



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗΣ ΈΡΕΥΝΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Εφαρμογή του Blockchain σε Υλοποιήσεις Industry 4.0: Ανασκόπηση του Ερευνητικού Πεδίου και Πρακτικές Εφαρμογές

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αθανασόπουλος Αθανάσιος

Εποπτεία : Ηλίας Τατσιόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Επίβλεψη: Σωτήρης Γκαγιαλής
Δρ., Ε.Δι.Π., Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Σεπτέμβριος-2020



Περίληψη

Αδιαμφισβήτητα, το περιβάλλον της αγοράς στις μέρες μας απαιτεί υψηλό επίπεδο εξυπηρέτησης πελατών και παράλληλα το ελάχιστο δυνατό κόστος προϊόντων. Για την επίτευξη των στόχων αυτών, οι εταιρείες ψάχνουν ολοένα και περισσότερες τεχνολογίες οι οποίες μπορούν να βοηθήσουν. Το blockchain είναι μια τέτοια τεχνολογία η οποία επιτρέπει την ασφαλή, ακριβή και κρυπτογραφημένη καταγραφή συναλλαγών αλλά την επίτευξη συμφωνιών μεταξύ 2 μερών και άρα μεγαλύτερη διαφάνεια και εμπιστοσύνη μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών αλλά και του καταναλωτή. Παράλληλα, η βιομηχανία κινείται προς την κατεύθυνση του Industry 4.0 όπου οι συσκευές και το ανθρώπινο δυναμικό που εμπλέκονται στην παραγωγική διαδικασία συνδέονται μέσω του διαδικτύου και διαφόρων άλλων τεχνολογιών ώστε να επιτευχθεί υψηλότερη παραγωγικότητα, χαμηλότερο κόστος, υψηλότερη ανιχνευσιμότητα και ιχνηλασιμότητα αλλά και αποδοτικότητα. Είναι προφανές, λοιπόν, ότι χρησιμοποιώντας την τεχνολογία του blockchain στις παραγωγικές διεργασίες του Industry 4.0 μπορεί να επιτύχει όλους αυτούς τους στόχους και να οδηγήσει σε μια νέα εποχή για την παραγωγή και την εξυπηρέτηση των πελατών.

Στη συγκεκριμένη εργασία παρουσιάζεται μια εις βάθος διερεύνηση της βιβλιογραφίας σχετικά με τις εφαρμογές blockchain στο Industry 4.0 η οποία μπορεί να αποτελέσει έναν χρήσιμο οδηγό για πιθανούς μελλοντικούς ερευνητές στο πεδίο αυτό από τον χώρο των επιχειρήσεων. Αρχικά παρουσιάζεται μια ιστορική αναδρομή του Industry 4.0, έπειτα αναλύονται οι δυνατότητες του και οι τεχνολογίες που το επιτρέπουν αλλά και οι ερευνητικές τάσεις και δυσκολίες του πεδίου. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι βασικές λειτουργίες του blockchain, οι απαιτήσεις και οι δυνατότητες του αλλά και πρακτικές εφαρμογές του στο πλαίσιο του Industry 4.0. Τέλος, γίνεται μια δομημένη βιβλιογραφική ανασκόπηση και έρευνα του πεδίου αυτού μέσω της πλατφόρμας scopus, αλλά και ανάλυση της ώστε να προκύψουν χρήσιμα συμπεράσματα για το πεδίο αυτό.



Abstract

Undoubtedly, today's global economy and business operations demand a high level of industrialisation, informatisation and manufacturing digitisation in order to achieve greater efficiency and competitiveness. For these goals to be achieved, businesses are looking for new and innovative technologies which can help. Blockchain is a technology which allows for safe, accurate and encrypted transactions and as such provides transparency and trust between involved parties and customers. At the same time, the industry is moving towards its 4th Revolution, Industry 4.0, where machines, devices and human personnel are connected through the Internet and various other technologies to achieve higher productivity, traceability, efficiency, lower costs and manufacturing times. It's clear, therefore, that using blockchain technology in Industry 4.0 production processes can help achieve those goals and help pave the way to a new era for manufacturing and customer support.

This thesis presents an in depth analysis of the bibliography concerning blockchain applications in Industry 4.0, which can act as a guide for future analysts in this field. Starting off, the timeline of Industry 4.0 is presented, along with its possibilities, advantages, enabling technologies, its research challenges and directions. Next is the analysis of how blockchain works, how it evolved to become today's technology, its capabilities and more importantly, its applications in the context of Industry 4.0, along with some case studies. Last but not least, a literature review and analysis of scientific publications about applications of blockchain in Industry 4.0 is performed, with the help of Scopus database, so as to find interesting and usable conclusions.



Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Σωτήρη Γκαγιαλή για την ανάθεση της παρούσας εργασίας καθώς και για την καθοδήγηση και την βοήθεια που μου προσέφερε.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ηλία Τατσιόπουλο για την γενική του εποπτεία.



Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή και ιστορική εξέλιξη του Industry 4.0	12
2. Δυνατότητες, τεχνολογίες και αρχές σχεδιασμού του Industry 4.0	17
2.1. Δυνατότητες του Industry 4.0	17
2.2. Τεχνολογίες που το επιτρέπουν	18
2.2.1. IoT και σχετικές τεχνολογίες	18
2.2.1.1. RFID	22
2.2.1.2 Wireless Sensor Networks (WSN)	23
2.2.1.3 Ubiquitous computing	24
2.2.2. Cloud computing	24
2.2.3. Cyber-physical systems	26
2.3. Βιομηχανική και εταιρική ενσωμάτωση	29
2.3.1 Service-Oriented Architecture (SOA)	31
2.3.2 Business Process Management (BPM)	33
2.3.3 Information integration and interoperability	35
2.4. Θεμελιώδεις Αρχές Σχεδιασμού	36
3. Τα smart factories στην εποχή του industry 4.0	38
3.1 Smart automated and robotized plants	38
3.2 Digital mass-individualized factories	39
3.3 E-plants in a box-mobile modular factories	39
3.4 Handmade production using digitization	40
4. Ερευνητικές δυσκολίες και κατευθύνσεις	41
4.1 Τεχνικές δυσκολίες	41
4.2 Τυποποίηση	42
4.3 Ασφάλεια της πληροφορίας και προστασία της ιδιωτικότητας.	43
4.4 Ερευνητικές τάσεις	44



4.5. Σχολιασμός	46
5. Ιστορική αναδρομή και εξήγηση των λειτουργιών του Blockchain	48
5.1. Βασικές λειτουργίες του Blockchain	49
5.2. Hash Functions: Ιδιότητες και λειτουργίες τους	52
6. Απαιτήσεις, δυνατότητες και συστατικά του blockchain	55
6.1 Απαιτήσεις του blockchain	55
6.2. Δυνατότητες του blockchain για το Industry 4.0	56
6.2.1. Ψηφιακές ταυτότητες	57
6.2.2. Διαμοιρασμένη Ασφάλεια	57
6.2.3. Smart Contracts	58
6.2.4. Micro-Controls	58
6.3. Η αρχιτεκτονική του blockchain και τα συστατικά της	59
6.3.1. Βασική αρχιτεκτονική βάσει blockchain	59
6.3.2. Reference Architecture	61
6.4. Γενικά στοιχεία CPS μέσω blockchain	66
6.4.1. Connection Net	67
6.4.2. Cyber Net	68
6.4.3. Management Net	68
7. Εφαρμογή του Blockchain σε smart applications	70
7.1. Εφοδιαστική αλυσίδα και Logistics	70
7.2. Τομέας ενέργειας	72
7.3. Διαμοίραση ψηφιακού περιεχομένου	75
7.4. Τομέας τουρισμού και εστίασης	76
7.5. Τομέας υγείας	76
7.6. Smartcity	80
7.7. Τομέας οικονομικών	82
7.8. Internet of Things	84



7.9. Τομέας παραγωγής	86
7.10. Τομέας γεωργίας	87
8. Μελέτες Περίπτωσης	89
8.1 NTT DATA-Skuchain	89
8.2 Moog Aircraft Group-Veripart	91
8.3 BMW-PartChain	93
8.4 Boeing-GoDirect	95
9. Ενδιάμεση προσέγγιση για εφαρμογή του blockchain στο Industry 4.0	97
9.1 Man4Ware	97
9.2. Συζήτηση περί SOM	100
10. Δομημένη Βιβλιογραφική Ανασκόπηση της χρήσης blockchain σε εφαρμογές Industry 4.0	103
10.1. Εισαγωγή	103
10.2. Διαδικασία Έρευνας	103
10.3. Μεθοδολογία Έρευνας	105
10.3.1. Είδος τομέα εφαρμογής	105
10.3.2. Έτος δημοσίευσης	106
10.3.3. Είδη άρθρων	107
10.4. Συμπεράσματα έρευνας	107
10.5. Ανάλυση άρθρων	108
Βιβλιογραφία	111
Παράρτημα: Κατηγοριοποίηση και αξιολόγηση επιστημονικών άρθρων	116



Λίστα Σχημάτων

- Σχήμα 1: Οι επαναστάσεις στην βιομηχανία:15
- Σχήμα 2: Οι τεχνολογίες του IoT:19
- Σχήμα 3: Εξέλιξη των τεχνολογιών του Industry 4.0:21
- Σχήμα 4: Παρουσίαση των Wireless Sensor Networks:23
- Σχήμα 5: Τα συστατικά του cloud computing:24
- Σχήμα 6: Λειτουργίες και συστατικά των Cyber-Physical Systems:26
- Σχήμα 7: Τεχνολογίες που επιτρέπουν τα Cyber-Physical Systems:27
- Σχήμα 8: Στόχοι του Business Process Management:33
- Σχήμα 9: Παρουσίαση smart factory:38
- Σχήμα 10: Ιστορική εξέλιξη του blockchain:48
- Σχήμα 11: Τα βασικά μέρη του blockchain:50
- Σχήμα 12: Παρουσίαση λειτουργίας μιας hash function:52
- Σχήμα 13: Διαδικασία πρόσθεσης μιας συναλλαγής στο blockchain:60
- Σχήμα 14: Τα δίκτυα των Blockchain-based Cyber-Physical Systems:69
- Σχήμα 15: Τομείς εφαρμογής blockchain για smart applications:70
- Σχήμα 16: Σχηματική απεικόνιση microgrid:73
- Σχήμα 17: Σχηματική απεικόνιση smartcity:80
- Σχήμα 18: Συστατικά του βιομηχανικού Internet of Things:85
- Σχήμα 19: Υπηρεσίες IT:90
- Σχήμα 20: Κομμάτι 3D printed από την Moog:92
- Σχήμα 21: Blockchain στην εφοδιαστική αλυσίδα της BMW:94
- Σχήμα 22: Ανταλλακτικά επιβατικού αεροπλάνου:96
- Σχήμα 23: Οι υπηρεσίες που προσφέρει το Man4Ware:98
- Σχήμα 24: Οι εφαρμογές και τα συστατικά του Man4Ware:101



Κατάλογος αρκτικόλεξων

AI: Artificial Intelligence
Amazon SWF: Amazon Simple Workflow Service
API: Application Programming Interfaces
ASC: Agricultural Supply Chain
BCPS: Blockchain-enabled Cyber-Physical Systems
BPE: Business Process Execution
BPEL: Business Process Execution Language
BPM: Business Process Management
CAD: Computer-Aided Design
CAM: Computer-Aided Manufacturing
CAPP: Computer-Aided Processing in Planning
CNC: Computer Numerical Control
CPPS: Cyber-Physical Production Systems
CPS: Cyber-Physical Systems
DDAI: Distributed and Decentralized Artificial Intelligence
DER: Decentralized Energy Resources
DES: Distributed Energy System
DMF: Design for Manufacturing
DoD: US Department of Defence
DSS: Data-driven decision Support System
EA: Enterprise Architecture
EAI: Enterprise Application Integration
EHD: Electronic Healthcare Data
EHR: Electronic Health Records
EIS: Enterprise Information System
EMR: Electronic Medical Record
EOS: Enterprise Operating System
ERP: Enterprise Resource Planning



ESS: Energy Storage Systems

GE: General Electric

GPS: Global Positioning System

GTAI: Germany Trading And Invest

HACCP: Hazard Analysis and Critical Control Points

HDG: Healthcare Data Gateway

HIPAA: Health Insurance Portability and Accountability Act

ICISP: IoT-Based Configurable Information Service Platform

ICT: Information and COmmunications Technology

IFAC: International Federation of Accountants

IFIP: International Federation for Information Processing

IIC: Industrial Internet Consortium

IIoT: Industrial Internet of Things

IoT: Internet of Things

IOTA: Internet of Things Application

IP: Internet Protocol

IT: Information Technology

MaaS: Manufacturing-as-a-Service

MDA: Multiple Discriminant Analysis

ML: Machine Learning

NFC: Near Field Communication

NSF: US National Science Foundation

P2P: Peer-to-Peer

PLM: Product lifecycle management

PoS: Proof-of-Stake

PoW: Proof-of-Work

R&D: Research and Development

RAMI 4.0: Reference Architecture Model for Industry 4.0

RFID: Radio Frequency Identification

S&CC: Smart & Connected Communities

SCM: Supply Chain Management



SDK: Software Development Kit
SDN: Software-Defined Networking
SHA 256: Secure Hash Algorithm 256
SMEs: Small and Medium Enterprises
SOA: Service Oriented Architecture
SOM: Service-Oriented Middleware
TCP-IP: Transmission Control Protocol-Internet Protocol
TOWF: Trapdoor One-Way Functions
URL: Uniform Resource Locator
VPN: Virtual Private Network
VR: Virtual Resources
WfMS: Workflow Management System
WSN: Wireless Sensor Network



1. Εισαγωγή και ιστορική εξέλιξη του Industry 4.0

Ραγδαίες εξελίξεις στην βιομηχανοποίηση και στις μεθόδους ενημέρωσης έχουν φέρει τεράστια πρόοδο στην ανάπτυξη της καινούργιας γενιάς στις τεχνολογίες της παραγωγής. Σήμερα είμαστε στα πρόθυρα της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης. Το 2013, ανάμεσα σε 10 από τα “Future projects” που αναγνωρίστηκαν από την γερμανική κυβέρνηση ως τμήμα του High-Tech Strategy 2020 Action Plan, το Industry 4.0 θεωρείται ως μια από τις μεγαλύτερες προσπάθειες της Γερμανίας ώστε να καταστεί ηγέτης της ενσωματωμένης βιομηχανίας. Το 2014, το κυβερνητικό συμβούλιο της Κίνας αποκάλυψε το 10ετές εθνικό σχέδιο της. Το Made in China 2025 ήταν σχεδιασμένο να μετατρέψει την Κίνα από το status του παγκόσμιου workshop σε μια παγκόσμια Βιομηχανική δύναμη. Το Made in China 2025 είναι πρωτοβουλία για να αναβαθμιστεί η βιομηχανία της Κίνας μαζί με τον παραγωγικό τομέα. Στο Industry 4.0 και το Made in China 2025, πολλές εφαρμογές χρειάζονται έναν συνδυασμό από καινοτομικές τεχνολογίες, γεγονός το οποίο οδηγεί στην άνοδο του Industry 4.0. Τέτοιες τεχνολογίες πηγάζουν από διαφορετικές αρχές συμπεριλαμβανομένου Cyber Physical Systems (CPS), IoT, cloud computing, Industrial Integration, Enterprise Architecture, SOA, Business Process Management, Industrial Information Integration και άλλες. Αυτή τη στιγμή, η έλλειψη ισχυρών εργαλείων αποτελεί ένα μεγάλο εμπόδιο από την πλήρη αξιοποίηση των δυνατοτήτων του Industry 4.0. Συγκεκριμένα, τυπικές μέθοδοι και μέθοδοι συστημάτων είναι πολύ σημαντικές για την συνειδητοποίηση του Industry 4.0, το οποίο δημιουργεί αρκετές προκλήσεις

Το Industry 4.0 αρχικά είχε παρουσιαστεί στο φεστιβάλ του Hannover το 2011, ακόμη είχε ανακοινωθεί και επισήμως το 2013 ως μια Γερμανική στρατηγική για να ληφθεί ένας πρωταγωνιστικός ρόλος στις βιομηχανίες οι οποίες τώρα επαναστατούν στον παραγωγικό τομέα. Το Industry 4.0 συμβολίζει την αρχή της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης. Εκπροσωπεί την τωρινή τάση των τεχνολογιών της αυτοματοποίησης στον παραγωγικό τομέα και συμπεριλαμβάνει τεχνολογίες όπως cyber-physical systems (CPS), Internet of Things και cloud computing. Σύμφωνα με την GTAI (Germany Trade and Invest) το Industry 4.0 εκπροσωπεί την τεχνολογική εξέλιξη από τις ενσωματωμένες τεχνολογίες στα cyber-physical systems. Στο Industry 4.0 τα ενσωματωμένα συστήματα, η σημαντική επικοινωνία μεταξύ μηχανών, το Internet of Things και οι τεχνολογίες CPS ενσωματώνουν τον ψηφιακό κόσμο στον φυσικό. Επίσης, μια νέα γενιά βιομηχανικών συστημάτων, τα smart factories αναπτύσσονται ώστε να λυθεί το πρόβλημα της πολυπλοκότητας της παραγωγής στα cyber-physical περιβάλλοντα. Η έρευνα δείχνει τον τρόπο με τον οποίο το Industry 4.0 απεικονίζει την προσέγγιση της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης, στην οποία Τεχνολογίες Πληροφοριών και Επικοινωνίας (ICT) αποτελούν τα βασικά θεμέλια των αυριανών καινοτόμων τεχνολογιών. Σε αυτή την



εξέλιξη τα ICT, ενσωματωμένα συστήματα, IoT, CPS, Industrial Integration and Industrial Information Integration παίζουν σημαντικό ρόλο.

Σήμερα, είμαστε στα πρόθυρα της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης στην οποία ο κόσμος της παραγωγής και ο κόσμος της επικοινωνίας μέσω δικτύων ενσωματώνονται μέσω IoT και CPS για να καταστήσουν το Industry 4.0 μια πραγματικότητα. Κατά την Πρώτη Βιομηχανική Επανάσταση, μηχανικές παραγωγικές εγκαταστάσεις αναπτύχθηκαν με την βοήθεια του νερού και του ατμού. Κατά την Δεύτερη Βιομηχανική Επανάσταση η μαζική παραγωγή έγινε πραγματικότητα με την βοήθεια την ηλεκτρικής ενέργειας. Κατά την Τρίτη Βιομηχανική Επανάσταση, τεχνολογίες πληροφορίας και ηλεκτρονικών αναπτύχθηκαν και βοήθησαν στην πρόοδο της αυτοματοποίησης της παραγωγής. Κατά την Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση, η χρήση CPS αποτελεί παράδειγμα της αλλαγής στην βιομηχανία και συγκεκριμένα στον παραγωγικό τομέα.

Κατά την διάρκεια της Τρίτης Βιομηχανικής Επανάστασης, ένα γκρουπ από ερευνητές του IEEE, IFIP, IFAC και σχετικών τομέων συνεργάστηκαν και δημιούργησαν τον χάρτη της βελτίωσης της ανάπτυξης των παραγωγικών συστημάτων. Το 2005, βρέθηκαν νέες ευκαιρίες στο πεδίο της πληροφορικής στην παραγωγή από τους Wilamowski, Kaynak και άλλους ερευνητές. Ως διαδικασία ενσωμάτωσης στην παραγωγή βασισμένη στα ICT, μια μετατόπιση από τα ηλεκτρονικά στην πληροφορική της παραγωγής βρέθηκε να παίρνει έμφαση όσο ποτέ άλλοτε. Εν τω μεταξύ, μια από τις νέες τάσεις στα Critical Infrastructures συμπεριλαμβανομένου των ICT έδειξε την ολοένα και αυξανόμενη σύνδεση με τα ICT.

Τα τελευταία χρόνια, το Industry 4.0 έχει εμφανιστεί σαν ένα υποσχόμενο τεχνολογικό πλαίσιο στο οποίο βασίζεται η ενσωμάτωση και η ανάπτυξη παραγωγικών διαδικασιών σε κάθε οργανωτικό επίπεδο. Η άνοδος του Industry 4.0 έχει προέλθει από την σύγχρονη ανάπτυξη στο ICT. Οι εξελίξεις και οι τεχνολογικές πρόοδοι στο Industry 4.0 θα παρέχουν μια βιώσιμη σειρά από λύσεις για τις αυξανόμενες ανάγκες πληροφόρησης στις παραγωγικές διαδικασίες. Αυτή η βιωσιμότητα αποδεικνύεται από το γεγονός ότι ένας αυξανόμενος αριθμός από επιχειρήσεις παγκοσμίως έχουν εξερευνήσει τα πλεονεκτήματα της ψηφιοποίησης των επιχειρησιακών horizontal και vertical chains και έχουν υιοθετήσει το Industry 4.0 στη διαδικασία του να γίνουν ψηφιακές εταιρείες στα αριανά πολύπλοκα παραγωγικά περιβάλλοντα.

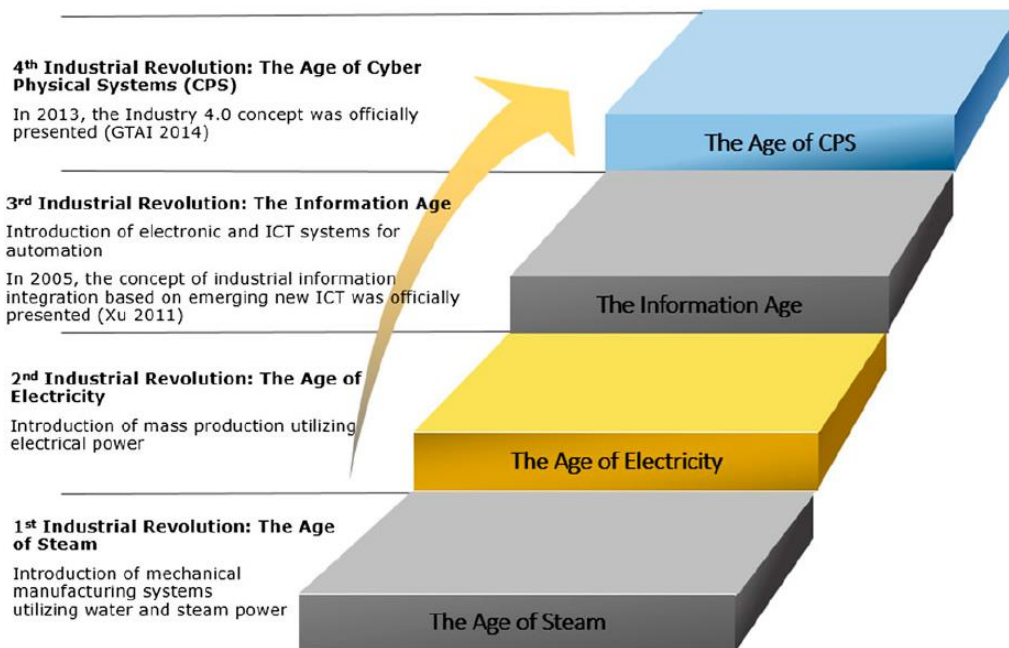
Στην παγκόσμια οικονομία και τις παγκόσμιες επιχειρηματικές λειτουργίες, έχει γίνει προφανές ότι χρειάζεται ολοένα και περισσότερο το Industry 4.0 για να αυξήσει δραματικά το συνολικό επίπεδο της βιομηχανοποίησης, της πληροφόρησης και της ψηφιοποίησης της παραγωγής ώστε να επιτευχθεί υψηλότερη απόδοση, επάρκεια και ανταγωνιστικότητα. Είναι αναγνωρισμένο ότι το Industry 4.0 έχει σημαντικές μακροχρόνιες επιπτώσεις στην παγκόσμια ανάπτυξη της παραγωγής. Λόγω της σημαντικότητας αυτού του θέματος, υπάρχει μια ολοένα και αυξανόμενη ανάγκη για το Industry 4.0 ώστε να δοθούν πληροφορίες για τα θέματα, υπάρχει μια αυξανόμενη



ανάγκη για έρευνα πάνω στο Industry 4.0 ώστε να βρεθούν πληροφορίες για τα προβλήματα, προκλήσεις και λύσεις σχετικά με τον σχεδιασμό, χρήση και management του Industry 4.0.

Για να γίνει αντιληπτή η πρόοδος της βιομηχανίας, το επόμενο σχήμα δείχνει την εξέλιξη από το Industry 1.0 στο Industry 4.0, όπως και τον χάρτη των ICT που προτάθηκε από τους Wilamowski, Kaynak, Xu και άλλους ερευνητές της βιομηχανικής ενσωμάτωσης και της πληροφορίας για την επερχόμενη εποχή του IoT και των CPS.

Η πρώτη Βιομηχανική Επανάσταση ξεκίνησε στο τέλος του 18ου αιώνα και αρχές του 19ου, που εκπροσωπούσαν από την εισαγωγή των μηχανικών βιομηχανικών συστημάτων που χρησιμοποιούσαν ισχύ από ατμό και νερό. Η δεύτερη Βιομηχανική Επανάσταση ξεκίνησε στα τέλη του 19ου αιώνα και χαρακτηρίστηκε από την μαζική παραγωγή μέσω της ηλεκτρικής ενέργειας. Η τρίτη Βιομηχανική επανάσταση ξεκίνησε τα μέσα του 20ου αιώνα και εισήγαγε την χρήση αυτοματοποιήσεων και μικρο-ηλεκτρονικών τεχνολογιών στην παραγωγή. Αυτές οι πρόοδοι στις παραγωγικές τεχνολογίες συνδέονται άρρηκτα με τα ICT. Στην Τρίτη Βιομηχανική Επανάσταση, η πρόοδος των ICT ήταν ο πυρήνας κάθε αλλαγής στα παραγωγικά πρότυπα. Για παράδειγμα, η διαδεδομένη υιοθέτηση των computer numerical control (CNC) και των ρομπότ έκανε δυνατά τα Flexible Manufacturing Systems (FMS). Οι τεχνολογίες του Computer-Aided Design (CAD), Computer-Aided Manufacturing (CAM) και Computer-Aided Processing in Planning (CAPP) έκαναν δυνατή την ύπαρξη του Computer Integrated Manufacturing. Πρόσφατα, η βιομηχανία έχει βρεθεί στο χείλος της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης. Η εισαγωγή των CPS θα είναι μια από τις πιο επαναστατικές αλλαγές της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης. Το Industry 4.0 περιγράφεται ως η Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση από την πρώτη βιομηχανική επανάσταση του 18ου αιώνα. Το Industry 4.0 εκπροσωπείται κυρίως από CPS, IoT και cloud computing, ωστόσο θα βασίζεται και σε έξυπνες συσκευές (smart devices) και σε Business Process Management (BPM). Παρόλο που η Τρίτη Βιομηχανική Επανάσταση επικεντρώθηκε στην αυτοματοποίηση των μηχανών και των διεργασιών, το Industry 4.0 επικεντρώνεται περισσότερο στην ολοκληρωμένη ψηφιοποίηση και την ενσωμάτωση των ψηφιακών παραγωγικών περιβαλλόντων ψάχνοντας ολοκληρωμένες integrated solutions.



Σχήμα 1: Οι επαναστάσεις στην βιομηχανία

Πηγή: International Journal of Production Research

Στο Industry 4.0 το IoT αναμένεται να προσφέρει υποσχόμενες μετασχηματιστικές λύσεις για την λειτουργία και τους ρόλους πολλών υπάρχοντων βιομηχανικών συστημάτων μέσα στις ψηφιακές εταιρείες των μελλοντικών παραγωγικών περιβαλλόντων. Σύμφωνα με την GTAI (2014), το IoT βρίσκει τον δρόμο του προς την παραγωγή ενώ ταυτόχρονα επαναστατεί στην βελτίωση των υπάρχοντων συστημάτων. Έτσι, θεωρείται ότι είναι το κλειδί για την επόμενη γενιά προχωρημένων βιομηχανιών, δηλαδή το Industry 4.0. Κυρίως, το IoT μπορεί να επιτρέψει την δημιουργία ψηφιακών δικτύων για την υποστήριξη του smart factory στο Industry 4.0.

Το cloud-based manufacturing είναι μια τεχνολογία η οποία μπορεί να συμβάλλει αρκετά στην πραγματοποίηση του Industry 4.0. Το cloud manufacturing, παρόμοια με το cloud computing, χρησιμοποιεί ένα δίκτυο από πόρους με έναν αρκετά διανεμημένο τρόπο. Το Manufacturing-as-a-Service (MaaS) έχει κερδίσει πολλή προσοχή στον βιομηχανικό τομέα.

Τα CPS είναι ο πυρήνας του Industry 4.0. Σύμφωνα με Monostori (2014) ένα από τα πιο σημαντικά επιτεύγματα στην ανάπτυξη των ICT είναι τα CPS. CPS είναι τα συστήματα που συνεργαζόμενες υπολογιστικές οντότητες που έχουν βαθιά σύνδεση με τον φυσικό κόσμο γύρω τους και τις διαδικασίες που συμβαίνουν γύρω τους. Ακόμη, αυτά τα συστήματα παρέχουν και χρησιμοποιούν υπηρεσίες προσπέλασης και επεξεργασίας δεδομένων που είναι διαθέσιμες στο Διαδίκτυο για να πετύχουν τους προαναφερθέντες



στόχους. Στα CPS, τα υλικά και τα λογισμικά συστατικά είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους, το καθένα δουλεύει σε δικό του περιβάλλον και αλληλεπιδρούν με πολλούς τρόπους οι οποίοι αλλάζουν ανάλογα τον στόχο. Τα CPS παρουσιάζουν ένα υψηλό επίπεδο ενσωμάτωσης και συντονισμού μεταξύ φυσικών και υπολογιστικών στοιχείων, ενώ η τρέχουσα τάση αποκαλύπτει μια τεχνολογική εξέλιξη από τα embedded systems στα CPS. Έρευνα υποστηρίζει ότι με την εισαγωγή των CPS, οι μηχανές θα μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους και αποκεντρωμένα συστήματα ελέγχου θα μπορούν να βελτιστοποιήσουν την παραγωγή.

Το Industry 4.0 γενικά αποτελείται από πολλά σύνθετα στοιχεία και έχει πολλές εφαρμογές σε ποικίλους τομείς της παραγωγής. Στο παρόν, μία από τις προκλήσεις που αντιμετωπίζεται είναι η αξιοποίηση καινοτόμων ICT καθώς και engineering technology ώστε το Industry 4.0 να πετύχει.



2. Δυνατότητες, τεχνολογίες και αρχές σχεδιασμού του Industry 4.0

2.1. Δυνατότητες του Industry 4.0

Το industry 4.0, η όπως αποκαλείται μερικές φορές smart manufacturing η Industrial IoT (IIoT) στοχεύει στην διευκόλυνση καλύτερης επίδοσης, μειωμένου κόστους και υψηλότερης ποιότητας σε διάφορα πεδία της βιομηχανίας. Σε άλλα πλαίσια, αναφέρεται και ως η δημιουργία του smart factory. Για να επιτευχθεί το Industry 4.0, διάφορα συστατικά και συστήματα όπως CPS, IoT, Cloud και cognitive computing πρέπει να ενσωματωθούν και να δουλέψουν προς έναν κοινό στόχο. Μπορεί να θεωρηθεί ακόμα και ως η τέταρτη γενιά της βιομηχανικής επανάστασης με όρους της εξέλιξης της μηχανοποίησης και της αυτοματοποίησης της βιομηχανίας. Η έννοια αυτή είναι υποσχόμενη, ωστόσο υπάρχουν πιεστικά προβλήματα που επί του παρόντος εμποδίζουν την αποτελεσματική ανάπτυξη της όπως ενσωμάτωση και ευελιξία. Για να θεωρηθεί ένα εργοστάσιο ή ένα σύστημα ως Industry 4.0 πρέπει να περιλαμβάνει διαλειτουργικότητα, τεχνική υποστήριξη, διαφάνεια της πληροφορίας και αποκεντρωμένη λήψη αποφάσεων. Βάζοντας τα όλα μαζί, με το Industry 4.0 επιτρέπουμε στους ανθρώπους, στα προηγμένα βιομηχανικά hardware και στα εξειδικευμένα software να συνεργαστούν αποτελεσματικά για να βελτιστοποιήσουν λειτουργίες και να δημιουργήσουν αυτόνομες βιομηχανικές διαδικασίες. Ως αποτέλεσμα είναι δυνατόν να προσφερθούν προηγμένες δυνατότητες όπως:

1. Αυτοματοποίηση πολλών διεργασιών χρησιμοποιώντας παραμετροποιήσιμες και προσαρμοστικές συσκευές και μηχανές
2. Ενσωμάτωση νέων παραγωγικών διεργασιών και τεχνολογιών
3. Μείωση της ανθρώπινης αλληλεπίδρασης με τις μηχανές μέσω ψηφιακών sensors, controllers και αυτοματοποιημένων αποφάσεων
4. Βελτίωση της μέτρησης και της παρακολούθησης διαδικασιών με χρήση συσκευών μεγάλης ακρίβειας
5. Βελτίωση των χρόνων απόκρισης για πιο ακριβή έλεγχο των διεργασιών



6. Συλλογή και αποθήκευση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο σε όλα τα μέρη του εργοστασίου συγχρόνως
7. Αύξηση των δυνατοτήτων ανάλυσης χρησιμοποιώντας τα συλλεχθέντα δεδομένα και προηγμένα μοντέλα ανάλυσης δεδομένων
8. Εισαγωγή εξυπνων αλγορίθμων χρησιμοποιώντας τα διαθέσιμα δεδομένα ώστε να επιτραπεί στο σύστημα να κάνει αυτόνομες αποφάσεις
9. Μείωση της εξάρτησης στους ανθρώπους για έλεγχο και λήψη αποφάσεων
10. Παροχή καλύτερης συντήρησης και επισκευών βάσει προγνωστικής ανάλυσης λειτουργικών δεδομένων
11. Δημιουργία ασφαλέστερου και πιο άνετου περιβάλλοντος εργασίας
12. Επιτρέπει την δημιουργία και την χρήση νέων επιχειρηματικών μοντέλων στην βιομηχανία
13. Διευκόλυνση της ενσωμάτωσης διαφόρων τεχνολογιών, μοντέλων, τομέων και οργανισμών στον βιομηχανικό τομέα

2.2. Τεχνολογίες που το επιτρέπουν

Ποικίλες τεχνολογίες ή τεχνικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ενσωμάτωση του Industry 4.0. Αυτές οι τεχνολογίες περιλαμβάνουν CPS, IoT, cloud computing, blockchain, industrial information integration και άλλες σχετικές τεχνολογίες. Σε αυτό το κομμάτι, παρουσιάζονται συγκεκριμένες τεχνολογίες που είναι ιδιαίτερα σημαντικές για το Industry 4.0..

