



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ Μ/Υ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»



ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»

Ψηφιακά Δίδυμα: Πως η Τεχνητή Νοημοσύνη βελτιστοποιεί τον Ψηφιακό Κόσμο

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ανδρέας, Δ. Μπαλαφούτης

Επιβλέπων : Ευγενία Αδαμοπούλου
ΕΔΙΠ, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Αθήνα, Ιανουάριος 2024



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ Μ/Υ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»



ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»

Ψηφιακά Δίδυμα: Πως η Τεχνητή Νοημοσύνη βελτιστοποιεί τον Ψηφιακό Κόσμο

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ανδρέας, Δ. Μπαλαφούτης

Επιβλέπων : Ευγενία Αδαμοπούλου
ΕΔΙΠ, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 19^η Ιανουαρίου 2024.

Ευγενία Αδαμοπούλου
ΕΔΙΠ
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Κωνσταντίνος Δεμέστιχας
Επίκουρος Καθηγητής
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Ευστάθιος Συκάς
Ομότιμος Καθηγητής
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Αθήνα, Ιανουάριος 2024

.....

Ανδρέας, Δ. Μπαλαφούτης
Διπλωματούχος Μηχανολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Copyright © Ανδρέας Μπαλαφούτης, 2024.
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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 τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Τα Ψηφιακά Δίδυμα (Digital Twins) αναπαριστούν τη λειτουργία ενός φυσικού συστήματος και αλληλοεπιδρούν με αυτό μέσω της συλλογής και της επεξεργασίας των δεδομένων που προκύπτουν από τους αισθητήρες του φυσικού συστήματος.

Στο πλαίσιο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας πραγματοποιήθηκε αρχικά μια γενική παρουσίαση των τεχνολογιών του Ψηφιακού Κόσμου, όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, η 4η Βιομηχανική Επανάσταση, τα Έξυπνα Κτίρια και οι Έξυπνες Πόλεις, το Υπολογιστικό Νέφος, τα Κυβερνο-φυσικά Συστήματα και η Εκτεταμένη Πραγματικότητα.

Έπειτα έγινε βιβλιογραφική ανασκόπηση της έννοιας των Ψηφιακών Διδύμων και παρουσιάστηκε η ιστορική τους εξέλιξη με το πέρασμα των ετών. Μετά τον ορισμό της βασικής τους δομής και λειτουργίας, αναλύθηκαν οι διαφορές μεταξύ μιας απλής προσομοίωσης και της διαδραστικότητας που παρουσιάζουν τα Ψηφιακά Δίδυμα. Υπάρχει ένα τεράστιο πεδίο εφαρμογής της συγκεκριμένης τεχνολογίας, με εφαρμογές στη Βιομηχανία, στην Υγεία, τις Κατασκευές, τις Έξυπνες Πόλεις, την Αυτοκινητοβιομηχανία και την Αεροπορική Βιομηχανία και τη Γεωργία, όπου παρουσιάστηκαν εφαρμογές στους συγκεκριμένους τομείς, με έμφαση στα οφέλη, τις προκλήσεις και της προοπτικές.

Κλάδος της Επιστήμης των Υπολογιστών είναι και η Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence), η οποία επιδιώκει τη δημιουργία ενός ευφυούς μηχανήματος το οποίο μπορεί να αντιδρά σαν την ανθρώπινη νοημοσύνη. Η Τεχνητή Νοημοσύνη χρησιμοποιεί συγκεκριμένες τεχνικές για την υλοποίηση του σκοπού της.

Στο επόμενο Κεφάλαιο έγινε ανάλυση του τρόπου με τον οποίο η Τεχνητή Νοημοσύνη βελτιώνει τα Ψηφιακά Δίδυμα και παρουσιάστηκε μια σειρά από παραδείγματα και εφαρμογές Ψηφιακών Διδύμων που χρησιμοποιούν AI, όπως στη σχεδίαση έξυπνων κτιρίων και στην κατασκευή

Ψηφιακά Δίδυμα: Πως η Τεχνητή Νοημοσύνη βελτιστοποιεί τον Ψηφιακό Κόσμο

έξυπνων σηράγγων, στη Βιομηχανία, στην Υγειονομική Περίθαλψη, στην εκπαίδευση αυτόνομων αυτοκινήτων, στον τομέα της συντήρησης, επισκευής και ανακατασκευής και στην παραγωγή ενέργειας.

Από όλη την ανάλυση και την μελέτη περιπτώσεων προκύπτει ότι τα Ψηφιακά Δίδυμα που ενσωματώνουν Τεχνητή Νοημοσύνη ήρθαν για να βελτιώσουν τα φυσικά συστήματα και να αλλάξουν τον τρόπο με τον οποίο βλέπουμε τον κόσμο, καθώς προσδίδουν νέα χαρακτηριστικά και δυνατότητες πρόβλεψης και υποστήριξης αποφάσεων. Χρειάζεται όμως πάντα η διατήρηση της ανθρώπινης εποπτείας ώστε να μπορέσουν να εξελιχθούν ακόμη περισσότερο και να βελτιώσουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους.

Λέξεις κλειδιά: Ψηφιακό Δίδυμο, Τεχνητή Νοημοσύνη, Πρόβλεψη, Έξυπνα Κτίρια, Βιομηχανία

Abstract

Digital Twins represent the operation of a physical system and interact with it by collecting and processing data derived from the sensors of the physical system.

Within the scope of this thesis, an initial overview of Digital World technologies was presented, such as the Internet of Things, the Fourth Industrial Revolution, Smart Buildings and Smart Cities, Cloud Computing, Cyber-Physical Systems and Augmented Reality.

Afterwards, a literature review was conducted on the concept of Digital Twins, presenting their historical evolution over the years. After the definition of their basic structure and function, the differences between a simple simulation and the interactivity of Digital Twins were analyzed. There is a huge field of application for this specific technology, with applications in Industry, Healthcare, Construction, Smart Cities, Automobile Industry, Aerospace Industry and Agriculture. Applications within these specific fields were presented, with emphasis put on their benefits, challenges, and prospects.

Artificial Intelligence is a part of Computer Science, which aims to create an intelligent machine capable of behaving like human intelligence. Artificial Intelligence is using specific techniques to achieve its purpose.

In the next chapter we analyzed how Artificial Intelligence improves Digital Twins and we presented a series of examples and applications of Digital Twins that use Artificial Intelligence, such as in designing Smart Buildings, constructing Smart Tunnels, in Industry, in Healthcare, in training autonomous vehicles, in the field of maintenance, repair and reconstruction and in energy production.

From the analysis and study of these cases, we came to the conclusion that Digital Twins which use Artificial Intelligence have come to improve

physical systems and change the way we see the world. This is because they give new characteristics, with specific skills for prediction and decision making. However, the maintenance of human supervision is always of vital importance so as to enhance their evolution and improve their qualitative characteristics.

Keywords: Digital Twin, Artificial Intelligence, Prediction, Smart Buildings, Industry

Πρόλογος – Ευχαριστίες

Η Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, στα πλαίσια του Διαπανεπιστημιακού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Τεχνο-Οικονομικά Συστήματα», υπό την επίβλεψη της καθηγήτριάς μου, κυρίας Αδαμοπούλου Ευγενίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την Επιβλέπουσα καθηγήτριά μου, κυρία Αδαμοπούλου Ευγενία (Τζένη) για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, αναθέτοντάς μου αυτή την εργασία και για την πολύτιμη καθοδήγησή της σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τη σύζυγό μου και την κόρη μου, την αδελφή μου και τους γονείς μου, για την στήριξη που μου παρείχαν με όλους τους τρόπους και που με την αγάπη τους με βοήθησαν να μπορέσω να πραγματοποιήσω το στόχο μου.

Πίνακας Περιεχομένων

Πρόλογος – Ευχαριστίες.....	5
Πίνακας Περιεχομένων.....	6
Κατάλογος Εικόνων.....	8
Περίληψη.....	9
Abstract.....	11
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	
1.1 Παρουσίαση του θέματος.....	13
1.2 Σκοπός και στόχος της εργασίας.....	13
Κεφάλαιο 2: Τεχνολογίες του Ψηφιακού Κόσμου	
2.1 Διαδίκτυο των Πραγμάτων.....	13
2.2 Η 4η Βιομηχανική Επανάσταση.....	16
2.3 Έξυπνα Κτίρια.....	17
2.4 Έξυπνες Πόλεις.....	19
2.5 Υπολογιστικό Νέφος.....	21
2.6 Κυβερνο-φυσικά Συστήματα.....	23
2.7 Εκτεταμένη Πραγματικότητα.....	24
Κεφάλαιο 3: Ορισμός και Εισαγωγή στα Ψηφιακά Δίδυμα	
3.1 Τι είναι τα Ψηφιακά Δίδυμα.....	26
3.2 Ιστορική Αναδρομή Ψηφιακών Διδύμων.....	28
3.3 Βασική Δομή και λειτουργία.....	31
3.4 Διαφορές μεταξύ απλής προσομοίωσης και Ψηφιακών Διδύμων.....	32
3.5 Εφαρμογές Ψηφιακών Διδύμων σε διάφορους τομείς.....	33
3.5.1 Εφαρμογές στη Βιομηχανία.....	33
3.5.2 Εφαρμογές στο Σύστημα Υγείας.....	37
3.5.3 Εφαρμογές στις Κατασκευές.....	38
3.5.4 Εφαρμογές στις Έξυπνες Πόλεις.....	43
3.5.5 Εφαρμογές στην Αυτοκινητοβιομηχανία και Αεροπορική Βιομηχανία.....	44
3.5.6 Εφαρμογές στη Γεωργία.....	44
3.6 Οφέλη των Ψηφιακών Διδύμων, προκλήσεις και προοπτικές.....	45
Κεφάλαιο 4: Τεχνητή Νοημοσύνη	
4.1 Ορισμός και εισαγωγή στην Τεχνητή Νοημοσύνη.....	48

4.2 Μηχανική Μάθηση, Νευρωνικά Δίκτυα και Βαθιά Μάθηση.....	49
Κεφάλαιο 5: Ψηφιακά Δίδυμα που χρησιμοποιούν την Τεχνητή Νοημοσύνη	
5.1 Πώς η Τεχνητή Νοημοσύνη μπορεί να βελτιώσει τα Ψηφιακά Δίδυμα.....	52
5.2 Παραδείγματα και εφαρμογές.....	55
5.2.1 Σχεδίαση έξυπνων κτιρίων βασισμένη σε μοντέλα προσομοίωσης Ψηφιακών Διδύμων με Τεχνητή Νοημοσύνη.....	55
5.2.2 Ψηφιακό δίδυμο και αναλυτικά μοντέλα βασισμένα σε AI για έξυπνη κατασκευή σήραγγας.....	59
5.2.3 Ψηφιακά Δίδυμα που χρησιμοποιούν Τεχνητή Νοημοσύνη στην Βιομηχανία 4.0.....	61
5.2.4 Ο ρόλος της Τεχνητής Νοημοσύνης στην ανάπτυξη Ψηφιακών Διδύμων στην Υγειονομική Περίθαλψη.....	68
5.2.5 Ψηφιακά Δίδυμα ενισχυμένα από Τεχνητή Νοημοσύνη για την εκπαίδευση αυτόνομων αυτοκινήτων.....	70
5.2.6 Ψηφιακό Δίδυμο βασισμένο σε Τεχνητή Νοημοσύνη στον τομέα της συντήρησης, επισκευής και ανακατασκευής (MRO) Συστήματος Αεροσκάφους.....	75
5.2.7 Ψηφιακό Δίδυμο μικροδικτύου και μοντέλα Τεχνητής Νοημοσύνης για την πρόβλεψη παραγωγής ενέργειας.....	76
Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα, Προκλήσεις και Μελλοντικές Προοπτικές	
6.1 Συνοψίζοντας τα κύρια σημεία.....	78
6.2 Συμπεράσματα.....	78
6.3 Προκλήσεις που προκύπτουν από την εισαγωγή της Τεχνητής Νοημοσύνης στα Ψηφιακά Δίδυμα.....	79
6.4 Μελλοντικές προοπτικές.....	79
Βιβλιογραφικές αναφορές – Πηγές από το διαδίκτυο.....	81

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2.1: Η εξέλιξη του διαδικτύου [1].....	15
Εικόνα 2.2: Οι τέσσερις Βιομηχανικές Επαναστάσεις [4].....	17
Εικόνα 2.3: Στοιχεία των Έξυπνων Κτιρίων[6].....	18
Εικόνα 2.4: Τύποι τεχνολογίας Έξυπνων Πόλεων [8].....	20
Εικόνα 2.5: Τι περιλαμβάνει το Cloud Computing [10].....	21
Εικόνα 3.1: Τυπική δομή ενός ψηφιακού δίδυμου [17].....	27
Εικόνα 3.2: Τεχνολογίες των Ψηφιακών Διδύμων [11].....	31
Εικόνα 3.3: Διαδικασίες που χρησιμοποιούνται στο Ψηφιακό Δίδυμο για την Industry 4.0 [3].....	36
Εικόνα 3.4: Χαρακτηριστικά του Digital Twin στο Industry 4.0 [3].....	37
Εικόνα 4.1: Τεχνητή Νοημοσύνη, Μηχανική Μάθηση και Βαθιά Μάθηση[13].....	49
Εικόνα 5.1: Σχέση μεταξύ IoT, Big Data, Τεχνητή Νοημοσύνη και Ψηφιακών Διδύμων [26].....	54
Εικόνα 5.2: Σύγκριση εικονικού και πραγματικού δωματίου [31].....	59
Εικόνα 5.3: Μοντέλο βιομηχανικής ενσωμάτωσης τεχνολογιών Τεχνητής Νοημοσύνης (AI) και Τεχνολογιών Μικτής Πραγματικότητας (MR) για δημιουργία Ψηφιακού Διδύμου έξυπνης αποθήκης [39].....	65
Εικόνα 5.4: Αρχιτεκτονική της ανίχνευσης αντικειμένων μέσω Μικτής Πραγματικότητας (MR) και Τεχνητής Νοημοσύνης (AI) στο Ψηφιακό Δίδυμο (DT) [39].....	66
Εικόνα 5.5: Δομή της ενισχυμένης με Τεχνητή Νοημοσύνη αλληλεπίδραση στα Ψηφιακά Δίδυμα στην γραμμή παραγωγής[40].....	68
Εικόνα 5.6: Αρχιτεκτονική ασφαλούς λειτουργίας για αυτόνομα αυτοκίνητα βασισμένη σε Διψήφια Δίδυμα [44].....	72
Εικόνα 5.7: Διαδικασία του μοντέλου πρόβλεψης Ψηφιακού Διδύμου για αυτόνομα αυτοκίνητα, βασισμένο στην εξισορρόπηση φόρτου, σε συνδυασμό με το STGCN [44].....	74

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Παρουσίαση του θέματος

Στην εποχή που ζούμε, λόγω της εξέλιξης της τεχνολογίας, κάθε φυσικό σύστημα μπορεί να αποκτήσει ένα Ψηφιακό του Δίδυμο, το οποίο μπορεί να αναπαραστήσει τη λειτουργία του συστήματος και να αλληλοεπιδράσει με αυτό αναπαριστώντας την τρέχουσα και δυνητική συμπεριφορά του. Αυτό μπορεί να γίνει εφικτό με την χρήση τεχνολογιών που επιτρέπουν την συλλογή, αποθήκευση και επεξεργασία μεγάλων όγκων δεδομένων από αισθητήρες, σε πραγματικό χρόνο. Με την εισαγωγή της Τεχνητής Νοημοσύνης, τα Ψηφιακά Δίδυμα αποκτούν δυνατότητες πρόβλεψης και υποστήριξης λήψης αποφάσεων. Μέσα από την ολοκληρωμένη ανάλυση που προσφέρουν, προσφέρονται νέες ευκαιρίες και δημιουργούνται προκλήσεις στη νέα εποχή που μπαίνουμε, η οποία χαρακτηρίζεται από τη ραγδαία ανάπτυξη της Τεχνητής Νοημοσύνης.

1.2 Σκοπός και στόχος της εργασίας

Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι να παρουσιάσει στον αναγνώστη κάποιες βασικές τεχνολογίες των τελευταίων ετών που μπόρεσαν να κάνουν πραγματικότητα τα Ψηφιακά Δίδυμα, να δώσει μια σαφή εικόνα του σκοπού και της λειτουργίας ενός Ψηφιακού Διδύμου και να παρουσιάσει τον τρόπο με την οποίο η Τεχνητή Νοημοσύνη ενσωματώνεται σε αυτά, αλλάζοντας τις δυνατότητές τους και βελτιστοποιώντας συγκεκριμένες πτυχές τους. Στόχος είναι ο αναγνώστης να κατανοήσει τις εξελίξεις που έχουν λάβει χώρα τα τελευταία χρόνια σε αυτούς τους τομείς και να ενημερωθεί για τις προκλήσεις και τις ευκαιρίες που προκύπτουν από την ενσωμάτωση της Τεχνητής Νοημοσύνης στα Ψηφιακά Δίδυμα.

Κεφάλαιο 2: Τεχνολογίες του Ψηφιακού Κόσμου

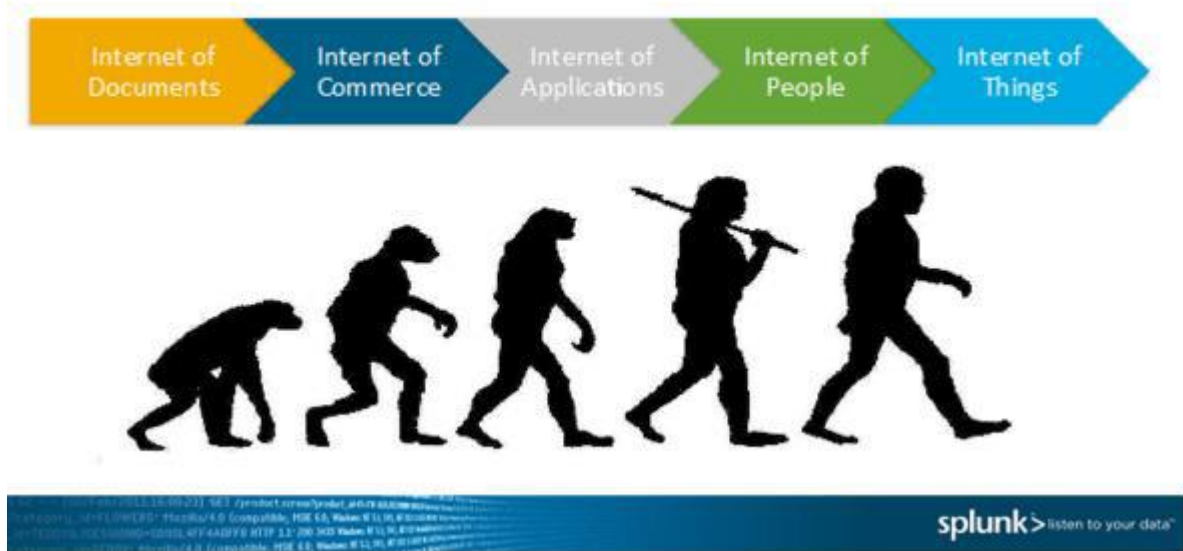
2.1 Διαδίκτυο των Πραγμάτων

Λέγοντας Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT) αναφερόμαστε στο δίκτυο φυσικών αντικειμένων και συσκευών, όπως μηχανήματα, οχήματα, κτίρια και άλλα αντικείμενα, τα οποία ενσωματώνουν ηλεκτρονικά κυκλώματα, λογισμικά, αισθητήρες και έχουν τη δυνατότητα σύνδεσης στο δίκτυο, ώστε να μπορούν να συλλέγουν και να ανταλλάσσουν δεδομένα. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων επιτρέπει την ανίχνευση και τον έλεγχο αντικειμένων από απόσταση μέσω των υπαρχόντων υποδομών δικτύου, δημιουργώντας ευκαιρίες για πιο άμεση ενσωμάτωση του φυσικού κόσμου στα υπολογιστικά συστήματα και οδηγώντας σε βελτιωμένη απόδοση των συστημάτων και καλύτερη ακρίβεια.

Το σχέδιο ενός δικτύου έξυπνων συσκευών συζητήθηκε από το 1982, με ένα τροποποιημένο αυτόματο μηχάνημα αναψυκτικών στο Πανεπιστήμιο Carnegie Mellon να έγινε η πρώτη συσκευή που συνδέθηκε στο διαδίκτυο, ικανή να αναφέρει το απόθεμα που διαθέτει και την πληροφορία για το εάν τα πρόσφατα τοποθετημένα αναψυκτικά σε αυτήν, ήταν κρύα. Ο Kevin Ashton ήταν ένας Βρετανός πρωτοπόρος της τεχνολογίας που είναι γνωστός για την εφεύρεση του όρου "Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων" με την οποία ήθελε να περιγράψει ένα σύστημα, όπου το Διαδίκτυο συνδέεται με τον φυσικό κόσμο μέσω αισθητήρων.

Το IoT είναι σε θέση να αλληλεπιδρά χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Συγκεκριμένες εφαρμογές του IoT έχουν ήδη αναπτυχθεί στους τομείς της υγείας, των μεταφορών και της αυτοκινητοβιομηχανίας.

Ο Kevin Ashton πρότεινε πρώτος τον έννοια του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) το 1999 και αναφέρθηκε στο IoT περιγράφοντας το ως "μοναδικά αναγνωρίσιμα συνδεδεμένα αντικείμενα με τεχνολογία αναγνώρισης μέσω ραδιοσυχνοτήτων (RFID)". Το IoT ορίστηκε γενικά ως "η δυναμική παγκόσμια υποδομή δικτύου με δυνατότητες αυτοδιαμόρφωσης, βασισμένη σε πρότυπα και πρωτόκολλα επικοινωνίας".



Εικόνα 2.1: Η εξέλιξη του διαδικτύου [1]

Κοιτάζοντας την εξέλιξη του Διαδικτύου, μπορούμε να το κατηγοριοποιήσουμε σε πέντε περιόδους:

1. Το Διαδίκτυο των Εγγράφων – ηλεκτρονικές βιβλιοθήκες, ιστοσελίδες βασισμένες σε έγγραφα.
2. Το Διαδίκτυο του Εμπορίου –ηλεκτρονικό εμπόριο, ιστοσελίδες ηλεκτρονικής τραπεζικής και συναλλαγών στο χρηματιστήριο.
3. Το Διαδίκτυο των Εφαρμογών - Web 2.0
4. Το Διαδίκτυο των Ανθρώπων - Κοινωνικά δίκτυα.
5. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων - Συνδεδεμένες συσκευές και μηχανές.

Ένα κρίσιμο προαπαιτούμενο του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) είναι ότι τα αντικείμενα σε αυτό το δίκτυο πρέπει να συνδέονται μεταξύ τους. Η αρχιτεκτονική ενός τέτοιου συστήματος πρέπει να εγγυάται τη λειτουργία του IoT, και να συνδέει το φυσικό με τον εικονικό κόσμο. Ο σχεδιασμός της αρχιτεκτονικής του IoT περιλαμβάνει πολλούς παράγοντες, όπως δίκτυα, επικοινωνίες και διαδικασίες. Στον σχεδιασμό της αρχιτεκτονικής του IoT, πρέπει να ληφθεί υπόψη η επεκτασιμότητα, η κλιμακούμενη ικανότητα και η λειτουργικότητα μεταξύ των συσκευών. Λόγω του γεγονότος ότι τα αντικείμενα μπορεί να κινούνται και χρειάζεται να αλληλεπιδρούν με άλλα σε πραγματικό χρόνο, η αρχιτεκτονική του IoT

πρέπει να είναι προσαρμόσιμη για να επιτρέπει τη δυναμική αλληλεπίδραση των συσκευών, ώστε να υποστηρίζει την επικοινωνία μεταξύ τους. [1]

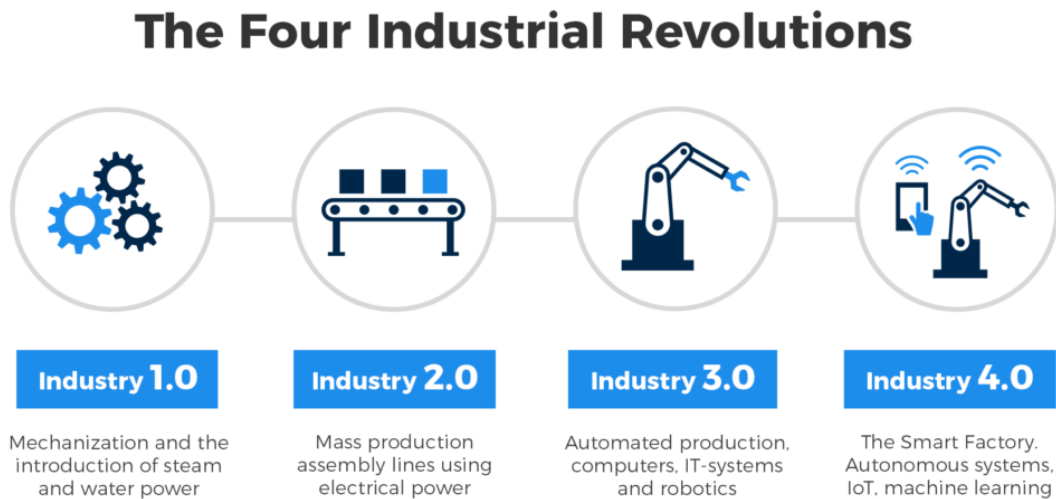
Η στρατηγική σημασία του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) πηγάζει από τη ικανότητα να ξεπερνάει τους όποιους περιορισμούς δημιουργούνται και να δημιουργεί πληροφορίες, χωρίς ανθρώπινη παρατήρηση, σε κάθε είδους καταστάσεις που πιο πριν ήταν αόρατες. Αυτό που μας επιτρέπει να δημιουργούμε πληροφορίες από τη δράση του συστήματος, είναι η χρήση αισθητήρων. Ένας αισθητήρας μετατρέπει ενέργεια από διάφορες μορφές σε ηλεκτρική ενέργεια. Ένας μετατροπέας είναι μια συσκευή που μετατρέπει μια μορφή ενέργειας (ηλεκτρική, ηλεκτρομαγνητική, μηχανική, κλπ.) σε μια άλλη μορφή ενέργειας. Ως εκ τούτου, οι αισθητήρες αποτελούν ένα είδος μετατροπέων, καθώς μετατρέπουν διάφορες μορφές ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια. [2]

2.2 Η 4η Βιομηχανική Επανάσταση

Η 4^η Βιομηχανική Επανάσταση ή αλλιώς “Βιομηχανία 4.0” αναφέρεται σε ένα ευρύ φάσμα νέων τεχνολογιών και ψηφιακής αναβάθμισης, που αλλάζουν τον τρόπο που γινόταν η παραγωγή και ενσωματώνει το φυσικό και τον εικονικό κόσμο. Παρόλο που η ανάπτυξη ήταν σταδιακή, πολλοί οργανισμοί δίστασαν να αναπτύξουν ολοκληρωμένα ψηφιακά οικοσυστήματα για τις κατασκευαστικές διαδικασίες τους, ενσωματώνοντας πλατφόρμες Βιομηχανικού Διαδικτύου των Πραγμάτων (IIoT) με τον εξοπλισμό των γραμμών παραγωγής. Επιπλέον η εφαρμογή ρομποτικών συστημάτων και αυτοματισμού βελτιώνει την παραγωγικότητα και τη μειώνει την ανάγκη ανθρώπινων επεμβάσεων.

