωγίας ή εξυπηρέτησης πελατών μέχρι και σε πλήρως αυτόνομα οχήματα. Η Τεχνητή Νοημοσύνη είναι ηγέτιδα δύναμη στην καινοτομία και επιταχύνει την εξέλιξη στη Βιομηχανία, βελτιώνοντας την ποιότητα λειτουργιών και περιουσιακών στοιχείων (assets). Από την άλλη, το Blockchain έχει αρχίσει να κερδίζει την εμπιστοσύνη της αγοράς καθώς προσφέρει διαφάνεια, αμεταβλητότητα, ασφάλεια και διαλειτουργικότητα για τη δημιουργία ολιστικών τεχνολογικών οικοσυστημάτων, τα οποία δεν ήταν εφικτό να υλοποιηθούν τα προηγούμενα χρόνια. Από τη σύμπραξη των δύο, οι τομείς της παραγωγής, των εφοδιαστικών αλυσίδων και της ενέργειας είναι ίσως οι τρεις κυριότεροι που θα ωφεληθούν τα μέγιστα καθώς οι σύγχρονες μονάδες τους λειτουργούν πλήρως αυτοματοποιημένες μέσω ενσωματωμένων αισθητήρων και έξυπνων τεχνολογιών.

Το σύνολο των δεδομένων μιας οποιαδήποτε οντότητας αποτελούν την απόλυτη ταυτότητα και ουσία της, σε οποιονδήποτε κλάδο και αν ανήκει: τεχνολογία, οικονομία, εμπόριο, υγεία, γεωργία, κτηνοτροφία, ενέργεια, κλπ. Τα Big Data που προκύπτουν συντελούν στη βελτίωση των διαδικασιών ολόκληρου του φάσματος δραστηριοτήτων του κάθε τομέα, μέσω της γνώσης που προκύπτει από τις διαρκείς αναλύσεις τους. Οι αναλύσεις αυτές απαιτούν ιδιαίτερους χειρισμούς ώστε τα εξαγόμενα συμπεράσματα να είναι ακριβή γι' αυτό και είναι ωφέλιμο να διενεργούνται από εξειδικευμένους αναλυτές (data analysts). Στον χώρο, μάλιστα, δραστηριοποιούνται ολόκληρες εταιρείες που δέχονται Big Data προς ανάλυση για την επίλυση ζωτικών ερωτημάτων του πελατολογίου τους.

Οι τεχνολογίες Διαδικτύου των Πραγμάτων φέρνει συνεχώς στο προσκήνιο νέους οικονομικότερους και αποδοτικότερους τρόπους συλλογής δεδομένων και επικοινωνίας μεταξύ των “πραγμάτων” [69]. Παράλληλα, η διάδοση των ασύρματων δικτύων 5<sup>ης</sup> γενιάς (5G) θα επιδράσει καθοριστικά στην μετάδοση δεδομένων τόσο ως προς τους διανεμόμενους όγκους τους όσο και από πλευράς ταχύτητας. Εκτιμάται ότι το 2025 ο αριθμός των ενεργών IoT συσκευών θα ξεπεράσει τα 25 δισεκατομμύρια με τον αριθμό των διακινούμενων δεδομένων να είναι υπερπολλαπλάσιος. Η νέα καθημερινότητα θα παράγει ακατάπαυστα Big Data, το μέγεθος των οποίων θα αυξάνει ταχύτατα. Με τις τεχνολογίες Διαδικτύου των Πραγμάτων να απαιτούν την απρόσκοπτη λειτουργία του Υπολογιστικού Νέφους ώστε τα απεσταλμένα δεδομένα να αποθηκεύονται και να διατηρούνται ασφαλή, τα δίκτυα 5G θα εξασφαλίζουν υψηλές ταχύτητες μετάδοσης τους ενώ το Blockchain θα διασφαλίζει την ακεραιότητά τους σε οποιοδήποτε αποθηκευτικό μέσον ή περιβάλλον σταλούν, συμπεριλαμβανομένου και εκείνων που βασίζονται σε τεχνολογίες Cloud.