2.2.1. IoT και σχετικές τεχνολογίες

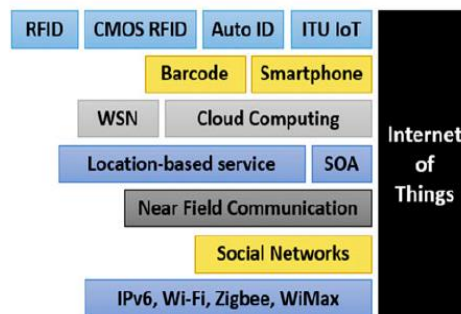
Όταν πρωτο άρχισε να υπάρχει ο όρος Internet of Things (IoT) αναφερόταν σε αναγνωρίσιμα διαλειτουργικά συνδεδεμένα αντικείμενα χρησιμοποιώντας radio-frequency identification (RFID). Συνδέοντας τους στο Διαδίκτυο, αυτοί οι readers μπορούν αυτόματα και με μοναδικό τρόπο να αναγνωρίσουν και να ανιχνεύσουν τα



αντικείμενα που φορούν συγκεκριμένα tags σε πραγματικό χρόνο. Αυτό είναι το Internet of Things. Μετά, η τεχνολογία IoT χρησιμοποιήθηκε μαζί με άλλες τεχνολογίες όπως αισθητήρες, ενεργοποιητές, το Global Positioning System (GPS) και φορητές συσκευές που λειτουργούν μέσω Wi-Fi, Bluetooth, δίκτυα κινητής τηλεφωνίας η Near Field Communication (NFC), Έτσι, ένας πιο σύγχρονος ορισμός του IoT είναι ο :

“Ένα δυναμικό παγκόσμιο πλαίσιο δικτύων με δυνατότητες αυτορρύθμισης βασισμένο σε στάνταρ και διαλειτουργικά πρωτόκολλα όπου φυσικά και ψηφιακά ``πραγμάτα`` έχουν ταυτότητες, χαρακτηριστικά και ψηφιακές προσωπικότητες τα οποία χρησιμοποιούν ευφυή interfaces και είναι απρόσκοπτα ενσωματωμένα στο δίκτυο πληροφοριών. (van Kranenburg 2008)

Τα θεμέλια του IoT μπορούν να θεωρηθούν σαν ένα παγκόσμιο δίκτυο από πολλές συνδεδεμένες συσκευές που βασίζονται σε τεχνολογίες αισθητήρων, επικοινωνίας, δικτύων και επεξεργασίας πληροφοριών. Τα δίκτυα RFID και wireless sensor networks (WSN) θεωρούνται ως οι 2 πιο σημαντικές συσκευές που επιτρέπουν την ύπαρξη του δικτύου IoT. Η τεχνολογία RFID επιτρέπει σε μικροτσιπ να διαβιβάζουν τις πληροφορίες ταυτοποίησης σε έναν reader μέσω ασύρματης επικοινωνίας. Χρησιμοποιώντας RFID readers, οι χρήστες είναι ικανοί να διακρίνουν, ανιχνεύσουν και να ελέγξουν οποιοδήποτε αντικείμενο έχουν RFID ετικέτες αυτόματα. Το RFID έχει εφαρμογή σε πολλές διαφορετικές βιομηχανίες, όπως στις μεταφορές, την παράδοση δεμάτων, την υγεία, την διαχείριση υλικών, την λιανική πώληση, την άμυνα κλπ. Το WSN, από την άλλη, εφαρμόζει συνδεδεμένους έξυπνους αισθητήρες για sensing και monitoring. Πολλές εφαρμογές του WSN έχουν αναφερθεί ότι περιλαμβάνουν βιομηχανικό έλεγχο, περιβαλλοντικό έλεγχο, έλεγχο στις μεταφορές, στην υγεία και σε άλλους τομείς. Οι ανακαλύψεις στα RFID και στα WSN έχουν συνεισφέρει σημαντικά στην εξέλιξη του IoT. Το επόμενο σχήμα παρουσιάζει τις τεχνολογίες και τις συσκευές που χρησιμοποιούνται για την συνεισφορά την εξέλιξης του IoT. Οι κύριες τεχνολογίες είναι τα RFID και WSN, και άλλες χρήσιμες όπως barcodes, smartphones, cloud computing, location based services, SOA, NFC και social networks.



Σχήμα 2: Οι τεχνολογίες του IoT

Πηγή: Internet of Things in Industries: A Survey, Xu, He, Li, 2014



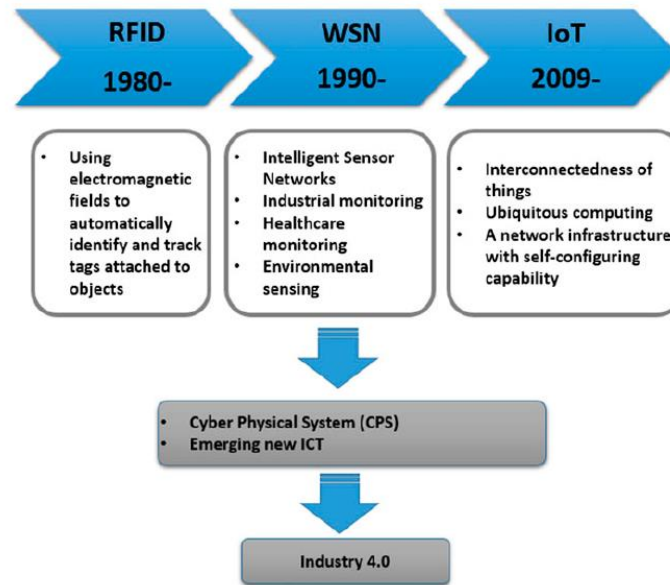
Το Industry 4.0, επίσης γνωστό και ως smart manufacturing και cognitive manufacturing, προσφέρει νέες ευκαιρίες για κατασκευαστικές εταιρείες να αναλύσουν και να χρησιμοποιήσουν σχεδιασμό, παραγωγή και δεδομένα εύρεσης και αποθεμάτων ώστε να τους βοηθήσει να συνειδητοποιήσουν το όραμα του εκσυγχρονισμού. Το Industry 4.0 χρησιμοποιεί τεχνικές cognitive computing μαζί με βιομηχανικό IoT, δηλαδή εφαρμόζει data science και αναλυτικά μοντέλα για αναλύσει δεδομένα πραγματικού χρόνου από πολλαπλές μηχανές, διαδικασίες και συστήματα και έπειτα αυτοματοποιεί κατάλληλα την παραγωγή. Ως εκ τούτου, πολλές βιομηχανίες έχουν εφαρμόσει το IoT και IIoT για να βελτιώσουν την παραγωγή, την διανομή, την μετακίνηση, το service και την συντήρηση στην παραγωγική διαδικασία.

Το Industry 4.0 συνδυάζει έξυπνους αισθητήρες, artificial intelligence και data analytics για να βελτιστοποιήσει την παραγωγή σε πραγματικό χρόνο. Με τις εξελίξεις στις τεχνολογίες αισθητήρων σε δίκτυα, ασύρματες τηλεπικοινωνίες και άλλων τέτοιων τεχνολογιών, ολοένα και περισσότερα αντικείμενα σε δίκτυα, αλλιώς και smart objects, εμπλέκονται στο IoT. Εν τω μεταξύ, αυτές οι IoT τεχνολογίες έχουν σημαντικές επιπτώσεις σε νέα ICT και CPS, και άρα έχουν στρώσει τον δρόμο την πραγματοποίηση του Industry 4.0. Το επόμενο σχήμα δείχνει τις προόδους στα RFID, WSN και IoT. Σήμερα, τα RFID, WSN και IoT χρησιμοποιούνται για να χτίσουν ένα στιβαρό τεχνολογικό πλαίσιο για την υποστήριξη των CPS καθώς και των νέων αναδυόμενων ICT. Ως αποτέλεσμα, το Industry 4.0 είναι ικανό να αναπτύξει μια νέα γενιά από παραγωγικά συστήματα τα οποία θα ενσωματώνουν και θα συγχρονίζουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο μεταξύ φυσικών αντικειμένων και του cyber computational χώρου.

Παρακάτω αναφέρονται κάποιες νέες εφαρμογές του IoT στην βιομηχανία

Χρήση του IoT στο product life management. Στις εφαρμογές του IoT στην βιομηχανία, το Product Life Management (PLM) συγκεντρώνει και επεξεργάζεται δεδομένα ορισμού προϊόντος, διαδικασιών και αποφάσεων σε όλο τον κύκλο της αναπτυξιακής φάσης του. Μοναδικοί ταυτοποιητές για προϊόντα ή εξαρτήματα είναι σημαντικοί για εφαρμογές PLM κατά τον προκαθορισμένο κύκλο ζωής επειδή τα προϊόντα στο PLM απορρίπτονται όχι μόνο σε επίπεδο intra-organizational αλλά και σε inter-organizational, σε ένα περιβάλλον διανεμημένο, φορητό και συνεργασίας. Έτσι, είναι πολύ σημαντική η υποστήριξη της ενσωμάτωσης διανεμημένων και ετερογενών δεδομένων προϊόντων τα οποία καλύπτουν διαφορετικούς κύκλους ζωής και διαμορφώσιμα και ευέλικτα μοτίβα. Λόγω του όγκου των ετερογενών δεδομένων και των ταχέων αλλαγών του περιβάλλοντος, τα εμπλεκόμενα δεδομένα και πληροφορίες μπορεί να είναι πολύπλοκα στην ανταλλαγή και στον διαμοιρασμό. Οι Cai et al (2014) έφτιαξαν ένα ευέλικτο μοντέλο πληροφοριών καθώς και μια διαμορφώσιμη και ανοιχτή πλατφόρμα λογισμικού για εφαρμογές βασισμένες στο IoT το οποίο καλύπτει ολόκληρο τον κύκλο ζωής του προϊόντος με σκοπό την ενσωμάτωση ετερογενών και διανεμημένων πληροφοριών για το προϊόν προς παραγωγή μέσα και μεταξύ οργανισμών. Αυτή η εφαρμογή παρέχει ακόμη μια

βάση για περαιτέρω smart interactions, οι οποίες χρειάζονται για το περιβάλλον του Industry 4.0.



Σχήμα 3: Εξέλιξη των τεχνολογιών του Industry 4.0

Πηγή: Industry 4.0: state of the art and future trends, Xu, Xu, Li, International Journal of Production Research, 2018

Μια καλή λύση που καλύπτει μοντέλο και πλατφόρμα έχει προταθεί ώστε να χτιστεί μια IoT-Based Configurable Information Service Platform (ICISP) για τον σχεδιασμό, ανάπτυξη και εκτέλεση των εφαρμογών Industry 4.0 σε ένα φορητό περιβάλλον.

Η συγχώνευση του IoT στα παραγωγικά βιομηχανικά συστήματα. Μεταβαλλόμενες τάσεις στα πρότυπα του manufacturing έχουν διερευνηθεί από πολλούς ερευνητές. Οι Bi, Xu και Wang (2014) έχουν αναλύσει τις ανάγκες της σύγχρονης βιομηχανίας και τα χαρακτηριστικά του IoT και έχουν μελετήσει τον τρόπο με τον οποίο η σύγχρονη βιομηχανία μπορεί να επωφεληθεί από την υιοθέτηση της δομής του IoT. Υπάρχουν 3 layers στο περιβάλλον του IoT: το platform layer, το application layer και το industry solutions layer. Το IoT platform layer συνδέει διάφορες συσκευές ώστε να λαμβάνουν και να εκπέμπουν δεδομένα και μετά στέλνει πληροφορίες από τις συσκευές στο application layer. Το application layer αξιολογεί την κατάσταση του εξοπλισμού και ενσωματώνει το IoT με cognitive techniques όπως data analytics, automation, machine learning για να αξιολογήσει τους δυναμικά πολύπλοκους παράγοντες που συμβάλλουν στην παραγωγή. Το industry solution layer προσθέτει το domain knowledge στο application layer. Συγκεκριμένες απαιτήσεις της βιομηχανίας, αναλυτικές διαδικασίες και εμπειρία



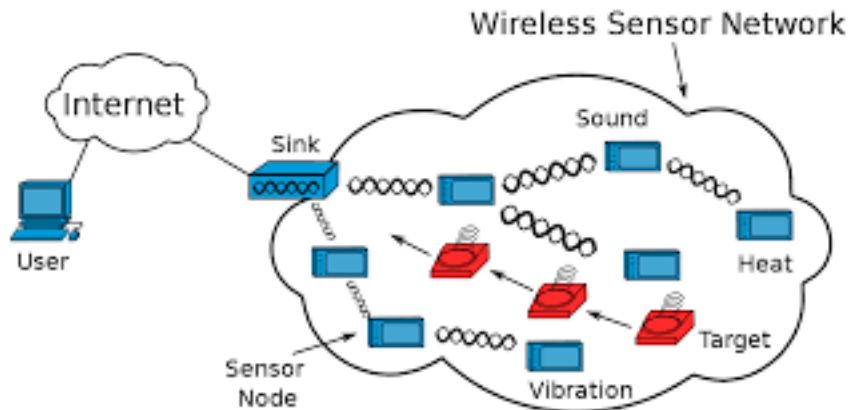
διαχείρισης της γνώσης εξατομικεύονται στην παραγωγική διαδικασία. Το multi-layered σύστημα του IoT μπορεί να στοχεύσει να φτάσει μια βέλτιστη ισορροπία απόδοσης και ευελιξίας η οποία θα βοηθήσει την μείωση του κόστους και την αύξηση της προσαρμογής. Για παράδειγμα, μια εταιρεία παραγωγής τσιμέντου εφήρμοσε τεχνολογία IoT με αλγορίθμους machine learning για να εκτιμήσει την τάση της χρησιμοποιούμενης ενέργειας. Η εφαρμογή βελτιστοποίησε την κατανάλωση ενέργειας της εταιρείας και την μείωσε κατά 10%.

2.2.1.1. RFID

Το RFID είναι ένας από τους ακρογωνιαίους λίθους του IoT, μια έννοια που βασίζεται στην ταυτοποίηση μέσω RFID και την ανίχνευση τεχνολογιών. Από το 1980 περίπου, το RFID έχει χρησιμοποιηθεί για να ταυτοποιεί και να ανιχνεύει αντικείμενα και έχει εφαρμοστεί ευρέως σε διάφορες βιομηχανίες όπως και στις κατασκευές. Ένα σύστημα RFID μπορεί να παρέχει επαρκείς πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο σχετικά με διάφορα πράγματα στο IoT. Το RFID είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιεί ασύρματη επικοινωνία. Παρόλο που το RFID αρχικά είχε αναπτυχθεί για ανίχνευση και ταυτοποίηση, το αυξανόμενο ενδιαφέρον για πολλές άλλες εφαρμογές έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη μιας νέας γκάμας από ασύρματες αισθητήριες συσκευές βασισμένες στο RFID. Σε πολλές περιπτώσεις, οι δυνατότητες συνεχούς και αυτόματης αίσθησης του RFID μπορεί να εξαλείψει την ανάγκη για ανθρώπινο δυναμικό στην διαδικασία σύλλεξης πληροφοριών και να επιτρέψει μεγαλύτερη αυτοματοποίηση στα εργοστάσια.

Για την υιοθέτηση του RFID μέσω του IoT, κάποιες προκλήσεις υπάρχουν συμπεριλαμβανομένου των παρεμβολών του σήματος, την σύγκρουση των σημάτων RFID, της ενσωμάτωσης και της τυποποίησης. Η συνεχώς αυξανόμενη χρήση συσκευών RFID απαιτεί εγγύηση και ασφάλεια από πολλές οπτικές όπως την παραγωγή, την προστασία της ιδιωτικότητας, των επιχειρηματικών διαδικασιών και άλλα. Παρόλο που η τεχνολογία RFID έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς σε πολλούς τομείς της παραγωγής, η τεχνολογία εξελίσσεται συνεχώς.

2.2.1.2 Wireless Sensor Networks (WSN)



Σχήμα 4: Παρουσίαση των Wireless Sensor Networks

Πηγή: www.intechopen.com

Η ασύρματη επικοινωνία θα παίξει βασικό ρόλο στην χρήση συστημάτων και τεχνολογιών του Industry 4.0. Το WSN είναι μια από τις πιο σημαντικές τεχνολογίες του 21ου αιώνα. Ένα WSN είναι ένα σύστημα που αποτελείται από πομποδέκτες ραδιοσημάτων, αισθητήρων, microcontrollers και πηγών ισχύος. Τα WSN είναι η πιο σημαντική υποδομή για την εκτέλεση του IoT. Διάφορα συστήματα hardware και software είναι διαθέσιμα στα WSN: (1) το Internet Protocol 6 (IPv6) κάνει δυνατή την σύνδεση ενός απεριόριστου αριθμού συσκευών. Ένας απλός τρόπος αρίθμησης μαζί με το IPv6 μπορεί να κάνει δυνατή την ταυτοποίηση κάθε αντικειμένου. (2) Το Wi-Fi και το Wimax παρέχουν επικοινωνία υψηλών ταχυτήτων και μικρού κόστους. (3) Τα Zigbee, Bluetooth και RFID παρέχουν την τοπική επικοινωνία σε μικρές ταχύτητες. (4) Μια φορητή πλατφόρμα προσφέρει επικοινωνία, οπουδήποτε, οποτεδήποτε και για οτιδήποτε.

Όπως δείχνει και προηγούμενο σχήμα, και το WSN και το RFID χρησιμοποιούνται για να σχηματίσουν ένα εκτεταμένο δίκτυο για την υποστήριξη του IoT. Η κύρια διαφορά μεταξύ των 2 είναι ότι το WSN επιτρέπει διαφορετικές τοπολογίες δικτύων και multi-hop communication ενώ οι συσκευές RFID δεν έχουν δυνατότητες συνεργασίας. Η ενσωμάτωση του WSN και του RFID δίνει την δύναμη στο IoT να ενσωματωθεί στις υπηρεσίες της βιομηχανίας και την χρήση των υπηρεσιών αυτών σε εκτεταμένες εφαρμογές.

Στο πεδίο έρευνας των WSN, η περισσότερη από την δουλειά σε εξέλιξη επικεντρώνεται στην ενεργειακή απόδοση, την συσσωμάτωση και την διοίκηση των δεδομένων. Άλλα θέματα περιλαμβάνουν την ανάπτυξη σε μεγάλη κλίμακα, την σημασιολογική ενσωμάτωση μεγάλου όγκου πληροφοριών και της ασφάλειας. Για να επιτευχθεί το

λεγόμενο ambient intelligence, χρειάζονται σημαντικές καινοτομίες στην τεχνολογία. Αυτές περιλαμβάνουν την διακυβέρνηση, διαλειτουργικότητα, τυποποίηση και την αποδοτική και ασφαλή χρήση πρωτοκόλλων επικοινωνίας. Οι προκλήσεις στην έρευνα περιλαμβάνουν προσαρμογή των συσκευών, αυτόνομη συμπεριφορά τους, ευφυΐα, ευρωστία και αξιοπιστία.

2.2.1.3 Ubiquitous computing

Το IoT είναι επίσης γνωστό ως ubiquitous computing, ambient intelligence και distributed electronics. Στο IoT, ένα μοντέλο ψηφιακού υπολογιστή μπορεί να ενσωματωθεί με φυσικά δίκτυα από αντικείμενα. Το ubiquitous computing είναι δυνατό λόγω των smart devices. Τα smart devices είναι ικανά να ενσωματώσουν συσκευές, οργανισμούς και συστήματα πληροφοριών για διαμοίραση και ανταλλαγή δεδομένων: real-time monitoring και χρησιμοποιώντας οτιδήποτε, οπουδήποτε και οποιαδήποτε επικοινωνία για την αίσθηση, καταγραφή, μέτρηση και ανταλλαγή δεδομένων. Για εξατομικευμένα smart devices, η επίδοσή τους έχει βελτιωθεί αισθητά. Έχουν γίνει αρκετά ισχυρές, ευέλικτες και έξυπνες ώστε να μπορούν να ανταπεξέλθουν σε αλλαγές και πολυπλοκότητα. Για το σύστημα σε δίκτυο, οι απλές συσκευές χωρίς ανώτερες ικανότητες υπολογισμών μπορούν να ενσωματωθούν και έτσι άπλετη πληροφορία να μπορεί να αποκτηθεί για λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο.

2.2.2. Cloud computing



Σχήμα 5: Τα συστατικά του cloud computing

Πηγή: A primer on Cloud Computing, Colin Baird, www.medium.com, 2019

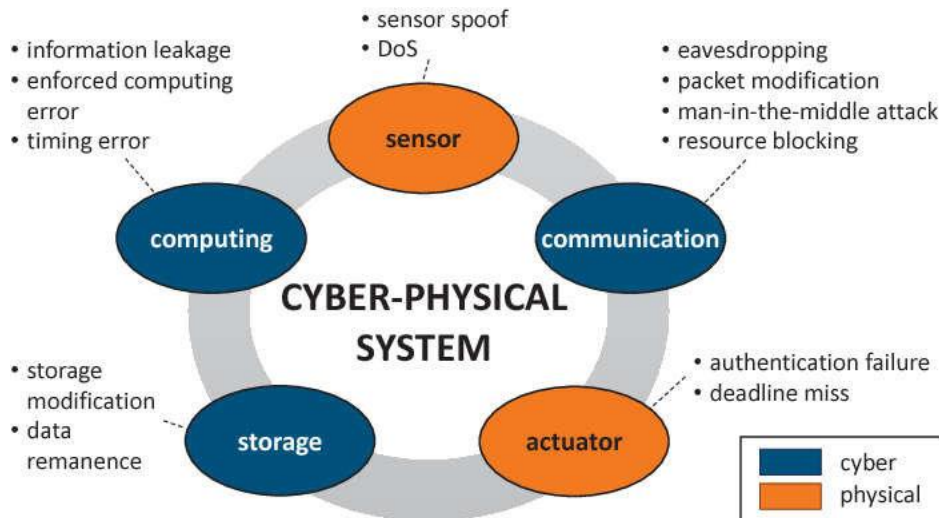


Το cloud computing είναι μια τεχνολογία υπολογισμού η οποία προσφέρει υψηλές επιδόσεις και χαμηλό κόστος. Η τεχνολογία εικονικοποίησης (Virtualization) παρέχει cloud computing με resource sharing, dynamic allocation, flexible extension και άλλα πολλά πλεονεκτήματα. Ένας μεγάλος όγκος από δεδομένα μπορεί να αναφορτωθεί σε ένα κέντρο cloud computing για αποθήκευση και υπολογισμούς, το οποίο διευκολύνει την παραγωγή και την βιομηχανία.

Η παραγωγή με βάση το cloud είναι μια ανερχόμενη τεχνολογία η οποία μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στην επίτευξη του Industry 4.0 και η οποία επιτρέπει την διαμόρφωση και τον προσανατολισμό προς το service με όρους manufacturing, στην οποία η διαμοίραση των συστημάτων και των εξαρτημάτων είναι σημαντική. Οι Mourtzis και Vlachou (2016) έχουν συζητήσει για cloud-based CPS για παραγωγικά συστήματα. Το cloud manufacturing, όπως και το cloud computing, χρησιμοποιεί ένα δίκτυο από πόρους με έναν εξαιρετικά διαμοιρασμένο τρόπο. Το Manufacturing-as-a-Service (MaaS) έχει αρχίσει και λαμβάνει μεγάλη προσοχή στην παραγωγική βιομηχανία. Το cloud design επιτρέπει σε οποιονδήποτε να μεταφορτώσει και να μοιραστεί σχέδια με άλλους. Η Local Motors, μια αμερικανική εταιρεία παραγωγής αυτοκινήτων, επικεντρώθηκε σε χαμηλού όγκου παραγωγή open-source design κινητήρων χρησιμοποιώντας micro-factories. Τα σχέδια τους δημιουργούνται συλλογικά από designers, μηχανικούς, κατασκευαστές και enthusiasts στην ψηφιακή κοινότητα τους. Αυτό είναι ένα παράδειγμα χρήσης cloud design. Τα cloud design και manufacturing θεωρούνται ως το επόμενο πρότυπο στην βιομηχανία και εκτεταμένη έρευνα διεξάγεται στην σημαντικότητα τους για το Industry 4.0.

Η λειτουργία μιας σύγχρονης εταιρείας περιλαμβάνει πολλές δραστηριότητες λήψης αποφάσεων οι οποίες απαιτούν ένα μεγάλο αριθμό από δύσκολους υπολογισμούς δεδομένων. Σε ένα σημείο, οι κατασκευαστικές εταιρείες χρειάζονταν πολλούς υπολογιστικούς πόρους όπως servers για βάσεις δεδομένων και μονάδες για λήψη αποφάσεων. Αυτό δημιούργησε μη αποδοτική ανταλλαγή δεδομένων, χαμηλή παραγωγικότητα και λιγότερο από βέλτιστη χρήση βιομηχανικών πόρων. Το cloud computing παρέχει μια αποτελεσματική λύση για τέτοια προβλήματα. Όλα τα δεδομένα μπορούν να αποθηκευτούν σε δημόσιους ή ιδιωτικούς servers και με αυτό τον τρόπο μπορούν να υποστηριχθούν πολύπλοκες διεργασίες λήψης αποφάσεων από το cloud computing.

2.2.3. Cyber-physical systems



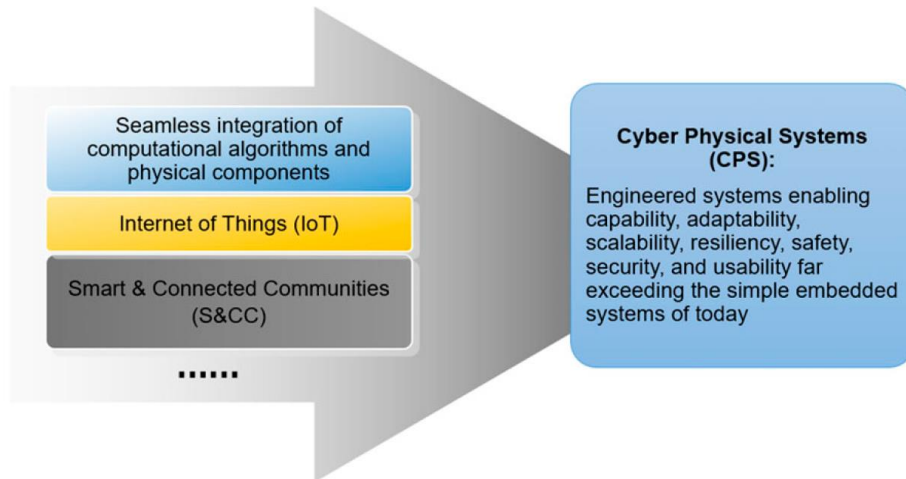
Σχήμα 6: Λειτουργίες και συστατικά των Cyber-Physical Systems

Πηγή: **Personal Data Privacy Challenges of the Fourth Industrial Revolution**, Onik, Kim, Yang, www.researchgate.net, 2019

Τις περασμένες δεκαετίες, συστήματα cyber και physical έχουν γίνει ολοένα και περισσότερο διασυνδεδεμένα. Τα CPS είναι ο πυρήνας του Industry 4.0. Στα CPS, συστατικά physical και software είναι μεταξύ τους συνυφασμένα, και το καθένα λειτουργεί σε διαφορετικά spatial και temporal κλίμακες και αλληλεπιδρούν μεταξύ τους με πάρα πολλούς τρόπους ανάλογα τον τελικό στόχο. Τα CPS παρουσιάζουν έναν μεγαλύτερο βαθμό ενσωμάτωσης και συντονισμού μεταξύ φυσικών και υπολογιστικών στοιχείων. Προκάτοχοι των CPS μπορούν να βρεθούν σε πολλές διαφορετικές περιοχές της βιομηχανίας όπως στην παραγωγή, στην αεροδιαστημική, στην αυτοκινητοβιομηχανία, στα χημικά, στην ενέργεια, στην υγεία και τις μεταφορές. Το US National Science Foundation (NSF) έχει ταυτοποιήσει τα CPS σαν ένα κύριο αντικείμενο για έρευνα. Αρχίζοντας από το τέλος του 2006, το NSF και άλλα κυβερνητικά γραφεία έχουν χορηγήσει αρκετές έρευνες σχετικά με τα CPS.

Τα CPS είναι κατασκευασμένα συστήματα από, και βασίζονται σε ενσωμάτωση υπολογιστικών αλγορίθμων και υλικών στοιχείων. Πρόοδοι στα CPS θα επιτρέψουν ικανότητα, ευελιξία, ασφάλεια, ανθεκτικότητα, προστασία και χρηστικότητα η οποία θα ξεπεράσει κατά πολύ τα απλά συστήματα του παρόντος, όπως δείχνει το επόμενο

σχήμα . Νέα έξυπνα CPS θα οδηγήσουν σε καινοτομίες σε τομείς όπως η παραγωγή, η ενέργεια, οι μετακινήσεις, η γεωργία, η αυτοματοποίηση και η υγεία.



Σχήμα 7: Τεχνολογίες που επιτρέπουν τα Cyber-Physical Systems

Πηγή: International Journal of Production Research

Σύμφωνα με την NSF, έχουμε μια σύγκλιση των τεχνολογιών CPS και έρευνας η οποία υποστηρίζει το IoT και τα Smart & Connected Communities (S&CC). Αυτοί οι τομείς παρέχουν νέες και δημιουργικές προκλήσεις για έρευνα και έτσι προκύπτουν ευκαιρίες για ωρίμανση σε πολλαπλούς χρονικούς ορίζοντες.

Στο Industry 4.0, τα CPS αναμένεται να παρέχουν την βάση για την δημιουργία του Industrial IoT το οποίο συνδυάζεται με τα εξελιγμένα ICT για να κάνουν το Industry 4.0 δυνατό. Τα CPS συνδέουν ψηφιακούς χώρους με την υλική πραγματικότητα ενσωματώνοντας υπολογισμούς, επικοινωνία και αποθηκευτικές ικανότητες. Επιπροσθέτως, μπορούν να το κάνουν σε πραγματικό χρόνο, αποδοτικά, αξιόπιστα και με ασφάλεια. Τα CPS θεωρούνται ότι είναι μια τεχνολογία που επιτρέπει το Industry 4.0 η οποία θα συγχωνεύσει τον ψηφιακό με τον υλικό κόσμο και θα κάνει τα όρια των 2 αυτών κόσμων να εξαφανιστούν. Τα παραγωγικά συστήματα του Industry 4.0 θα είναι συνεργατικά συστήματα που θα περιλαμβάνουν διάφορους φορείς επικοινωνίας συμπεριλαμβανομένου υλικών, λογισμικών και ανθρωπίνων. Αυτό θα οδηγήσει σε μια συμπυξη των τεχνικών και επιχειρηματικών διεργασιών οδηγώντας σε μια νέα βιομηχανική εποχή, τα smart factories. Τα CPS μπορούν να βελτιώσουν της παραγωγικότητα και αποδοτικότητα των πόρων και να επιτρέψουν περισσότερο ευέλικτα μοντέλα οργανωτικού φόρτου. Το Industry 4.0 εφαρμόζει CPS για να χτίσει Cyber-Physical Production Systems (CPPS), τα οποία συνδέουν τον υλικό κόσμο και τον ψηφιακό κόσμο, επιτρέποντας στον εξοπλισμό των smart factories να γίνουν ολοένα και



πιο ευφυή το οποίο τελικά θα οδηγήσει σε smart production. Τα CPPS που θα είναι φτιαγμένα από smart machines, production facilities και logistics systems αναμένεται να επιτρέψουν υψηλότερη για παραγωγή βασισμένη σε ICT.

