



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**Συστήματα τεχνητής νοημοσύνης σε σιδηροδρομικά δίκτυα
πρόβλεψη, αποφυγή και ανάλυση ατυχημάτων**



Φοιτητής: Νίκας Άγγελος
ΑΜ: 42501

Επιβλέπων Καθηγητής:

Μακρυγιάννης Παναγιώτης
ΕΔΙΠ

ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2022



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

Diploma Thesis

**Artificial Intelligence systems in railways
prediction, avoidance and analysis of accidents**



Student: Nikas Angelos
Registration Number: 42501

Supervisor

Makrygiannis Panagiotis
EDIP

ATHENS-EGALEO, JANUARY 2022

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

Μακρυγιάννης Παναγιώτης	Αγγελή Χρυσάνθη	Παππάς Αλέξανδρος
ΕΔΙΠ	Καθηγήτρια	Αναπληρωτής Καθηγητής
(Υπογραφή)	(Υπογραφή)	(Υπογραφή)

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και Νίκας Άγγελος
Ιανουάριος, 2022

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Νίκας Άγγελος του Αντώνη, με αριθμό μητρώου 42501 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της 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 διπλώματός μου.

Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι (-) και έπειτα από αίτησή μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντος/ουσας καθηγητή/ήτριας.»

Ο Δηλών

Νίκας Άγγελος

Περίληψη

Σε αυτή την εργασία θα διερευνηθούν οι εφαρμογές συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης στο σιδηροδρομικό δίκτυο, με κεντρικούς άξονες διερεύνησης την αποφυγή, πρόληψη και πρόβλεψη ατυχημάτων. Αρχικά θα παρουσιαστούν βασικά στοιχεία γύρω από την τεχνητή νοημοσύνη, στοιχεία ορισμού και μια σύντομη ιστορική αναδρομή. Αφού περιγραφούν κάποιες από τις βασικότερες μεθόδους τεχνητής νοημοσύνης (συστήματα βασισμένα στη γνώση, γενετικοί αλγόριθμοι, ασαφή συστήματα και νευρωνικά δίκτυα), θα μελετηθεί η παρουσία της τεχνητής νοημοσύνης στις μεταφορές γενικότερα, με παραδείγματα από διάφορους τομείς των μεταφορών (αεροπλοΐα, MMM και συλλογική κινητικότητα). Ειδικά στο σιδηροδρομικό δίκτυο, η τεχνητή νοημοσύνη έχει οδηγήσει σε σημαντικές εφαρμογές, με σημαντικές δυνατότητες επέκτασης στο άμεσο μέλλον, όπως, μεταξύ άλλων, ανίχνευση βλαβών, ασφάλεια και προστασία σταθμού, αυτόνομη οδήγηση και έλεγχος του συρμού. Ένα σημείο έρευνας στις σιδηροδρομικές μεταφορές που μέχρι τώρα δεν έχει εισαχθεί η τεχνητή νοημοσύνη είναι η απόκριση σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, ειδικότερα σε τρομοκρατικό χτύπημα. Στο τελευταίο τμήμα της εργασίας, θα επιχειρηθεί η διαμόρφωση ενός έμπειρου συστήματος το οποίο θα περιγράφει κάποιες από τις πιθανές αποκρίσεις ενός συρμού σε διαφορετικά περιβάλλοντα μιας τρομοκρατικής επίθεσης (επιβεβαιωμένης ή μη). Τέλος, αφού παρουσιαστεί το σύστημα, θα σχολιαστούν πιθανές προκλήσεις που αντιμετωπίζει η τεχνητή νοημοσύνη στους σιδηροδρόμους, αλλά και πιθανές κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα.

Λέξεις – κλειδιά

Τεχνητή νοημοσύνη, σιδηροδρομικά δίκτυα, συρμός, έμπειρα συστήματα, τρομοκρατικό χτύπημα

Abstract

In this paper, we will be researching the applications of artificial intelligence systems in railways, focusing on the avoidance, prevention and prediction of accidents. Firstly, we will present key elements of artificial intelligence, definitional issues and a brief historic overview. After describing some of the major methods in artificial intelligence literature (knowledge-based systems, genetic algorithms, fuzzy systems and neural networks), we will study the presence of artificial intelligence in transportation, using examples from various transport sectors (airways, public transport and shared mobility). Specifically in railways, artificial intelligence has led to important applications, with great potential for future expansions in the immediate future, as, among others, fault detection, station security, automatic driving and independent train control. One area in railway literature that has not been researched through the lens of artificial intelligence, to date, is the automatic response in emergency situations, and more specifically in case of a terrorist attack. In the final part of this paper, we will attempt to create a rule-based expert system which will describe some of the possible responses a train can conduct in various forms of a terrorist attack (confirmed or not). Lastly, after the system is described, we will comment on possible challenges faced by artificial intelligence applications in railways, and suggest possible directions for future research.

Keywords

Artificial intelligence, railways, train, expert systems, terrorist attack

Περιεχόμενα

Κατάλογος Εικόνων	9
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : Τεχνητή Νοημοσύνη	12
1.1 Η νοημοσύνη	12
1.2 Η τεχνητή νοημοσύνη	14
1.3 Ιστορικά στοιχεία.....	15
1.4 Μέθοδοι τεχνητής νοημοσύνης	19
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Τεχνητή νοημοσύνη στο σιδηροδρομικό δίκτυο	22
2.1 Τεχνητή νοημοσύνη στις μεταφορές	22
2.2 Εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης στους σιδηροδρόμους	25
2.3 Το μέλλον της τεχνητής νοημοσύνης στους σιδηροδρόμους	28
3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : Εφαρμογή τεχνητής νοημοσύνης στο σιδηροδρομικό δίκτυο.....	32
3.1 Επίθεση σε σιδηροδρομικό περιβάλλον	32
3.2 Έμπειρα συστήματα.....	33
3.3 Πλαίσιο Εφαρμογής.....	35
3.4 “Attack”	38
4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	52
Αναφορές.....	55
Παράρτημα Α	57

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1 Η βασική δομή του τεστ Τιούρινγκ (<https://www.andreaminini.com/en/artificial-intelligence/turing-test>)

Εικόνα 1.2 Η μηχανή Τιούρινγκ (<http://www.lateralmag.com/columns/sampling-eras/computing-from-turing-to-today>)

Εικόνα 1.3 Το ρομπότ Shakey (<https://thenewstack.io/remembering-shakey-first-intelligent-robot>)

Εικόνα 2.1 Ενδεικτική λειτουργία ITS (<https://www.enersys.com/en-gb/industries/safety-security/traffic-intelligent-transportation-systems-its/>)

Εικόνα 2.2 Πορεία λειτουργίας γενετικού αλγορίθμου (https://www.researchgate.net/figure/The-basic-components-of-genetic-algorithms_fig3_338658394)

Εικόνα 3.1 Πορεία λειτουργίας ενός έμπειρου συστήματος βασισμένου στη γνώση (<https://www.javatpoint.com/expert-systems-in-artificial-intelligence>)

Εικόνα 3.2 Αρχική σελίδα expert system

Εικόνα 3.3 Δέντρο αποφάσεων

Εικόνα 3.4 Αποσκευή χωρίς επιτήρηση

Εικόνα 3.5 Πακέτο εντολών

Εικόνα 3.6 Σύνολο κανόνων

Εικόνα 3.7 Πίνακας κανόνων

.....

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η πρόοδος της τεχνολογίας στη σημερινή εποχή έχει οδηγήσει σε μεγάλες αλλαγές στην καθημερινότητα του ανθρώπου, με τόσο θετικές όσο και αρνητικές προεκτάσεις. Στο πλαίσιο της συνεχούς και αλματώδους προόδου, η τεχνητή νοημοσύνη έχει πλέον γίνει μέρος των περισσότερων πτυχών της ζωής μας. Τροφοδοτούμενη από τις συνεχώς αυξανόμενες ποσότητες ψηφιακών δεδομένων και την πρόοδο στην τεχνητή νοημοσύνη, η λήψη αποφάσεων ανατίθεται όλο και περισσότερο σε αυτοματοποιημένες διαδικασίες. Αυτές οι διαδικασίες αυτοματοποιημένης λήψης αποφάσεων (automated decision-making ή ADM) αφορούν σε διάφορους τομείς της ζωής μας, για παράδειγμα στην επικοινωνία με αλγορίθμους που δημιουργούν εξατομικευμένες προτάσεις ειδήσεων και διαφημίσεων βασισμένες στην διαδικτυακή συμπεριφορά των χρηστών, ρυθμίζουν τη δραστηριότητα των χρηστών σε πλατφόρμες κοινωνικής δικτύωσης, εντοπίζουν ύποπτα προφίλ ή ακόμα δημιουργούν αυτόματα ειδησεογραφικές ιστορίες. Στον τομέα της

δημόσιας υγείας, οι διαδικασίες ADM έχουν εισαχθεί μέσω εικονικών προπονητών υγείας που συνιστούν δραστηριότητες σε χρήστες ή μέσω συνεχών επιστημονικών συζητήσεων για το πώς θα μπορούσαν να βοηθήσουν σε διαδικασίες πρόγνωσης. Η παρουσία τους αυξάνεται επίσης στον δικαστικό τομέα όπως και στον τομέα της επιβολής του νόμου. Για παράδειγμα, στις Ηνωμένες Πολιτείες, χρησιμοποιούνται ήδη αλγόριθμοι για να αξιολογηθεί ποιός μπορεί να είναι κατάλληλος για πρόωρη απόλυση από τη φυλακή ή για ποινική καταδίκη (Araujo et.al, 2020).

Η έρευνα γιατί η τεχνητή νοημοσύνη έχει σημασία να αναπτυχθεί στον σύγχρονο κόσμο είναι σημαντική λόγω των τεράστιων πιθανών πλεονεκτημάτων της στην καθημερινή ζωή των ανθρώπων. Αυτά περιλαμβάνουν σοβαρές βελτιώσεις στην υγεία, την παραγωγή, την κινητικότητα και τη λήψη αποφάσεων, καθώς και έμμεσα οφέλη, όπως κέρδη αποδοκτικότητας σε επιχειρήσεις ή διάφορες συσκευές που παρέχουν καινοτομία ή ψυχαγωγία στον κόσμο. Ακόμη και φαινομενικά κενές σε περιεχόμενο εφαρμογές μπορούν να δημιουργήσουν κεφάλαιο, τεχνογνωσία και δεδομένα, τα οποία θα μπορούσαν τελικά να οδηγήσουν σε πιο ουσιαστικές εξελίξεις. Για παράδειγμα, εργαλεία αναγνώρισης εικόνας που τελειοποιήθηκαν μέσω πειραμάτων χρησιμοποιώντας εικόνες από γάτες έχουν επαναχρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό καρκίνων στο ανθρώπινο σώμα. Ακόμη, τεχνογνωσία που έφερε η ανάπτυξη τεχνητής νοημοσύνης για εφαρμογές σε παιχνίδια, έχει επαναχρησιμοποιηθεί στην υγειονομική περίθαλψη με διάφορους τρόπους. Ωστόσο, αυτές οι τεχνολογίες και οι συναφείς επιχειρηματικές πρακτικές παρουσιάζουν επίσης νομικές, κοινωνικές, ηθικές και οικονομικές προκλήσεις (Boucher, 2020).

Σε αυτό το περιβάλλον, ειδικά την τελευταία πεναετία η κατάσταση στην οποία βρίσκεται ο επιστημονικός κλάδος της τεχνητής νοημοσύνης έχει σημειώσει σημαντικές αλλαγές προς το καλύτερο. Νέα ανεξάρτητα ερευνητικά εργαστήρια ανοίγουν γρήγορα τη νοοτροπία “closed source” των μεγάλων εργαστηρίων. Παρά το δόγμα ότι η έρευνα της τεχνητής νοημοσύνης θα συγκεντρωνόταν ολοένα και περισσότερο σε μερικούς μεγάλους παίκτες (οικονομικά ισχυρές επιχειρήσεις), το χαμηλότερο κόστος και η πρόσβαση στους υπολογιστές οδήγησαν σε έρευνα αιχμής που προέρχεται από πολύ μικρότερα, προηγουμένως άγνωστα εργαστήρια. Η ασφάλεια είναι ένας ακόμη κλάδος που σημειώνει άλματα, με περίπου 300 ερευνητές ασφαλείας να εργάζονται σε μεγάλα εργαστήρια τεχνητής νοημοσύνης, σε σύγκριση με λιγότερους από 100 τα προηγούμενα χρόνια. Επίσης, η αυξανόμενη αναγνώριση των μεγάλων ακαδημαϊκών κύκλων για την ασφάλεια της τεχνητής νοημοσύνης είναι ένα καλό σημάδι για το μέλλον της ασφαλείας της τεχνητής νοημοσύνης σαν κυρίαρχο επιστημονικό κλάδο. Ταυτόχρονα, το ερευνητικό χάσμα Κίνας-ΗΠΑ για την τεχνητή νοημοσύνη συνέχισε να διευρύνεται, με τα κινεζικά ιδρύματα να παράγουν 4,5 περισσότερα επιστημονικά άρθρα από τα αμερικανικά ιδρύματα από το 2010 και σημαντικά περισσότερα από τις ΗΠΑ, την Ινδία, το Ηνωμένο Βασίλειο και τη Γερμανία μαζί. Επιπλέον, η Κίνα προηγείται σημαντικά σε τομείς της τεχνολογίας με επιπτώσεις στην ασφάλεια

και τη γεωπολιτική, όπως η επιτήρηση, η αυτονομία, η αναγνώριση σκηνών και η ανίχνευση αντικειμένων (Benaich & Hogarth, 2022).

Σε αυτή την εργασία θα ασχοληθούμε με τις εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης στο σιδηροδρομικό δίκτυο, ακολουθώντας τα παρακάτω ερευνητικά ερωτήματα :

Τι είναι η τεχνητή νοημοσύνη και ποιά ήταν η εξέλιξή της ;

Πώς έχουν ενταχθεί εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης στον τομέα των μεταφορών ;

Πώς έχουν ενταχθεί εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης στο σιδηροδρομικό δίκτυο ;

Πώς εκτιμάται ότι θα συνεχίσει η πορεία της τεχνητής νοημοσύνης στους σιδηροδρόμους στο μέλλον ;

Πώς μπορεί η τεχνητή νοημοσύνη στους σιδηροδρόμους να λειτουργήσει σε περιβάλλοντα τρομοκρατικής επίθεσης ;

Υπάρχουν ζητήματα ηθικής ;

Ένα σημείο έρευνας στις σιδηροδρομικές μεταφορές που μέχρι τώρα δεν έχει εισαχθεί η τεχνητή νοημοσύνη είναι η απόκριση σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, ειδικότερα σε τρομοκρατικό χτύπημα. Για αυτό, θα επιχειρήσουμε τη διαμόρφωση ενός έμπειρου συστήματος το οποίο θα περιγράφει κάποιες από τις πιθανές αποκρίσεις ενός συρμού σε διαφορετικά περιβάλλοντα μιας τρομοκρατικής επίθεσης (επιβεβαιωμένης ή μη).

Αρχικά θα παρουσιάσουμε βασικά στοιχεία γύρω από την τεχνητή νοημοσύνη, στοιχεία ορισμού και μια σύντομη ιστορική αναδρομή. Αφού περιγράψουμε κάποιες από τις βασικότερες μεθόδους τεχνητής νοημοσύνης, θα ασχοληθούμε με την παρουσία της τεχνητής νοημοσύνης στις μεταφορές γενικότερα, με παραδείγματα από διάφορους τομείς των μεταφορών. Στη συνέχεια θα συζητήσουμε συγκεκριμένες εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης στους σιδηροδρόμους, τόσο στο παρόν όσο και στο μέλλον. Στο τελευταίο τμήμα της εργασίας, θα παρουσιάσουμε την πειραματική δημιουργία ενός έμπειρου συστήματος, το οποίο προσδιορίζει κάποιες αυτοματοποιημένες διαδικασίες απόκρισης ενός συρμού σε περίπτωση τρομοκρατικού χτυπήματος υπό διάφορες μορφές. Τέλος, αφού παρουσιαστεί το σύστημα, θα σχολιαστούν πιθανές προκλήσεις που αντιμετωπίζει η τεχνητή νοημοσύνη στους σιδηροδρόμους, αλλά και πιθανές κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα.

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : Τεχνητή Νοημοσύνη

1.1 Η νοημοσύνη

Ο ορισμός της έννοιας της νοημοσύνης είναι μια διαδικασία σύνθετη, όπως συμβαίνει και με κάθε αντίστοιχη έννοια. Προσπαθώντας να τον προσεγγίσουμε γλωσσικά, σύμφωνα με το ερμηνευτικό λεξικό του Cambridge νοημοσύνη ορίζεται η *“ικανότητα κανείς να μαθαίνει, να κατανοεί και να κρίνει ή να εκφέρει γνώμες βασισμένες στη λογική”*. Στο λεξικό Merriam-Webster η νοημοσύνη παίρνει δύο ορισμούς : *“η ικανότητα κανείς να μαθαίνει ή να κατανοεί ή να αντιμετωπίζει νέες ή δύσκολες καταστάσεις”* και *“η ικανότητα κανείς να εφαρμόζει τη γνώση για να χειριστεί το περιβάλλον του ή για να σκεφτεί αφηρημένα , όπως μετράται από αντικειμενικά κριτήρια (όπως τεστ)”*.

Από τον τομέα της αναπτυξιακής ψυχολογίας, ο Howard Gardner το 1983 διατύπωσε τη θεωρία της πολλαπλής νοημοσύνης , η οποία υπήρξε επαναστατική για την εποχή, παρά το γεγονός ότι δέχτηκε και δέχεται ακόμα κριτικές επί της επιστημονικής της εγκυρότητας. Σύμφωνα με τον Gardner, σε κάθε ανθρώπινο εγκέφαλο διακρίνονται οχτώ τύποι νοημοσύνης (Gardner, 1983) :

- Σωματική / Κινησθητική

Η ικανότητα κανείς να χειρίζεται το σώμα του αλλά και την αλληλεπίδραση αυτού με αντικείμενα του περιβάλλοντός του, λόγω οξυμένης αντίληψης της σχέσης σώματος και νου. Ο τύπος νοημοσύνης αυτός αφορά τόσο στις φυσικές ή σωματικές ικανότητες όσο και στη λεπτότητα, ακρίβεια και σταθερότητα των ανθρώπινων κινήσεων.

- Διαπροσωπική

Η ικανότητα κανείς να επικοινωνεί αποτελεσματικά με τους γύρω του, τόσο λεκτικά όσο και σημειολογικά. Ο τύπος νοημοσύνης αυτός αφορά και στην ενσυναίσθηση, τη δυνατότητα του ανθρώπου να αντιλαμβάνεται την ψυχική διάθεση του συνομιλητή του μέσω εκφράσεων ή κινησιολογίας.

- Ενδοπροσωπική

Η ικανότητα κανείς να αντιλαμβάνεται τα δικά του συναισθήματα και σκέψεις και να επιδεικνύει αισθήματα αναγνώρισης και εκτίμησης προς τον εαυτό του και προς άλλους.

- Γλωσσική

Η ικανότητα κανείς να εκφράζεται μέσω λέξεων και γλωσσικών συνόλων και να εκτιμά τη σύνθετη γλωσσική έκφραση. Η γλωσσική νοημοσύνη καλλιεργείται μέσω της ανάγνωσης, της γραφής και

της προφορικής χρήσης της γλώσσας κατά τη διήγηση γεγονότων.

- Λογική / Μαθηματική

Η ικανότητα κανείς να χρησιμοποιεί λογικούς συλλογισμούς, αφηρημένη σκέψη και να εξάγει συμπεράσματα βάσει μοτίβων. Αφορά επίσης σε ικανότητες διασύνδεσης εννοιών, κατηγοριοποίησης και εξαγωγής αποτελεσμάτων χρησιμοποιώντας πρότερη γνώση.

- Μουσική

Η ικανότητα κανείς να αντιλαμβάνεται καθαρά τους ήχους, να διακρίνει μεταξύ διαφόρων συχνοτήτων, ηχοχρωμάτων και τόνων. Σημαντικό σημείο αναγνώρισης της μουσικής νοημοσύνης είναι, εκτός της δυνατότητας αναπαραγωγής ρυθμού, ο συντονισμός με έναν αυτοδημιουργημένο ρυθμό (χτύπημα δαχτύλων, μουρμούρισμα).

- Φυσική

Η ικανότητα κανείς να διακρίνει τα ζόντα στοιχεία του περιβάλλοντος από τα μη ζόντα και να εκτιμά το φυσικό περιβάλλον γύρω του.

- Χωροταξική

Η ικανότητα κανείς να αντιλαμβάνεται τον τρισδιάστατο χώρο γύρω του, αλλά και στο ευρύτερο περιβάλλον του. Δείγματα αυτού του τύπου νοημοσύνης αποτελούν ο προσανατολισμός έναντι σταθερού σημείου, η δυνατότητα αντίληψης χώρων χωρίς φυσικό μοντέλο και η διαχείριση λαβυρινθοειδών χωρικών διατάξεων.

Σε κάθε προσπάθεια ορισμού της νοημοσύνης προκύπτουν κενά ή μικρές διαφοροποιήσεις, χωρίς επιστημονικά να υπάρχει σαφής διάκριση μεταξύ νοημοσύνης, ταλέντου, ικανότητας και δεξιότητας. Στη διαδικασία ορισμού εμπλέκονται συναφείς έννοιες όπως δημιουργικότητα, συνείδηση, συναίσθημα και διαίσθηση (Engelbrecht, 2007). Τα κοινά στοιχεία όμως που μπορούμε να εξάγουμε από κάθε προσπάθεια ορισμού είναι πως η νοημοσύνη αφορά στον ανθρώπινο νου και τις ακούσιες ή εκούσιες διεργασίες του και πως η βάση κάθε νοήμονος διαδικασίας είναι η αναφορά της στη λογική. Η λογική αυτή, όταν συνδυαστεί με ένα σύνολο σταθερών αντιλήψεων και πρότερων γνώσεων που κατέχει κανείς, θα αποτελέσει την κοινή λογική (Βλαχάβας et.al, 2006).