Ο συνδυασμός Τεχνητής Νοημοσύνης και Blockchain, με την επικουρική συνεισφορά τρίτων τεχνολογιών, πάνω σε εφαρμογές αυτοματισμού μπορούν να προσδώσουν όλη την απαραίτητη δυναμική ώστε ο τομέας της παραγωγής να μεταβεί σε μια νέα εποχή όπου η αποδοτικότητα των διεργασιών θα αυξηθεί με ποιοτικά αποτελέσματα που θα είναι ορατά και μετρήσιμα. Για παράδειγμα:

- Δημιουργία νέων επιπέδων αυτοματοποίησης
- Βελτίωση ασφάλειας των δεδομένων
- Βελτιστοποίηση διεργασιών (ταχύτερες και ακριβέστερες)
- Αύξηση διαθέσιμης πρώτης ύλης μέσω ελαχιστοποίηση της φύρας
- Ταχύτερες διεκπεραιώσεις εκκρεμοτήτων μεταξύ εταίρων
- Περαιτέρω συρρίκνωση αρχιτεκτονικών
- Μείωση ενεργειακής κατανάλωσης
- Μείωση περιττού κόστους

Για την επίτευξη των παραπάνω, θα πρωτοστατήσουν οι εξελιγμένοι αλγόριθμοι της Τεχνητής Νοημοσύνης και τα Έξυπνα Συμβόλαια του Blockchain. Δεδομένου ότι η τεχνολογία Blockchain δείχνει ήδη δείγματα εδραίωσης της παρουσίας της, κρίνεται ιδιαίτερα χρήσιμοι οι νέες γενιές μηχανικών να αποκτούν έστω μια στοιχειώδη γνώση τόσο της τεχνολογίας

αυτής όσο και της Τεχνητής Νοημοσύνης, τουλάχιστον σε θεωρητικό επίπεδο, καθώς αυτές θα τείνουν να ενσωματώνονται σε νέα και υφιστάμενα συστήματα στο εγγύς μέλλον. Είναι χρήσιμο, λοιπόν, να γνωρίζουν την ταυτότητα, τη λειτουργία, τη χρησιμότητα και τα οφέλη τεχνολογιών που άπτονται του αντικειμένου τους, διότι θα το αναβαθμίζουν και θα προσθέτουν αξία σε αυτό.