Η ουσία του Industry 4.0 είναι να εφαρμόζει CPS ώστε να δημιουργούνται smart factories. Με άλλα λόγια, τα smart factories είναι δυνατά λόγω των συστημάτων που βασίζονται σε CPS. Τα CPS μπορούν να παίξουν ένα μεγάλο ρόλο στην παραγωγή σε smart factory και στις παραγωγικές διαδικασίες. Αυτό προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα πραγματικού χρόνου, πόρων και κόστους σε σχέση με τα παραδοσιακά συστήματα παραγωγής. Στο Industry 4.0 το smart factory και το Intelligent production είναι τα 2 κύρια συστατικά. Ένα smart factory επικεντρώνεται σε διαδικασίες και συστήματα intelligent manufacturing αλλά και σε δικτυωμένες, διανεμημένες παραγωγικές εγκαταστάσεις. Σε ένα smart factory οι αλληλεπιδράσεις θεωρούνται ως things-to-things.

Στο Industry 4.0 περίπλοκα προβλήματα μηχανικής πρέπει να λυθούν μέσω συνεργασίας πολύ-πειθαρχικών ομάδων με πολυπληθή computational software και physical systems. Η αποδοτικότητα και η αποτελεσματικότητα της λύσης πολύπλοκων προβλημάτων μηχανικής βασίζεται κυρίως στην στρατηγική συνεργασία, απρόσκοπτη ενσωμάτωση ανόμοιων CPS και ενσωμάτωση ανομοιογενών δεδομένων. Ο Wang (2016) παρουσιάζει ένα πολύ-πειθαρχικό περιβάλλον σχεδιασμού και ανάλυσης (MDA) σε συνδυασμό με την εφαρμογή του στις αναλύσεις της δυναμικής πτήσης αεροσκαφών. Η υποδομή MDA έχει χτίσει ένα cybernetic platform το οποίο ενσωματώνει structure analysis και flow computation systems με πειράματα σε σήραγγες το οποίο επίσης συμβιβάζει πολλά διαφορετικά δεδομένα και πηγές τους που δημιουργούνται από CPS.

Σε μια εφαρμογή, για παράδειγμα, ένας κατασκευαστής αυτοκινήτων έκανε χρήση των cognitive technologies για να βελτιστοποιήσει την διάταξη της γραμμής παραγωγής του ώστε να ισορροπήσει ο φόρτος εργασίας μεταξύ σταθμών, να χρησιμοποιηθεί η εργασία πιο αποδοτικά και να αυξηθεί ο ρυθμός παραγωγής ενώ ταυτόχρονα προσκολλώντας στις πρακτικές Design for Manufacturing (DMF). Η εφαρμογή αυτή επέτρεψε στον κατασκευαστή να μειώσει τα λειτουργικά κόστη και τις επενδύσεις κεφαλαίου κατά περίπου 10%. Σε μια άλλη εφαρμογή, ένας κατασκευαστής αυτοκινήτων χρησιμοποίησε εργαλεία cognitive planning για να βελτιστοποιήσει την χρήση του διαθέσιμου χώρου της εγκατάστασης προκειμένου να καταφέρει να παράγει νέα μοντέλα αυτοκινήτων. Η εφαρμογή αυτή επέτρεψε στον κατασκευαστή να μειώσει τα λειτουργικά κόστη του και τις επενδύσεις κεφαλαίου του κατά περίπου 10%. Σε μια ακόμη εφαρμογή, ένας κατασκευαστής ημιαγωγών κατάφερε να μειώσει τον χρόνο κύκλου κατά 15% ελαττώνοντας τους νεκρούς χρόνους του εξοπλισμού και άρα αυξάνοντας τον βαθμό χρησιμοποίησης των περιουσιακών στοιχείων του.



2.3. Βιομηχανική και εταιρική ενσωμάτωση

Το πρώτο μισό της πρώτης δεκαετίας του 2000, οι επιπτώσεις του ICT στην βιομηχανία ξεπέρασαν τα όρια του προτύπου. Επηρεάζει τις παραγωγικές διεργασίες και την παραγωγή με έναν πρωτοφανή τρόπο. Έχει γίνει ξεκάθαρο ότι η εμφάνιση του Industrial Integration προήλθε από μια νέα εποχή των ICT, η οποία συνέβη στο στάδιο της Τρίτης Βιομηχανικής Επανάστασης. Ο Kaynak προσέφερε ένα παράδειγμα του industrial Integration μέσω του ταξιδιού από τα βιομηχανικά ηλεκτρονικά στην βιομηχανική πληροφορική. Σύμφωνα με τον Kaynak:

Αν κοιτάξουμε τις εξελίξεις στην βιομηχανία που συνέβησαν τον 20ο αιώνα, οι πρώτες μισές θα είναι στον υλικό τομέα με την έννοια ότι οι βελτιώσεις στην παραγωγικότητα και την ποιότητα των προϊόντων θα συμβαίνουν λόγω εξελίξεων στον υλικό τομέα (hardware). Η λειτουργική ταχύτητα και η ακρίβεια των βιομηχανικών μηχανών αυξανόταν σταθερά κυρίως λόγω των βελτιώσεων στην ακρίβεια των μηχανικών μερών. Με την ίδια σκέψη, το 2ο μισό θα μπορούσαμε να πούμε ότι κυριαρχείται από λογισμικά. Το λογισμικό που χρησιμοποιούνταν στους μικρό-επεξεργαστές των συστημάτων ελέγχου ήταν εκείνο που επέτρεψε στην γραμμή παραγωγής να λειτουργήσει με πιο γρήγορους ρυθμούς και μεγαλύτερη ακρίβεια. Ακόμη και οι βελτιώσεις στις παραγωγικές μηχανές (hardware) ήταν λόγω του computer-Aided Design και Manufacturing. Η εποχή των βιομηχανικών ηλεκτρονικών άρχισε περίπου αυτή την περίοδο, με την παραγωγική αυτοματοποίηση με την μορφή των μηχανικών ελέγχων και διακοπών να δίνουν σιγά σιγά την θέση τους σε ηλεκτρονικό έλεγχο και επεξεργασία σημάτων. Οι τελευταίες δεκαετίες του αιώνα, ωστόσο, χαρακτηρίζονται από την σύμπτυξη διαφορετικών τεχνολογιών, το πρώτο παράδειγμα των οποίων είναι (αν πάμε πίσω στην αρχή περίπου του αιώνα) τα electromechanics, μετά τα optoelectronics, έπειτα τα mechatronics, telematics, bioinformatics κτλ. Ως αποτέλεσμα αυτού, τα όρια μεταξύ βιομηχανικών και ακαδημαϊκών αρχών έχουν σχεδόν σβηστεί. Στην νέα χιλιετία, είναι πολύ δύσκολο να θέσουμε σαφή όρια μεταξύ βιομηχανικών τομέων, μεταξύ προϊόντων και υπηρεσιών, μεταξύ παραγωγών και χρηστών, μεταξύ IT, επικοινωνιών, media, consumer electronics, αλλά και μεταξύ IT και non-IT βιομηχανιών. Η περιοχή της βιομηχανικής αυτοματοποίησης και ελέγχου είχε και αυτή μια σειρά από αλλαγές.

Ο Kaynak (2005) εγραψε επίσης “Η περιοχή της βιομηχανικής αυτοματοποίησης και ελέγχου είχε και αυτή μια σειρά από αλλαγές”. Είναι εύκολο να δει κανείς πόσο κυρίαρχο έχει γίνει το IT στα βιομηχανικά ηλεκτρονικά αν κάποιος σκεφτεί τις αλλαγές στον χρόνο που ασχολείται ένας μηχανικός για να σχεδιάσει ένα σύστημα controlled drive.:

Πριν το 1960 80% για τον σχεδιασμό ενός συστήματος ελέγχου με μηχανικούς διακόπτες

Μετά το 1960 80% για τον σχεδιασμό ηλεκτρονικών μετατροπών ισχύος

Μετά το 1980 80% για τον σχεδιασμό ψηφιακού hardware και software



Σήμερα 90% για software και IT

Επί του παρόντος, είναι ξεκάθαρο ότι τη Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση έχει αναδυθεί από την πρόοδο της Τρίτης Βιομηχανικής Επανάστασης, η οποία είναι μια διαδικασία ενσωμάτωσης, αφού τα νέα ICT είναι ικανά να ενσωματώσουν και νέες και κλασικές βιομηχανικές διαδικασίες παραγωγής. Ενώ οι οργανισμοί ξεπερνούν την προώθηση που αφορά τον ψηφιακό μετασχηματισμό του Industry 4.0, έρχονται αντιμέτωποι με την σύνθετη πραγματικότητα της ενσωμάτωσης που αφορά τα νέα CPS και smart factories και τις εφαρμογές του ώστε να προσαρμοστούν ή να αντικαταστήσουν τις core enterprise architectures, υποδομές και διαδικασίες ICT . Οι Colombo, Schleuter και Kircher (2015) και οι Arnold, Kiel και Voigt υποδεικνύουν ότι η αλλαγή από τα παραδοσιακά βιομηχανικά συστήματα στο Industry 4.0 δεν απαιτούν μόνο νέα ICT αλλά και την ανάπτυξη νέων επιχειρηματικών μοντέλων σε επίπεδα και intra και inter-organizational. Στο Industry 4.0, η πραγματοποίηση τριών προτύπων ενσωμάτωσης, horizontal integration, vertical integration και end-to-end integration απαιτεί αλλαγές στο enterprise architecture, στην ενσωμάτωση των ICT και γενικά των διαδικασιών.

Στην παρούσα διαδικασία ενσωμάτωσης στην βιομηχανία, τα CPS αποτελούν ένα πρότυπο μετατόπισης από τα υπάρχοντα επιχειρηματικά και αγοραστικά μοντέλα, ενώ επαναστατικές νέες εφαρμογές, υπηρεσίες και value chains γίνονται διαθέσιμες. Βιομηχανικοί τομείς συμπεριλαμβανομένου του κατασκευαστικού, της αυτοκινητοβιομηχανίας, της ενέργειας και άλλων θα εξελιχθούν από νέα τέτοια μοντέλα value chain στην διαδικασία του industrial integration. Ερευνητές υποδεικνύουν ότι το Industry 4.0 θα γίνει ένα νέο επίπεδο οργανισμού. Το Industry 4.0 θα μετασχηματίσει τους βιομηχανικούς οργανισμούς και τα architectures τους, θα επηρεάσει τις υπάρχουσες υποδομές ICT και επιχειρηματικών διαδικασιών και θα δημιουργήσει δυνατότητες CPS του Industry 4.0 όπου χρειάζονται. Λόγω της άφιξης του Industry 4.0 και τις πρωτοφανείς αλλαγές στα πολύπλοκα βιομηχανικά περιβάλλοντα υπάρχει ανάγκη να αποδεχτούμε νέες αρχιτεκτονικές και επιχειρηματικές διαδικασίες οι οποίες θα βοηθήσουν έναν βιομηχανικό οργανισμό με την προσαρμογή των υπαρχόντων υποδομών ICT, διαδικασιών και σχέσεων για την υποστήριξη της αλλαγής αυτής.

Το Gartner Group περιγράφει την διαδικασία αλλαγής του enterprise architecture (EA) σαν μια που δημιουργεί, βελτιώνει και επικοινωνεί τις βασικές απαιτήσεις, αρχές και μοντέλα που περιγράφουν την μελλοντική κατάσταση των επιχειρήσεων και επιτρέπουν την εξέλιξη της. Τα EA είναι σημαντικά διότι μπορούν να δράσουν ως σχεδιαγράμματα για την κατανόηση και την καθοδήγηση μεγάλων και σύνθετων οργανισμών. Στις ΗΠΑ, το Department of Defence (DoD) και οι οργανισμοί του απαιτούνται από τον νόμο να χτίσουν και να συντηρήσουν EA.

Το enterprise architecture (EA) παρουσιάζει την δομή μιας επιχείρησης και αποτελείται από κύρια επιχειρηματικά συστατικά όπως τους στόχους της, τις οργανωτικές δομές της, τις υποδομές της πληροφορίας και των επιχειρηματικών διεργασιών της. Η επίδοση μιας



επιχείρησης, όπως οι καινοτομίες που συμβαίνουν λόγω αυτής, ο επανασχεδιασμός των επιχειρηματικών διαδικασιών της και η ποιότητα και η επικαιρότητα της ροής πληροφοριών μπορούν να βελτιωθούν αν το σύστημα EA απεικονίζει πιστά τα χαρακτηριστικά και την φύση του οργανισμού.

Οι εφαρμογές ενσωμάτωσης, ενοποίησης και συγχρονισμού έχουν ταυτοποιηθεί ως ένα σημαντικό θέμα στο περιβάλλον του Industry 4.0. Τα όρια των ξεχωριστών εργοστασίων κατά πάσα πιθανότητα θα εξαφανιστούν. Εργοστάσια σε διαφορετικούς βιομηχανικούς τομείς και διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές θα είναι διασυνδεδεμένα ή ενσωματωμένα. Πολυ πιθανόν μια επιχείρηση θα έχει κάποια υπάρχοντα legacy systems τα οποία θα προτίθεται να χρησιμοποιήσει και εντωμεταξύ θα προσθέτει νέες εφαρμογές στην διαδικασία. Για να απευθυνθεί η ενσωμάτωση νέων και υπαρχόντων εφαρμογών, μια λύση ICT, η οποία αναφέρεται ως Enterprise Application Integration (EAI) μπορεί να εφαρμοστεί. Για να ενσωματωθούν νέες δυνατότητες βασισμένες στα CPS στις υπάρχουσες αρχιτεκτονικές, συστήματα και διαδικασίες, ο συντονισμός διαφόρων συστημάτων και εφαρμογών βασίζεται αρκετά στα EA, EI και EAI. Ο Weber τονίζει ότι ένα από τα πιο σημαντικά προβλήματα που σχετίζονται με το Industry 4.0 είναι το γεγονός ότι ο υπάρχων εξοπλισμός δεν είναι ικανός να επικοινωνήσει με τις νέες τεχνολογίες που προτείνονται. Αυτό το πρόβλημα δύναται να ξεπεραστεί με την χρήση συστήματος Enterprise Application Integration (EAI) το οποίο έχει δημιουργηθεί με διαφορετικές μεθόδους και σε διαφορετικές πλατφόρμες και στοχεύει στην σύνδεση υπαρχόντων και νέων συστημάτων διαδικασιών παρέχοντας ένα ευέλικτο και άνετο μηχανισμό διαδικασιών ενσωμάτωσης. Η ενσωμάτωση επιχειρηματικών εφαρμογών περιλαμβάνει ενσωμάτωση ετερογενών πηγών δεδομένων, διαδικασιών, εφαρμογών, πλατφόρμων και προτύπων. Μέσα από την δημιουργία μιας δομής ενσωμάτωσης, το EAI συνδέει διαφορετικά συστήματα και εφαρμογές σε επίπεδα intra-organizational και inter-organizational. Συνδυάζοντας λογισμικά, υλικά και πρότυπα το EAI κάνει την διαμοίραση και την ανταλλαγή δεδομένων και πληροφορίας εύκολη, το οποίο χρειάζεται για το Industry 4.0. Ένα ολοκληρωμένο EAI προσφέρει λειτουργίες όπως ενσωμάτωση διαδικασιών και πληροφορίας οι οποίες θα παρουσιαστούν σε επόμενες ενότητες.

2.3.1 Service-Oriented Architecture (SOA)

Το Service-Oriented Architecture (SOA) είναι τάση που επικρατεί στην ενσωμάτωση ετερογενών συστημάτων. Έχει λάβει σημαντική προσοχή από εταιρείες που ενδιαφέρονται στην ενσωμάτωση του Industry 4.0. Το Industry 4.0 δημιουργεί ένα παραγωγικό cyber-physical περιβάλλον που επιτρέπει την επικοινωνία και αλληλεπίδραση μεταξύ όλων των παικτών στην value-creation chain. Με αυτή την έννοια, τα service-oriented architectures δρουν ως ένα ανερχόμενο πρότυπο για τις επιχειρήσεις ώστε να συγχρονιστούν στο περιβάλλον των συστημάτων ετερογενών πληροφοριών επιτρέποντας την έγκαιρη διαμοίραση της πληροφορίας και την βελτίωση



της ενσωμάτωσης. Συγκρινόμενο με τις αρχιτεκτονικές hierarchical enterprise, το SOA είναι μια αρχιτεκτονική για την ενσωμάτωση πλατφορμών, πρωτοκόλλων και legacy systems το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την βελτίωση της ευελιξίας των συστημάτων και την απρόσκοπτη μετάβαση της αναδιαμόρφωσης. Κάποια πλεονεκτήματα των service-oriented υποδομών και εφαρμογών είναι η απλότητα, η ικανότητα προσαρμογής, η επεκτασιμότητα, η ευελιξία, η αξιοπιστία και η ανεξαρτησία της τοποθεσίας.

Η λειτουργικότητα των SOA είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό για την αύξηση της απόδοσης νέων εφαρμογών. Αν πάρουμε ένα architectural approach, τα SOA παίρνει βιομηχανικές εφαρμογές και τις σπάει σε ξεχωριστές λειτουργίες ως services το οποίο επιτρέπει την αναδρομική συσσωμάτωση των υπηρεσιών σε νέες διαδικασίες και εφαρμογές. Κάθε μια από αυτές τις υπάρχουσες υπηρεσίες μπορεί να είναι κομμάτι λειτουργικότητας μιας εφαρμογής η οποία εκπροσωπεί μια αναδιαμορφωμένη εργασία και μπορεί να ξαναχρησιμοποιηθεί για την δημιουργία νέων εφαρμογών.

Το Industry 4.0 μπορεί να επωφεληθεί από την εφαρμογή της λειτουργικότητας των SOA επειδή η λειτουργικότητα επιτρέπει στις βιομηχανικές εταιρείες να δημιουργήσουν νέες προσαρμοσμένες εφαρμογές ώστε να ικανοποιηθούν οι ποικίλες ανάγκες των καταναλωτών. Οι υπηρεσίες που αναπτύσσονται και διατηρούνται σε ένα μέρος μπορούν να γίνουν διαθέσιμες σε εφαρμογές σε άλλες γεωγραφικές περιοχές σε ένα cyber-physical περιβάλλον. Οι συνεργάτες του supply chain μπορούν να ενσωματώσουν υπηρεσίες από μια απομακρυσμένη τοποθεσία στην δική τους λειτουργικότητα για παραγωγικές διαδικασίες. Έτσι, το SOA έχει αναγνωριστεί ως μια από τις βασικές τεχνολογίες οι οποίες μπορούν να επιτρέψουν την παγκόσμια ενσωμάτωση παραγωγικών συστημάτων. Το SOA διασφαλίζει πρόσβαση σε πληροφορίες για το βιομηχανικό περιβάλλον για τους supply chain συνεργάτες σε διαφορετικά κλιμάκια της value-creation chain και έτσι δημιουργεί ένα πιο ευέλικτο και αποκριτικό περιβάλλον.

Το SOA μπορεί να ελαχιστοποιήσει το κενό μεταξύ του EA analysis και του ICT Infrastructure redesign. Είναι επίσης ένα σημαντικό θεμέλιο για το Business Process Management (BPM) στο περιβάλλον του Industry 4.0. Το BPM υποστηρίζει ταχεία ενορχήστρωση και συναρμολόγηση υπηρεσιών διεργασιών σε μεγαλύτερες, end-to-end διαδικασίες, η οποία είναι μια σημαντικότερη εργασία στο Industry 4.0. Το SOA, σε συνδυασμό με το BPM αναμένεται να εισάγει νέες υποσχόμενες τεχνολογίες για την ανάπτυξη περιβαλλόντων Industry 4.0. Μπορεί να προβλέψουμε ότι η ενσωμάτωση και η εξέλιξη του SOA και του BPM είναι στον ορίζοντα.

2.3.2 Business Process Management (BPM)



Σχήμα 8: Στόχοι του Business Process Management

Πηγή: How to use a Business Process Management Software Tool?, Byrne Anderson, www.businessmonkeynews.com, 2020

Όλοι οι βιομηχανικοί οργανισμοί μπορούν να θεωρηθούν ως επιχειρηματικές διαδικασίες που μετατρέπουν εισόδους (που περιλαμβάνουν υλικά, εργατοώρες, χρήση εγκαταστάσεων και εξοπλισμού) σε προϊόντα και υπηρεσίες ώστε να ανταπεξέλθουν στις ανάγκες των καταναλωτών. Το Industry 4.0 παρουσιάζει δυνατότητες οι οποίες μπορεί να αναστατώσουν τις παραδοσιακές παραγωγικές μεθόδους που πολλές βιομηχανικές εταιρείες έχουν εφαρμόσει με δικό τους σχεδιασμό και μεθόδους ελέγχου. Σε ένα cyber-physical οικοσύστημα, οι επιχειρηματικές διαδικασίες θα αλλάξουν ριζικά. Η αρχιτεκτονική μιας εταιρείας θα απαιτεί νέα επιχειρηματικά μοντέλα.

Το BPM είναι ιδιαίτερα σχετικό με το Production and Operations Management (POM) επειδή το POM εφαρμόζει μεθόδους για την ανάλυση, μέτρηση, μοντελοποίηση, αυτοματοποίηση, βελτιστοποίηση και βελτίωση παραγωγικών διαδικασιών. Σε ένα οικοσύστημα Industry 4.0 το Business Process Management θα στοχεύει στην υποστήριξη των στρατηγικών στόχων του οργανισμού, στην ευθυγράμμιση των πόρων μέσα σε μια εταιρεία, μεταξύ εταιρειών ή και ακόμα κατά μήκος ολόκληρης της εφοδιαστικής αλυσίδας. Αυτή η προσέγγιση του Business Process Management θα



βελτιώσει την συνολική επίδοση του οργανισμού και θα αυξήσει την αποδοτικότητα, την αποδοτικότητα και την ευελιξία των λειτουργιών της εταιρείας.

Τα Modelling business and manufacturing processes είναι πολύ σημαντικά για ένα περιβάλλον Industry 4.0 επειδή οι παραγωγικές διαδικασίες θα υποστηρίζονται ψηφιακά με την χρήση artificial intelligence, ρομπότ, machine learning, cloud computing, RFID και blockchain. Το BPM βοηθά στην κατανόηση της διαδικασίας μιας νέας πλατφόρμας στο πλαίσιο του Industry 4.0. Για να γίνουν κατανοητές και να βελτιστοποιηθούν οι παραγωγικές διαδικασίες, η μεταβλητότητα σε μια παραγωγική διαδικασία πρέπει να ελέγχεται σε κάθε βήμα της. Όλες οι νέες λεπτομέρειες της παραγωγικής διαδικασίας που σχετίζονται με τα επιθυμητά αποτελέσματα της διαδικασίας θα πρέπει να συλλέγονται, να αναλύονται και να βελτιστοποιούνται. Ο στόχος του Industry 4.0 θα επεκταθεί περαιτέρω από το horizontal και vertical integration μέσα σε έναν παραγωγικό οργανισμό. Ο στόχος αυτός θα είναι η δημιουργία απρόσκοπτης ενσωμάτωσης των διαδικασιών σε ένα smart cyber-physical factory.

Το Workflow Management θεωρείται ως ένας αποδοτικός τρόπος ελέγχου, παρακολούθησης και βελτιστοποίησης των επιχειρηματικών διαδικασιών με την υποστήριξη των ICT. Η ιδέα του workflow αρχικά αναπτύχθηκε για να παρακολουθεί πληροφορίες που σχετίζονται με τις διαδικασίες και την κατάσταση κάθε βήματος της διαδικασίας η οποία συμβαίνει σε έναν οργανισμό. Το workflow management έχει αναγνωριστεί ως ένα πολύτιμο μέτρο που επιτρέπει το process management, process reengineering και τελικά την αυτοματοποίηση των επιχειρηματικών διαδικασιών των οργανισμών. Αυξημένη απόδοση διεργασιών μέσω βελτιωμένης διαθεσιμότητας πληροφορίας, προτυποποίησης διαδικασιών, ανάθεση εργασιών σε αυτοματοποιημένη βάση και έλεγχο διαδικασιών χρησιμοποιώντας συγκεκριμένα εργαλεία management είναι κάποια από τα χρήσιμα χαρακτηριστικά του Workflow Management System (WfMS).

Η πιθανή συμβολή του workflow management σε ένα περιβάλλον Industry 4.0 είναι η αυτόματη ανίχνευση πληροφορίας σχετικά με τις διαδικασίες και να την κάνει διαθέσιμη για ολόκληρο το σύστημα με σκοπό το sourcing, production, inventory management, order management, demand sensing, quality control και process reengineering. Διασυνδέοντας επιχειρηματικές διαδικασίες μεταξύ συστημάτων και οργανισμών στο Industry 4.0 θα παρείχε προφανή πλεονεκτήματα όπως υψηλότερο βαθμό ενσωμάτωσης, διευκόλυνση της επικοινωνίας, υψηλότερο throughput σε ένα συγκεκριμένο χρόνο και μεγαλύτερη διαφάνεια των διεργασιών. Και οι 2 αρχιτεκτονικές workflow (intra-organizational και inter-organizational) υποστηρίζουν το Industry 4.0 αφού επικεντρώνονται όχι μόνο σε ανεξάρτητες εταιρείες αλλά και σε συνεκτικές επιχειρηματικές διαδικασίες μεταξύ πολλαπλών εταιρειών.

Μεταξύ των τεχνικών μοντελοποίησης διαδικασιών, οι περισσότερες έχουν δείξει την ικανότητα της χρήσης γραφικών απεικονίσεων και επίσημης σημασιολογίας ώστε να



μοντελοποιήσουν workflows σε intra-organizational context. Επί του παρόντος, υπάρχει μια επείγουσα ανάγκη για μετάφραση μεταξύ διαφόρων μοντέλων έτσι ώστε τα συστήματα workflow management να μπορούν να συνεργαστούν στο περιβάλλον του Industry 4.0. Αυτό είναι ένα ενδιαφέρον θέμα το οποίο δεν έχει λάβει πολλή προσοχή. Επιπλέον έρευνα θα μπορούσε να οδηγήσει σε ισχυρές μεθόδους οι οποίες θα επέτρεπαν την ενσωμάτωση ετερογενών μοντέλων σε ένα κοινό πλαίσιο στο περιβάλλον του Industry 4.0.

2.3.3 Information integration and interoperability

Οι βιομηχανίες έχουν δει πολλές αλλαγές την τελευταία δεκαετία: συγκεκριμένα μια δεκαετία στην οποία η κύρια αλλαγή είναι ότι οι βιομηχανίες έγιναν περισσότερο διασυνδεδεμένες κατά την διαδικασία του industrial integration. Στα πρόσφατα χρόνια, η ιδέα της ενσωμάτωσης έχει αναγνωριστεί σαν μια κύρια ψηφιακή αλλαγή. Όσον αφορά στην επάρκεια της ενσωμάτωσης, οι Subrahmanian και Rachuri (2008) ανέφεραν πολλές ασυμβατότητες στην ανταλλαγή πληροφορίας και τον συγχρονισμό μέσα στις βιομηχανίες. Για παράδειγμα, οι καθυστερήσεις που συνέβησαν κατά την παραγωγή και συναρμολόγηση των Airbus 380 και των Boeing 787 είναι παραδείγματα προβλημάτων αυτής της φύσεως. Ο Regli (2007) υπέδειξε ότι η ενσωμάτωση πληροφορίας μεταξύ βιομηχανικών τομέων είναι ένα όνειρο. Ο Regli και άλλοι ερευνητές έχουν υποδείξει ότι το βασικό πρόβλημα με αυτή την άποψη είναι η “εμφανής έλλειψη της θεμελιώδους προόδου σε περιοχές της ενσωμάτωσης πληροφορίας”.

Ένα από τα 5 κύρια χαρακτηριστικά του Industry 4.0 είναι η ενσωμάτωση (integration). Επιπροσθέτως, η βασική ιδέα πίσω από την διαλειτουργικότητα είναι επίσης η ενσωμάτωση, η οποία είναι και το κύριο χαρακτηριστικό του IoT και των CPS. Στο Industry 4.0, υπάρχουν τρεις κύριοι τύποι integration: horizontal integration, vertical integration και end-to-end integration. Οι τρεις αυτοί τύποι έχουν χαρακτηριστεί ως εξής στο πλαίσιο του Industry 4.0: (1) Horizontal Integration: η ενσωμάτωση διαφόρων συστημάτων IT που χρησιμοποιούνται στα διαφορετικά στάδια των παραγωγικών και business planning διαδικασιών μέσα σε μια εταιρεία (πχ inbound logistics, παραγωγή, outbound logistics, marketing) και μεταξύ διαφορετικών εταιρειών (value networks). (2) Vertical Integration: η ενσωμάτωση διαφόρων IT συστημάτων στα διαφορετικά ιεραρχικά επίπεδα (πχ επίπεδο ενεργοποιητή και αισθητήρα, παραγωγικό και εκτελεστικό επίπεδο, επίπεδο production management και corporate planning επίπεδο) για την παρουσίαση μιας end-to-end λύσης. (3) End-to-end digital integration: η ενσωμάτωση δια μέσου της μηχανικής διαδικασίας έτσι ώστε ο ψηφιακός και ο υλικός κόσμος να ενσωματωθούν καθ’όλη την διάρκεια της value chain ενός προϊόντος και μεταξύ διαφορετικών εταιρειών ενώ παράλληλα ενσωματώνουν τις ανάγκες των πελατών. Το Industry 4.0 αναμένεται να



καταφέρει και τα 3 integrations που αναφέρονται προηγουμένως αλλά και επίσης hardware integration, software integration και data and information integration. Αποδοτική ενσωμάτωση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο στο Industry 4.0 και τις παραγωγικές διαδικασίες του απαιτείται, όπως και η υποστήριξη της αυτοματοποίησης. Η ικανότητα να χρησιμοποιείται κατάλληλα η ενσωμάτωση ώστε να πετυχαίνεται end-to-end συντονισμός δραστηριοτήτων μεταξύ των παραγωγικών οικοσυστημάτων στο Industry 4.0 θα παρέχει την απαιτούμενη τεχνολογική υποστήριξη για να επιτευχθούν οι προαναφερθέντες στόχοι. Η νέα τάση είναι ότι οι εταιρείες κάθε μεγέθους που θα χρησιμοποιούν το Industry 4.0 θα χρειαστεί να μοιράζονται και να ανταλλάσσουν δεδομένα. Τα συστήματα του Industry 4.0 θα πρέπει να είναι διασυνδεδεμένα και οι εφαρμογές από τις οποίες θα προκύπτει η πληροφορία θα πρέπει να στοχεύουν να εργάζονται μαζί. Η ζήτηση για ενσωμάτωση έχει ανέβει, ως αποτέλεσμα της πρότασης του Industry 4.0, και μπορεί να επιτευχθεί χάρη στις προόδους στα ICT συμπεριλαμβανομένου του industrial information integration.

Στο industry 4.0 η ιδέα της διαλειτουργικότητας συμπεριλαμβάνει την ικανότητα του Internet of Services, των ανθρώπων και των οργανισμών να συνδέονται και να επικοινωνούν μέσω IoT και CPS, καθώς και την διαλειτουργικότητα των συστημάτων που ικανοποιούν ροές δεδομένων. Πρόσφατες προόδους στο industrial information integration προσφέρουν ισχυρές προσεγγίσεις για αποδοτική και αποτελεσματική ενσωμάτωση, μια βασική προϋπόθεση για την επιτυχία του Industry 4.0. Τα παρόντα βιομηχανικά συστήματα μπορεί να περιορίζονται από την πολυπλοκότητα των σχετικών τεχνολογιών ή την έλλειψη τεχνικών και αυτό είναι σημαντικό επειδή η επιτυχής εκτέλεση του Industry 4.0 βασίζεται σε πιο περίπλοκη ενσωμάτωση από αυτή που είναι ήδη διαθέσιμη.