1.2 Η τεχνητή νοημοσύνη

Η διαδικασία ορισμού της τεχνητής νοημοσύνης αντιμετωπίζει αντίστοιχα θέματα με αυτήν της νοημοσύνης. Έχουν κατά καιρούς διατυπωθεί πολλοί ορισμοί, με κοινό σημείο τον στόχο να “γίνουν οι μηχανές πιο έξυπνες” (Γεωργούλη, 2015). Σύμφωνα με τους ερευνητές Rich & Knight, *“Τεχνητή Νοημοσύνη είναι η μελέτη του πώς να κάνουμε τους υπολογιστές ικανούς να κάνουν πράγματα στα οποία προς το παρόν οι άνθρωποι τα καταφέρνουν καλύτερα”* (Rich, 1990). Στα ίδια πλαίσια, δηλαδή με έμφαση στον παραλληλισμό με την ανθρώπινη νοημοσύνη, κινείται και ο ορισμός σύμφωνα με τον οποίο *“Τεχνητή Νοημοσύνη είναι εκείνος ο κλάδος της επιστήμης των υπολογιστών που ασχολείται με τον σχεδιασμό ευφυών υπολογιστικών συστημάτων, δηλαδή συστημάτων με χαρακτηριστικά τα οποία σχετίζονται με την ευφυΐα στην ανθρώπινη συμπεριφορά (μάθηση, αιτίαση, επίλυση προβλημάτων, κατανόηση φυσικής γλώσσας, αναγνώριση αντικειμένων κλπ)”* (Γεωργούλη, 2015).

Το ευρύ πεδίο της τεχνητής νοημοσύνης μπορεί να αναλυθεί σε πρώτο επίπεδο μέσω δύο βασικών υποκατηγοριών συγγενών εννοιών, εκείνων της κλασικής ή συμβολικής τεχνητής νοημοσύνης (symbolic AI) και της υπολογιστικής ή συνδετικής νοημοσύνης (computational / connectionist intelligence). Η συμβολική τεχνητή νοημοσύνη είναι εκείνη που μελετά την ανθρώπινη νοητική διεργασία και στοχεύει να την προσομοιάσει μέσω αλγοριθμικών δομών και συμβόλων (Βλαχάβας, 2006). Η υπολογιστική νοημοσύνη δεν προϋποθέτει την επίδειξη γενικευμένης νοημοσύνης από τη μηχανή, αλλά προσφέρει τεχνικές για επίλυση προβλημάτων οι οποίες προκύπτουν από τη μίμηση κάποιων βιολογικών διεργασιών, όπως πχ κάποιες λειτουργίες του ανθρώπινου εγκεφάλου (Γεωργούλη, 2015). Το βασικό σημείο διαφοροποίησης των υποκατηγοριών αυτών είναι η αναφορά στην ανθρώπινη νοημοσύνη και ειδικότερα στο κατά πόσο τα μηχανικά συστήματα “σκέφτονται” όπως ο άνθρωπος ή “μιμούνται” κάποιες από τις διαδικασίες της ανθρώπινης σκέψης και παράγουν αποτελέσματα.

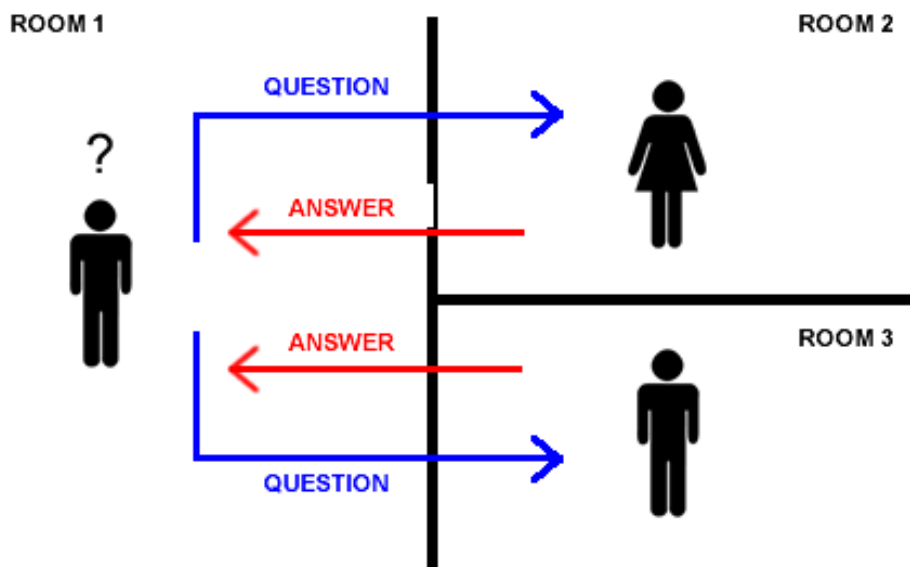
Στη συνέχεια της εργασίας θα χρησιμοποιήσουμε τον ορισμό που προτείνει η Ευρωπαϊκή Επιτροπή από το 2018, σύμφωνα με τον οποίο *“Ο όρος τεχνητή νοημοσύνη αφορά σε συστήματα που επιδεικνύουν ευφυή συμπεριφορά αναλύοντας το περιβάλλον τους και λαμβάνοντας δράση -με κάποιο βαθμό αυτονομίας- για να επιτύχουν συγκεκριμένους σκοπούς”*. Επιλέγεται αυτός ο ορισμός γιατί δεν θέτει περιορισμούς στις μεθόδους και τις τεχνικές που αναπτύσσει και χρησιμοποιεί η τεχνητή νοημοσύνη (Boucher, 2020), ούτε στο είδος των στόχων που προσπαθεί να επιτύχει. Ταυτόχρονα αφήνει ανοιχτό για μελλοντικές έρευνες τον βαθμό αυτονομίας των “έξυπνων” συστημάτων, τα οποία και χαρακτηρίζει έτσι χωρίς να τα παραλληλίζει άμεσα με την ανθρώπινη νοημοσύνη.

1.3 Ιστορικά στοιχεία

Η ακριβής ιστορική στιγμή γέννησης της τεχνητής νοημοσύνης δεν είναι σαφής, αλλά μπορούμε να εντοπίσουμε τα σημεία εκείνα στον χρόνο όπου τέθηκαν οι βάσεις για τις έννοιες που την περιγράφουν (Γεωργούλη, 2015). Ήδη από τον 4ο π.Χ. αιώνα και τους *Συλλογισμούς* του Αριστοτέλη εμφανίζεται μια “αυτόματη” διαδικασία εξαγωγής συμπερασμάτων, των οποίων η ορθότητα εξαρτάται μόνο από την ορθότητα των υποθέσεων που έχουν διατυπωθεί σε πρότυπα εκφράσεων. Αρκετούς αιώνες αργότερα, αλλά ακόμη σε πρώιμο στάδιο, η τεχνητή νοημοσύνη εμφανίζεται μέσω της προτασιακής λογικής που διατυπώνει ο George Boole το 1854 (Βλαχάβας, 2006). Λίγα χρόνια αργότερα, το 1879 ο Gottlob Frege προτείνει ένα σύστημα αυτοματοποιημένης συλλογιστικής και θέτει τις βάσεις του κατηγορηματικού λογισμού (predicate calculus).

Η βασική ιστορική πορεία της τεχνητής νοημοσύνης ξεκινά τον 20ο αιώνα, όπου και γνωρίζει μεγάλη εξέλιξη. Χάρη στην ανακάλυψη του μικροσκοπίου στις αρχές του αιώνα, οι επιστήμονες μπόρεσαν να παρατηρήσουν τη δομή του νευρικού συστήματος του ανθρώπου και τις συνδέσεις μεταξύ των νευρώνων. Η έρευνα σε αυτόν τον τομέα, οδήγησε το 1943 τους Warren McCulloch και Walter Pitts να καταγράψουν το νευρικό σύστημα και να δημιουργήσουν μέσω ηλεκτρικού συστήματος ένα τεχνητό νευρικό δίκτυο (Καραλέγκου, 2021). Πρόκειται για ένα δίκτυο νευρώνων, που προσομοιάζοντας τη λειτουργία του ανθρώπινου νευρικού συστήματος μπορούσε να μαθαίνει και να υπολογίζει κάθε υπολογίσιμη συνάρτηση (Βλαχάβας, 2006).

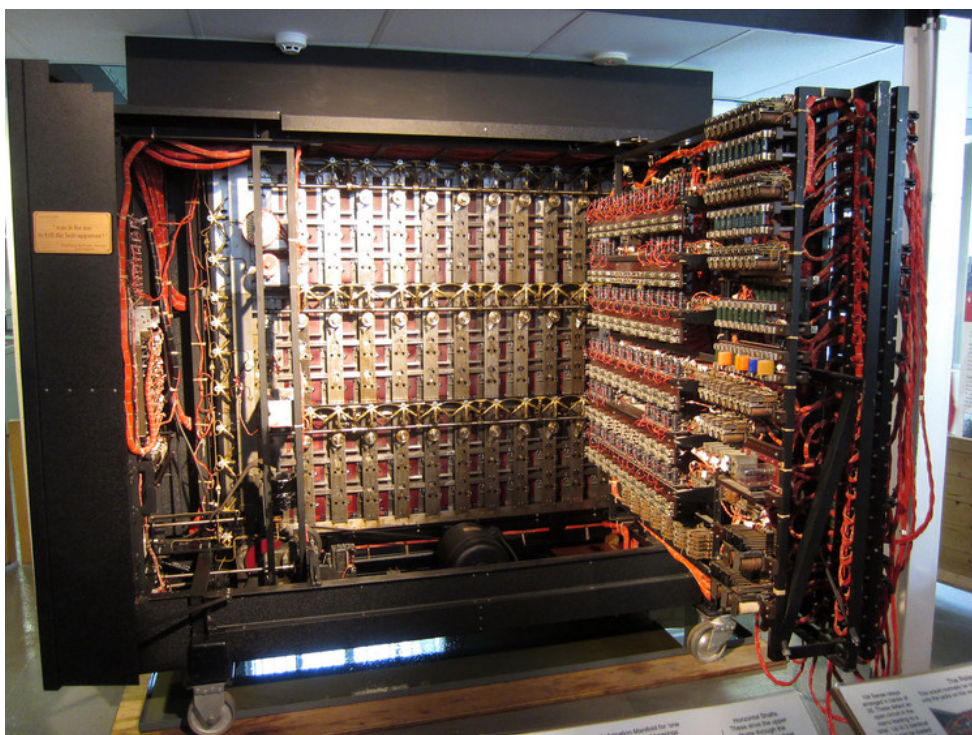
Μία από τις σημαντικότερες, αν όχι η σημαντικότερη, τομές στην ανάπτυξη της τεχνητής νοημοσύνης είναι το τεστ Turing (ή *δοκιμασία μίμησης*), το οποίο διατύπωσε το 1950 ο Alan Turing, ο οποίος θεωρείται “πατέρας” της τεχνητής νοημοσύνης. Ο μαθηματικός Alan Mathison Turing περιγράφει το ακόλουθο είδος παιχνιδιού. Έστω ότι έχουμε ένα άτομο, μία μηχανή και έναν ανακριτή. Ο ανακριτής βρίσκεται σε ένα δωμάτιο διαχωρισμένο από το άλλο άτομο και τη μηχανή. Το αντικείμενο του παιχνιδιού για τον ανακριτή είναι να καθορίσει ποιός από τους άλλους δύο είναι το άτομο και ποιά η μηχανή. Ο ανακριτής γνωρίζει το άτομο και τη μηχανή με τις ταμπέλες “X” και “Y” και, στην αρχή τουλάχιστον, δεν γνωρίζει ποιος από τα δύο είναι το “X”. Στο τέλος του παιχνιδιού ο ανακριτής λέει είτε ότι το “X” είναι ο άνθρωπος και το “Y” η μηχανή ή αντίστροφα. Ο ανακριτής επιτρέπεται να θέσει ερωτήσεις στο άτομο και στη μηχανή του ακόλουθου είδους: “Μπορεί το X να μου πει αν το X παίζει σκάκι;” Όποιος από τα δύο είναι το “X” πρέπει να απαντήσει στις ερωτήσεις που απευθύνονται στο “X”. Ο σκοπός της μηχανής είναι να προσπαθήσει να οδηγήσει τον ανακριτή λανθασμένα στο συμπέρασμα ότι η μηχανή είναι το άλλο άτομο. Αντιθέτως ο σκοπός του άλλου ατόμου είναι να βοηθήσει τον ανακριτή να αναγνωρίσει ορθώς τη μηχανή.



Εικόνα 1.1 Η βασική δομή του τεστ Τιούρινγκ

Σχετικά με αυτό το παιχνίδι ο Turing είπε:

“Πιστεύω ότι σε ένα διάστημα πενήντα περίπου χρόνων θα είναι δυνατό να προγραμματίσουμε υπολογιστές με αποθηκευτικό χώρο της τάξεως του 10^9 , να τα κάνουμε να παίζουν το παιχνίδι της μίμησης τόσο καλά που ένας μέσος ανακριτής δεν θα έχει πιθανότητες πάνω από 70 τις εκατό ώστε να κάνει τη σωστή αναγνώριση έπειτα από πέντε λεπτά ανάκρισης. Πιστεύω ότι στα τέλη του αιώνα η χρήση των λέξεων και της εμπειρισταωμένης γνώμης θα έχουν διαφοροποιηθεί τόσο σε σημείο που κάποιος θα μπορεί να μιλάει για τις μηχανές σκεπτόμενος δίχως να περιμένει να έρθει σε αντίφαση.”



Εικόνα 1.2 Η μηχανή Τιούρινγκ

Το πρώτο νευρωνικό δίκτυο δημιουργείται από τους Minsky και Edmonds το 1951, και ονομάζεται SNARC (*Stochastic Neural Analog Reinforcement Calculator*). Το SNARC λειτουργούσε με 40 νευρώνες και χρησιμοποιούσε 3.000 λυχνίες, έχοντας σαφείς αναφορές στον τρόπο λειτουργίας του ανθρώπινου εγκεφάλου. Το 1956 ο John McCarthy πρότεινε τον όρο “τεχνητή νοημοσύνη” σαν το θέμα ενός συνεδρίου στο Κολέγιο του Dartmouth στο New Hampshire, στο οποίο συμμετείχαν οι John McCarthy, Marvin Minsky, Claude Shannon και Nathaniel Rocheste. Το συνέδριο αυτό, όπου συζητήθηκαν τα νευρωνικά δίκτυα και η ανάπτυξη της ευφυΐας, υπήρξε καθοριστικό για την πορεία της τεχνητής νοημοσύνης σαν επιστήμη, καθώς εκεί ήταν όπου καθιερώθηκε και επικράτησε ο όρος (Καραλέγκου, 2021). Το 1958, ο McCarthy όρισε τη συναρτησιακή γλώσσα LISP, ενώ ο Friedberg πρότεινε μια νέα τεχνική που ονόμασε “μηχανική εξέλιξη” (machine evolution), η οποία αποτέλεσε τη βάση για την ανάπτυξη των γενετικών αλγορίθμων αργότερα (Βλαχάβας, 2006).

Κατά τη δεκαετία του 1960, στο πανεπιστήμιο του Stanford οι ερευνητές ξεκίνησαν να δουλεύουν πάνω στο πρώτο ρομπότ, με το όνομα Shakey. Το έργο αυτό που ολοκληρώθηκε την επόμενη δεκαετία, αποτέλεσε την πρώτη μηχανή που δεν χρειαζόταν ανθρώπινες οδηγίες για κάθε βήμα μιας διαδικασίας, αλλά μπορούσε να σπάει μια κεντρική εντολή σε μικρότερες διαδικασίες από μόνο του (Βλαχάβας, 2006). Το 1965 και 1968, ο Zadeh θα εισάγει για πρώτη φορά τους όρους “Ασαφή Σύνολα” και “Ασαφείς Αλγόριθμοι” αντίστοιχα. Το 1968 κυκλοφόρησε σε επιστημονικούς κύκλους από τον Tom Evans το πρόγραμμα ANALOGY το οποίο μπορούσε αυτόνομα να λύσει προβλήματα γεωμετρικής αναλογίας που χρησιμοποιούνταν σε τεστ ευφυΐας. Παράλληλα εκείνα τα χρόνια το Υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ ενδιαφέρθηκε για αυτόν τον νέο επιστημονικό κλάδο και μέσω της Υπηρεσίας Προηγμένων Ερευνητικών Προγραμμάτων Άμυνας (Defense Advanced Research Projects Agency - DARPA) χρηματοδότησε ενεργά την έρευνα στο πεδίο της τεχνητής νοημοσύνης (Καραλέγκου, 2021).

Στα μέσα της δεκαετίας του 1960 μια μερίδα ερευνητών, ενθαρρυμένοι από την αυξανόμενη ισχύ και διαθεσιμότητα των ηλεκτρονικών υπολογιστών γενικής χρήσεως και εμπνευσμένοι από το όνειρο της τεχνητής νοημοσύνης στο επίπεδο του ανθρώπου, σχεδίαζαν συστήματα με στόχο τη γνήσια γλωσσική κατανόηση και τον διάλογο. Οι τεχνικές και οι θεωρητικές βάσεις που χρησιμοποιήθηκαν διέφεραν σημαντικά από προηγούμενες απόπειρες. Ένα παράδειγμα ενός τέτοιου προγράμματος ελάχιστα εξαρτημένου από τη από τη γλωσσική ή γνωστική θεωρία ήταν το ELIZA του Joseph Weizenbaum, προορισμένο να μιμείται έναν ψυχοθεραπευτή, το οποίο ήταν και η πρώτη μηχανή που επιχείρησε το τεστ Turing. Το ELIZA βασίστηκε στην αντιστοίχιση εισαγόμενων δεδομένων των χρηστών σε αποθηκευμένα μοτίβα (εν συντομία αλληλουχίες λέξεων με αριθμημένες υποδοχές που συμπληρώνονται στην είσοδο). Το πρόγραμμα επέστρεφε ένα από τα σύνολα προτύπων εξόδου συσχετιζόμενα με το αντίστοιχο μοτίβο εισαγωγής. Παρόλο που το

ELIZA και τα σύγχρονα, μεταγενέστερά του διαλογικά ρομπότ (chatbots) συχνά κατηγορούνται ότι βασίζονται σε τεχνάσματα, μπορεί να υποστηριχθεί ότι η ανθρώπινη λεκτική συμπεριφορά είναι σε κάποιο βαθμό αντανakλαστική της μεθόδου του ELIZA. Για παράδειγμα λειτουργούμε με “προ-προγραμματισμένο” ή συμβατικό τρόπο σε συγκεκριμένες συνθήκες όπως η ανταλλαγή χαιρετισμών ή η απάντηση σε σχόλια σε ένα θορυβώδες πάρτι, όπου τα σχόλια, πέραν από μία περιστασιακή λέξη, μας διέφυγαν (Weizenbaum, 1966).



Εικόνα 1.3 Το ρομπότ Shakey

Κατά τη δεκαετία του 1970 η τεχνητή νοημοσύνη σαν επιστημονικός κλάδος επικρίθηκε αρκετά ως συστήματα κατάλληλα μόνο για παιχνίδια (toy problems) (Βλαχάβας, 2002). Παρά την κριτική, εκείνη τη δεκαετία δημοσιεύτηκαν αρκετές επιστημονικές μελέτες για την τεχνητή νοημοσύνη με έμφαση στη σχέση των συστημάτων με τις ανθρώπινες και φυσικές διεργασίες (Γεωργούλη, 2015). Παράλληλα εμφανίστηκε σε πειραματική μορφή το πεδίο των εμπειρων συστημάτων (expert systems) και των συστημάτων γνώσης (knowledge systems), και αναπτύχθηκε η γλώσσα λογικού προγραμματισμού PROLOG. Τη δεκαετία του 1980 η έρευνα στράφηκε πάλι προς τα νευρωνικά δίκτυα, ταυτόχρονα με πολλές προσπάθειες για κατασκευή υπολογιστών με γλώσσα μηχανής την PROLOG (Βλαχάβας, 2006). Το 1987 πραγματοποιείται το πρώτο συνέδριο με θέμα τα νευρωνικά δίκτυα του IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers).

Τη δεκαετία του 1990 παρατηρήθηκαν κάποιες δραματικές αλλαγές στο περιεχόμενο και τη μεθοδολογία της έρευνας της τεχνητής νοημοσύνης (Sadek, 2007). Το κέντρο εστίασης του πεδίου μετατοπίζεται προς τη θεμελίωση των μεθόδων τεχνητής νοημοσύνης σε μια αυστηρή μαθηματική βάση, όπως και στην αντιμετώπιση πραγματικών προβλημάτων. Επιπλέον υπάρχει μια κίνηση προς ΠΑΔΑ, Τμήμα ΠΟΛ.ΜΗΧ., Διπλωματική Εργασία, Νίκας Άγγελος

την ανάπτυξη υβριδικών ευφυών συστημάτων (π.χ., συστήματα που χρησιμοποιούν παραπάνω από μία μέθοδο τεχνητής νοημοσύνης) που προέρχονται από την αναγνώριση ότι αρκετές μέθοδοι τεχνητής νοημοσύνης είναι συμπληρωματικές η μία προς την άλλη. Τα υβριδικά ευφυή συστήματα ξεκίνησαν επίσης να χρησιμοποιούν νεότερα πρότυπα στη βιολογική συμπεριφορά όπως τους γενετικούς αλγόριθμους (genetic algorithms) και την ασαφή λογική (fuzzy logic).

1.4 Μέθοδοι τεχνητής νοημοσύνης

Επί του παρόντος, οι μέθοδοι τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες (Γεωργούλη, 2015):

- Τη συμβολική τεχνητή νοημοσύνη (symbolic AI), η οποία εστιάζει στην εξέλιξη των συστημάτων που βασίζονται στη γνώση (knowledge-based systems ή KBS)
- Την υπολογιστική νοημοσύνη, η οποία περιλαμβάνει μεθόδους όπως τα νευρωνικά δίκτυα (neural networks ή NN), τα ασαφή συστήματα (fuzzy systems ή FS) και την εξελεκτική υπολογιστική.