### 5.3 Το μέλλον όπως προδιαγράφεται

Η Porsche είναι η πρώτη αυτοκινητοβιομηχανία που έχει προχωρήσει με ενσωμάτωση τεχνολογιών Blockchain σε οχήματα. Όλα ξεκίνησαν από ένα ερευνητικό έργο που επικεντρώθηκε στην ενίσχυση του Blockchain μέσω τεχνικών Ενισχυτικής Μάθησης και την ενσωμάτωση ενός νέου, διπλού μηχανισμού συναίνεσης που ονομάζεται *Practical Proof of Kernel Work* (PPoKW) που αποσκοπεί σε μεγάλες μειώσεις ενέργειας και στον εκδημοκρατισμό του δικτύου Blockchain, το οποίο περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, κινητές συσκευές χαμηλής ισχύος. Η Porsche ένωσε τις δυνάμεις της με τη Γερμανική XAIN, η οποία κέρδισε τον 1<sup>ο</sup> Διαγωνισμό Καινοτομίας της Porsche, με σκοπό να εργαστούν από κοινού στην αυτοματοποίηση του στόλου των αυτοκινήτων της και να αναβαθμιστεί η ασφάλεια των οδηγών. Ως εκ τούτου, αξιοποιήθηκαν τεχνικές που βασίζονται σε δεδομένα (*μτφρ. data-driven techniques*) και δημιουργήθηκε μια Αλυσίδα (Porsche-XAIN Vehicle Blockchain Network) όπου τα συνδεδεμένα σε αυτή αυτοκίνητα την τροφοδοτούν με δεδομένα κίνησης εντός μια γεωγραφικής περιοχής. Οι οδηγοί, μέσω των smartphones τους μπορούν να έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες κίνησης, να κλειδώσουν ή να ξεκλειδώσουν το όχημά τους με ασφάλεια, η ακόμα και να επιτρέψουν σε κάποιον τρίτο να οδηγήσει το όχημά τους, ακόμα και όταν οι ίδιοι δεν βρίσκονται στο σημείο. Η Porsche από πλευράς της, έχει πρόσβαση σε πλήρως αξιόπιστα και ελεγμένα δεδομένα για την έκδοση αναφορών ή πιστοποιητικών, αναβαθμίζοντας την έννοια της προληπτικής συντήρησης αλλά και της αυτόνομης οδήγησης μέσω ωφέλιμων δεδομένων για μια καλύτερη και ομαλότερη οδηγική εμπειρία χρήστη. Κατάφερε έτσι να ενισχύσει την εικόνα της ως προς την εμπιστοσύνη που της δείχνουν οι πελάτες της, παραμένοντας η ίδια πλήρως συμμορφούμενη με την Ευρωπαϊκό Γενικό

Κανονισμό Προστασίας Δεδομένων (GDPR [42]). Και αυτή είναι μόνο μια πρώτη επιτυχημένη ευρεία εφαρμογή, που μπορεί να λειτουργήσει ως φάρος για πολλές επόμενες.

Στατιστικά, η Τεχνητή Νοημοσύνη εκτιμάται ότι θα δημιουργήσει περίπου 100 δισεκατομμύρια δολάρια απόδοσης επένδυσης στις βιομηχανίες. Επίσης, όπως προβλέπει η McKinsey, έως το τέλος του 2025 η Τεχνητή Νοημοσύνη θα αποφέρει ετησίως 3,5 με 5,8 τρισεκατομμύρια δολάρια σε 19 βιομηχανίες των ΗΠΑ [70]. Οι περισσότερες βιομηχανίες εργάζονται για την υλοποίηση έργων Έξυπνων Πόλεων συνδυάζοντας τεχνολογίες Τεχνητής Νοημοσύνης και Blockchain, πάνω σε υπόβαθρα Internet of Things. Ο συνδυασμός αυτός προσφέρει σημαντικά οφέλη, κυρίως στον τομέα της ενεργειακής κατανάλωσης, μειώνοντας τις ανάγκες σε ενέργεια αλλά και περιορίζοντας τις άσκοπες σπατάλες.

Η Τεχνητή Νοημοσύνη, αν και έχει ωριμάσει, έχει ακόμα πολύ δρόμο να διανύσει παράλληλα με τις τεχνολογικές εξελίξεις. Το Blockchain φαίνεται να είναι ο φυσικός σύντροφός της σε αυτήν τη διαδρομή. Μαζί, θα συμπράξουν για μία καλύτερη, ευφυέστερη και αποδοτικότερη Βιομηχανία σε συνδυασμό με τις βελτιωμένες τεχνολογίες IoT και τα δίκτυα 5G. Φυσικά, όλοι οι επιμέρους χώροι της Βιομηχανίας θα ωφεληθούν και θα ακμάσουν εξαιτίας τους: η οικονομία και η δημόσια διοίκηση, η υγεία, ο τομέας της ενέργειας, ρομποτική, η έξυπνη γεωργία, η αυτόνομη οδήγηση και τα έξυπνα σπίτια, αποτελούν ελάχιστα από τα δυνατά παραδείγματα τομέων που θα αναβαθμιστούν τα προσεχή χρόνια με την υιοθέτηση της σύμπραξης Τεχνητής Νοημοσύνης και Blockchain.