2.4. Θεμελιώδεις Αρχές Σχεδιασμού

Το concept του Industry 4.0 βασίζεται κυρίως σε 6 θεμελιώδεις αρχές σχεδιασμού. Αυτές προσφέρουν ένα γενικό πλαίσιο στις βασικές ανάγκες του Industry 4.0 και συζητούνται εδώ με συγκεκριμένες αναφορές στο smart manufacturing

1. **Interoperability:** η ικανότητα διαφόρων Manufacturing CPS, μηχανών, ρομπότ και εργατών να συνδεθούν και να επικοινωνήσουν μέσω ενός δικτύου όπως το IoT και το IoS
2. **Service Oriented:** η ικανότητα να παρουσιάζονται οι λειτουργίες των παραγωγικών διαδικασιών σαν ένα σετ από υπηρεσίες. Αυτές οι υπηρεσίες θα πρέπει να είναι προσβάσιμες μέσω του IoS από άλλα συστήματα. Αυτές οι



- υπηρεσίες μπορεί να προσφερθούν εσωτερικά στην ίδια βιομηχανική μονάδα αλλά και εξωτερικά πέρα από τα σύνορα της βιομηχανικής μονάδας
3. **Decentralization:** η ικανότητα διαφόρων παραγωγικών συστημάτων να πάρουν αποφάσεις μόνα τους. Αυτό απαιτεί την αποφυγή χρήσης κεντρικών ελέγχων. Παρόλα αυτά, τα παραγωγικά συστήματα μπορούν να επωφεληθούν από άλλες εγκαταστάσεις και συστήματα όπως cloud manufacturing και fog manufacturing, πρέπει να μπορούν να είναι ικανά να πάρουν αποφάσεις τοπικά για να μπορούν να συνεχίσουν τις διεργασίες τους
 4. **Real Time Capability:** η ικανότητα άμεσης συλλογής και ανάλυσης παραγωγικών δεδομένων ώστε οι σωστές αποφάσεις να παρθούν γρήγορα. Αυτό επιτρέπει τον ακριβή έλεγχο μηχανών και των λειτουργιών τους και άρα την γρήγορη ρύθμιση τους. Διευκολύνει, ακόμη, την ανακάλυψη εσφαλμένων παρατηρήσεων συμπεριλαμβανομένου και σφαλμάτων των παραγωγικών μηχανών, λανθασμένων αλληλεπιδράσεων μεταξύ μηχανών και εργατών αλλά και μειώσεις στην παραγόμενη τελική ποιότητα και αξιοπιστία.
 5. **Modularity:** η ικανότητα ευελιξίας, αλλαγής, επέκτασης και βελτίωσης ατομικών μονάδων ώστε να πληρούν νέες προϋποθέσεις στις υπάρχουσες παραγωγικές διαδικασίες ή το κτίσιμο νέων διαδικασιών
 6. **Virtualization:** η ικανότητα παρακολούθησης παραγωγικών διεργασιών έτσι ώστε ψηφιακά αντίγραφα (digital twins) να μπορούν να δημιουργηθούν για αυτές τις διεργασίες. Αυτά τα ψηφιακά αντίγραφα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως προσομοίωση και μέτρηση περιβαλλόντων για μελλοντικές βελτιώσεις παραγωγικών διεργασιών.

Πετυχαίνοντας αυτές τις αξίες είναι το κλειδί για μια επιτυχημένη εκτέλεση και ανάπτυξη χρήσιμων και ωφέλιμων εφαρμογών του smart manufacturing. Έτσι, είναι σημαντική η μελέτη των λεπτομερειών των παραπάνω αρχών στον σχεδιασμό αυτών των εφαρμογών και η εύρεση κατάλληλων τεχνικών και τεχνολογιών που μπορούν να διευκολύνουν την ανεμπόδιστη ενσωμάτωση όλων των εφαρμογών και συστατικών του smart manufacturing.

3. Τα smart factories στην εποχή του industry 4.0



Σχήμα 9: Παρουσίαση smart factory

Πηγή: www.internetofbusiness.com

Παρακάτω περιγράφονται τα 4 βασικά είδη smart factories στην εποχή του Industry 4.0.

3.1 Smart automated and robotized plants

Ένα πρώιμο παράδειγμα ενός έξυπνου, αυτοματοποιημένου και ρομποτικού εργοστασίου μπορεί να θεωρηθεί το εργοστάσιο παραγωγής του μοντέλου BMW i3 επειδή παρουσιάζει μεγάλο βαθμό ενσωμάτωσης και αυτοματοποίησης στις παραγωγικές διαδικασίες του. Τα ρομπότ εκτελούν τις διαδικασίες τους σε κάθε στάδιο της παραγωγής, συμπεριλαμβανομένου του body shop, του print shop και του assembly shop. Η παρακολούθηση και η ανίχνευση σε πραγματικό χρόνο της τοποθεσίας του ημιέτοιμου προϊόντος πραγματοποιείται μέσω τεχνολογίας RFID. Οι εργάτες έχουν tablets τα οποία χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο και την πρόσβαση σε κάθε πληροφορία. Τέλος, το factory management είναι συγκεντρωμένο σε ένα κεντρικό κτήριο το οποίο δρα ως το “κεντρικό νευρικό σύστημα”.



3.2 Digital mass-individualized factories

Ένα παράδειγμα μιας σύγχρονης εταιρείας με μαζικά εξατομικευμένα εργοστάσια (τα οποία επιτρέπουν την μαζική παραγωγή παρόμοιων προϊόντων με μεγάλη όμως παραμετροποίηση από τον πελάτη) είναι η Adidas. Η ιστοσελίδα του κατασκευαστή επιτρέπει στους πελάτες να σχεδιάσουν παπούτσια με το δικό του στυλ. Η παραμετροποίηση ξεκινά με την επιλογή του βασικού μοντέλου παπουτσιού και του τύπου του. Έπειτα, ο χρήστης επιλέγει χρώμα από μια τεράστια γκάμα διαθέσιμων χρωμάτων, χρωματικών διακοσμήσεων, τύπο υλικού, τύπο σόλας και διάφορα άλλα αξεσουάρ όπως κορδόνια κλπ. Η όλη διαδικασία της εξατομίκευσης επιτρέπει στον χρήστη να δημιουργήσει το ιδανικό του παπούτσι και επίσης να έχει ένα προϊόν διαφορετικό από κάθε άλλο, δηλαδή που δεν υπάρχει σε μαζική παραγωγή. Αυτή η λύση επιτρέπει στους πελάτες να επιλέξει σχέδια και παραλλαγές που δεν τις προσφέρει από πριν ο σχεδιαστής.

3.3 E-plants in a box-mobile modular factories

Τα Mobile modular plants μπορούν να μετακινηθούν από σημείο σε σημείο και άρα επιτρέπουν μεγαλύτερη ελαστικότητα και περιθώρια κέρδους. Ένα προηγμένο τέτοιο εργοστάσιο προτάθηκε από την Nestle σε συνεργασία με την Concept Consult Architects. Το πρότζεκτ αυτό περιγράφει έναν νέο τύπο modular factory που μπορεί να χτιστεί στον μισό χρόνο από ένα παραδοσιακό εργοστάσιο και με το 50% με 60% του κόστους. Η ιδέα αυτή είναι μοναδική όσον αφορά στους όρους value chain, στηρίζεται στις αρχές του Industry 4.0 και είναι πλήρως διαμερισματοποιημένο και αποκεντρωμένο. Προτάθηκαν, επίσης, πρότυπα στοιχεία κτισίματος για τους παραπάνω στόχους. Ηλιακά πάνελ για θέρμανση νερού και παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, έτοιμα έπιπλα για χώρους όπως καντίνες, χολ κ.ά. Η προτυποποίηση επιτρέπει την προτυποποίηση σε τομείς όπως ο σχεδιασμός και η κατασκευή παραγωγικών εργοστασίων σε χώρες οι οποίες έχουν έλλειψη βιομηχανικών υποδομών. Σε τέτοιες χώρες, αυτή η ιδέα θα βοηθήσει την εταιρεία να δημιουργήσει νέες θέσεις εργασίες σε τοπικό επίπεδο και άρα φέρνοντας την πιο κοντά σε πιθανούς πελάτες και πρώτες ύλες. Αυτή η ιδέα παραγωγής πρότυπων εργοστασίων έχει αναπτυχθεί μέχρι τώρα ώστε να εκτελεί απλές διεργασίες όπως η ανασυσκευασία και η ανάμειξη στερεών τροφίμων.



3.4 Handmade production using digitization

Η ιδέα της χειρωνακτικής παραγωγής χρησιμοποιώντας ψηφιοποίηση εφαρμόζεται σε προϊόντα πολύ υψηλής ποιότητας που φτιάχνονται σε μικρές ποσότητες. Αυτά τα προϊόντα μπορεί να ανήκουν σε ένα μικρό κομμάτι της αγοράς (niche market segments) όπως πχ αεροναυτική, στρατός αλλά και προϊόντα πολυτελείας όπως αυτοκίνητα πολυτελείας. Τα εργοστάσια που χρησιμοποιούν χειρωνακτική παραγωγή με την βοήθεια της ψηφιοποίησης προσλαμβάνουν υψηλής κλάσης εργαζόμενους οι οποίοι είναι ικανοί να συνδυάσουν χειρωνακτική εργασία και την τελευταία λέξη της τεχνολογίας. Αδιαμφισβήτητα, η χρήση προηγμένων τεχνολογιών σε ένα τέτοιο είδος εργοστασίου επιτρέπει την αύξηση της ασφάλειας εργασίας. Κομμάτια του εργοστασίου μπορούν να αντικαταστήσουν τον ανθρώπινο φόρτο σε συγκεκριμένες διεργασίες στις οποίες είτε ένα ρομπότ είναι πιο αποδοτικό από τον εργαζόμενο είτε αυτές είναι επικίνδυνες για την υγεία του εργαζόμενου όπως για παράδειγμα η διαδικασία βαφής σε ένα εργοστάσιο αυτοκινήτων. Η τεχνολογία και η υποστήριξη που προσφέρει αδιαμφισβήτητα διευκολύνει την οργάνωση της εργασίας και την διακίνηση πληροφοριών και έτσι μειώνει τον απαιτούμενο χρόνο παραγωγής και άρα το τελικό κόστος και συνεπώς επιτρέπει στον κατασκευαστή να κατέχει ένα πολύ υψηλό επίπεδο ποιότητας ώστε να ικανοποιεί και τους πιο απαιτητικούς πελάτες.



4. Ερευνητικές δυσκολίες και κατευθύνσεις

Είναι ευρέως αποδεκτό ότι οι τεχνολογίες και εφαρμογές industry 4.0 είναι ακόμα σε πρώιμο επίπεδο. Τα πιθανά οικονομικά οφέλη του Industry 4.0 μπορούν να αντισταθμιστούν από μερικές μεγάλες προκλήσεις. Κάποιες από αυτές τις προκλήσεις έχουν να κάνουν με επιστημονικά, τεχνολογικά και κοινωνικά προβλήματα συμπεριλαμβανομένου των προκλήσεων των τεχνικών πτυχών της τεχνολογίας όπως ασφάλεια, ιδιωτικότητα και τυποποίηση. Γίνονται, ωστόσο, προσπάθειες για να λυθούν ξεπεραστούν οι προκλήσεις.

4.1 Τεχνικές δυσκολίες

Παρόλο που έχουν γίνει προσπάθειες για να βελτιωθούν οι τεχνολογίες του Industry 4.0, υπάρχουν ακόμα τεχνικές δυσκολίες:

- (1) Για πολλές κατασκευαστικές εταιρείες, οι υπάρχουσες υποδομές ICT δεν είναι έτοιμες να υποστηρίξουν την ψηφιακή αλλαγή στο Industry 4.0 η οποία στοχεύει στο horizontal integration, vertical integration και end-to-end integration. Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα οι Colombo, Schleuter και Kircher αλλά και οι Arnold, Kiel και Voigt στηρίζουν ότι για τη μετάβαση των παραδοσιακών βιομηχανικών περιβαλλόντων στα οικοσυστήματα Industry 4.0 πρέπει να αναπτυχθούν νέα ICT καθώς και νέα επιχειρηματικά μοντέλα σε intra-organizational και inter-organizational επίπεδα.
- (2) Η επεκτασιμότητα (scalability) είναι μια μεγάλη πρόκληση σε ένα περιβάλλον Industry 4.0. Καθώς ολοένα και περισσότερα υλικά αντικείμενα συνδέονται στο παραγωγικό δίκτυο προκύπτουν προβλήματα επεκτασιμότητας. Δεδομένου ότι τα βιομηχανικά δίκτυα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μια μεγάλη γκάμα από μεγάλο όγκο δεδομένα και πληροφορίες, ο αριθμός των πραγμάτων (things) θα αυξηθεί εκθετικά.
- (3) Τα data science και data analytics θα παίξουν σημαντικό ρόλο στο περιβάλλον του Industry 4.0. Με τον τεράστιο αριθμό πραγμάτων που θα συνδέονται στο διαδίκτυο, ένας μεγάλος αριθμός από δεδομένα σε πραγματικό χρόνο θα δημιουργούνται αυτόματα από τα συνδεδεμένα πράγματα. Τα ανεπεξέργαστα δεδομένα μπορεί να μην παρέχουν αξία με νόημα στην λήψη αποφάσεων ενός cyber-physical παραγωγικού δικτύου εκτός αν αυτά τα δεδομένα αναλυθούν και χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά για παραγωγικές αποφάσεις. Για να αναλυθεί τόσο μεγάλος όγκος δεδομένων που παράγονται από εφαρμογές IoT και ICT, θα πρέπει να αναπτυχθούν και να χρησιμοποιηθούν τεχνικές data science και



data analytics. Το κτίσιμο πρακτικών εφαρμογών όπου big data από μια ποικιλία από ετερογενείς πηγές μπορούν να ενσωματωθούν δύναται να είναι μια δύσκολη πρόκληση.

- (4) Προκλήσεις σχετικά με IoT. Το IoT είναι ένα πολύπλοκο ετερογενές δίκτυο το οποίο περιλαμβάνει την σύνδεση μεταξύ πολλών τύπων δικτύων μέσω πολλών διαφορετικών τεχνολογιών. Μέχρι και σήμερα, δεν υπάρχει μια ευρέως αποδεκτή πλατφόρμα η οποία να μπορεί να δεχτεί την ποικιλία των επικοινωνιακών τεχνολογιών και εφαρμογών στο δίκτυο. Συχνές καθυστερήσεις στην επεξεργασία δεδομένων καθώς και άλλα προβλήματα στην επικοινωνία θα εμφανιστούν όταν ένας μεγάλος όγκος από δεδομένα θα εκπέμπονται ταυτόχρονα στο δίκτυο. Η δυνατότητα να συλλεχθούν τόσα δεδομένα από τόσες διαφορετικές συσκευές και να μπορούν να επεξεργαστούν αποδοτικά στο δίκτυο IoT είναι μια μεγάλη πρόκληση. Χρειάζεται αρκετή ακόμα έρευνα για να ξεπεραστούν τα εμπόδια της διοίκησης συνδεδεμένων συσκευών ώστε να μπορεί να διευκολυνθεί η συνεργασία μεταξύ διαφορετικών οντοτήτων σε μια κοινή πλατφόρμα. Η διοίκηση της επικοινωνίας με συσκευές, της ταυτοποίησης τους και της βελτιστοποίησης τους σε αρχιτεκτονικό επίπεδο και επίπεδο πρωτοκόλλου χρειάζεται και αυτή έρευνα. Η ενσωμάτωση του IoT με τα υπάρχοντα συστήματα ICT η τα legacy systems για να σχηματιστεί μια κοινή υποδομή πληροφοριών απαιτείται αφού το IoT αναπτύχθηκε με βάση το παραδοσιακό περιβάλλον ICT και επηρεάζεται από κάθε τι που συνδέεται στο δίκτυο.

4.2 Τυποποίηση

Το Industry 4.0, σύμφωνα με την GTAI, έχει την δυνατότητα να γίνει η παγκόσμια “γλώσσα” της παραγωγής. Κάθε διεργασία που χρησιμοποιείται σε ένα σύστημα Industry 4.0 ενσωματώνει υπάρχουσες και δοκιμασμένες τεχνολογίες με νέες τεχνολογίες και εφαρμογές για να λύσει βιομηχανικά προβλήματα. Έτσι, η ανάπτυξη μιας τυποποίησης για την βιομηχανία είναι απαραίτητη. Ένα παγκόσμιο επίπεδο προσπάθειας χρειάζεται για να επιτευχθεί μια διαδικασία τυποποίησης ώστε να διασφαλιστεί επιτυχημένη ενσωμάτωση των στρατηγικών στόχων του Industry 4.0. Χρειάζονται διεθνείς προσπάθειες συνεργασίας και ένα system-level perspective για να επιτευχθεί η τυποποίηση του Industry 4.0. Για παράδειγμα, ένα σετ από όμοια τεχνικά στάνταρ χρειάζονται έτσι ώστε ένα δίκτυο που συνδέει διαφορετικά εργοστάσια και εταιρείες να μπορεί να επιτευχθεί. Επί του παρόντος, η τυποποίηση του Industry 4.0 έχει αρχίσει καλά. Οι ερευνητές έχουν δώσει έμφαση στα προβλήματα της τυποποίησης που αφορούν τεχνολογίες όπως IoT και CPS τα οποία υποστηρίζουν το Industry 4.0.



Κάποιες προσπάθειες τυποποίησης έχουν σημειωθεί. Για παράδειγμα, το Reference Architecture Model for Industry 4.0 (RAMI 4.0), μια σημαντική τυποποίηση για το Industry 4.0, έχει αναπτυχθεί από την German Electrical and electronic Manufacturers' Association . Το RAMI 4.0 παρουσιάζει ένα σύστημα συντεταγμένων τριών διαστάσεων που περιγράφει όλα τα σημαντικά συστατικά του Industry 4.0. Μέσα σε αυτό το σύστημα, πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μπορούν να σπάσουν σε υποσυστήματα (subsystems, clusters, modules). Μια άλλη προσπάθεια για ανάπτυξη τυποποίησης για το industry 4.0 είναι η εισαγωγή του Industrial Internet reference Architecture (IIRA). Το IIRA είναι μια standards-based open αρχιτεκτονική που έχει εισαχθεί από την Industrial Internet Consortium (IIC). Ο στόχος του IIRA είναι να δημιουργηθεί η δυνατότητα να γίνουν managed η interoperability, οι map applicable τεχνολογίες και το guide technology and standards development. Το IIRA υποστηρίζει πολλές πτυχές της τυποποίησης. Συμπεριλαμβάνει (1) ένα ποικίλο σετ από τύπους συστημάτων (2) πολλά configurations (3) συνδέσεις με πολλούς διαφορετικούς τρόπους και (4) πολλές πτυχές των βιομηχανιών και των τομέων τους. Πρόσφατα εκδόθηκε η έκδοση 1.8 του IIRA. Αυτή η νέα έκδοση ενσωμάτωσε πολλές τεχνολογίες, ιδέες και εφαρμογές του Industrial Internet of Things (IIoT).

Η ταχεία ανάπτυξη και εξέλιξη του IoT έχει κάνει την τυποποίηση πιο δύσκολη. Παρόλα αυτά, η τυποποίηση παίζει σημαντικό ρόλο στην περαιτέρω ανάπτυξη και την διάδοση του IoT. Η τυποποίηση στο IoT στοχεύει κυρίως στην βελτίωση της διαλειτουργικότητας διαφορετικών συστημάτων και εφαρμογών. Χρειάζονται επείγοντως προσπάθειες για τυποποίηση ώστε να διασφαλιστεί η ανταλλαγή πληροφοριών συσκευών και εφαρμογών από διαφορετικές χώρες. Διάφορες τυποποιήσεις όπως για επικοινωνία, ταυτοποίηση και για ασφάλεια που χρησιμοποιούνται στο IoT μπορεί να είναι τα εναύσματα για την διάδοση των τεχνολογιών του IoT. Συγκεκριμένα προβλήματα στην τυποποίηση του IoT περιλαμβάνουν το πρόβλημα της διαλειτουργικότητας (semantic interoperability), προβλήματα με radio access levels και προβλήματα ασφάλειας και ιδιωτικότητας.

4.3 Ασφάλεια της πληροφορίας και προστασία της ιδιωτικότητας.

Καθώς ο υλικός και ο ψηφιακός κόσμος ενσωματώνονται, τα προβλήματα της ασφάλειας θα γίνονται ολοένα και περισσότερο σοβαρά στο περιβάλλον του Industry 4.0. Το Industry 4.0 απαιτεί έναν αυξανόμενο βαθμό information security και privacy protection. Υπάρχουν τεχνολογίες που είναι διαθέσιμες για την προστασία οργανωτικών πληροφοριών αλλά πιθανόν να μην είναι αρκετές για βιομηχανικές εφαρμογές οι οποίες έχουν τις δικές τους προϋποθέσεις για ασφάλεια και προστασία.

Για να διασφαλιστεί η χρήση νέων τεχνολογιών και υπηρεσιών IoT, η ασφάλεια της πληροφορίας και η προστασία της ιδιωτικότητας των δεδομένων θα πρέπει να είναι



σημαντικές πτυχές της μελλοντικής έρευνας στο πεδίο αυτό. Τα δύσκολα προβλήματα στην ασφάλεια του IoT βασίζονται στην κινητικότητα του και στην πολυπλοκότητα του. Όταν οι υπάρχουσες τεχνολογίες κρυπτογράφησης που δανείζονται από τα WSN και άλλα δίκτυα χρησιμοποιούνται στο IoT, πρέπει να ελέγχονται κατάλληλα και να αναλύονται σωστά ώστε να διασφαλίζεται η ασφάλεια τους. Όταν εφαρμόζεται το IoT συλλέγονται αυτόματα μεγάλα ποσά προσωπικών και ιδιωτικών πληροφοριών και δεδομένων. Συνεπώς, η προστασία της ιδιωτικότητας στο περιβάλλον του IoT γίνεται πολύ πιο σοβαρό θέμα από ότι στο παραδοσιακό περιβάλλον ICT επειδή οι δυνατότητες παραβίασης είναι πολύ περισσότερες. Για παράδειγμα ένα health monitor συλλέγει δεδομένα για τους καρδιακούς παλμούς και την αρτηριακή πίεση του ασθενούς και μετά τα στέλνει στον ιατρό μέσω του διαδικτύου. Τα δεδομένα αυτά θα μπορούσαν να παραβιαστούν λόγω ηλεκτρονικού εγκλήματος. Ένα άλλο παράδειγμα είναι ένας παρασκευαστής τροφίμων χρησιμοποιεί έναν βιολογικό αισθητήρα για να καταγράφει και να ελέγχει την θερμοκρασία και την βακτηριδιακή σύνθεση του φαγητού που βρίσκεται στο ψυγείο. Τα δεδομένα αυτά στέλνονται ψηφιακά πίσω στην εταιρεία των τροφίμων. Αν αυτά τα δεδομένα υποκλαπούν κατά την μεταφορά, η φήμη της εταιρείας θα μπορούσε να καταστραφεί. Αφού το cyber security είναι ένα ανερχόμενο τεχνολογικό πρόβλημα, κάποιοι ορισμοί της ιδιωτικότητας του IoT και των νομικών προσδιορισμών του είναι ακόμα ασαφείς. Παρόλο που οι υπάρχουσες τεχνολογίες για ασφάλεια δικτύου παρέχουν μια βάση για την ιδιωτικότητα και την ασφάλεια στα δίκτυα του IoT και στα συστήματα του Industry 4.0, χρειάζεται περισσότερη δουλειά πάνω σε αξιόπιστα συστήματα security για τις ανάγκες του Industry 4.0.

4.4 Ερευνητικές τάσεις

Η ανάπτυξη των υποδομών του Industry 4.0 πιθανότατα θα εξελιχθεί ραγδαία από τις παρούσες τεχνολογίες. Διεθνείς προσπάθειες συνεργασίας και system-level perspectives είναι πολύ επιθυμητά για να λυθούν οι προκλήσεις που σχετίζονται με το Industry 4.0. Αρκετές ερευνητικές ευκαιρίες παρουσιάζονται παρακάτω:

- (1) Η ενσωμάτωση των CPS. Η ενσωμάτωση των CPS συνεπάγεται ενσωμάτωση ετερογενών συστατικών, μεθόδων και εργαλείων. Η πρόκληση αυτή περιλαμβάνει τον σχεδιασμό interfaces ώστε να υποστηριχθούν αυτά τα ετερογενή συστατικά και η ενσωμάτωση τους. Περισσότερη έρευνα θα πρέπει να διεξαχθεί ώστε να εξεταστεί η ενσωμάτωση των cyber και physical systems. Αυτού του είδους η ενσωμάτωση θα οδηγήσει σε πολυπλοκότητες από τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ ψηφιακών συστημάτων και την αβέβαιη δυναμική συμπεριφορά των φυσικών συστημάτων.
- (2) Επαλήθευση και δοκιμές των CPS. Η επαλήθευση και οι δοκιμές των CPS είναι ιδιαίτερα σημαντικές στο σύστημα του Industry 4.0 επειδή η ενσωμάτωση



ετερογενών συστατικών μπορεί να κάνει τα CPS πολύπλοκα. Η ανάπτυξη ομοιογενών τυποποιήσεων και προδιαγραφών για επαλήθευση και δοκιμές των CPS είναι μια επιτακτική εργασία.

- (3) Blockchain. Το World Economic Forum προβλέπει ότι μέχρι το 2027 το 10% του παγκόσμιου ΑΕΠ θα είναι αποθηκευμένο σε τεχνολογία Blockchain. Τα πρόσφατα χρόνια, το ενδιαφέρον για μελέτη του ρόλου που παίζει το blockchain στον παραγωγικό τομέα έχει αυξηθεί. Μερικές εταιρείες έχουν αρχίσει να ενσωματώνουν το blockchain στις παραγωγικές διεργασίες τους. Πιθανές εφαρμογές του blockchain στο Industry 4.0 περιλαμβάνουν την προώθηση ελαστικότητας, επεκτασιμότητας, ασφάλειας και αυτονομίας καθώς και την χρήση του Blockchain για την χρονική σήμανση δεδομένων αισθητήρων.
- (4) Smart devices. Ένα βιομηχανικό περιβάλλον Industry 4.0 είναι ευφυές το οποίο απαιτεί ανεπτυγμένα smart digital devices. Το Industry 4.0 χρησιμοποιεί τεχνικές artificial intelligence και IoT για να δημιουργήσει intelligent things ή smart objects. Οι Arsenio κá (2014) πρότειναν την δημιουργία του Internet of Intelligent Things φέρνοντας artificial intelligence σε δίκτυα συσκευών και επικοινωνιών. Οι ερευνητές έχουν προβλέψει ότι τα μελλοντικά συστήματα IoT θα έχουν χαρακτηριστικά όπως self-configuration, self-optimization, self-protection και self-healing. Τα smart objects θα γίνουν περισσότερο ευφυή και θα έχουν περισσότερη μνήμη, υπολογιστικές και λογικές δυνατότητες.
- (5) Resilient smart factory. Η ελαστικότητα είναι μια ιδέα στα συστήματα η οποία έχει χρησιμοποιηθεί σαν ένα χαρακτηριστικό ενός πολύπλοκου συστήματος. Το Industrial information integration έχει δώσει πολλή προσοχή στην ελαστικότητα σαν μια ιδιότητα ενός συστήματος. Ένα resilient smart factory θα έχει συστήματα τα οποία θα είναι ανθεκτικά σε διαταραχές. Στο Industry 4.0 υπάρχουν υψηλοί ρυθμοί ροής πληροφοριών και υψηλές απαιτήσεις επεξεργασίας. Σαν συνέπεια, το σύστημα μπορεί να μην έχει ικανούς επεξεργαστικούς πόρους ώστε να παρέχει υψηλή αξιοπιστία. Τα smart factories παρουσιάζονται ως ένας τρόπος για την παροχή της απαραίτητης αξιοπιστίας και αναμένονται να είναι ελαστικά. Παρόλο που είναι δύσκολη η επίτευξη της ελαστικότητας στο Industry 4.0, γίνονται προσπάθειες μετατόπισης της έρευνας σε τομείς που θα συμβάλλουν στην ανάπτυξη ενός ελαστικού βιομηχανικού οικοσυστήματος. Νέες τεχνολογίες όπως το blockchain αναμένεται να συμβάλλουν στην ελαστικότητα του Industry 4.0.
- (6) Τι σημαίνει το Industry 4.0 για τις υπάρχουσες τεχνολογίες ERP, EIS και ES. Το ERP (Enterprise Resource Planning) αποκαλείται και Enterprise Information Systems (EIS) ή Enterprise Systems (ES) τις πρόσφατες δεκαετίες. Σύμφωνα με την GTAI (2014) το Industry 4.0 έχει δημιουργήσει μια συζήτηση σχετικά με το εάν τα ERP, EIS ή ES θα καθιερωθούν ως τα κυρίαρχα λογισμικά συστήματα στο Industry 4.0. Παρόλο που μια έρευνα του GTAI (2014) δεν έδωσε ξεκάθαρη απάντηση στο θέμα αυτό, είναι αναγνωρισμένο ότι η διεπιστημονική ενσωμάτωση είναι η ουσία του Industry 4.0 και το ERP, EIS ή ES θα πρέπει να λύσουν νέα θέματα προερχόμενα από το Industry 4.0. Σύμφωνα με μια σχετική



έρευνα που εκδόθηκε το 2014, οι συγγραφείς έχουν υποδείξει ότι τεχνολογίες σχετικές με IoT και CPS έχουν μεγάλο αντίκτυπο στα νέα ICT και μελλοντικά ERP, EIS ή ES. Σε αυτή την έρευνα είχε προβλεφθεί ότι η νέα γενιά των ERP, EIS η ES θα αναδυθεί από νέα ICT με την δυνατότητα των CPS.

- (7) Τα υπόλοιπα αποτελέσματα του Industry 4.0. Η άφιξη του Industry 4.0 θα επηρεάσει τον τρόπο εργασίας, αλλάζοντας τον παραδοσιακό work-as-survival σε work-for-life και τελικά σε life-as-work. Θα αυξήσει τον ελεύθερο χρόνο των ανθρώπων επιτρέποντας τους να κυνηγήσουν τα ενδιαφέροντά τους, το οποίο με την σειρά του θα επιτρέψει πιο ποικίλα και ευέλικτα μονοπάτια καριέρας και θα επιτρέψει στους ανθρώπους να συνεχίσουν να δουλεύουν περισσότερο και να παραμένουν παραγωγικοί περισσότερο.

4.5. Σχολιασμός

Το Industry 4.0 προτείνει την υιοθέτηση προηγμένων ICT στην βιομηχανία για την βελτίωση της παραγωγικής απόδοσης και επάρκειας. Η αύξηση του ενδιαφέροντος στο Industry 4.0 τα τελευταία χρόνια οφείλεται στην πεποίθηση ότι το Industry 4.0 είναι ένα σημείο καμπής στην ιστορία. Το Industry 4.0 δεν είναι πια μια “μελλοντική” τάση. Για πολλές εταιρείες αποτελεί την καρδιά των στρατηγικών και ερευνητικών στόχων τους. Η GE και η Siemens τρέχουν να παγιωθούν ως Industry 4.0 platform providers. Ένας μεγάλος αριθμός από εταιρείες στην Γερμανία αναπτύσσουν και χρησιμοποιούν το Industry 4.0. Σύμφωνα με το GTAI (2014), λύσεις του Industry 4.0 ήδη αναπτύσσονται σε 45 διαφορετικά πρότζεκτ με συνολικό budget περίπου 100 εκατομμύρια ευρώ. Επειδή το Industry 4.0 είναι μεγάλης σημασίας και σε μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις (SMEs) η Γερμανία έχει στήσει ένα transfer project 5 εκατομμυρίων ευρώ ειδικά για SMEs ώστε να χρησιμοποιήσουν λύσεις Industry 4.0. Ωστόσο, πολλές εφαρμογές του Industry 4.0 δεν χρησιμοποιούν τις νέες και προηγμένες τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί λόγω του Industry 4.0. Το επιτυχημένο Industry 4.0 βασίζεται κυρίως σε πιο εξεζητημένες τεχνολογίες από αυτές που είναι διαθέσιμες τώρα. Οι τεχνολογίες είναι οι υποκινητές του Industry 4.0 για τα μελλοντικά αποδοτικότερα και πιο ανταγωνιστικά βιομηχανικά περιβάλλοντα. Επί του παρόντος χρειάζεται συγκέντρωση των προσπαθειών για την ενσωμάτωση των ικανοτήτων του Industry 4.0 και τις αναδυόμενες τεχνολογίες. Με αυτή την ενσωμάτωση το Industry 4.0 θα είναι ικανό να εκμεταλλευτεί την δύναμη των παρόντων και μελλοντικών τεχνολογιών ώστε να βελτιώσει δραματικά τα βιομηχανικά περιβάλλοντα.

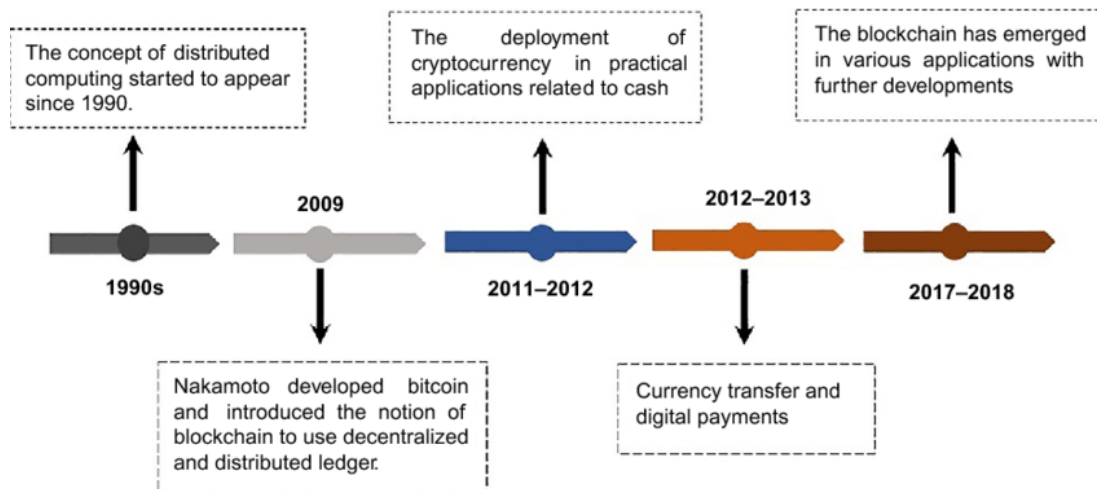
Η βελτίωση της ποιότητας του Industry 4.0 μπορεί να επιτευχθεί με την κατάλληλη ενσωμάτωση των υπάρχοντων και μελλοντικών τεχνολογιών. Με πιο προηγμένες τεχνολογίες όπως CPS και industrial information integration, η συνολική ποιότητα του



Industry 4.0 θα βελτιωθεί αφού η ουσία του Industry 4.0 είναι το interdisciplinary η transdisciplinary integration συμπεριλαμβανομένου του industrial information integration.