Η Βιομηχανία 4.0 αναφέρεται στις πολλές τεχνολογίες και λύσεις που χρειάζονται για να δημιουργήσουν το θρυλικό "εργοστάσιο χωρίς φώτα", όπου η ανθρώπινη παρουσία ελαχιστοποιείται δραματικά και η ασφάλεια των εργαζομένων βελτιώνεται. Οι κατασκευαστές πρέπει να επιβεβαιώσουν ξανά τη δέσμευσή τους να επενδύσουν σε πλατφόρμες IIoT που συλλέγουν και αναλύουν δεδομένα και να βασίζονται στη χρήση προηγμένων

τεχνολογιών, ψηφιοποίησης διαδικασιών και αυτοματισμού για τη βελτίωση της απόδοσης, της παραγωγικότητας και της ανταγωνιστικότητας.[3]



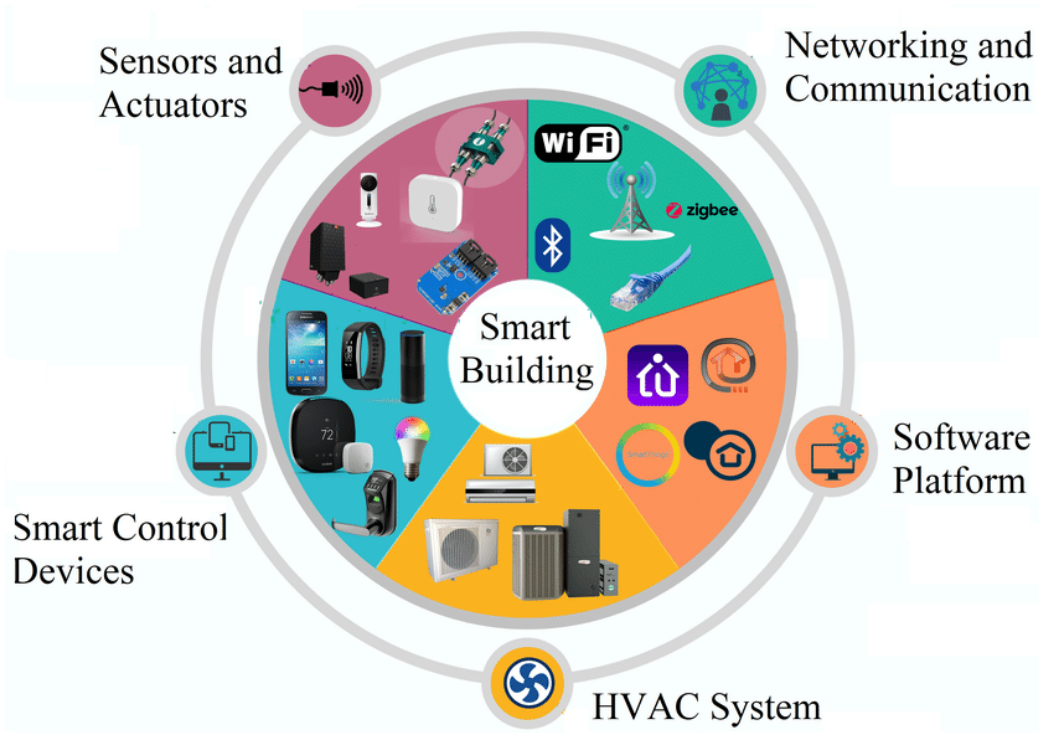
Εικόνα 2.2: Οι τέσσερις Βιομηχανικές Επαναστάσεις [4]

Η Βιομηχανία 4.0 αποσκοπεί στη δημιουργία διαδικασιών παραγωγής που είναι ευέλικτες και αυτόνομες, βελτιώνοντας την ποιότητα, μειώνοντας τον χρόνο και το κόστος παραγωγής. Επιπλέον, η Βιομηχανία 4.0 στοχεύει στην ανάπτυξη νέων προϊόντων και υπηρεσιών που ανταποκρίνονται στις σύγχρονες απαιτήσεις της αγοράς.

2.3 Έξυπνα Κτίρια

Οι άνθρωποι συνήθως περνούν περίπου το 90% του χρόνου τους σε εσωτερικούς χώρους και αυτό το ποσοστό αυξάνεται περαιτέρω μετά τη συνταξιοδότησή τους. Επίσης οι ηλικιωμένοι προτιμούν να γερνούν στο σπίτι τους αντί να μετακινηθούν σε ειδικές Δομές. Στο παρελθόν, οι ηλικιωμένοι που γερνούσαν στο σπίτι τους μπορούσαν να λαμβάνουν αρκετή υποστήριξη και φροντίδα από τα μέλη της οικογένειάς τους. Αλλά σήμερα, λόγω της αυξανόμενης πίεσης της εργασίας και του μικρότερου μεγέθους των νοικοκυριών, είναι λιγότερη η οικογενειακή υποστήριξη που μπορεί να παρέχεται στους ηλικιωμένους, καθιστώντας την ποιότητα ζωής των ηλικιωμένων εξαρτημένη από την κατοικία τους.

Ωστόσο, λόγω των χαμηλών προδιαγραφών και τεχνικών κατασκευής, η παραδοσιακή κατοικία συνήθως είναι ανασφαλής και ανθυγιεινή για τους ηλικιωμένους, ειδικά για αυτούς που αντιμετωπίζουν προβλήματα.



Εικόνα 2.3: Στοιχεία των Έξυπνων Κτιρίων [6]

Με την ταχεία εξέλιξη της τεχνολογίας, δημιουργήθηκε και η έννοια του έξυπνου κτιρίου, για τη βελτίωση της αποδοτικότητας στον κύκλο ζωής ενός κτιρίου. Δεν υπάρχει κάποιος σταθερός ορισμός ενός έξυπνου κτιρίου, αλλά αναφέρεται γενικά σε μοντέρνα κτίρια εξοπλισμένα με συστήματα συλλογής δεδομένων για έξυπνη διαχείριση του κτιρίου. Το έξυπνο κτίριο θεωρείται ως ένα ανθρωπο-κυβερνο-φυσικό σύστημα, όπου τα συστήματα συλλογής δεδομένων μετρούν το φυσικό περιβάλλον ή την ανθρώπινη συμπεριφορά, στέλνουν τα δεδομένα σε αλγόριθμους υπολογιστών για τον έλεγχο λειτουργίας του κτιρίου και στη συνέχεια λαμβάνουν αυτόματες αποφάσεις ή παρεμβαίνουν. Τα είδη έξυπνων κτιρίων έχουν σχεδιαστεί για την υποστήριξη συγκεκριμένων λειτουργιών σε διαφορετικούς τομείς, όπως έξυπνα κτίρια που αναπτύχθηκαν για την ενεργειακή απόδοση, την ποιότητα του εσωτερικού αέρα και για άτομα με αναπηρία. Λόγω της έξυπνης και

έγκαιρης αντίδρασης του σε επικίνδυνες συνθήκες, το έξυπνο κτίριο έχει επίσης σημαντικά πλεονεκτήματα στη μείωση των εσωτερικών κινδύνων για τους ηλικιωμένους, με αποτελεσματικό και αυτόματο τρόπο και εξασφαλίζει ασφαλέστερες κατοικίες.[5]

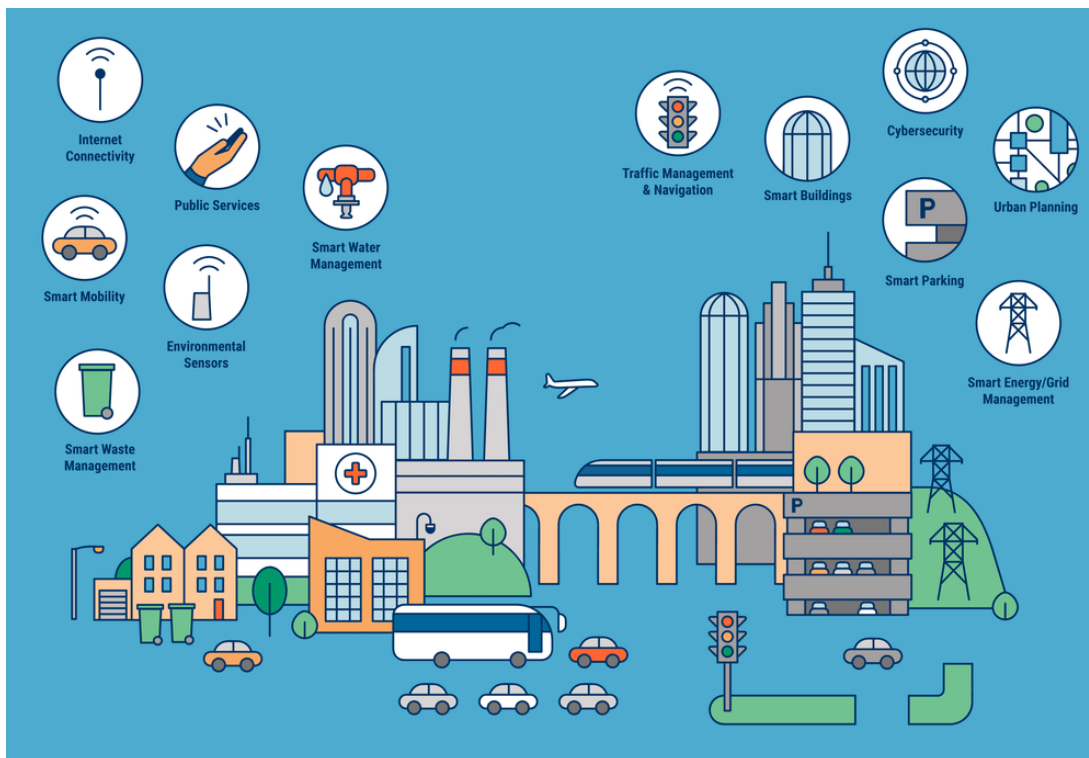
2.4 Έξυπνες Πόλεις

Η τεχνολογική εξέλιξη θεωρείται ως ένας σημαντικός παράγοντας που οδήγησε στη μετανάστευση του πληθυσμού προς τις αστικές περιοχές, καθώς και για στην ανάπτυξη τεχνολογικά προηγμένων έξυπνων πόλεων που μπορούν να ανταποκριθούν στις διαρκώς αυξανόμενες απαιτήσεις και ανάγκες των κατοίκων τους. Ενώ αυτή η γρήγορη εξέλιξη της αστικοποίησης έχει δημιουργήσει σημαντικές επιδράσεις, όσον αφορά την ανάπτυξη και την οικονομική ευημερία, τα απαιτητικά αστικά περιβάλλοντα παρουσιάζουν επίσης σοβαρές προκλήσεις, όπως είναι η αυξημένη εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου και τα προβλήματα διαχείρισης απορριμμάτων, τα οποία αποτελούν σημαντική απειλή για την ποιότητα ζωής του αστικού πληθυσμού.

Μια έξυπνη πόλη μπορεί να οριστεί ως ένας συνδυασμός αρκετών βασικών τεχνολογικών χαρακτηριστικών, όπως η σχεδόν καθολική παρουσία προηγμένων τεχνολογιών πληροφοριών και επικοινωνιών, για παράδειγμα, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, που σχετίζονται με την υψηλή τεχνολογία της αστικής υποδομής. Σε αυτά περιλαμβάνονται από αισθητήρες, μέχρι περιβαλλοντικά φιλικές τεχνολογίες που σχετίζονται με την κατασκευή, τη διαχείριση απορριμμάτων και την ενεργειακή αποδοτικότητα, αλληλοεπιδρώντας με σχετικούς φορείς του αστικού συστήματος, όπως θεσμοί και τοπικές κυβερνητικές αρχές. Αυτός ο συνδυασμός δημιουργεί ένα ενιαίο δίκτυο συνδεδεμένων φορέων που μπορεί να οργανωθεί και να λειτουργήσει βέλτιστα, για να μεγιστοποιήσει την ικανοποίηση των κατοίκων, με ελάχιστες περιβαλλοντικές παρενέργειες.

Εστιάζοντας στα υλικά στοιχεία του έξυπνου αστικού δικτύου, η σύγκλιση της τεχνολογικής και της αστικής υποδομής οδηγεί στην εκτεταμένη χρήση πολλαπλών προϊόντων, κυρίως βασισμένων σε τεχνολογία πληροφοριών και επικοινωνιών, που παρέχονται από συγκεκριμένες

οικονομικές δραστηριότητες. Η συνδυασμένη χρήση τέτοιων προϊόντων - και σε επέκταση, οικονομικών δραστηριοτήτων - μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη μιας νέας, υψηλά διασυνδεδεμένης βιομηχανίας, της βιομηχανίας των έξυπνων πόλεων. Αυτή η βιομηχανία μπορεί, στη συνέχεια, να λειτουργήσει ως προμηθευτής για άλλες βιομηχανίες (π.χ., η ενσωμάτωση έξυπνων αισθητήρων από τον τομέα της κατασκευής σε χώρους στάθμευσης). Τέτοιες δραστηριότητες "προσφοράς" και "χρήσης" και οι αντίστοιχες ροές γίνονται κύρια στοιχεία στο συγκεκριμένο δίκτυο και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως κατάλληλα εργαλεία για την προσέγγιση του οικονομικού αποτυπώματος της έξυπνης πόλης, μέσω της ανάπτυξης μιας σύνθετης βιομηχανίας.[7]

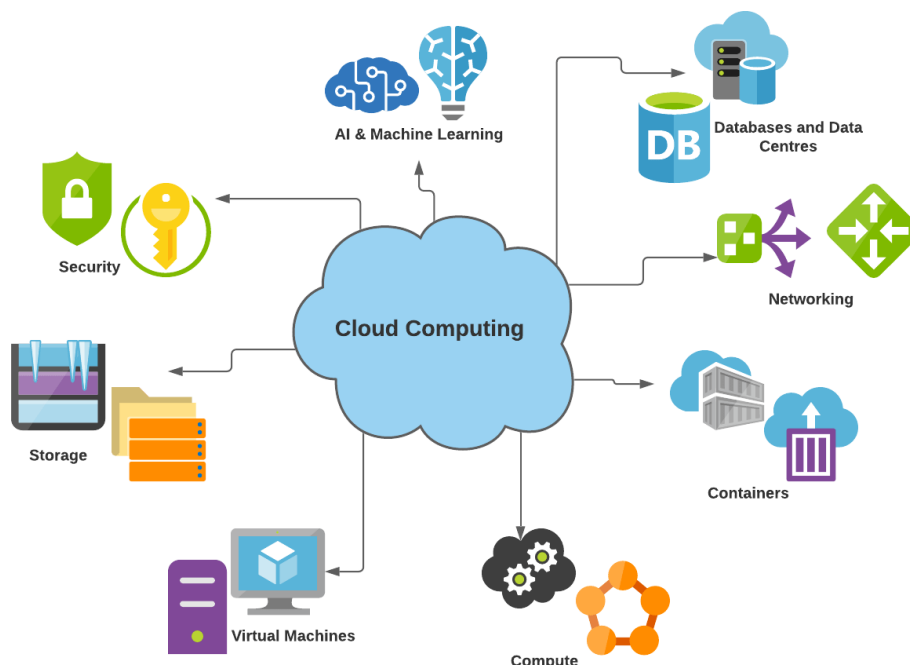


Εικόνα 2.4: Τύποι τεχνολογίας Έξυπνων Πόλεων [8]

Ωστόσο, η εκτίμηση του αντικτύπου των οικονομικών δραστηριοτήτων που σχετίζονται με τις Έξυπνες Πόλεις είναι μια μεγάλη πρόκληση, καθώς η πολυπλοκότητα και η ποικιλία των παραγόντων που επηρεάζουν τόσο την οικονομική δραστηριότητα, όσο και τη βιωσιμότητα των έξυπνων πόλεων απαιτούν λεπτομερείς και πολυδιάστατες προσεγγίσεις.[7]

2.5 Υπολογιστικό Νέφος

Η εμφάνιση του cloud computing έχει φέρει μια πραγματική επανάσταση στον τρόπο αποθήκευσης, διατήρησης των δεδομένων και πρόσβασης σε αυτά. Η αποθήκευση στο Υπολογιστικό Νέφος υποδηλώνει ένα κεντρικότερο σημείο στο διαδίκτυο που μπορεί να αποθηκεύσει κάποιος μεγάλες ποσότητες δεδομένων. Σήμερα, όλο και περισσότερες εταιρείες μεταβαίνουν σε εφαρμογές που λειτουργούν με cloud, εκμεταλλευόμενες πολλά οφέλη της δυναμικής φύσης του. Σύμφωνα με τη Markets and Markets, η αγορά αποθήκευσης στο cloud έχει φτάσει μια αξία 89 δισεκατομμυρίων δολαρίων το 2022, ξεκινώντας από 31 δισεκατομμύρια δολάρια το 2017. [9]



Εικόνα 2.5: Τι περιλαμβάνει το Cloud Computing [10]

Ως cloud computing αναφέρεται η παροχή φιλοξενούμενων υπηρεσιών μέσω του Διαδικτύου. Η τεχνολογία αυτή αποθηκεύει και προσπελαύνει τα δεδομένα μέσω του Διαδικτύου. Το cloud computing παρέχει στα συστήματα τεχνολογία υπολογισμού δεδομένων και αποθήκευσης δεδομένων στο cloud. Μέσω του cloud computing υπάρχει η δυνατότητα να αποθηκεύουν τα

δεδομένα στο εικονικό cloud και να αποκτούν εύκολα πρόσβαση στις απαιτούμενες πληροφορίες από οποιαδήποτε τοποθεσία. Έτσι μειώνεται αποτελεσματικά ο χρόνος υπολογισμού σε πολύπλοκα συστήματα και ξεπερνούνται οι δυσκολίες που υπάρχουν σε ότι αφορά την αποθήκευση μεγάλου όγκου δεδομένων.[11]

Η αύξηση της ζήτησης και η εμπορική διαθεσιμότητα των υπηρεσιών cloud φέρνουν νέες προκλήσεις στην επιλογή υπηρεσιών. Το cloud computing παρέχει υπολογιστικούς πόρους όπως αποθήκευση, δίκτυο, διακομιστές, βάσεις δεδομένων, πλατφόρμες και άλλα, ως υπηρεσία στους χρήστες, χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο πληρωμής με βάση την κατανάλωση. Το cloud computing άλλαξε τον τρόπο που οι Μικρομεσαίες Επιχειρήσεις παρέχουν και χρησιμοποιούν υπηρεσίες υπολογιστών. Προσφέρει πολλαπλά πλεονεκτήματα, όπως αντίγραφα ασφαλείας και ανάκτηση, πρόσβαση από οπουδήποτε και οποτεδήποτε, χαμηλό κόστος και υπηρεσίες κατόπιν αιτήματος. Η ανάπτυξη και η υιοθέτηση του cloud computing έχει εκτοξευτεί. Η αυξανόμενη ζήτηση και αποδοχή του cloud computing έχει ελκύσει περισσότερους παρόχους υπηρεσιών cloud να εισέλθουν στην αγορά και να προσφέρουν μια ποικιλία υπηρεσιών, όπως Υποδομή ως Υπηρεσία (IaaS), Λογισμικό ως Υπηρεσία (SaaS) και Πλατφόρμα ως Υπηρεσία (PaaS). Ο αριθμός των παρόχων υπηρεσιών cloud και οι διαθέσιμες υπηρεσίες cloud αυξάνονται με εκθετικό ρυθμό.[12]

Συνοψίζοντας, τα πλεονεκτήματα της χρήσης του Cloud είναι τα εξής:

- ❖ Ενημερωμένο. Σήμερα, ζούμε σε μια εποχή πληροφοριών. Τα δεδομένα επηρεάζουν τα πάντα. Όποιος θέλει να είναι πάντα μπροστά στην εποχή του, πρέπει να είναι καλά ενημερωμένος για όλα όσα συμβαίνουν εντός και εκτός των συστημάτων του. Πολλές λύσεις που λειτουργούν με cloud έχουν ενσωματώσει αναλύσεις που παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες στα αποθηκευμένα δεδομένα. Με βάση αυτά τα δεδομένα, ο καθένας μπορεί να εκδίδει αναφορές και να τις αναλύει προκειμένου να λαμβάνει πιο αντικειμενικές αποφάσεις.
- ❖ Προσβασιμότητα. Οι εφαρμογές που λειτουργούν με cloud είναι προσβάσιμες από οποιαδήποτε τοποθεσία και σε οποιαδήποτε

συσκευή. Για παράδειγμα, αν ένας υπάλληλος μιας εταιρείας είναι εκτός γραφείου για οποιοδήποτε λόγο, μπορεί παρ' όλα αυτά να παραμένει ενημερωμένος σχετικά με πελάτες και συναδέλφους.

- ❖ **Ταχύτητα παράδοσης.** Το cloud computing μειώνει σημαντικά το χρόνο που απαιτείται για την κυκλοφορία νέων εφαρμογών και προϊόντων εξαλείφοντας τον χρόνο ανάπτυξης λογισμικού. Επιπλέον, τα προϊόντα που λειτουργούν σε cloud μπορούν να ενημερώνονται αυτόματα, αντί να ενημερώνονται χειροκίνητα από μια ομάδα πληροφορικής. Σύμφωνα με έκθεση του PC World, με την ανάπτυξη στο cloud, το 50% των εταιρειών που ερωτήθηκαν, αναφέρουν ότι χρησιμοποιούν λιγότερους εσωτερικούς πόρους πληροφορικής. [9]

2.6 Κυβερνο-φυσικά Συστήματα

Ένα Κυβερνο-Φυσικό Σύστημα (CPS) είναι ένα σύστημα που συνδυάζει φυσικές διεργασίες με ψηφιακά στοιχεία ή τον κυβερνοχώρο. Το Εθνικό Ίδρυμα Επιστήμης ορίζει τα Κυβερνο-Φυσικά Συστήματα ως "μηχανολογικά συστήματα που κατασκευάζονται και εξαρτώνται από την ομαλή ενσωμάτωση υπολογιστικών και φυσικών στοιχείων". Ένα τέτοιο σύστημα περιλαμβάνει τον έλεγχο, την ανάλυση δεδομένων, την μηχανική μάθηση συμπεριλαμβανομένης της μάθησης σε πραγματικό χρόνο για τον έλεγχο, την αυτονομία του συστήματος, τον σχεδιασμό του συστήματος, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), τα συστήματα σε πραγματικό χρόνο και την ασφάλεια του συστήματος. [13]

Τα Κυβερνο-Φυσικά Συστήματα (Cyber Physical Systems) αποτελούν μεγάλη πρόκληση για τον αυτόματο έλεγχο και τη μηχανική έξυπνων συστημάτων τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο. Ο σχεδιασμός των CPS απαιτεί προσεγγίσεις που εμπλέκουν πολυδιακριτικές ικανότητες. Παρόλο που σχεδιάζονται να είναι αυτόνομα, τα CPS παρουσιάζουν μια πτυχή αβεβαιότητας, η οποία απαιτεί την αλληλεπίδραση με τον άνθρωπο σχετικά με τη μηχανική, την παρακολούθηση, τον έλεγχο και την εκτέλεση λειτουργικής συντήρησης. Αυτή η αλληλεπίδραση ανθρώπου-CPS οδήγησε στην έννοια του ανθρώπου στον κύκλο (Human-in-the-Loop - HITL).

Ωστόσο, αυτή η έννοια του HITL, που οφείλεται σε μια απλουστευτική οπτική γωνία, εμφανίζει περιορισμούς λόγω των διαφορετικών φύσεων των εμπλεκόμενων συστημάτων. [14]

Οι εξελίξεις στη Βιομηχανία κατέστησαν δυνατή τη συστηματική εφαρμογή των Κυβερνο-Φυσικών Συστημάτων (CPS), μέσω των οποίων πληροφορίες από όλες τις σχετικές πηγές παρακολουθούνται στενά και συγχρονίζονται μεταξύ του φυσικού εργοστασιακού περιβάλλοντος και του διαδικτυακού χώρου που έχουν τα υπολογιστικά συστήματα. Επιπλέον, μέσω της χρήσης προηγμένης ανάλυσης πληροφοριών, οι μηχανές που είναι συνδεδεμένες στο διαδίκτυο, είναι σε θέση να λειτουργούν με πιο αποδοτικό, συνεργατικό και ανθεκτικό τρόπο. Όλο αυτό μετασχημάτισε τη βιομηχανία κατασκευής στην επόμενη γενιά, γνωστή ως Βιομηχανία 4.0.

Γενικά, ένα CPS αποτελείται από δύο βασικά λειτουργικά στοιχεία: πρώτον την προηγμένη συνδεσιμότητα που εξασφαλίζει την συλλογή σε πραγματικό χρόνο, δεδομένων από το φυσικό κόσμο και την ανατροφοδότηση πληροφοριών από τον κυβερνητικό χώρο και δεύτερον την έξυπνη διαχείριση δεδομένων, την ανάλυση και την υπολογιστική ικανότητα.[15]

2.7 Εκτεταμένη Πραγματικότητα

Η Εκτεταμένη Πραγματικότητα (Extended Reality - XR) είναι ένας γενικός όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τεχνολογίες όπως η Εικονική Πραγματικότητα (Virtual Reality - VR), η Επαυξημένη Πραγματικότητα (Augmented Reality - AR) και η Μεικτή Πραγματικότητα (Mixed Reality - MR). Αυτές οι τεχνολογίες μπορούν να συγχωνεύσουν τον φυσικό και τον εικονικό κόσμο και να επεκτείνουν την πραγματικότητα που βιώνουμε. Η Εκτεταμένη Πραγματικότητα δημιουργεί ψηφιακές αναπαραστάσεις αντικειμένων, όπου ψηφιακά και πραγματικά αντικείμενα συνυπάρχουν και αλληλεπιδρούν σε πραγματικό χρόνο.[11]

Μερικά επιπρόσθετα πλεονεκτήματα της χρήσης της Εκτεταμένης Πραγματικότητας είναι τα παρακάτω:

- ❖ **Ενισχυμένη πληροφόρηση.** Ο κύριος στόχος οποιασδήποτε εταιρείας είναι να αυξήσει την πελατεία της. Με τη χρήση της Εκτεταμένης Πραγματικότητας, οι εταιρείες μπορούν να εκπαιδεύσουν τους πιθανούς πελάτες για τα προϊόντα ή τις υπηρεσίες τους με έναν εναλλακτικό τρόπο. Με εφαρμογές Επαυξημένης Πραγματικότητας που παρέχουν στους χρήστες πολύτιμες επιπλέον πληροφορίες για ένα προϊόν σε πραγματικό χρόνο, οι εταιρείες μπορούν επίσης να διευκολύνουν τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων των πελατών τους.
- ❖ **Εύκολη οπτικοποίηση.** Με τη δυνατότητα της Επαυξημένης Πραγματικότητας να βελτιώνει την προβολή του πραγματικού κόσμου με ψηφιακές πληροφορίες, η Επαυξημένη Πραγματικότητα επιτρέπει την οπτικοποίηση αντικειμένων σε ένα εξατομικευμένο πλαίσιο. Οι εφαρμογές AR δίνουν στους χρήστες την ευκαιρία να τροποποιούν πολλά χαρακτηριστικά του προϊόντος, συμπεριλαμβανομένου του μεγέθους ή του χρώματος και να τα προβάλλουν σε πραγματικό μέγεθος και από οποιαδήποτε γωνία.
- ❖ **Βελτιωμένη αναγνωρισιμότητα της μάρκας.** Σήμερα, η επιτυχία μιας επιχείρησης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την αναγνωρισιμότητα της μάρκας. Οι εταιρείες που χρησιμοποιούν εφαρμογές με AR ξεχωρίζουν από τους ανταγωνιστές τους, κάνοντας την αλληλεπίδραση του χρήστη με τα προϊόντα τους αξέχαστη, κάτι που βοηθά στο μέλλον να προσελκύουν νέους πελάτες και να διατηρούν τους υφιστάμενους.
- ❖ **Ασφαλής εμπειρία.** Η Εικονική Πραγματικότητα προσφέρει στους χρήστες μια διαδραστική εμπειρία, επιτρέποντάς τους να είναι απομακρυσμένα “παρόντες” σε επικίνδυνα περιβάλλοντα ή όταν αντιμετωπίζουν επικίνδυνο εξοπλισμό.
- ❖ **Πρότυπα, σχεδιασμός και εκπαίδευση.** Οι τεχνολογίες Εικονικής Πραγματικότητας μπορούν να βοηθήσουν τις εταιρείες να προσομοιώσουν καλύτερα τα προϊόντα τους όσον αφορά τον όγκο, το μέγεθος και τις αποστάσεις. Οι μηχανικοί μπορούν να αλληλεπιδρούν άμεσα με το εικονικό πρωτότυπο και να αποκτήσουν μια καλύτερη εικόνα όλων των συστημάτων του, το οποίο τους επιτρέπει να ανιχνεύουν λάθη σε πρώιμο στάδιο.

- ❖ Χαμηλότερος Κίνδυνος Ατυχημάτων. Μια εταιρεία μπορεί να ανιχνεύσει συστηματικά λάθη, μειώνοντας έτσι την πιθανότητα εμφάνισής τους.
- ❖ Αποτελεσματική Εξ αποστάσεως Υποστήριξη. Η δυνατότητα εργασίας απομακρυσμένα που παρέχει η τεχνολογία MR επιτρέπει στους εργοδότες να διατηρούν το προσωπικό τους υψηλά καταρτισμένο. [16]

Κεφάλαιο 3: Ορισμός και Εισαγωγή στα Ψηφιακά Δίδυμα

3.1 Τι είναι τα Ψηφιακά Δίδυμα

Τα Ψηφιακά Δίδυμα (DT) είναι εικονικές αντιγραφές φυσικών συστημάτων και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αναπαραστήσουν τη συμπεριφορά των συστημάτων και να υποστηρίξουν τη λήψη αποφάσεων.