Μία πολύ σύντομη εισαγωγή σε αυτές τις μεθόδους τεχνητής νοημοσύνης δίνεται παρακάτω (Sadek, 2007):

- Συστήματα Βασισμένα στη Γνώση (KBS)

Το KBS μπορεί να οριστεί ως ένα υπολογιστικό σύστημα ικανό να δίνει συμβουλές σε έναν συγκεκριμένο τομέα, χρησιμοποιώντας πληροφορίες που παρέχονται από εξειδικευμένα άτομα. Η ειδοποιός διαφορά του KBS βρίσκεται στον διαχωρισμό πίσω από τη γνώση, ο οποίος μπορεί να απεικονιστεί με διάφορους τρόπους όπως κανόνες, πλαίσια ή περιπτώσεις και τη μηχανή εξαγωγής συμπεράσματος ή τον αλγόριθμο που χρησιμοποιεί το γνωστικό υπόβαθρο για να καταλήξει σε ένα συμπέρασμα.

- Νευρωνικά Δίκτυα (NN)

Τα NN είναι βιολογικά εμπνευσμένα συστήματα αποτελούμενα από ένα μαζικά συνδεδεμένο δίκτυο υπολογιστικών νευρώνων, οργανωμένο σε στρώματα. Προσαρμόζοντας το δίκτυο στάθμισης, τα νευρωνικά δίκτυα μπορούν να “εκπαιδευτούν” στο να προσεγγίζουν πρακτικά οποιαδήποτε μη γραμμική συνάρτηση σε έναν απαιτούμενο βαθμό ακρίβειας. Τα NN εφοδιάζονται τυπικά με ένα σύνολο υποδειγμάτων εισόδου και εξόδου. Έτσι ένας αλγόριθμος μάθησης θα

χρησιμοποιούταν για να ρυθμίσει τη στάθμιση στο δίκτυο έτσι ώστε το δίκτυο να δώσει τα επιθυμητά δεδομένα εξόδου, σε μία μορφή μάθησης κοινώς γνωστή ως επιβλεπόμενη μάθηση.

- Ασαφή Συστήματα (FS)

Η θεωρία των ασαφών συνόλων προτάθηκε από τον Zadeh (1965) ως μέσο αντιμετώπισης της αμφισημίας που συνδέεται σχεδόν με όλα τα προβλήματα στον αληθινό κόσμο. Το ασαφές σύνολο συναρτήσεων συμμετοχής παρέχει έναν τρόπο να δείξουμε ότι ένα αντικείμενο μπορεί εν μέρει να ανήκει σε ένα σύνολο. Η κλασική θεωρία συνόλων καθορίζει σαφή όρια μεταξύ των συνόλων, το οποίο σημαίνει ότι ένα αντικείμενο μπορεί μονάχα να είναι μέλος ή μη μέλος ενός δεδομένου συνόλου. Οι ασαφείς συναρτήσεις συμμετοχής επιτρέπουν τις σταδιακές μεταβάσεις μεταξύ των συνόλων και των ποικίλων βαθμών συμμετοχής για αντικείμενα εντός συνόλων. Η πλήρης συμμετοχή σε μια ασαφή συνάρτηση υποδεικνύεται με την τιμή του +1, ενώ η πλήρης μη-συμμετοχή εμφανίζεται με την τιμή του 0. Η μερική συμμετοχή αναπαρίσταται από μία τιμή μεταξύ του 0 και +1.

-Γενετικοί Αλγόριθμοι (GAs)

Οι γενετικοί αλγόριθμοι (GAs) είναι στοχαστικοί αλγόριθμοι των οποίων οι μέθοδοι αναζήτησης βασίζονται στην αρχή της επιβίωσης του καταλληλότερου (survival of the fittest). Τα τελευταία χρόνια, τα GAs έχουν εφαρμοστεί σε ένα ευρύ φάσμα δύκολων προβλημάτων βελτιστοποίησης για τα οποία οι προσεγγίσεις λύσεων μέσω του κλασικού μαθηματικού προγραμματισμού δεν ήταν οι κατάλληλες. Η βασική ιδέα πίσω από τα GAs είναι πολύ απλή. Η διαδικασία ξεκινάει δημιουργώντας τυχαία έναν αρχικό πληθυσμό ατόμων, όπου κάθε άτομο ή χρωμόσωμά του αντιπροσωπεύει μία πιθανή λύση στο υπό εξέταση πρόβλημα. Κάθε λύση αξιολογείται για να δώσει ένα μέτρο της “υγείας” του. Έτσι δημιουργείται ένας νέος πληθυσμός επιλέγοντας τα πιο κατάλληλα άτομα. Κάποια μέλη αυτού του νέου πληθυσμού υφίστανται αλλοιώσεις μέσω γενετικών επεμβάσεων (αναφέρονται χαρακτηριστικά ως επεμβάσεις διασταύρωσης και μετάλλαξης) για να διαμορφώσουν νέες λύσεις. Αυτή η διαδικασία αξιολόγησης, επιλογής και τροποποίησης επαναλαμβάνεται για έναν αριθμό διαδοχικών προσεγγίσεων. Μετά από κάποιον αριθμό γενεών, αναμένεται ότι ο αλγόριθμος “συγκλίνει” σε μία σχεδόν βέλτιστη λύση.

Επιπρόσθετα στις προαναφερθείσες μεθόδους τεχνητής νοημοσύνης, πρόσφατα παρατηρήθηκε ενδιαφέρον για ένα νέο πρότυπο μοντελοποίησης γνωστό ως μοντελοποίηση βασισμένη σε πράκτορες (agent-based modeling ή ABM). Αυτή η προσέγγιση μοντελοποίησης εμφανίστηκε από ερευνητικό έργο πάνω στην τεχνητή νοημοσύνη καθώς και από ανάλυση πολύπλοκων συστημάτων. Η ιδέα πίσω από το ABM είναι να περιγραφεί ένα σύστημα από την οπτική γωνία των συστατικών του μονάδων. Ως εκ τούτου, η προσέγγιση είναι αρκετά κατάλληλη

για τη μοντελοποίηση πολύπλοκων συστημάτων των οποίων η συμπεριφορά προκύπτει ως αποτέλεσμα αλληλεπιδράσεων μεταξύ των στοιχείων που απαρτίζουν το σύστημα. Δεδομένου ότι τα συστήματα μεταφορών παρουσιάζουν σχεδόν όλα τα χαρακτηριστικά των πολύπλοκων συστημάτων, το ABM έχει προσελκύσει μεγάλη προσοχή στην ερευνητική κοινότητα των μεταφορών.

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Τεχνητή νοημοσύνη στο σιδηροδρομικό δίκτυο

2.1 Τεχνητή νοημοσύνη στις μεταφορές

Τα συγκοινωνιακά προβλήματα παρουσιάζουν μία σειρά από χαρακτηριστικά που τα καθιστούν επιδεκτικά λύσης χρησιμοποιώντας τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης. Αρχικά, τα συγκοινωνιακά προβλήματα συχνά περιλαμβάνουν τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά δεδομένα. Το γεγονός ότι πολλές φορές έχουμε να αντιμετωπίσουμε ποιοτικά δεδομένα στις μεταφορές κάνει τη χρήση των ειδικών και ασαφών συστημάτων μία προφανή επιλογή. Δεύτερον, στις μεταφορές έχουμε συχνά να κάνουμε με συστήματα των οποίων η συμπεριφορά είναι πολύ δύσκολο να μοντελοποιηθεί με την παραδοσιακή προσέγγιση, είτε επειδή οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των συνιστωσών του συστήματος δεν είναι πλήρως κατανοητές ή γιατί κάποια αντιμετωπίζει μεγάλη αβεβαιότητα που πηγάζει από την ανθρώπινη συνιστώσα του συστήματος. Για τόσο περίπλοκα συστήματα, η κατασκευή εμπειρικών μοντέλων που βασίζονται σε παρατηρούμενα δεδομένα είναι ίσως η μόνη εναπομείνασα επιλογή. Τα νευρωνικά δίκτυα, δεδομένων των καθολικών τους δυνατοτήτων προσέγγισης συναρτήσεων, είναι εξαιρετικά μέσα για την κατασκευή τέτοιων μοντέλων. Τρίτον, τα συγκοινωνιακά προβλήματα συχνά οδηγούν σε απαιτητικά προβλήματα βελτιστοποίησης που είναι αρκετά δύσκολο να επιλυθούν χρησιμοποιώντας παραδοσιακές τεχνικές μαθηματικού προγραμματισμού, είτε επειδή οι σχέσεις είναι δύσκολο να προσδιοριστούν αναλυτικά είτε λόγω του μεγέθους του προβλήματος και της υπολογιστικής δυσκολίας προσπελασιμότητάς του. Για αυτά τα προβλήματα, οι γενετικοί αλγόριθμοι αποτελούν μία εναλλακτική προσέγγιση λύσης. Τέλος, η σύνθετη φύση των συστημάτων μεταφορών και το γεγονός ότι η συμπεριφορά τους προκύπτει ως αποτέλεσμα αλληλεπιδράσεων μεταξύ των στοιχείων του συστήματος καθιστά τις τεχνικές μοντελοποίησης βασισμένες σε πράκτορες αρκετά κατάλληλες για τη μελέτη της συμπεριφοράς του συστήματος (Sadek, 2007).

Τα ευφυή συστήματα μεταφορών (Intelligence Transport Systems ή ITS) είναι εκείνα τα συστήματα που ενσωματώνουν τόσο προηγμένα συστήματα ελέγχου όσο και τεχνολογίες ασύρματων επικοινωνιών για την παροχή καινοτόμων λύσεων στη διαχείριση των μεταφορών και της κυκλοφορίας. Τα τελευταία χρόνια, κυρίως λόγω της προοδευτικής αύξησης του πληθυσμού και της πολυπλοκότητας των αναγκών μετακίνησής του, τα ITS έχουν ενσωματώσει διάφορες τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης για την παροχή νέων υπηρεσιών. Αυτές οι υπηρεσίες συνήθως περιλαμβάνουν τη διαχείριση σημαντικού όγκου δεδομένων που παράγονται από οχήματα και οδηγούς. Ειδικότερα, τα σύγχρονα ITS επιδιώκουν τη συνολική βελτίωση της ασφάλειας και της βιωσιμότητας της κυκλοφορίας, ενώ παράλληλα έχουν ένα θετικό αντίκτυπο στο κοινό (Khan, 2022). Η ταχεία ανάπτυξη των ευφύων συστημάτων μεταφορών έχει αυξήσει την ανάγκη να προτείνονται προηγμένες μέθοδοι για την πρόβλεψη πληροφοριών κυκλοφορίας. Αυτές οι μέθοδοι

παίζουν σημαντικό ρόλο στην επιτυχία των υποσυστημάτων του ITS όπως τα προηγμένα συστήματα πληροφοριών για ταξιδιώτες, τα προηγμένα συστήματα διαχείρισης της κυκλοφορίας, τα προηγμένα συστήματα δημοσίων μεταφορών και τη λειτουργία εμπορικών οχημάτων. Τα ευφυή συστήματα πρόβλεψης αναπτύσσονται χρησιμοποιώντας ιστορικά δεδομένα που εξάγονται από αισθητήρες προσαρτημένους στους δρόμους. Έπειτα τα δεδομένα αυτά μετατρέπονται σε είσοδο στη μηχανική μάθηση και στους αλγόριθμους τεχνητής νοημοσύνης για προβλέψεις σε πραγματικό χρόνο, βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες (Machin et.al, 2018).



Εικόνα 2.1 Ενδεικτική λειτουργία ITS

Οι κύριοι τομείς που σχετίζονται με τις μεταφορές στους οποίους οι τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης που περιγράφηκαν προηγουμένως έχουν εφαρμοστεί ευρέως (Iyer, 2021) με πολλά υποσχόμενα αποτελέσματα είναι οι εξής:

- Ο έλεγχος οχημάτων, στον οποίο βρίσκουμε αρκετές προτάσεις που εφαρμόζονται για την ανάπτυξη νέων συστημάτων ελέγχου για τα οχήματα όπως η αυτόνομη οδήγηση, τα συστήματα αντιεμπλοκής κατά την πέδηση, η διαχείριση της κατανάλωσης των οχημάτων και τα συστήματα ελέγχου των εκπομπών
- Ο έλεγχος και η πρόβλεψη της κυκλοφορίας, όπου τα ανεπτυγμένα συστήματα στοχεύουν στη μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης ή ακόμη και στην πρόβλεψή της εκ των προτέρων
- Η οδική ασφάλεια και η πρόβλεψη ατυχημάτων, όπου στόχος είναι η αύξηση της οδικής ασφάλειας και η αποφυγή ή πρόληψη πιθανών ατυχημάτων με την ενσωμάτωση συστημάτων που αυτόνομα προβλέπουν τα ατυχήματα (ή τουλάχιστον μετριάζουν τις συνέπειές τους)

Η μέθοδοι τεχνητής νοημοσύνης που έχουν αναπτυχθεί εντοπίζονται ειδικότερα σε διάφορα είδη μεταφορών, τόσο σε επίπεδο έρευνας όσο και σε επίπεδο πρακτικής εφαρμογής (Abduljabbar et. al, 2019). Σε ότι αφορά για παράδειγμα στην αεροπλοΐα, η τεχνητή νοημοσύνη διαχειρίζεται αποτελεσματικότερα το ταξίδι πτήσης μέσω της μηχανικής μάθησης, της ευφυούς συντήρησης και

της βελτιστοποίησης διαδρομής πτήσης. Τα διάφορα συστήματα που συμβάλλουν σε αυτό το αποτέλεσμα έχουν ως λειτουργίες αρχικά την εξαγωγή πληροφοριών από εξαιρετικά πυκνές αεροπορικές εκθέσεις και στη συνέχεια την τροποποίησή τους, για να υποστηρίξουν συστήματα διανυσματικών μηχανών και αλγορίθμων προσομοίωσης ανόπτησης. Έπειτα, έρευνες έδειξαν ότι ο αλγόριθμος μηχανικής μάθησης χωρίς επίβλεψη είναι αξιόπιστος στη χρήση για την αύξηση της ασφάλειας όταν ένα αεροπλάνο προσγειώνεται. Επιπλέον, έχει αναπτυχθεί ένα αυτοματοποιημένο σύστημα διαχείρισης προβλημάτων ταξινόμησης και παλινδρόμησης για τον εντοπισμό των αναταράξεων των αεροπορικών μεταφορών με μεγαλύτερη ακρίβεια. Το σύστημα αυτό μπορεί να βοηθήσει τον πιλότο να αποφύγει την παρέκκλιση από την προκαθορισμένη διαδρομή, να ελαχιστοποιήσει το κόστος των καυσίμων και να ενισχύσει τη διαχείριση του ελέγχου του αέρα.

Σε πυκνοκατοικημένες πόλεις σε όλον τον κόσμο, η οικονομία της συλλογικής κινητικότητας έχει γίνει πολλά υποσχόμενη καθώς οδηγεί σε μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης και της ρύπανσης εντός της πόλης, παρέχοντας στρατηγικές για την απομάκρυνση των προσωπικών επιβατικών οχημάτων από τα κέντρα των πόλεων. Στον τομέα των μεταφορών, η αναδυόμενη αυτή οικονομία έχει ενδιαφέρον λόγω της ανάπτυξης επιχειρηματικών μοντέλων για την εμφάνιση νέων κοινόχρηστων υπηρεσιών κινητικότητας, για την παροχή ενός βιώσιμου συστήματος μεταφορών και την αντιμετώπιση του κενού της πιο αποτελεσματικής προσαρμογής της ζήτησης στην προσφορά. Η συλλογική κινητικότητα επωφελείται από την τεχνολογία της τεχνητής νοημοσύνης για τη βελτίωση της εμπειρίας των πελατών και τον εκσυγχρονισμό των επιχειρήσεων που εμπλέκονται στον χώρο. Η παροχή εξατομικευμένης εμπειρίας πελατών στους χρήστες κατέστη δυνατή με την ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης και της συλλογικής κινητικότητας. Για παράδειγμα, η Uber έχει προσφέρει εξατομικευμένη εμπειρία επιβάτη προτείνοντας προορισμούς με βάση το ιστορικό διαδρομής του χρήστη, έχει εισάγει την τιμολόγηση βάσει διαδρομής και ακόμη έχει επιτρέψει στους χειριστές της να μπορούν να εντοπίσουν οδηγούς και να αποτρέψουν δόλιες δραστηριότητες με τη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης.

Σε ότι αφορά μετακινήσεις με λεωφορεία, πολλοί ερευνητές έχουν ασχοληθεί με το να κάνουν τα ταξίδια και τους προορισμούς με λεωφορεία πιο ασφαλή και αξιόπιστα. Για τον λόγο αυτό, η εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης στις μεταφορές με λεωφορεία έχει επεκταθεί και στον σχεδιασμό αυτοματοποιημένων λεωφορείων όπως το iBus, το οποίο δοκιμάστηκε για πρώτη φορά στην Κίνα. Ουσιαστικά ακολουθεί τρεις διαδικασίες παρόμοιες με έναν άνθρωπο-οδηγό: αντίληψη, λήψη αποφάσεων και ανάληψη δράσης, αλλά με τη χρήση λογισμικού και αντίστοιχου τεχνικού υλικού. Αντίστοιχα, στις ΗΠΑ εμφανίστηκε ένα αυτοκινούμενο λεωφορείο με το όνομα Olli, το οποίο έχει διάφορα “έξυπνα” χαρακτηριστικά, για παράδειγμα την αυτόνομη μεταφορά ατόμων στον προορισμό τους και την επικοινωνία με τον επιβάτη σχετικά με το ταξίδι, το περιβάλλον και το ίδιο το Olli. Μία ακόμη ευφυής ευέλικτη υπηρεσία λεωφορείων ξεκίνησε στη Βοστώνη της

Μασαχουσέτης το 2014, η οποία χρησιμοποιεί big data για να διαχειρίζεται την κυκλοφορία σε πραγματικό χρόνο και για να αξιολογήσει τον τρόπο και το σημείο που θέλουν να μετακινηθούν οι επιβάτες. Αυτό το λογισμικό είναι σε θέση να βρει την ταχύτερη διαδρομή και να σταματά μόνο σε τοποθεσίες σύμφωνες με τα αιτήματα των επιβατών, για τη βελτιστοποίηση της υπηρεσίας.

Ένας άλλος τομέας στον οποίο οι εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης έχουν σημειώσει σημαντικά βήματα είναι η παρακολούθηση των οχημάτων σε δίκτυα μεταφορών (Khan et.al, 2022). Για παράδειγμα στην πόλη Κάλιαρι στην Ιταλία, ένα σύστημα αυτόματου εντοπισμού οχημάτων έχει εισαχθεί για τη βελτίωση της λειτουργικής αποτελεσματικότητας των δημοσίων μεταφορών, τη διαχείριση του λειτουργικού ελέγχου και τη βελτίωση της συνολικής ποιότητας των υπηρεσιών των δημοσίων μεταφορών. Το σύστημα αυτό είναι σε θέση να εξάγει δεδομένα για να παρακολουθεί τις μονάδες μεταφοράς σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιώντας σήματα GPS, να εντοπίζει προβλήματα για την ενημέρωση των οχημάτων για τυχόν αλλαγές και να διαχειρίζεται εναλλακτικές διαδρομές. Επίσης, παρέχει πληροφορίες στους επιβάτες μέσω εφαρμογών στις φορητές τους συσκευές.

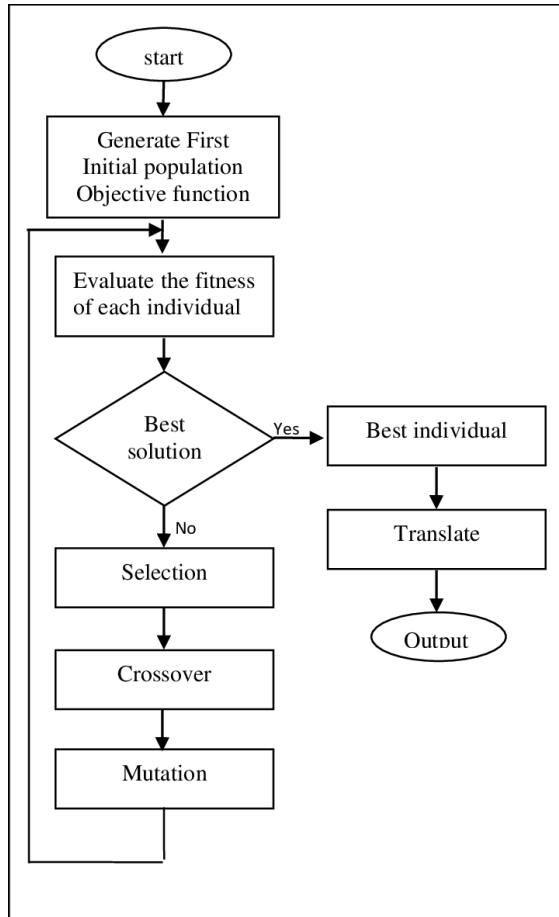
2.2 Εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης στους σιδηροδρόμους

Οι εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης σε σιδηροδρόμους έχουν εξελιχθεί αρκετά από το παρελθόν, και εντοπίζονται σε διάφορους τομείς, με κεντρικούς άξονες την πρόληψη, πρόβλεψη και αποφυγή ατυχημάτων. Εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης στη συντήρηση και την επιθεώρηση σιδηροδρόμων έχουν αναπτυχθεί για την αντιμετώπιση θεμάτων σχετικά με την υποδομή και το τροχαίο υλικό (Bešinović et.al, 2022). Έρευνες δίνουν κατευθύνσεις σχετικά με τις εφαρμογές οπτικής επιθεώρησης με βάση την επεξεργασία εικόνας στη σιδηροδρομική βιομηχανία και θέτει τις μελλοντικές ερευνητικές κατευθύνσεις της τεχνολογίας οπτικής επιθεώρησης. Επιπλέον, γίνεται μια ανασκόπηση σχετικά με την εφαρμογή διαφόρων έμπειρων συστημάτων και συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης για τη διάγνωση βλαβών σε σιδηροδρόμους υψηλής ταχύτητας, ενώ αναφέρεται πρωτοποριακή έρευνα σε αυτόνομα συστήματα παρακολούθησης της κατάστασης της σιδηροδρομικής υποδομής. Η ProRail, ένας ολλανδικός διαχειριστής υποδομής χρησιμοποιεί τεχνολογία αναγνώρισης προτύπων και επεξεργασίας εικόνας για να προβλέψει πού και πότε θα εμφανιστεί δυσλειτουργία στους διακόπτες. Οι διακόπτες είναι εξοπλισμένοι με αισθητήρες που μεταδίδουν πληροφορίες σχετικά με την κατανάλωση ισχύος, τους κραδασμούς και τη θερμότητα. Με την ανάλυση των παραγόμενων δεδομένων, η πρόβλεψη πιθανού προβλήματος μπορεί να πραγματοποιηθεί πριν συμβεί μια διακοπή. Οι προσεγγίσεις μηχανικής μάθησης και νευρωνικών δικτύων έχουν βρει μεγάλη δυνατότητα εφαρμογής για εργασίες ανίχνευσης και πρόβλεψης ελαττωμάτων. Ταυτόχρονα, εξετάζονται και προβλήματα προγραμματισμού προληπτικής συντήρησης (preventive maintenance ή PM) για συστήματα τροχαίου υλικού. Ο στόχος είναι να

προσδιορίζεται το διάστημα προληπτικής συντήρησης για εξαρτήματα σε ένα σύστημα τροχαίου υλικού. Το συνολικό αναμενόμενο κόστος για τον κύκλο ζωής του συστήματος και η διαθεσιμότητα του συστήματος χρησιμοποιούνται ως κριτήρια βελτιστοποίησης.