Είναι πλέον σαφές ότι η τεχνολογία Blockchain έχει τη δυνατότητα να αντιμετωπίσει πολλές ανεπάρκειες σε διάφορους τεχνολογικούς τομείς, όπως αυτοί έχουν διαμορφωθεί μέχρι σήμερα. Ωστόσο, για να επιτευχθεί μια νέα επανάσταση, θα πρέπει να δημιουργηθεί μια συμπαγής ολοκλήρωσή της με την Τεχνητή Νοημοσύνη, όπου μαζί θα κατορθώσουν να μεταμορφώσουν υφιστάμενες τεχνολογίες τα τοπία των οποίων θεωρούμε σήμερα παγιωμένα.

Στη χώρα μας, αλλά και στην Κύπρο, δραστηριοποιούνται ήδη αξιόλογες εταιρείες στους τομείς της Τεχνητής Νοημοσύνης και στο Blockchain. Αναφορικά με το δεύτερο, οι δύο χώρες έχουν αναπτύξει τη τεχνογνωσία τους παρακολουθώντας αλλά και οδηγώντας τις εξελίξεις, τουλάχιστον σε Ευρωπαϊκό επίπεδο, έχοντας υλοποιήσει προϊόντα και λύσεις τόσο για τον ιδιωτικό όσο και για τον δοκιμαζόμενο δημόσιο τομέα [71] [72]. Ακόμα και η ερευνητική

κοινότητα της χώρας μας βρίσκεται παγκοσμίως σε πολύ καλό επίπεδο ως προς την καινοτομία και τις πρωτοβουλίες για την περαιτέρω εξέλιξη της τεχνολογίας Blockchain, με στόχους που φτάνουν ακόμα και στο διάστημα [73].

Τόσο το Blockchain όσο και η Τεχνητή Νοημοσύνη εμφανίζουν συνεχώς νέους τρόπους για να οδηγήσουν την τεχνολογία ένα βήμα παραπέρα. Δεν πρέπει να ξεχνούμε ότι και οι δύο τεχνολογίες βρίσκονται ακόμα σε σχετικά πρώιμο στάδιο, ωστόσο, οι δυο τους, ως μία διπλή τεχνολογία, μπορούν να οδηγήσουν τις εξελίξεις της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης.

## Βιβλιογραφία

- [1] Συντάκτες της Βικιπαίδειας, "Βιομηχανία," Βικιπαίδεια, Η Ελεύθερη Εγκυκλοπαίδεια, 2021.
- [2] Wikipedia contributors, "Three-sector model," Wikipedia, The Free Encyclopedia, 2021.
- [3] Wikipedia contributors, "Outline of industry," Wikipedia, The Free Encyclopedia, 2021.
- [4] A. M. Turing, "Computing Machinery and Intelligence," *Mind, Volume LIX, Issue 236*, pp. 433-460, October 1950.
- [5] I. Sample and A. Hern, "The Guardian," 9 June 2014. [Online]. Available: <https://www.theguardian.com/technology/2014/jun/09/scientists-disagree-over-whether-turing-test-has-been-passed>.
- [6] R. Borison, "Business Insider," 10 June 2014. [Online]. Available: <https://www.businessinsider.com/chat-with-program-that-passed-turing-test-2014-6>.
- [7] Δ. Καλλιγερόπουλος και Σ. Βασιλειάδου, *Ιστορία της Τεχνολογίας & των Αυτομάτων*, Αθήνα: Σύγχρονη Εκδοτική, 2005.
- [8] Wikipedia contributors, "The Laws of Thought," Wikipedia, The Free Encyclopedia, 2020.
- [9] W. McCulloch and W. Pitts, "A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity," *The bulletin of mathematical biophysics Volume 5*, pp. 115-133, December 1943.
- [10] D. O. Hebb, *The Organization of Behavior: A Neuropsychological Theory*, John Wiley & Sons Inc., 1949.
- [11] Wikipedia contributors, "Stochastic neural analog reinforcement calculator," Wikipedia, The Free Encyclopedia., 2021.
- [12] Wikipedia contributors, "Dartmouth workshop," Wikipedia, The Free Encyclopedia, 2021.
- [13] F. Rosenblatt, "The Perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain," *Psychological Review*, 65(6), p. 386–408, 1958.
- [14] J. McCarthy, "History of Lisp," Stanford University, 1996.