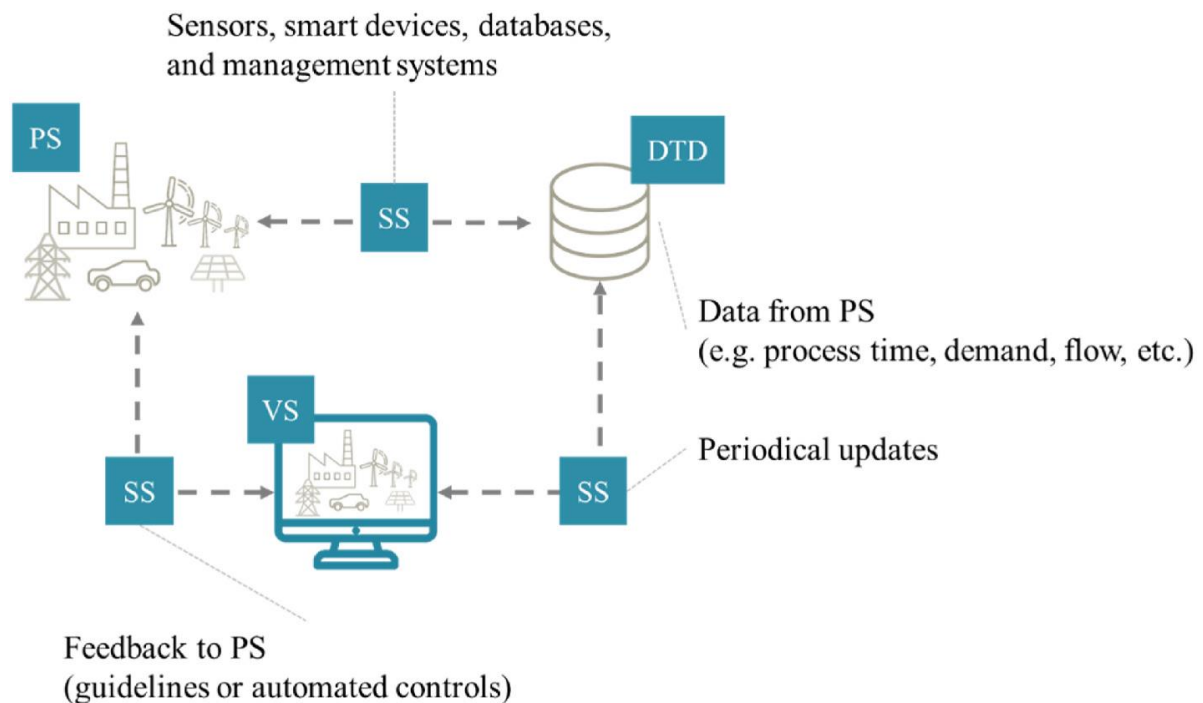
Η έννοια αρχικά προτάθηκε από τον Shafto, για να αναφερθεί σε εικονικά αντίγραφα φυσικού εξοπλισμού από τη NASA και η έννοια του Ψηφιακού Διδύμου εξαπλώθηκε γρήγορα και έγινε ένα εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο για τα συστήματα παραγωγής αγαθών και υπηρεσιών. Οι αποφάσεις που βασίζονται στα Ψηφιακά Δίδυμα μπορούν να εφαρμοστούν σε διάφορες βιομηχανίες και άλλους τομείς, όπως η κατασκευή, η λογιστική, οι υπηρεσίες υγείας και η ενέργεια.

Το μοντέλο του Ψηφιακού Διδύμου μπορεί να ενσωματώσει δεδομένα από διάφορες πηγές, συμπεριλαμβανομένων αισθητήρων, μηχανημάτων και άλλων συσκευών, για να δημιουργήσει ένα πλήρες και ακριβές μοντέλο του φυσικού αντικειμένου. Επιπλέον, τα μοντέλα των Ψηφιακών Διδύμων μπορούν να αναπτυχθούν χρησιμοποιώντας και ενσωματώνοντας διάφορες τεχνολογίες, όπως η προσομοίωση, η Μηχανική Μάθηση, τα Μεγάλα Δεδομένα, η τεχνολογία Cloud και το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT). Συνδυάζοντας αυτές τις τεχνολογίες, οι αναλυτές και οι προγραμματιστές μπορούν να δημιουργήσουν υψηλά εξελιγμένα Ψηφιακά Δίδυμα, που

μπορούν να αντικατοπτρίζουν τη συμπεριφορά πολύπλοκων συστημάτων και διεργασιών.

Σύμφωνα με τους Tao και Zhang, ένα τυπικό ψηφιακό δίδυμο έχει τέσσερα βασικά συστατικά:

(i) Φυσικό Σύστημα (PS), (ii) Εικονικό Σύστημα (VS), Σύστημα Υπηρεσιών (SS) και Δεδομένα Ψηφιακού Διδύμου (DTD). Το Φυσικό Σύστημα βασίζεται σε διαδικασίες, μηχανές και υλικά, ενώ το Εικονικό Σύστημα αποτελείται από εικονικά μοντέλα που μπορούν να περιγράψουν τη συμπεριφορά του Φυσικού Συστήματος με την πάροδο του χρόνου. Το Σύστημα Υπηρεσιών περιλαμβάνει τη δομή επικοινωνίας που επιτρέπει την ενσωμάτωση μεταξύ των Φυσικών και Εικονικών Συστημάτων και τέλος, τα Δεδομένα Ψηφιακού Διδύμου αναφέρονται σε ένα σύνολο δεδομένων και πληροφοριών που μεταδίδονται ανάμεσα στα δύο συστήματα.[17]



Εικόνα 3.1: Τυπική δομή ενός ψηφιακού δίδυμου [17]

Χρησιμοποιώντας τα Ψηφιακά Δίδυμα για να αναπαριστούν και να προσομοιώνουν πραγματικά σενάρια, οι εταιρείες μπορούν να αποκτήσουν πολύτιμες εισηγήσεις σχετικά με το πώς τα προϊόντα και οι υπηρεσίες τους λειτουργούν υπό διαφορετικές συνθήκες. Έτσι, είναι δυνατή η

βελτιστοποίηση των συνολικών λειτουργιών. Σύμφωνα με τους Alam και Saddik, το ψηφιακό δίδυμο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την υποστήριξη λήψης αποφάσεων με τρεις προσεγγίσεις:

- 1) Διάγνωση, η οποία στοχεύει στην αξιολόγηση των παρελθοντικών αποφάσεων
- 2) Παρακολούθηση, με στόχο τον έλεγχο και την παρακολούθηση των διαδικασιών
- 3) Πρόγνωση, όπου ο στόχος είναι η προσδοκία και η πρόβλεψη συμπεριφορών.

Τα Ψηφιακά Δίδυμα στον κλάδο της κατασκευής έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως για την προσομοίωση της διαδικασίας παραγωγής, αναγνωρίζοντας πιθανά σημεία συμφόρησης ή ζητημάτων και βοηθώντας όσους καλούνται να λάβουν κάποια απόφαση με σκοπό να βελτιστοποιήσουν τις διαδικασίες παραγωγής τους, να μειώσουν το κόστος και να βελτιώσουν την ποιότητα των προϊόντων τους. Από την άλλη πλευρά, στις εφαρμογές υγείας και υπηρεσιών, τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να προσομοιώσουν τη συμπεριφορά ατόμων (όπως ασθενών και πελατών), επιτρέποντας στους αρμοδίους να λαμβάνουν κατάλληλες αποφάσεις. Τα Ψηφιακά Δίδυμα που αντιγράφουν τη διαδικασία της διανομής και αποθήκευσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προσομοίωση μοτίβων διανομής και διαχείρισης αποθήκης, ώστε να βοηθήσει στη βέλτιστη λήψη αποφάσεων που σχετίζονται με τις διαδρομές των οχημάτων και τη διαχείριση του ανεφοδιασμού. Ο Onile και οι συνεργάτες του επισημαίνουν τη δυνατότητα εφαρμογής των Ψηφιακών Διδύμων στον τομέα της Ενέργειας.[17]

3.2 Ιστορική Αναδρομή Ψηφιακών Διδύμων

Η πρώτη συγκεκριμένη έννοια για αυτό που γνωρίζουμε σήμερα ως Ψηφιακό Δίδυμο διατυπώθηκε το 2002 από τον Michael Grieves, στο πλαίσιο μιας παρουσίασης στη βιομηχανία, που αφορούσε τη διαχείριση του κύκλου ζωής των προϊόντων (Product Lifecycle Management). Το Ψηφιακό Δίδυμο στην αρχική του μορφή περιγράφεται ως μια ψηφιακή δομή πληροφορίας για ένα φυσικό σύστημα, δημιουργημένη ως ανεξάρτητη

οντότητα και συνδεδεμένη με το συγκεκριμένο φυσικό σύστημα. Η ψηφιακή αναπαράσταση θα έπρεπε ιδανικά να περιλαμβάνει όλες τις πληροφορίες που αφορούν τα στοιχεία του συστήματος που θα μπορούσαν θεωρητικά να αποκτηθούν από την εμπειριστατωμένη του επιθεώρηση στον πραγματικό κόσμο (Grieves, Vickers 2017).

Ένας πιο λεπτομερής και στον τομέα της έρευνας ευρέως αναγνωρισμένος ορισμός, αναφέρεται από τους Glaessgen και Stargel (2012) και είναι η εξής: “Το ψηφιακό δίδυμο είναι μια ολοκληρωμένη πολυ-φυσική, πολυ-κλιμακωτή, πιθανολογική προσομοίωση ενός πολύπλοκου προϊόντος και χρησιμοποιεί τα καλύτερα διαθέσιμα φυσικά μοντέλα, ενημερώσεις αισθητήρων, κλπ., για να αντικατοπτρίζει τη ζωή του αντίστοιχου διδύμου του” (Tao 2017).

Το Ψηφιακό Δίδυμο στην αρχική του διάσταση περιγράφει τον αντικατοπτρισμό ενός προϊόντος, ενώ η τελευταία τεχνολογία επιτρέπει επίσης την αναπαραγωγή διαδικασιών (κατασκευή, παραγωγή ενέργειας κλπ.) στον εικονικό χώρο, προκειμένου να επιτευχθούν τα ίδια οφέλη. Η πρώτη αναγνώριση Ψηφιακού Διδύμου έχει ήδη εμφανιστεί στον κόσμο της αεροδιαστημικής με τη μορφή των Χαρτών Τεχνολογίας της NASA. (Shafto 2010, Negri 2017). Ένα κεντρικό στοιχείο του Ψηφιακού Διδύμου είναι η ικανότητα να παρέχει διαφορετικές πληροφορίες σε συνεκτική μορφή. Τα Ψηφιακά Δίδυμα είναι περισσότερο από δεδομένα, καθώς περιλαμβάνουν αλγόριθμους οι οποίοι περιγράφουν το πραγματικό πανομοιότυπό τους και αποφασίζουν για ενέργειες στο σύστημα παραγωγής βασιζόμενοι σε αυτά τα επεξεργασμένα δεδομένα. (Kuhn 2017, Boschert και Rosen 2016, Rosen 2015).

Σε ό,τι αφορά την κατασκευή, (Garetti 2012) υπάρχει ο παρακάτω ορισμός για ένα Ψηφιακό Δίδυμο: “Το ψηφιακό δίδυμο αποτελείται από μια εικονική αναπαράσταση ενός συστήματος παραγωγής που είναι σε θέση να λειτουργεί σε διάφορες περιοχές προσομοίωσης και χαρακτηρίζεται από τον συγχρονισμό μεταξύ του εικονικού και του πραγματικού συστήματος, χάρη σε δεδομένα που ανιχνεύονται και συνδεδεμένες έξυπνες συσκευές, μαθηματικά μοντέλα και επεξεργασία δεδομένων πραγματικού χρόνου. Ο επίκαιρος ρόλος του εντός των συστημάτων κατασκευής της Βιομηχανίας 4.0 είναι να εκμεταλλεύεται αυτά τα χαρακτηριστικά για να προβλέπει και

να βελτιστοποιεί τη συμπεριφορά του συστήματος παραγωγής σε κάθε φάση του κύκλου ζωής σε πραγματικό χρόνο”. (Negri 2017) [18]

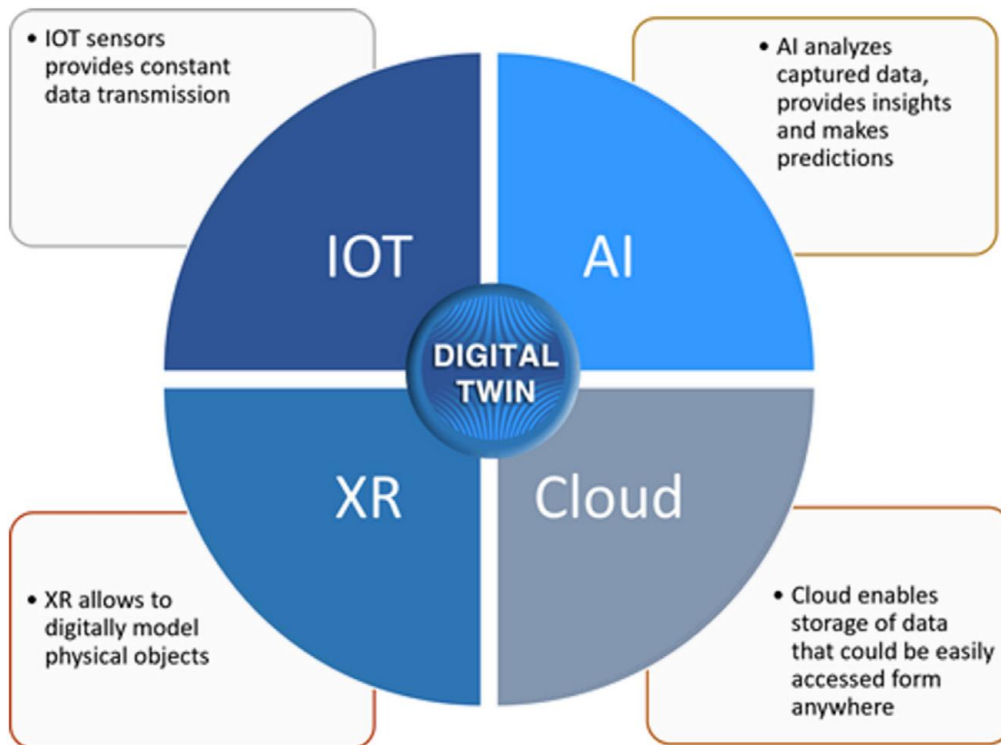
Από τη διαμόρφωση της έννοιας από τον John Vickers και τον Δρ. Michael Grieves, πολλοί συγγραφείς έχουν προσπαθήσει να ορίσουν τον όρο “Ψηφιακό Δίδυμο”, ξεκινώντας στην αεροδιαστημική βιομηχανία με έμφαση στη δομική μηχανική, την επιστήμη των υλικών και τη μακροπρόθεσμη πρόβλεψη απόδοσης αεροσκαφών και διαστημικών σκαφών. Με την άνοδο της Βιομηχανίας 4.0, η προσοχή μετατοπίστηκε προς την κατεύθυνση της κατασκευής και των έξυπνων προϊόντων. Σε αυτό το πλαίσιο, το Ψηφιακό Δίδυμο μπορεί να βοηθήσει στη διασφάλιση της συνέχειας των πληροφοριών σε ολόκληρη τη διάρκεια ζωής του προϊόντος, στην εικονική ενεργοποίηση των (κατασκευαστικών) συστημάτων, και στην υποστήριξη λήψης αποφάσεων και προβλέψεων συμπεριφοράς του συστήματος στη φάση ανάπτυξης του προϊόντος, καθώς και σε όλες τις επόμενες φάσεις του κύκλου ζωής, βασιζόμενο σε υπολογιστικές προσομοιώσεις.

Πολλοί συγγραφείς υποθέτουν ότι το ψηφιακό δίδυμο είναι μια συλλογή όλων των ψηφιακών αντικειμένων κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του προϊόντος, συνδεδεμένο με όλα τα δεδομένα που παράγονται κατά τη χρήση του προϊόντος. Αντίθετα, σύμφωνα με τους Boschert και Rosen, το Ψηφιακό Δίδυμο αποτελείται από μια συνδεδεμένη συλλογή μόνο των σχετικών δεδομένων και μοντέλων. Τα μοντέλα που απαρτίζουν το Ψηφιακό Δίδυμο σχεδιάζονται ειδικά για τον επιδιωκόμενο σκοπό τους.

Το Ψηφιακό Δίδυμο είναι μια ολοκληρωμένη ψηφιακή αναπαράσταση ενός συγκεκριμένου προϊόντος. Περιλαμβάνει τις ιδιότητες, την κατάσταση και τη συμπεριφορά του πραγματικού αντικειμένου μέσω μοντέλων και δεδομένων. Το Ψηφιακό Δίδυμο αποτελείται από ένα σύνολο ρεαλιστικών μοντέλων που μπορούν να προσομοιώσουν την πραγματική συμπεριφορά του συστήματος, στο περιβάλλον στο οποίο έχει αναπτυχθεί. Το Ψηφιακό Δίδυμο αναπτύσσεται παράλληλα με το φυσικό του δίδυμο και παραμένει το αντίστοιχο εικονικό του, κατά μήκος ολόκληρου του κύκλου ζωής του προϊόντος. Για να αποδειχθεί αυτή η υποσχόμενη έννοια, έχει αναπτυχθεί ένα πειραματικό περιβάλλον Ψηφιακού Διδύμου στο εργαστήριο έρευνας DiK. [19]

3.3 Βασική Δομή και λειτουργία

Τα τρία κύρια στοιχεία των Ψηφιακών Διδύμων είναι η καταγραφή δεδομένων, η μοντελοποίηση των δεδομένων και η εφαρμογή των δεδομένων. Τα Ψηφιακά Δίδυμα χρησιμοποιούν τέσσερις τεχνολογίες για να συλλέξουν και να αποθηκεύσουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, να αποκτήσουν και να παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες και να δημιουργήσουν μια ψηφιακή αναπαράσταση ενός φυσικού αντικειμένου. Αυτές οι τεχνολογίες περιλαμβάνουν το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), την Τεχνητή Νοημοσύνη (AI), την Διευρυμένη Πραγματικότητα (XR) και το Υπολογιστικό Νέφος (Cloud) (Εικόνα 3.2). Επιπλέον, τα Digital Twins χρησιμοποιούν την κάθε τεχνολογία, ανάλογα με τον τύπο εφαρμογής, σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό. [11]



Εικόνα 3.2: Τεχνολογίες των Ψηφιακών Διδύμων [11]

3.4 Διαφορές μεταξύ απλής προσομοίωσης και Ψηφιακών Διδύμων

Η τεχνολογία του Ψηφιακού Διδύμου, καθώς και η προσομοίωση, χρησιμοποιούν εικονικές προσομοιώσεις βασισμένες σε εικονικά μοντέλα. Ωστόσο δεν είναι ίδιες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, παρόλο που η προσομοίωση είναι ιδανική για εφαρμογές σχεδιασμού προϊόντων, οι δυνατότητές της και ειδικά των παραδοσιακών συστημάτων σχεδίασης και μηχανικής (CAD-CAE) προσφέρουν λιγότερη πληροφορία από ένα Ψηφιακό Δίδυμο.

Από τη στιγμή που ένα προϊόν ή ένα στοιχείο δημιουργείται, το εικονικό μοντέλο γίνεται ένα Ψηφιακό Δίδυμο, με όλες τις επιπλέον δυνατότητες που ανοίγονται μέσω της χρήσης του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT). Η γρήγορη μεταφορά του συνόλου των δεδομένων μεταξύ των στοιχείων και του Ψηφιακού Διδύμου επιτρέπει σε έναν χρήστη να δει πώς λειτουργεί το προϊόν σε πραγματικό χρόνο, συμπεριλαμβάνοντας και εφαρμογές που προσδίδουν επιπλέον χαρακτηριστικά, όπως η Επαυξημένη Πραγματικότητα.

Κρίσιμο είναι το γεγονός ότι, αντίθετα από την προσομοίωση, η χρήση ενός Ψηφιακού Διδύμου μας επιτρέπει να καθοδηγήσουμε τη στρατηγική ενός συστήματος, με σκοπό την παροχή βελτιωμένης λειτουργικής αποδοτικότητας, την αυτοματοποίηση των εργασιών, την αύξηση της ανάλυσης δεδομένων και την εκπαίδευση. [20]

Ακολούθως παρουσιάζεται μια σύγκριση των δύο τεχνολογιών σε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά:

- ❖ **Ενσωμάτωση Δεδομένων Πραγματικού Χρόνου:** Τα Ψηφιακά Δίδυμα χρησιμοποιούν δεδομένα πραγματικού χρόνου για να ενημερώνουν συνεχώς το εικονικό μοντέλο. Οι προσομοιώσεις χρησιμοποιούν προκαθορισμένα σύνολα δεδομένων και μπορεί να μην ενσωματώνουν ενημερώσεις σε πραγματικό χρόνο.
- ❖ **Διαδραστικότητα:** Ένα Ψηφιακό Δίδυμο επιτρέπει την αλληλεπίδραση με το μοντέλο για να δοκιμάσει διαφορετικά σενάρια. Στις προσομοιώσεις η αλληλεπίδραση συμβαίνει πριν από την

προσομοίωση, ρυθμίζοντας μεταβλητές για να παρατηρηθούν τα αποτελέσματα.

- ❖ Προβλεπτική Ανάλυση: Τα ψηφιακά Δίδυμα διαθέτουν προβλεπτικές δυνατότητες με δεδομένα πραγματικού χρόνου για τη λήψη αποφάσεων. Συχνά χρησιμοποιείται για προβλεπτική ανάλυση και στην προσομοίωση, αλλά μπορεί να υπάρχει έλλειψη ενσωμάτωσης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.
- ❖ Δημιουργία Μοντέλου: Τα Ψηφιακά Δίδυμα απαιτούν πολυεπίπεδα μοντέλα που μπορούν να μιμηθούν τα αντίστοιχα πραγματικά. Τα μοντέλα προσομοίωσης μπορεί να ποικίλουν στην πολυπλοκότητα, από απλά στατιστικά μοντέλα έως πολύπλοκες, λεπτομερείς αναπαραστάσεις.
- ❖ Κύκλος Ζωής: Τα ψηφιακά δίδυμα διατηρούν μια συνεχή σχέση με τα φυσικά τους αντίστοιχα καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής. Αντίθετα, η τεχνολογία της προσομοίωσης συχνά χρησιμοποιείται για συγκεκριμένα σενάρια και μπορεί να μην διατηρείται κατά την πλήρη διάρκεια του κύκλου ζωής. [21]

3.5 Εφαρμογές Ψηφιακών Διδύμων σε διάφορους τομείς

3.5.1 Εφαρμογές στη Βιομηχανία

Η τεχνολογία του Ψηφιακού Διδύμου έχει γίνει αναγκαία για το ταξίδι της Βιομηχανίας 4.0 προς την ψηφιοποίηση, βελτιστοποίηση και διαχείριση των εργοστασίων, με πιο έξυπνο και αποδοτικό τρόπο. Το Ψηφιακό Δίδυμο επιτρέπει στους παραγωγούς να κατανοήσουν καλύτερα τις λειτουργίες των συστημάτων, λαμβάνοντας υπόψη διάφορες παραγωγικές πτυχές. Αυτές περιλαμβάνουν την παρακολούθηση του εξοπλισμού, τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών και την ψηφιακή συντήρηση. Η ψηφιακή πρωτοτυποποίηση διαδικασιών, χρησιμοποιώντας επαυξημένη και εικονική πραγματικότητα, την Τεχνητή Νοημοσύνη και τη Μηχανική Μάθηση, ενισχύει τα ποσοστά επιτυχίας. Αυτό επιτρέπει στις επιχειρήσεις να προχωρήσουν την αναδιοργάνωση διαδικασιών, ενώ συνεχώς βελτιστοποιούν τις παραγωγικές διαδικασίες. Το Ψηφιακό Δίδυμο μπορεί να βοηθήσει τους κατασκευαστές

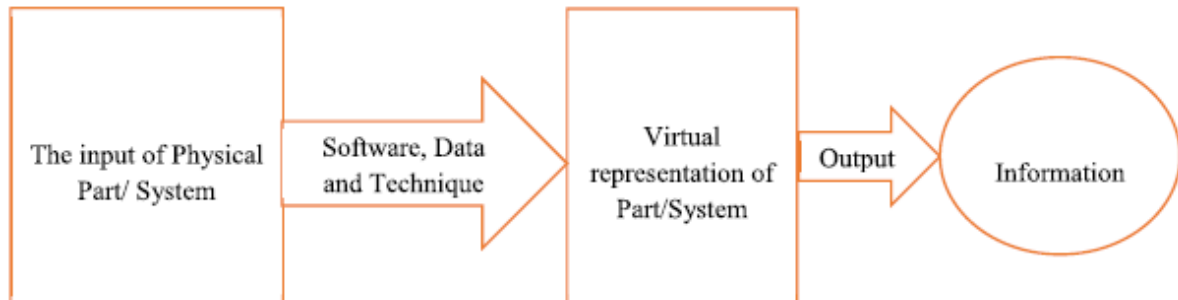
να αυξήσουν την αποδοτικότητα, να δημιουργήσουν καινοτόμα προϊόντα και να βελτιώσουν τις διαδικασίες τους. Οι κατασκευαστές μπορούν να αξιολογήσουν προτάσεις βελτίωσης για την αύξηση της χωρητικότητας ή την ελαχιστοποίηση του χρόνου ανενεργότητας, με τη μοντελοποίηση μιας κατασκευαστικής διαδικασίας. Το έξυπνο εργοστάσιο είναι η άψογη ενσωμάτωση διακριτών διαδικασιών παραγωγής, από τον σχεδιασμό έως τους αισθητήρες. Σύντομα, η αυτο-βελτιστοποίηση θα χρησιμοποιείται από τον εξοπλισμό και τις μηχανές για τη βελτιστοποίηση των λειτουργιών. Τα Αυτόνομα Κινούμενα Ρομπότ είναι ουσιαστικά στοιχεία του Έξυπνου Εργοστασίου.

Ένα Ψηφιακό Δίδυμο μπορεί να αποτελεί μια υπολογιστική αναπαράσταση ενός πραγματικού αντικειμένου, όπως ένας αεροκινητήρας ή ένα πάρκο Αιολικών ή ενός πιο σημαντικού στοιχείου, όπως ένα κτιριακό συγκρότημα ή ακόμα και μια ολόκληρη πόλη. Εκτός από τα φυσικά αγαθά, η τεχνολογία του Ψηφιακού Διδύμου μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγική διαδικασία για τη συλλογή δεδομένων σχετικά με τον τρόπο λειτουργίας τους. Ένα Ψηφιακό Δίδυμο αποτελεί λογισμικό υπολογιστή που αναλύει δεδομένα από τον πραγματικό κόσμο, για να δημιουργήσει προσομοιώσεις προβλέποντας την απόδοση ενός προϊόντος. Αυτά τα προγράμματα μπορούν να βελτιώσουν την παραγωγή χρησιμοποιώντας το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), την Τεχνητή Νοημοσύνη (AI) και την Ανάλυση Λογισμικού. Το Ψηφιακό Δίδυμο επίσης διαμορφώνει ένα ιδανικό σενάριο συντήρησης, όπου ένας τεχνικός που βρίσκεται στη βάση του και ένας απομακρυσμένος επαγγελματίας μπορούν να δουν τα ίδια δεδομένα και να συζητήσουν τι να κάνουν. Το Ψηφιακό Δίδυμο πρέπει να πληροί τρεις απαιτήσεις: πρέπει να μοιάζει ακριβώς με το πρωτότυπο αντικείμενο, συμπεριλαμβανομένων όλων των λεπτομερειών, πρέπει να συμπεριφέρεται ακριβώς όπως το πρωτότυπο αντικείμενο κατά τη δοκιμή και πρέπει να είναι σε θέση να αναλύει πληροφορίες σχετικά με το πρωτότυπο αντικείμενο, να προβλέπει πιθανά προβλήματα και να προτείνει λύσεις. Η διαδικασία μπορεί να βελτιωθεί χρησιμοποιώντας Ψηφιακά Δίδυμα για κάθε μέρος του εξοπλισμού, επιτρέποντας την προληπτική συντήρηση και αποφεύγοντας ακριβά διαλείμματα στο εργοστάσιο.