Υπάρχουν ακόμα πολλές προκλήσεις και προβλήματα τα οποία χρειάζεται να λυθούν ώστε το Industry 4.0 να γίνει πιο εφαρμόσιμο. Ο σχεδιασμός συστημάτων Industry 4.0 περιλαμβάνει πολυπλοκότητα η οποία προκύπτει κυρίως από τις πολλές διαστάσεις τους. Τα πρόσφατα χρόνια, έχουν συμβεί πολλές σημαντικές πρόοδοι σε αυτή τη νέα τεχνολογία όπως και πραγματικές και πιθανές εφαρμογές σε διάφορους βιομηχανικούς τομείς. Ωστόσο, η ανάπτυξη προηγμένων τεχνολογιών, ειδικά τυπικών μεθόδων και προσεγγίσεων, έχει συνυφαστεί με την ταχεία ανάπτυξη τεχνολογιών. Όπως τονίστηκε από τον Weber (2016), το Industry 4.0 πρόκειται για την εφαρμογή προηγμένων τεχνολογιών στην παραγωγή σαν μια συνολική εικόνα. Όπως αναφέρθηκε από το US National Science Foundation “Παρά τις εξελίξεις στις τεχνολογίες CPS τα τελευταία χρόνια, δεν υπάρχει ακόμα κάποια ώριμη τεχνολογία για την υποστήριξη συστημάτων CPS υψηλής αξιοπιστίας και οι συνέπειες είναι φανερές.”. Το NSF τόνισε επίσης ότι ο στόχος των ερευνητικών διεργασιών στο πεδίο των CPS είναι η ανάπτυξη των core systems science που χρειάζονται ώστε να δημιουργηθούν περίπλοκα cyber-physical systems τα οποία μπορούν οι άνθρωποι να χρησιμοποιήσουν, να αλληλεπιδράσουν και να βασιστούν σε αυτά. Ακόμα και για τον σχεδιασμό βιομηχανικών συστημάτων, υπάρχει ένα κενό μεταξύ του επιπέδου της έμφυτης πολυπλοκότητας που υπάρχει στα παραγωγικά συστήματα και των τυπικών μεθόδων που πιθανώς θα μπορούσαν να συμβάλλουν στον σχεδιασμό προηγμένων παραγωγικών συστημάτων Industry 4.0. Παρά τις προόδους στο πεδίο του Industry 4.0, και στην ακαδημαϊκή κοινότητα και στην βιομηχανία, παραμένουν ακόμα αρκετές προκλήσεις. Πρέπει να λυθούν ώστε να πραγματοποιηθούν όλα τα πιθανά οφέλη αυτής της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης. Το Industry 4.0 θα συνεχίσει να ασχολείται με καινοτομικές τεχνολογίες και τεχνικές και θα επιτρέψει νέες εφαρμογές οι οποίες θα επηρεάσουν τους βιομηχανικούς τομείς και των αυριανών περίπλοκων βιομηχανικών οικοσυστημάτων. Τα προηγμένα ICT μπορούν και θα συμβάλλουν στην επιτυχία του Industry 4.0.

5. Ιστορική αναδρομή και εξήγηση των λειτουργιών του Blockchain



Σχήμα 10: Ιστορική εξέλιξη του blockchain

Πηγή: **Technical Aspects of blockchain and IoT, Atlam, Wills, www.researchgate.net, 2018**

Το 1991 οι Stuart Haber και W. Scott Stornetta περιγράφουν την πρώτη κρυπτογραφικά ασφαλισμένη αλυσίδα από blocks. Το 1998 ο computer scientist Nick Szabo δουλεύει πάνω στο “bit gold”, το πρώτο αποκεντρωμένο ψηφιακό νόμισμα. Το 2000 ο Stefan Konst δημοσιεύει την θεωρία του περί κρυπτογραφικά ασφαλισμένες αλυσίδες block καθώς και ιδέες για εφαρμογές τους.

Το blockchain όπως το ξέρουμε εφευρέθηκε το 2008 από ένα άτομο (πιθανότερο ένα γκρουπ από άτομα) με το ψευδώνυμο Satoshi Nakamoto με σκοπό να δράσει ως ως το κοινό transaction ledger του κρυπτονομίσματος bitcoin. Η ταυτότητα του Satoshi Nakamoto δεν είναι γνωστή επί του παρόντος. Η επιλογή του blockchain για το bitcoin το έκανε το πρώτο ψηφιακό νόμισμα που έλυσε το πρόβλημα του double-spending χωρίς την ανάγκη μιας κεντρικής εξουσίας εμπιστοσύνης ή ενός κεντρικού server.

Αξίζει να σημειωθεί ότι το πρόβλημα του double spending αναφέρεται στα ψηφιακά νομίσματα. Συγκεκριμένα, το ίδιο “μοναδικό” ψηφιακό νόμισμα χωρίς κατάλληλο έλεγχο μπορεί να χρησιμοποιηθεί περισσότερες από μια φορές με αποτέλεσμα την μη ομαλή λειτουργία του συστήματος το οποίο βασίζεται στο συγκεκριμένο τύπο νομίσματος.

Οι φάσεις του blockchain κατά την εξέλιξη του είναι οι εξής:



1) Blockchain 1.0

Η πρώτη γενιά της τεχνολογίας άρχισε με το bitcoin το 2009, η οποία είναι γνωστή και ως blockchain 1.0. Σε αυτή τη γενιά πρωτο αναπτύχθηκαν τα πρώτα κρυπτονομίσματα. Η ιδέα ήταν περί πληρωμών και των λειτουργιών του για την δημιουργία κρυπτονομισμάτων.

2) Blockchain 2.0

Στο δεύτερο στάδιο της τεχνολογίας του blockchain, παρουσιάστηκαν τα πρώτα smart contracts και οικονομικές υπηρεσίες των εφαρμογών του. Η ανάπτυξη του blockchain μαζί με τα πλαίσια του Ethereum και του Hyperledger προτάθηκαν σε αυτό το στάδιο.

3) Blockchain 3.0

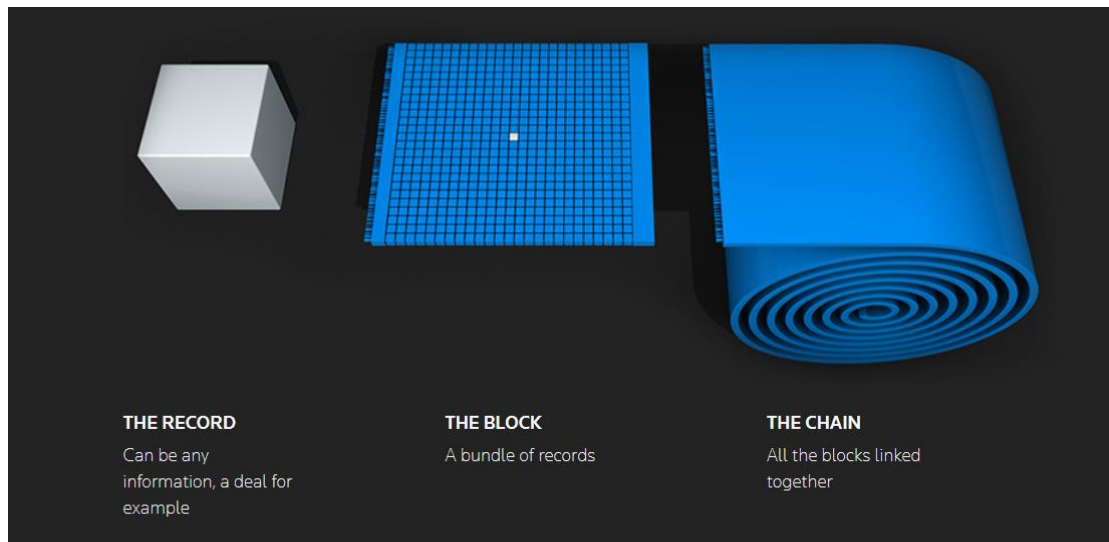
Σε αυτή την γενιά των blockchains, προτάθηκε η σύγκλιση προς αποκεντρωμένες εφαρμογές. Διάφοροι τομείς έρευνας όπως η υγεία, η διακυβέρνηση, το IoT, το supply-chain, το business και το smart city εξετάστηκαν για το κτίσιμο αποκεντρωμένων εφαρμογών. Σε αυτό το στάδιο, το ethereum, hyperledger και άλλες πλατφόρμες χρησιμοποιήθηκαν οι οποίες είχαν την δυνατότητα να φέρουν εις πέρας smart contracts για μια μεγάλη γκάμα από αποκεντρωμένες εφαρμογές.

4) Blockchain 4.0

Αυτή η γενιά επικεντρώθηκε κυρίως σε υπηρεσίες όπως δημόσια ledger και διαμοιρασμένες βάσεις δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Αυτό το στάδιο έχει απρόσκοπτη ενσωμάτωση των εφαρμογών που βασίζονται σε Industry 4.0. Χρησιμοποιεί smart contracts που εξαλείφουν την ανάγκη υλικών contracts και αυτο προσαρμόζονται μέσα στο δίκτυο με την διαδικασία ομοφωνίας.

5.1.Βασικές λειτουργίες του Blockchain

Μετά από αυτή την ιστορική αναδρομή περνάμε στις λειτουργίες του. Το blockchain είναι μια βάση δεδομένων που μοιράζεται σε ένα δίκτυο από υπολογιστές. Όταν μια καταγραφή (record) προστεθεί σε αυτό είναι εξαιρετικά δύσκολη η αλλαγή της. Για να διασφαλιστεί ότι όλα τα αντίγραφα αυτής της βάσης είναι ίδια, το δίκτυο πραγματοποιεί συνεχείς ελέγχους. Τα βασικά μέρη του blockchain είναι η καταγραφή (record), το block και η αλυσίδα (chain), όπως φαίνονται και στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 11: Τα βασικά μέρη του blockchain

Πηγή: Blockchain Explained, Maryanne Murray, www.graphics.reuters.com, 2018

Για να προστεθεί μια καταγραφή στο blockchain ακολουθούνται τα εξής βήματα:

Βήμα 1ο

Η καταγραφή ενός transaction πραγματοποιείται. Το record περιέχει τις λεπτομέρειες καθώς και μια ψηφιακή υπογραφή από κάθε εμπλεκόμενο μέρος.

Βήμα 2ο

Το record ελέγχεται από το δίκτυο. Οι υπολογιστές στο δίκτυο, οι οποίοι καλούνται nodes, ελέγχουν τις λεπτομέρειες του trade για να σιγουρευτούν ότι είναι έγκυρο.

Βήμα 3ο

Τα records τα οποία εγκρίθηκαν από το δίκτυο προστίθενται σε ένα block. Κάθε block περιέχει έναν μοναδικό κωδικό ο οποίος καλείται hash. Επίσης, περιέχει το hash του προηγούμενου στην αλυσίδα block.



Βήμα 4ο

Το block προστίθενται στην αλυσίδα. Οι κωδικοί hash συνδέουν τα block με μια συγκεκριμένη σειρά.

Τα hash codes δημιουργούνται από μια μαθηματική συνάρτηση (hash function) η οποία λαμβάνει ψηφιακές πληροφορίες και τις μετατρέπει σε μια σειρά από χαρακτήρες και αριθμούς. Τα hash codes έχουν 2 πολύ σημαντικές ιδιότητες:

Καταρχάς, ανεξαρτήτως του μεγέθους του αρχικού αρχείου, ένα hash function θα παράγει κωδικό ίδιου μεγέθους. Ακόμη, οποιαδήποτε αλλαγή (οσοδήποτε μικρή) στο αρχείο input θα παράγει ένα καινούργιο hash.

Επιπροσθέτως, το επόμενο block στην αλυσίδα περιέχει το προηγούμενο hash, οπότε για μια αλλαγή σε ένα block να θεωρείται έγκυρη, θα πρέπει να επαναυπολογιστούν τα hash όλων των προηγούμενων blocks, το οποίο απαιτεί τεράστιο υπολογιστικό φόρτο.

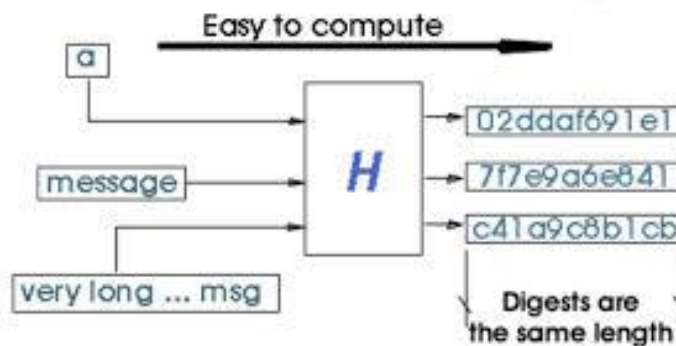
Επίσης, η βάση δεδομένων blockchain είναι αποκεντρωμένη και δεν έχει κάτοχο. Έτσι, δημιουργείται ένα πρόβλημα εμπιστοσύνης. Τα μέλη είναι ανώνυμα και έτσι δεν μπορεί να είναι γνωστό αν είναι άξια εμπιστοσύνης. Για να λυθεί αυτό το πρόβλημα και να αναπτυχθεί εμπιστοσύνη, τα blockchains θέτουν ορισμένα tests για τους υπολογιστές που επιχειρούν να μπουν σε αυτό και να προσθέσουν records σε αυτό. Τα tests αυτά ονομάζονται consensus models. Κάποια παραδείγματα είναι το proof of work και το proof of stake.

Proof of work: για να προστεθεί ένα block στο blockchain, τα nodes πρέπει να αποδείξουν ότι έχουν καταβάλει φόρτο (work) λύνοντας ένα ολοένα και δυσκολότερο υπολογιστικό πρόβλημα. Αυτή η διαδικασία, η οποία ονομάζεται mining, χρησιμοποιεί μεγάλη υπολογιστική δύναμη. Ως επιβράβευση για τον φόρτο αυτό, τα μέλη μπορεί να λάβουν πχ tokens η bitcoins.

Proof of stake: οι συμμετέχοντες αγοράζουν tokens τα οποία τους επιτρέπουν να συμμετέχουν στο δίκτυο. Όσο περισσότερα tokens κατέχουν, τόσο πιο πολύ μπορούν να κάνουν mine.

Προφανώς τα blockchains, λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων τους, έχουν πολλές εφαρμογές σε διάφορους τομείς όπως το Industry 4.0. Παρακάτω παρουσιάζονται με περισσότερη λεπτομέρεια οι λειτουργίες και οι ιδιότητες των hash functions.

5.2.Hash Functions: Ιδιότητες και λειτουργίες τους



Σχήμα 12: Παρουσίαση λειτουργίας μιας hash function

Πηγή: www.medium.com

Τα hash functions ανήκουν στην κατηγορία των κρυπτογραφικών αρχών των οποίων το ενδιαφέρον έχει αυξηθεί δραματικά τα τελευταία χρόνια. Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτές οι συναρτήσεις δεν κρυπτογραφούν ή αποκρυπτογραφούν μηνύματα. Παρόλα αυτά, αποτελούν ένα σημαντικό εργαλείο για την επαλήθευση της εγκυρότητας των δεδομένων, μια δομική αρχή στο blockchain και στο Industry 4.0. Τα hash functions μπορούν να οριστούν ως συναρτήσεις οι οποίες είναι ικανές να μετατρέπουν μπλοκ από δυαδικά δεδομένα σε άλλα μπλοκ δυαδικών δεδομένων σταθερού μεγέθους. Τα πρώτα hash functions είχαν προταθεί για χρήση σε digital signature protocols με στόχο την αύξηση της αξιοπιστίας τους και της απόδοσης τους.

Από μαθηματικής πλευράς, τα hash functions δημιουργούνται χρησιμοποιώντας την ιδέα των Trapdoor One-Way Functions (TOWF), οι οποίες ορίζονται ως:

$$f: X \rightarrow Y, \text{ με } f(x) = y$$

οι οποίες πληρούν τις εξής προϋποθέσεις:

1. Η f είναι μια συνάρτηση μονής κατεύθυνσης, δηλαδή από υπολογιστικής πλευράς, θα πρέπει να είναι εύκολο να υπολογιστεί η $f(x)=y$ για όλα τα στοιχεία



$x \in X$, αλλά την ίδια στιγμή, θα πρέπει να είναι πολύ δύσκολο να υπολογιστεί το $x = f^{-1}(y)$ για μια δοσμένη τιμή $y \in Y$.

2. Αν πρόσθετη πληροφορία, η οποία ονομάζεται trapdoor, είναι γνωστή, θα πρέπει να είναι δυνατό να υπολογιστεί σε πολυωνυμικό χρόνο ένα στοιχείο $x \in X$ έτσι, ώστε $f(x)=y$.

Ετσι, ένα hash function είναι μια συνάρτηση μονής κατεύθυνσης η οποία εφαρμόζεται σε ένα μήνυμα m μεταβλητού μεγέθους, το οποίο μήνυμα ανήκει σε ένα συγκεκριμένο σύνολο από μηνύματα M , και η οποία παρέχει μια σύνοψη του μηνύματος με ένα συγκεκριμένο, σταθερό μέγεθος bit n . Συνεπώς, ένα hash function h μπορεί να περιγραφεί ως εξής:

$$h: M \rightarrow \{0,1\}^n, \text{ με } h(m) = \hat{m}$$

Αφού τα hash functions μετατρέπουν ένα μήνυμα οποιουδήποτε μεγέθους σε μια συλλογή από n bits, ο αριθμός των δυνατών hashes είναι αρκετά μικρότερος από τον αριθμό των πιθανών μηνυμάτων εισόδου. Συνεπώς, θα υπάρχουν πάντα διαφορετικά μηνύματα των οποίων οι συνόψεις θα είναι ίδιες. Άρα, οι hash functions που χρησιμοποιούνται στις εφαρμογές που μας ενδιαφέρουν θα πρέπει να έχουν τις εξής ιδιότητες:

1. Bit dependency: Το hash ενός μηνύματος $h(m) = \hat{m}$ θα πρέπει να είναι μια πολύπλοκη συνάρτηση που θα εξαρτάται από όλα τα bits του μηνύματος έτσι, ώστε αν γίνει αλλαγή σε ένα bit του εισερχόμενου μηνύματος να αλλάζει και το hash που προκύπτει. (συνήθως τα μισά bit του hash αλλάζουν για αλλαγή ενός bit του m)
2. Preimage Resistance: Δοσμένου ενός hash \hat{m} , θα πρέπει να είναι υπολογιστικά δύσκολο να ληφθεί ένα μήνυμα m έτσι, ώστε $h(m) = \hat{m}$. Με άλλα λόγια, από υπολογιστικής άποψης, κάθε hash function θα πρέπει να είναι δύσκολο να αντιστραφεί.
3. Resistance to the second Preimage: Δοσμένου ενός μηνύματος m_1 θα πρέπει να είναι υπολογιστικά δύσκολο να βρεθεί ένα άλλο μήνυμα m_2 , με $m_1 \neq m_2$, με το ίδιο hash. Δηλαδή, θα πρέπει να είναι αδύνατο να βρεθεί άλλο μήνυμα με $h(m_1) = h(m_2)$.
4. Collision Resistance: Θα πρέπει να είναι υπολογιστικά δύσκολο να βρεθούν 2 μηνύματα m_1, m_2 με $m_1 \neq m_2$, έτσι, ώστε $h(m_1) = h(m_2)$.



Η ιδιότητα 1 προσφέρει την ακεραιότητα της πληροφορίας αφού αν οποιοσδήποτε αριθμός bit τροποποιηθεί, το αποτέλεσμα της συνάρτησης θα έχει μεγάλη διαφορά μεταξύ του παλιού και του καινούργιου hash και έτσι, οι τεχνικές trial and error δεν θα είναι δυνατές.

Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι παρόλο που μοιάζουν, οι ιδιότητες 3 και 4 είναι διαφορετικές. Η ιδιότητα 3 περιγράφει μια κατάσταση στην οποία το ένα μήνυμα είναι γνωστό και μια οντότητα προσπαθεί να βρει ένα διαφορετικό μήνυμα με το ίδιο hash. Η ιδιότητα 4 περιγράφει μια κατάσταση στην οποία καμία συνθήκη δεν επιβάλλεται στα μηνύματα. Επίσης, αν ένα hash function είναι ευάλωτο στο collision resistance, τότε η χρήση του δεν είναι ασφαλής.



6. Απαιτήσεις, δυνατότητες και συστατικά του blockchain

6.1 Απαιτήσεις του blockchain

Οι απαιτήσεις του blockchain αναλύονται ως εξής:

Smart Contracts: είναι ένα πρωτόκολλο το οποίο επιτρέπει την εκτέλεση συναλλαγών χωρίς την παρουσία τρίτων η οποία κάνει τις συναλλαγές αυτές μη αναστρέψιμες και ανιχνεύσιμες.

Tokenization: είναι ένα από τα πιο σημαντικά πράγματα που πρέπει να περιληφθούν στο blockchain. Διευκολύνει την ψηφιακή απεικόνιση των αγαθών, υπηρεσιών και των δικαιωμάτων με την βοήθεια token. Επιτρέπει την συναλλαγή αξιών και εμπιστοσύνης για διαφορετικούς χρήστες χωρίς την ανάγκη κεντρικής εξουσίας.

Data Security: Η συμμόρφωση με την ασφάλεια είναι μια βασική απαίτηση της τεχνολογίας του blockchain από νομικής άποψης.

Decentralised data storage: είναι μια βασική απαίτηση του διαμοιρασμένου συστήματος.

Immutability: Όλες οι καταγραφές στο δίκτυο θα πρέπει να μην μπορούν να τροποποιηθούν ή να αλλοιωθούν στο κοινό ledger. Αυτό επιτρέπει την ακεραιότητα των αποθηκευμένων δεδομένων.

Consensus: Οι συναλλαγές θα πρέπει να επικαιροποιούνται μόνο όταν όλοι οι επαληθευμένοι χρήστες στο δίκτυο συμφωνούν για το ίδιο.

Typed blocks: Αναγκαία για τα smart contracts και για την γρήγορη πληρωμή στις επιχειρηματικές συναλλαγές. Έτσι, το format των δεδομένων των διαφορετικών blocks περιλαμβάνει την ώρα, τον αλγόριθμο ομοφωνίας, τον αριθμό συναλλαγών ανά block και τον τύπο δεδομένων που αποθηκεύονται.

Sharding: είναι αναγκαίο για τον διαχωρισμό του περιεχομένου ανάμεσα στους διαφορετικούς κόμβους του δικτύου, με έναν τρόπο ο οποίος θα επιτρέπει την δίκαιη κατανομή του υπολογιστικού φόρτου ανάμεσα τους.

Access rights management: Κρυπτογραφία βασισμένη σε δημόσια και ιδιωτική κρυπτογράφηση μέσω κλειδιών και διαμοιρασμένων βάσεων δεδομένων με ταυτοποίηση χρήστη η οποία είναι αναγκαία για την αναθέτηση και την διαχείριση των δικαιωμάτων προσπέλασης.



Standards used to manage permissioned blockchains: Η αμεταβλητότητα του δικτύου blockchain είναι ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του. Τα δημόσια πιστοποιητικά είναι διαθέσιμα στο δημόσιο blockchain αλλά χωρίς το ιδιωτικό κλειδί δεν μπορεί κάποιος να έχει πρόσβαση. Έτσι, όλα τα δεδομένα θα πρέπει να διαχειρίζονται με τα δεδομένα του χρήστη όπως η IP του χρήστη, το όνομα του, ο κωδικός του. Αυτά τα δεδομένα είναι προς διαμοίραση κατά την διαδικασία επικοινωνίας.

Standard data formatting: στο σύστημα του blockchain, είναι αναγκαία η χρήση προτυποποίησης για τα format των δεδομένων βάσει του Application Programming Interfaces (API). Κάθε οργανισμός στο δίκτυο του blockchain χρειάζεται να χρησιμοποιεί το ίδιο data format ή APIs για να επικοινωνήσει στο δίκτυο.

Updatibility: η ανάγκη για ενημέρωση των δεδομένων στο distributed ledger είναι πολύ σημαντική για τις καταγραφές. Σε ένα δίκτυο peer-to-peer τα δεδομένα πρέπει να είναι δομημένα και να ενημερώνονται συστηματικά για κάθε κόμβο που πραγματοποιεί συναλλαγές μέσα στο δίκτυο.

P2P encryption between blockchain nodes: η κρυπτογράφηση είναι αναγκαία για την διασφάλιση της ασφάλειας των συναλλαγών μεταξύ των κόμβων που μπορεί να συνδέονται μέσω του πρωτοκόλλου blockchain.

UX: ένας από τους σημαντικούς παράγοντες σε ένα σύστημα είναι ο σχεδιασμός του interface ο οποίος προσφέρει ένα εύκολο και βολικό περιβάλλον εφαρμογών στον χρήστη. Η κύρια διαφορά μεταξύ των συστημάτων που βασίζονται σε blockchain και αυτών που δεν βασίζονται είναι ο τρόπος με τον οποίο ο χρήστης την αντιλαμβάνεται.

Development operation: Το βασικό βήμα για την παραγωγή του συστήματος είναι η επιλογή της πλατφόρμας η οποία απαιτεί τον λιγότερο χρόνο και την ελάχιστη πολυπλοκότητα για setup.

6.2. Δυνατότητες του blockchain για το Industry 4.0

Έπειτα παρουσιάζονται κάποιες από τις διάφορες δυνατότητες και ικανότητες που προσφέρει το blockchain. Κάποιες από αυτές είναι θεμελιώδεις για τις εφαρμογές smart manufacturing.



6.2.1. Ψηφιακές ταυτότητες

Μια ταυτοποίηση εκδοθείσα από την κυβέρνηση όπως ένα δίπλωμα οδήγησης ή ένα διαβατήριο είναι γενικά αρκετό για να αποδείξουμε την ταυτότητα μας όταν εκτελούμε επίσημες διαδικασίες όπως χρήση αεροδρομίων, άνοιγμα λογαριασμών ή αγορά αυτοκινήτου. Το blockchain προσφέρει ένα ψηφιακό ισοδύναμο το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ταυτοποιήσει όχι μόνο ανθρώπους αλλά και άλλες οντότητες όπως οργανισμούς. Αυτή η δυνατότητα επιτρέπει την επικύρωση των ταυτοτήτων ανθρώπων και οντοτήτων που εμπλέκονται σε οποιαδήποτε βιομηχανική δραστηριότητα μέσω ενός δημοσίου δικτύου. Επίσης, η ψηφιακή ταυτότητα μπορεί να διευρευνηθεί και να περιλαμβάνει ιδιοκτησία, περιουσία και αντικείμενα. Έτσι, μηχανές, συσκευές ερεθισμάτων και ενεργοποίησης, λογισμικά και όλες οι υπόλοιπες οντότητες που εμπλέκονται στην παραγωγική διαδικασία μπορούν να έχουν μια ψηφιακή ταυτότητα. Αυτές οι ψηφιακές ταυτότητες μπορούν να εκδοθούν από έναν κυβερνητικό φορέα παρόμοια με ένα δίπλωμα οδήγησης, ένα διαβατήριο, εγγραφές επιχειρήσεων και τίτλοι ιδιοκτησίας. Αυτή η δυνατότητα υπήρχε ήδη υπό μελέτη σε πολλές χώρες και αρκετοί εργάζονται στις μεθοδολογίες και τα logistics της δημιουργίας, της διαχείρισης, και της προστασίας ψηφιακών ταυτοτήτων.

6.2.2. Διαμοιρασμένη Ασφάλεια

Ένας από τους κύριους παράγοντες επιτυχίας του blockchain είναι η ικανότητα να προστατεύει τα δεδομένα και τις συναλλαγές που καταχωρούνται στο ledger χρησιμοποιώντας μια διαμερισματοποιημένη και διανεμημένη προσέγγιση. Η προστασία αυτή δεν γίνεται μόνο μέσω απλών κρυπτογραφήσεων που κρύβουν και προστατεύουν ατομικές συναλλαγές. Περιλαμβάνει ακόμη υψηλά επίπεδα αντιγραφής και αλυσιδωτές σειρές από κρυπτογραφήσεις ή ψηφιακές υπογραφές οι οποίες καθιστούν την παραποίηση οποιασδήποτε καταγραφής που έχει προστεθεί στο blockchain αδύνατη. Κάθε νέα καταχώρηση συναλλαγής, αφού επικυρωθεί από τα εμπλεκόμενα μέρη, συνδέεται με την αλυσίδα των προηγούμενων συναλλαγών και έτσι καμία ατομική καταχώρηση δεν μπορεί να παραποιηθεί. Επίσης, βασιζόμενοι στις επαληθευμένες ψηφιακές ταυτότητες και στο γεγονός ότι κάθε συναλλαγή καταγράφεται με την πλήρη συμφωνία όλων των εμπλεκόμενων μερών, καθίσταται αδύνατο για οποιαδήποτε από αυτές τις οντότητες να αρνηθεί ότι ενεπλάκη σε αυτή τη συμφωνία. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει καλύτερη προστασία των συναλλαγών, χαμηλότερο ρίσκο έκθεσης σε περίπτωση παραβίασης της ασφάλειας και υψηλότερα επίπεδα εμπιστοσύνης της εγκυρότητας των καταχωρημένων συναλλαγών.



6.2.3. Smart Contracts

Η καταγραφή, επικύρωση και η ασφάλεια του blockchain καθώς και η υποστήριξη ψηφιακών ταυτοτήτων επιτρέπουν αυτό που ονομάζεται smart contract. Τα smart contracts επιτρέπουν την διεξαγωγή έγκυρων συμβολαίων μέσω ενός δημοσίου δικτύου χωρίς τρίτους. Ένα smart contract είναι ανιχνεύσιμο, ασφαλές και μη παραποιήσιμο. Τα smart contracts που χρησιμοποιούν blockchain ενδέχεται να βελτιώσουν πολλούς κατασκευαστικούς τομείς με διάφορους τρόπους. Μια τέτοια βελτίωση είναι η αυτοματοποίηση διεργασιών συμφωνίας μεταξύ εταιρειών και των συνεργατών τους και μεταξύ εταιρειών και των πελατών τους στο πλαίσιο του Industry 4.0. Αυτό θα μειώσει δραματικά τα διοικητικά κόστη και θα δημιουργήσει ένα πιο αποδοτικό μοντέλο για την αρχή, διαπραγμάτευση και τη οριστικοποίηση συμβολαίων χωρίς να χρειάζεται να βασίζονται σε τρίτους οργανισμούς ή υπερβολικά έγγραφα. Πολλά κομμάτια των συμφωνιών στο smart manufacturing value chain μπορούν να διεξαχθούν χρησιμοποιώντας smart contracts. Συμφωνίες με προμηθευτές, παρόχους μετακινήσεων και αποθήκευσης, διανομείς και υπερβολάβους μπορούν να διαπραγματευτούν και να καταγραφούν ως smart contracts. Έτσι, μπορούν να γίνουν πιο γρήγορα, με χαμηλότερο κόστος και να έχουν την αυθεντικότητα και αξιοπιστία των κανονικών contracts.

6.2.4. Micro-Controls

Ένας ακόμη τομέας όπου το blockchain μπορεί να έχει θετικά αποτελέσματα στο smart manufacturing είναι η δυνατότητα να διευκολύνει το micro-metering, τα micro-measurements και τις δυναμικές ρυθμίσεις με πολύ μεγάλη ακρίβεια. Η δυνατότητα να καταχωρούνται με ασφάλεια τα γεγονότα και οι δραστηριότητες χωρίς την ανάγκη τρίτων εμπλεκόμενων και εξωτερικών διαβεβαιώσεων θα αυξήσει την ποσότητα των καταχωρημένων δεδομένων και δραστηριοτήτων και θα επιτρέψει στους οργανισμούς να φτιάξουν ledgers των δραστηριοτήτων τους και διεργασιών τους. Αυτά μπορούν εύκολα να αναλυθούν και προσφέρουν μετρήσεις και ελέγχους ποιότητας σε οποιοδήποτε επίπεδο λεπτομέρειας. Επιπροσθέτως, επιτρέπει ακριβείς καταχωρήσεις οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως διαδρομές ελέγχου και παράγοντες επαλήθευσης των δραστηριοτήτων ενός κατασκευαστή, μιας αγοράς και ενός financial standing για παράδειγμα. Στο smart manufacturing, αυτό θα επιτρέψει την συνεχή παρακολούθηση διεργασιών και δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα μέσα στην μονάδα smart manufacturing και σε όλο το μήκος του value chain. Δεδομένα για συμβάντα που έχουν να κάνουν με ασφάλεια, πχ, μπορούν να συλλέγονται συνεχώς και με πολλές λεπτομέρειες στο blockchain. Αυτό θα εξασφαλίσει την αυθεντικότητα των δεδομένων, θα εγγυηθεί για την εγκυρότητα τους και θα δημιουργήσει ένα μη παραποιήσιμο αρχείο. Αυτά τα δεδομένα μπορούν να γίνουν mined ώστε να αναλυθούν συμβάντα, επιπτώσεις,



απαντήσεις και κάθε άλλη πληροφορία που καταγράφηκε. Η ανάλυση θα οδηγήσει σε καλύτερη κατανόηση αυτών των συμβάντων, την ταυτοποίηση των τάσεων και των πηγών των προβλημάτων και τελικά χρησιμοποιώντας αυτές τις πληροφορίες σε καλύτερες διεργασίες ασφάλειας και βελτίωση των λειτουργιών.