Τα περισσότερα από τα ερευνητικά πεδία της τεχνητής νοημοσύνης στους σιδηροδρόμους έχουν αναγνωριστεί στον υποτομέα ασφάλειας και προστασίας, συμπεριλαμβανομένης της ανάλυσης συμβάντων και της ασφάλειας των σταθμών. Διερευνάται η χρήση της μεθόδου του δέντρου αποφάσεων στην ταξινόμηση ασφαλείας και την ανάλυση ατυχημάτων σε σιδηροδρομικούς σταθμούς για την πρόβλεψη των χαρακτηριστικών των επιβατών που θα επηρεαστούν από ατυχήματα (Mabrouk, 2019). Επιπρόσθετα, έχουμε την εισαγωγή των παράπλευρων συστημάτων παρακολούθησης αμαξοστοιχιών (wayside train monitoring systems ή WTMS), τα οποία χρησιμοποιούν αναγνώριση προτύπων για ανίχνευση ελαττωμάτων σε μη ελεγχόμενα περιβάλλοντα. Μεταξύ των εφαρμογών τεχνητής νοημοσύνης η επεξεργασία φυσικής γλώσσας χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της αιτίας ενός ατυχήματος με την εκμετάλλευση προσεγγίσεων ανάλυσης κειμένου. Για παράδειγμα, οι εκθέσεις διερεύνησης των σιδηροδρομικών ατυχημάτων στο Ηνωμένο Βασίλειο εξετάστηκαν και αναλύθηκαν, για να αποκαλυφθεί η παρουσία οντοτήτων που είναι ενημερωτικές για τα αίτια και τις αστοχίες. Αυτή η μέθοδος μπορεί να βοηθήσει τους εμπειρογνώμονες της ανάλυσης κινδύνου και συμβάντων να μελετήσουν την αιτιακή σχέση μεταξύ αιτιών και αστοχιών ως προς τη συνολική ασφάλεια στη σιδηροδρομική βιομηχανία. Για διάφορους τύπους εφαρμογών ασφαλείας χρησιμοποιούνται οι τεχνικές υπολογιστικής όρασης, συμπεριλαμβανομένων των σιδηροδρομικών σταθμών. Η πρόκλησή τους δεν έγκειται στην απόκτηση δεδομένων παρακολούθησης από κάμερες, αλλά στον εντοπισμό του τι είναι πολύτιμο, τι μπορεί να αγνοηθεί και τι απαιτεί άμεση προσοχή (Bešinović et.al, 2022).

Στην αυτόνομη οδήγηση και έλεγχο αναγνωρίζεται η χρήση εξελικτικών αλγορίθμων και ενισχυτικής μάθησης για τον βέλτιστο έλεγχο της αμαξοστοιχίας. Χαρακτηριστικά, προτείνεται μια μέθοδος για την ενεργειακή βελτιστοποίηση της κίνησης της αμαξοστοιχίας εφαρμόζοντας έλεγχο βάσει γενετικών αλγορίθμων. Ένας τέτοιος αλγόριθμος δοκιμάστηκε με βάση μια πραγματική γραμμή του μετρό στο Μιλάνο. Αντίστοιχα, έχουν προταθεί δύο αλγόριθμοι ελέγχου αμαξοστοιχίας -ένα έμπειρο σύστημα και μια ενισχυτική μάθηση- για τη λειτουργία της αμαξοστοιχίας παρόμοια με έναν έμπειρο οδηγό με δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, διατηρώντας παράλληλα το επίπεδο άνεσης και την ακρίβεια.



Εικόνα 2.2 Πορεία λειτουργίας ενός γενετικού αλγορίθμου

Ο σχεδιασμός και η διαχείριση της κυκλοφορίας είναι ένας άλλος υποτομέας όπου πολλά ερευνητικά πεδία τεχνητής νοημοσύνης έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς για την αντιμετώπιση της πρόβλεψης της κατάστασης της κυκλοφορίας, του χρονοδιαγράμματος και του επαναπρογραμματισμού της κυκλοφορίας καθώς και για ορισμένες πιο στρατηγικές αποφάσεις σχεδιασμού, όπως η διάταξη του εξοπλισμού χρησιμοποιώντας για παράδειγμα ομαδοποίηση, ενισχυτική μάθηση και εξελικτικούς αλγόριθμους. Στη δεκαετία του '70, αναπτύχθηκαν τα πρώτα έμπειρα συστήματα για την οργάνωση δρομολογίων σε πραγματικό χρόνο. Τα έμπειρα συστήματα χρησιμοποιούνται για έξυπνες λειτουργίες αμαξοστοιχίας και ταυτόχρονα μία προσέγγιση ανάλυσης δεδομένων έχει σχεδιαστεί για μέτρα απόδοσης χρονοδιαγράμματος αμαξοστοιχιών, όπου χρησιμοποιούνται δεδομένα αυτόματης εποπτείας αμαξοστοιχίας. Για την ανάλυση των μοτίβων καθυστέρησης της αμαξοστοιχίας, εφαρμόζονται τεχνικές ομαδοποίησης δεδομένων ενώ χρησιμοποιούνται και τεχνικές τυχαίων δασών, δηλαδή τεχνικές μηχανικής μάθησης για την επίλυση προβλημάτων παλινδρόμησης και ταξινόμησης.

Για τον προγραμματισμό των σιδηροδρομικών γραμμών έχει προταθεί ένας κλιμακούμενος αλγόριθμος ενισχυτικής μάθησης (Beşinović et.al, 2022). Ο στόχος είναι να καθοριστούν οι χρονοδιαδρομές και οι χρόνοι άφιξης/αναχώρησης για όλα τα τρένα μιας γραμμής, που παρέχονται ΠΑΔΑ, Τμήμα ΠΟΛ.ΜΗΧ., Διπλωματική Εργασία, Νίκας Άγγελος

με τις αρχικές θέσεις, την προτεραιότητα, τους χρόνους παραμονής και τους χρόνους λειτουργίας, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τη συνολική σταθμισμένη κατά προτεραιότητα καθυστέρηση. Το πρόβλημα της βελτιστοποίησης της αποστολής και της αναδρομολόγησης λύνεται στο ελβετικό σιδηροδρομικό δίκτυο μέσω βαθιάς ενισχυτικής μάθησης και αναγνώρισης προτύπων, όπου τα καταγεγραμμένα δεδομένα είναι μεταβλητά με την πάροδο του χρόνου και περιέχουν μόνο μερικά πολύτιμα γεγονότα. Για να ξεπεραστεί η ανεπάρκεια από την έλλειψη πολύτιμων δεδομένων, χρησιμοποιούν την υψηλή υπολογιστική ισχύ των σύγχρονων μονάδων επεξεργασίας γραφικών για να προσομοιώσουν εκατομμύρια φυσικά εύλογα σενάρια. Στη συνέχεια χρησιμοποιούνται τεχνητά δεδομένα για να εκπαιδεύσουν τον αλγόριθμό τους.

Η κινητικότητα των επιβατών δεν έχει λάβει τόση ερευνητική προσοχή όπως άλλοι υποτομείς, κυρίως για την πρόβλεψη των ροών επιβατών σε σιδηροδρομικά δίκτυα και μετρό (Nikitas et.al, 2020). Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό, χρησιμοποιείται ένας συνδυασμός μεθόδων όπως η αποθήκευση δεδομένων, η εξόρυξη δεδομένων και τα νευρωνικά δίκτυα. Ειδικότερα, το αποτέλεσμα εφαρμόστηκε στο Σύστημα Πώλησης και Κράτησης Εισιτηρίων των Κινεζικών Σιδηροδρόμων. Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα εκπαιδεύονται χρησιμοποιώντας προσομοιωμένα δεδομένα από μια δυναμική φόρτωση της γραμμής. Η προτεινόμενη μέθοδος δοκιμάστηκε στη Γραμμή 1 του μετρό της Νάπολης στην Ιταλία. Υπολογιστικά πειράματα δείχνουν ότι η προτεινόμενη προσέγγιση είναι σε θέση να προβλέψει τις ροές στα τμήματα του μετρό με ικανοποιητική ακρίβεια. Έρευνες προτείνουν μια αρχιτεκτονική βασισμένη σε βαθιά μάθηση για την πρόβλεψη ροής επιβατών στο μετρό. Αυτή η αρχιτεκτονική είναι εξαιρετικά ευέλικτη και επεκτάσιμη, κατάλληλη για την ενσωμάτωση και τη μοντελοποίηση εξωτερικών περιβαλλοντικών παραγόντων, χρονικών εξαρτήσεων, χωρικών χαρακτηριστικών και λειτουργικών ιδιοτήτων του μετρό στη βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη ροής επιβατών. Επιτυγχάνει υψηλή ακρίβεια πρόβλεψης λόγω της ευκολίας ενσωμάτωσης δεδομένων πολλαπλών πηγών, όπως αποδεικνύεται από υπολογιστικά πειράματα. Διαφορετικά, έχει χρησιμοποιηθεί και η επεξεργασία φυσικής γλώσσας για να αξιολογηθεί η ικανοποίηση των επιβατών με τις λειτουργίες του συστήματος αναλύοντας τις πληροφορίες που εξάγονταν από τα tweets των πελατών.

2.3 Το μέλλον της τεχνητής νοημοσύνης στους σιδηροδρόμους

Παρακάτω εντοπίζονται ορισμένα παραδείγματα πιθανών εφαρμογών της τεχνητής νοημοσύνης στους σιδηροδρόμους, τα οποία διαμορφώνονται με βάση τα υπάρχοντα μοντέλα έρευνας σε παρόμοια ερευνητικά πεδία. Ταυτόχρονα αναφέρονται και προκλήσεις που καλούνται οι επιστήμονες να αντιμετωπίσουν σε ό,τι αφορά σε διαδικασίες εφαρμογής τεχνητής νοημοσύνης στους σιδηροδρόμους (Bešinović et.al, 2022).

Μία από τις βασικές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν είναι η χρήση αυτοματοποιημένων τεχνικών επεξεργασίας και ανάλυσης δεδομένων για αποτελεσματική εξερεύνηση/κατανόηση νέας γνώσης, από τον τεράστιο όγκο σύνθετων δομών δεδομένων (Abduljabbar et. al, 2019). Επιπλέον, καθίσταται σημαντικό να προστατεύεται η εξουσιοδοτημένη αδειοδοτημένη χρήση που περιορίζεται στα δεδομένα παρακολούθησης της κατάστασης της υποδομής μεταξύ των επιχειρήσεων συντήρησης. Για παράδειγμα, για να αντιμετωπιστεί αυτό δημιουργήθηκε μια οργανωτική αρχιτεκτονική που ενσωματώνει δεδομένα που παράγονται σε εργοστάσια σχετικά με τις δραστηριότητές τους για αντιδραστική, προγνωστική και προληπτική συντήρηση. Η ιδέα θα ήταν η ανάπτυξη ενός αποκεντρωμένου συστήματος πρόβλεψης συντήρησης που θα βασίζεται σε έννοιες εξόρυξης δεδομένων. Επιπλέον η γρήγορη εξόρυξη δεδομένων σε πραγματικό χρόνο/διαδικτυακά είναι απαραίτητη προϋπόθεση για διαδικτυακή μάθηση και αυτόνομη οδήγηση. Επομένως, η προηγμένη συλλογή, συνδυασμός και επεξεργασία δεδομένων από διαφορετικές πηγές (π.χ. αισθητήρες, κάμερες) είναι απαραίτητη για την παροχή ακριβών πληροφοριών στο σύστημα ελέγχου που βασίζεται στην τεχνητή νοημοσύνη.

Ακόμη, μέθοδοι για την εύρεση ενός βέλτιστου συνόλου παραμέτρων, π.χ. μέθοδοι επιλογής χαρακτηριστικών, θα παρείχαν οφέλη στον εντοπισμό ελαττωμάτων στη συντήρηση των σιδηροδρόμων, όπως σφάλμα σήματος, επιθεώρηση τροχιάς κ.λ.π. Οι τεχνικές επιλογής χαρακτηριστικών χρησιμοποιούνται για τη μεγιστοποίηση της διάκρισης: η μέθοδος επιλογής θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει έναν γενετικό αλγόριθμο για τη βελτιστοποίηση διαφόρων παραμέτρων του συστήματος. Επίσης, υπάρχουν πιθανές εφαρμογές για τη χρήση γενετικών αλγορίθμων για προληπτική συντήρηση. Αυτά θα οδηγούσαν στην παροχή εστίασης στα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη τα άλλα (λιγότερο σημαντικά) και έτσι θα οδηγούσαν σε μικρότερα απαιτούμενα σύνολα δεδομένων και καλώς εχόντων των πραγμάτων, σε πιο απλά και αποτελεσματικά μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης.

Τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα όπως τα drones μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αποτελεσματική και τακτική επιθεώρηση των σιδηροδρομικών πόρων, συμπεριλαμβανομένων των σιδηροδρομικών γραμμών και του συστήματος επαφής με αλυσοειδή ανάρτηση. Γενικά, η χρήση αυτοματοποιημένων συστημάτων σε εργασίες συντήρησης τείνει να παρέχει πρόσθετη υποστήριξη στην αυτοματοποίηση λειτουργιών που οδηγεί σε αυξημένη απόδοση, παραγωγικότητα και ασφάλεια.

Η όραση υπολογιστή που βασίζεται στη βαθιά εκμάθηση θα μπορούσε να γίνει εξαιρετικά χρήσιμη για πολύπλοκες εργασίες ανίχνευσης αντικειμένων (π.χ. εμπόδιο σε τροχιές) και σημασιολογικής τμηματοποίησης (π.χ. διάκριση μεταξύ σημάτων, πινακίδων, σιδηροτροχιών και οδικών διασταυρώσεων). Πρόσφατα, οι μέθοδοι αναγνώρισης εικόνων που χρησιμοποιούν βαθιά εκμάθηση αποδείχθηκαν πολύ ανώτερες από τις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν πριν από την

εμφάνιση της βαθιάς εκμάθησης σε γενικούς διαγωνισμούς αναγνώρισης αντικειμένων.

Οι έννοιες της μηχανικής μάθησης για την αυτοματοποιημένη οδήγηση αυτοκινήτου είναι πιθανό να μεταφερθούν από το δρόμο στους σιδηροδρόμους μόλις οι τεχνικές στην οδήγηση αυτοκινήτου είναι αρκετά ώριμες. Η μηχανική μάθηση μπορεί να διαδραματίσει καίριο ρόλο σε αυτόν τον τομέα, αλλά αυτό δεν είναι τόσο απλό όσο η μη συμβατική ανάπτυξη στρατηγικών και μοντέλων που έχουν αναπτυχθεί σε συναφείς τομείς. Υποστηρίζεται ότι μια προσέγγιση με επίκεντρο το σύστημα μας επιτρέπει να ικανοποιήσουμε τις απαραίτητες απαιτήσεις για την ανάπτυξη του πραγματικού κόσμου, αλλά επίσης παρέχει στην κοινότητα μηχανικής μάθησης νέες ευκαιρίες για την ανάπτυξη της επόμενης γενιάς ευφύων αλγορίθμων.

Στον προγραμματισμό συντήρησης, οι διευθυντές και το προσωπικό των εγκαταστάσεων πρέπει να αντιμετωπίσουν πολλά καθημερινά αιτήματα συντήρησης παρά τους διάφορους περιορισμούς, όπως περιορισμένους προϋπολογισμούς και προσωπικό, που μπορεί να προκαλέσουν καθυστερήσεις στην ανταπόκριση σε ορισμένα αιτήματα συντήρησης. Οι εργασίες συντήρησης προγραμματίζονται σύμφωνα με διάφορες προτεραιότητες. Για παράδειγμα, σε μια συγκεκριμένη περίπτωση οι διαχειριστές εγκαταστάσεων εξέτασαν τον αντίκτυπο κάθε προβλήματος όσον αφορά στην αστοχία και την ασφάλεια του συστήματος και πρότειναν ένα πλαίσιο για να ενσωματώσει την αλληλεπίδραση μεταξύ της ενεργειακής απόδοσης και της ικανοποίησης των επιβατών. Αυτό μπορεί να επεκταθεί στο σιδηροδρομικό πλαίσιο προκειμένου να βελτιστοποιηθεί ο σχεδιασμός συντήρησης και να μειωθούν οι επιπτώσεις στις κυκλοφοριακές λειτουργίες.

Για εφαρμογές ασφαλείας σε σιδηροδρομικούς και τερματικούς σταθμούς, νέες προσεγγίσεις που συνδυάζουν τις παραδοσιακές μεθοδολογίες διαχείρισης κινδύνων ασφαλείας με μοντελοποίηση βασισμένη σε πράκτορες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση και τον μετριασμό του κινδύνου. Παρόμοιες εφαρμογές για την ασφάλεια των αεροδρομίων μπορεί να αποτελούν μια πολλά υποσχόμενη βάση. Επιπλέον ενδέχεται να υπάρχει δυνατότητα επέκτασης αυτής της προσέγγισης σε ναυπηγεία, αποθήκες, κέντρα σηματοδότησης και ελέγχου. Τέλος, η εφαρμογή αυτής της μεθόδου σε εποχούμενο εξοπλισμό θα βελτιώσει περαιτέρω την ασφάλεια των επιβατών.

Τα περισσότερα τυπικά προβλήματα διαχείρισης της κυκλοφορίας μπορούν να μοντελοποιηθούν ως προβλήματα συνδυαστικής βελτιστοποίησης, τα οποία παραδοσιακά επιλύονται με κλασικές προσεγγίσεις βελτιστοποίησης, όπως μεθόδους διακλάδωσης ή ευρετικές μεθόδους. Πρόσφατα, έχουν σημειωθεί σημαντικές πρόοδοι στην επίλυση προβλημάτων συνδυαστικής βελτιστοποίησης μέσω μαθηματικού προγραμματισμού και μηχανικής μάθησης. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει μεγάλη δυνατότητα επίλυσης προβλημάτων σχεδιασμού και προγραμματισμού σιδηροδρόμων με χρήση τεχνητής νοημοσύνης δεδομένων των ταχέως αναπτυσσόμενων ερευνητικών ενδιαφερόντων στην κοινότητα της θεωρητικής βελτιστοποίησης.

Η επεξεργασία φυσικής γλώσσας (NLP) έχει σημαντικές δυνατότητες στους σιδηροδρόμους στο να επεξεργάζεται μη δομημένα ή ημιδομημένα έγγραφα/αρχεία, όπως αναφορές συντήρησης και διακοπές λειτουργίας και κοινωνικά δίκτυα. Ως εκ τούτου, μπορεί να βρει εφαρμογές σε υποτομείς όπως συντήρηση, σχεδιασμός και διαχείριση κυκλοφορίας και πολιτική των μεταφορών. Τα αρχεία συντήρησης μπορούν με επιτυχία να υποβληθούν σε επεξεργασία από το NLP για τον προσδιορισμό των πιο κρίσιμων στοιχείων, τα οποία μπορούν περαιτέρω να οδηγήσουν στον καθορισμό βελτιστοποιημένων στρατηγικών συντήρησης. Για τη διαχείριση της σιδηροδρομικής κυκλοφορίας, το NLP θα μπορούσε να διερευνηθεί για το σχεδιασμό, την υλοποίηση και τη χρήση οντολογιών και φυσικής γλώσσας προκειμένου να γεφυρωθεί το χάσμα μεταξύ μιας “μηχανικά αναγνώσιμης αναπαράστασης δεδομένων” και μιας “φιλικής προς τον χρήστη παρουσίασης δεδομένων”. Για την πολιτική των μεταφορών, η δυνατότητα εφαρμογής τεχνολογιών μεγάλων δεδομένων και εξόρυξης κειμένου από τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης θα μπορούσε να υποστηρίξει τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής στην ανάλυση των μεταφορών και τη χάραξη πολιτικής, συμπεριλαμβανομένου του NLP ως ισχυρού εργαλείου για εξόρυξη κειμένου και ανάλυση.

Τα μελλοντικά συστήματα διαχείρισης εσόδων για τις σιδηροδρομικές μεταφορές μπορούν να χρησιμοποιούν την τεχνητή νοημοσύνη για τιμολόγηση εισιτηρίων, κατανομή θέσεων και εκπτώσεων και υπερκράτηση, ορίζοντας ανταγωνιστική τιμολόγηση προσφερόμενων υπηρεσιών μεταξύ πολλών φορέων και ανάπτυξη προσαρμοστικών συστημάτων RM (Revenue Management) που θα μπορούσαν να μάθουν αυτόματα μέσω της άμεσης αλληλεπίδρασης με τους πελάτες. Καθώς οι εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης σε συστήματα RM σε άλλους τομείς εξελίσσονται, όπως οι αεροπορικές εταιρείες, υπάρχει πιθανότητα να μεταφερθούν στον σιδηροδρομικό τομέα, καθώς οι διαφορές μεταξύ των συστημάτων RM σε διαφορετικούς τομείς δεν πρέπει να είναι αρκετά σημαντικές για να αμφισβητήσουν μια τέτοια διαδικασία μεταφοράς.