- [15] J. McCarthy, "Recursive Functions of Symbolic Expressions and Their Computation by Machine, Part I," *Communications of the ACM*, p. 184–195, April 1960.
- [16] B. Widrow and M. E. Hoff, "Adaptive Switching Circuits (Technical Report No.1553-1)," Stanford Electronics Laboratories, Stanford, CA, 1960.
- [17] F. Rosenblatt, "Mark I Perceptron Operators' Manual (Project PARA)," Cornell Aeronautical Laboratory Inc., Buffalo, NY, 1960.
- [18] F. Rosenblatt, "On the convergence of reinforcement procedures in simple perceptrons, Project PARA Technical Report No. VG-1196-G-4," 1960.
- [19] L. A. Zadeh, "Fuzzy Sets," *Information and Control Volume 8, Issue 3*, pp. 338-353, June 1965.
- [20] J. Weizenbaum, "ELIZA - A computer program for the study of natural language communication between man and machine," *Commun. ACM 9, 1*, p. 36–45, January 1966.
- [21] L. A. Zadeh , "Fuzzy Algorithms," *Information and Control, Volume 12, Issue 2*, pp. 94-102, February 1968.
- [22] M. L. Minsky and S. A. Papert, *Perceptrons: An Introduction to Computational Geometry (Expanded Edition)*, The MIT Press, 1969-1987.
- [23] Wikipedia contributors, "Prolog," Wikipedia, The Free Encyclopedia, 2021.
- [24] T. Winograd, "Understanding Natural Language," *Cognitive Psychology Volume 3, Issue 1*, pp. 1-191, January 1972.
- [25] I. Rechenberg, *Evolution strategy: Optimization of technical systems by means of biological evolution (Reprinted PhD thesis)*, Stuttgart: Frommann-Holzboog, 1973.
- [26] M. Minsky, *A Framework for Representing Knowledge*, Massachusetts Institute of Technology A.I. Laboratory, 1974.
- [27] J. H. Holland, *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence*, The MIT Press, 1975-1992.
- [28] A. Newell and H. A. Simon, "Computer Science as Empirical Inquiry: Symbols and Search," *Communications of the ACM, 19 (3)*, p. 113–126, 1976.

- [29] E. Pollitzer and J. Jenkins, "Expert knowledge, expert systems and commercial interests," *Omega*, vol. Vol. 13, no. Issue 5, pp. 407-418, 1985.
- [30] J. Hopfield, "Neural Networks and Physical Systems with Emergent Collective Computational Abilities," *Proceedings of the National Academy of Sciences* 79 (8), 1982.
- [31] M. Sugeno, "An Introductory Survey of Fuzzy Control," *Information Sciences (ISSN 0020-0255)*, vol. Volume 36, no. Issues 1-2, pp. 59-83, July-August 1985.
- [32] D. E. Rumelhart and J. L. McClelland, *Parallel distributed processing, Volume 1 - Explorations in the microstructure of cognition: Foundations*, The MIT Press, 1986.
- [33] J. R. Koza, *Genetic Programming - On the Programming of Computers by Means of Natural Selection*, The MIT Press, 1992.
- [34] D. B. Fogel, *Evolutionary Computation - Principles and Practice for Signal Processing*, SPIE Press, 1995.
- [35] Δ. Καλλιγερόπουλος και Σ. Βασιλειάδου, *Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου Ι*, Αθήνα: Σύγχρονη Εκδοτική, 2005.
- [36] J. C. Bezdek, "On the Relationship between Neural Networks, Pattern Recognition and Intelligence," *International Journal of Approximate Reasoning, Volume 6, Issue 2*, pp. 85-107, February 1992.
- [37] Wikipedia contributors, "Thomas Savery," Wikipedia, The Free Encyclopedia, 2021.
- [38] Cambridge Centre of Alternative Finance, "Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index (CBECI)," University of Cambridge - Judge Business School , [Online]. Available: <https://cbeci.org>. [Accessed 2021 March 2021].
- [39] C. Criddle, "Bitcoin consumes 'more electricity than Argentina'," 2021.
- [40] Wikipedia contributors, "Proof of Stake," Wikipedia, The Free Encyclopedia, 2021.
- [41] A. Frankenfield, "Proof of Stake (PoS)," Investopedia, 2021.
- [42] Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και Συμβούλιο, "Κανονισμός 2016/679 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την προστασία των φυσικών προσώπων έναντι της επεξεργασίας των δεδομένων προσωπικού χαρακτήρα και για την ελεύθερη κυκλοφορία των δεδομένων αυτών και την κατάργηση