6.3. Η αρχιτεκτονική του blockchain και τα συστατικά της

6.3.1. Βασική αρχιτεκτονική βάσει blockchain

Στην βασική αρχιτεκτονική του blockchain, κάθε συναλλαγή πρέπει να επαληθευτεί και να μην μπορεί να παραποιηθεί.

1) Προσθήκη των συναλλαγών στην δομή των blocks

Μια συναλλαγή στο blockchain έχει διάφορα βήματα. Καταρχάς, ένας κόμβος του δικτύου ή ένας χρήστης ζητά μια νέα συναλλαγή.. Έπειτα, η συναλλαγή αυτή καταγράφεται στην δομή του block. Η δομή αυτή αποτελείται από τον δείκτη της, την ένδειξη της ώρας (timestamp), τα δεδομένα, το προηγούμενο hash και το hash του παρόντος block.

2) Επικοινωνία με τα peer nodes

Ένα block με τις συναλλαγές αποστέλλεται στους peer nodes που είναι διαθέσιμοι στο δίκτυο.

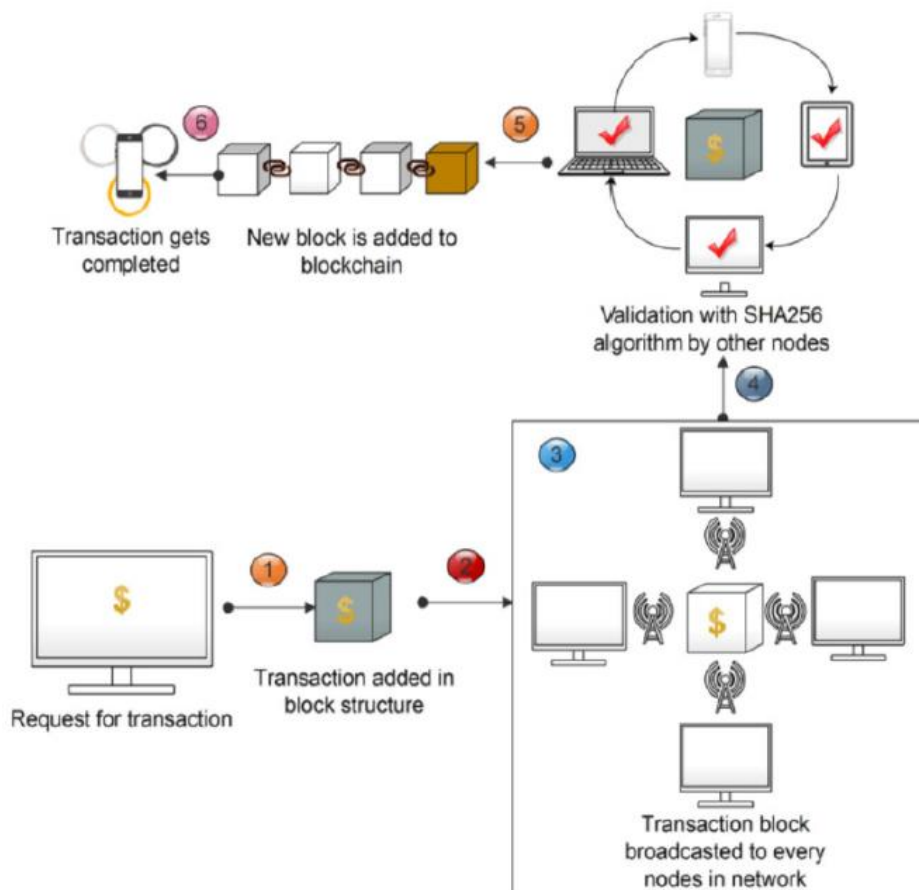
3) Επαλήθευση των συναλλαγών

Το blockchain χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο SHA-256 για να δημιουργήσει ένα μοναδικό hash. Κάθε block στο blockchain συνδέεται με το hash του προηγούμενου block και έτσι δημιουργείται ένα μη παραποιήσιμο δίκτυο συναλλαγών. Αν κάποιος προσπαθήσει να προσθέσει μια συναλλαγή, τότε αυτή πρέπει να επαληθευτεί από τους κόμβους του δικτύου ή από smart contracts, αλλά και από ομοφωνία. Αυτό το μη παραποιήσιμο ledger δεν μπορεί να τροποποιηθεί, μόνο να προστεθεί στα blocks με τις συναλλαγές, δομή η οποία οδηγεί σε ασφαλείς και αποκεντρωμένες συναλλαγές. Αξίζει να σημειωθεί

ότι χρησιμοποιούνται διάφοροι αλγόριθμοι για την επαλήθευση συναλλαγών και το status των χρηστών.

4) Το Block προστίθεται στο ledger

Οι νέες συναλλαγές πρώτα επαληθεύονται από τους υπόλοιπους κόμβους και μετά προστίθενται σε ένα καινούργιο block. Το υπάρχον blockchain μεγαλώνει κατά ένα block αλλά παραμένει μη παραποιήσιμο για όλους τους υπόλοιπους χρήστες.



Σχήμα 13: Διαδικασία πρόσθεσης μιας συναλλαγής στο blockchain

Πηγή: Blockchain for Industry 4.0: A comprehensive Review, IEEE Access, 2020



6.3.2. Reference Architecture

Η reference αρχιτεκτονική του blockchain αποτελείται από 3 διαφορετικά δίκτυα τα οποία συνδυάζονται και τρέχουν όλη την εφαρμογή του blockchain για τους χρήστες. Τα 3 διαφορετικά δίκτυα είναι το public network, το cloud network και το enterprise network. Καθένα έχει τις δικές του δυνατότητες και λειτουργικότητες ώστε οι αποκεντρωμένες εφαρμογές να δουλεύουν όσο το δυνατόν πιο ομαλά.

1) Public Network

Σε αυτό το δίκτυο συνδέονται οι χρήστες, οι edge services, και οι peer cloud providers.

a) Χρήστες

Στο public network, οι χρήστες διαχειρίζονται την κατανομή και την δημιουργία των αποκεντρωμένων blockchain εφαρμογών και εκτελούν τις διαδικασίες με την βοήθεια του δικτύου blockchain. Οι χρήστες μπορεί να έχουν διαφορετικούς ρόλους όπως:

b) Developer

Οι Developers δημιουργούν διάφορους τύπους εφαρμογών για τους πελάτες ή τους χρήστες με διαφορετικές λειτουργικότητες. Αναπτύσσουν τα smart contracts για την αλληλεπίδραση με τους χρήστες το οποίο βοηθά στην προσθήκη συναλλαγών ή καταγραφών μέσα στο δίκτυο του blockchain. Οι developers μπορεί ακόμα να χτίζουν τα inheritance applications τα οποία βοηθούν στην επικοινωνία μέσα στο blockchain.

c) Administrator

Η λειτουργικότητα του administrator είναι να δημιουργεί, να συντηρεί και να παραμετροποιεί αποκεντρωμένες εφαρμογές για το δίκτυο του blockchain.

d) Operator

Οι operators έχουν την ευθύνη να ελέγχουν και να διαχειρίζονται το δίκτυο του blockchain και τις εφαρμογές του.

e) Auditor

Οι auditors του blockchain διατηρούν ή επιθεωρούν την ιστορία των συναλλαγών στο δίκτυο του blockchain για τις επιχειρήσεις από νομικής άποψης.



f) Edge Services

Αυτές οι υπηρεσίες εξουσιοδοτούν τις πληροφορίες που μεταφέρονται μέσω του διαδικτύου στο cloud, στα enterprise applications και στα client applications. Διατηρούν συστήματα όπως domain name systems, content delivery networks, firewalls και load balancers. Τα domain name systems χρησιμοποιούνται για να διορθώσουν τα Uniform Resource Locators (URL) των ιστοσελίδων που συνδέονται με την Transmission Control Protocol-Internet Protocol (TCP-IP) διεύθυνση του συστήματος που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για τους πόρους. Το content delivery network μεταφέρει εφαρμογές χρηστών, το οποίο δίνει την γεωτοποθεσία για τα διαμοιρασμένα συστήματα που είναι εγκατεστημένα ώστε να ελαχιστοποιείται ο χρόνος απόκρισης για τους χρήστες του δικτύου. Το firewall είναι υπεύθυνο για την διατήρηση και την έκδοση πρόσβασης στην εισερχόμενη και εξερχόμενη κίνηση στο δίκτυο και άρα δίνοντας ή μπλοκάροντας την πρόσβαση σε αυτό. Τα load balancers χρησιμοποιούνται για την διαμοίραση της κίνησης στο δίκτυο έτσι ώστε να διατηρείται ο ελάχιστος χρόνος απόκρισης και η ελάχιστη καθυστέρηση, και να μεγιστοποιείται η παραγωγικότητα των πόρων όπως υπολογιστές, επεξεργαστές και συστήματα αποθήκευσης. Είναι, άρα, αναγκαία για την ισορροπία του φόρτου εργασίας στα τοπικά και παγκόσμια συστήματα.

2) Interaction Option

Στο blockchain, υπάρχουν διάφοροι τρόποι με τους οποίους οι χρήστες μπορούν να αλληλεπιδράσουν με το δίκτυο του blockchain:

a) Software Development Kit

Το Software Development Kit (SDK) είναι χρήσιμο για την διευκόλυνση της αλληλεπίδρασης μεταξύ εφαρμογών και των πλατφόρμων τους. Ο κύκλος ζωής της ανάπτυξης εφαρμογών blockchain έχει πολλές φάσεις όπως η ερευνητική φάση, η φάση του debugging, η φάση του testing και η φάση της παραγωγής τους. Οι εφαρμογές του blockchain πρέπει να μπορούν να αλληλεπιδρούν και να επικοινωνούν με το δίκτυο όταν αυτός ο κύκλος λαμβάνει χώρα.

b) Client Software Development Kit

Είναι μια βιβλιοθήκη προγραμματισμού από πλευράς του πελάτη η οποία παρέχει μεθόδους API για να χρησιμοποιηθούν από το end user program για να δώσουν λειτουργικότητα μέσα στο δίκτυο του blockchain. Τα προγράμματα γράφονται σε



γλώσσα Java, Python αλλά και σε άλλες, ενώ το kit υποστηρίζει και άλλα εργαλεία ανάπτυξης.

c) Command line interface

Οι developers και ο Administrator συνήθως χρειάζονται δραστηριότητες όπως έλεγχο και διαχείριση λογαριασμών χρηστών αλλά και importing και exporting κάποια format απο εντολές. Όλες αυτές οι δραστηριότητες μπορούν να εκτελεστούν από το command line interface.

3) Cloud network

Το cloud network αποτελείται από μια γκάμα από running κόμβους ο καθένας με τις δικές του δυνατότητες και λειτουργικότητες. Το cloud network περιλαμβάνει τις εφαρμογές του blockchain, το application programming interface, τις υπηρεσίες του blockchain, τις υπηρεσίες ασφάλειας και την ενσωμάτωση του συστήματος.

a) Εφαρμογές του Blockchain

Υπάρχουν διάφοροι τύποι εφαρμογών όπως web applications, end-user applications και server-based applications. Οι χρήστες παίζουν διαφορετικούς ρόλους όπως business users, administrators, auditors και operators. Οι εφαρμογές blockchain χρησιμοποιούν APIs για υπηρεσίες όπως βάσεις δεδομένων. Μια ποικιλία από εφαρμογές όπως υγεία, οικονομικά, ασφάλισης, ενέργεια, supply-chain και IoT μπορούν να ενεργοποιηθούν με το blockchain ώστε να ελαχιστοποιηθεί το κόστος και ο χρόνος τους.

b) Application Programming Interface

Ένα API είναι χρήσιμο για τους developers και τους χρήστες ώστε να μπορούν να επαναχρησιμοποιήσουν δεδομένα ή πληροφορίες και τα analytics τους για τις υπηρεσίες που τους ενδιαφέρουν και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από διάφορες cross-platform τεχνολογίες. Η τεχνολογία του blockchain παρέχει διάφορα APIs για τα application interfaces που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τις επιχειρηματικές συναλλαγές.



c) Blockchain Services

Για το λειτουργικό περιβάλλον των συστημάτων blockchain, υπάρχουν αρκετές υπηρεσίες όπως:

d) Members

Αυτή η υπηρεσία διαχειρίζεται τις ταυτότητες των χρηστών, τα πιστοποιητικά τους και την ιστορία των συναλλαγών τους με έναν εμπιστευτικό τρόπο μέσα στο δίκτυο του blockchain. Ένα permissioned network χρειάζεται να επαληθεύει τους χρήστες των τρεχουσών συναλλαγών και τις ταυτότητες τους ώστε αυτά να προστεθούν στις καταγραφές των συναλλαγών. Σε τέτοια δίκτυα, οι χρήστες έχουν τον έλεγχο να επιτρέχουν ή να μπλοκάρουν την συναλλαγή. Σε ένα non-permissioned network, δεν χρειάζεται η εξουσιοδότηση από τον χρήστη καθώς υποβάλλονται οι λεπτομέρειες της συναλλαγής.

e) Consensus

Η ομοφωνία είναι ένα πρωτόκολλο στο δίκτυο του blockchain το οποίο πρέπει να ακολουθείται από κάθε κόμβο σε αυτό. Αυτό το πρωτόκολλο καθορίζει την εγκυρότητα του χρόνου και τους κανόνες που πρέπει να ακολουθούνται από όλους τους κόμβους ή χρήστες στο δίκτυο ώστε να μπορούν να εκτελέσουν διάφορες λειτουργίες ή να προσθέσουν συναλλαγές στο δίκτυο του blockchain. Κρατάει, ακόμη, ένα αντίγραφο του ledger στο δίκτυο.

f) Ledger

Όλες οι συναλλαγές συνδέονται μαζί με ένα cryptographic hash μέσα στα blocks ώστε να σχηματιστεί το ledger.

g) Smart contract

Γενικά, ένα smart contract είναι μια αλυσίδα στον κώδικα το οποίο εκτελείται στο περιβάλλον του δικτύου του blockchain. Αυτό το code chain διαδίδει τις προϋποθέσεις ή τους κανόνες που πρέπει να ακολουθούν τα διάφορα μέλη στο δίκτυο. Ένα smart contract μπορεί να αναπτυχθεί στην πλατφόρμα του blockchain με την βοήθεια των υποστηριζόμενων προγραμματιστικών γλωσσών.



h) Secure runtime

Στο περιβάλλον του secure runtime, οι συναλλαγές του blockchain προστίθενται στο ledger μαζί με το ασφαλές λειτουργικό σύστημα και τις βιβλιοθήκες που χρησιμοποιήθηκαν.

i) Event distribution

Στο δίκτυο του blockchain, ο publisher ειδοποιεί τους subscribers για ένα συγκεκριμένο γεγονός. Η ειδοποίηση μεταδίδεται μέσω του δικτύου. Οι subscribers που κάνουν subscribe σε έναν συγκεκριμένο publisher ή ένα συγκεκριμένο event λαμβάνουν την ειδοποίηση αυτή.

j) System integration

Οι υπηρεσίες του blockchain και το enterprise network συνδυάζονται ή ενσωματώνονται μαζί μέσω του application programming interface και του enterprise service bus.

k) Connectivity

Η συνδεσιμότητα μεταξύ του cloud network και του enterprise network εγκαθιδρύεται από το Virtual Private Network (VPN) ή το gateway tunnel. Αυτό, επιτρέπει την ασφαλή σύνδεση και τα standard data formats που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο του blockchain.

4) Enterprise Network

Το enterprise network αποτελείται από το enterprise directory, τις εφαρμογές του και την βάση δεδομένων.

a) Enterprise user directory

Στα enterprise applications, καταγράφονται τα δεδομένα και πληροφορίες που αφορούν την ταυτοποίηση των χρηστών, την εξουσιοδότηση τους και τα προσωπικά τους



στοιχεία. Το gateway και το Virtual Private Network (VPN) έχουν ασφαλείς υπηρεσίες για το access control των χρηστών.

b) Enterprise applications

Αυτές οι εφαρμογές χρησιμοποιούνται για την επιχείρηση που επικοινωνεί με το δίκτυο του blockchain. Επικοινωνούν, επίσης, με τα smart contracts στο δίκτυο. Έτσι, τα smart contracts συλλέγουν και αποθηκεύουν τα δεδομένα της επιχείρησης στο δίκτυο και μοιράζονται αυτές τις πληροφορίες μέσω των εφαρμογών.

c) Enterprise data

Η εφαρμογή της επιχείρησης στο blockchain καταγράφει και αποθηκεύει τα metadata του συστήματος. Περιέχει, ακόμη, το feedback του συστήματος το οποίο περιέχει ολόκληρη την ιστορία του δικτύου blockchain. Τα δεδομένα των συναλλαγών περιέχουν όλες τις καταγραφές του δικτύου όπως το master repository, πληροφορίες περί οικονομικών και επιχειρηματικές επικοινωνίες. Όλα αυτά τα δεδομένα είναι διαθέσιμα στο δίκτυο. Ο δεύτερος τύπος blockchain enterprise data είναι τα δεδομένα εφαρμογών τα οποία συλλέγονται και παράγονται από επιχειρηματικές εφαρμογές και τις διεργασίες τους. Τα log data αποθηκεύονται σε log files για μελλοντικό έλεγχο που σχετίζεται με ασφάλεια και ακεραιότητα.

6.4.Γενικά στοιχεία CPS μέσω blockchain

Το Industry 4.0 έχει παρουσιάσει στον κατασκευαστικό τομέα νέα πρότυπα και τεχνικές των Cyber-Physical Systems, του Internet of Things, του big data analytics, του cloud manufacturing, του fog computing κλπ. Αναμένεται ότι αυτές οι τεχνολογίες θα προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα και αρκετές πιθανές ευκαιρίες, όπως self-awareness, self-prediction, self-comparison, self-reconfiguration και self-maintenance. Ωστόσο, αυτά τα πρότυπα χρησιμοποιούν κεντρικό βιομηχανικό δίκτυο και third-party trust operation. Ως εκ τούτου. Η παρούσα βιομηχανία υποφέρει από προβλήματα που αφορούν την προσαρμοστικότητα, την ασφάλεια, την ιδιωτικότητα, την διαφάνεια, την αποδοτικότητα, την ακεραιότητα των δεδομένων, την ελαστικότητα, την αξιοπιστία των δεδομένων κλπ.

Πρόσφατα, η τεχνολογία του blockchain έχει λάβει σημαντική προσοχή στο financial technology. Ωστόσο, κατέχει την ικανότητα και το σημαντικό ενδεχόμενο να υποστηρίξει το Industry 4.0 και να επιλύσει προβλήματα που το αφορούν. Σε μια αρχιτεκτονική 5 επιπέδων, συγκεκριμένα τα 5C-CPS, έχουν προταθεί για να δημιουργηθούν CPS στην



βιομηχανία. Ωστόσο, υπάρχουν αρκετές δυσκολίες που σχετίζονται με ασφάλεια δεδομένων, ιδιωτικότητα, centralization, δικτύωση και άλλα οι οποίες απαιτούν περαιτέρω έρευνα και πρόοδο. Συνεπώς, προτείνεται μια δομή blockchain 3 επιπέδων, η BCPS, για να λυθούν τα προαναφερθέντα προβλήματα. Προτείνονται, ακόμη, συγκεκριμένοι ρόλοι και λειτουργίες για κάθε επίπεδο blockchain και αναφέρονται τα κύρια χαρακτηριστικά τους.

Τα BCPS στοχεύουν στην επίλυση των προβλημάτων που σχετίζονται με την εφαρμογή των δομών 5C-CPS στον πρακτικό κόσμο μέσω της χρήσης διαλειτουργικότητας, εγκυρότητας δεδομένων, ασφάλειας και ιδιωτικότητας και τέλος ελαστικότητας. Η λεπτομερής δομή των BCPS είναι ως εξής:

6.4.1. Connection Net

Προηγμένη συνδεσιμότητα, data management, ακεραιότητα και ασφάλεια είναι τα κύρια χαρακτηριστικά σε αυτό το επίπεδο. Ο πιο σημαντικός παράγοντας για αυτή την παγκόσμια συνδεσιμότητα και ενσωμάτωση είναι η διαλειτουργικότητα. Υπάρχουν 8 πτυχές οι οποίες θα επιτρέψουν την σωστή τεχνική διαλειτουργικότητα: ασφάλεια, ιδιωτικότητα, προσιτότητα, πολυγλωσσία, αυτοδιοίκηση, πολύπλευρες λύσεις, χρήση ανοικτών standard και open source software. Το blockchain βοηθά στην εφαρμογή ασφάλειας και ιδιωτικότητας χρησιμοποιώντας προηγμένους κρυπτογραφικούς αλγόριθμους και παγκόσμιο μηχανισμό ομοφωνίας. Η αυτοδιοίκηση βελτιώνεται μέσω αποκεντρωμένου πλαισίου λειτουργίας μέσω του blockchain. Η πολυγλωσσία και οι πολύπλευρες λύσεις μπορούν να βελτιωθούν μέσω καλύτερης διασυνδεσιμότητας μεταξύ κόμβων (υπολογιστές, αισθητήρες, ενεργοποιητές και άλλα). Γενικά, οι κόμβοι μεγαλύτερης χωρητικότητας (Master Nodes) μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν τοπικοί servers (Micro-Cloud) ώστε οι κόμβοι με περιορισμένους πόρους να αποθηκεύουν πληροφορίες, να πραγματοποιούν υπολογισμούς και να επικοινωνούν με άλλους κόμβους. Ένα δημόσιο κλειδί (public key) μπορεί να ανατεθεί σε κάθε Master Node για απευθείας επικοινωνία με άλλους κόμβους. Έτσι, όλοι οι κόμβοι θα είναι ικανοί να επικοινωνούν μεταξύ τους, να μοιράζονται δεδομένα αλλά και να μοιράζονται τις υπολογιστικές δυνατότητες τους μεταξύ τους. Αναμένεται ότι αυτές οι λειτουργίες θα βελτιώσουν την ελαστικότητα και την αποδοτικότητα του συστήματος.



6.4.2. Cyber Net

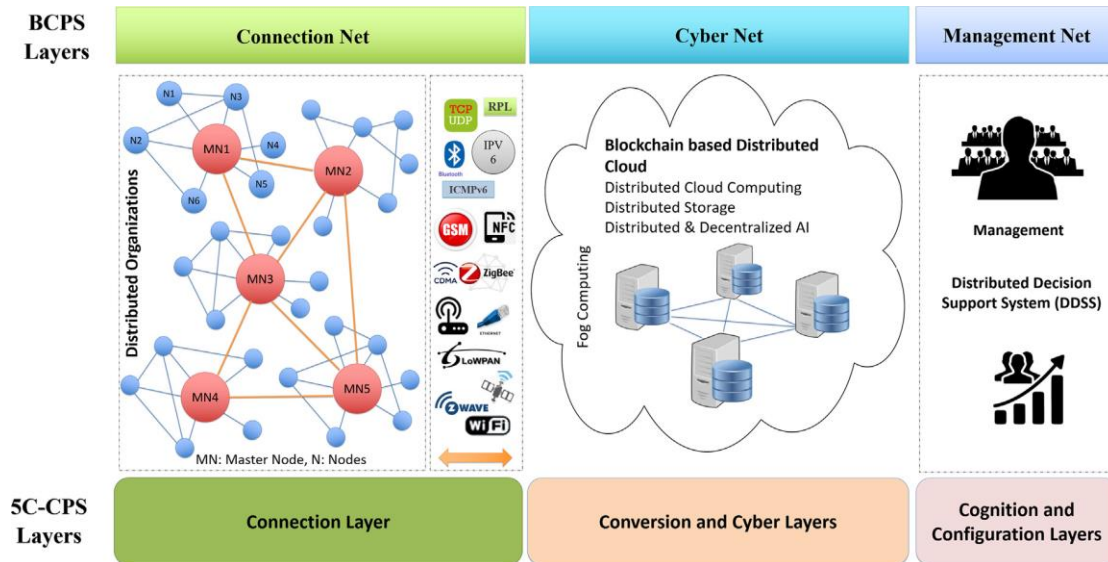
Αυτό το επίπεδο είναι υπεύθυνο για την μετατροπή των δεδομένων σε χρήσιμες πληροφορίες και το management των Cyber-Physical και Cyber-Cyber επικοινωνιών ώστε να επιτευχθεί ακεραιότητα και ελαστικότητα. Τα κύρια χαρακτηριστικά αυτού του επιπέδου είναι τα Cybersecurity, big data, cloud computing, συνδεσιμότητα δικτύου, ιδιωτικότητα και διαφάνεια. Διαφορετικές τεχνικές όπως grid και cloud computing μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να αυξηθεί η ταχύτητα υπολογισμών, η ελαστικότητα του συστήματος, η επεκτασιμότητα του δικτύου και η αποδοτική χρήση των πόρων που δεν χρησιμοποιούνται. Ο ρόλος αυτών των τεχνικών είναι η διαμοίραση του υπολογιστικού και αποθηκευτικού φόρτου μεταξύ διαφορετικών υπολογιστών στο δίκτυο. Μια δομή blockchain θα μπορούσε να είναι αναγκαία για αυτή την εφαρμογή παρέχοντας ασφάλεια των δεδομένων, διαμοιρασμένη αποθήκευση δεδομένων και ευκολία της πρόσβασης των δεδομένων αυτών μέσω Peer-to-Peer networks.

Σε αυτό το επίπεδο, η ενσωμάτωση εργαλείων Artificial Intelligence (AI) είναι αναγκαία ώστε τα αρχικά δεδομένα να μετατραπούν σε χρήσιμη πληροφορία και άρα το κάθε Node να θεωρείται Intelligent. Ένα δίκτυο που εφαρμόζει AI είναι αναγκαίο για τα παραγωγικά συστήματα του παρόντος αλλά κυρίως, τα Distributed and Decentralized AI (DDAI) θα ξεπεράσουν σε δυνατότητες τις κεντρικές έξυπνες πλατφόρμες. Με την βοήθεια του blockchain, τα AI μπορούν να τρέξουν, να ξαναμάθουν και να συντονίσουν τις γνώσεις τους με έναν διαμοιρασμένο τρόπο. Όσο τα DDAI modules λαμβάνουν πιο αξιόπιστες παγκόσμιες πληροφορίες η ευρωστία τους και η αξιοπιστία τους θα αυξάνει. Επίσης, η ανατροφοδότηση πληροφοριών από λειτουργίες που τρέχουν θα βελτιώνει ακόμη περισσότερο την αξιοπιστία τους και το κόστος εφαρμογής τους θα μειώνεται μέσω της διαμοίρασης πόρων με P2P τρόπους.

6.4.3. Management Net

Σε αυτό το επίπεδο, η συνολική πληροφορία από το cyber level χρησιμοποιείται σε ένα data-driven decision support system (DSS) με σκοπό την επίτευξη γρήγορου decision-making, παραγωγικότητας, ελαστικότητας και άρα παραγωγικής βιωσιμότητας. Στα παρόντα παραγωγικά συστήματα, τα συστήματα DSS και οι χρήστες του βρίσκονται γεωγραφικά μακριά και απαιτούν μια αξιόπιστη και διαμοιρασμένη πλατφόρμα για ακεραιότητα επιχειρηματικών πληροφοριών με σκοπό την επίτευξη αποδοτικότητας και ανταγωνιστικότητας. Ένα DSS που θα βασίζεται σε blockchain θα είναι αποκεντρωμένο και διαμοιρασμένο, το οποίο σημαίνει ότι οι αποφάσεις θα λαμβάνονται φτάνοντας σε μια καθολική συμφωνία λαμβάνοντας υπόψη όλους τους περιορισμούς σε ένα αποκεντρωμένο δίκτυο. Έτσι, όλοι οι κόμβοι θα μπορούν να συμμετέχουν στην διαδικασία λήψης αποφάσεων. Χάρη στα βασικά πλεονεκτήματα της τεχνολογίας του

blockchain, ένα τέτοιο σχέδιο θα ήταν ανεξάρτητο τοποθεσίας, ασφαλές, αυτόνομο και επεκτάσιμο.

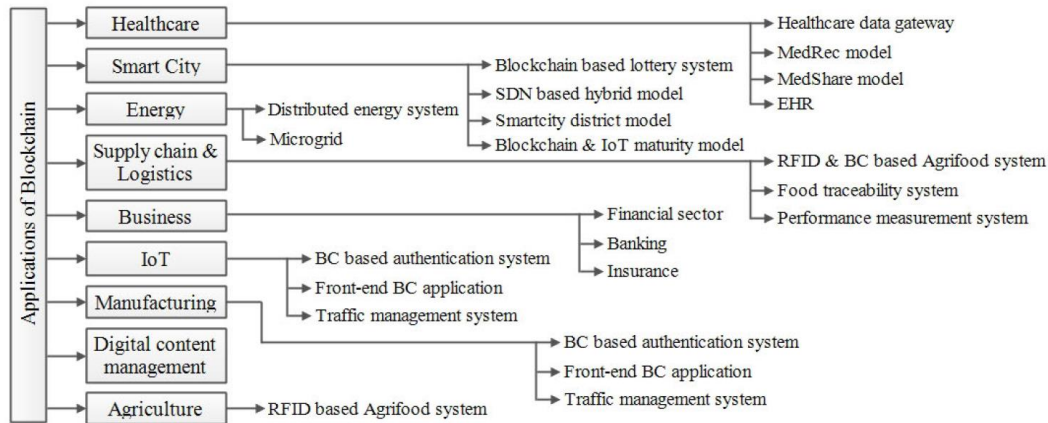


Σχήμα 14: Τα δίκτυα των Blockchain-based Cyber-Physical Systems

Πηγή: A Blockchain-enabled Cyber-Physical system Architecture for Industry 4.0 manufacturing systems, Lee, Azamfar, Singh, 2019

7. Εφαρμογή του Blockchain σε smart applications

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται εφαρμογές του blockchain σε διάφορους τομείς.



Σχήμα 15: Τομείς εφαρμογής blockchain για smart applications

Πηγή: Blockchain for Industry 4.0: A comprehensive Review, IEEE Access, 2020

7.1. Εφοδιαστική αλυσίδα και Logistics

Οι γεωργικές εφαρμογές (agricultural applications) απαιτούν σημαντικά δεδομένα εισόδου όπως supply chain management (SCM) το οποίο παίζει πολύ σημαντικό ρόλο. Τα παραδοσιακά συστήματα logistics που χρησιμοποιούνται στο food supply και στην γεωργία απλά αποθηκεύουν τις πληροφορίες και τις παραγγελίες και τις μεταβιβάζουν στον προορισμό τους. Αυτά τα συστήματα έχουν αρκετά κενά όσον αφορά στα διάφορα στοιχεία τους όπως στην δυνατότητα ελέγχου, την ανιχνευσιμότητα και την διαφάνεια. Ωστόσο, στη σύγχρονη εποχή, αυτά τα στοιχεία μπορούν να βελτιώσουν την ασφάλεια και την ποιότητα των τροφίμων, στοιχεία για τα οποία υπάρχει μεγάλη ανάγκη. Έτσι, οι περισσότεροι οργανισμοί Research and Development (R&D) υιοθετούν τεχνολογίες IoT όπως wireless sensor networks (WSN) και radio frequency identification (RFID) ώστε να παρακολουθούν το food supply chain.