Με την πάροδο των χρόνων, οι βιομηχανίες κατασκευής, λιανεμπορίου και αυτοκινήτων έχουν υιοθετήσει τεχνολογίες ψηφιακής παρακολούθησης και ελέγχου. Να σημειωθεί ότι το Ψηφιακό Δίδυμο οποιασδήποτε διαδικασίας ενός εργοστασίου μπορεί να δημιουργηθεί για να μελετηθούν οι λειτουργίες αυτής της συγκεκριμένης διαδικασίας ή όλου του συστήματος. Αυτά τα δεδομένα μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν για να δημιουργηθεί ένα εικονικό περιβάλλον εκτελώντας ένα Ψηφιακό Δίδυμο ενός συστήματος διαχείρισης υλικών. Το εικονικό περιβάλλον θα παρακολουθεί απομακρυσμένα αυτά τα στοιχεία ή θα δημιουργεί βέλτιστα σχέδια για να διασφαλίσει την έγκαιρη άφιξη των ειδών. Αυτό το επιχειρηματικό μοντέλο βελτιστοποίησης της απόδοσης του εργοστασίου βασισμένο σε δεδομένα, οδηγεί την ανάπτυξη της Βιομηχανίας 4.0. [3]

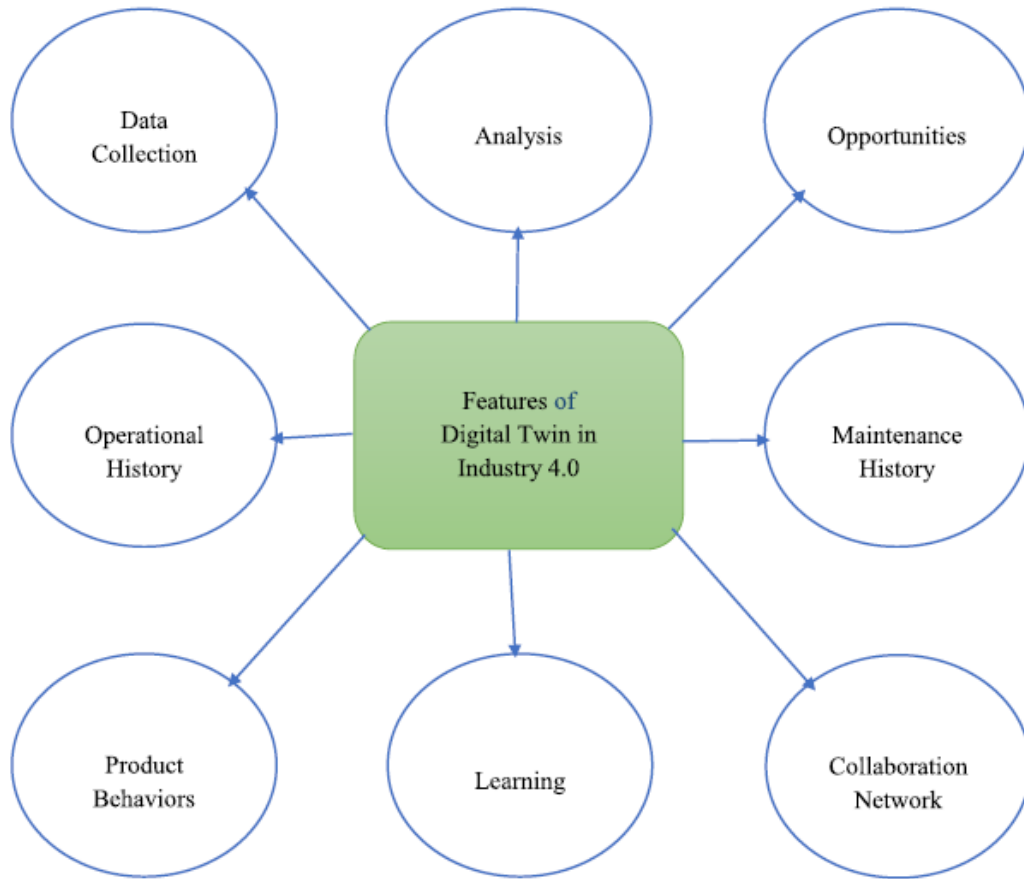
Το Ψηφιακό Δίδυμο είναι μια εξαιρετικά χρήσιμη και άμεσα διαθέσιμη τεχνολογία, που εισάγει δυνατότητες της Βιομηχανίας 4.0 στην παραδοσιακή βιομηχανική παραγωγή. Χρησιμοποιεί ένα cloud-based πλαίσιο IIoT (Βιομηχανικού Ίντερνετ των Πραγμάτων), συμπεριλαμβανομένων εργαλείων παρακολούθησης πληροφοριών, ειδικής εκπαίδευσης χειριστών και απομακρυσμένης βοήθειας. Η ανάπτυξη των Ψηφιακών Διδύμων απαιτεί τη δημιουργία υψηλής ευκρίνειας εικονικών αναπαραστάσεων του φυσικού κόσμου, που προσαρμόζονται σε πραγματικό χρόνο όταν το φυσικό περιβάλλον αλλάζει. Το Ψηφιακό Δίδυμο τραβάει όλο και περισσότερη προσοχή, καθώς το Ίντερνετ των Πραγμάτων έχει γίνει όλο και πιο ευρέως διαδεδομένο. Ένα Ψηφιακό Δίδυμο είναι μια εικονική αντιγραφή που μιμείται τη συμπεριφορά ενός πραγματικού αντικειμένου ή διαδικασίας καθ' όλη τη διάρκεια της ύπαρξής του. Αυτή η τεχνολογία επιτρέπει την απομακρυσμένη παρακολούθηση και λειτουργία εξοπλισμού και συστημάτων, παρέχοντας σε σχεδόν πραγματικό χρόνο γέφυρα μεταξύ του φυσικού και του ψηφιακού κόσμου. Μπορεί να εκτελέσει μοντέλα προσομοίωσης με σκοπό να αξιολογήσει και να προβλέψει αλλαγές σε στοιχεία και διαδικασίες, υπό διάφορες συνθήκες. Οι εταιρείες που χρησιμοποιούν το Ψηφιακό Δίδυμο μπορούν να επωφεληθούν σημαντικά με βελτιωμένες λειτουργίες, με ταχύτερο χρόνο προς την αγορά και με

καινοτομία σε προϊόντα και υπηρεσίες. Η διαδικασία που χρησιμοποιεί το Ψηφιακό Δίδυμο στην Βιομηχανία 4.0 παρουσιάζεται στην παρακάτω Εικόνα.



Εικόνα 3.3: Διαδικασίες που χρησιμοποιούνται στο Ψηφιακό Δίδυμο για την Industry 4.0 [3]

Το Ψηφιακό Δίδυμο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα πρωτότυπο για να παρέχει ανατροφοδότηση για το προϊόν κατά τη διάρκεια της παραγωγής, ή μπορεί να λειτουργήσει ως πρωτότυπο καθαυτό για να μιμηθεί τι θα συμβεί με μια φυσική έκδοση όταν κατασκευαστεί. Ένα Ψηφιακό Δίδυμο απαιτεί δεδομένα που σχετίζονται με την διάρκεια ζωής ενός προϊόντος, όπως απαιτήσεις σχεδιασμού, μέθοδοι παραγωγής, εξοπλισμός, υλικά και άλλα, με σκοπό να αναπαράγει τη συμπεριφορά του αντικειμένου σε μια εφαρμογή στον πραγματικό κόσμο. Μπορεί επίσης να συλλέγει λειτουργικά δεδομένα, συμπεριλαμβανομένων δεδομένων πραγματικού χρόνου με άμεσα ανατροφοδότηση, ιστορικής ανάλυσης και αρχείων συντήρησης. Οποιοσδήποτε αλλαγές του συστήματος σε ένα όχημα, ένα ρομποτικό σύστημα ή έναν ανιχνευτή, ελέγχονται συχνά σε μια προσομοίωση συστήματος για να διασφαλιστεί ότι οποιαδήποτε αλλαγή παράγει το επιθυμητό αποτέλεσμα. Οι μηχανικοί μπορούν να αντιμετωπίσουν μη επιθυμητές συνέπειες πριν υλοποιήσουν τις τροποποιήσεις του συστήματος. Τα σημαντικά χαρακτηριστικά του Ψηφιακού Διδύμου στην Βιομηχανία 4.0 παρουσιάζονται στην Εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 3.4: Χαρακτηριστικά του Digital Twin στο Industry 4.0 [3]

3.5.2 Εφαρμογές στο Σύστημα Υγείας

Οι εφαρμογές της τεχνολογίας των Ψηφιακών Διδύμων στη βιομηχανία της υγείας είναι απεριόριστες. Η πανδημία της COVID-19 ανάγκασε τη βιομηχανία της υγείας και των επιστημών της ζωής να επιταχύνει τις προσπάθειες ψηφιοποίησής της. Όπως και άλλοι τομείς, η βιομηχανία των επιστημών της υγείας αναζητά τρόπους για να βελτιώσει την αποδοτικότητά της και να μειώσει τα κόστη. Οι εταιρείες βρίσκονται υπό πίεση να υιοθετήσουν την ψηφιοποίηση και να προσαρμοστούν στις αυξανόμενες προσδοκίες των ασθενών. Ως αποτέλεσμα, το ενδιαφέρον για την εκμετάλλευση τεχνολογιών, όπως τα Ψηφιακά Δίδυμα στις επιστήμες της Υγείας αυξάνεται.

Η τεχνολογία βρίσκει όλο και περισσότερες εφαρμογές, ιδίως στην ανακάλυψη και ανάπτυξη φαρμάκων. Ένα πειραματικό Ψηφιακό Δίδυμο της ανθρώπινης καρδιάς προέρχεται από την εταιρεία λογισμικού “Dassault”. Το λογισμικό της εταιρείας αυτής μετατρέπει ένα δισδιάστατο σάρωμα ενός

ανθρώπου σε ένα ακριβές τρισδιάστατο μοντέλο της καρδιάς ενός ατόμου που ονομάζεται “Living Heart”. Αυτό το ρεαλιστικό μοντέλο του ανθρώπινου οργάνου λαμβάνει υπόψη την ροή του αίματος, την μηχανική και τον ηλεκτρισμό. Το μοντέλο της “Ζωντανής Καρδιάς” χρησιμοποιείται παγκοσμίως για τη δημιουργία νέων τρόπων σχεδιασμού και δοκιμής νέων συσκευών και θεραπειών μέσω φαρμάκων.

Επιπλέον, οι εφαρμογές Ψηφιακών Διδύμων χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία αντιγράφων και ψηφιακών μοντέλων ασθενών, εγκαταστάσεων υποδομών υγείας και ιατρικών συσκευών. Οι στόχοι είναι η παρακολούθηση, η ανάλυση και η πρόβλεψη ζητημάτων, όπως η εξατομίκευση της παροχής φροντίδας, η προληπτική συντήρηση των εγκαταστάσεων υγείας και η αύξηση των δαπανών έρευνας και ανάπτυξης. Τέλος, τα Ψηφιακά Δίδυμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη φαρμάκων, την κλινική έρευνα, τη διάγνωση και τη θεραπεία.[11]

3.5.3 Εφαρμογές στις Κατασκευές

Η εφαρμογή των Ψηφιακών Διδύμων στις Κατασκευές, αποτελεί έναν αναπτυσσόμενο τομέα έρευνας. Έχουν ήδη πραγματοποιηθεί αρκετές συστηματικές βιβλιογραφικές ανασκοπήσεις, με κυριότερες αυτές των Boje και συνεργατών, Jiang και συνεργατών, Oroku και συνεργατών, Deng και συνεργατών και Ozturk και συνεργατών, σχετικά με τις εφαρμογές των Ψηφιακών Διδύμων στον τομέα των Κατασκευών. Ο Ozturk πραγματοποίησε μια βιβλιογραφική ανάλυση για να παρέχει μια επισκόπηση του ερευνητικού πεδίου για τα Ψηφιακά Δίδυμα στη βιομηχανία AECO-FM. Ο Boje και οι συνεργάτες του ανέλυσαν τις ικανότητες αντίληψης ενός Ψηφιακού Διδύμου σε διάφορους τομείς της μηχανικής και εντόπισαν πεδία εφαρμογής στη φάση της κατασκευής, που μπορούν να βελτιωθούν από ένα Ψηφιακό Δίδυμο. Ο Oroku και οι συνεργάτες του διερεύνησαν τις εφαρμογές των Ψηφιακών Διδύμων σε διάφορες φάσεις του κύκλου ζωής των έργων, ενώ ο Deng και οι συνεργάτες του εξέτασαν τις περιοχές που εφαρμόζονται και τις δυνατότητες των υφιστάμενων, τελευταίας τεχνολογίας Ψηφιακών Διδύμων. Ο Jiang και οι συνεργάτες του ερεύνησαν τις εφαρμογές των Ψηφιακών Διδύμων στον τομέα της Πολιτικής Μηχανικής. Από τις μελέτες είναι φανερό ότι τα Ψηφιακά Δίδυμα, από τεχνολογική σκοπιά, αντιμετωπίζουν

σημαντικές προκλήσεις στην ανάπτυξή τους. Η εστίαση είναι στις τεχνολογίες, καθώς πρέπει να αναγνωριστεί ότι η εφαρμογή και η υιοθέτηση των ψηφιακών τεχνολογιών στις Κατασκευές επηρεάζεται από αρκετές οργανωτικές προκλήσεις, όπως η ανεπαρκής εξειδίκευση, οι οικονομικοί περιορισμοί, τα πολιτιστικά εμπόδια και η αντίσταση στην αλλαγή.

Η ανάπτυξη ενός Ψηφιακού Διδύμου απαιτεί μια σύνδεση δεδομένων μεταξύ μιας φυσικής οντότητας και του αντίστοιχου εικονικού μοντέλου της. Τεχνολογίες μοντελοποίησης χρησιμοποιούνται για να δημιουργήσουν ένα εικονικό μοντέλο, που αντικατοπτρίζει τις παραμέτρους του φυσικού περιβάλλοντος, όπως η γεωμετρική δομή, η λειτουργικότητα, η κατάσταση, η τοποθεσία και η απόδοση. Οι τεχνολογίες του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) επιτρέπουν τη σύνδεση δεδομένων και έτσι γίνεται εφικτή η διπλή ροή δεδομένων μεταξύ φυσικών και εικονικών συστημάτων. Οι τεχνολογίες IoT συλλέγουν δεδομένα από το φυσικό περιβάλλον, τα οποία στη συνέχεια μεταδίδονται στο εικονικό μοντέλο μέσω μεταδόσεων επικοινωνίας, με πρωτόκολλα διαφόρων επιπέδων της εφαρμογής. Τα συλλεγόμενα δεδομένα είναι υψηλού όγκου και μπορεί να προέρχονται από πολλαπλές πηγές, απαιτώντας τεχνολογίες αποθήκευσης Μεγάλων Δεδομένων. Τα δυναμικά δεδομένα από το φυσικό περιβάλλον ενσωματώνονται στο εικονικό μοντέλο προκειμένου να παρέχουν συνθήκες και εκτιμήσεις κατανοητές από τον άνθρωπο. Τα δεδομένα του Ψηφιακού Διδύμου μπορούν να επεξεργαστούν, χρησιμοποιώντας προηγμένες τεχνολογίες ανάλυσης δεδομένων, προκειμένου να παρέχουν διάφορες υπηρεσίες στους χρήστες. Τα επεξεργασμένα δεδομένα είναι τελικά διαθέσιμα στους τελικούς χρήστες με απλό και διαδραστικό τρόπο μέσω της οπτικοποίησης των δεδομένων, η οποία υποστηρίζεται από αντίστοιχες τεχνολογίες. Αυτές οι τεχνολογίες συνολικά αποτελούν τη βάση για την εφαρμογή ενός βιώσιμου Ψηφιακού Διδύμου που αποτελείται από ένα μοντέλο υψηλής ακρίβειας με δυνατότητες διπλής κατεύθυνσης μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων. Οι τεχνολογίες αυτές έχουν διαμορφωθεί ως μια αρχιτεκτονική συστήματος Ψηφιακού Διδύμου, που περιλαμβάνουν πέντε στρώματα ανάπτυξης: την απόκτηση δεδομένων, τη μετάδοση δεδομένων, την ψηφιακή μοντελοποίηση και την ενοποίηση δεδομένων/μοντέλου με τις υπηρεσίες.

Το στρώμα απόκτησης δεδομένων αποτελείται από τεχνολογίες για τη συλλογή τους. Το στρώμα μετάδοσης περιλαμβάνει τεχνολογίες δικτύωσης, επικοινωνιών και πρωτοκόλλων μετάδοσης. Το στρώμα ψηφιακής μοντελοποίησης λαμβάνει υπόψη του τεχνολογίες για τη μέτρηση των παραμέτρων της φυσικής οντότητας, ώστε να μοντελοποιήσει το εικονικό μοντέλο. Το στρώμα ενοποίησης δεδομένων/μοντέλου με τις υπηρεσίες, περιλαμβάνει τεχνολογίες που υποστηρίζουν την αποθήκευση δεδομένων, την ανάπτυξη και σύνθεση δεδομένων/μοντέλου, την επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων, την οπτικοποίηση και την Τεχνητή Νοημοσύνη, τη Μηχανική Μάθηση και τον μηχανισμό προσομοίωσης.

Η γενική ιδέα των Ψηφιακών Διδύμων έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει την απόδοση και την παραγωγικότητα στις Κατασκευές, μέσω της αποτελεσματικής λήψης αποφάσεων που διευκολύνεται από την παρακολούθηση της κατάστασης σε πραγματικό χρόνο, δίνοντας προβλέψεις, κάνοντας προσομοιώσεις και βελτιστοποιώντας τις διαδικασίες. [22]

Τα Ψηφιακά Δίδυμα ως εικονικά μοντέλα ενός φυσικού συστήματος έχουν ομοιότητες με το Building Information Modeling (BIM), το οποίο χρησιμοποιείται από επαγγελματίες της Κατασκευαστικής Βιομηχανίας εδώ και πολλά χρόνια. Το Building Information Modeling (BIM) αποτελεί την ψηφιακή αναπαράσταση των φυσικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών ενός κτιρίου ή ενός κατασκευαστικού έργου. Παρέχει πληροφορίες σχετικά με ένα κτίριο ή ένα έργο, συμπεριλαμβανομένων γεωμετρικών στοιχείων, χωρικών σχέσεων, γεωγραφικών πληροφοριών, ποσοτήτων και ιδιοτήτων των στοιχείων κτιρίου. Ενώ το BIM παρέχει στατικά δεδομένα, τα Ψηφιακά Δίδυμα, χρησιμοποιώντας αισθητήρες, παρέχουν πραγματικά δεδομένα που οι κατασκευαστές, οι σχεδιαστές ή οι πελάτες τους μπορούν να χρησιμοποιήσουν για να παρακολουθήσουν έργα σε πραγματικό χρόνο. Χρησιμοποιώντας τα Ψηφιακά Δίδυμα, οι κατασκευαστικές ομάδες μπορούν να παρακολουθούν τη διαδικασία, να αναγνωρίζουν πιθανά προβλήματα και να προσαρμόζουν στρατηγικές για να διασφαλίσουν ότι τα έργα ολοκληρώνονται με ασφάλεια, εντός των προθεσμιών και του προϋπολογισμένου κόστους, στη συμφωνημένη ποιότητα. Επιπλέον, οι λύσεις Ψηφιακών Διδύμων στις Κατασκευές μπορούν να βοηθήσουν στην

παρακολούθηση άλλων πόρων (π.χ. υλικά, εργασία, εξοπλισμό), στην παρακολούθηση της ασφάλειας, στον σχεδιασμό και τη διαχείριση των πόρων και στα logistics. [11]

Η νέα γενιά έξυπνων κατασκευών παρουσιάζει υψηλότερες απαιτήσεις στην ψηφιοποίηση και τη νοημοσύνη των τούνελ. Το Ψηφιακό Δίδυμο υποστηρίζει αποτελεσματικά τη μοντελοποίηση υψηλής ακρίβειας, την χαρτογράφηση εικονικού-πραγματικού μοντέλου και τη λήψη αποφάσεων βασισμένη στην ανάλυση της έρευνας, όταν βρίσκεται στο αρχικό στάδιο. [23]

Η αυξανόμενη ζήτηση για βελτιωμένη αποδοτικότητα, αυτοματοποίηση, βιωσιμότητα και ποιότητα στην έξυπνη κατασκευή τούνελ παρουσιάζει προκλήσεις στους τομείς της αποτελεσματικής καταγραφής δεδομένων, της έξυπνης ανάλυσης και της βελτιστοποιημένης λήψης αποφάσεων. Ωστόσο, η μικρή διαθεσιμότητα και η αβεβαιότητα των δεδομένων κατασκευής εμποδίζουν τη βελτίωση της ποιότητας του έργου. Η περιορισμένη ικανότητα των αισθητήρων και οι συνεχώς μεταβαλλόμενες γεωλογικές συνθήκες οδηγούν σε καθυστερημένη λήψη αποφάσεων και αυξημένο κίνδυνο ατυχημάτων, κατά τη φάση της κατασκευής.

Ο κατασκευαστικός σχεδιασμός της μηχανικής των τούνελ πρέπει να βελτιστοποιηθεί γρήγορα και με ακρίβεια, σύμφωνα με τις γεωλογικές συνθήκες που υπάρχουν κατά την ανασκαφή. Ωστόσο, οι υπάρχουσες μέθοδοι ανάλυσης και λήψης αποφάσεων εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την εμπειρία των ειδικών, εμφανίζουν αργές ανταποκρίσεις και παράγουν ανακριβή αποτελέσματα. Η ουσία αυτών των προβλημάτων έγκειται στο χαμηλό βαθμό αλληλεπίδρασης και ενσωμάτωσης μεταξύ των φυσικών συστημάτων και των εικονικών μοντέλων των τούνελ.

Το Ψηφιακό Δίδυμο διευκολύνει στην υψηλή ενσωμάτωση μιας αίσθησης ότι το μοντέλο είναι ρεαλιστικό και μιας ανάλυσης που δείχνει πιο έξυπνη και ολοκληρωμένη. Η εφαρμογή τεχνολογιών ανίχνευσης πραγματικού χρόνου, εικονικής-φυσικής σύνδεσης και πολυφυσικής μοντελοποίησης, επιτρέπει τη δημιουργία ενός ρεαλιστικού αντίγραφου υψηλής ακρίβειας. Η ανάλυση, η προσομοίωση και η βελτιστοποίηση βασιζόμενη σε Ψηφιακό Δίδυμο, με τη χρήση προηγμένων μεθόδων

ανίχνευσης, επικοινωνίας και Μηχανικής Μάθησης, είναι ικανή να εντοπίζει άγνωστους παραμέτρους συμπεριφοράς και απόδοσης. Επομένως, δημιουργεί σημαντική δυναμική στη μείωση των κινδύνων, επιτρέποντας στη μηχανική των τούνελ να επιτύχει υψηλή αποδοτικότητα, οικονομία και φιλικότητα προς το περιβάλλον.

Σε τομείς, όπως ο κατασκευαστικός, το Ψηφιακό Δίδυμο δίνει μεγαλύτερη έμφαση στην περιγραφή και πρόβλεψη των χαρακτηριστικών και της απόδοσης ή στη Διαχείριση Κύκλου Ζωής Προϊόντος (PLM), όπως προκύπτει από την έρευνα που πραγματοποίησε ο Grieves. Στον τομέα της Αρχιτεκτονικής, της Μηχανικής και των Κατασκευών, η εστίαση επικεντρώνεται στην απεικόνιση των φυσικών οντοτήτων, ενεργοποιώντας ενημερώσεις σε πραγματικό χρόνο και καθιερώνοντας διπλής κατεύθυνσης συνδέσεις. Λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά της κατασκευής τούνελ και ευθυγραμμίζοντάς τα με τις υπάρχουσες κατευθύνσεις, θα μπορούσαμε να πούμε ότι ένα Ψηφιακό Δίδυμο στην κατασκευή τούνελ είναι: “Ένα πολυφυσικό και δυναμικό αντίγραφο των τούνελ στον κυβερνοχώρο, που πραγματοποιεί περιγραφή υψηλής ακρίβειας, προσομοίωση, πρόβλεψη και έλεγχο των οντοτήτων μέσω σύνδεσης διπλής κατεύθυνσης και επιτυγχάνοντας συνεχή προσέγγιση των φυσικών οντοτήτων μέσω αυτό-μάθησης”. [23]

Η περιγραφή του Ψηφιακού Διδύμου προϋποθέτει αρκετά βασικά στοιχεία:

- 1) Το Ψηφιακό Δίδυμο είναι μια ενσωμάτωση πολλαπλών πηγών πληροφοριών. Θεωρητικά, όλες οι πληροφορίες που μπορούν να ληφθούν από φυσικές οντότητες θα πρέπει να ενσωματώνονται στο Ψηφιακό Δίδυμο.
- 2) Τα δεδομένα υφίστανται συνεχή ενημέρωση και αλληλεπιδρούν ενεργά με τις φυσικές οντότητες, μέσω δικτύου αισθητήρων. Το μοντέλο πραγματοποιεί δυναμική ανάλυση και πρόβλεψη, βασισμένη στα ενημερωμένα δεδομένα. Ο μηχανισμός μαθαίνει και εξελίσσεται μέσω της ανατροφοδότησης από τις φυσικές οντότητες, προσπαθώντας να επιτύχει τον απόλυτο στόχο της “πλήρους προσέγγισης των χαρακτηριστικών και των αντιδράσεων των φυσικών οντοτήτων”.

- 3) Οι φυσικές οντότητες, όπως αισθητήρες και μηχανήματα, συντελούν στην εγκατάσταση και υλοποίηση του Ψηφιακού Διδύμου. Στο τέλος παρουσιάζεται ως μια ψηφιακή ή εικονική αναπαράσταση στον κυβερνοχώρο.
- 4) Το Ψηφιακό Δίδυμο λειτουργεί ως ένα μοντέλο που βασίζεται σε προσομοίωση και διευκολύνει τη διάγνωση, την πρόβλεψη, τη λήψη αποφάσεων και τον έλεγχο, χρησιμοποιώντας την Αριθμητική Ανάλυση, την Τεχνητή Νοημοσύνη, την Εξόρυξη Δεδομένων και άλλες μεθόδους.[23]

3.5.4 Εφαρμογές στις Έξυπνες Πόλεις

Οι λύσεις Ψηφιακών Διδύμων ενσωματώνονται γρήγορα στην παραδοσιακή βιομηχανία κατασκευών, στις έξυπνες πόλεις και στο έξυπνο δίκτυο ενέργειας. Οι γρήγορες εξελίξεις στη συνδεσιμότητα μέσω του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) καθιστούν τα Ψηφιακά Δίδυμα εξαιρετικά αποτελεσματικά μέσα σε μια έξυπνη πόλη. Η αυξανόμενη πολυπλοκότητα των υφιστάμενων συστημάτων ενέργειας καθιστά την ψηφιοποίηση των στοιχείων της ενέργειας ένα από τα πιο πολυσυζητημένα θέματα στον τομέα της ενέργειας. Η τεχνολογία των Ψηφιακών Διδύμων μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο για την βελτιστοποίηση των στοιχείων. Μπορεί να εφαρμοστεί σε ολόκληρο τον τομέα της ενέργειας για την επίτευξη βέλτιστων αποτελεσμάτων όσον αφορά τη συντήρηση, το σχεδιασμό παραγωγής, την αποδοτικότητα των εγκαταστάσεων και τον περιορισμό των κινδύνων.

Μια πρόσφατη μελέτη πρότεινε ένα ψηφιακό δίκτυο ενέργειας βασισμένο στην τεχνολογία του Ψηφιακού Διδύμου, το οποίο μπορεί να ψηφιοποιήσει ολόκληρη τη διαδικασία, όλα τα στοιχεία και όλες τις υπηρεσίες του φυσικού δικτύου ενέργειας, καθώς και ανθρώπινα και φυσικά γεγονότα. Η λύση του ψηφιακού δικτύου ενέργειας μπορεί επίσης να βοηθήσει στον σχεδιασμό, την κατασκευή, τη διαχείριση και την εξυπηρέτηση του δικτύου ενέργειας. [11]

3.5.5 Εφαρμογές στην Αυτοκινητοβιομηχανία και Αεροπορική Βιομηχανία

Η έντονη ανταγωνιστικότητα μεταξύ των κατασκευαστών αυτοκινήτων για την εισαγωγή προηγμένων και καινοτόμων οχημάτων ενθαρρύνει τις εταιρείες να επενδύουν στην έρευνα και ανάπτυξη προϊόντων και στην αυτοματοποίηση των διαδικασιών. Πολλοί κατασκευαστές αυτοκινήτων υιοθετούν μελλοντικές τεχνολογίες όπως τα Ψηφιακά Δίδυμα, χρησιμοποιώντας διαδραστικούς πίνακες ελέγχου αυτοκινήτων στις ιστοσελίδες τους για τη βελτίωση της συμμετοχής των πελατών. Οι πελάτες μπορούν να προσαρμόσουν τα οχήματα κατά την προτίμησή τους. Οι εταιρείες χρησιμοποιούν τις πληροφορίες αυτές για την παρακολούθηση της συμπεριφοράς των καταναλωτών και την αλλαγή των υπαρχόντων μοντέλων. Η τεχνολογία των Ψηφιακών Διδύμων γίνεται ένας παγκόσμιος τομέας έρευνας, όπου οι ερευνητές τα εφαρμόζουν σε διάφορες πτυχές των έξυπνων οχημάτων και εξερευνούν το δυναμικό, τις ευκαιρίες και τις προκλήσεις στην υλοποίησή τους. Η τεχνολογία των Ψηφιακών Διδύμων χρησιμοποιείται επίσης ευρέως στην Αεροπορική Βιομηχανία. Χρησιμοποιείται για τη συντήρηση αεροσκαφών, τον παρακολούθηση του βάρους, την ακριβή πρόβλεψη των καιρικών συνθηκών, τη μέτρηση του χρόνου πτήσης και τον εντοπισμό ελαττωμάτων. Για παράδειγμα, η Boeing, η μεγαλύτερη αεροναυπηγική εταιρεία στον κόσμο, χρησιμοποιεί λύσεις Ψηφιακών Διδύμων για να βελτιώσει την ποιότητα και την ασφάλεια των εξαρτημάτων και των συστημάτων που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή εμπορικών και στρατιωτικών αεροσκαφών. Ως αποτέλεσμα, η Boeing αναφέρει ότι πέτυχε μια βελτίωση κατά 40% στην ποιότητα των εξαρτημάτων και των συστημάτων των αεροσκαφών της. [11]

3.5.6 Εφαρμογές στη Γεωργία

Η γεωργία είναι ουσιώδης για τη λειτουργία οποιασδήποτε οικονομίας. Αποτελεί σημαντική πηγή τροφίμων και πρώτων υλών και είναι κρίσιμη πηγή ευκαιριών απασχόλησης για το σύνολο του πληθυσμού. Οι καλλιέργειες, τα κτηνοτροφικά προϊόντα και τα θαλασσινά που παράγονται στις Ηνωμένες Πολιτείες, σε συνδυασμό με τις υπηρεσίες διατροφής και άλλες βιομηχανίες που σχετίζονται με τη γεωργία, συνεισφέρουν με πάνω

από 750 δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως στην οικονομία. Επιπλέον, ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξάνεται και η αγορά ζητά υψηλότερα πρότυπα ποιότητας και ποσότητας προϊόντων, καθιστώντας πιο σημαντικό το ζήτημα της τροφικής ασφάλειας, της βιωσιμότητας, της παραγωγικότητας και της κερδοφορίας. Επιπλέον, η οικονομική πίεση στον γεωργικό τομέα και οι περιβαλλοντικές και κλιματικές αλλαγές αυξάνονται.