της οδηγίας 95/46/EK," 27 Απρίλιος 2016. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=celex%3A32016R0679>.

- [43] "Homomorphic encryption," Wikipedia, [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Homomorphic\\_encryption](https://en.wikipedia.org/wiki/Homomorphic_encryption). [Accessed 15 Μάρτιος 2021].
- [44] K. Salah, M. H. Rehman, N. Nizamuddin and A. Al-Fuqha, "Blockchain for AI: Review and Open Research Challenges," *IEEE Access*, vol. Vol. 7, pp. 10127-10149, 1 January 2019.
- [45] S. Morgan, "Cybercrime To Cost The World \$10.5 Trillion Annually By 2025," Sausalito, 2020.
- [46] P. Boden, "The Emerging Era of Cyber Defense and Cybercrime," 2016.
- [47] J. Sosa, Director, *You Won't Believe What Obama Says In this Video!*. [Film]. Η.Π.Α.: BuzzFeed Motion Pictures, 2018.
- [48] A. F. NONPROFIT, "Reality Defender," [Online]. Available: <https://rd2020.org>. [Accessed 28 Μάρτιος 2021].
- [49] M. Warman, "Google warns against facial recognition database," *The Telegraph*, 18 May 2018.
- [50] Wikipedia contributors, "Richard Schwartz (politician)," Wikipedia, The Free Encyclopedia, 16 March 2021. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Richard\\_Schwartz\\_\(politician\)&oldid=1012426611](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Richard_Schwartz_(politician)&oldid=1012426611). [Accessed 4 April 2021].
- [51] "Florida law enforcement agencies use facial recognition to identify alleged thief," WFTV LLC, 27 December 2019. [Online]. Available: <https://www.wftv.com/news/local/florida-law-enforcement-agencies-use-facial-recognition-identify-alleged-thief/SGHPUGB5W5CX3FYVSLU7P6EV7I/>. [Accessed 4 April 2021].
- [52] "Clearview AI," [Online]. Available: <https://clearview.ai>. [Accessed 4 April 2021].
- [53] K. Hill, "The Secretive Company That Might End Privacy as We Know It," *The New York Times*, 18 January 2020.
- [54] K. Hill, "<https://www.nytimes.com/2021/03/18/technology/clearview-facial-recognition-ai.html>," *The New York Times*, 18 March 2021.
- [55] R. Mac, C. Haskins and L. McDonald, "Clearview's Facial Recognition App Has Been Used By The Justice Department, ICE, Macy's, Walmart, And The NBA," *BuzzFeed News*, 27 February 2020.