Σύμφωνα με τον Caro, οι περισσότερες από τις κεντρικές δομές cloud χρησιμοποιούνται ως παρούσες λύσεις IoT στο Supply Chain Management. Αυτές οι δομές συνήθως έχουν θέματα όπως ακεραιότητα δεδομένων και απουσία διαφάνειας. Αυτά τα προβλήματα



μπορούν να επιλυθούν αποδοτικά με την χρήση blockchain. Με το blockchain μπορούν να χτιστούν αποκεντρωμένα αξιόπιστα συστήματα. Ένα αποκεντρωμένο σύστημα βασισμένο σε blockchain ονόματι AgriBlockIoT έχει προταθεί για Agri-Food SPM, σύμφωνα με Caro, Ali, Vecchio και Giaffreda (2018). Ενσωματώνει διάφορες συσκευές αισθητήρων IoT που παράγουν και ελέγχουν δεδομένα κατά μήκος της αλυσίδας. Αυτά τα δεδομένα μπορούν να προσπελαστούν και αυτόνομα smart contracts να δημιουργηθούν με την βοήθεια του AgriBlockIoT, με σκοπό την διαφάνεια και την ελαστικότητα των καταγραφών και των παραγγελιών. Η επίδοση και η απόδοση του AgriBlockIoT μετρώνται μέσω του φόρτου επεξεργασίας (CPU load), της κίνησης στο δίκτυο και της καθυστέρησης του (latency). Η επίδοση του συστήματος μπορεί να βελτιωθεί αν βελτιωθούν οι δομές των hardware που χρησιμοποιούνται. Οι Perboli, Musso και Rosano (2018) σημείωσαν ότι το blockchain βελτιώνει την αξιοπιστία, την αποδοτικότητα και την διαφάνεια του supply chain και άρα κάνει πιο ταχείς τις διεργασίες σε αυτή. Παρόλο που χρησιμοποιούνται πολλές τεχνολογίες IoT για την ασφάλεια των τροφίμων και για SCM, υπάρχουν ακόμα κάποια προβλήματα τα οποία δεν έχουν λυθεί. Το κύριο πρόβλημα είναι η απόφαση εάν οι πληροφορίες και τα δεδομένα που μοιράζονται μεταξύ των μελών άλλων supply chains είναι αξιόπιστα ή όχι. Για να λυθεί αυτό το πρόβλημα, ο Tian (2017) πρότεινε ένα σύστημα το οποίο ονομάζεται Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP, το οποίο παρέχει πληροφορίες ανίχνευσης τροφίμων σε πραγματικό χρόνο σε όλα τα μέλη του SCM και άρα προσφέρει αξιοπιστία, ουδετερότητα, ασφάλεια και διαφάνεια.

Οι Weber, Xu, Riveret, Governatori, Ponomarev και Mendling (2016) πρότειναν μια αποκεντρωμένη λύση βασισμένη σε blockchain για να λυθεί το πρόβλημα της διαπίστωσης αν τα υπόλοιπα μέλη της supply-chain είναι αξιόπιστα. Συζήτησαν, ακόμη, διάφορα άλλα επιχειρηματικά μοντέλα. Το πρωτότυπο μοντέλο εφαρμόστηκε χρησιμοποιώντας blockchain και επαληθεύτηκε μέσω των επιχειρηματικών διεργασιών. Για να εκτελούνται οι επιχειρηματικές συναλλαγές με ασφάλεια, προτάθηκε ένα μοντέλο ονόματι Business Process Management (BPM) από τον Guerreiro. Αυτό το μοντέλο χρησιμοποιούσε την τεχνολογία του blockchain και ένα Enterprise Operating System (EOS). Έτσι, εκμηδενίστηκε το ρίσκο στις επιχειρηματικές συναλλαγές μέσω της αύξησης της εμπιστοσύνης, της αυθεντικότητας, της ακεραιότητας και της ανιχνευσιμότητας.

Έχει, επίσης, προταθεί και ένα σύστημα Agricultural Supply Chain (ASC), από τους Leng, Bi, Jing, Fu και van Nieuwenhuysse (2018). Αυτό το σύστημα βασιζόταν στο double chain architecture το οποίο βελτίωνε την απόδοση του blockchain στο ASC. Οι λύσεις αυτές είχαν κυρίως προβλήματα όσον αφορά στις επιδόσεις και αύξαναν το μέγεθος του blockchain.

Ο Kshetri (2018) παρουσίασε αποδείξεις ότι χρησιμοποιώντας το blockchain σε διεργασίες supply chain αυξάνει την διαφάνεια. Εξέτασε, ακόμη, πως το blockchain θα



επηρεάσει τους βασικούς στόχους του SPM όπως το κόστος, την ποιότητα, την ταχύτητα, την αξιοπιστία, την μείωση του ρίσκου, την βιωσιμότητα και την ελαστικότητα.

Ένα public blockchain του agricultural supply chain συστήματος βασισμένο στην double chain αρχιτεκτονική προτάθηκε από τους Leng, Bi, Jing, Fu και van Nieuwenhuysse (2018). Σε αυτό το σύστημα, επικεντρώθηκαν στην δομή dual chain και τους μηχανισμούς ομοφωνίας, αποθήκευσης και σύνδεσης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η double chain δομή μπορεί να υποστηρίξει την ασφάλεια των επιχειρηματικών συναλλαγών και την ιδιωτικότητα τους. Είχε, επίσης, την ικανότητα να διοικεί τους πόρους του συστήματος αυτοπροσαρμοζόμενα. Έτσι, αυτή η δομή βελτίωνε σημαντικά την συνολική απόδοση του συστήματος.

7.2. Τομέας ενέργειας

Η ενέργεια είναι ένας από τους πιο σημαντικούς τομείς της καθημερινότητας. Τρόφιμα, επικοινωνία, μετακίνηση, θέρμανση-ψύξη, φωτισμός: όλα χρειάζονται ενέργεια. Είναι πολύ σημαντικό, λοιπόν, να επιλεγεί σωστά η πηγή της ενέργειας που χρησιμοποιείται, αφού μια λάθος επιλογή μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα όπως υπερθέρμανση του πλανήτη και υπερβολική ρύπανση.

Οι πηγές ενέργειας κατηγοριοποιούνται σε 2 τύπους: ανανεώσιμες και μη ανανεώσιμες. Η εκθετική αύξηση της χρήσης μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορεί να οδηγήσει σε εξαφάνιση τους. Είναι, άρα, πολύ σημαντική η σωστή διαχείριση τους και χρήση τους. Η σωστή χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορεί να ισορροπήσει την ενεργειακή απόδοση του πλανήτη και να βελτιώσει την ποιότητα του περιβάλλοντος. Γι' αυτό, λοιπόν, οι περισσότερες χώρες ενθαρρύνουν τους πολίτες τους να χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για να αναπτύξουν τις βιομηχανίες τους, την γεωργία τους και τις μετακινήσεις τους.

1) Distributed Energy System

Το Distributed Energy System (DES) είναι μια από τις πιο σημαντικές έννοιες στον τομέα της ενέργειας. Το DES παράγει ενέργεια σε αποκεντρωμένα επίπεδα. Αυξάνει, επίσης, την συνολική επίδοση του συστήματος βασζόμενο στις παραμέτρους του περιβάλλοντος όπως τα οικονομικά και η υπόλοιπη παραγωγή ενέργειας. Το DES ξεπερνάει τις πολλές προκλήσεις των κεντρικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας και μεγιστοποιεί την χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για μια διαμοιρασμένη παραγωγή ενέργειας. Με την χρήση IoT, Artificial Intelligence (AI) και Machine Learning (ML), το DES έχει κάνει εύκολη και απλή την αποθήκευση και τον έλεγχο δεδομένων και καταγραφών. Το DES

έχει φέρει μια σημαντική βελτίωση στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας και φέρνει την ανάπτυξη της χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Το IoT παίζει σημαντικό ρόλο στις ανταλλαγές ενέργειας και άρα υιοθετείται από το DES. Η παρουσία του blockchain και του IoT διευκολύνει μια σειρά από υπηρεσίες που εφαρμόζονται μέσω του DES. Η εφαρμογή του blockchain στο DES βοηθά στην ανάπτυξη αξιόπιστων ροών δεδομένων μεταξύ εμπόρων εκπομπών και παραγωγών ενέργειας. Το ψηφιακό DES προσφέρει ένα υψηλό επίπεδο ασφάλειας και μια σωστή όψη για λήψη αποφάσεων και επεξεργασία βάσει τρεχουσών συνθηκών. Το blockchain βοηθά, επίσης, στην αποδοτική παραγωγή ενέργειας και προσφέρει μια αποκεντρωμένη πλατφόρμα ανταλλαγής ενέργειας για εισαγωγή και εξαγωγή της, η οποία μπορεί αποδοτικά να παρακολουθεί ροές ηλεκτρισμού μέσω time stamping.

Το DES είναι ένα ευφυές σύστημα το οποίο προσφέρει ένα ευρύ φάσμα από υπηρεσίες σε διάφορα στάδια όπως το operating stage, το development stage, το energy trading stage και το energy metering stage. Ο Kumar (2018), ωστόσο, δεν επισήμανε προβλήματα όπως παλιά δομή του ηλεκτρικού δικτύου, την αξιοπιστία, την απώλεια ενέργειας, την σταθερότητα, τα περιβαλλοντικά θέματα και την μικρότερη απόδοση κατά την μεταφορά ενέργειας.

Ο Truby (2018) περιέγραψε πώς να βελτιωθούν οι εφαρμογές blockchain στην ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων. Η έρευνα αυτή οδήγησε σε εργαλεία, και πολιτικής και νομικά, τα οποία απαιτούνται για την χρήση ενέργειας σε τεχνολογίες με blockchain.

2) Microgrid



Σχήμα 16: Σχηματική απεικόνιση microgrid

Πηγή: Planning and Implementation of bankable microgrid, Stadler, Nasle, www.researchgate.net, 2019



Τα μικρής κλίμακας εργοστάσια παραγωγής ενέργειας τα οποία έχουν την δική τους αποθήκευση είναι γνωστά ως microgrids. Ένα microgrid μπορεί να θεωρηθεί ένα μικρό σύμπλεγμα από χρήστες ηλεκτρισμού οι οποίοι έχουν μια τοπική πηγή ηλεκτρισμού. Τα συμπλέγματα συνδέονται μεταξύ τους με ένα εθνικό δίκτυο το οποίο λειτουργεί ανεξάρτητα. Αν ένα microgrid είναι συνδεδεμένο στο κυρίως δίκτυο (main grid) τότε αυτό είναι γνωστό ως υβριδικό microgrid. Decentralized Energy Resources (DER) όπως γεννήτριες ντίζελ, φωτοβολταϊκά πάνελ και φορτία είναι ενσωματωμένα με Energy Storage Systems (ESS) για να σχηματίσουν ένα microgrid και να παρέχουν ηλεκτρισμό.

Η αποκεντρωμένη ελαστικότητα που επιζητείται μπορεί να επιτευχθεί με τα microgrids. Οι Goranovic, Meisel, Fotiadis, Wilker, Treytl και Sauter (2017) πρότειναν 2 τρόπους για τον έλεγχο ηλεκτρικών δικτύων, τον centralized και τον decentralized. Στα centralized monitoring systems ένας χειριστής είναι υπεύθυνος για την εκτέλεση όλου του συστήματος. Η χρήση κεντρικών συσκευών ελέγχου απαιτεί δαπανηρές δομές. Τα centralized συστήματα μετρούν και επεξεργάζονται τα δεδομένα και μετά δίνουν τις οδηγίες τους. Το κύριο μειονέκτημα αυτού του μηχανισμού είναι ότι η χρήση πολλαπλών σημείων ελέγχου στο σύστημα αυτό αυξάνει την πιθανότητα βλάβης. Αυτό, λοιπόν, το μειονέκτημα μπορεί να ξεπεραστεί με την χρήση αποκεντρωμένων συστημάτων (decentralized systems) στα οποία κάθε συσκευή αυτοελέγχεται. Το αποκεντρωμένο σύστημα, επίσης, βελτιώνει την ταχύτητα επικοινωνίας του συστήματος. Το αποκεντρωμένο blockchain είναι ικανό να εφαρμόσει επιχειρηματικές διαδικασίες στα microgrids χρησιμοποιώντας smart contracts. Ο τύπος του blockchain, του μηχανισμού ομοφωνίας και της διαθεσιμότητας ανταλλακτικών είναι κάποιες από τις παραμέτρους που θα πρέπει κάποιος να σκέφτεται όταν σχεδιάζει ένα microgrid. Οι Goranovic, Meisel, Fotiadis, Wilker, Treytl και Sauter (2017) πρότειναν κάποια πρότζεκτ τα οποία παρουσιάζονται εδώ περιληπτικά:

I) PowerLedger: ήταν ένας μηχανισμός ανταλλαγής ενέργειας βασισμένος σε blockchain. Περιλάμβανε χρήση Ethereum με Proof-of-Work (PoW) και δημόσια eco-chain η οποία χρησιμοποιούσε Proof-of-Stake (PoS). Ήταν ένα open source project.

II) Share&Charge: ήταν μια σειρά από σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών αυτοκινήτων που χρησιμοποιούσε Ethereum και consensus algorithms ως PoW. Οι ιδιοκτήτες μπορούν να εγγράψουν τον σταθμό τους και να μειώσουν τα charging tariffs. Κάθε σταθμός φόρτισης θα μπορούσε να ενσωματωθεί στο δίκτυο του Share&Charge μέσω ενός Share&Charge module.

III) NRGcoin: αυτό το πλαίσιο βασιζόταν σε κρυπτονόμισμα ενέργειας που αναπτύχθηκε μέσω smart contracts. Λειτουργούσε μέσω gateways οι οποίες υπολόγιζαν την ροή του ηλεκτρισμού και επικοινωνούσαν μέσω smart contracts.



IV) GrunStromJeton: ήταν ένα πλαίσιο βασισμένο σε Ethereum που αναπτύχθηκε για να επαληθεύει την πραγματική χρήση ηλεκτρισμού. Χρησιμοποιούσε Proof-of-Authority (PoA) ως consensus mechanism.

V) SolarCoin: Αναπτύχθηκε για να βελτιώσει την μαζική παραγωγή ηλιακής ενέργειας. Λόγω εκτενών διαδικασιών setup, οι καταναλωτές συνήθως δεν εγκαθιστούν ηλιακές εγκαταστάσεις. Αυτό το project στόχευε στην εξάλειψη αυτού του προβλήματος δίνοντας ανταμοιβές στους αγοραστές. Ένα SolarCoin δινόταν σαν ανταμοιβή για κάθε παραχθείσα MWh. Χρησιμοποιούσε PoW σαν consensus mechanism και bitcoin για κρυπτονόμισμα.

VI) GridSingularity: ήταν ένα πλαίσιο αποκεντρωμένης ανταλλαγής δεδομένων σχεδιασμένο ειδικά για τον ενεργειακό τομέα δίνοντας έμφαση στον ηλεκτρισμό, το νερό, το φυσικό αέριο και την θερμότητα. Σε αυτή την πλατφόρμα PoA και PoW ήταν τα consensus algorithms και χρησιμοποιούσε Ethereum.

VII) Electron: είναι μια εταιρεία που δουλεύει στον ενεργειακό τομέα και παρέχει λύσεις βασισμένες στο Ethereum.

Εκτός από τα παραπάνω πρότζεκτ, υπάρχουν και αρκετά άλλα που είναι στη φάση της ανάπτυξης και έρευνας. Βέβαια, για όλα αυτά θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όλες οι παραπάνω προϋποθέσεις για καλή λειτουργία.

7.3. Διαμοίραση ψηφιακού περιεχομένου

Από την εμποροποίηση του διαδικτύου το 1994, οι υπηρεσίες ψηφιακού περιεχομένου έχουν αυξηθεί εκθετικά. Γενικά, το ψηφιακό περιεχόμενο προστατεύεται με χρήση παραδοσιακών μηχανισμών κρυπτογράφησης. Διαφορετικοί μηχανισμοί κρυπτογράφησης χρησιμοποιούν διαφορετικούς τρόπους για να παράγουν, να μεταδίδουν και να αποθηκεύουν τα κλειδιά τα οποία αποκρυπτογραφούν το κλειδωμένο περιεχόμενο. Τα παραδοσιακά συστήματα όπως το Conditional Access System and Digital Rights Management (DRM) είναι δημοφιλή για την προστασία ψηφιακού περιεχομένου, αλλά αντιμετωπίζουν κάποια σοβαρά προβλήματα όπως επιθέσεις μέσω δικτύου, κλοπή κλειδιών και πειρατικές επιθέσεις.

Για να λυθούν τα προβλήματα που παρουσιάζουν τα παραδοσιακά συστήματα, οι Kishigami, Fujimura, Watanabe, Nkadeira και Akutsu (2018) πρότειναν ένα αποκεντρωμένο σύστημα διανομής ψηφιακού περιεχομένου βασισμένο στο blockchain. Σε αυτό το σύστημα, ο ιδιοκτήτης του ψηφιακού περιεχομένου θα μπορούσε να επιβλέπει και να ελέγχει την ασφάλεια του περιεχομένου. Η χρήση τεχνικών mining



εξασφάλιζαν ότι η προσθήκη νέων συναλλαγών στο blockchain ήταν ασφαλής. Σαν μηχανισμός ομοφωνίας χρησιμοποιήθηκε το Proof-of-Work ώστε να εγγυηθεί η ασφάλεια και η ιδιωτικότητα των συναλλαγών που αποθηκεύονταν στο blockchain. Λόγω, όμως, κάποιων προβλημάτων όπως πειρατικές επιθέσεις, δεν ήταν δυνατή ο εξ'ολοκλήρου έλεγχος αυτού του συστήματος.

7.4. Τομέας τουρισμού και εστίασης

Στην εποχή μας, οι περισσότεροι άνθρωποι ψάχνουν, βρίσκουν και κλείνουν τα εισιτήρια τους, την εστίαση τους και την διαμονή τους διαδικτυακά. Συνεπώς, η χρήση του διαδικτύου και του τουριστικού τομέα έχει αλλάξει αρκετά. Σε αυτό τον ψηφιακό κόσμο, πολλές τουριστικές εταιρείες όπως Expedia Group, BCD Travel, Uber, Ola και Airbnb έχουν αντικαταστήσει τα παραδοσιακά επιχειρηματικά μοντέλα τους με Consumer-to-Consumer μοντέλα για να πετύχουν διαφάνεια και ασφάλεια τις συναλλαγές τους. Υπάρχει μια μεγάλη ανάγκη για καινοτόμες πλατφόρμες οι οποίες μπορούν να ενσωματώσουν τεχνολογία, χρήματα και γνώση στον τουριστικό τομέα.

Η TUI και άλλες εταιρείες έχουν ήδη αρχίσει να χρησιμοποιούν το blockchain για να εφαρμόζουν λειτουργικότητες όπως κλείσιμο εισιτηρίων και εκτέλεση πληρωμών. Πολλές εταιρείες όπως Expedia, CheapAir, Webjet και One Shot Hotels χρησιμοποιούν bitcoins για αυτούς τους σκοπούς πχ για το κλείσιμο εισιτηρίων. Τα ψηφιακά συναλλάγματα ενσωματώνονται με τα smart contracts τα οποία έχουν ενδεχόμενο να αναπτύξουν πολλές τεχνολογίες για τον τουριστικό τομέα. Βλέπουμε, λοιπόν, ότι και στον τουριστικό τομέα. Το blockchain στο Industry 4.0 μπορεί να βοηθήσει στα προβλήματα που αντιμετωπίζει ο τομέας αυτός.

7.5. Τομέας υγείας

Η υγεία είναι ο σημαντικότερος τομέας σε ένα κράτος. Σε παραδοσιακά συστήματα υγείας, τα δεδομένα του ασθενή αποθηκεύονται σε ένα κεντρικό μέρος και άρα δεν είναι συνετό να δίνεται πρόσβαση σε τρίτα μέλη. Επιπροσθέτως, η ιδιωτικότητα και η ασφάλεια των πληροφοριών του ασθενή πρέπει προφανώς να διασφαλίζονται σε κάθε περίπτωση. Μια centralized architecture δεν μπορεί να καλύψει εντελώς αυτές τις προϋποθέσεις. Έτσι, το smart healthcare παρουσιάζεται για να λύσει τα προαναφερθέντα προβλήματα. Το smart healthcare εστιάζει στον έλεγχο και την



διάγνωση των ασθενών εξ αποστάσεως μέσω ασύρματης επικοινωνίας. Συλλέγει τις απαραίτητες πληροφορίες διαφόρων ασθενών μέσω συσκευών και αισθητήρων σε wearable μορφή. Συλλέγεται, άρα, ένας τεράστιος όγκος από δεδομένα για έναν μεγάλο αριθμό ασθενών, ο οποίος προφανώς είναι πολύ δύσκολο να αναλυθεί και να αποθηκευτεί με ασφάλεια. Αυτά τα δεδομένα θα πρέπει, ακόμη, να μοιράζονται μεταξύ μερών όπως νοσοκομεία, γιατρών και φαρμακείων. Η ασφαλής επικοινωνία αυτών των δεδομένων είναι πολύ σημαντική αφού επηρεάζει σημαντικές αποφάσεις όπως τον σχεδιασμό νέων υπηρεσιών στο νοσοκομείο, των γιατρών που προτείνονται για κάθε περίπτωση, την ανάλυση συμπτωμάτων διαφόρων ασθενειών και την βελτίωση του συνολικού συστήματος για να γίνει ευφύες.

Για τις διάφορες διαδικασίες έρευνας στην υγεία, η ανάλυση συμπτωμάτων και των δεδομένων ασθενών είναι πολύ σημαντικό να γίνονται περιοδικά. Οι παραδοσιακές πολιτικές ελέγχου πρόσβασης δεν είναι αρκετά ασφαλείς ώστε να μοιράζουν δεδομένα υψηλής ευαισθησίας μεταξύ μερών. Ακόμη, σε αρκετές περιπτώσεις, οι ασθενείς δεν μοιράζονται το ιατρικό ιστορικό τους με τους γιατρούς. Σε περίπτωση ανάγκης, όμως, το ιατρικό ιστορικό είναι αναγκαίο αλλά ίσως μη προσβάσιμο λόγω κακής συντήρησης του συστήματος. Όλα τα προαναφερθέντα προβλήματα μπορούν να λυθούν με την χρήση Electronic Health Records (EHR). Ενώ, όμως, το smart healthcare είναι ικανό να λύσει αρκετά από τα προβλήματα στον τομέα υγείας, υπάρχουν ακόμα αρκετές προκλήσεις που πρέπει να ξεπεραστούν. Τα προβλήματα αυτά είναι η πολιτική για έλεγχο πρόσβασης (access control policy), η ιδιωτικότητα, η ασφάλεια και η διαθεσιμότητα. Η τεχνολογία blockchain μπορεί να δώσει λύση για αυτά τα προβλήματα. Το blockchain, στην πραγματικότητα, μπορεί να υποστηρίξει το smart healthcare μέσω του distributed ledger μεταξύ διαφόρων χρηστών όπως ασθενείς, γιατροί, φαρμακεία και ασφαλιστικές εταιρείες.

Οι Yue, Wang, Jin, Li και Jiang (2016) πρότειναν μια ευφυή εφαρμογή βασισμένη σε blockchain ονόματι Healthcare Data Gateway (HDG). Οι ασθενείς μπορούν με ασφάλεια να μοιραστούν και να ελέγξουν τα δεδομένα τους μέσω ενός secured data gateway. Αυτό επεξεργάζεται και διαχειρίζεται τα δεδομένα των ασθενών χωρίς καμία μέριμνα για κάποιο third party. Το HDG αποτελείται από 3 επίπεδα: το Data Usage, το Data Management και το Storage. Οντότητες που χρησιμοποιούν τα ιατρικά δεδομένα όπως ιατροί, εταιρείες, η κυβέρνηση και οι ερευνητές συνδέονται με το data usage επίπεδο. Στο data management επίπεδο, τα HDGs συνδέονται μεταξύ τους. Αυτό το επίπεδο διαχειρίζεται, επίσης, όλα τα metadata. Το επίπεδο storage αποτρέπει επιθέσεις στην ακεραιότητα και την εμπιστευτικότητα παρέχοντας ασφαλή αποθήκευση για το σύστημα υγείας.

Οι Azaria, Ekblaw, Vieira και Lippman (2016) ανέπτυξαν ένα αποκεντρωμένο μοντέλο MedRec το οποίο διαχειρίζεται δεδομένα για μεγάλης κλίμακας EHR. Σε αυτή την πρόταση, η εμπιστευτικότητα, η αυθεντικοποίηση και η ευθύνη των ιατρικών δεδομένων παρέχονταν μέσω της χρήσης blockchain τεχνικών.



Οι Shae και Tsai (2017) ανέπτυξαν μια νέα αρχιτεκτονική για τον ιατρικό τομέα ειδικά για precision medicine και κλινικές δοκιμές. Αυτή η αρχιτεκτονική είχε 4 νέα συστατικά: I) διαμοιρασμένο συστατικό επεξεργασίας βασισμένο σε blockchain ώστε να παρέχει data analytics II) εμπιστευτικό συστατικό διαμοίρασης πληροφοριών ώστε να αναπτυχθεί ένα αξιόπιστο σύστημα ιατρικών δεδομένων για κοινή έρευνα III) συστατικό διαχείρισης δεδομένων για να παρέχεται ακεραιότητα των δεδομένων και IV) συστατικό ταυτοποίησης ώστε να παρέχεται ιδιωτικότητα της ταυτότητας για τις συσκευές IoT και τα δεδομένα των ασθενών.

Οι Zhang, Xue και Huang (2016) ανέπτυξαν ένα αξιόπιστο σύστημα υγείας βασισμένο στο Pervasive Social Network με διαφορετικά πρωτόκολλα. Το πρώτο πρωτόκολλο ήταν μια επέκταση του IEEE 802.15.6. Χρησιμοποιήθηκε για να καθιερωθούν ασφαλείς συνδέσεις για φορητές συσκευές και κόμβους αισθητήρων χωρίς πολλούς πόρους. Τα δεδομένα μοιράζονταν μεταξύ κόμβων PSN με τη βοήθεια του δεύτερου πρωτοκόλλου το οποίο βασιζόταν στο blockchain. Οι ερευνητές εξέτασαν τα πρωτόκολλα και άλλους παράγοντες για την επίδοση της πρότασης τους. Το σύστημα είχε την ικανότητα να χρησιμοποιεί την τεχνολογία blockchain, ειδικά για εφαρμογές βασισμένες σε PSN. Παρόλο που το σύστημα δεν εξετάστηκε σε ένα πλήρους κλίμακας σύστημα υγείας, η επίδοση του θα μπορούσε να βελτιωθεί μέσω εκτενούς ελέγχου του.

Οι Dubovitskaya, Xy, Ryu, Schumacher και Wang (2017) συζήτησαν και πρότειναν ένα πλαίσιο για την διαχείριση EMR, ειδικά για τους ασθενείς που έπασχαν από καρκίνο. Η αρχιτεκτονική που πρότειναν είχε user interface και backend. Το backend είχε συστατικά όπως membership services, certification authority, κόμβους, load balancers και cloud storage για δεδομένα ασθενών. Αυτό το έργο μείωσε δραματικά τον απαιτούμενο χρόνο απόκρισης του συστήματος και το κόστος του και αύξησε την δυνατότητα της λήψης αποφάσεων. Το σύστημα, επίσης, παρείχε την εγγύηση διαθεσιμότητας, ασφάλειας και ιδιωτικότητας των δεδομένων EMR.

Οι Xia, Sifah, Asamoah, Gao, Du και Guizani (2017) ανέπτυξαν ένα αξιόπιστο βασισμένο σε blockchain σύστημα ονόματι MeDShare ειδικά για να διαχειρίζεται μεγάλους όγκους δεδομένων ασθενών σε cloud χρησιμοποιώντας big data. Δραστηριότητες όπως διαμοίραση δεδομένων καταγράφονταν και αποθηκεύονταν με έναν μη παραποιήσιμο τρόπο. Οι ερευνητές σύγκριναν την επίδοση του συστήματος τους με τις υπάρχουσες μεθόδους αλλά παρέμεναν προβλήματα όπως επεκτασιμότητα και διαλειτουργικότητα των δεδομένων. Οι Rifi, Rachkidi, Agoulmine και Taher (2017) συζήτησαν τα σημαντικά προβλήματα της επεκτασιμότητας και της διαλειτουργικότητας και υπογράμμισαν τα πλεονεκτήματα της χρήσης blockchain για ιατρικά δεδομένα ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή επίδοση του συστήματος υγείας.



Οι Liang, Zhao, Shetty, Liu και Li (2017) ανέπτυξαν ένα user-driven σύστημα ανταλλαγής πληροφοριών για να λυθούν τα προβλήματα της ιδιωτικότητας και του identity management. Για να λυθούν τα προβλήματα αυτά, πρότειναν την χρήση σχηματισμού καναλιών (channel formation) και membership service μέσω του blockchain. Η έρευνα επικεντρωνόταν κυρίως στην ταυτοποίηση των κόμβων του συστήματος και την αποθήκευση των ιατρικών δεδομένων.

Ένα νέο μοντέλο βασισμένο σε blockchain προτάθηκε από τον Magyar το 2017. Το μοντέλο αυτό ενσωμάτωνε το Electronic Healthcare Data (EHD). Η εφαρμογή αποκεντρωμένου δικτύου βασισμένου σε blockchain ήταν η βασική ιδέα σε αυτό. Το μοντέλο αναπτύχθηκε βάσει των κανονισμών λειτουργίας HIPAA που υπάρχουν ήδη στις ΗΠΑ. Το έργο που προτάθηκε διασφάλιζε την διαθεσιμότητα των πληροφοριών και έλυσε το πρόβλημα της ιδιωτικότητας των δεδομένων ταυτόχρονα, ωστόσο οι ερευνητές δεν παρείχαν κάποιον αλγόριθμο ή μέθοδο για να διαχειριστούν τα προβλήματα της ακεραιότητας, της ασφάλειας και της διαλειτουργικότητας.

Οι Jiang, Cao, Wu, Yang, Ma και He (2018) επικεντρώθηκαν στο γεγονός ότι καθημερινά παράγονται τεράστιες ποσότητες από ιατρικά δεδομένα είτε από νοσοκομεία είτε από ιατρούς. Αυτά τα δεδομένα είναι πολύ σημαντικά για τον τομέα της υγείας για πολλούς λόγους. Επίσης, είναι πολύ δύσκολο να αποθηκευτούν με ασφάλεια. Με αυτούς τους περιορισμούς, οι ερευνητές πρότειναν ένα μοντέλο βασισμένο σε blockchain για Healthcare Information Exchange (BlocHIE) το οποίο έλυσε τα προαναφερθέντα προβλήματα. Σε αυτό τον μηχανισμό, οι ερευνητές έδειξαν ότι υπάρχουν 2 είδη δεδομένων (healthcare related data): personal healthcare related data και electronic medical records. Εκτέλεσαν ανάλυση διαφόρων τρόπων για διαμοίραση και αποθήκευση τέτοιων δεδομένων. Το πλαίσιο αυτό βασιζόταν σε 2 blockchains που συνδέονταν: το ένα ήταν το EMR chain και το άλλο ήταν το data chain. Χρησιμοποιήθηκαν, ακόμη, διαφορετικές μέθοδοι και τεχνικές για chain verification και αποθήκευση ώστε να επιτευχθούν αυθεντικοποίηση και ιδιωτικότητα. Οι ερευνητές πρότειναν, ακόμη, 2 αλγόριθμους για transaction packaging (ο TP&FAIR για PHRD-Chain και ο FAIR-FIRST για EMR-Chain) οι οποίοι στόχευαν στην δικαιοσύνη και την αποδοτικότητα μεταξύ των χρηστών.

Στις μέρες μας το blockchain χρησιμοποιείται παγκοσμίως στον τομέα υγείας για διαχείριση και αποθήκευση healthcare data με ασφάλεια. Οι Θεοδούλη, Αρακλιωτης, Μόσχου, Βότης και Τζοβάρας (2018) έδειξαν ότι αυτά τα δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για περαιτέρω καινοτομία και έρευνα στον τομέα υγείας. Σκεπτόμενοι τις ανάγκες του τομέα υγείας, οι ερευνητές πρότειναν μια αρχιτεκτονική για ένα σύστημα το οποίο μπορεί με ευκολία και ασφάλεια να μεταφέρει πληροφορίες για τους ασθενείς με χρήση blockchain. Η πρόταση αυτή περιείχε 3 επίπεδα: το Web/Cloud layer, το Cloud middleware layer και το Blockchain network layer. Όπως δείχνει και η έρευνα τους, το μοντέλο αυτό μπορεί να βοηθήσει στην βελτίωση της ασφάλειας και της ακεραιότητας σε ένα ικανοποιητικό βαθμό. Αυτό το μοντέλο χρησιμοποιήθηκε και στο KONFIDO project

για να επαληθευθούν οι παράμετροι της διαλειτουργικότητας και της ανταλλαγής δεδομένων.

7.6. Smartcity



Σχήμα 17: Σχηματική απεικόνιση smartcity

Πηγή: SmartCity Τι αλλάζει στις πόλεις του μέλλοντος, www.tomorrownews.gr, 2019

Στις εφαρμογές smartcity χρησιμοποιούνται διαφορετικοί αισθητήρες από διάφορες smart συσκευές και χρήστες για να συλλεχθούν τα απαραίτητα δεδομένα. Αυτά τα δεδομένα επεξεργάζονται και χρησιμοποιούνται για διαχείριση της κίνησης στους δρόμους, στα μεταφορικά συστήματα, στην διαχείριση των αποβλήτων, στα σχολεία, στις βιβλιοθήκες, στα δίκτυα παροχής νερού, στις κοινωνικές υπηρεσίες και τα εργοστάσια ενέργειας για να αυξηθεί η συνολική τους απόδοση. Τα στατιστικά δείχνουν ότι υπάρχει μια σταδιακή αύξηση των ανθρώπων που μένουν σε πόλεις. Λόγω της αύξησης χρήσης του διαδικτύου, big data και IoT η ιδέα του smartcity έχει γίνει αρκετά δημοφιλής. Για να αναπτυχθούν οι smart cities, απαιτούνται αποδοτικοί μηχανισμοί για να λυθούν τα υπάρχοντα προβλήματα ενέργειας, μετακίνησης, κυβέρνησης και περιβάλλοντος. Κάποια υπάρχοντα προβλήματα όπως η ασφάλεια στο IoT, η δυσκολία στην συντήρηση του εξοπλισμού, η διατήρηση εμπιστοσύνης μεταξύ των χρηστών του διαδικτύου και η ιδιωτικότητα χρειάζεται να λυθούν άμεσα ώστε τα project των smart cities να εφαρμοστούν αποδοτικά. Η τεχνολογία Blockchain είναι η δυνατότητα να λυθούν όλα αυτά τα προβλήματα και άρα χρειάζεται περαιτέρω έρευνα σε αυτό τον τομέα και τις εφαρμογές του στις smart cities.