Τα Ψηφιακά Δίδυμα μπορούν να εφαρμοστούν:

- ❖ Στη διαχείριση των αγροκτημάτων και τη βέλτιστη χρήση πόρων, καθώς μπορεί να δώσει μια εικονική αναπαράσταση ενός αγροκτήματος με σχετικά καλή ακρίβεια, ώστε να βελτιώσει την αποδοτικότητα και τη παραγωγικότητα, με ταυτόχρονη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και των δαπανών.
- ❖ Στη μοντελοποίηση του καιρού, καθώς αγροτικό Ψηφιακό Δίδυμο μπορεί να βοηθήσει στην πρόβλεψη των μακροπρόθεσμων επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, αφού επιτρέπει στους αγρότες να εντοπίζουν πού και πώς το σύστημα γεωργίας επιβαρύνεται από παράγοντες όπως η ποιότητα του εδάφους, η ρύπανση και άλλοι παράγοντες.
- ❖ Στη διαχείριση του εδάφους, καθώς οι προσομοιωμένες προβλέψεις κατά τη διάρκεια μιας καλλιεργητικής περιόδου μπορούν να απαντήσουν σε ερωτήσεις σχετικά με την αναμενόμενη απόδοση, την απαιτούμενη λίπανση, το φως του ήλιου και το νερό.
- ❖ Στις αλυσίδες εφοδιασμού τροφίμων, καθώς οι πελάτες δίνουν προτεραιότητα στην ασφάλεια των γεωργικών προϊόντων, ενώ οι αγρότες αναζητούν αύξηση των εσόδων τους. Η τεχνολογία των Ψηφιακών Διδύμων παρέχει στην αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων μεγαλύτερη ιχνηλασιμότητα.[11]

3.6 Οφέλη των Ψηφιακών Διδύμων, προκλήσεις και προοπτικές

Τα Ψηφιακά Δίδυμα προσελκύουν την προσοχή τόσο των επαγγελματιών όσο και των ερευνητών. Σήμερα, η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται σε πολλούς κλάδους για να παρέχει ακριβείς εικονικές αναπαραστάσεις αντικειμένων και προσομοιώσεις λειτουργικών

διαδικασιών. Το 2019, μια έρευνα της Gartner έδειξε ότι τα Ψηφιακά Δίδυμα ξεκινούσαν να χρησιμοποιούνται ευρέως από οργανισμούς. Προέβλεψε ότι το 75% των οργανισμών Internet of Things χρησιμοποιούν ή σχεδιάζουν να χρησιμοποιήσουν την τεχνολογία των Ψηφιακών Διδύμων έως το 2020. Η Gartner εκτιμά επίσης ότι έως το 2027, πάνω από το 40% των μεγάλων εταιριών παγκοσμίως θα χρησιμοποιούν τα Ψηφιακά Δίδυμα στα έργα τους για την αύξηση των εσόδων. [11]

Επιπλέον, η Global Market Insight εκτίμησε ότι το μέγεθος της αγοράς των Ψηφιακών Διδύμων, που εκτιμάται το 2022 στα 8 δισεκατομμύρια δολάρια, αναμένεται να αυξηθεί κατά περίπου 25% ετησίως (CAGR) από το 2023 έως το 2032. Σύμφωνα με μια άλλη έκθεση της παγκόσμιας τεχνολογικής έρευνας, η αγορά των Ψηφιακών Διδύμων αναμένεται να αυξηθεί κατά σχεδόν 32 δισεκατομμύρια δολάρια από το 2021 έως το 2026. Τέλος, σύμφωνα με μια έκθεση του 2022, σχεδόν το 60% των στελεχών σε διάφορους κλάδους της βιομηχανίας σχεδιάζουν να ενσωματώσουν τα Ψηφιακά Δίδυμα στις λειτουργίες τους έως το 2028.

Τα Ψηφιακά Δίδυμα είναι μια προηγμένη τεχνολογία που έχει δημιουργήσει επανάσταση στον βιομηχανικό τομέα, δημιουργώντας δίδυμα για σχεδόν κάθε πτυχή ενός προϊόντος, διαδικασίας ή υπηρεσίας. Η τεχνολογία αυτή έχει τη δυνατότητα να αντιγράψει τα πάντα από το φυσικό κόσμο, στο ψηφιακό και να παρέχει στους μηχανικούς ανατροφοδότηση από τον εικονικό κόσμο. Ως αποτέλεσμα, η τεχνολογία επιτρέπει στις εταιρείες να ανιχνεύουν γρήγορα και να επιλύουν φυσικά προβλήματα, να σχεδιάζουν και να κατασκευάζουν καλύτερα προϊόντα και να συνειδητοποιούν την αξία και τα οφέλη πιο γρήγορα από ό,τι παλαιότερα. Επιπλέον, η τεχνολογία των Ψηφιακών Διδύμων επιτρέπει στις επιχειρήσεις να βελτιώσουν τις επιχειρηματικές διαδικασίες και την απόδοσή τους.[11]

Η πανδημία του COVID-19 ενίσχυσε το μέγεθος της αγοράς του Ψηφιακού Διδύμου σε διάφορες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένων των ακινήτων, της υγείας, της ενέργειας και του λιανικού εμπορίου, καθώς και την προοπτική ανάπτυξης της αγοράς. Ως εκ τούτου, αναμένεται να υλοποιηθούν λύσεις του Ψηφιακού Διδύμου σε αρκετές χώρες, ως μέρος των δράσεων οικονομικής ανασυγκρότησής τους. Επίσης, για να ανακάμψουν

από τις οικονομικές επιπτώσεις που προκάλεσε η πανδημία, αρκετοί οργανισμοί υιοθετούν τεχνολογίες Ψηφιακού Διδύμου για τη βελτιστοποίηση των αλυσίδων εφοδιασμού και των λειτουργικών τους διεργασιών.

Η επιτάχυνση της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι κυρίως δυνατή, λόγω της μείωσης του κόστους των τεχνολογιών για το IoT όσο και για το Ψηφιακό Δίδυμο. Επιπλέον, τα τελευταία χρόνια, τα Ψηφιακά Δίδυμα αξιοποίησαν κρίσιμες εφαρμογές στον επιχειρηματικό κόσμο και προβλέπεται ότι η τεχνολογία θα επεκταθεί σε περισσότερες εφαρμογές και βιομηχανίες. Ως αποτέλεσμα, οι εφαρμογές των τεχνολογιών του ψηφιακού διδύμου έχουν αυξηθεί εκθετικά.

Επιπλέον, εταιρείες στον τομέα του cloud, όπως η Google Cloud και η Microsoft Azure, εισάγουν πλατφόρμες Ψηφιακού Διδύμου, για εύκολη πρόσβαση και προσαρμοσμένες λύσεις. Για παράδειγμα, τον Ιανουάριο του 2022, η Google Cloud παρουσίασε μια λύση Ψηφιακού Διδύμου για την αλυσίδα εφοδιασμού προκειμένου να παρέχει στη βιομηχανία, εικόνα των λειτουργιών εντός των αλυσίδων εφοδιασμού τους.

Η εμφάνιση της Βιομηχανίας 4.0 και του Διαδικτύου των Πραγμάτων έχει επιταχύνει επίσης την υιοθέτηση της τεχνολογίας του Ψηφιακού Διδύμου σε διάφορες εφαρμογές. Η Βιομηχανία 4.0 χρησιμοποιεί καινοτόμες μεθοδολογίες παραγωγής και προηγμένες τεχνολογίες, όπως η cloud computing, το IoT, το Ψηφιακό Δίδυμο, η ψηφιακή σάρωση, ο 3D εκτυπωτής και η Τεχνητή Νοημοσύνη. Η τεχνολογία του Ψηφιακού Διδύμου είναι κεντρική στις διεργασίες της Βιομηχανίας 4.0. Όλο και περισσότερες βιομηχανίες χρησιμοποιούν ενεργά λύσεις Ψηφιακού Διδύμου για τη διαχείριση του κύκλου ζωής των προϊόντων και των πόρων. Η τεχνολογία επιτρέπει στις εταιρείες να δημιουργήσουν μια εικονική αναπαράσταση των προϊόντων και των διαδικασιών τους και τους επιτρέπει να προβαίνουν στις αναγκαίες αποφάσεις εκ των προτέρων.

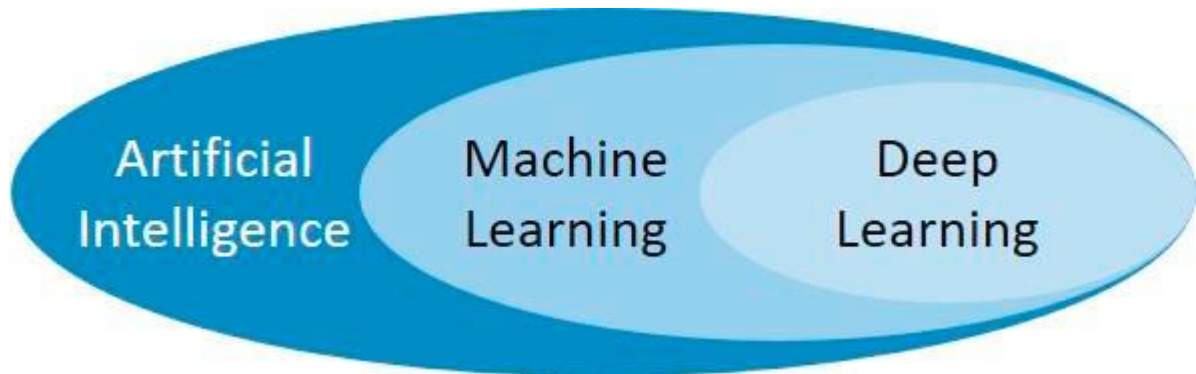
Η τεχνολογία των Ψηφιακών Διδύμων αντιμετωπίζει επί του παρόντος κοινά προβλήματα παράλληλα με τις τεχνολογίες της Τεχνητής Νοημοσύνης και του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT). Αυτά περιλαμβάνουν τυποποίηση δεδομένων, διαχείριση δεδομένων και ασφάλεια δεδομένων, καθώς και εμπόδια στην υλοποίησή του και το μετασχηματισμός του παλαιού

συστήματος. Άλλα προβλήματα περιλαμβάνουν την ανάγκη για αναβάθμιση παλαιών υποδομών πληροφορικής, προκλήσεις στη συνδεσιμότητα, την ιδιωτικότητα και την ασφάλεια ευαίσθητων δεδομένων. Οι σημαντικές προκλήσεις που πιθανόν να εμποδίσουν την ανάπτυξη της αγοράς του Ψηφιακού Διδύμου περιλαμβάνουν το υψηλό κόστος υλοποίησης, την αυξημένη ζήτηση ενέργειας και αποθήκευσης, τις προκλήσεις ενσωμάτωσης με υπάρχοντα συστήματα ή εταιρικό λογισμικό και την πολυπλοκότητα της αρχιτεκτονικής του. Η εφαρμογή λύσεων Ψηφιακού Διδύμου είναι δαπανηρή, απαιτώντας σημαντικές επενδύσεις σε τεχνολογικές πλατφόρμες (αισθητήρες, λογισμικό), ανάπτυξη υποδομών, ελέγχους ποιότητας δεδομένων και λύσεις ασφαλείας. Επιπλέον, η διατήρηση των υποδομών του Ψηφιακού Διδύμου μπορεί να είναι δαπανηρή, απαιτώντας σημαντικές επενδύσεις. Το υψηλό σταθερό κόστος και η πολύπλοκη υποδομή των Ψηφιακών Διδύμων ενδέχεται να επιβραδύνουν την εφαρμογή των συγκεκριμένων τεχνολογιών.[11]

Κεφάλαιο 4: Τεχνητή Νοημοσύνη

4.1 Ορισμός και εισαγωγή στην Τεχνητή Νοημοσύνη

Η Τεχνητή Νοημοσύνη είναι κλάδος της επιστήμης των υπολογιστών. Επιδίωξή της είναι να μιμηθεί τις βάσεις της νοημοσύνης για τη δημιουργία ενός νέου ευφυούς μηχανήματος, το οποίο να είναι ικανό να αντιδρά σαν την ανθρώπινη νοημοσύνη. Κυριότεροι τομείς μελέτης της Τεχνητής Νοημοσύνης είναι η Ρομποτική, η αναγνώριση εικόνας και η αναγνώριση γλώσσας. Τα Νευρωνικά Δίκτυα, Η Μηχανική Μάθηση, η Βαθιά Μηχανική Μάθηση και τα εμπειρικά συστήματα μπορούν να βοηθήσουν τα Ψηφιακά Δίδυμα παρέχοντας ένα εξελιγμένο αναλυτικό εργαλείο, ικανό να αναλύει αυτόματα τα δεδομένα που έχουν ληφθεί και να παρέχει πολύτιμες πληροφορίες, να προβλέπει αποτελέσματα και να δίνει προτάσεις για το πώς να αποφεύγονται πιθανά προβλήματα[11].



Εικόνα 4.1: Τεχνητή Νοημοσύνη, Μηχανική Μάθηση και Βαθιά Μάθηση[13]

4.2 Μηχανική Μάθηση, Νευρωνικά Δίκτυα και Βαθιά Μάθηση

Η Μηχανική Μάθηση (ML) είναι η επιστήμη που ασχολείται με υπολογιστικούς αλγορίθμους που βελτιώνονται μέσω της χρήσης των δεδομένων και της εμπειρίας. Η Μηχανική Μάθηση είναι ένα υποπεδίο της Τεχνητής Νοημοσύνης. Η Royal Society ορίζει τη Μηχανική Μάθηση ως "ένα σύνολο κανόνων που επιτρέπει στα συστήματα να μαθαίνουν απευθείας από παραδείγματα, δεδομένα και εμπειρία". Οι αλγόριθμοι Μηχανικής Μάθησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για πρόβλεψη και ταξινόμηση. Οι τεχνικές Μηχανικής Μάθησης συνήθως κατατάσσονται σε supervised, unsupervised και reinforcement. Η supervised μάθηση χρησιμοποιεί δεδομένα από εκπαιδύσεις για να δημιουργήσει ένα μαθηματικό μοντέλο και να ταιριάζει τα δεδομένα εισόδου και εξόδου. Αυτό το μοντέλο μπορεί στη συνέχεια να προβλέπει τις παραμέτρους εισόδου και εξόδου που βρίσκονται εντός του εύρους εκπαίδευσης. Χρησιμοποιείται συνήθως για παλινδρόμηση (πρόβλεψη/απόκτηση αριθμητικών τιμών), ταξινόμηση δεδομένων (ταξινόμηση δεδομένων σε κατηγορίες), βελτιστοποίηση και έλεγχο.

Η Supervised μάθηση συνήθως χρησιμοποιεί δεδομένα εκπαίδευσης, τα οποία ορίζονται ως "δεδομένα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εκπαιδεύσουν συστήματα Μηχανικής Μάθησης, έχοντας ήδη ταξινομηθεί σε μία ή περισσότερες ομάδες". Αφού δημιουργηθεί το μοντέλο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν άλλα δεδομένα που προέρχονται από την ίδια πηγή, για να δοκιμάσουν και να επικυρώσουν το μοντέλο. Η Supervised Μηχανική

Μάθηση ονομάζεται μερικές φορές “προβλεπτική”. Μερικές φορές διάφοροι αλγόριθμοι supervised μάθησης μπορούν να συνδυαστούν. Αυτό ονομάζεται ensemble learning. Η Unsupervised μάθηση αναζητά άγνωστα πρότυπα σε ένα σύνολο δεδομένων για να προβλέψει τα αποτελέσματα. Χρησιμοποιείται συνήθως για την ομαδοποίηση (αναγνώριση ομοιοτήτων μεταξύ συνόλων) ή τη μείωση των διαστάσεων (μείωση του αριθμού των μεταβλητών).

Η reinforcement μάθηση είναι μια προσέγγιση που χρησιμοποιεί αλγόριθμους ή “agents” για να πλοηγηθεί σε διαδοχική λήψη αποφάσεων, σε ένα περιβάλλον με περιορισμένη ανταπόκριση. Αυτή η προσέγγιση είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για τον καθορισμό πολιτικών και συμπεριφορών. Η reinforcement μάθηση θεωρείται μερικές φορές ως μέθοδος που ανήκει στενά στις semi-supervised τεχνικές, οι οποίες μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για βελτιστοποίηση, έλεγχο και δημιουργικά μοντέλα. Οι κύριοι τύποι μοντέλων μηχανικής μάθησης που χρησιμοποιούνται στην τεχνητή νοημοσύνη είναι μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης, μοντέλα γραμμικής ταξινόμησης, νευρωνικά δίκτυα, μέθοδοι kernel, μηχανήματα sparse kernel, γραφικά μοντέλα, μοντέλα μίξης και αλγόριθμοι expectation-maximization. Η λίστα συγκεκριμένων αλγορίθμων και προσεγγίσεων που υποστηρίζουν τη Μηχανική Μάθηση είναι μεγάλη και συνεχίζει να αυξάνεται. Στον τομέα των κτιρίων, η Μηχανική Μάθηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί οπουδήποτε χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι, όπως στους υπολογισμούς μηχανικής σχεδίασης ή στα συστήματα ελέγχου κτιρίων. [13]

Μια κατηγορία της Μηχανικής Μάθησης που εμπνέεται από τον τρόπο λειτουργίας του ανθρώπινου εγκεφάλου είναι τα Νευρωνικά Δίκτυα. Τους κόμβους από τους οποίους αποτελούνται αυτά τα δίκτυα τους ονομάζουμε νεύρωνες και είναι αυτοί που λαμβάνουν τα δεδομένα, τα επεξεργάζονται και δίνουν τα δεδομένα εξόδου, μέσω των οποίων μπορεί να γίνει κάποια πρόβλεψη ή αναγνώριση προτύπων. Τα Νευρωνικά Δίκτυα χρησιμοποιούνται ευρέως για επίλυση ζητημάτων που έχουν να κάνουν με την εικόνα, την φωνητική αναγνώριση, την επεξεργασία φυσικής γλώσσας και την πρόβλεψη.

Συνήθως για την εκπαίδευση μεγάλων Νευρωνικών Δικτύων χρησιμοποιούμε τη Βαθιά Μάθηση, καθώς με τον τρόπο που λειτουργεί μπορεί να εστιάσει στην εκμάθηση πολύπλοκων χαρακτηριστικών ή αναπαραστάσεων από τα δεδομένα. Η Βαθιά Μάθηση έχει οδηγήσει σε σημαντική πρόοδο σε πολλούς τομείς όπως η αναγνώριση εικόνας, η επεξεργασία φυσικής γλώσσας, η αυτόματη οδήγηση και η ρομποτική.

Λίστα πιο συνήθων αλγορίθμων και προσεγγίσεων Μηχανικής Μάθησης[13]:

Supervised ML – classification

- (SVM) Support Vector Machine
- (DT) Decision Tree
- (RF) Random Forest
- (NN) Neural Network
- (ANN) Artificial Neural Network
- (ANFIS) Adaptive Neuro Fuzzy Inference System
- (GB) Gradient Boosting

Supervised ML - regression

- (LR) Linear Regression
- (MLR) Multiple Linear Regression
- (PR) Polynomial Regression
- (GP) Gaussian Process
- (ARMA) AutoRegressive and Moving Average
- (ARIMA) AutoRegressive Integrated Moving Average
- (MARS)Multivariate Adaptive Regression Splines
- (LASSO)Least Absolute Shrinkage and Selection Operator regression

Supervised ML – optimization and control

- Linear Control
- Genetic Algorithm
- (DMPC) Deep Model Predictive Control

Semi-supervised ML - reinforcement learning

- Q-learning
- Markov Decision Processes
- Deep Reinforcement Learning

Semi-supervised ML - generative models

- (GAN) Generative Adversarial Network

Unsupervised ML – clustering

- K-means
- (KNN) K-Nearest Neighbours
- Spectral Clustering

Unsupervised ML - dimensionality reduction

- (PCA) Principal Component Analysis
- (SOM) Self Organizing Map

Κεφάλαιο 5: Ψηφιακά Δίδυμα που χρησιμοποιούν την Τεχνητή Νοημοσύνη

5.1 Πώς η Τεχνητή Νοημοσύνη μπορεί να βελτιώσει τα Ψηφιακά Δίδυμα

Ένα Ψηφιακό Δίδυμο αποτελεί μια εικονική αναπαράσταση ενός φυσικού στοιχείου σε ένα κυβερνοφυσικό σύστημα (CPS), ικανή να αντικατοπτρίζει τα στατικά και τα δυναμικά του χαρακτηριστικά. Περιλαμβάνει και χαρτογραφεί διάφορα μοντέλα ενός φυσικού στοιχείου, από τα οποία κάποια είναι εκτελέσιμα και ονομάζονται μοντέλα προσομοίωσης. Αυτό το στοιχείο μπορεί να είναι μια οντότητα που ήδη υπάρχει στον πραγματικό κόσμο ή μπορεί να είναι μια αναπαράσταση μιας μελλοντικής οντότητας που θα κατασκευαστεί. Ένα Έξυπνο Ψηφιακό Δίδυμο

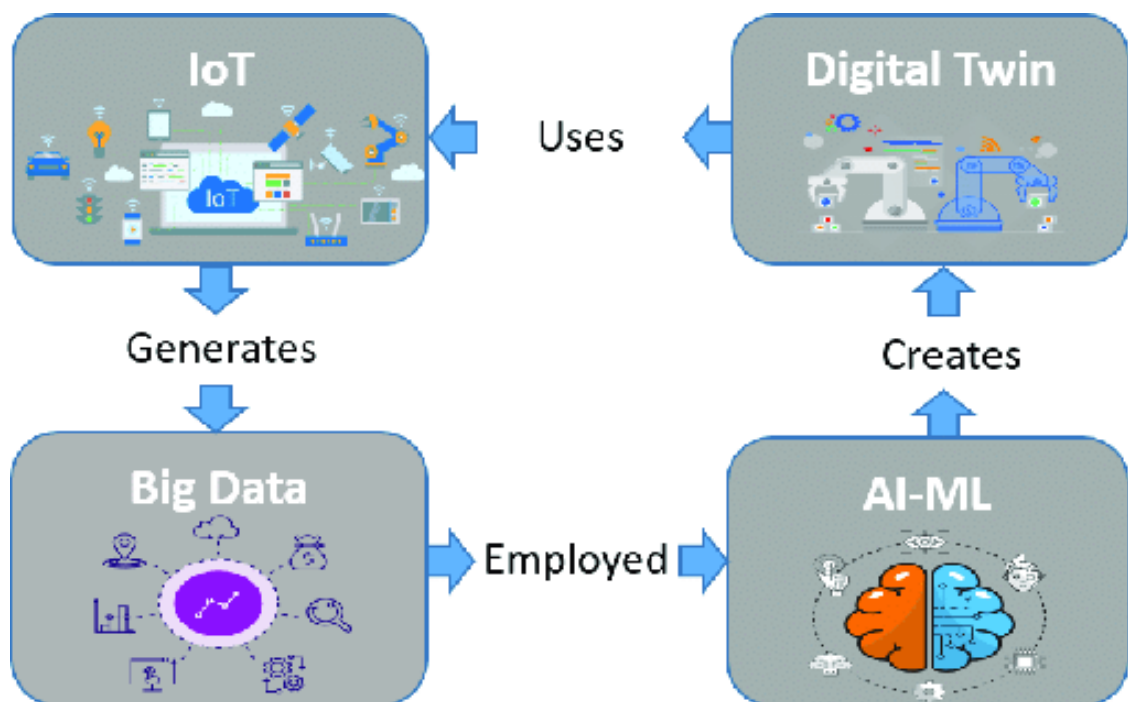
(IDT) είναι μια επέκταση αυτού του ορισμού, καθώς περιλαμβάνει τα χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν προηγουμένως, ενισχυμένα από τη δυνατότητα να παρατηρεί το φυσικό του περιβάλλον, να αναλύει και να μαθαίνει από αυτό, ώστε τα υπάρχοντα μοντέλα να προσαρμόζονται ή να αλληλοεπιδρά το πραγματικό στοιχείο με το περιβάλλον. Αυτό είναι εφικτό με την εισαγωγή μεθόδων πρόβλεψης μέσω Τεχνητής Νοημοσύνης στα Ψηφιακά Δίδυμα. [24]

Το Ψηφιακό Δίδυμο είναι σε θέση να ανιχνεύει (π.χ., βέλτιστη στρατηγική διαδικασίας, βέλτιστη κατανομή πόρων, ανίχνευση ασφαλείας, ανίχνευση βλάβης), να προβλέπει (π.χ., κατάσταση υγείας και πρόιμη συντήρηση), να βελτιστοποιεί (π.χ., σχεδιασμός, έλεγχος διαδικασίας, προγραμματισμός, γραμμή παραγωγής) και να λαμβάνει δυναμικές αποφάσεις με βάση δεδομένα από φυσικούς αισθητήρες και δεδομένα από κάποιο εικονικό δίδυμο. [25]

Σε πολλές περιπτώσεις είναι δύσκολο να δημιουργηθεί ένα πλήρες μοντέλο που να αντιπροσωπεύει με ακρίβεια το φυσικό σύστημα και μπορούν να προκύψουν σφάλματα στη μοντελοποίηση ή στο συγχρονισμό. Οπότε το μοντέλο που αναπαριστά το Ψηφιακό Δίδυμο ενδέχεται να έχει σφάλματα και πρέπει οπωσδήποτε να ενημερωθεί και να ελεγχθεί πριν από την εφαρμογή του. Επειδή τα φυσικά συστήματα αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου και επηρεάζονται από διάφορες παραμέτρους και συνθήκες, το Ψηφιακό Δίδυμο θα πρέπει να είναι δυναμικό και να παρακολουθεί τις αλλαγές στο φυσικό σύστημα. Η Τεχνητή Νοημοσύνη ενσωματώνεται στα Ψηφιακά Δίδυμα και η ανακάλυψη των περιοχών όπου αυτοί οι αλγόριθμοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι ένα συναρπαστικό θέμα μελέτης. Αρκετές έρευνες εξετάζουν τις επιπτώσεις της Τεχνητής Νοημοσύνης σε συνδυασμό με το Ψηφιακό Δίδυμο. [25]

Οι νέες τεχνολογίες αισθητήρων και η ενσωμάτωση του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) στο Βιομηχανικό περιβάλλον, άνοιξαν το δρόμο για αρκετές ενδιαφέρουσες εφαρμογές, όπως ο πραγματικός χρόνος παρακολούθησης φυσικών συσκευών και η ανίχνευση στοιχείων σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους. Οι συσκευές IoT διευκολύνουν τη συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, που είναι απαραίτητο για τη

δημιουργία ενός Ψηφιακού Διδύμου από ένα φυσικό στοιχείο και ενεργοποιούν τη βελτιστοποίηση και τη συντήρηση του φυσικού στοιχείου, συνδέοντας το φυσικό περιβάλλον με τον εικονικό χώρο (με χρήση αισθητήρων και ενεργοποιητών). Επειδή τα δεδομένα είναι μεγάλης κλίμακας, η ανάλυση μεγάλων δεδομένων μπορεί να παίξει καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη ενός επιτυχημένου Ψηφιακού Διδύμου. Ο λόγος είναι ότι οι βιομηχανικές διαδικασίες είναι πολύπλοκες και η αναγνώριση πιθανών προβλημάτων στα αρχικά στάδια είναι δύσκολη, αν χρησιμοποιήσουμε παραδοσιακές τεχνικές. Αντίθετα, με τα Ψηφιακά Δίδυμα τέτοια προβλήματα μπορούν εύκολα να εξαχθούν από τα δεδομένα που συλλέγονται, προδίνοντας ευφυΐα στις βιομηχανικές διαδικασίες. [26]



Εικόνα 5.1: Σχέση μεταξύ IoT, Big Data, Τεχνητή Νοημοσύνη και Ψηφιακών Διδύμων [26]

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων χρησιμοποιείται για τη συλλογή μεγάλων δεδομένων από το φυσικό περιβάλλον. Έπειτα, τα δεδομένα τροφοδοτούν ένα μοντέλο Τεχνητής Νοημοσύνης για τη δημιουργία ενός Ψηφιακού Διδύμου. Στη συνέχεια, το Ψηφιακό Δίδυμο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη

βελτιστοποίηση άλλων διαδικασιών στη βιομηχανία. Η συνολική σχέση μεταξύ IoT, μεγάλων δεδομένων, Τεχνητής Νοημοσύνης και Ψηφιακών Διδύμων παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.1. [26]

Ένα ευφυές σύστημα Ψηφιακού Διδύμου μπορεί να αναπτυχθεί μόνο εφαρμόζοντας προηγμένες τεχνικές Τεχνητής Νοημοσύνης στα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί. Για το σκοπό αυτό, η ευφυΐα επιτυγχάνεται επιτρέποντας στο Ψηφιακό Δίδυμο να ανιχνεύσει (π.χ. βέλτιστη στρατηγική επεξεργασίας, βέλτιστη κατανομή πόρων, ανίχνευση ασφάλειας, ανίχνευση λαθών), να προβλέπει (π.χ. κατάσταση υγείας και πρόιμη συντήρηση), να βελτιστοποιεί (π.χ. σχεδιασμός, έλεγχος διαδικασιών, γραμμή συναρμολόγησης) και να λαμβάνει δυναμικά αποφάσεις με βάση φυσικά δεδομένα αισθητήρων και δεδομένα από το δίδυμο. [26]

5.2 Παραδείγματα και εφαρμογές

5.2.1 Σχεδίαση έξυπνων κτιρίων βασισμένη σε μοντέλα προσομοίωσης Ψηφιακών Διδύμων με Τεχνητή Νοημοσύνη

Οι προτιμήσεις και ο τρόπος ζωής των ανθρώπων έχουν μεταβληθεί την τελευταία δεκαετία, χάρη στην τεχνολογική εξέλιξη. Αυτές οι αλλαγές πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τη δημιουργία και την οργάνωση των πόλεων. Τα έξυπνα κτίρια είναι το προϊόν της τεχνολογικής προόδου και σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι ευέλικτα, προσαρμόσιμα και κατάλληλα για διάφορες χρήσεις. Τα έξυπνα σπίτια σχεδιάζονται για να καλύπτουν τις ανάγκες των κατοίκων τους, όσον αφορά την αποδοτικότητα, την ασφάλεια και την άνεση.