Τέλος, η χρήση της τεχνητής νοημοσύνης για τη χάραξη πολιτικής των μεταφορών βρίσκεται μάλλον στα αρχικά στάδια ανάπτυξής της, αλλά επιστήμονες θα μπορούσαν να οραματιστούν ορισμένες αρκετά υποσχόμενες εφαρμογές έμπειρων συστημάτων, τεχνικών βελτιστοποίησης, αναζήτησης με αντιπαλότητα και εξόρυξης δεδομένων. Ο σχεδιασμός πολιτικής μπορεί συχνά να μοντελοποιηθεί ως ένα συνδυαστικό πρόβλημα και η χρήση τεχνικών που βασίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη θα μπορούσε να παρέχει τις καλύτερες ενέργειες σχεδιασμού (Bešinović et.al, 2022).

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : Εφαρμογή τεχνητής νοημοσύνης στο σιδηροδρομικό δίκτυο

3.1 Επίθεση σε σιδηροδρομικό περιβάλλον

Στο πλαίσιο της τάσης προς μια όλο και μεγαλύτερη αυτοματοποίηση στους σιδηρόδρομους, τίθεται το θέμα της απόκρισης σε καταστάσεις εκτάκτου ανάγκης. Μεταξύ των αμέτρητων καταστάσεων εκτάκτου ανάγκης που μπορούν να εμφανιστούν στο σύγχρονο αστικό περιβάλλον, μια πιθανή τρομοκρατική επίθεση παραμένει καιρία. Αυτό κυρίως συμβαίνει λόγω της άκριτης επιλογής στόχων, της δυσκολίας στην πρόβλεψη μιας τέτοιας επίθεσης, του σημαντικού αριθμού θυμάτων και της προσαρμοστικότητας σε νέες, τεχνολογικά εξελιγμένες μορφές επίθεσης που δυσκολεύουν ακόμα περισσότερο τον εντοπισμό των δραστών (TE-SAT, 2022).

Στη συνέχεια της εργασίας, θα επιχειρήσουμε τη διαμόρφωση ενός έμπειρου συστήματος το οποίο θα περιγράφει κάποιες από τις πιθανές αποκρίσεις ενός συρμού σε διαφορετικά περιβάλλοντα μιας τρομοκρατικής επίθεσης (επιβεβαιωμένης ή μη). Για να διαμορφωθεί το σύστημα αυτό, αρχικά θα πρέπει να μελετηθεί η λειτουργία των έμπειρων συστημάτων, και έπειτα να προσδιοριστεί το πλαίσιο στο οποίο θα εντάσσεται το σύστημα.

Ο προσδιορισμός του πλαισίου είναι ιδιαίτερα σημαντικός για διάφορους λόγους. Αρχικά ο ίδιος ο ορισμός μια τρομοκρατικής επίθεσης είναι προς συζήτηση ως προς το μέγεθος, το είδος της επίθεσης και τον δράστη της. Επίσης είναι διαφορετικές οι δυνατότητες επέμβασης ανά τύπο συρμού, υπό την έννοια ότι ο βαθμός αυτοματοποίησης του δικτύου θα καθορίσει τις ενέργειες που μπορούν να συμπεριληφθούν στο σύστημα. Ταυτόχρονα θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν και το περιβάλλον στο οποίο λειτουργεί ο συρμός, για παράδειγμα αν μιλάμε για υπόγειο σιδηρόδρομο σε αστικό περιβάλλον ή για high-speed διαηπειρωτικά δίκτυα. Τέλος, ίσως ο σημαντικότερος λόγος για τον οποίο είναι σημαντικό να οριστεί το πλαίσιο εφαρμογής είναι η στάση του συστήματος απέναντι σε ζητήματα δικαιοδοσίας και επεμβατισμού.

Η χρήση συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης σε θέματα τρομοκρατίας ως τώρα αφορά κυρίως σε μοντέλα πρόβλεψης, γεγονός που εγείρει θέματα σχετικά με τη δυνατότητα επέμβασης σε μη επιβεβαιωμένα γεγονότα. Σε πρώτο επίπεδο τίθενται θέματα σχετικά με τη διαδικασία συλλογής δεδομένων, κατά πόσο είναι νόμιμη, παραβιάζει τα δικαιώματα των πολιτών σε ιδιωτικότητα ή είναι κατευθυνόμενη. Σε δεύτερο επίπεδο προκύπτουν ερωτήσεις σχετικά με την τεχνική αρτιότητα των συστημάτων που χρησιμοποιούνται, και το βαθμό εμπιστοσύνης που θα πρέπει να τους αποδίδεται. Πιο συγκεκριμένα, ακόμη αποτελεί μεγάλο ζήτημα ο συμβουλευτικός ή καθοριστικός ρόλος του ανθρώπινου παράγοντα στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Σε τρίτο επίπεδο αξίζει να σημειωθούν θέματα που αφορούν σε αποδοχή τέτοιων συστημάτων τόσο από την κοινή γνώμη, όσο και από τα θεσμικά όργανα και τους φορείς διαχείρισης των σιδηροδρομικών δικτύων

(McKendrick, 2019). Παράλληλα όμως δεν θα πρέπει να απορριφθεί η χρήση τέτοιων συστημάτων άκριτα. Υπάρχουν σημαντικά οφέλη από τη χρήση τους, τόσο στον τομέα της αποδοτικότητας όσο και στον τομέα της αίσθησης ασφάλειας του κοινού στα μέσα μεταφοράς.

3.2 Έμπειρα συστήματα

Τα έμπειρα συστήματα είναι συστήματα που υπάγονται στη γενικότερη μέθοδο τεχνητής νοημοσύνης “Συστήματα Βασισμένα στη Γνώση” (KBS). Πρόκειται για συστήματα τα οποία μπορούν να λάβουν αποφάσεις πάνω σε ένα θέμα, με παρόμοιο τρόπο με έναν ειδήμονα στο ίδιο θέμα. Αυτό επιτυγχάνεται αντλώντας πληροφορίες από μια βάση δεδομένων που έχει τις περισσότερες φορές δημιουργηθεί από ειδικούς του εκάστοτε χώρου. Η βασική διαφορά των έμπειρων συστημάτων από τα υπόλοιπα συστήματα βασισμένα στη γνώση είναι το επίπεδο εξειδίκευσής τους. Συγκεκριμένα, τα έμπειρα συστήματα παρέχουν και παράγουν γνώση για ένα ειδικό, θεματικά εστιασμένο πρόβλημα, χωρίς να επηρεάζονται από γενικές γνώσεις του κλάδου (Γεωργούλη, 2015).

Ο αρχικός, και γενικός, ορισμός ενός έμπειρου συστήματος είναι: *“Έμπειρο σύστημα είναι υπολογιστικό σύστημα, το οποίο μπορεί να επιλύσει αποδοτικά και αποτελεσματικά ρεαλιστικά προβλήματα, η επίλυση των οποίων εκ μέρους του ανθρώπου συνεπάγεται την ύπαρξη κάποιας μορφής εμπειρογνωμοσύνης.”* Στην προσπάθεια να συγκεκριμενοποιηθεί ο ορισμός και να γίνει εμφανέστερη η διάκριση των έμπειρων συστημάτων από τα υπόλοιπα συστήματα βασισμένα στη γνώση, έχουν διατυπωθεί δύο σχολές σκέψης. Σύμφωνα με την πρώτη, ο ειδικός επί του θέματος θα πρέπει να αποτελεί μοντέλο για το έμπειρο σύστημα όχι μόνο ως προς το τελικό αποτέλεσμα αλλά και ως προς τη διαδικασία παραγωγής γνώσης. Αντίθετα σύμφωνα με τη δεύτερη σχολή σκέψης, το έμπειρο σύστημα δεν εξετάζεται ως προς τον τρόπο εξαγωγής συμπερασμάτων, παρά μόνο ως προς το πόσο κοντά είναι το αποτέλεσμά του με αυτό που θα έδινε ένας εμπειρογνώμονας. Αν όμως δεχτούμε ότι ένα έμπειρο σύστημα θα πρέπει να μπορεί να τεκμηριώσει τις αποφάσεις που λαμβάνει, και συνεπώς να μπορεί να ελεγχθεί για αυτές, μπορούμε να ακολουθήσουμε την πρώτη σχολή σκέψης και για αυτή την εργασία να δεχτούμε τον ορισμό: *“Έμπειρο σύστημα είναι σύστημα βάσης γνώσης, το οποίο μοντελοποιεί εκτενώς την εμπειρογνωμοσύνη ενός ή περισσότερων εμπείρων του σχετικού (εξειδικευμένου) τομέα. Η απόδοση του συστήματος στην επίλυση των εν λόγω ρεαλιστικών προβλημάτων πρέπει να είναι συγκρίσιμη με αυτήν των εμπείρων.”* (Κερανού, 2000).

Προκειμένου να υλοποιηθεί ένα έμπειρο σύστημα, ακολουθείται η εξής πορεία: ανάλυση του προβλήματος, απόκτηση γνώσης, σχεδίαση, υλοποίηση, επαλήθευση και έλεγχος αξιοπιστίας. Αρχικά ο ερευνητής επιλέγει το πρόβλημα με το οποίο θέλει να ασχοληθεί, αναλύει τα συστατικά του και ορίζει τα επιθυμητά αποτελέσματα. Στη συνέχεια ο ειδικός επί του θέματος

(εμπειρογνόμωνας) συνεισφέρει τη γνώση του αλλά και τη διαδικασία εξαγωγής συμπερασμάτων για να δημιουργηθεί η βάση γνώσης για το έμπειρο σύστημα. Έπειτα ο μηχανικός γνώσης θα σχεδιάσει και το σύστημα, σε συνεργασία με τον προγραμματιστή, ο οποίος θα κωδικοποιήσει τη βάση γνώσης σε τρόπο κατανοητό από τη μηχανή. Μετά την υλοποίηση, ο μηχανικός γνώσης είναι αυτός που θα ελέγξει τελικά το σύστημα, πριν το παραδώσει στον χρήστη ή στον διαχειριστή του έργου (Γαλανός, 2021).

Τα έμπειρα συστήματα μπορούν να φανούν πολύ χρήσιμα σε σύγχρονα ζητήματα τεχνολογίας, αλλά θα πρέπει ο σχεδιασμός και η υλοποίησή τους να παρουσιάζει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Ένα “καλό” έμπειρο σύστημα θα πρέπει να είναι χρήσιμο, υπό την έννοια ότι αναπτύχθηκε για κάποιο συγκεκριμένο σκοπό, για να ικανοποιήσει μια συγκεκριμένη ανάγκη. Επίσης θα πρέπει να είναι εύχρηστο, ακόμα και από μη ειδικούς χρήστες (ή μηχανές), ενώ ιδανικά θα πρέπει να επιτελεί και εκπαιδευτικό ρόλο για αυτούς. Ταυτόχρονα, θα πρέπει να είναι σε θέση να παρουσιάσει και να εξηγήσει τις διαδικασίες εξαγωγής συμπερασμάτων που χρησιμοποιεί, για να μπορεί να γίνει στη συνέχεια αποδεκτό από το κοινό, χωρίς να υπάρχουν ζητήματα “εμπιστοσύνης”. Ακόμη σημαντικό για ένα έμπειρο σύστημα είναι να έχει τη δυνατότητα να “μαθαίνει νέα γνώση”, κάνοντας ερωτήσεις για τα σημεία που δεν είναι σαφή και εμποδίζουν την εξαγωγή συμπερασμάτων. Τέλος, ένα σωστά σχεδιασμένο και εκτελεσμένο έμπειρο σύστημα καλείται να παράγει αποφάσεις εντός ορισμένου χρόνου, χρησιμοποιώντας ευρετικούς μηχανισμούς (heuristics). (Gupta & Nagpal, 2020)

Τα έμπειρα συστήματα μπορούν να διακριθούν σε τρεις κατηγορίες :

- Έμπειρο Σύστημα με βάση κανόνες (Rule Based Expert System)

Σε αυτή την περίπτωση η γνώση που έχει προέλθει από τον ειδικό αναπαρίσταται με τη μορφή κανόνων παραγωγής. Ο μηχανικός γνώσης αναλύει το περιεχόμενο της βάσης γνώσης και διατυπώνει σχέσεις αιτίου-αποτελέσματος, με την απλή μορφή AN...TOTE. Η λογική διαδοχή τους, η αρχιτεκτονική και η πολυπλοκότητα των κανόνων εξαρτάται από το πρόβλημα που καλείται να αντιμετωπίσει κάθε φορά το σύστημα.

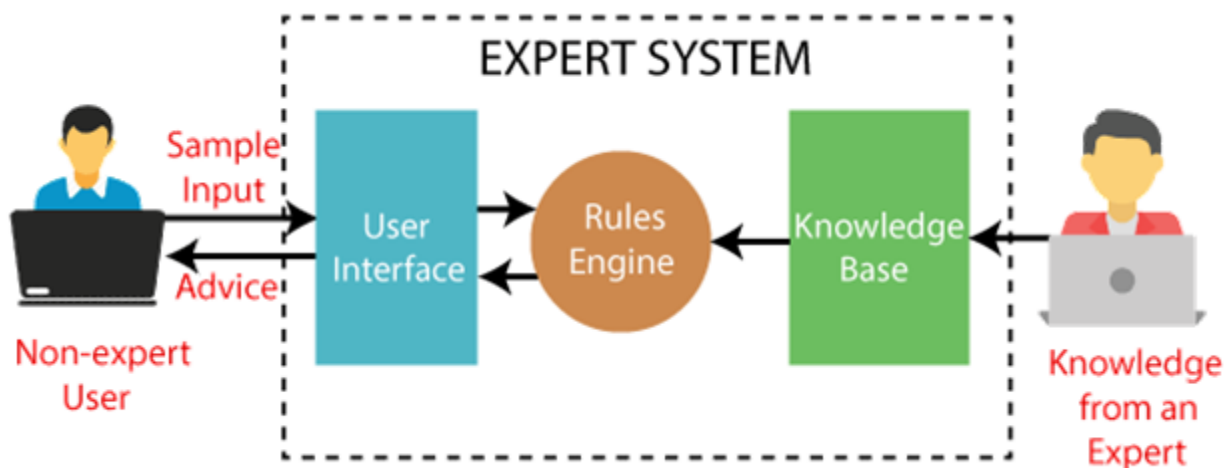
- Έμπειρο Σύστημα βασισμένο σε μοντέλα (Model Based Expert System)

Σε αυτή την περίπτωση η γνώση προκύπτει από τη μοντελοποίηση μιας παρατήρησης. Ένα σύστημα παρακολουθείται και ο μηχανικός γνώσης διατυπώνει ένα μοντέλο (μαθηματικό ή ευρετικό) το οποίο περιγράφει τη συμπεριφορά του συστήματος. Η διαδικασία εξαγωγής συμπερασμάτων ή αποφάσεων αφορά στην μελέτη του μοντέλου και στο κατά πόσο το πρόβλημα προσεγγίζει τη δομή, λειτουργία και συμπεριφορά του μοντέλου.

- Έμπειρο Σύστημα on-line (On-Line Expert System)

Σε αυτή την περίπτωση η βάση γνώσεων δεν είναι η μόνη πηγή γνώσης για το σύστημα, αλλά

υπάρχει και μια ακόμη βάση δεδομένων που παρέχει συνεχώς πληροφορίες για την κατάσταση του συστήματος. Οι δύο αυτές βάσεις αλληλεπιδρούν, με την πρώτη να περιέχει τους μηχανισμούς (μαθηματικούς ή ευρετικούς) που θα χρησιμοποιεί το σύστημα και με τη δεύτερη να αλλάζει συνεχώς ανάλογα με την απόδοση του συστήματος και να ανατροφοδοτεί τη διαδικασία εξαγωγής συμπερασμάτων.



Εικόνα 3.1 Πορεία λειτουργίας ενός έμπειρου συστήματος βασισμένου στη γνώση

3.3 Πλαίσιο Εφαρμογής

Θα προσπαθήσουμε στη συνέχεια να διαμορφώσουμε ένα rule based expert system το οποίο θα προσδιορίζει τις ενέργειες που μπορεί να πραγματοποιήσει ο συρμός αυτόνομα σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Επίσης, θα διασφαλίζει τη συνεχή επικοινωνία του συρμού με το κέντρο ελέγχου κυκλοφορίας και τη μεταξύ τους ανταλλαγή πληροφοριών. Προφανώς και οι καταστάσεις έκτακτης ανάγκης είναι πολλές και με μεγάλες διαφορές στην αντιμετώπιση, συνεπώς δεν θα μπορούσε να κατασκευαστεί ένα σύστημα που να καλύπτει κάθε κατάσταση (φυσική καταστροφή, σεισμός, μηχανολογική βλάβη, φωτιά, κυβερνοεπίθεση κλπ). Στην εργασία αυτή επιλέγουμε να ασχοληθούμε με τη γενική κατηγορία των βίαιων επιθέσεων, και ειδικότερα ενός τρομοκρατικού χτυπήματος. Το σύστημα που θα σχεδιαστεί διαπραγματεύεται 2 μορφές πιθανής επίθεσης: εκρηκτικό μηχανισμό χωρίς επιτήρηση και οπλισμένο άτομο που απειλεί. Εκτός της επίθεσης μπορεί να λειτουργήσει και στην περίπτωση όπου υπάρχει ύποπτος εντός του συρμού και χρειάζεται να αποτραπεί.

Συγκεκριμένα, η μορφή εκρηκτικού μηχανισμού αφορά σε πιθανότητα να υπάρχει μια αποσκευή (ή κάποιας μορφής αντικείμενο) χωρίς επιτήρηση για μεγάλο χρονικό διάστημα στον συρμό. Είναι αρκετά σημαντικό να ερευνηθεί, αλλά αυτό θα πρέπει να γίνει χωρίς να υπάρχει διατάραξη της λειτουργίας του συρμού μέχρι να επιβεβαιωθεί ή όχι η επικινδυνότητα. Η περίπτωση ΠΑΔΑ, Τμήμα ΠΟΛ.ΜΗΧ., Διτλωματική Εργασία, Νίκας Άγγελος

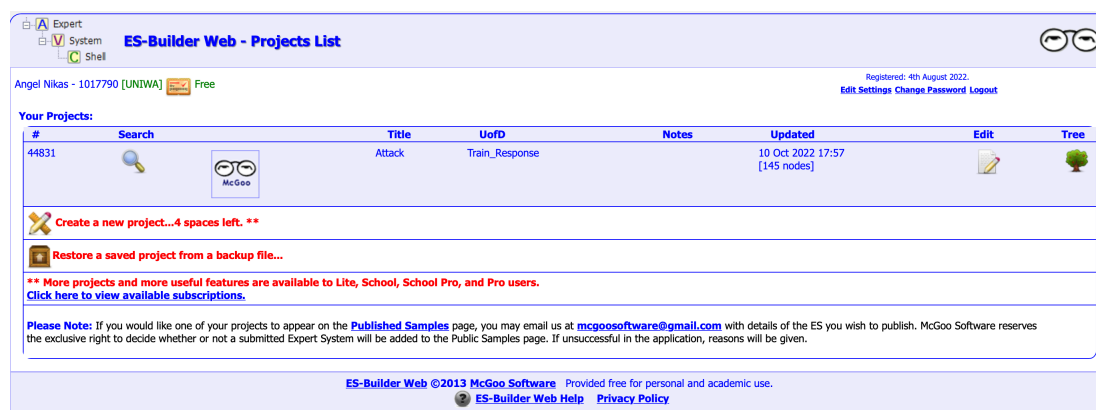
ατόμου που απειλεί διακρίνεται σε 3 στάδια. Πρώτα, το περισσότερο επικίνδυνο στάδιο που ονομάζουμε “Attack”. Εδώ δεν είναι σαφώς προσδιορισμένο το είδος της επίθεσης (όπλο, αιχμηρό αντικείμενο, εκρηκτικός μηχανισμός), αλλά η σοβαρότητά της. Πρόκειται για επίθεση που έχει ήδη ξεκινήσει να συμβαίνει, πιθανά με τραυματίες ή θύματα, και χρειάζεται άμεση αντιμετώπιση χωρίς καθόλου διαδικασίες επιβεβαίωσης. Στη συνέχεια υπάρχει το στάδιο που ονομάζουμε “Major”, όπου έχουμε μια κατάσταση στην οποία υπάρχει επιβεβαιωμένη κατάσταση απειλής, η οποία όμως δεν έχει ακόμα πραγματοποιηθεί. Εδώ χρειαζόμαστε διαδικασίες αξιολόγησης της απειλής προτού ληφθούν αποφάσεις για την πορεία του συρμού. Σημαντικό είναι στο σημείο αυτό να σημειώσουμε ότι το μέγεθος της απειλής θα καθορίσει και το βαθμό κινητοποίησης των ανθρώπινων παραγόντων που θα διαχειριστούν την κατάσταση. Τέλος, το τρίτο στάδιο ονομάζεται “Minor”, και διαφέρει από το δεύτερο μόνο στο σημείο της τελικής κινητοποίησης. Η διαδικασία επιβεβαίωσης και αξιολόγησης παραμένει αναγκαία, αλλά η απειλή προκύπτει να είναι τελικά εύκολα διαχειρίσιμη.

Όπως και στην περίπτωση των καταστάσεων εκτάκτου ανάγκης, έτσι και σε ότι αφορά στο σιδηροδρομικό δίκτυο δεν μπορεί να υπάρξει κοινό σύστημα για υπέργειες και υπόγειες γραμμές, αστικά και υπεραστικά δίκτυα κλπ. Αυτό συμβαίνει αρχικά λόγω των ιδιοτήτων στην κατασκευή, όπως για παράδειγμα το είδος της σιδηροτροχιάς και των υπέργειων εγκαταστάσεων, την επιλογή εκτροχιασμού, την δυνατότητα επιτάχυνσης ή επιβράδυνσης και του εξοπλισμού εντός του συρμού. Ταυτόχρονα όμως η διαφοροποίηση αυτή οφείλεται και σε φυσικά εξωγενή χαρακτηριστικά, για παράδειγμα την απόσταση μεταξύ διαδοχικών σταθμών, τη δυνατότητα προσέγγισης προσωπικού ασφαλείας στους σταθμούς, τις καιρικές συνθήκες και τη συχνότητα με την οποία είναι προγραμματισμένοι συρμοί που ακολουθούν την ίδια διαδρομή. Για τους λόγους αυτούς, επιλέγουμε το σύστημα που θα κατασκευάσουμε να αφορά προς το παρόν σε συγκεκριμένα δίκτυα, με δυνατότητα επέκτασης και σε άλλες συνθήκες στο μέλλον.