- [56] A. Holmes, "Clearview AI, the controversial facial-recognition company partnering with police, says its entire customer list was stolen in a breach," *Business Insider*, 26 February 2020.
- [57] D. Reding and J. Eaton, "Science & Technology Trends 2020-2040: Exploring the S&T Edge," Office of the Chief Scientist, Brussels, 2020.
- [58] "International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)," 15-31 July 2015. [Online]. Available: <https://ijcai-15.org>. [Accessed 1st April 2021].
- [59] "Autonomous Weapons: an Open Letter from AI & Robotics Researchers," 28 July 2015. [Online]. Available: <https://futureoflife.org/awos-signatories/>. [Accessed 1 April 2021].
- [60] Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και Συμβούλιο, "Οδηγία 2011/83/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 25ης Οκτωβρίου 2011 σχετικά με τα δικαιώματα των καταναλωτών...", 25 Οκτώβριος 2011. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/HTML/?uri=CELEX:32011L0083&from=EN>. [Accessed 11 Απρίλιος 2021].
- [61] European Commission, "White Paper on Artificial Intelligence - A European approach to excellence and trust," European Commission, Brussels, February 2020.
- [62] European Commission, "Public consultation on the AI White Paper - Final report," European Commission, Brussels, November 2020.
- [63] "Ethereum 2.0".
- [64] Ν. Θεοδωράκης, "Η Χρήση Κρυπτονομισμάτων για Παράνομες Δραστηριότητες και Σχετικές Νομοθετικές Πρωτοβουλίες," *The Art of Crime*, Νοέμβριος 2018.
- [65] I. DeMartino, Bitcoin: Ο Απόλυτος Οδηγός, Β ed., Δ. Καρανικολού, Ed., Εκδόσεις Φανταστικός Κόσμος, 2017.
- [66] A. Galloni, F. Canepa and B. Koranyi, "ECB's Lagarde calls for regulating Bitcoin's "funny business"," *Πρακτορείο Reuters*, 13 Ιανουάριος 2021.
- [67] OECD Publishing, Frascati Manual 2015: Guidelines for Collecting and Reporting Data on Research and Experimental Development, The Measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities (ISSN 2413-2756), Paris: OECD Publishing, 2015.

- [68] D. Pollock, "The Fourth Industrial Revolution Built On Blockchain And Advanced With AI," Forbes, 2018.
- [69] S. Verma, "Looking past the industrial future with AI, IoT and blockchain," IBM, 2021.
- [70] M. Chui, J. Manyika, M. Miremadi, R. Chung, P. Nel and S. Malhotra, "Notes from the AI frontier: Applications and value of deep learning," 2018.
- [71] akromolio.gr, "Το Blockchain σκοτώνει την ευκαιρία για απάτη με δημόσια έγγραφα. Ο Δήμος Άργους Μυκηνών πρωτοπόρος στην εφαρμογή του.," 2 Φεβρουαρίου 2021. [Online]. Available: <https://akromolio.gr/2021/02/%CF%84%CE%BF-blockchain-%CF%83%CE%BA%CE%BF%CF%84%CF%8E%CE%BD%CE%B5%CE%B9-%CF%84%CE%B7%CE%BD-%CE%B5%CF%85%CE%BA%CE%B1%CE%B9%CF%81%CE%AF%CE%B1-%CE%B3%CE%B9%CE%B1-%CE%B1%CF%80%CE%AC%CF%84%CE%B7-%CE%BC/>. [Accessed 11 Απριλίου 2021].
- [72] C. Zhang, "Files Authentication Manager for European Municipality," LTO Network, 20 November 2020. [Online]. Available: <https://blog.ltonetwork.com/files-authentication-manager-for-european-municipality/>. [Accessed 11 April 2021].
- [73] M. Broersma, "Space Waste Management Initiative Using Blockchain For Data Integrity & Transparency," LTO Network, 2 July 2020. [Online]. Available: <https://blog.ltonetwork.com/space-waste-blockchain-data-transparency>. [Accessed 11 April 2021].