Η ανάπτυξη μιας σύγχρονης υποδομής και η ενσωμάτωση προηγμένων συστημάτων ελέγχου, επεξεργασίας δεδομένων και Τεχνητής Νοημοσύνης οδήγησε στην ανάπτυξη των έξυπνων κτιρίων. Οι ιδιοκτήτες επωφελούνται από την βελτιωμένη αποδοτικότητα, τη μείωση των λειτουργικών και δαπανών συντήρησης, τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και τα υψηλότερα επίπεδα άνεσης και ασφάλειας που παρέχουν τα έξυπνα κτίρια.

Οι σύνδεσμοι παραμετροποίησης, οι αυτοοργανωτικές διαδικασίες και οι αλγόριθμοι είναι μερικές από τις υπολογιστικές μεθόδους που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία αρχιτεκτονικών σχεδίων με ελάχιστη ανθρώπινη παρέμβαση. Η Τεχνητή Νοημοσύνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βελτιώσει τον σχεδιασμό και την παρουσίαση κτιρίων με τον προσδιορισμό των τάσεων στα υπάρχοντα δεδομένα σχεδιασμού. Η δημιουργία αρχιτεκτονικών σχεδίων 2D και 3D, η κατηγοριοποίηση αρχιτεκτονικών στυλ και τύπων κτιρίων, η αναγνώριση αρχιτεκτονικών σχεδίων και χώρων, καθώς και η σύνθεση εσωτερικών σκηνών είναι μερικές από τις πολλές χρήσεις των αλγορίθμων βαθιάς μάθησης, όπως GANs (Generative Adversarial Networks) και VAEs (Variational Autoencoders), στη βιομηχανία αρχιτεκτονικού σχεδιασμού και οπτικοποίησης. Τα GANs έχουν επηρεάσει περισσότερο την αυτοματοποιημένη δημιουργία αρχιτεκτονικών στοιχείων. Το μοντέλο Archi-GAN είναι μία εφαρμογή των GANs που χρησιμοποιεί ένα εκπαιδευμένο μοντέλο με ένα σύνολο από δεδομένα εικόνων για να δημιουργήσει αρχιτεκτονικούς σχεδιασμούς. Η τεχνική House-GAN είναι ένα ακόμα παράδειγμα, καθώς χρησιμοποιεί έναν περιορισμένο σε γράφους GAN για να παράγει σχέδια σπιτιών. Ο Wu και οι συνεργάτες του [27] χρησιμοποίησαν ένα δίκτυο κωδικοποιητή-αποκωδικοποιητή για τη δημιουργία σχεδίων σπιτιών από μια συγκεκριμένη περίμετρο. Η συγκεκριμένη προσέγγιση χρησιμοποιεί ένα νευρωνικό δίκτυο για να τοποθετήσει ένα καθιστικό στο διάγραμμα του ισογείου και στη συνέχεια χρησιμοποιεί άλλα δύο βαθιά νευρωνικά δίκτυα για να δημιουργήσει επαναληπτικά τα υπόλοιπα δωμάτια.

Με τη βοήθεια της τεχνολογίας της Τεχνητής Νοημοσύνης, τα έξυπνα κτίρια και τα συστήματα ελέγχου μπορούν να σχεδιαστούν καλύτερα από την αρχή, οδηγώντας σε βελτιωμένη απόδοση. Όπως δείχνουν ο Hang και οι συνεργάτες του [28], τα τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα προσφέρουν σημαντικά οφέλη έναντι των συμβατικών μεθόδων και μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον σχεδιασμό και τη λειτουργία έξυπνων κτιριακών συστημάτων.

Η πρόβλεψη στη συντήρηση, η αυξημένη αποδοτικότητα στη χρήση πόρων, η βελτίωση της άνεσης των κατοίκων, η ανάλυση βελτιστοποιημένων επιλογών σχεδίασης και η σχεδίαση κλειστού βρόχου, είναι όλα εφικτά χάρη

στον Ψηφιακό Δίδυμο ενός κτιρίου. Καθώς το Ψηφιακό Δίδυμο εντοπίζει προβλήματα και πιθανές βελτιώσεις κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του κτιρίου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον σχεδιασμό μελλοντικών κτιριακών δομών. Τεχνολογίες όπως το 3D CAD modeling, τα ασύρματα αισθητήρια δικτύων (WSNs), αλγόριθμοι Μηχανικής Μάθησης και η ανάλυση δεδομένων, βοηθούν στην υλοποίηση του Ψηφιακού Δίδυμου. Μια έξυπνη κτιριακή δομή ορίζεται από τα μέρη της, τον σκοπό της και τα αποτελέσματα που παράγει, σύμφωνα με μια μελέτη των Jia και συνεργατών [29]. Εξοπλισμός, συσκευές, αισθητήρες, υποδομές ελέγχου και νέες τεχνολογίες, που είναι αναπόσπαστα συνδεδεμένες με την τεχνική λειτουργία ενός κτιρίου, όλα αυτά περιλαμβάνονται σε ένα Ψηφιακό Δίδυμο. Η υγεία, η άνεση, η παραγωγικότητα και η ενεργειακή αποδοτικότητα είναι μερικά μόνο από τα αποτελέσματα που έχουν θετικό αντίκτυπο στο περιβάλλον, την κοινωνία και την οικονομία και μπορούν να αποδοθούν στον έξυπνο και πρακτικό σχεδιασμό ενός κτιρίου.

Με τη βοήθεια του ifcOWL για την υποδομή του κτιρίου, του SSN (σημασιολογικό δίκτυο αισθητήρων) και του SOSA (αισθητήρας, συμπεριφορά, δείγμα και ενεργοποιητής) για την περιγραφή συσκευών IoT, μπορεί να δημιουργηθεί ένα TripleStore για το Ψηφιακό Δίδυμο ενός έξυπνου κτιρίου, που είναι ανεξάρτητο από τα παραδοσιακά βιομηχανικά εργαλεία.

Υπάρχουν πρακτικοί τρόποι με τους οποίους η Τεχνητή Νοημοσύνη μπορεί να βελτιώσει τη δημιουργία μοντέλων προσομοίωσης απλοποιώντας τη δομή και τη λειτουργικότητα του μοντέλου, για να παράγει συστήματα έξυπνων κτιρίων βασισμένα σε Ψηφιακά Δίδυμα.

Κατά τη σχεδίαση έξυπνων κτιρίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα μοντέλα προσομοίωσης Τεχνητής Νοημοσύνης και τα Ψηφιακά Δίδυμα για να βελτιώσουν την εμπειρία του χρήστη και να βελτιστοποιήσουν την απόδοση των κτιρίων. Τα μοντέλα χρησιμοποιούν πληροφορίες σχετικά με τη χρήση του κτιρίου, τη διάταξη και λειτουργία των προτύπων και τους περιβαλλοντικούς παράγοντες, για να προσομοιώσουν διάφορες επιλογές σχεδιασμού και να προβλέψουν τον αντίκτυπό τους στην αποδοτικότητα, την άνεση και την ασφάλεια του κτιρίου. Οι αλγόριθμοι Τεχνητής Νοημοσύνης

αναλύουν αυτά τα δεδομένα για να εντοπίσουν πρότυπα και τάσεις που μπορούν να βελτιστοποιήσουν τη διαδικασία σχεδίασης. Τα Ψηφιακά Δίδυμα είναι ψηφιακές αναπαραστάσεις πραγματικών δομών που μπορούν να προσδιορίζουν την απόδοση του κτιρίου σε πραγματικό χρόνο. Αυτά τα μοντέλα μπορούν να αξιολογήσουν διάφορες επιλογές σχεδιασμού, να εντοπίσουν πιθανά προβλήματα και να βελτιώσουν τις λειτουργίες του κτιρίου. [30]

Μπορούμε να εκμεταλλευτούμε τη δύναμη της Τεχνητής Νοημοσύνης, των προηγμένων τεχνολογιών αισθητήρων και της εικονικής πραγματικότητας για τη δημιουργία ενός πλήρως λειτουργικού και υψηλού επίπεδου Ψηφιακού Διδύμου ενός μοντέρνου σπιτιού. Μέσω της δημιουργίας ενός ρεαλιστικού τρισδιάστατου μοντέλου σπιτιού μπορούμε να κάνουμε οπτικοποίηση, αλλά και για να εξάγουμε μηχανικές προσομοιώσεις. Το φυσικό σπίτι εξοπλίζεται με μια ποικιλία αισθητήρων και η αντίστοιχη ψηφιακή αναπαράσταση του σπιτιού ενημερώνεται ανάλογα. Συλλέγονται τα δεδομένα πραγματικού χρόνου και ενημερώνεται η κατάσταση του Ψηφιακού Διδύμου με οποιεσδήποτε αλλαγές στην κατάσταση του φυσικού σπιτιού. Με τα κατάλληλα εργαλεία ανάλυσης στα εισερχόμενα δεδομένα ανιχνεύονται κρίσιμες αλλαγές.

Επίσης στο προγνωστικό Ψηφιακό Δίδυμο μπορεί να δημιουργηθεί και να εκπαιδευτεί ένα σύνολο μοντέλων πρόβλεψης χρονοσειρών, μόνο από δεδομένα, ώστε να προβλέπεται ακριβώς η μελλοντική κατάσταση του σπιτιού. Υιοθετώντας μια προσέγγιση μοντελοποίησης βασισμένη στη φυσική, ώστε να προβλέπει την κίνηση του ήλιου και την εμπόδισή του από το τοπικό έδαφος, μπορεί να προβλεφθεί το ηλιακό δυναμικό για οποιαδήποτε χρονική στιγμή στο μέλλον. Συνδυάζοντας την τεχνολογία της Εικονικής Πραγματικότητας μπορούμε να έχουμε μια άμεση οπτική αναπαράσταση του συστήματος. [31]



(a) Virtual living room.

(b) Real living room.

Εικόνα 5.2: Σύγκριση εικονικού και πραγματικού δωματίου [31]

5.2.2 Ψηφιακό δίδυμο και αναλυτικά μοντέλα βασισμένα σε ΑΙ για έξυπνη κατασκευή σήραγγας

Η ανάλυση του τούνελ είναι υψηλά εμπειρική και θεωρητικά ενσωματωμένη. Για προβλήματα όπως το κριτήριο αποτυχίας Hoek-Brown (HB), η ταξινόμηση της ποιότητας του βράχου και η πρόβλεψη αποτυχιών του βράχου, οι εμπειρικές φόρμουλες βασισμένες σε μεγάλο όγκο δεδομένων αποτελούν μια συμβιβαστική λύση για την προσαρμογή φυσικών φαινομένων σε περιπτώσεις έλλειψης σαφούς θεωρητικού υποβάθρου. Έτσι, η εισαγωγή ανάλυσης που τροφοδοτείται από την τεχνητή νοημοσύνη, όπως μοντέλα βασισμένα σε μεθόδους Μηχανικής Μάθησης, είναι εύλογη και εφικτή. Αυτά τα μοντέλα μπορούν να λειτουργήσουν ως αντιπροσωπευτικά μοντέλα που βασίζονται σε Μηχανική Μάθηση, βοηθώντας στην πρόβλεψη και στην ανάλυση των προβλημάτων που σχετίζονται με τα τούνελ.

Η αντικατάσταση παραδοσιακών εμπειρικών μοντέλων με αλγόριθμους Τεχνητής Νοημοσύνης που αντιστοιχούν στα χαρακτηριστικά και τα πρότυπα των εισερχόμενων δεδομένων μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερα αποτελέσματα. Για παράδειγμα, με την εκμάθηση 1030 σετ δεδομένων για την αντοχή του σκυροδέματος, με διάφορα μείγματα συστατικών και χρόνους ωρίμανσης, ο Feng και οι συνεργάτες του [32] πρότειναν έναν

τρόπο πρόβλεψης της συμπίεσης του σκυροδέματος χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Δέντρου Αποφάσεων. Η μελέτη δείχνει δυνατότητες πολλά υποσχόμενες, ώστε να υπάρξει αντικατάσταση των φυσικών δοκιμών για την πρόβλεψη της απόδοσης του σκυροδέματος, επιτυγχάνοντας μέση ακρίβεια άνω του 95%. Ο Zhang και οι συνεργάτες του [33] συγκρίνουν την εφαρμογή τριών μεθόδων Τεχνητής Νοημοσύνης, τα Νευρωνικά Δίκτυα, τη Μηχανή Διανυσμάτων και το Τυχαίο Δάσος, στην πρόβλεψη εγκατάστασης του τούνελ. Τα αποτελέσματα απέδειξαν ότι η μέθοδος Τυχαίου Δάσους μπορεί να αντικαταστήσει την παραδοσιακή αριθμητική ανάλυση σε απλά σενάρια με υψηλότερη αποδοτικότητα. Ο Stascheit και οι συνεργάτες του [34] ενσωμάτωσαν τις πληροφορίες σχεδιασμού για το υλικό του εδάφους, τα περιβάλλοντα κτίρια, τη δομή του τούνελ και το μηχάνημα TBM, καθιερώνοντας ένα πολυεπίπεδο μοντέλο για τη θωράκιση του τούνελ. Με βάση την Μηχανική Μάθηση, η μελέτη προέβλεψε και προσομοίωσε το μοτίβο εγκατάστασης του τούνελ, επιτυγχάνοντας τη βελτιστοποίηση των παραμέτρων λειτουργίας του μηχανήματος θωράκισης. [23]

Εκτός από τη βελτιωμένη ακρίβεια, οι προσεγγίσεις της Τεχνητής Νοημοσύνης συμβάλλουν επίσης στη βελτίωση της αποδοτικότητας της ανάλυσης. Για παράδειγμα, ο Jearsirirongkul και οι συνεργάτες του [35] εντόπισαν μια σειρά αποτελεσμάτων ανάλυσης FEM (βασισμένων στο κριτήριο αποτυχίας Hoek-Brown) για τρεις μορφές τούνελ, χρησιμοποιώντας Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο. Έτσι πραγματοποίησαν μια γρήγορη αξιολόγηση της σταθερότητας του περιβάλλοντος βράχου κατά τη σύντομη περίοδο μετά την έκρηξη του τούνελ. Ο Qi και οι συνεργάτες του [36] χρησιμοποίησαν την Ενίσχυση Κλίσης Δέντρου Παλινδρόμησης και εντόπισαν 13.310 αποτελέσματα αριθμητικής ανάλυσης, δημιουργώντας ένα μοντέλο για την αξιολόγηση της σταθερότητας κατά τις εκσκαφές των τούνελ. Ο Samaniego και οι συνεργάτες του [37] εξέτασαν την εφαρμογή των Βαθιά Νευρωνικών Δικτύων στην προσέγγιση λύσεων μερικών διαφορικών εξισώσεων, με τα ευρήματα να επιτυγχάνουν αποτελεσματικά την υπολογιστική διαδικασία των μεθόδων που βασίζονται σε PDE, όπως οι FEM, IGA και DEM (Μέθοδος Διακριτών Στοιχείων). [23]

5.2.3 Ψηφιακά Δίδυμα που χρησιμοποιούν Τεχνητή Νοημοσύνη στην Βιομηχανία 4.0

Τα Ψηφιακά Δίδυμα έχουν προσθέσει εντυπωσιακή δυναμική και έχουν συμβάλλει στη βιομηχανική και οικονομική ανάπτυξη, δηλαδή, στην παραγωγικότητα, τη διαθεσιμότητα και την ποιότητα των κατασκευών, ενώ συνεχώς αναβαθμίζουν βιώσιμες πτυχές, όπως τη μείωση εκπομπών άνθρακα και κατανάλωσης πόρων, τις 3D εκτυπώσεις και την ελαφρύτερη παραγωγή μετάλλων και πολυμερών, καθώς και βελτιωμένες συνθήκες εργασίας, συνεργασίας και καινοτομίας. Με ένα τεράστιο εύρος μηχανικών περιπτώσεων σε διάφορα πεδία, οι τεχνικές της Τεχνητής Νοημοσύνης δίνουν στα Ψηφιακά Δίδυμα εργαλεία για να δημιουργούν μοντέλα βασισμένα σε παρατηρούμενη συμπεριφορά και ιστορικά δεδομένα, τα οποία βελτιώνουν την αποτελεσματικότητα της ανάλυσης δεδομένων και αυξάνουν την ακρίβεια των προβλέψεων, ενσωματώνοντας δεδομένα από μια συλλογή ανόμοιων και ασυμβίβαστων πηγών. [38]

Οι δυνατότητες της τεχνητής νοημοσύνης που σχετίζονται με τα Ψηφιακά Δίδυμα μπορούν να χωριστούν σε τέσσερις κύριες κατηγορίες [38]:

- ❖ supervised learning
- ❖ unsupervised learning
- ❖ reinforcement learning
- ❖ other intelligent computational methods

Οι αλγόριθμοι supervised learning αναφέρονται σε μεθόδους Μηχανικής Μάθησης στις οποίες τα μοντέλα εκπαιδεύονται χρησιμοποιώντας ετικέτες. Τυπικές μέθοδοι supervised μάθησης που χρησιμοποιούνται στα Ψηφιακά Δίδυμα περιλαμβάνουν Support Vector Machine, Δέντρα Απόφασης, k-nearest neighbors, Συνελκτικά Νευρωνικά Δίκτυα (CNN) και Επαναλαμβανόμενα Νευρωνικά Δίκτυα. Στην πράξη όμως, η επισήμανση δεδομένων μπορεί να είναι μια δαπανηρή εργασία. Οι περισσότεροι αλγόριθμοι supervised μάθησης απαιτούν μεγάλο όγκο δεδομένων στο στάδιο της εκπαίδευσης για την απόκτηση ενός μοντέλου με υψηλή ακρίβεια πρόβλεψης. Γενικά, όσο πιο πολύπλοκη είναι η αρχιτεκτονική, τόσο περισσότερα δεδομένα απαιτούνται για την παραγωγή

εφικτών αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα των αλγορίθμων supervised μάθησης εξαρτώνται επίσης από την επιλογή των διανυσμάτων και την ακρίβεια της επισήμανσης.

Στις μεθόδους unsupervised μάθησης, δεν απαιτείται επισήμανση δεδομένων και το μοντέλο αναμένεται να εξάγει πρότυπα από τα μη επισημασμένα δεδομένα εισόδου. Αλγόριθμοι clustering, όπως η ανάλυση των κύριων συνιστωσών (PCA), οι μέθοδοι k-means και γενετικά μοντέλα που χρησιμοποιούν παραγωγικά ανταγωνιστικά δίκτυα (GAN) και τους παραλληλομορφικούς αυτοκωδικοποιητές (VAE), εντάσσονται στην κατηγορία unsupervised μάθησης. Ένα από τα προβλήματα στην εφαρμογή μεθόδων unsupervised learning είναι ότι ο αριθμός των clusters, συνήθως, δεν είναι γνωστός εκ των προτέρων. Για τους αλγορίθμους clustering, τα clusters καθορίζονται από τη μετρική που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ομοιότητας. Οι αλγόριθμοι reinforcement μάθησης ασχολούνται με το πώς πρέπει να λαμβάνουν δράσεις έξυπνοι παράγοντες σε ένα περιβάλλον, προκειμένου να μεγιστοποιήσουν την έννοια της συσσωρευτικής ανταμοιβής. Οι ερευνητές έχουν εφαρμόσει αλγόριθμους reinforcement μάθησης, συμπεριλαμβανομένων του Q-learning, deep reinforcement μάθησης και deep deterministic policy gradient, για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων για τα Ψηφιακά Δίδυμα. Η απόδοση ενός συστήματος ενίσχυσης μάθησης εξαρτάται γενικά, σε μεγάλο βαθμό, από τη σωστή καταγραφή των δεδομένων. Η καταγραφή σε λανθασμένες αναφορές ενδέχεται να καταστρέψει τις πληροφορίες και να οδηγήσει σε προβλήματα στο σύνολο του συστήματος κατά την εκπαίδευσή του. [38]

Στον τομέα της Βιομηχανίας, η αξιοπιστία των Ψηφιακών Διδύμων που χρησιμοποιούν τεχνητή νοημοσύνη εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη λεπτομέρεια του μοντέλου, την πολυπλοκότητα του περιβάλλοντος και την ποιότητα του συνόλου των δεδομένων.

Οι παραδοσιακές βιομηχανικές τεχνολογίες που επιδιώκουν τη μέγιστη κερδοφορία έχουν αλλάξει την ανθρώπινη κοινωνία, ενώ προκαλούν σημαντικές - και σε μεγάλο βαθμό αναστρέψιμες - αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και το κλίμα. Οι στρατηγικές για τη βιώσιμη ανάπτυξη μπαίνουν

στο επίκεντρο, αλλά ακόμα έχουν πολύ δρόμο μπροστά τους. Για την Βιομηχανία 4.0, η οποία αντιμετωπίζει νέες προκλήσεις από τα κλιματικά ουδέτερα προϊόντα και την παραγωγή, τα Ψηφιακά Δίδυμα που κινούνται από την Τεχνητή Νοημοσύνη αναμένεται να παρέχουν την πρόσθετη κατασκευαστική δυνατότητα σε πραγματικό χρόνο.[38]

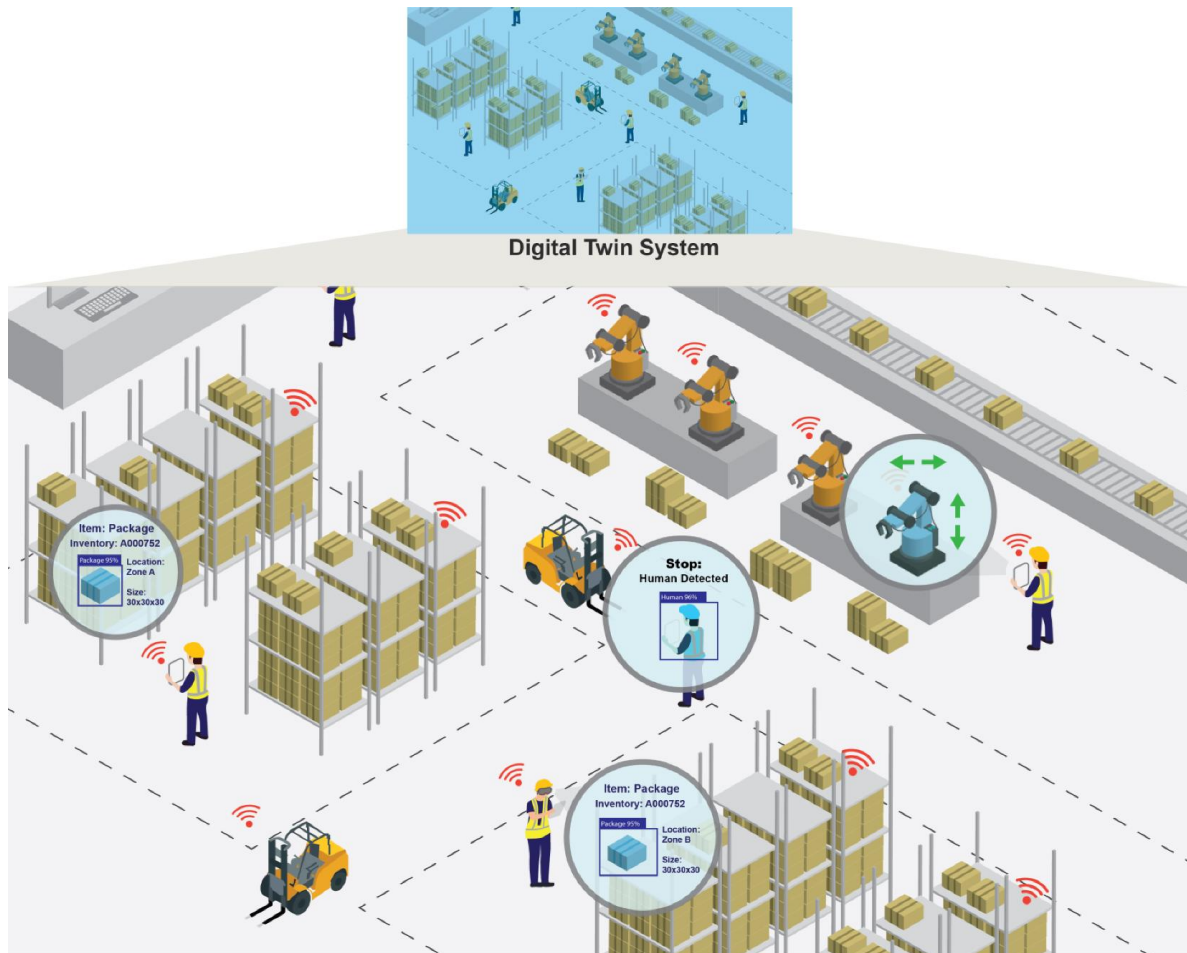
Οι τεχνολογίες Επαυξημένης Πραγματικότητας (AR) και Μεικτής Πραγματικότητας (MR) μπορούν να εφαρμοστούν σε εγκαταστάσεις κατασκευής και αποθήκευσης, για εφαρμογές αναγνώρισης αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο. Η ολοκλήρωση των τεχνολογιών MR και Τεχνητής Νοημοσύνης επιτρέπει την πραγματική αναγνώριση αντικειμένων και την αλληλεπίδραση με μηχανές και συσκευές IoT στην Βιομηχανία 4.0. Επιπλέον, η ολοκλήρωση των τεχνολογιών MR και Τεχνητής Νοημοσύνης είναι βασικές για την επίτευξη αυτόματης ανίχνευσης αντικειμένων και αλληλεπίδρασης ανθρώπου-μηχανής σε πραγματικό χρόνο. Αυτές οι τεχνολογίες μπορούν να εφαρμοστούν σε βιομηχανικές αποθήκες και απαιτούν την ενσωμάτωση των τεχνολογιών IoT. Αυτό όχι μόνο αυξάνει την αποτελεσματικότητα τοποθέτησης και εύρεσης συγκεκριμένων αντικειμένων, αλλά βελτιώνει επίσης την συνολική διαχείριση των αντικειμένων στην αποθήκη.

Για να οπτικοποιήσουμε την αρχιτεκτονική του Ψηφιακού Διδύμου με την ενσωμάτωση της Μικτής Πραγματικότητας (MR) και της Τεχνητής Νοημοσύνης (AI) στο Logistics 4.0, παρουσιάζουμε το σενάριο περίπτωσης στην έξυπνη αποθήκη. Στη συνέχεια, εικονογραφείται η αρχιτεκτονική για την επίτευξη αναγνώρισης αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο στο δίκτυο Ψηφιακών Διδύμων που υποστηρίζεται από τη συσκευή Επαυξημένης Πραγματικότητας και τον αλγόριθμο Τεχνητής Νοημοσύνης.

Στο σενάριο μιας έξυπνης αποθήκης στο Logistics 4.0 έχουμε διάφορες μηχανές, συσκευές και περιοχές. Μια έξυπνη αποθήκη αποτελείται από περιοχές φόρτωσης και εκφόρτωσης, περιοχές προετοιμασίας παραγγελιών, περιοχές αποθήκευσης και περιοχές αποστολών. Το Ψηφιακό Δίδυμό της περιλαμβάνει την αλληλοσύνδεση φυσικών συσκευών, μηχανημάτων,

εξοπλισμού και αισθητήρων, όπως αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, συστημάτων αποφυγής σύγκρουσης και άλλων, μέσω ενός δικτύου IoT. Οι έξυπνες αποθήκες διαθέτουν υπολογιστικά συστήματα στο Cloud, συστήματα αναγνώρισης ραδιοσυχνοτήτων (RFID) ή barcode, βιομηχανικούς ρομποτικούς βραχίονες και ασύρματα οχήματα (UAVs). Οι cloud servers και οι συσκευές Επαυξημένης Πραγματικότητας μεταφέρουν τις πληροφορίες χρησιμοποιώντας ένα μηχανισμό επικοινωνίας (WAN), που περιλαμβάνει τυπικά δίκτυα επικοινωνίας IoT, όπως ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN) και κινητά ασύρματα δίκτυα (5G).