Ειδικότερα, το σύστημα που θα κατασκευάσουμε θα αφορά σε υπόγεια σιδηροδρομικά δίκτυα σε αστικό περιβάλλον (μετρό). Για την υλοποίηση και πλήρη λειτουργία του συστήματος, προϋποθέτουμε πως σε κάθε βαγόνι του συρμού υπάρχουν κάμερες και μεγάφωνα, τα οποία παραμένουν μόνιμα απενεργοποιημένα, εκτός από την περίπτωση που ενεργοποιηθεί κάποιο από τα σήματα του συστήματος. Ακόμη σε κάθε βαγόνι εγκαθίστανται 2 κουμπιά (μπουτόν ή μοχλοί) τα οποία ενεργοποιούνται χειροκίνητα από τους επιβάτες, και αφορούν σε αντίληψη μη επιτηρούμενης αποσκευής και ειδοποίηση για κάποια “κατάσταση πανικού”. Ο συρμός σε όλα του τα μέρη επιλέγεται να είναι εξοπλισμένος με ηχητικούς αισθητήρες, οι οποίοι θα δίνουν σήμα για να ακολουθηθούν διαδικασίες σε περίπτωση που ο ήχος υπερβεί κάποιες συγκεκριμένες τιμές. Επίσης θεωρείται προϋπόθεση η διασύνδεση του συρμού τόσο με το κέντρο ελέγχου κυκλοφορίας όσο και με τους επόμενους και προηγούμενους συρμούς της γραμμής. Τέλος, προκειμένου το σύστημα να λειτουργεί επαρκώς, χρειάζεται ο συρμος να είναι εξοπλισμένος με συστήματα επικοινωνίας με

υπηρεσίες άμεσης επέμβασης, ειδικά για περιπτώσεις όπου ο κίνδυνος είναι άμεσος (“Attack”). Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι η εγκατάσταση, ο συντονισμός και η αξιολόγηση όλων αυτών των τεχνικών στοιχείων προϋποθέτει συγκεκριμένο βαθμό αυτοματοποίησης του δικτύου, ειδικό λογισμικό εγκατεστημένο στον συρμό και προσωπικό ικανό να διαχειριστεί τη συντήρηση αυτών των συστημάτων. Για να ολοκληρωθεί αυτό θα χρειαζόταν συνεργασία με άλλες ειδικότητες (προγραμματιστές, μηχανολόγους, ηλεκτρολόγους μηχανικούς κλπ.), η οποία ξεπερνά τα όρια αυτής της εργασίας. Συνεπώς επιλέγουμε να αναφερθούμε σε αυτά τα τεχνικά χαρακτηριστικά ως προϋποθέσεις προς το παρόν, και να εμβαθύνουμε περισσότερο στη δομή του έμπειρου συστήματος.

Όπως αναφέραμε παραπάνω, το σύστημα αυτό θα μελετά ανά περίπτωση τις ενέργειες που μπορεί αυτόνομα να πραγματοποιήσει ο συρμός προκειμένου να αντιμετωπίσει κάποια από τις προβλεπόμενες καταστάσεις. Ακολουθώντας μια σειρά από κανόνες και ένα σύστημα επικοινωνίας τύπου “ερώτησης - απάντησης” με το κέντρο ελέγχου κυκλοφορίας, το σύστημα μπορεί να οδηγηθεί σε ένα από τρία ορισμένα πιθανά αποτελέσματα. Το πρώτο αποτέλεσμα σηματοδοτείται με την ένδειξη “Continue your route”, όπου συνεχίζεται η πορεία του συρμού όπως ήταν προγραμματισμένη, και αφορά είτε σε κάποιο σήμα που τελικά ήταν λάθος συναγερμός, είτε σε κάποια πραγματική επίθεση, η οποία όμως αντιμετωπίστηκε επιτυχώς. Το δεύτερο αποτέλεσμα σηματοδοτείται με την ένδειξη “Give up control”, όπου παραδίδεται ο έλεγχος πλήρως στο κέντρο ελέγχου κυκλοφορίας. Στην περίπτωση αυτή υπάρχει επιβεβαιωμένη επίθεση (ή κίνδυνος κάποιας μορφής), και είτε η κατάσταση χρειάζεται ανθρώπινο χειρισμό (επικοινωνία με τον δράστη), είτε δεν υπάρχουν ακριβείς πληροφορίες στο σύστημα για το τι πρέπει να γίνει. Το τρίτο και τελευταίο αποτέλεσμα σηματοδοτείται με την ένδειξη “Wait for orders”, όπου ο συρμός παραμένει σε όποια κατάσταση βρίσκεται μέχρι να λάβει νέες εντολές από το κέντρο ελέγχου κυκλοφορίας. Το σήμα αυτό δίνεται στις περιπτώσεις όπου είτε το σύστημα χρειάζεται να παρακαμφθεί λόγω βλάβης ή ανθρώπινης απόφασης, είτε το κέντρο ελέγχου κυκλοφορίας χρειάζεται περισσότερο χρόνο για την εκτίμηση της κατάστασης και τη συνέχιση της επικοινωνίας με τον συρμό.



Εικόνα 3.2 Αρχική σελίδα expert system

3.4 “Attack”

Στη συνέχεια θα περιγράψουμε αναλυτικά τη λειτουργία του συστήματος, τις αποφάσεις που λαμβάνει σε κάθε περίπτωση και τον τρόπο που επικοινωνεί με το κέντρο ελέγχου κυκλοφορίας. Το σύστημα “Attack” διαμορφώθηκε μέσω της ελεύθερης διαδικτυακής πλατφόρμας <https://www.mcgoo.com.au/> . Η πρώτη ερώτηση που τίθεται στο σύστημα “Is there an emergency?”, με απαντήσεις “Yes” και “No”, είναι ουσιαστικά έλεγχος για λάθος συναγερμό (ή λάθος ενεργοποίηση) καθώς η απάντηση “No” θα ενεργοποιηθεί μόνο αν το σύστημα ξεκίνησε να λειτουργεί χωρίς κάποια ένδειξη, πιθανά από τεχνικό λάθος. Το σύστημα ξεκινά να δουλεύει από τη στιγμή που υπάρχει κάποια κατάσταση έκτακτης ανάγκης (απάντηση “Yes”), όπου και θέτει ερωτήσεις για να διαπιστώσει τη μορφή της και τις ενέργειες που θα ορίσει. Θα περιγράψουμε κάθε μία από τις καταστάσεις που αναφέραμε παραπάνω ξεχωριστά.



Εικόνα 3.3 Δέντρο αποφάσεων

- Αποσκευή χωρίς επιτήρηση

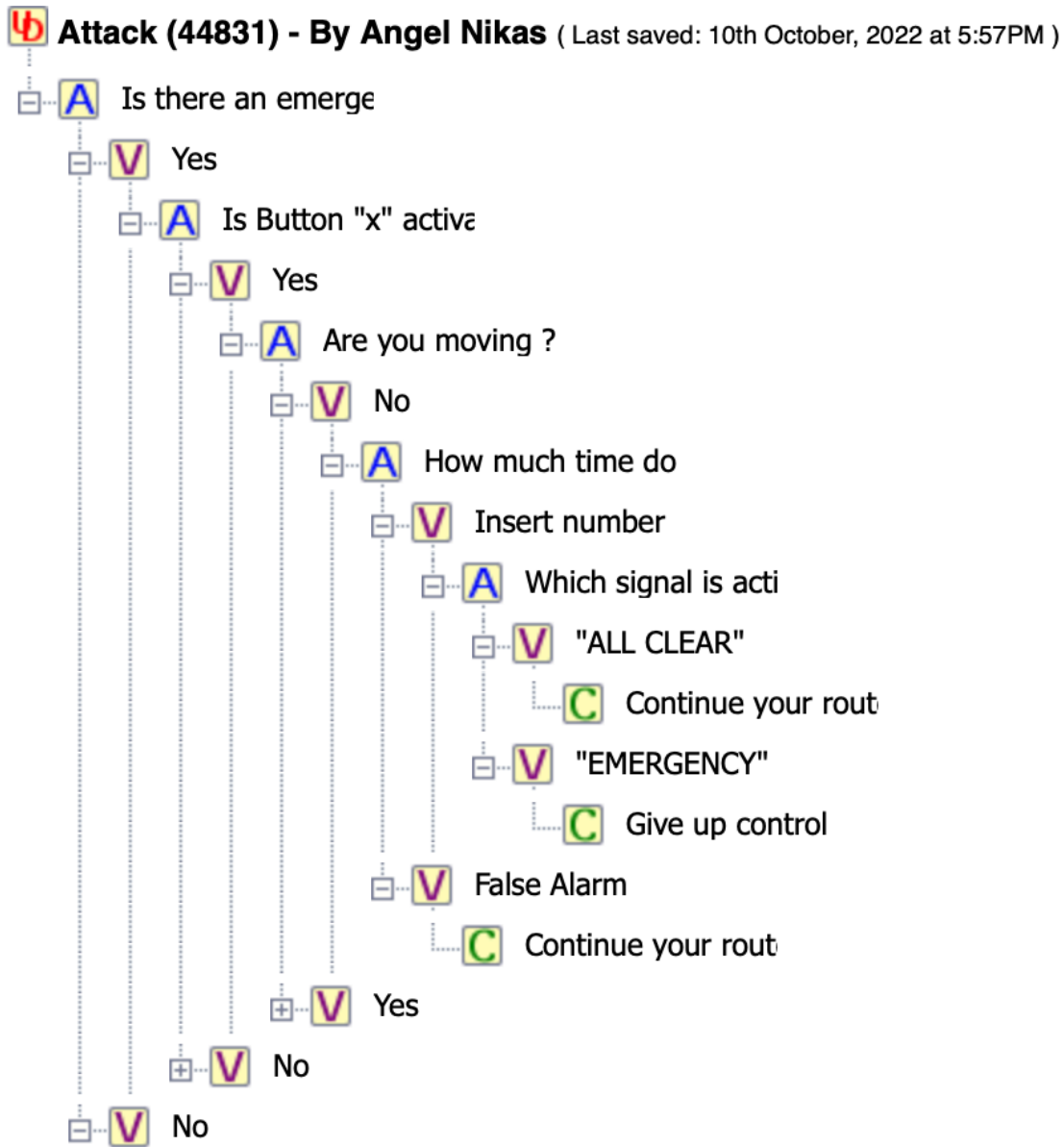
Η πρώτη περίπτωση αφορά σε αποσκευή χωρίς επιτήρηση εντός του συρμού, η οποία σηματοδοτείται με το πάτημα του “Button x”. Το σύστημα θα ρωτήσει εάν το “Button x” είναι ενεργοποιημένο, και αν λάβει αρνητική απάντηση συνεχίζει ελέγχοντας τις άλλες περιπτώσεις επίθεσης. Αν όμως λάβει θετική απάντηση, αρχικά θα ενεργοποιήσει τις κάμερες και τα μεγάφωνα στο συγκεκριμένο βαγόνι, προκειμένου το κέντρο ελέγχου κυκλοφορίας να έχει επαφή με την κατάσταση.

Εαν ο συρμός δεν κινείται, δηλαδή βρίσκεται σε κάποιο σταθμό, οι εντολές που λαμβάνει είναι να μη συνεχίσει την πορεία του, να ειδοποιήσει την ασφάλεια του σταθμού, να κλείσει τις πόρτες από τα υπόλοιπα βαγόνια (προκειμένου να μειωθεί όσο το δυνατόν ο συνωστισμός) και να

κρατήσει ανοιχτή την πόρτα από το συγκεκριμένο βαγόνι (προκειμένου να απομακρυνθεί ο κόσμος και να μπορεί να επέμβει η ασφάλεια του σταθμού). Στη συνέχεια, ζητά από το κέντρο ελέγχου κυκλοφορίας να του δώσει ένα χρόνο που θα χρειαστεί να περιμένει μέχρι να εμφανιστεί κάποιο σήμα που θα το οδηγήσει στην ενεργοποίηση ενός πακέτου εντολών. Σε περίπτωση που δε δοθεί αριθμός (που αντιστοιχεί σε λεπτά αναμονής), πρόκειται για λάθος συναγερμό και το σύστημα δίνει την εντολή “Continue your route”. Στην άλλη περίπτωση όπου δοθεί αριθμός, ο συρμός περιμένει το ορισμένο χρονικό διάστημα μέχρι να ενεργοποιηθεί είτε το σήμα “All Clear”, είτε το σήμα “Emergency”.

Στην πρώτη περίπτωση, δηλαδή στην περίπτωση που απομακρύνθηκε ασφαλώς η αποσκευή, δίνεται εντολή ο συρμός να ανοίξει όλες τις πόρτες, να περιμένει 30 δευτερόλεπτα για να αποβιβαστεί/επιβιβαστεί το κοινό, να κλείσει τις πόρτες, να απενεργοποιήσει τις κάμερες και τα μεγάφωνα και να συνεχίσει τη διαδρομή του. Στη δεύτερη περίπτωση, όπου δηλαδή υπάρχει κάποιος επιβεβαιωμένος εκρηκτικός μηχανισμός, οι εντολές που δίνονται είναι οι εξής: να ειδοποιηθεί η πυροσβεστική και το προσωπικό ασφαλείας, να ενεργοποιηθούν όλες οι κάμερες, να ανοίξουν οι πόρτες από τα γειτονικά βαγόνια (προκειμένου να απομακρυνθεί ο κόσμος που μπορεί να επηρεαστεί από έκρηξη), και να ενημερώσει τους επιβάτες με αυτοματοποιημένα μηνύματα να παραμείνουν ψύχραιμοι και να ακολουθήσουν οδηγίες. Έπειτα δίνεται η εντολή “Give up control” και αναλαμβάνει τον χειρισμό της κατάστασης το κέντρο ελέγχου κυκλοφορίας, το οποίο θα έχει αξιολογήσει την κρισιμότητα της κατάστασης και θα έχει συνολική εικόνα από τις διαδικασίες εκκένωσης του σταθμού.

Εάν ο συρμός κινείται, το μόνο σημείο διαφοροποίησης είναι η ερώτηση “Where do I stop?” με πιθανές απαντήσεις: έναν αριθμό που αντιστοιχεί σε κάποιον σταθμό (όπου και δίνεται η εντολή να σταματήσει και να ανοίξει τις πόρτες του συγκεκριμένου βαγονιού), ή “No station”. Η απάντηση αυτή μπορεί να δοθεί είτε γιατί υπάρχει καθυστέρηση στην εκτίμηση της κατάστασης, είτε γιατί έχει ενεργοποιηθεί λάθος συναγερμός, αλλά σε κάθε περίπτωση ενεργοποιείται η ένδειξη “Wait for orders”.



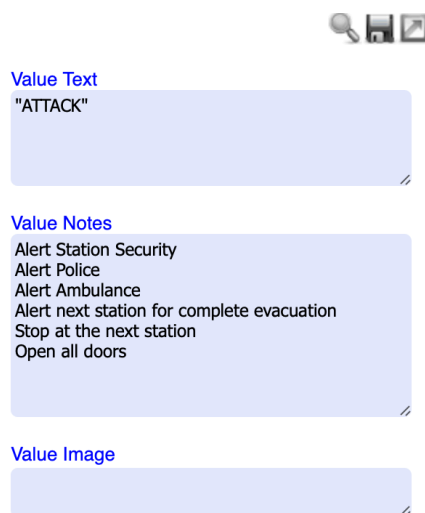
Εικόνα 3.4 Αποσκευή χωρίς επιτήρηση

• Οπλισμένο άτομο που απειλεί

Η δεύτερη περίπτωση αφορά σε πιθανή παρουσία οπλισμένου ατόμου που απειλεί, σε ένα από τα 3 στάδια που αναφέρθηκαν παραπάνω. Όσον αφορά στο σύστημα, η περίπτωση αυτή γίνεται αντιληπτή είτε μέσω του “Button y” είτε μέσω των ηχητικών αισθητήρων. Ο βασικός κορμός της διαδικασίας που ακολουθείται είναι ανεξάρτητος του τρόπου με τον οποίο γίνεται αντιληπτή η επίθεση, οπότε οι εντολές και η αλληλουχία τους είναι σταθερή. Για παράδειγμα σε κάθε περίπτωση (όπως και στην αποσκευή χωρίς επιτήρηση) δίνονται άμεσα εντολές για να ανοίξουν οι κάμερες και τα μεγάφωνα και να ειδοποιηθεί ο συρμός για τον σταθμό που θα σταματήσει ή για το βαγόνι στο οποίο εντοπίζεται το θέμα. Επίσης, όπως και με την προηγούμενη περίπτωση, υπάρχουν δικλίδες ασφαλείας είτε για λάθος συναγερμό είτε για κάποιο τεχνικό

πρόβλημα, οι οποίες ενεργοποιούν την ένδειξη “Wait for orders”. Ακόμη, δίνεται όμοια σειρά ερωτήσεων για την εκτίμηση χρόνου αναμονής αλλά εδώ διαφοροποιούνται τα σήματα, και αφορούν σε καθένα από τα 3 στάδια επικινδυνότητας που περιγράψαμε παραπάνω. Θα περιγράψουμε στη συνέχεια τις εντολές και τις διαδικασίες επικοινωνίας που ορίζει το σύστημα σε κάθε ένα από τα 3 αυτά στάδια.

Στο στάδιο “Attack”, ενεργοποιείται από το κέντρο ελέγχου κυκλοφορίας το σήμα “Attack”, και δίνονται εντολές για να: ειδοποιηθεί η ασφάλεια των επόμενων σταθμών για εκκένωση, η αστυνομία και οι πρώτες βοήθειες, να σταματήσει στον επόμενο σταθμό και να ανοίξει όλες τις πόρτες. Έπειτα ενεργοποιείται η ένδειξη “Give up control”, και ο έλεγχος παραδίδεται ανάλογα την κατάσταση στον αρμόδιο χειριστή. Επιλέγεται να σταματήσει στον επόμενο σταθμό και όχι να υπάρξει επικοινωνία με το κέντρο γιατί στο στάδιο αυτό είναι πιθανό να υπάρχουν ήδη θύματα ή η κατάσταση να είναι τόσο κρίσιμη ώστε να μην υπάρχει περιθώριο ανθρώπινης επέμβασης εντός του συρμού. Ακόμη επιλέγεται να ενεργοποιηθεί πρωτόκολο εκκένωσης του σταθμού, ακριβώς επειδή η κατάσταση είναι απρόβλεπτη και πιθανά να χρειαστεί άμεση επέμβαση ειδικών μονάδων διαχείρισης κρίσεων.



Εικόνα 3.5 Πακέτο εντολών

Στο στάδιο “Minor” αντίστοιχα ενεργοποιείται το σήμα “Minor” και δίνονται εντολές για να: σταματήσει ο συρμός στον σταθμό που όρισε το κέντρο ελέγχου, να κρατήσει κλειστές τις υπόλοιπες πόρτες και να ανοίξει τις πόρτες του συγκεκριμένου βαγονιού. Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία για τον χρόνο αναμονής και την ενεργοποίηση σημάτων, εδώ είτε θα εμφανιστεί το σήμα “All Clear” (όπου θα ακολουθήσει τις ίδιες εντολές με την πρώτη περίπτωση) είτε δεν θα εμφανιστεί κάποιο σήμα και αναγκαστικά θα ακολουθηθεί η εντολή “Wait for orders”.

Το στάδιο “Major”, διαφοροποιείται από το “Minor” σε 2 σημεία. Πρώτον, δεν δίνεται άμεσα εντολή για να σταματήσει σε κάποιον σταθμό, αλλά δίνεται ποσοστό σταδιακής μείωσης ταχύτητας του συρμού, αφού έχει ειδοποιηθεί η ασφάλεια του σταθμού και η αστυνομία. Αυτό επιλέγεται γιατί δίνει χρόνο στο κέντρο ελέγχου να προετοιμάσει τις συνθήκες στον σταθμό που τελικά θα σταματήσει ο συρμός. Για παράδειγμα, ανάλογα με την κατάσταση που επικρατεί εντός του συρμού μπορεί να πρέπει να εμπλακεί ειδικευμένο προσωπικό, το οποίο θα πρέπει να έχει το χρόνο να ενημερωθεί και να φτάσει στο σημείο, ή να ξεκινήσουν άμεσα διαδικασίες εκκένωσης. Δεύτερον, σε κάθε κόμβο ερώτησης/απάντησης/εντολών, υπάρχει εδώ η πιθανότητα να ενεργοποιηθεί ανά πάσα στιγμή το σήμα “Give up control”. Η διαφοροποίηση αυτή είναι σημαντική, γιατί το στάδιο “Major” εύκολα μπορεί να μετατραπεί σε “Attack”, οπότε και το κέντρο ελέγχου κυκλοφορίας θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να επέμβει ανα πάσα στιγμή.

31	<p>IF is there an emergency ? yes AND is Button "x" activated ? no AND is Button "y" activated ? yes AND how much time do you need ? insert number AND which signal is activated ? "MINOR" AND where do I stop ? insert station number AND how much time do you need ? insert number AND is "ALL CLEAR" signal activated ? yes THEN the conclusion is Continue your route.</p>
32	<p>IF is there an emergency ? yes AND is Button "x" activated ? no AND is Button "y" activated ? yes AND how much time do you need ? insert number AND which signal is activated ? "MINOR" AND where do I stop ? insert station number AND how much time do you need ? insert number AND is "ALL CLEAR" signal activated ? no THEN the conclusion is Wait for orders.</p>
33	<p>IF is there an emergency ? yes AND is Button "x" activated ? no AND is Button "y" activated ? yes AND how much time do you need ? insert number AND which signal is activated ? "MAJOR" AND what is the speed reduction ? insert percentage AND is "GIVE UP CONTROL" signal activated ? no AND where do I stop ? insert station number THEN the conclusion is Give up control.</p>
34	<p>IF is there an emergency ? yes AND is Button "x" activated ? no AND is Button "y" activated ? yes AND how much time do you need ? insert number AND which signal is activated ? "MAJOR" AND what is the speed reduction ? insert percentage AND is "GIVE UP CONTROL" signal activated ? no AND where do I stop ? no stop THEN the conclusion is Wait for orders.</p>

Εικόνα 3.6 Σύνολο κανόνων

• Υποπτος εντός του συρμού

Η τελευταία περίπτωση αφορά σε πληροφορίες που έχει λάβει το κέντρο ελέγχου κυκλοφορίας για κάποιον ύποπτο εντός του συρμού. Στο σημείο αυτό πρέπει να γίνει σαφές ότι η πληροφορία αυτή δεν λαμβάνεται από συνεχώς ενεργοποιημένες κάμερες εντός του συρμού, γεγονός που αποτελεί σημαντικό θέμα ιδιωτικότητας και δικαιωμάτων του επιβατικού κοινού. Αντίθετα, πρόκειται για περιπτώσεις όπου έχουν δοθεί σήματα παραδείγματος χάριν από διεθνείς οργανισμούς για καταζητούμενους με πρόθεση να δράσουν, και επιβεβαιωμένα έχουν επιβιβαστεί στον συρμό.

Εδώ ακολουθούνται οι ίδιες διαδικασίες με όλες τις παραπάνω περιπτώσεις σχετικά με τον χρόνο αναμονής, τα μηνύματα στο επιβατικό κοινό, την ενημέρωση των αρμόδιων που μπορούν να επέμβουν, τις δικλίδες ασφαλείας για λάθη και την εκτίμηση του σταθμού στον οποίο θα σταματήσει ο συρμός. Το σημείο διαφοροποίησης είναι ένα σήμα που προστίθεται στα ήδη υπάρχοντα, το οποίο σηματοδοτείται “All Set”, και δίνει εντολές να παραμείνει σταθμευμένος ο συρμός αλλά ανοιχτές οι πόρτες. Επιλέγεται αυτό το σήμα, για την ειδική αυτή περίπτωση όπου ο ύποπτος δεν πρέπει να αντιληφθεί ότι παρακολουθείται, και ενώ έχουν γίνει οι απαραίτητες ενέργειες από το κέντρο ελέγχου, ο συρμός δίνει την εντολή να ξεκινήσει η διαδικασία επέμβασης, παρακολούθησης ή όποια απόφαση έχει ληφθεί από ειδικούς. Αλλιώς, ενεργοποιούνται με τον ίδιο τρόπο τα σήματα “All Clear” και “Wait for orders”.

Expert System - Attack by Angel Nikas																		
Decision Table																		
Conclusion	Is there an emergency ?	Is Button "x" activated ?	Are you moving ?	Is Button "y" activated ?	How much time do you need ?	Is sound sensor triggered ?	In which train car ?	Is there any suspect information ?	In which train car ?	How much time do you need ?	Which signal is activated ?	Which signal is activated ?	How much time do you need ?	Which signal is activated ?	Where do I stop ?	What is the speed reduction ?	How much time do you need ?	Is "ALL CLEAR" signal activated ?
Continue your route	Yes	No	na	No	na	No	na	No	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na
Continue your route	No	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na
Give up control	Yes	No	na	No	Insert number	No	Insert number	Yes	Insert number	Insert number	"ALL SET"	"ALL SET"	Insert number	"ALL SET"	na	na	Insert number	na
Continue your route	Yes	No	na	No	Insert number	No	Insert number	Yes	Insert number	Insert number	"ALL CLEAR"	"ALL CLEAR"	Insert number	"ALL CLEAR"	na	na	Insert number	na
Wait for orders	Yes	No	na	No	Insert number	No	Insert number	Yes	Insert number	Insert number	No signal	No signal	Insert number	No signal	na	na	Insert number	na
Continue your route	Yes	No	na	No	na	No	False Alarm	Yes	False Alarm	na	na	na	na	na	na	na	na	na
Give up control	Yes	No	na	No	No time	No	Insert number	Yes	Insert number	No time	"ALL SET"	"ALL SET"	No time	"ALL SET"	na	na	No time	na
Continue your route	Yes	No	na	No	No time	No	Insert number	Yes	Insert number	No time	"ALL CLEAR"	"ALL CLEAR"	No time	"ALL CLEAR"	na	na	No time	na
Wait for orders	Yes	No	na	No	No time	No	Insert number	Yes	Insert number	No time	No signal	No signal	No time	No signal	na	na	No time	na
Continue your route	Yes	No	na	No	na	Yes	False Alarm	na	False Alarm	na	na	na	na	na	na	na	na	na
Give up control	Yes	No	na	No	No time	Yes	Insert number	na	Insert number	No time	na	na	No time	na	na	na	No time	na
Give up control	Yes	No	na	No	Insert number	Yes	Insert number	na	Insert number	Insert number	"GIVE UP CONTROL"	"GIVE UP CONTROL"	Insert number	"GIVE UP CONTROL"	na	na	Insert number	na
Continue your route	Yes	No	na	No	Insert number	Yes	Insert number	na	Insert number	Insert number	"ALL CLEAR"	"ALL CLEAR"	Insert number	"ALL CLEAR"	na	na	Insert number	na
Give up control	Yes	No	na	No	Insert number	Yes	Insert number	na	Insert number	Insert number	"ATTACK"	"ATTACK"	Insert number	"ATTACK"	na	na	Insert number	na

Εικόνα 3.7 Πίνακας κανόνων

Τα στοιχεία του συστήματος είναι διαθέσιμα στον σύνδεσμο: <http://www.mcgoo.com.au/esbuilder/viewer/viewES.php?es=7a7c5e5649c328ae60c5f3b0cf454a00>

Στη συνέχεια αναλύονται όλοι οι κανόνες που ακολουθεί το σύστημα, στη μορφή AN...KAI...TOTE.

- 1) AN η απάντηση στην ερώτηση “is there an emergency” είναι **όχι** TOTE “Continue your route”
- 2) AN η απάντηση στην ερώτηση “is there an emergency” είναι **ναι** KAI η απαντηση στην ερώτηση “is Button x activated?” είναι **όχι** KAI η απαντηση στην ερώτηση “is Button y activated?” είναι **όχι** KAI η απαντηση στην ερώτηση “is sound sensor triggered?” είναι **όχι** KAI η απαντηση στην ερώτηση “is there any suspect information?” είναι **όχι** TOTE “Continue your route”
- 3) AN η απάντηση στην ερώτηση “is there an emergency” είναι **ναι** KAI η απαντηση στην ερώτηση “is Button x activated?” είναι **όχι** KAI η απαντηση στην ερώτηση “is Button y activated?” είναι **όχι** KAI η απαντηση στην ερώτηση “is sound sensor triggered?” είναι **όχι** KAI η απαντηση στην ερώτηση “is there any suspect information?” είναι **ναι** KAI δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “In which train car?” (Turn on cameras on train car | Turn on speakers on train car | Alert Station Security | Stop at the next station | Do not open doors | Play Automatic message #6) KAI δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “How much time do you need?” (Wait for signal activation) και η απαντηση στην ερώτηση “which signal is activated?” είναι **ALL SET** (Open all doors | Do not start | Keep all doors open) TOTE “Give up control”
- 4) AN η απάντηση στην ερώτηση “is there an emergency” είναι **ναι** KAI η απαντηση στην ερώτηση “is Button x activated?” είναι **όχι** KAI η απαντηση στην ερώτηση “is Button y activated?” είναι **όχι** KAI η απαντηση στην ερώτηση “is sound sensor triggered?” είναι **όχι** KAI η απαντηση στην ερώτηση “is there any suspect information?” είναι **ναι** KAI δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “In which train car?” (Turn on cameras on train car | Turn on speakers on train car | Alert Station Security | Stop at the next station | Do not open doors | Play Automatic message #6) KAI δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “How much time do you need?” (Wait for signal activation) και η απαντηση στην ερώτηση “which signal is activated?” είναι **ALL CLEAR** (Close all doors) TOTE “Continue your route”
- 5) AN η απάντηση στην ερώτηση “is there an emergency” είναι **ναι** KAI η απαντηση στην ερώτηση “is Button x activated?” είναι **όχι** KAI η απαντηση στην ερώτηση “is Button y activated?” είναι **όχι** KAI η απαντηση στην ερώτηση “is sound sensor triggered?” είναι **όχι** KAI η απαντηση στην ερώτηση “is there any suspect information?” είναι **ναι** KAI δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “In which train car?” (Turn on cameras on train car | Turn on speakers on train car | Alert Station Security | Stop at the next station | Do not open doors | Play Automatic message #6) KAI δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “How much time do you need?” (Wait for signal activation) και η απαντηση στην ερώτηση “which signal is activated?” είναι **no signal** TOTE “Wait for orders”
- 6) AN η απάντηση στην ερώτηση “is there an emergency” είναι **ναι** KAI η απαντηση στην ερώτηση “is Button x activated?” είναι **όχι** KAI η απαντηση στην ερώτηση “is Button y activated?” είναι **όχι** KAI η απαντηση στην ερώτηση “is sound sensor triggered?” είναι **όχι** KAI η απαντηση στην ερώτηση “is there any suspect information?” είναι **ναι** KAI δοθεί **απάντηση False Alarm** στην ερώτηση “In which train car?” TOTE “Continue your route”
- 7) AN η απάντηση στην ερώτηση “is there an emergency” είναι **ναι** KAI η απαντηση στην ερώτηση “is Button x activated?” είναι **όχι** KAI η απαντηση στην ερώτηση “is Button y activated?” είναι **όχι** KAI η απαντηση στην ερώτηση “is sound sensor triggered?” είναι **όχι**

ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is there any suspect information?” είναι **ναι** ΚΑΙ δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “In which train car?” (Turn on cameras on train car | Turn on speakers on train car | Alert Station Security | Stop at the next station | Do not open doors | Play Automatic message #6) ΚΑΙ δοθεί **απάντηση No time** στην ερώτηση “How much time do you need?” (Wait for signal activation) και η απάντηση στην ερώτηση “which signal is activated?” είναι **ALL SET** (Open all doors | Do not start | Keep all doors open) ΤΟΤΕ “Give up control”

- 8) ΑΝ η απάντηση στην ερώτηση “is there an emergency” είναι **ναι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Button x activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Button y activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is sound sensor triggered?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is there any suspect information?” είναι **ναι** ΚΑΙ δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “In which train car?” (Turn on cameras on train car | Turn on speakers on train car | Alert Station Security | Stop at the next station | Do not open doors | Play Automatic message #6) ΚΑΙ δοθεί **απάντηση No time** στην ερώτηση “How much time do you need?” (Wait for signal activation) και η απάντηση στην ερώτηση “which signal is activated?” είναι **ALL CLEAR** (Close all doors) ΤΟΤΕ “Continue your route”
- 9) ΑΝ η απάντηση στην ερώτηση “is there an emergency” είναι **ναι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Button x activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Button y activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is sound sensor triggered?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is there any suspect information?” είναι **ναι** ΚΑΙ δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “In which train car?” (Turn on cameras on train car | Turn on speakers on train car | Alert Station Security | Stop at the next station | Do not open doors | Play Automatic message #6) ΚΑΙ δοθεί **απάντηση No time** στην ερώτηση “How much time do you need?” (Wait for signal activation) και η απάντηση στην ερώτηση “which signal is activated?” είναι **No signal** (Close all doors) ΤΟΤΕ “Wait for orders”
- 10) ΑΝ η απάντηση στην ερώτηση “is there an emergency” είναι **ναι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Button x activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Button y activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is sound sensor triggered?” είναι **ναι** ΚΑΙ δοθεί **απάντηση False Alarm** στην ερώτηση “In which train car?” ΤΟΤΕ “Continue your route”
- 11) ΑΝ η απάντηση στην ερώτηση “is there an emergency” είναι **ναι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Button x activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Button y activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is sound sensor triggered?” είναι **ναι** ΚΑΙ δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “In which train car?” (Turn on cameras on train car | Turn on speakers on train car) ΚΑΙ δοθεί **απάντηση No time** στην ερώτηση “How much time do you need?” ΤΟΤΕ “Give up control”
- 12) ΑΝ η απάντηση στην ερώτηση “is there an emergency” είναι **ναι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Button x activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Button y activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is sound sensor triggered?” είναι **ναι** ΚΑΙ δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “In which train car?” (Turn on cameras on train car | Turn on speakers on train car) ΚΑΙ δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “How much time do you need?” (Wait for signal activation) και η απάντηση στην ερώτηση “which signal is activated?” είναι **ATTACK** (Alert Station Security | Alert Police | Alert Ambulance services | Alert next station for complete evacuation | Stop at the next station | Open all doors) ΤΟΤΕ “Give up control”

- 13) AN η απάντηση στην ερώτηση “is there an emergency” είναι **ναι** ΚΑΙ η απαντηση στην ερώτηση “is Button x activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απαντηση στην ερώτηση “is Button y activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απαντηση στην ερώτηση “is sound sensor triggered?” είναι **ναι** ΚΑΙ δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “In which train car?” (**Turn on cameras on train car | Turn on speakers on train car**) ΚΑΙ δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “How much time do you need?” (**Wait for signal activation**) και η απαντηση στην ερώτηση “which signal is activated?” είναι **GIVE UP CONTROL TOTE** “**Give up control**”
- 14) AN η απάντηση στην ερώτηση “is there an emergency” είναι **ναι** ΚΑΙ η απαντηση στην ερώτηση “is Button x activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απαντηση στην ερώτηση “is Button y activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απαντηση στην ερώτηση “is sound sensor triggered?” είναι **ναι** ΚΑΙ δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “In which train car?” (**Turn on cameras on train car | Turn on speakers on train car**) ΚΑΙ δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “How much time do you need?” (**Wait for signal activation**) και η απαντηση στην ερώτηση “which signal is activated?” είναι **ALL CLEAR TOTE** “**Continue your route**”
- 15) AN η απάντηση στην ερώτηση “is there an emergency” είναι **ναι** ΚΑΙ η απαντηση στην ερώτηση “is Button x activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απαντηση στην ερώτηση “is Button y activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απαντηση στην ερώτηση “is sound sensor triggered?” είναι **ναι** ΚΑΙ δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “In which train car?” (**Turn on cameras on train car | Turn on speakers on train car**) ΚΑΙ δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “How much time do you need?” (**Wait for signal activation**) και η απαντηση στην ερώτηση “which signal is activated?” είναι **MINOR (Alert Station Security | Play automatic message #4 on train car)** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “where do I stop?” είναι **No Station TOTE** “**Wait for orders**”
- 16) AN η απάντηση στην ερώτηση “is there an emergency” είναι **ναι** ΚΑΙ η απαντηση στην ερώτηση “is Button x activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απαντηση στην ερώτηση “is Button y activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απαντηση στην ερώτηση “is sound sensor triggered?” είναι **ναι** ΚΑΙ δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “In which train car?” (**Turn on cameras on train car | Turn on speakers on train car**) ΚΑΙ δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “How much time do you need?” (**Wait for signal activation**) και η απαντηση στην ερώτηση “which signal is activated?” είναι **MINOR (Alert Station Security | Play automatic message #4 on train car)** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “where do I stop?” (**Wait for signal activation**) είναι **αριθμητική (Stop at indicated station | Do not open doors | Open doors of train car)** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “Is ALL CLEAR signal activated?” είναι **ναι (Open all doors | Wait 45 seconds)** TOTE “**Continue your route**”
- 17) AN η απάντηση στην ερώτηση “is there an emergency” είναι **ναι** ΚΑΙ η απαντηση στην ερώτηση “is Button x activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απαντηση στην ερώτηση “is Button y activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απαντηση στην ερώτηση “is sound sensor triggered?” είναι **ναι** ΚΑΙ δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “In which train car?” (**Turn on cameras on train car | Turn on speakers on train car**) ΚΑΙ δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “How much time do you need?” (**Wait for signal activation**) και η απαντηση στην ερώτηση “which signal is activated?” είναι **MINOR (Alert Station Security | Play automatic message #4 on train car)** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “where do I stop?” (**Wait for signal activation**) είναι **αριθμητική (Stop at indicated station | Do not open doors | Open doors of train car)** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “Is ALL CLEAR signal activated?” είναι **όχι** TOTE “**Wait for orders**”

- 18) AN η απάντηση στην ερώτηση “is there an emergency” είναι **ναι** ΚΑΙ η απαντηση στην ερώτηση “is Button x activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απαντηση στην ερώτηση “is Button y activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απαντηση στην ερώτηση “is sound sensor triggered?” είναι **ναι** ΚΑΙ δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “In which train car?” (Turn on cameras on train car | Turn on speakers on train car) ΚΑΙ δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “How much time do you need?” (Wait for signal activation) και η απαντηση στην ερώτηση “which signal is activated?” είναι **MINOR** (Alert Station Security | Play automatic message #4 on train car) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “where do I stop?” (Wait for signal activation) είναι **αριθμητική** (Stop at indicated station | Do not open doors | Open doors of train car) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “How much time do you need?” είναι **no time** TOTE “Wait for orders”
- 19) AN η απάντηση στην ερώτηση “is there an emergency” είναι **ναι** ΚΑΙ η απαντηση στην ερώτηση “is Button x activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απαντηση στην ερώτηση “is Button y activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απαντηση στην ερώτηση “is sound sensor triggered?” είναι **ναι** ΚΑΙ δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “In which train car?” (Turn on cameras on train car | Turn on speakers on train car) ΚΑΙ δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “How much time do you need?” (Wait for signal activation) και η απαντηση στην ερώτηση “which signal is activated?” είναι **MAJOR** (Alert Station Security | Alert Police | Play automatic message #5 | Do not stop at the next station) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “what is the speed reduction?” είναι **no reduction** TOTE “Give up control”
- 20) AN η απάντηση στην ερώτηση “is there an emergency” είναι **ναι** ΚΑΙ η απαντηση στην ερώτηση “is Button x activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απαντηση στην ερώτηση “is Button y activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απαντηση στην ερώτηση “is sound sensor triggered?” είναι **ναι** ΚΑΙ δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “In which train car?” (Turn on cameras on train car | Turn on speakers on train car) ΚΑΙ δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “How much time do you need?” (Wait for signal activation) και η απαντηση στην ερώτηση “which signal is activated?” είναι **MAJOR** (Alert Station Security | Alert Police | Play automatic message #5 | Do not stop at the next station) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “what is the speed reduction?” είναι **ποσοστό** (Reduce speed) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Give up Control signal activated?” είναι **ναι** TOTE “Give up control”
- 21) AN η απάντηση στην ερώτηση “is there an emergency” είναι **ναι** ΚΑΙ η απαντηση στην ερώτηση “is Button x activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απαντηση στην ερώτηση “is Button y activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απαντηση στην ερώτηση “is sound sensor triggered?” είναι **ναι** ΚΑΙ δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “In which train car?” (Turn on cameras on train car | Turn on speakers on train car) ΚΑΙ δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “How much time do you need?” (Wait for signal activation) και η απαντηση στην ερώτηση “which signal is activated?” είναι **MAJOR** (Alert Station Security | Alert Police | Play automatic message #5 | Do not stop at the next station) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “what is the speed reduction?” είναι **ποσοστό** (Reduce speed) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Give up Control signal activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “where do I stop?” είναι **αριθμητική** (Alert station for complete evaluation | Alert all stations after for platform evacuation | Adjust speed for stopping at station | Stop at indicated station | Do not open doors) TOTE “Give up control”
- 22) AN η απάντηση στην ερώτηση “is there an emergency” είναι **ναι** ΚΑΙ η απαντηση στην ερώτηση “is Button x activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απαντηση στην ερώτηση “is Button y activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απαντηση στην ερώτηση “is sound sensor triggered?” είναι **ναι**

- ΚΑΙ δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “In which train car?” (Turn on cameras on train car | Turn on speakers on train car) ΚΑΙ δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “How much time do you need?” (Wait for signal activation) και η απάντηση στην ερώτηση “which signal is activated?” είναι **MAJOR** (Alert Station Security | Alert Police | Play automatic message #5 | Do not stop at the next station) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “what is the speed reduction?” είναι **ποσοστό** (Reduce speed) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Give up Control signal activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “where do I stop?” είναι **no station** TOTE “Wait for orders”
- 23) ΑΝ η απάντηση στην ερώτηση “is there an emergency” είναι **ναι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Button x activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Button y activated?” είναι **ναι** ΚΑΙ δοθεί **απάντηση False Alarm** στην ερώτηση “How much time do you need?” TOTE “Continue your route”
- 24) ΑΝ η απάντηση στην ερώτηση “is there an emergency” είναι **ναι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Button x activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Button y activated?” είναι **ναι** ΚΑΙ δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “How much time do you need?” (Wait for signal activation) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “which signal is activated?” είναι **ATTACK** (Alert Station Security | Alert Police | Alert Ambulance services | Alert next station for complete evacuation | Stop at the next station | Open all doors) TOTE “Give up control”
- 25) ΑΝ η απάντηση στην ερώτηση “is there an emergency” είναι **ναι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Button x activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Button y activated?” είναι **ναι** ΚΑΙ δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “How much time do you need?” (Wait for signal activation) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “which signal is activated?” είναι **GIVE UP CONTROL** TOTE “Give up control”
- 26) ΑΝ η απάντηση στην ερώτηση “is there an emergency” είναι **ναι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Button x activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Button y activated?” είναι **ναι** ΚΑΙ δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “How much time do you need?” (Wait for signal activation) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “which signal is activated?” είναι **ALL CLEAR** TOTE “Continue your route”
- 27) ΑΝ η απάντηση στην ερώτηση “is there an emergency” είναι **ναι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Button x activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Button y activated?” είναι **ναι** ΚΑΙ δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “How much time do you need?” (Wait for signal activation) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “which signal is activated?” είναι **MINOR** (Alert Station Security | Play automatic message #4 on train car) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “where do I stop?” είναι **No Station** TOTE “Wait for orders”
- 28) ΑΝ η απάντηση στην ερώτηση “is there an emergency” είναι **ναι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Button x activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Button y activated?” είναι **ναι** ΚΑΙ δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “How much time do you need?” (Wait for signal activation) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “which signal is activated?” είναι **MAJOR** (Alert Station Security | Alert Police | Play automatic message #5 | Do not stop at the next station) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “what is the speed reduction?” είναι **no reduction** TOTE “Give up control”
- 29) ΑΝ η απάντηση στην ερώτηση “is there an emergency” είναι **ναι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Button x activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Button y activated?” είναι **ναι** ΚΑΙ δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “How much time do