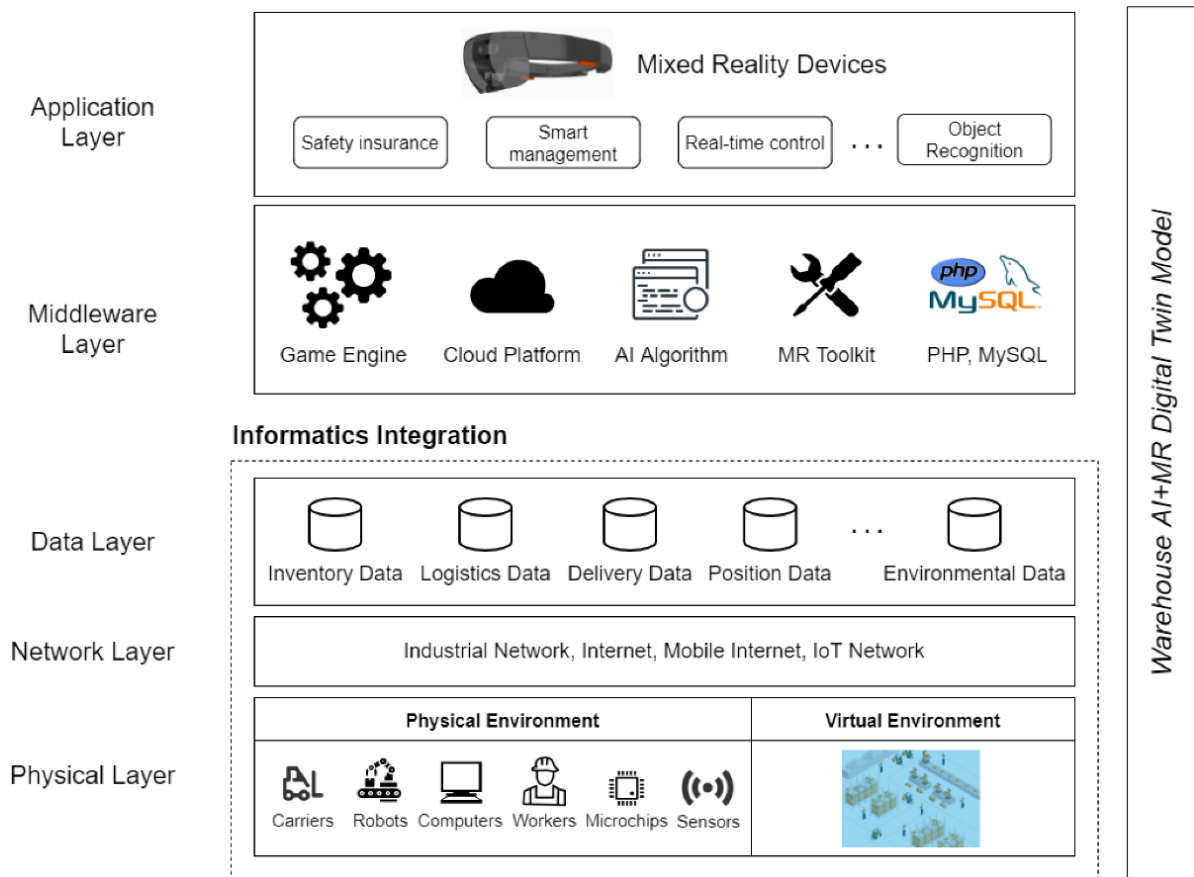
Στο Ψηφιακό Δίδυμο μιας έξυπνης αποθήκης, οι φυσικές συσκευές, μηχανήματα, εξοπλισμός και αισθητήρες είναι διασυνδεδεμένοι μέσω του δικτύου IoT. Οι συσκευές είναι συνδεδεμένες με τεχνολογίες cloud computing και ενσωματωμένες με το σύστημα AI. Για την επίτευξη της ψηφιακής δημιουργίας του αποθηκευτικού χώρου, το φυσικό σχέδιο και ο εξοπλισμός αντιγράφονται στο ψηφιακό χώρο. Τα φυσικά δεδομένα συλλέγονται και μεταδίδονται στο ψηφιακό αντίγραφο, το οποίο αντιγράφει τη δυναμική κατάσταση και τις πραγματικές αλλαγές σε πραγματικό χρόνο. Με αυτό τον τρόπο ο ψηφιακός χώρος μπορεί να αναλύει, να βελτιστοποιεί και να παρέχει ανατροφοδότηση για τις λειτουργίες της έξυπνης αποθήκης, όπως η διάταξη, η παραλαβή και η τοποθέτηση αγαθών στο ψηφιακό δίκτυο. Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται ένα τέτοιο μοντέλο μιας έξυπνης αποθήκης. [39]



Εικόνα 5.3: Μοντέλο βιομηχανικής ενσωμάτωσης τεχνολογιών Τεχνητής Νοημοσύνης (AI) και Τεχνολογιών Μικτής Πραγματικότητας (MR) για δημιουργία Ψηφιακού Διδύμου έξυπνης αποθήκης [39]

Το Ψηφιακό Δίδυμο μιας έξυπνης αποθήκης με εφαρμογές Τεχνητής Νοημοσύνης (AI) και Μικτής Πραγματικότητας (MR) διαιρείται σε αρκετά βασικά επίπεδα, συμπεριλαμβανομένων του φυσικού, του δικτύου των δεδομένων, του λογισμικού και της εφαρμογής. Η λεπτομερής αρχιτεκτονική του Ψηφιακού Διδύμου έξυπνης αποθήκης που ανιχνεύει αντικείμενα με εφαρμογές AI και MR απεικονίζεται στην Εικόνα 5.4.

Ψηφιακά Δίδυμα: Πως η Τεχνητή Νοημοσύνη βελτιστοποιεί τον Ψηφιακό Κόσμο



Εικόνα 5.4: Αρχιτεκτονική της ανίχνευσης αντικειμένων μέσω Μικτής Πραγματικότητας (MR) και Τεχνητής Νοημοσύνης (AI) στο Ψηφιακό Δίδυμο (DT) [39]

Στο κάτω μέρος της αρχιτεκτονικής βρίσκεται το φυσικό επίπεδο, το οποίο αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό μηχανημάτων και συσκευών IoT, όπως περνοφόρα, ρομπότ και αισθητήρες. Το εικονικό περιβάλλον στο ίδιο επίπεδο αντιγράφει τη φυσική διάταξη και το φυσικό περιβάλλον για να δημιουργήσει το Ψηφιακό Δίδυμο της έξυπνης αποθήκης στην Βιομηχανία 4.0. Η πληροφορία από το φυσικό επίπεδο ενσωματώνεται στις βάσεις δεδομένων στο επίπεδο δεδομένων. Το επίπεδο δικτύου αποτελείται συνήθως από δίκτυα IoT, βιομηχανικά ή δίκτυα 5G, ώστε να μπορούν να συνδεθούν πολλά φυσικά μηχανήματα και η πληροφορία να ενσωματωθεί. Το επίπεδο δεδομένων αποτελείται από αρκετές βάσεις δεδομένων που είναι ουσιώδεις σε ένα αποθηκευτικό χώρο. Εκτός από τα δεδομένα αποθήκευσης, υγρασίας ή άλλων αισθητήρων IoT, αποθηκεύονται επίσης τα περιβαλλοντικά στοιχεία

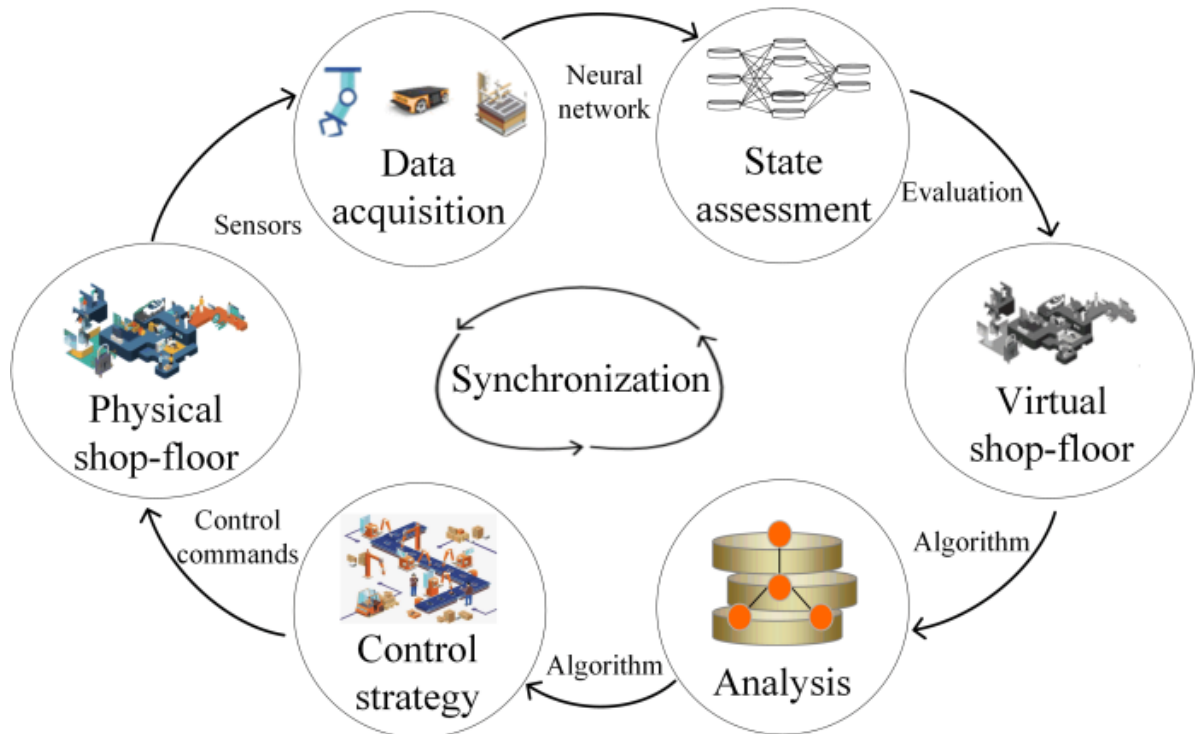
και πακέτα πληροφοριών για να ενισχυθεί ο αλγόριθμος αναγνώρισης αντικειμένων της Τεχνητής Νοημοσύνης. Το επίπεδο δεδομένων είναι επίσης συνδεδεμένο με το εικονικό περιβάλλον για τη δημιουργία της ψηφιακής αντιστοίχισης, ως γέφυρας με το φυσικό επίπεδο. Αυτό ενεργοποιεί τις δυνατότητες των δεδομένων προς ανταλλαγή, προσομοίωση, ανάλυση και βελτιστοποίηση στο ψηφιακό περιβάλλον, προκειμένου να επιβεβαιωθεί η ακρίβεια των πληροφοριών, με τα αποτελέσματα πρόβλεψης της Τεχνητής Νοημοσύνης να παρέχονται στο ενδιάμεσο επίπεδο της αρχιτεκτονικής.

Το ενδιάμεσο επίπεδο διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ενσωμάτωση των δεδομένων, του δικτύου και του φυσικού επιπέδου στο επίπεδο εφαρμογής της Μικτής Πραγματικότητας. Η πλατφόρμα Cloud παρέχει υπολογιστική ισχύ για τον αλγόριθμο της Τεχνητής Νοημοσύνης, ώστε να γίνει η ανάλυση και η πρόβλεψη για τη διαχείριση κινδύνου.

Στην κορυφή της αρχιτεκτονικής βρίσκεται το επίπεδο εφαρμογής. Η εφαρμογή ανίχνευσης αντικειμένων σε αυτό το επίπεδο αναπτύχθηκε για να βοηθήσει τους χειριστές να αποκτήσουν πληροφορίες σε ένα μέρος με πολλά διαφορετικά αντικείμενα, όπως μια αποθήκη. Η Μικτή Πραγματικότητα προσφέρει στους χρήστες εμπειρίες όχι μόνο στην οπτικοποίηση πληροφοριών, αλλά επιτρέπει επίσης την αλληλεπίδραση με αντικείμενα και την εισαγωγή εντολών στη συσκευή. Στην ενσωματωμένη συσκευή Μικτής Πραγματικότητας και Τεχνητής Νοημοσύνης, οι χρήστες μπορούν να επικεντρωθούν σε ένα αντικείμενο και στη συνέχεια να το ανιχνεύσουν μέσω εντολών ή αυτόματης αναγνώρισης. Στη συνέχεια, η συσκευή Μικτής Πραγματικότητας θα καταγράψει τις απαραίτητες εικόνες. [39]

Η αλληλεπίδραση της γραμμής παραγωγής στα Ψηφιακά Δίδυμα εξασφαλίζει την ανταλλαγή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο μεταξύ των φυσικών και εικονικών χώρων. Περιλαμβάνει ροή δεδομένων δύο κατευθύνσεων, δηλαδή τη διαδικασία αντίληψης και τη διαδικασία ελέγχου. Ο μηχανισμός αλληλεπίδρασης του ενισχυμένου με Τεχνητή Νοημοσύνη Ψηφιακού Διδύμου φαίνεται στην Εικόνα 5.5 που ακολουθεί. Βασικό στοιχείο στην Τεχνητή Νοημοσύνη, το Ψηφιακό Δίδυμο μπορεί να αξιολογήσει την

συνολική κατάσταση του φυσικού εργοστασίου και να επιτύχει τον ακριβή έλεγχο. Επίσης, το ενισχυμένο με τεχνητή νοημοσύνη Ψηφιακό Δίδυμο μπορεί να προτείνει έναν αποτελεσματικό, νέο τρόπο επίλυσης του προβλήματος που προκαλείται από την καθυστέρηση του χρόνου, εξασφαλίζοντας έτσι συνέπεια.[40]



Εικόνα 5.5: Δομή της ενισχυμένης με Τεχνητή Νοημοσύνη αλληλεπίδραση στα Ψηφιακά Δίδυμα στην γραμμή παραγωγής[40]

5.2.4 Ο ρόλος της Τεχνητής Νοημοσύνης στην ανάπτυξη Ψηφιακών Διδύμων στην Υγειονομική Περίθαλψη

Οι πρόσφατες εξελίξεις στα Ψηφιακά Δίδυμα οφείλονται σε μεγάλο βαθμό στην πρόοδο στους τομείς του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), της Τεχνητής Νοημοσύνης (AI), της Επαυξημένης/Εικονικής Πραγματικότητας (AR/VR), του Υπολογιστικού Νέφους (CC) και των τεχνολογιών Ψηφιακής Υγείας. Αυτοί οι τομείς αποτελούν τα κύρια πεδία για τη μελλοντική έρευνα και ανάπτυξη των Ψηφιακών Διδύμων, ειδικά στον τομέα της υγείας. Υπάρχουν συγκεκριμένες πτυχές της Τεχνητής Νοημοσύνης που είναι

κρίσιμες για την επιτυχία ανάπτυξης και αναπροσαρμογής των Ψηφιακών Διδύμων στον τομέα της υγείας.

Ένα Ψηφιακό Δίδυμο σε συνδυασμό με την Τεχνητή Νοημοσύνη μπορεί να δώσει προσωπικές συστάσεις για κάθε άτομο. Ο Bjornsson και οι συνεργάτες του [41] ανέπτυξαν μια λύση χρησιμοποιώντας Ψηφιακά Δίδυμα στην προσωποποιημένη ιατρική για να βρουν το βέλτιστο φάρμακο για τον ασθενή. Ο Angulo και συνεργάτες του [42] έχουν προτείνει τη χρήση Ψηφιακών Διδύμων για την παρακολούθηση της συμπεριφοράς της νόσου σε ασθενείς που πάσχουν από καρκίνο του πνεύμονα για να βοηθήσουν στη δημιουργία προσωποποιημένων συστάσεων. Η χρήση ενός Ψηφιακού Διδύμου, σε συνδυασμό με την Τεχνητή Νοημοσύνη προσφέρει την ευκαιρία να αναπτυχθούν ατομικές, αλλά παράλληλα ακριβείς συστάσεις που ταιριάζουν καλύτερα στην πραγματική κατάσταση του ασθενή, οι οποίες μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν από το ιατρικό προσωπικό, ώστε να λάβει μια πιο ακριβή και αποτελεσματική απόφαση.

Έτσι, η ανάγκη για λήψη αποφάσεων βασιζόμενη σε δεδομένα ασθενών απαιτεί την καταγραφή και αξιολόγηση πολλών μορφών δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων προσωπικών δεδομένων (πιθανώς συμπεριλαμβανομένων δεδομένων για τα γονίδια) για να βοηθήσουν στην καλύτερη κατανόηση της πληροφορίας για το συγκεκριμένο άτομο. Επιπλέον, αυτές οι αποφάσεις πρέπει να ληφθούν στο σύντομο χρονικό πλαίσιο της τυπικής συνεδρίας ασθενή-ιατρού. Το Ψηφιακό Δίδυμο, σε συνδυασμό με την Τεχνητή Νοημοσύνη, μπορεί να βοηθήσει σε αυτό το πλαίσιο καθώς μπορεί να επιτρέψει την πραγματοποίηση προσομοίωσης σε πραγματικό χρόνο για την αναγνώριση της καλύτερης θεραπευτικής πορείας για τον συγκεκριμένο ασθενή, βασισμένη σε προκαθορισμένους παράγοντες, που βασίζονται σε ιατρικά δεδομένα. Οι μέθοδοι και οι τεχνολογίες της Τεχνητής Νοημοσύνης έχουν καταστήσει τις μηχανές ικανές να λαμβάνουν αποφάσεις με σκέψη παρόμοια με αυτή των ανθρώπων. Το Ψηφιακό Δίδυμο μπορεί να εκμεταλλευτεί τα οφέλη της Τεχνητής Νοημοσύνης, ενώ ταυτόχρονα αναπτύσσει μια ψηφιακή αντιγραφή του ασθενή για να πραγματοποιήσει προσομοίωση σεναρίων, προκειμένου να διευκολύνει τον ιατρό στον προσδιορισμό της βέλτιστης θεραπείας.

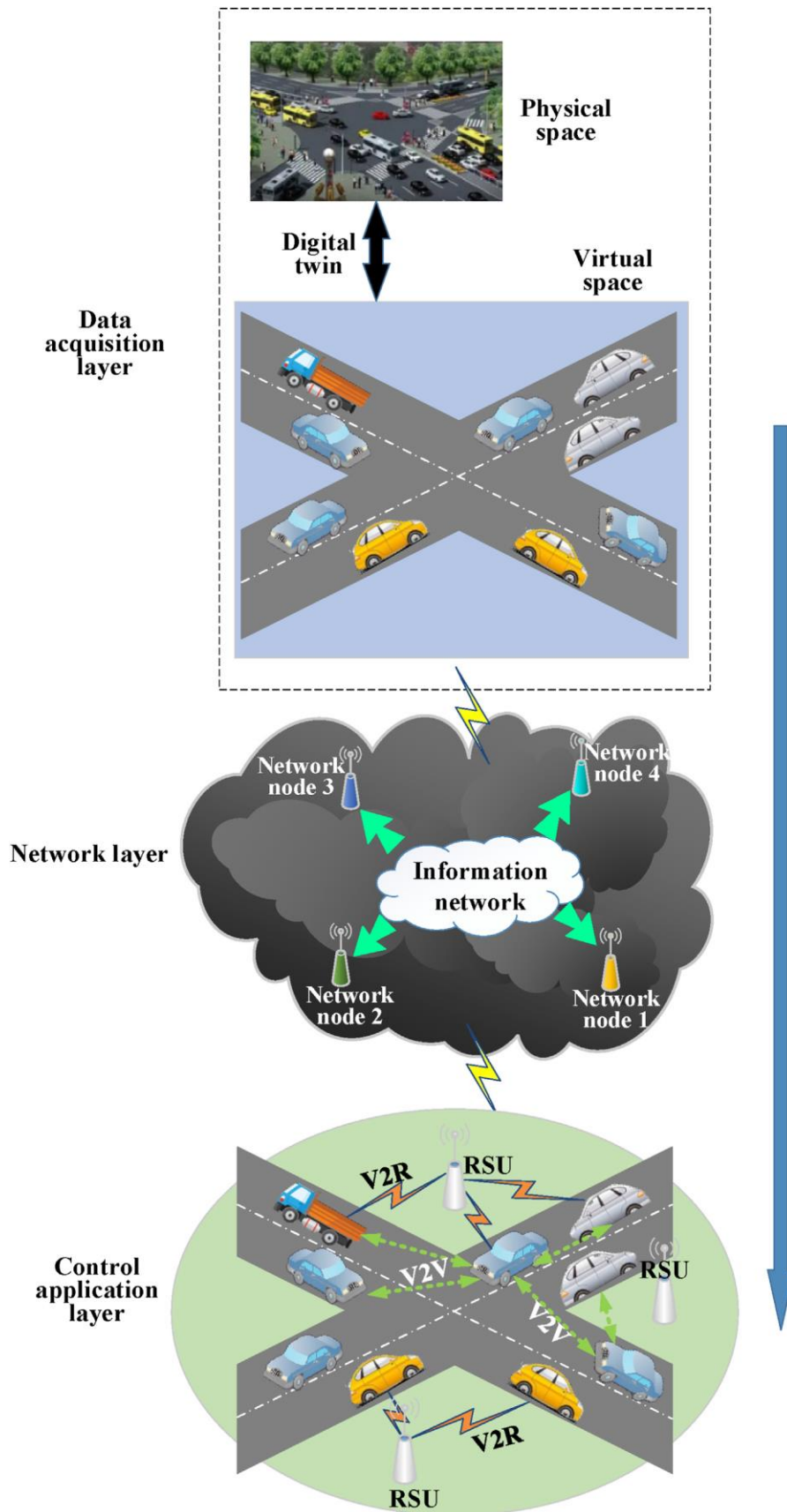
Η ευρύτερη υιοθέτηση τεχνολογίας βασισμένης σε Τεχνητή Νοημοσύνη και ο αυξημένος όγκος πραγματικών δεδομένων που καταγράφονται από πολλές πηγές, όπως συσκευές IoT, αισθητήρες και άλλες μετρητικές συσκευές, έχουν συμβάλει στην ανάπτυξη μοντέλων βασισμένων σε δεδομένα που μπορούν να βελτιώσουν την λήψη αποφάσεων. Τέτοια μοντέλα βασισμένα σε δεδομένα σε συνδυασμό με την Τεχνητή Νοημοσύνη μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη Ψηφιακών Διδύμων για την υγεία, ειδικότερα για την αντιμετώπιση ασθενών με όγκο. Επίσης έχει ήδη αποδειχθεί ότι οι αλγόριθμοι Τεχνητής Νοημοσύνης παρέχουν βοήθεια στους ογκολόγους, όσον αφορά την υποστήριξη αποφάσεων. Χρήσιμες τεχνικές Τεχνητής Νοημοσύνης περιλαμβάνουν μαθηματικά μοντέλα, στατιστικά πρότυπα, αλγόριθμους Μηχανικής Μάθησης και βαθιάς Μηχανικής Μάθησης και χρησιμοποιούνται εκτενώς για τον εντοπισμό τάσεων και τη δημιουργία πρωτοτύπων. Στην περίπτωση της ογκολογικής φροντίδας, ο εντοπισμός τέτοιων προτύπων προσφέρει τη δυνατότητα επιτάχυνσης των εξελίξεων στην ανακάλυψη φαρμάκων για την εξατομικευμένη διαχείριση του καρκίνου. Τέλος, υπάρχουν περισσότεροι από 64 αλγόριθμοι και ιατρικές συσκευές που κινούνται από την Τεχνητή Νοημοσύνη και έχουν εγκριθεί από τον Οργανισμό Τροφίμων και Φαρμάκων (FDA) των ΗΠΑ και χρησιμοποιούνται κλινικά σήμερα.

Ένα Ψηφιακό Δίδυμο σε συνδυασμό με την Τεχνητή Νοημοσύνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υποστηρίξει την ταχύτερη και πιο ακριβή κλινική λήψη αποφάσεων, καθώς παρέχει τη δυνατότητα σημαντικής προσομοίωσης σεναρίων.[43]

5.2.5 Ψηφιακά Δίδυμα ενισχυμένα από Τεχνητή Νοημοσύνη για την εκπαίδευση αυτόνομων αυτοκινήτων

Η ραγδαία ανάπτυξη της επιστήμης και της τεχνολογίας, όπως η Τεχνητή Νοημοσύνη (AI), το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) και τα μεγάλα δεδομένα, έχουν ενισχύσει περαιτέρω την έξυπνη ανάπτυξη των μεταφορών. Βλέποντας και τα προβλήματα που υπάρχουν, όπως οι κυκλοφοριακές συμφορήσεις και η συμφόρηση των δρόμων κατά τη διαδικασία κατασκευής έξυπνων πόλεων, η πρόβλεψη των συνθηκών οδήγησης οχημάτων μπορεί να ενισχύσει όχι μόνο την αποτελεσματικότητα οδήγησης των ανθρώπων, αλλά

και να διασφαλίσει την ασφάλεια της ζωής και της περιουσίας τους. Επομένως, είναι εξαιρετικά ζωτικό να αποτραπεί η επιδείνωση των κυκλοφοριακών συμφορήσεων στις έξυπνες πόλεις, να βελτιωθεί η αποτελεσματικότητα των ταξιδιών και να δημιουργηθούν έξυπνα ταξίδια. Παράλληλα, κατά τη διαδικασία μετάδοσης και επικοινωνίας πληροφοριών οχημάτων, η πιθανότητα διαρροής απορρήτων δεδομένων του οχήματος αυξάνεται. Εάν η ταυτότητα του οχήματος διαρρεύσει, ο επιτιθέμενος στο Διαδίκτυο των Οχημάτων θα έχει πρόσβαση στις προσωπικές πληροφορίες του ιδιοκτήτη, όπως η οικογενειακή κατάσταση του ατόμου και ο αριθμός ταυτότητας. Επομένως, είναι εξαιρετικά σημαντικό να υλοποιηθεί με άμυνα ασφαλείας για το δίκτυο Vehicular Ad Hoc (VANET) στο σύστημα Διαδικτύου των Οχημάτων όταν υπάρχει κοινοποίηση πληροφοριών κυκλοφορίας μέσω του VANET. Η Εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική συλλογής πληροφοριών, μετάδοσης και εφαρμογής χρησιμοποιώντας την τεχνολογία των Ψηφιακών Διδύμων στο σύστημα Διαδικτύου των Οχημάτων. [44]

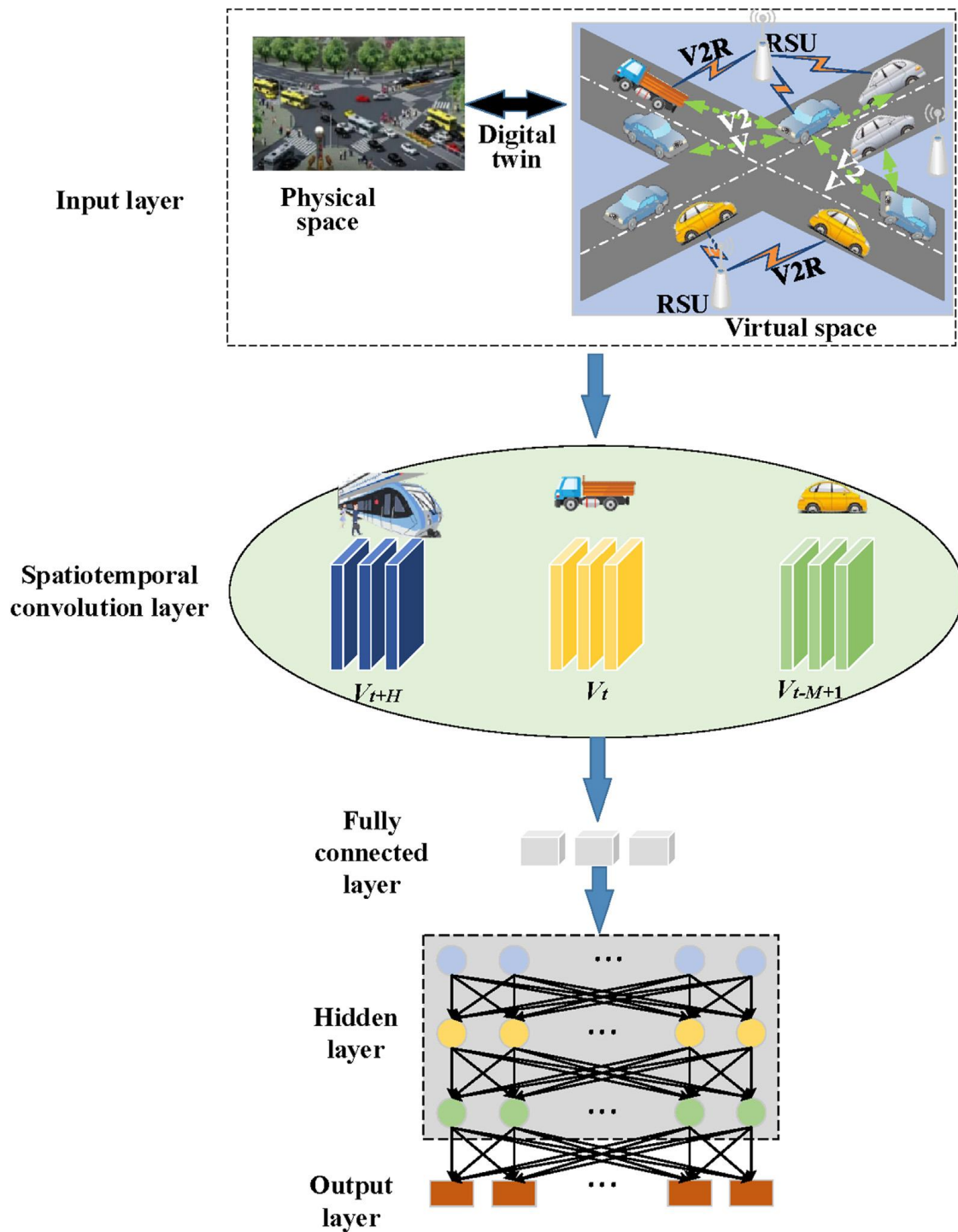


Εικόνα 5.6: Αρχιτεκτονική ασφαλούς λειτουργίας για αυτόνομα αυτοκίνητα βασισμένη σε Διψήφια Δίδυμα [44]

Όπως παρατηρούμε, στην αρχιτεκτονική των Ψηφιακών Διδύμων για αυτόνομα αυτοκίνητα, το πρώτο στρώμα δεδομένων απεικονίζει τη ροή κυκλοφορίας από τον πραγματικό χώρο στο εικονικό χώρο και στη συνέχεια συλλέγει τα δεδομένα οδήγησης των αυτόνομων αυτοκινήτων κατά την κυκλοφορία τους. Στη συνέχεια, το στρώμα του δικτύου μεταδίδει τα δεδομένα που συλλέχθηκαν στο Σύστημα Έξυπνων Μεταφορών (ITS) μέσω του VANET. Επιπλέον, το στρώμα εφαρμογής μεταδίδει τα αναλυμένα δεδομένα στο VANET για την επίτευξη της ασφαλούς λειτουργίας των αυτόνομων αυτοκινήτων.