- you need?” (Wait for signal activation) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “which signal is activated?” είναι **MINOR** (Alert Station Security | Play automatic message #4 on train car) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “where do I stop?” (Wait for signal activation) είναι **αριθμητική** (Stop at indicated station | Do not open doors | Open doors of train car) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “How much time do you need?” είναι **no time** TOTE “Wait for orders”
- 30) ΑΝ η απάντηση στην ερώτηση “is there an emergency” είναι **ναι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Button x activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Button y activated?” είναι **ναι** ΚΑΙ δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “How much time do you need?” (Wait for signal activation) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “which signal is activated?” είναι **MAJOR** (Alert Station Security | Alert Police | Play automatic message #5 | Do not stop at the next station) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “what is the speed reduction?” είναι **ποσοστό** (Reduce speed) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Give up Control signal activated?” είναι **ναι** TOTE “Give up control”
- 31) ΑΝ η απάντηση στην ερώτηση “is there an emergency” είναι **ναι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Button x activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Button y activated?” είναι **ναι** ΚΑΙ δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “How much time do you need?” (Wait for signal activation) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “which signal is activated?” είναι **MINOR** (Alert Station Security | Play automatic message #4 on train car) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “where do I stop?” (Wait for signal activation) είναι **αριθμητική** (Stop at indicated station | Do not open doors | Open doors of train car) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “Is ALL CLEAR signal activated?” είναι **ναι** (Open all doors | Wait 45 seconds) TOTE “Continue your route”
- 32) ΑΝ η απάντηση στην ερώτηση “is there an emergency” είναι **ναι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Button x activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Button y activated?” είναι **ναι** ΚΑΙ δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “How much time do you need?” (Wait for signal activation) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “which signal is activated?” είναι **MINOR** (Alert Station Security | Play automatic message #4 on train car) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “where do I stop?” (Wait for signal activation) είναι **αριθμητική** (Stop at indicated station | Do not open doors | Open doors of train car) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “Is ALL CLEAR signal activated?” είναι **όχι** TOTE “Wait for orders”
- 33) ΑΝ η απάντηση στην ερώτηση “is there an emergency” είναι **ναι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Button x activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Button y activated?” είναι **ναι** ΚΑΙ δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “How much time do you need?” (Wait for signal activation) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “which signal is activated?” είναι **MAJOR** (Alert Station Security | Alert Police | Play automatic message #5 | Do not stop at the next station) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “what is the speed reduction?” είναι **ποσοστό** (Reduce speed) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Give up Control signal activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “where do I stop?” είναι **αριθμητική** (Alert station for complete evaluation | Alert all stations after for platform evacuation | Adjust speed for stopping at station | Stop at indicated station | Do not open doors) TOTE “Give up control”
- 34) ΑΝ η απάντηση στην ερώτηση “is there an emergency” είναι **ναι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Button x activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Button y activated?” είναι **ναι** ΚΑΙ δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “How much time do

- you need?” (Wait for signal activation) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “which signal is activated?” είναι **MAJOR** (Alert Station Security | Alert Police | Play automatic message #5 | Do not stop at the next station) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “what is the speed reduction?” είναι **ποσοστό** (Reduce speed) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Give up Control signal activated?” είναι **όχι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “where do I stop?” είναι **no station** TOTE “Wait for orders”
- 35) AN η απάντηση στην ερώτηση “is there an emergency” είναι **ναι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Button x activated?” είναι **ναι** (Turn on cameras on train car | Turn on speakers on train car) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “are you moving?” είναι **όχι** (Do not continue your route | Alert Station Security | Close doors of all train cars | Open doors for train car) ΚΑΙ δοθεί **απάντηση False Alarm** στην ερώτηση “How much time do you need?” TOTE “Continue your route”
- 36) AN η απάντηση στην ερώτηση “is there an emergency” είναι **ναι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Button x activated?” είναι **ναι** (Turn on cameras on train car | Turn on speakers on train car) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “are you moving?” είναι **όχι** (Do not continue your route | Alert Station Security | Close doors of all train cars | Open doors for train car) ΚΑΙ δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “How much time do you need?” (Wait for signal activation) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “which signal is activated?” είναι **ALL CLEAR** (Open all doors | Wait 30 seconds | Close all doors | Turn off cameras and speakers on train car) TOTE “Continue your route”
- 37) AN η απάντηση στην ερώτηση “is there an emergency” είναι **ναι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Button x activated?” είναι **ναι** (Turn on cameras on train car | Turn on speakers on train car) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “are you moving?” είναι **όχι** (Do not continue your route | Alert Station Security | Close doors of all train cars | Open doors for train car) ΚΑΙ δοθεί **απάντηση αριθμητική** στην ερώτηση “How much time do you need?” (Wait for signal activation) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “which signal is activated?” είναι **EMERGENCY** (Alert fire department | Turn on all cameras | Alert for emergency personnel | Open doors of neighbouring train cars | Activate speakers on all train cars | Play Automatic message #2 on neighbouring train cars | Play Automatic message #3 on neighbouring train cars | Open all doors) TOTE “Give up control”
- 38) AN η απάντηση στην ερώτηση “is there an emergency” είναι **ναι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Button x activated?” είναι **ναι** (Turn on cameras on train car | Turn on speakers on train car) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “are you moving?” είναι **ναι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “where do I stop?” είναι **no station** TOTE “Wait for orders”
- 39) AN η απάντηση στην ερώτηση “is there an emergency” είναι **ναι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Button x activated?” είναι **ναι** (Turn on cameras on train car | Turn on speakers on train car) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “are you moving?” είναι **ναι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “where do I stop?” είναι **αριθμητική** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “how much time do you need?” είναι **false alarm** TOTE “Continue your route”
- 40) AN η απάντηση στην ερώτηση “is there an emergency” είναι **ναι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Button x activated?” είναι **ναι** (Turn on cameras on train car | Turn on speakers on train car) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “are you moving?” είναι **ναι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “where do I stop?” είναι **αριθμητική** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “how much time do you need?” είναι **αριθμητική** ?” (Wait for signal activation) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “which signal is activated?” είναι **ALL CLEAR** (Open all doors |

Wait 30 seconds | Close all doors | Turn off cameras and speakers on train car) TOTE “Continue your route”

- 41) AN η απάντηση στην ερώτηση “is there an emergency” είναι **ναι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “is Button x activated?” είναι **ναι** (Turn on cameras on train car | Turn on speakers on train car) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “are you moving?” είναι **ναι** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “where do I stop?” είναι **αριθμητική** ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “how much time do you need?” είναι **αριθμητική** ?” (Wait for signal activation) ΚΑΙ η απάντηση στην ερώτηση “which signal is activated?” είναι **EMERGENCY** (Alert fire department | Turn on all cameras | Alert for emergency personel | Open doors of neighbouring train cars | Activate speakers on all train cars | Play Automatic message #2 on neighbouring train cars | Play Automatic message #3 on neighbouring train cars | Open all doors) TOTE “Give up control”

4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η τεχνητή νοημοσύνη, ορισμένη ως: “... συστήματα που επιδεικνύουν ευφυή συμπεριφορά αναλύοντας το περιβάλλον τους και λαμβάνοντας δράση -με κάποιο βαθμό αυτονομίας- για να επιτύχουν συγκεκριμένους σκοπούς”, έχει εδραιωθεί ως επιστημονικός κλάδος, με τις ρίζες του να βρίσκονται στα τέλη του 18ου αιώνα, αλλά με τα σημεία ουσιαστικής προόδου του να ξεκινούν στο δεύτερο μισό του 20ου αιώνα. Οι βασικές μέθοδοι τεχνητής νοημοσύνης είναι τα συστήματα βασισμένα στη γνώση, οι γενετικοί αλγόριθμοι, τα ασαφή συστήματα και τα νευρωνικά δίκτυα. Η τεχνητή νοημοσύνη είναι ένα χρήσιμο πρίσμα μέσα από το οποίο μπορούν να αναλυθούν προβλήματα στον τομέα των μεταφορών, γεγονός που εξηγεί τις αρκετές εφαρμογές στους τομείς της αεροπλοΐας, των ΜΜΜ και της συλλογικής κινητικότητας. Ειδικά στο σιδηροδρομικό δίκτυο, η τεχνητή νοημοσύνη έχει οδηγήσει σε σημαντικές εφαρμογές (με σημαντικές δυνατότητες επέκτασης στο άμεσο μέλλον) στους παρακάτω τομείς :

Αποφυγή ατυχημάτων

- Ανίχνευση βλαβών
- Ασφάλεια και προστασία σταθμού

Πρόληψη ατυχημάτων

- Αυτόνομη οδήγηση και έλεγχος του συρμού
- Σχεδιασμός και διαχείριση κυκλοφορίας
- Βελτιστοποίηση χρονικού προγραμματισμού (δρομολόγια. υλικό)

Πρόβλεψη ατυχημάτων

- Ανάλυση συμβάντων (ατυχημάτων)
- Συντήρηση και επιθεώρηση τροχαίου και σταθερού εξοπλισμού

Ένα σημείο του υποτομέα της ασφάλειας στις σιδηροδρομικές μεταφορές που μέχρι τώρα δεν έχει εισαχθεί η τεχνητή νοημοσύνη είναι η απόκριση σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, ειδικότερα σε τρομοκρατικό χτύπημα. Διαμορφώσαμε, τέλος, ένα μοντέλο έμπειρου συστήματος βασισμένου σε κανόνες με το όνομα “Attack”, το οποίο θα προσδιορίζει τις ενέργειες που μπορεί να πραγματοποιήσει ο συρμός (σε υπόγεια σιδηροδρομικά δίκτυα σε αστικό περιβάλλον) αυτόνομα σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Το σύστημα αυτό αφορά σε 2 μορφές πιθανής επίθεσης: εκρηκτικό μηχανισμό χωρίς επιτήρηση και οπλισμένο άτομο που απειλεί. Εκτός της επίθεσης μπορεί να λειτουργήσει και στην περίπτωση όπου υπάρχει ύποπτος εντός του συρμού και χρειάζεται να αποτραπεί.

Οι ερευνητικές κατευθύνσεις που ανοίγονται στο πεδίο της τεχνητής νοημοσύνης στις

σιδηροδρομικές μεταφορές είναι πολλά υποσχόμενες και αφορούν στη διαχείριση κυκλοφορίας και αναγνώρισης όρασης/ομιλίας από υπολογιστή, στην αυτόνομη οδήγηση και τον λογικό προγραμματισμό, στην έρευνα ασφαλείας και λειτουργίας και στην πολιτική μεταφορών και μηχανικής μάθησης. Η όραση υπολογιστή μπορεί να παρέχει προηγμένη παρακολούθηση κίνησης τόσο σε σταθμούς όσο και επί του συρμού, συμπεριλαμβανομένου και του προσδιορισμού του πλήθους των επιβατών και της αναγνώρισης συναισθημάτων για την παρακολούθηση της ικανοποίησης των επιβατών, συμπεριλαμβανομένων των οχημάτων χωρίς οδηγό και την παροχή εξατομικευμένων ταξιδιωτικών συμβουλών και εμπειρίας, μεταξύ άλλων σε άτομα με προβλήματα όρασης. Τα εργαλεία οπτικής υποστήριξης θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να βοηθήσουν τους χειριστές με πιο φιλικές προς το χρήστη διεπαφές και να παρέχουν τις σωστές πληροφορίες και τη σωστή στιγμή. Ο λογικός προγραμματισμός θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη εργαλείων υποστήριξης αποφάσεων που βασίζονται σε έμπειρους επαγγελματίες, π.χ. σχεδιαστές, διεκπεραιωτές και εργάτες συντήρησης. Τα μοντέλα που βασίζονται στην έρευνα λειτουργιών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αντιμετώπιση νέων προκλήσεων (κυβερνο-)ασφάλειας. Επίσης, κατά την διάρκεια πανδημιών, όπως ο Covid-19, η απόσταση μεταξύ των επιβατών, δηλαδή η κατανομή των θέσεων, θα μπορούσε να βελτιστοποιηθεί με τη χρήση μοντέλων που βασίζονται στην έρευνα λειτουργιών, προκειμένου να αυξηθεί η ασφάλεια της υγείας των επιβατών επί του συρμού.

Ορισμένες από τις αβέβαιες εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης στον τομέα των σιδηροδρομικών μεταφορών, τείνουν να είναι ασήμαντες λόγω έλλειψης εφαρμογών (καθώς δεν μπορούν να οριστούν οι παράμετροι για μια σωστή διαδικασία έρευνας) όπως η διαχείριση εσόδων και η αναγνώριση προτύπων ή τα αυτόνομα συστήματα και η ρομποτική στη διαχείριση εσόδων και στην πολιτική μεταφορών. Έτσι, σήμερα είναι μάλλον δύσκολο να οραματιστούμε πιθανές σχετικές εφαρμογές στο μέλλον. Ωστόσο, περαιτέρω εξελίξεις της τεχνητής νοημοσύνης και των σιδηροδρομικών τεχνολογιών θα μπορούσαν πράγματι να δημιουργήσουν νέες πιθανές χρήσεις της τεχνητής νοημοσύνης και σε αυτούς τους υποτομείς. Απαιτούνται κανονισμοί και τυποποιημένες διαδικασίες πιστοποίησης για την ακριβή ποσοτικοποίηση της αξιοπιστίας ενός συστήματος βασισμένου σε τεχνητή νοημοσύνη και συνεπώς της ασφαλείας και των αξιόπιστων χαρακτηριστικών του ώστε να μπορεί να παρέχει π.χ. ασφαλή αυτόνομη λειτουργία αμαξοστοιχίας, η οποία είναι υψίστης σημασίας για την απόδοση ενός σιδηροδρομικού συστήματος.

Ταυτόχρονα όμως, εντοπίζονται προκλήσεις όσον αφορά σε θέματα εφαρμογής συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης στους σιδηροδρόμους, όπως και σε κάθε άλλο τομέα εφαρμογής. Τα βασικότερα ζητήματα που προκύπτουν αφορούν στη σχέση των εφαρμογών αυτών με τον ανθρώπινο παράγοντα. Αρχικά υπάρχει έντονη συζήτηση γύρω από θέματα ανθρώπινης δικαιοδοσίας επί του συστήματος, για παράδειγμα εάν ένας ανθρώπινος χειριστής θα μπορεί να

παρακάμψει κάποια από τις λειτουργίες ενός συστήματος τεχνητής νοημοσύνης, και αν ναι, σε ποιες περιπτώσεις. Ακόμη υπάρχουν ζητήματα ιδιωτικότητας που τίθενται, καθώς όπως αναφέρθηκε παραπάνω, αρκετά (αν όχι τα περισσότερα) συστήματα τεχνητής νοημοσύνης που μελλοντικά θα εφαρμοστούν περιέχουν κάμερες για ανίχνευση διαφόρων πραγμάτων. Μια συνεχόμενη “παρακολούθηση” από ένα σύστημα ενδέχεται να δημιουργήσει μεγάλες αντιδράσεις από το κοινό. Επίσης, πρέπει να αναφερθεί και η πρόκληση που αντιμετωπίζουν αυτά τα συστήματα ως προς την αποδοχή από το επιβατικό κοινό. Παρ’ότι μπορεί να υπάρχουν επιστημονικά τεκμηριωμένες επιβεβαιώσεις για την ασφάλεια και την ορθή λειτουργία μηχανικών συστημάτων, είναι ακόμα έντονη η ανάγκη της πλειοψηφίας του επιβατικού να νιώθει τη “σιγουριά” που δίνει ένας ανθρώπινος χειριστής.

Συνολικά, τόσο οι προκλήσεις και η ευκαιρίες για την ανάπτυξη και εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης στους σιδηροδρόμους είναι αρκετές. Προκειμένου αντίστοιχα να ξεπεραστούν οι προκλήσεις και να πραγματοποιηθούν οι ευκαιρίες, απαιτείται συνεχόμενη και επιμελής έρευνα στον τομέα, χωρίς περιορισμούς πολιτικούς ή εμπορικούς. Ο βασικός στόχος είναι η πρόοδος της επιστήμης, η οποία στο μέλλον θα διευκολύνει ακόμα περισσότερο την ανθρώπινη ζωή.

Αναφορές

Ελληνικές

- Βλαχάβας, Ι., Κεφαλάς, Ν., Κόκκορας, Φ., Σακελλαρίου, Η., Γκιούρδας, Β., 2006. Τεχνητή Νοημοσύνη, 3η έκδ. ed. Β. Γκιούρδας Εκδοτική, Αθήνα.
- Γαλανός, Γ., 2021. Τεχνικές Τεχνητής Νοημοσύνης για τη Διάγνωση και την Πρόβλεψη Βλαβών. Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Αιγάλεω.
- Γεωργούλη, Κ., 2015. Τεχνητή νοημοσύνη: μια εισαγωγική προσέγγιση, Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα Κάλλιπος. Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, Αθήνα.
- Καραλέγκου, Α., 2021. Η Τεχνητή Νοημοσύνη στην έρευνα και εκμετάλλευση υδρογονανθράκων. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Κερανού, Ε., 2000. Τεχνητή Νοημοσύνη και Έμπειρα Συστήματα. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα.

Ξενόγλωσσες

- Abduljabbar, R., Dia, H., Liyanage, S., Bagloee, S., 2019. Applications of Artificial Intelligence in Transport: An Overview. Sustainability 11, 189. <https://doi.org/10.3390/su11010189>
- Araujo, T., Helberger, N., Kruike-meier, S., de Vreese, C.H., 2020. In AI we trust? Perceptions about automated decision-making by artificial intelligence. AI & SOCIETY 35, 611–623. <https://doi.org/10.1007/s00146-019-00931-w>
- Benaich, N., Hogarth, I., 2022. State of AI (No. October 2022). McKinsey Global Institute.
- Bešinović, N., De Donato, L., Flammini, F., Goverde, R., Lin, Z., Liu, R., Marrone, S., Nardone, R., Tang, T., Vittorini, V., 2021. Artificial Intelligence in Railway Transport: Taxonomy, Regulations and Applications. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems PP. <https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3131637>
- Boucher, P.N., 2020. Artificial intelligence: How does it work, why does it matter, and what can we do about it?, Panel for the Future of Science and Technology. European Parliament.
- Engelbrecht, A.P., 2007. Computational intelligence : an introduction / Andries P. Engelbrecht., 2nd ed. ed. Chichester : Wiley, c2007., Chichester.
- Gardner, H., 1983. Frames of mind : the theory of multiple intelligences / Howard Gardner. New York : BasicBooks, a division of HarperCollinsPublishers, [1983].

- Gupta, I., Nagpal, G., 2020. Artificial Intelligence and Expert Systems. Bloomfield: Mercury Learning & Information, Bloomfield.
- Iyer, L.S., 2021. AI enabled applications towards intelligent transportation. *Transportation Engineering* 5, 100083. <https://doi.org/10.1016/j.treng.2021.100083>
- Khan, A. Adnan, N. Iqbal, 2022. Applications of Artificial Intelligence in Transportation, in: 2022 International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET). Presented at the 2022 International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET), pp. 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICECET55527.2022.9872928>
- Mabrouk, H., 2019. Contribution of Artificial Intelligence to Risk Assessment of Railway Accidents. *Urban Rail Transit* 5, 104–122. <https://doi.org/10.1007/s40864-019-0102-3>
- Machin, M., Sanguesa, J., Garrido, P., Martinez, F., 2018. On the use of artificial intelligence techniques in intelligent transportation systems. <https://doi.org/10.1109/WCNCW.2018.8369029>
- McKendrick, K., 2019. Artificial intelligence prediction and counterterrorism. London: The Royal Institute of International Affairs-Chatham House 9.
- Nikitas, A., Michalakopoulou, K., Tchouamou Njoya, E., Karampatzakis, D., 2020. Artificial Intelligence, Transport and the Smart City: Definitions and Dimensions of a New Mobility Era. *Sustainability* 12. <https://doi.org/10.3390/su12072789>
- Rich, E., 1990. Artificial intelligence / Elaine Rich, Kevin Knight., 2nd ed. ed. New York, New York.
- Sadek, A.W., 2007. Artificial Intelligence Applications in Transportation. *TRANSPORTATION RESEARCH CIRCULAR E*, 1–6.
- TE-SAT, 2022. EUROPEAN UNION TERRORISM SITUATION AND TREND REPORT 2022. Europol.
- Weizenbaum, J., 1966. ELIZA-a computer program for the study of natural language communication between man and machine. *Communications of the ACM* 9, 36–45. <https://doi.org/10.1145/365153.365168>
- Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy sets. *Information and Control* 8, 338–353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)

Παράρτημα Α

Αυτοματοποιημένα Μηνύματα (Automatic Messages)

Automatic Message #1 : Due to a security concern, in the next station there will be a security check. For your protection doors will remain closed until the check is completed. Please remain calm.

Automatic Message #2 : Please evacuate the train car. Remain calm and follow the orders by the security personnel.

Automatic Message #3 : For security reasons we are gradually evacuating the train. The evacuation process has started, please remain calm until further instruction.

Automatic Message #4 : Do not disrupt the journey and train passengers. Station security has been alerted. Please remain calm.

Automatic Message #5 : This is a major security emergency. The train will not stop until further notice. Security protocols have been activated. Please remain at your seats and do not attempt any action on your own. You will be instructed for further actions.

Automatic Message #6 : Due to technical issues the train will not continue. Please disembark. Until further notice, this line will not operate. We are sorry for the inconvenience.