Σε αυτήν την αρχιτεκτονική, για τη διασφάλιση της ασφάλειας των πληροφοριών και της ασφάλειας της κυκλοφορίας των αυτόνομων αυτοκινήτων, ο αλγόριθμος Βαθιάς Μάθησης εισάγεται στην έξυπνη οδήγηση των αυτόνομων αυτοκινήτων για την ακριβή πρόβλεψη της κατάστασης οδήγησης και για να διασφαλίσει την ασφάλεια του Συστήματος Έξυπνων Μεταφορών.

Για να έχουμε ως αποτέλεσμα την ασφαλή οδήγηση των αυτόνομων αυτοκινήτων στις έξυπνες μεταφορές, αναλύεται ο προγραμματισμός της εξισορρόπηση του φόρτου των πόρων μετάδοσης δεδομένων, έτσι ώστε να διασφαλιστεί η ασφάλεια μετάδοσης πληροφοριών των οχημάτων. Στη συνέχεια, εφαρμόζεται αλγόριθμος Βαθιάς Μάθησης για να προβλεφθεί η κυκλοφοριακή ασφάλεια των αυτόνομων αυτοκινήτων και χρησιμοποιείται η τεχνολογία των Ψηφιακών Διδύμων ώστε να αντιστοιχηθεί το περίπλοκο περιβάλλον του δικτύου κυκλοφορίας των πραγματικών καταστάσεων, για ανάλυση στο εικονικό χώρο. Η Εικόνα 5.7 δείχνει το μοντέλο πρόβλεψης Ψηφιακών Διδύμων των αυτόνομων αυτοκινήτων βασισμένο στην εξισορρόπηση φόρτου, σε συνδυασμό με STGCN (Spatial Temporal Graph Convolutional Network), μια τεχνική για ένα είδος Νευρωνικού Δικτύου που χρησιμοποιείται ειδικά για ανάλυση χωροχρονικών δεδομένων που έχουν δομή γράφου. [44]



Εικόνα 5.7: Διαδικασία του μοντέλου πρόβλεψης Ψηφιακού Διδύμου για αυτόνομα αυτοκίνητα, βασισμένο στην εξισορρόπηση φόρτου, σε συνδυασμό με το STGCN [44]

Μέσω της ανάλυσης απόδοσης των πειραμάτων προσομοίωσης, η ακρίβεια πρόβλεψης του οδικού δικτύου αυτού του μοντέλου φτάνει το 92,70%. Επιπλέον, η απόδοση ασφάλειας της μετάδοσης δεδομένων στο

δίκτυο είναι εξαιρετική, και ο ρυθμός παράδοσης μηνυμάτων δεδομένων είναι σταθερός στο 80%, πράγμα που μπορεί να παρέχει πειραματική αναφορά για την βελτίωση της νοημοσύνης και της ασφάλειας των αυτόνομων αυτοκινήτων στον τομέα της κυκλοφορίας. [44]

5.2.6 Ψηφιακό Δίδυμο βασισμένο σε Τεχνητή Νοημοσύνη στον τομέα της συντήρησης, επισκευής και ανακατασκευής (MRO) Συστήματος Αεροσκάφους

Τα Ψηφιακά Δίδυμα θεωρούνται αυτή τη στιγμή ως μια υποσχόμενη και νέα προσέγγιση για την αντιμετώπιση του προβλήματος της απρόβλεπτης βλάβης στη λειτουργία των αεροσκαφών και των οργανισμών συντήρησης, επισκευής και ανακατασκευής (Maintenance, Repair and Overhaul), το οποίο συχνά οδηγεί σε λειτουργικές διακοπές και απρόβλεπτες δαπάνες. Το χρησιμοποιούμενο μοντέλο Ψηφιακού Διδύμου θεωρείται ως μια λεπτομερής ψηφιακή αναπαράσταση των φυσικών στοιχείων ενός συστήματος αεροσκάφους, όπου με τη χρήση δεδομένων από διάφορες πηγές, όπως δεδομένα αισθητήρων πραγματικού χρόνου και ιστορικά δεδομένα συντήρησης, δημιουργείται μια συνδυασμένη προσέγγιση που μπορεί να περιγράψει, να βελτιστοποιήσει και να προβλέψει τη συμπεριφορά που θα έχει η απόδοση και το Υπόλοιπο Χρήσιμο Ζωής του συστήματος.

Συστήματα, όπως το Σύστημα Ελέγχου Περιβάλλοντος (ECS), το Σύστημα Ψύξης Ηλεκτρονικών Συσκευών (PECS) ή ακόμα και οι κινητήρες του αεροσκάφους, συνήθως εξοπλίζονται με τους απαραίτητους τύπους αισθητήρων για να διατηρούν σταθερή τη λειτουργία τους καθ' όλη τη διάρκεια χρήσης τους. Η μέθοδος Τεχνητής Νοημοσύνης που χρησιμοποιείται στο συγκεκριμένο Ψηφιακό Δίδυμο είναι η Μηχανική Μάθηση, διότι η εμπειρία έχει δείξει ότι αλγόριθμοι όπως το Τυχαίο Δάσος, που προέρχονται από συμβατικά Δέντρα Απόφασης και Δέντρα Σφαλμάτων, έχουν συνάφεια με τις συνήθειες πρακτικές και την μηχανική λογική που χρησιμοποιείται στην ανίχνευση βλαβών. Αυτό το γεγονός τους καθιστά πιο ελκυστικούς για εταιρείες μηχανικών με μακρά ιστορία στην αεροναυτική MRO. Επίσης άλλες μέθοδοι όπως η Βαθιά Μάθηση μπορούν να δημιουργήσουν μειωμένη εμπιστοσύνη καθώς και θέματα πιστοποίησης.

Επιλέγουμε ως εξεταζόμενη περίπτωση ένα Σύστημα Ψύξης Ηλεκτρονικών Συσκευών (PECS) ενός σύγχρονου αεροσκάφους. Τοποθετούμε αισθητήρες σε συγκεκριμένα μέρη του συστήματος, τα οποία στη συνέχεια μπορούν να τροφοδοτήσουν το Ψηφιακό Δίδυμο που βασίζεται στην Τεχνητή Νοημοσύνη με εισαγωγικές παραμέτρους. Επίσης, επιλέχθηκε να μην ληφθούν υπόψη οι ρυθμοί αποτυχίας των εξαρτημάτων κατά την ανάπτυξη του συγκεκριμένου σχεδίου, αλλά να αναπτυχθούν ομοιόμορφα οι δυνατότητες της μεθόδου. Το σύστημα που βασίζεται σε Τεχνητή Νοημοσύνη καθορίζει εάν το PECS λειτουργεί σωστά, έχοντας στόχο την ταυτόχρονη βελτίωση της απόδοσης του συστήματος και τη μεγιστοποίηση του Υπόλοιπου Χρήσιμου Ζωής (URL). Η προσέγγιση Τεχνητής Νοημοσύνης – Ψηφιακού Διδύμου βασίζεται τόσο σε δεδομένα όσο και σε μοντέλα που βασίζονται στη φυσική, ένας συνδυασμός που μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη αξιοπιστία. Έτσι οι βελτιωμένες δυνατότητες της μεθόδου πρόβλεψης μας οδηγούν στη βελτιστοποίηση των διαδικασιών συντήρησης και συνεπώς σε μειωμένες λειτουργικές δαπάνες.

Τα δεδομένα εξόδου μπορούν να επεξεργαστούν με δύο διαφορετικούς τρόπους: Πρώτον, με την εκπαίδευση μιας Τεχνητής Νοημοσύνης, ενός μοντέλου που βασίζεται σε δεδομένα, όπως ένα Τυχαίο Δάσος. Ένα τέτοιο μοντέλο έχει τη δυνατότητα να χαρτογραφήσει το φυσιολογικό εύρος λειτουργίας του συστήματος και να αναγνωρίσει ανωμαλίες, σε περίπτωση που υπάρχει κάποιο είδος βλάβης. Επιπλέον, μπορεί να αναγνωρίσει την αλλοίωση μεμονωμένων στοιχείων του συστήματος και να τη συγκρίνει με την υγιή λειτουργία, προβλέποντας τελικά το υπόλοιπο χρήσιμο ζωής του εξαρτήματος. Τέλος, το γεγονός ότι υπάρχει ένας σημαντικός αριθμός αισθητήρων εγκατεστημένων μπορεί να βοηθήσει στην αναγνώριση του είδους και της τοποθεσίας μιας βλάβης. [45]

5.2.7 Ψηφιακό Δίδυμο μικροδικτύου και μοντέλα Τεχνητής Νοημοσύνης για την πρόβλεψη παραγωγής ενέργειας

Ως μέρος της στρατηγικής για τη μείωση των εκπομπών άνθρακα, το Πανεπιστήμιο του Deakin έχει δημιουργήσει το μεγαλύτερο μικροδίκτυο σε Πανεπιστήμιο της Αυστραλίας, καλύπτοντας μια μεγάλη έκταση και

διαθέτοντας περίπου 20.000 φωτοβολταϊκά πάνελ που παρέχουν 7 MW ισχύ. Η αποτελεσματική παρακολούθηση και διαχείριση του μικροδικτύου αποτελεί πρόκληση, επομένως δημιουργήθηκε ένα Ψηφιακό Δίδυμο με λειτουργίες υποστηριζόμενες από την Τεχνητή Νοημοσύνη. Κρίσιμες λειτουργίες είναι η παρακολούθηση της ενεργής παραγωγής ισχύος για την υγιή παρακολούθηση του μικροδικτύου και ένας καλός αλγόριθμος πρόβλεψης ισχύος, ο οποίος είναι απαραίτητος στην παρακολούθηση της υγείας του Ψηφιακού Διδύμου.

Για να το καταφέρουν αυτό, συνέκριναν την απόδοση συνήθως χρησιμοποιούμενων ή τελευταίας τεχνολογίας αλγορίθμων Μηχανικής Μάθησης. Η αξιολόγηση έγινε χρησιμοποιώντας δεδομένα του μικροδικτύου του Deakin και δείχνει ότι το Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο (ANN) πετυχαίνει καλύτερη ακρίβεια χρησιμοποιώντας παραδοσιακές μετρήσεις, ωστόσο η μέθοδος Τυχαίου Δάσους (RF) παρουσιάζει την καλύτερη απόδοση χρησιμοποιώντας τις νέες μετρήσεις που ονομάζονται x-percentile Closeness. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε υπολογιστική ανάλυση πολυπλοκότητας, μετρώντας τους χρόνους εκπαίδευσης και δοκιμής, η οποία αποκάλυψε ότι ο αλγόριθμος XGBoost εμφανίζει τη μεγαλύτερη υπολογιστική αποδοτικότητα τόσο σε πρόβλεψη, όσο και σε χρόνους εκπαίδευσης, πολύ κοντά ακολουθούμενος από τη μέθοδο Τυχαίου Δάσους. Για το λόγο αυτό επέλεξαν να χρησιμοποιήσουν την μέθοδο Τυχαίου Δάσους ως τον αλγόριθμο Μηχανικής Μάθησης που χρησιμοποιείται στην πρόβλεψη παραγωγής ισχύος για το Ψηφιακό Δίδυμο του μικροδικτύου του Deakin. Αυτό διότι πετυχαίνει καλή ισορροπία ανάμεσα στην πολυπλοκότητα και την απόδοση. Το συγκεκριμένο Ψηφιακό Δίδυμο παρέχει ένα πολύτιμο και μοναδικό πλαίσιο για τους ερευνητές και τους καταναλωτές να ερευνήσουν και να αναπτύξουν μελλοντικές εφαρμογές στα μικροδίκτυα. [46]

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα, Προκλήσεις και Μελλοντικές Προοπτικές

6.1 Συνοψίζοντας τα κύρια σημεία

Στην συγκεκριμένη εργασία αρχικά αναπτύχθηκαν τεχνολογικές έννοιες όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, η Βιομηχανική Επανάσταση 4.0, τα Έξυπνα κτίρια και οι Έξυπνες Πόλεις, το Υπολογιστικό Νέφος, τα Κυβερνο-φυσικά Συστήματα και η Εκτεταμένη Πραγματικότητα. Κατόπιν έγινε μια ανάλυση στα Ψηφιακά Δίδυμα, την ιστορία τους, τη βασική δομή και λειτουργία, στις διαφορές τους σχετικά με τις προσομοιώσεις και στους τομείς εφαρμογής τους. Έπειτα παρουσιάστηκε η τεχνολογία της Τεχνητής Νοημοσύνης, που μπορεί να κάνει τα Ψηφιακά Δίδυμα πιο έξυπνα και με δυνατότητες πρόβλεψης και προχωρήσαμε με την ανάλυση παραδειγμάτων και εφαρμογών Ψηφιακών Διδύμων που βελτιστοποιούνται με τη χρήση της Τεχνητής Νοημοσύνης. Τέλος μιλήσαμε για τις προκλήσεις και τις μελλοντικές προοπτικές των Ψηφιακών Διδύμων που χρησιμοποιούν την Τεχνητή Νοημοσύνη.

6.2 Συμπεράσματα

Τα Ψηφιακά Δίδυμα είναι μια τεχνολογία που ήρθε για να βελτιώσει τα υπάρχοντα συστήματα και να αλλάξει τον τρόπο με τον οποίο βλέπουμε τον κόσμο. Οι δυνατότητες που προσδίδουν σε όποιον τα χρησιμοποιεί είναι πολλές και γίνονται ακόμη περισσότερες με την εισαγωγή της Τεχνητής Νοημοσύνης. Με τη χρήση μεθόδων Μηχανικής Μάθησης, τα Ψηφιακά Δίδυμα εκτός από ανάλυση και προσομοίωση, αποκτούν νέα χαρακτηριστικά και δυνατότητες πρόβλεψης, καθώς χρησιμοποιώντας αισθητήρες και συλλέγοντας τα δεδομένα από το αντίστοιχο Φυσικό Σύστημα μπορούν να προτείνουν και να βοηθήσουν κάποιον στη λήψη απόφασης. Υπάρχει ένα ευρύ φάσμα τομέων στους οποίους μπορεί να εφαρμοστεί η τεχνολογία αυτή, από τις Κατασκευές και τη Βιομηχανία, μέχρι τις Έξυπνες Πόλεις και την Ιατρική.

6.3 Προκλήσεις που προκύπτουν από την εισαγωγή της Τεχνητής Νοημοσύνης στα Ψηφιακά Δίδυμα

Η χρήση της Τεχνητής Νοημοσύνης στα Ψηφιακά Δίδυμα δημιουργεί πολλές προκλήσεις, καθώς πρέπει να εξασφαλιστεί η ενσωμάτωσή της στους διάφορους κλάδους και στις εφαρμογές αυτών. Μεγάλη πρόκληση είναι και ο τρόπος με την οποίο θα γίνει η αποδοχή της τεχνολογίας αυτής από τον άνθρωπο, καθώς πρέπει να γίνει με διαφάνεια και εμπιστοσύνη, μετά από εκπαίδευση και εξοικείωση με τα συστήματα αυτά. Θα πρέπει να γίνει κατανοητή η λειτουργία τους και κυρίως ο σκοπός τους, ώστε να μην τίθενται ενστάσεις λόγω άγνοιας των ωφελημάτων από αυτή την τεχνολογία.

Λόγω της συνεχούς βελτίωσης και εξέλιξης των μοντέλων Τεχνητής Νοημοσύνης, χρειάζεται επίβλεψη στον τρόπο βελτίωσης των Ψηφιακών Διδύμων και προσαρμογή τους στη νέα πραγματικότητα. Αυτή η ανάπτυξή τους είναι βέβαιο ότι θα απαιτήσει και καλύτερα λογισμικά υπολογισμού, καθώς και καλύτερες υποδομές, ώστε να μπορούν να υποστηρίξουν τις αυξημένες απαιτήσεις.

Τα δεδομένα από τα Ψηφιακά Δίδυμα και τις μεθόδους Τεχνητής Νοημοσύνης θα είναι όλο και μεγαλύτερα σε όγκο, οπότε αποτελεί ιδιαίτερη πρόκληση ο τρόπος με τον οποίο θα γίνεται η συλλογή των δεδομένων, η ανταλλαγή τους και η αποθήκευσή τους, ώστε να εξασφαλίζεται η προστασία των ευαίσθητων αυτών δεδομένων και να μην μπορεί να γίνει κάποια παραβίαση ασφαλείας μέσω κάποιας κυβερνοεπίθεσης.

Τέλος, σημαντική πρόκληση, λόγω και της εκθετικής ανάπτυξης της Τεχνητής Νοημοσύνης, είναι η διατήρηση της ανθρώπινης εποπτείας και διαχείρισης αυτών των συστημάτων, ώστε να μην υπάρξει πιθανότητα απώλειας του ελέγχου από τον άνθρωπο.

6.4 Μελλοντικές προοπτικές

Με τη χρήση Τεχνητής Νοημοσύνης ένα Ψηφιακό Δίδυμο μπορεί να παρατηρεί το περιβάλλον, να καταγράφει, να μαθαίνει από τα νέα στοιχεία που συλλέγει και να προβλέπει. Με την αλματώδη ανάπτυξη της Τεχνητής Νοημοσύνης, η δυνατότητα πρόβλεψης του Ψηφιακού Διδύμου θα βελτιστοποιηθεί σε μια σειρά τομέων, όπως τις κατασκευές και τη

Ψηφιακά Δίδυμα: Πως η Τεχνητή Νοημοσύνη βελτιστοποιεί τον Ψηφιακό Κόσμο

βιομηχανία, στις έξυπνες πόλεις, στις μετακινήσεις, στην ιατρική και στον πρωτογενή τομέα. Έτσι τα Ψηφιακά Δίδυμα θα γίνουν πιο έξυπνα, θα μπορούν να διαχειριστούν μεγαλύτερα πακέτα δεδομένων με θετικά αποτελέσματα για την κοινωνία. Οι τελευταίες έρευνες δείχνουν ότι θα αυξηθούν εκθετικά οι εταιρείες που θα χρησιμοποιήσουν Ψηφιακά Δίδυμα σε τομείς της δραστηριότητάς τους.

Βιβλιογραφικές αναφορές – Πηγές από το διαδίκτυο

1. Pradyumna Gokhale, Omkar Bhat, Sagar Bhat (2018) Introduction to IOT
https://www.researchgate.net/publication/330114646_Introduction_to_IOT
2. Holdowsky J., Mahto M., Raynor E. M., Cotteleer M. (2015) Inside the Internet of Things (IoT): A Primer on the Technologies Building the IoT. Deloitte University Press,
https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/iot-primer-iot-technologies-applications/DUP_1102_InsideTheInternetOfThings.pdf
3. Mohd Javaid, Abid Haleem, Rajiv Suman (2023) Digital Twin applications toward Industry 4.0: A Review
<https://doi.org/10.1016/j.cogr.2023.04.003>
4. Industry 4.0 and how smart sensors make the difference
<https://www.spectralengines.com/articles/industry-4-0-and-how-smart-sensors-make-the-difference>
5. Fan Zhang, Albert P.C. Chan, Dezhi Li (2023) Developing smart buildings to reduce indoor risks for safety and health of the elderly: A systematic and bibliometric analysis
<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106310>
6. Basheer Qolomany, Ala Al-Fuqaha, Ajay K. Gupta, D. Benhaddou (2019) Leveraging Machine Learning and Big Data for Smart Buildings: A Comprehensive Survey
https://www.researchgate.net/publication/334286607_Leveraging_Machine_Learning_and_Big_Data_for_Smart_Buildings_A_Comprehensive_Survey
7. Dimitrios Stamopoulos, Petros Dimas, Georgios Siokas, Evangelos Siokas (2023) Getting smart or going green? Quantifying the Smart City Industry's economic impact and potential for sustainable growth

<https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104612>

8. What Are Smart Cities?

<https://www.cretech.com/news/what-are-smart-cities/>

9. Cloud

<https://softengi.com/expertise/cloud/>

10. Understanding Cloud Computing Basics, Architecture And Characteristics

<https://ostechnix.com/cloud-computing-basics/>

11. Mohsen Attaran, Bilge Gokhan Celik (2023) Digital Twin: Benefits, use cases, challenges, and opportunities

<https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100165>

12. Neha Thakur, Avtar Singh, A.L. Sangal (2022) Cloud services selection: A systematic review and future research directions

<https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2022.100514>

13. Pieter de Wilde (2023) Building performance simulation in the brave new world of artificial intelligence and digital twins: A systematic review

<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113171>

14. Fass D, Gechter F (2015) Towards a theory for bio-cyber physical systems modelling. In HCI International Los Angeles, United States. LNCS 9184, LNCS—Digital Human Modeling and Applications in Health, Safety, Ergonomics and Risk Management: Human Modelling (Part I).

https://doi.org/10.1007/978-3-319-21073-5_25

15. Lee J, Bagheri B, Kao H-A (2015) A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. Copyright © 2014 Society of Manufacturing Engineers (SME)

<https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>

16. Extended Reality (XR)

<https://softengi.com/expertise/expanded-reality/>

17. J.V.S. do Amaral, C.H. dos Santos, J.A.B. Montevechi, A.R. de Queiroz (2023) Energy Digital Twin applications: A review

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113891>

18. Werner K., Matthias K., Georg T., Jan H., Wilfried S., (2018) Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. 2016, IFAC (International Federation of Automatic Control) Hosting by Elsevier Ltd

<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.474>

19. Haag S., Anderl R., (2018) Digital twin: Proof of concept. © 2018 Society of Manufacturing Engineers (SME)

<https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2018.02.006>

20. Simulation VS Digital Twins (What is the difference between them)

<https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/simulation-vs-digital-twin>

21. Navigating Modern Business: Digital Twin vs. Simulation

<https://program-ace.com/blog/digital-twin-vs-simulation/>

22. Valerian Vanessa Tuhaise, Joseph Handibry Mbatu Tah, Fonbeyin Henry Abanda (2023) Technologies for digital twin applications in construction

<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104931>

23. Tao Li, Xiaojun Li, Yi Rui, Jiixin Ling, Sicheng Zhao, Hehua Zhu (2023) Digital twin for intelligent tunnel construction

<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105210>

24. Nasser Jazdi, Behrang Ashtari Talkhestani, Benjamin Maschler, Michael Weyrich (2020) Realization of AI-enhanced industrial automation systems using intelligent Digital Twins

<https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.257>

25. Farah Abdoune, Maroua Nouiri, Olivier Cardin, Pierre Castagna (2022) Integration of Artificial Intelligence in the life cycle of industrial Digital Twins

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896322021012>

26. Muhammad Mazhar Ullah Rathore, Syed Attique Shah, Dharendra Shukla, Elmahdi Bentafat (2021) The Role of AI, Machine Learning, and Big Data in Digital Twinning: A Systematic Literature Review, Challenges, and Opportunities

https://www.researchgate.net/publication/349508978_The_Role_of_AI_Machine_Learning_and_Big_Data_in_Digital_Twinning_A_Systematic_Literature_Review_Challenges_and_Opportunities

27. Wu, W. Fu, X.-M. Tang, R. Wang, Y. Qi, Y.-H. Liu, L. (2019) Data-driven interior plan generation for residential buildings.

28. Hang, J. Tian, J.X. Lin, H.G. (2007) Application of Artificial Neural Network in Intelligent Building.

29. Jia, R. Jin, B. Jin, M. Zhou, Y. Konstantakopoulos, I.C. Zou, H. Kim, J. Li, D. Gu, W. Arghandeh, R. et al. (2018) Design automation for smart building systems.

30. Amjad Almusaed and Ibrahim Yitmen (2023) Architectural Reply for Smart Building Design Concepts Based on Artificial Intelligence Simulation Models and Digital Twins

<https://www.mdpi.com/2071-1050/15/6/4955>

31. ELIAS MOHAMMED ELFARRI, ADIL RASHEED AND OMER SAN (2023) Artificial Intelligence-Driven Digital Twin of a Modern House Demonstrated in Virtual Reality

https://www.researchgate.net/publication/369867331_Artificial_intelligence-driven_digital_twin_of_a_modern_house_demonstrated_in_virtual_reality

32. D.C. Feng, Z.T. Liu, X.D. Wang, Y. Chen, J.Q. Chang, D.F. Wei, Z.M. Jiang (2020) Machine learning-based compressive strength prediction for concrete: an adaptive boosting approach, Constr. Build. Mater.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117000>

33. P. Zhang, H.-N. Wu, R.-P. Chen, T.H.T. Chan, (2020) Hybrid meta-heuristic and machine learning algorithms for tunneling-induced settlement prediction: a comparative study

<https://doi.org/10.1016/j.tust.2020.103383>

34. J. Stascheit, J. Ninić, G. Meschke, F. Hegemann, U. Maidl (2018) Building information modelling in mechanised shield tunnelling - a practitioner's outlook to the near future

<https://doi.org/10.1002/geot.201700060>

35. T. Jearsiripongkul, S. Keawsawasvong, C. Thongchom, C. Ngamkhanong (2022) Prediction of the Stability of Various Tunnel Shapes Based on Hoek–Brown Failure Criterion Using Artificial Neural Network (ANN)

<https://doi.org/10.3390/su14084533>

36. C. Qi, A. Fourie, X. Zhao (2018) Back-analysis method for slope displacements using gradient-boosted regression tree and firefly algorithm

[https://doi.org/10.1061/\(asce\)cp.1943-5487.0000779](https://doi.org/10.1061/(asce)cp.1943-5487.0000779)

37. E. Samaniego, C. Anitescu, S. Goswami, V.M. Nguyen-Thanh, H. Guo, K. Hamdia, X. Zhuang, T. Rabczuk (2020) An energy approach to the solution of partial differential equations in computational mechanics via machine learning: concepts, implementation and applications

<https://doi.org/10.1016/j.cma.2019.112790>

38. Ziqi Huang, Yang Shen, Jiayi Li, Marcel Fey and Christian Brecher (2021) A Survey on AI-Driven Digital Twins in Industry 4.0: Smart Manufacturing and Advanced Robotics

<https://www.mdpi.com/1424-8220/21/19/6340>

39. Yuk Ming Tang, Wei Ting Kuo, C.K.M. Lee (2023) Real-time Mixed Reality (MR) and Artificial Intelligence (AI) object recognition integration for digital twin in Industry 4.0

<https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.100753>

40. Xin Maa, Jiangfeng Chenga, Qinglin Qi, Fei Tao (2021) Artificial intelligence enhanced interaction in digital twin shop-floor

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827121004935>

41. Bjornsson, B., Borrebaeck, C., Elander, N., Gasslander, T., Gawel, D. R., Gustafsson, M., Jörnsten, R., Lee, E. J., Li, X., Lilja, S., Martínez-Enguita, D., Matussek, A., Sandström, P., Schäfer, S., Stenmarker, M., Sun, X. F., Sysoev, O., Zhang, H., & Mikael Benson (2019) Digital twins to personalize medicine

<https://doi.org/10.1186/s13073-019-0701-3>

42. Angulo, C., Gonzalez-Abril, L., Raya, C., & Ortega, J. A. (2020). A proposal to evolving towards digital twins in healthcare.

43. Rohit Kaul, Chinedu Ossai, Abdur Rahim Mohammad Forkan, Prem Prakash Jayaraman, John Zelcer, Stephen Vaughan, Nilmini Wickramasinghe (2022) The role of AI for developing digital twins in healthcare: The case of cancer care

<https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/widm.1480>

44. Dongliang Chen, Zhihan Lv (2022) Artificial intelligence enabled Digital Twins for training autonomous cars

<https://doi.org/10.1016/j.iotcps.2022.05.001>

45. Asteris Apostolidisa, Konstantinos P. Stamoulis (2021) An AI-based Digital Twin Case Study in the MRO Sector

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146521006347>

46. Iynkaran Natgunanathan, Vicky Mak-Hau, Sutharshan Rajasegarar, Adnan Anwar (2023) Deakin microgrid digital twin and analysis of AI models for power generation prediction

<https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2023.100370>