Όπως είναι γνωστό, η κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται με την ανάπτυξη των αστικών κέντρων. Ο σκοπός του διαδικτύου είναι να αναπτυχθεί ένα ευφυές σύστημα ενέργειας. Οι ερευνητές επικεντρώνονται κυρίως στο πως το blockchain θα μπορούσε να βοηθήσει να λυθούν τα προβλήματα αυτά. Έχουν προταθεί αρκετά τέτοια συστήματα που λύνουν την ταυτοποίηση των χρηστών, την ταυτοποίηση στην βάση δεδομένων και την ιδιωτικότητα των στοιχείων των χρηστών. Γενικά, το σύστημα θα πρέπει να ταυτοποιεί τα valid IoT nodes και να αποκλείει τα malicious IoT nodes. Έτσι θα αποκλείονται οι επιθέσεις από τρίτους στο σύστημα και θα διασφαλίζεται η ιδιωτικότητα και η ακεραιότητα στο σύστημα.

Διάφορα προβλήματα στην αρχιτεκτονική των smart cities συζητήθηκαν από τους Sharma και Park το 2018. Λόγω της εκθετικής αύξησης στον όγκο των πληροφοριών και στην αύξηση των συνδεδεμένων κόμβων IoT, διάφορα προβλήματα όπως bandwidth, ασφάλεια, latency και επεκτασιμότητα προκύπτουν στα πλαίσια αυτά. Για να λυθούν, λοιπόν, τα προβλήματα αυτά, οι Sharma και Park πρότειναν μια υβριδική αρχιτεκτονική για smart cities, η οποία χωρίστηκε σε 2 κομμάτια: το edge network και το core network. Αυτή η αρχιτεκτονική δοκιμάστηκε ως προς την ασφάλεια της, το latency της και το throughput της ενώ ταυτόχρονα, οι ερευνητές πρότειναν και ένα Software-Defined Networking (SDN) και Blockchain-based hybrid network για εφαρμογή, ωστόσο δεν προτάθηκαν συγκεκριμένες λύσεις για την λειτουργία των κόμβων και άλλα θέματα. Λόγω αυτού του κενού στο πεδίο, είναι απαραίτητη περαιτέρω έρευνα στον τομέα αυτό.

Οι Biswas και Muthukkumarasamy (2016) πρότειναν ένα πλαίσιο ασφάλειας τεσσάρων επιπέδων μέσω της χρήσης blockchain. Ενσωματώθηκε με smart devices τα οποία παρείχαν μια ασφαλή και αξιόπιστη σύνδεση επικοινωνίας για smart cities. Τα 4 επίπεδα ήταν το physical layer, το communication layer, το database layer και το interface layer. Στο physical layer ορίστηκαν πολλά πρότυπα για τα smart devices χρησιμοποιώντας δεδομένα που είχαν συλλεχθεί. Τα πρωτόκολλα blockchain χρησιμοποιήθηκαν για να ενσωματωθούν με το communication layer ώστε να παρέχεται ιδιωτικότητα και ασφάλεια στα δεδομένα που ανταλλάσσονται. Οι ερευνητές υποστήριζαν ακόμα ότι η εκτεταμένη χρήση private ledger μπορούσε να οδηγήσει σε βελτίωση της απόδοσης και της επίδοσης για πολλές real-time εφαρμογές όπως smart parking, smart cleaning, smart home και smart traffic control systems. Λόγω της χρήσης blockchain, πολλές smart συσκευές μπορούσαν να επικοινωνήσουν σε ένα διανεμημένο περιβάλλον.

Οι Rivera, Robledo, Larios και Avalos (2017) όρισαν το smart city ως την χρήση information technology (IT) για να κάνουν τις ζωές των κατοίκων καλύτερες και πιο βολικές. Ένα smart city είναι ένας ψηφιακός κόσμος ο οποίος συνδέει διάφορους τομείς όπως κυβερνητικά γραφεία, σχολεία, υγεία, πανεπιστήμια και την οικονομία. Στις μέρες μας, η μοναδική ταυτότητα των χρηστών είναι η μεγαλύτερη ανησυχία για τα business και smart city περιβάλλοντα. Πολλοί ερευνητές έχουν προσπαθήσει να αναπτύξουν μια



αξιόπιστη τεχνολογία για να ταυτοποιούν τους χρήστες. Αυτές οι προσπάθειες έχουν χρησιμοποιήσει διάφορα χαρακτηριστικά όπως όνομα, διεύθυνση, health status, χόμπι και credit records. Η ψηφιακή ταυτότητα είναι ιδιαίτερα σημαντική αφού παίζει ζωτικό ρόλο στα μέτρα ασφαλείας των συνδεδεμένων συσκευών στο smart city.

Οι Liao και Wang (2017) επικεντρώθηκαν σε σημαντικά προβλήματα των smart cities όπως διαλειτουργικότητα και διαφάνεια των διαφόρων υπηρεσιών. Λόγω της προόδου της τεχνολογίας, αναζητούνται δίκαιες και διαφανείς υπηρεσίες σε ένα smart city από τους πολίτες της. Οι ερευνητές πρότειναν μια λύση για να βελτιωθεί η δικαιοσύνη και η διαφάνεια ενός συστήματος λοτταρίας (lottery system). Σχεδίασαν ένα lottery system βασισμένο σε blockchain ονόματι FairLotto το οποίο χρησιμοποιούσε 4 πρωτόκολλα: το closing time, το lottery purchase, το initialization και το verifying winning numbers. Με αυτά τα 4 επίπεδα εγγυήθηκε η ίση πιθανότητα νίκης από κάθε διαγωνιζόμενο. Το FairLotto εξασφάλιζε διαφάνεια και δεν αποθήκευε χρηματικές συναλλαγές στο blockchain. Βάσει αυτού, η ιδιωτικότητα των συναλλαγών και η διαφάνεια επιτεύχθηκαν σε αυτό το lottery system. Ωστόσο, οι ερευνητές, παρόλο που ενσωμάτωσαν Ethereum στο FairLotto, δεν δημοσίευσαν τα αποτελέσματα αυτού και την ανάλυση τους. Επίσης υπήρχε έλλειψη συνδεσιμότητας και ενσωμάτωσης υπηρεσιών στο FairLotto. Αυτά ήταν τα 2 σοβαρότερα κενά στην έρευνα τους.

7.7. Τομέας οικονομικών

Το blockchain είναι μια αποκεντρωμένη τεχνική που χρησιμοποιείται για την ασφαλή ανταλλαγή κρυπτονομισμάτων και την εκτέλεση οικονομικών συναλλαγών. Κάθε χρήστης διατηρεί το distributed ledger το οποίο είναι χρήσιμο για την επικύρωση μιας νέας συναλλαγής. Το Bitcoin είναι ένα μέσο ψηφιακού κρυπτονομίσματος το οποίο παρέχει συναλλαγές σε ένα ασφαλές και διαμοιρασμένο περιβάλλον. Το γκρουπ όλων των εκτελεσμένων στο παρελθόν συναλλαγών bitcoin λέγεται distributed ledger. Μετά από κάθε επιτυχημένη συναλλαγή, ένας αυθεντικός χρήστης πρέπει να κάνει αλλαγές στο distributed ledger το οποίο μοιράζεται στο δίκτυο και σε όλους τους χρήστες του. Αφού χρησιμοποιούνται hash functions για τον σχηματισμό του blockchain, διατηρούνται η ακεραιότητα των δεδομένων, η ιδιωτικότητα και η εμπιστευτικότητα σε όλες τις συναλλαγές.

Οι Singh και Singh (2016) συζήτησαν την σημαντικότητα του blockchain στις τράπεζες, το business και τις οικονομικές εφαρμογές. Έχει αρκετές δυνατότητες να αναδιοργανώσει τον τομέα του business market. Η χρήση του blockchain μειώνει το ρίσκο, το κόστος και την πιθανότητα ψηφιακών επιθέσεων σε οικονομικούς οργανισμούς. Ωστόσο, οι ερευνητές απλώς υπογράμμισαν ότι τα χαρακτηριστικά του



blockchain είναι σε μεγάλη ζήτηση στον τομέα αυτό, δεν πρότειναν κάποια βασική αρχιτεκτονική για να ξεπεραστούν βασικά προβλήματα του blockchain όπως η διαλειτουργικότητα και η επεκτασιμότητα.

Ο Nguyen (2016) μπορεί να επιτευχθεί βιώσιμη ανάπτυξη στον οικονομικό τομέα μέσω της χρήσης του ασφαλούς blockchain. Αυτή η τεχνολογία μπορεί να φέρει διάφορα πλεονεκτήματα για το υπάρχον τραπεζικό σύστημα καθώς και την κοινωνία. Μπορεί να αυξήσει την ταχύτητα και την απόδοση των εκτελέσεων των συναλλαγών, να βελτιστοποιήσει τον χρόνο συναλλαγής και τα δίκτυα τα οποία αποθηκεύουν τις καταγραφές, και να βελτιώσει την συνολική εικόνα της αγοράς. Έτσι, η χρήση του blockchain είναι μια μεγάλη πρόκληση στο payment industry.

Οι Rimba, Tran, Weber, Staples, Ponomarev και Xu (2017) παρείχαν μια σύγκριση των cloud services και των blockchains for Business Process Execution (BPE). Βάσει των αποτελεσμάτων, έδειξαν ότι το κόστος των business process executions βάσει Ethereum είναι μεγαλύτερο σε σχέση με το κόστος για business process execution σε Amazon SWF.

Οι Lundbaek και Huth (2017) συζήτησαν ότι η ομοφωνία και η εμπιστοσύνη σε ένα διαμοιρασμένο δίκτυο μπορεί να επιτευχθούν μέσω του blockchain. Έτσι, πολλοί ιδιωτικοί και δημόσιοι τομείς, κεντρικές τράπεζες, ασφαλιστικές εταιρείες, ακαδημαϊκά ιδρύματα και ειδικά κάποιες startup στην Ευρώπη στοχεύουν στην εφαρμογή του blockchain στα routine operations τους. Ωστόσο, ακατάλληλες εφαρμογές του blockchain μπορεί να οδηγήσουν στα βιομηχανικά πρότυπα σε μη ασφαλείς διαδικασίες.

Οι Carminati, Rondanini και Ferrari (2018) περιέγραψαν έναν αλγόριθμο για την επιβεβαίωση της εμπιστευτικότητας των δεδομένων σε ένα μη αξιόπιστο περιβάλλον. Αυτός ο αλγόριθμος ουσιαστικά μετέφρασε την Business Process Execution Language (BPEL) σε ένα υψηλής εμπιστευτικότητας smart contract, αλλά δεν τηρούσε τις βασικές προϋποθέσεις όπως ακεραιότητα των δεδομένων και την αυθεντικότητά τους. Η εφαρμογή του blockchain μπορεί να βοηθήσει στην επίλυση των προαναφερθέντων προβλημάτων.

Οι John, Kim, Hill και Chung (2018) παρουσίασαν ένα πλαίσιο για να βελτιωθεί η εμπιστοσύνη σε business processes χρησιμοποιώντας blockchain. Αυτό το πλαίσιο επικεντρωνόταν κυρίως σε θέματα όπως διαφάνεια και αμεταβλητότητα. Βελτιώνει, ακόμη, την εμπιστοσύνη μεταξύ διαφορετικών stakeholders. Παρόλο που το πλαίσιο αυτό δεν ήταν ικανό να λύσει προβλήματα όπως η ανιχνευσιμότητα, οι ερευνητές προσπάθησαν να φτιάξουν ένα process meta-model για supply-chain μέσω του ίδιου μηχανισμού.



Οι Wang, Xu, Feagan, Huang, Jiao και Zhao (2018) σχεδίασαν ένα end-to-end μοντέλο για Real Time Gross Settlement μέσω μιας πλατφόρμας hyperledger blockchain. Το μοντέλο που προτάθηκε έκανε την υπηρεσία πληρωμής πιο αποδοτική και ασφαλή. Χρησιμοποιούσε έναν timestamp algorithm ο οποίος έλυσε το πρόβλημα του gridlock και το ρίσκο της ιδιωτικότητας. Αυτός ο αλγόριθμος δεν ήταν αρκετά γενικός για διαφορετικές υπηρεσίες πληρωμής. Μια πιο γενική πλατφόρμα θα μπορούσε να αναπτυχθεί μέσω της τεχνολογίας του blockchain.

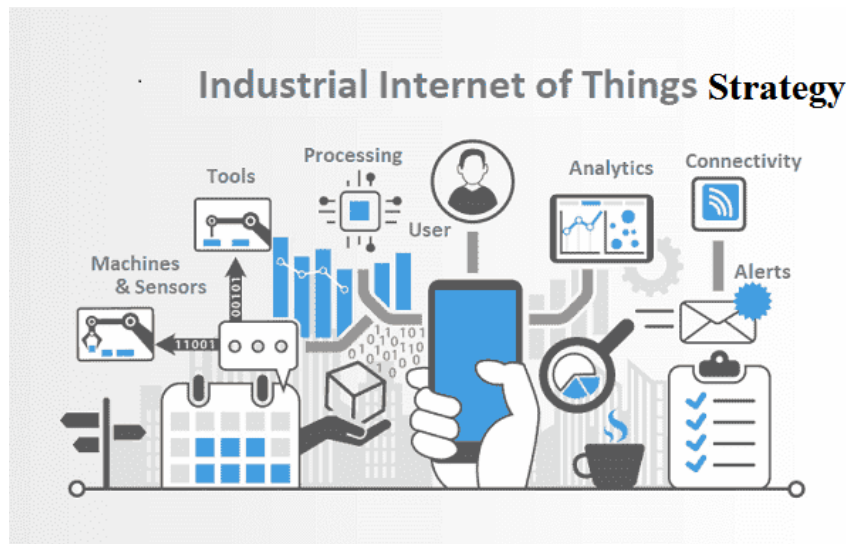
Ο Mendling (2018) συζήτησε την εκτέλεση των business processes πέρα από τα organizational boundaries μέσω του blockchain χωρίς την ένταξη τρίτων συμβαλλόμενων, παρόλα αυτά δεν εξήγησε τον τρόπο με τον οποίο θα μπορούσαν να λυθούν προβλήματα όπως latency, bandwidth, throughput κλπ.

7.8. Internet of Things

Στο Internet of Things (IoT) διάφορες συσκευές συνδέονται μέσω του διαδικτύου για να μοιραστούν χρήσιμες πληροφορίες μέσω servers ώστε να εκτελέσουν συγκεκριμένες διαδικασίες στο εξωτερικό περιβάλλον όπως μέτρηση θερμοκρασίας ή υγρασίας ή κίνηση κάποιου αντικειμένου. Μέσω του IoT είναι δυνατή η παράδοση της σωστής πληροφορίας στους σωστούς ανθρώπους την κατάλληλη στιγμή. Διάφοροι αισθητήρες λαμβάνουν συνεχώς δεδομένα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για λήψη αποφάσεων. Τα “πράγματα” τα οποία συνδέονται στο διαδίκτυο αναμένεται να ξεπεράσουν τα 50 δισεκατομμύρια στο προσεχές μέλλον, και άρα αυτά θα πρέπει να σχεδιάζονται έτσι, ώστε να μπορούν να ενσωματωθούν μαζί και να συνεργαστούν ώστε οι ανάγκες του μέλλοντος να μπορούν να εκπληρωθούν. Η αρχιτεκτονική του IoT είναι βασικά η ραχοκοκαλιά κάθε εφαρμογής και έτσι θα πρέπει να σχεδιάζεται με βάση ανάγκες όπως η επεκτασιμότητα, η διαθεσιμότητα, η λειτουργικότητα και η συντηρησιμότητα. Είναι, λοιπόν, ξεκάθαρο ότι η ασφάλεια είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας σε όλα τα επίπεδα του IoT.

Στις μέρες μας οι περισσότερες συσκευές IoT δεν είναι αρκετά ασφαλείς με αποτέλεσμα να μπορούν να χακαριστούν. Αυτές οι συσκευές έχουν περιορισμένη χωρητικότητα, υπολογιστική δύναμη και περιορισμένη ταχύτητα στο δίκτυο. Λόγω αυτών των

χαρακτηριστικών, είναι ευάλωτες σε πολλές επιθέσεις σε σχέση με τους υπολογιστές. Οι Samaniego και Deters (2016) παρατήρησαν ότι τα προβλήματα σχετικά με την καθυστέρηση στο δίκτυο (network latency) συνέβαιναν λόγω των cloud-centric συστημάτων. Για να ξεπεραστούν αυτά τα προβλήματα, ανέπτυξαν ένα software-defined σύστημα διαχείρισης IoT ονόματι Virtual Resources (VR). Οι μη παραπονήσιμες αποκεντρωμένες blockchains έχουν την δυνατότητα να λύσουν τα προβλήματα ασφάλειας σε κάθε εφαρμογή του IoT. Για να χρησιμοποιηθεί το blockchain σαν υπηρεσία στο IoT θα πρέπει να αναπτυχθεί το κατάλληλο περιβάλλον.



Σχήμα 18: Συστατικά του βιομηχανικού Internet of Things

Πηγή: www.thedatadriver.com

Οι Khan και Salah (2018) παρατήρησαν και κατηγοριοποίησαν κάποια προβλήματα ασφάλειας σχετικά με το IoT και τις αναγκαίες προϋποθέσεις για επίλυση τους. Οι ερευνητές υποστήριξαν ότι το blockchain θα μπορούσε να είναι το κλειδί για την επίλυση αυτών των προβλημάτων τα οποία πρέπει να λυθούν στο μέλλον ώστε οι εφαρμογές του IoT να είναι ασφαλείς, αποδοτικές και να μπορούν να επεκταθούν περαιτέρω.

Οι Singh, Singh και Kim (2018) παρατήρησαν ότι οι παρούσες τεχνολογίες ασφάλειας δεν έχουν την δυνατότητα να ασφαλίσουν τις εφαρμογές του IoT από διάφορες κυβερνοεπιθέσεις. Υπάρχουν διάφορα πρωτόκολλα distributed ledger τα οποία είναι κατάλληλα για εφαρμογές του IoT όπως το hyperledger fabric, το Ethereum και το Internet of Things Application (IOTA). Οι Pustisek και Kos (2018) σύγκριναν τις επιδόσεις για αυτά τα πρωτόκολλα για εφαρμογές του IoT.

Οι Huh, Cho και Kim (2017) ανέπτυξαν έναν νέο τρόπο για την διαχείριση συσκευών IoT με την χρήση Ethereum. Χρησιμοποίησαν 3 Raspberry Pi και smartphones και



πρότειναν 3 smart contracts τα οποία χρησιμοποιούσαν public keys και signatures για να μετρούν και να αποθηκεύουν τιμές λαμπτήρων και air condition. Οι επιθέσεις στο smart contract μπορούσαν να εντοπιστούν και να αγνοηθούν από τα υπολογιστικά συστήματα των λαμπτήρων και των air condition. Ωστόσο, το έργο αυτό δεν μπορούσε να λύσει προβλήματα όπως Denial of Service και συγχρονισμό. Επιπροσθέτως, το σύστημα που προτάθηκε περιλάμβανε λίγες συσκευές IoT και άρα δεν είναι γνωστό αν μπορούσε να υποστηρίξει πολλές περισσότερες τέτοιες συσκευές.

Οι Liao, Bao, Cheng και Chen (2017) παρουσίασαν διάφορα σχεδιαστικά προβλήματα για τις υπηρεσίες IoT που βασίζονται σε blockchain. Ωστόσο, το έργο που πρότειναν δεν ήταν αρκετά ακέραιο, αποδοτικό και ασφαλές.

Οι Reyna, Martin, Chen, Soler και Diaz (2018) ανέλυσαν τα σημαντικότερα προβλήματα της ενσωμάτωσης του IoT όπως την επεκτασιμότητα, την δυνατότητα αποθήκευσης, την ιδιωτικότητα των αρχείων, την ανωνυμία και των μηχανισμών ομοφωνίας. Αναγνώρισαν τα πιθανά οφέλη της χρήσης blockchain σε εφαρμογές IoT και πρότειναν κάποιες λύσεις για τις εφαρμογές αυτές. Τέλος, πρότειναν και κάποια σημεία-κλειδιά για να βελτιωθεί η συνολική απόδοση και η εφαρμοσιμότητα των εφαρμογών IoT με την βοήθεια του blockchain.

7.9. Τομέας παραγωγής

Η διαδικασία της παραγωγής περιλαμβάνει διάφορα στοιχεία όπως operations management, asset management, intelligent manufacturing, σχεδιασμό και προγραμματισμό, την αλληλεπίδραση μεταξύ ανθρώπων και μηχανών, την βελτιστοποίηση των επιδόσεων, τον έλεγχο των επιδόσεων.

Οι Li, Barenji και Huang (2018) υποστήριξαν ότι το IoT έχει μετασχηματίσει τα παραδοσιακά manufacturing processes σε smart manufacturing processes. Η παραγωγή μέσω IoT είναι πολύ πιο αποδοτική από το cloud manufacturing αφού επιταχύνει την ροή της παραγωγής, ειδικά μέσα στο εργοστάσιο, την διαχείριση των αποθεμάτων και τον έλεγχο των κύκλων ανάπτυξης χρησιμοποιώντας συσκευές IoT. Λόγω αυτού, οι περισσότερες εταιρείες στην παραγωγή έχουν επενδύσει πολλά χρήματα και πόρους στην ανάπτυξη εφαρμογών IoT. Σύμφωνα με Mondragon, Mondragon και Coronado (2018), η χρήση των IoT στο πεδίο της παραγωγής και των logistics θα φτάσει στα 40 δισεκατομμύρια μέσα στο 2020. Λόγω χαρακτηριστικών του IoT όπως υψηλότερη ενεργειακή απόδοση, προγνωστικής συντήρησης, υψηλότερης ποιότητας προϊόντων, υψηλότερης ταχύτητας και γρήγορων αποφάσεων, αυτό έχει διάφορες εφαρμογές στα παραγωγικά εργοστάσια. Είναι, άλλωστε, γνωστό ότι η ενέργεια



είναι ένας από τους πιο δαπανηρούς τομείς στην βιομηχανία, και άρα πρέπει να βρεθούν τρόποι να αυξηθεί η ενεργειακή απόδοση μέσω του IoT στο smart manufacturing.

Οι Angrish, Craver, Hasan και Starly (2018) πρότειναν ένα αξιόπιστο μοντέλο FabRec το οποίο συνέδεε φυσικά αντικείμενα με διάφορους υπολογιστικούς κόμβους μέσω μιας αποκεντρωμένης πλατφόρμας. Σε αυτό το πρωτότυπο, η διαφάνεια εξασφαλιζόταν μέσω audit trails. Σε αυτό το αποκεντρωμένο δίκτυο αναπτύχθηκαν smart contracts για την αυτόνομη λειτουργία των κόμβων σε περίπτωση απουσίας ανθρώπινου δυναμικού. Η προταθείσα αρχιτεκτονική χρησιμοποιούσε proof of concept συνδεδεμένο με τους κόμβους και τα αντικείμενα και επέτρεπε smart manufacturing. Το cloud-based manufacturing χρησιμοποιεί τα centralized networks τα οποία έχουν προβλήματα ασφάλειας, ελαστικότητας, διαθεσιμότητας και αποδοτικότητας.

Για να λυθούν τέτοια προβλήματα, οι Li, Barenji και Huang (2018) ανέπτυξαν μια αρχιτεκτονική distributed network βασισμένη σε blockchain γνωστή ως BVmfg. Αυτή η αρχιτεκτονική είχε 5 επίπεδα τα οποία βελτιώναν την εμπιστοσύνη μεταξύ των παρόχων υπηρεσιών και των χρηστών. Οι ερευνητές εξέτασαν την επίδοση της αρχιτεκτονικής αυτής με ένα case study 5 παρόχων υπηρεσιών και 15 χρηστών και παρατήρησαν ότι η επεκτασιμότητα και η ασφάλεια τους βελτιώθηκαν. Επίσης, χρησιμοποίησαν ένα δημόσιο blockchain για shop level και ένα ιδιωτικό blockchain για τους παρόχους υπηρεσιών μέσω του οποίου συλλέγονταν σημαντικά δεδομένα. Το νέο πρωτότυπο ήταν ένα Point-to-Point network που εφαρμόστηκε μέσω του blockchain.

Οι Li, Liu, Barenji και Wang (2018) πρότειναν μια πλατφόρμα ανταλλαγής γνώσεων βασισμένη σε blockchain και private cloud ονόματι Injection Mould Redesign. Αυτό το έργο παρείχε τους κανόνες και τα πρότυπα για την ασφαλή εφαρμογή του συστήματος σε ένα αξιόπιστο περιβάλλον. Παρείχε, ακόμη, έναν μηχανισμό ανταλλαγής πληροφοριών για τους ιδιοκτήτες μέσω του οποίου μπορούσαν με ασφάλεια να ανταλλάξουν πόρους και γνώσεις για τις παραγωγικές τους διαδικασίες. Το μοντέλο που προτάθηκε μπορούσε βέβαια να εφαρμοστεί σε μερικές μόνο εφαρμογές και όχι να επεκταθεί σε ένα γενικότερο πλαίσιο για περισσότερες εφαρμογές.

7.10. Τομέας γεωργίας

Τα πρόσφατα χρόνια έχουν παρατηρηθεί πολλά προβλήματα σχετικά με την ασφάλεια των τροφίμων. Υψηλότερες δόσεις λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων σε γεωργικά προϊόντα είναι οι κύριες ανησυχίες σχετικά με την ασφάλεια τους. Υπολείμματα φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων σε διάφορα γεωργικά προϊόντα έχουν δημιουργήσει



παγκόσμια ανησυχία. Λόγω αυτών, έχει δημιουργηθεί μια τεράστια ανάγκη για ασφαλή γεωργικά προϊόντα στην αγορά. Για να εκπληρωθεί αυτή η ανάγκη απαιτούνται ασφαλείς λύσεις για την ανίχνευση και διαχείριση τέτοιων προϊόντων, των logistics τους, των προτύπων τους και των πιστοποιήσεων τους.

Οι Hua, Wang, Kang, Wang και Wang (2018) πρότειναν ένα σύστημα παρακολούθησης γεωργικών προϊόντων βασισμένο σε blockchain το οποίο βασικά ήταν ένα αποκεντρωμένο σύστημα για να λυθεί η κρίση της εμπιστοσύνης στο supply-chain τους. Αυτή η πλατφόρμα που βασιζόταν σε blockchain κατέγραφε τις πληροφορίες σχετικά με την παραγωγή, την διανομή και το supply-chain των γεωργικών προϊόντων για τα third parties όπως την κυβέρνηση, τις ασφαλιστικές εταιρείες, τους πελάτες και τις τράπεζες. Η πλατφόρμα κατέγραφε όλες τις πληροφορίες σχετικά με τα προϊόντα αυτά σε δομές blockchain ώστε να μπορούν να δουλέψουν μαζί οι τράπεζες, οι εταιρείες και η κυβέρνηση. Οι ερευνητές ανέπτυξαν επίσης και ένα σύστημα για την ανίχνευση των φυτοφαρμάκων και των λιπασμάτων καθώς και των διαφορετικών σπόρων και των εταιρειών που εμπλέκονταν σε κάθε γεωργικό προϊόν. Σύμφωνα με αυτούς, η διαδικασία αυτή ήταν πολύ δύσκολη αφού χρειαζόταν τεράστιος όγκος πληροφοριών για να συμπεριληφθούν όλες οι περίπλοκες πληροφορίες στην όλη διαδικασία. Έτσι, χώρισαν την πλατφόρμα σε 2 δομές, μια για τα λεγόμενα planting information και μια για τα provenance records. Το planting information περιλάμβανε πληροφορίες για την πηγή της παραγωγής όπως την ταυτότητα, το όνομα του είδους, τον χρόνο φύτευσης, το όνομα της εταιρείας, τον αριθμό του θερμοκηπίου και την γεωγραφική περιοχή. Τα provenance records περιλάμβαναν τις λεπτομέρειες σχετικά με τις γεωργικές διαδικασίες, συγκεκριμένα ημερομηνία και ώρα, ψηφιακή ταυτότητα, τύπος διαδικασίες και εταιρεία. Η πλατφόρμα αυτή αποτελείται από 3 συστατικά: το data node, τους πελάτες (clients) και το registration center. Τα προβλήματα στο σύστημα όπως η αξιοπιστία των δεδομένων και η ενσωμάτωση των υποσυστημάτων λύθηκαν εύκολα μέσω της ανοιχτής data-sharing πλατφόρμας. Έτσι, κάθε συμμετέχοντας μπορούσε να δει όλα τα δεδομένα που είχε ανεβάσει κάθε συμμετέχουσα εταιρεία, το οποίο ήταν και το κύριο πλεονέκτημα της πλατφόρμας αυτής.

Σύμφωνα με τον Tian (2016), η ασφάλεια των τροφίμων είναι μια μεγάλη ανησυχία, ειδικά στην Κίνα. Επειδή η Κίνα είναι μια γεωργική χώρα, η ετήσια ανάγκη σε λαχανικά και φρούτα είναι περίπου 730 εκατομμύρια τόνοι. Λόγω της μεγάλης αυτής ζήτησης, τα παραδοσιακά γεωργικά logistics δεν μπορούν να ελέγξουν την κατάσταση. Υπάρχουν ακόμα πολλά ανοικτά προβλήματα στα παραδοσιακά συστήματα agri-food logistics όπως έλλειψη πόρων και σύγχρονου εξοπλισμού, απουσία συστήματος ανίχνευσης, χαμηλά επίπεδα πληροφορίας και λίγα ρυθμιστικά συστήματα. Έτσι, υπάρχουν συχνά προβλήματα πτώσης ασφάλειας των τροφίμων στην Κίνα (food safety brokedown events). Για να λυθούν αυτά τα προβλήματα των παραδοσιακών συστημάτων, ο Tian (2016) πρότεινε ένα agri-food supply chain βασισμένο σε blockchain και RFID ώστε να επιτευχθεί η ανιχνευσιμότητα των γεωργικών προϊόντων. Αυτό το σύστημα βελτίωσε σημαντικά την ποιότητα και την ασφάλεια των τροφίμων και μείωσε την πιθανότητα



διάφορων ελλείψεων πληροφορίας στα διάφορα στάδια τους. Η διαδικασία ανάπτυξης του συστήματος αυτού περιλάμβανε διάφορα στάδια όπως το production link, το processing link, το warehouse management link, το distribution of cold chain link και το sales link. Οι ερευνητές συζήτησαν τα πλεονεκτήματα της χρήσης blockchain και RFID στην ανιχνευσιμότητα του συστήματος. Το κύριο πλεονέκτημα ήταν ότι το σύστημα που προτάθηκε εξαφάνιζε την ανάγκη για τις παραδοσιακές centralized υπηρεσίες ανίχνευσης και παρακολούθησης τροφίμων και πρότεινε έναν τρόπο όπου οι χρήστες να εκτελούν τις διαδικασίες τους με διαφάνεια, ουδετερότητα, ασφάλεια και αξιοπιστία.

Οι Qin, Kong και Li (2014) ανέπτυξαν ένα σύστημα ανίχνευσης βασισμένο σε blockchain ειδικά για το food-supply chain. Αποθήκευε τα δεδομένα κάθε κόμβου για την αλυσίδα αυτή και τα συνέδεε χρησιμοποιώντας blockchain. Οι ερευνητές πρότειναν ένα πλαίσιο για αυτό το σύστημα χρησιμοποιώντας Ethereum και blockchain.

Η αποθήκευση και η διαχείριση των δεδομένων γίνεται με την βοήθεια του BigChainDB. Όλοι οι χρήστες στο σύστημα όπως οι παραγωγοί, οι λιανέμποροι, οι διανομείς και οι καταναλωτές μπορούν να ελέγξουν τις πληροφορίες και να τροποποιήσουν ή να προσθέσουν το προϊόν από το BigchainDB αν είναι οι αυθεντικοί χρήστες του συστήματος. Όσο για το ίδιο το σύστημα, το μοντέλο αυτό βασισμένο σε blockchain και RFID είχε κάποια μειονεκτήματα: δεν είχε κάποιον μηχανισμό για να εξασφαλίσει αν τα raw data από τους αισθητήρες ήταν σωστά, αν τα δεδομένα που σκανάρωνταν από τα RFID tags και barcodes ήταν σωστά κλπ. Έτσι, ο οποιοσδήποτε μπορούσε να τροποποιήσει τα δεδομένα του αισθητήρα και άρα το σύστημα να μην είναι αξιόπιστο.

8. Μελέτες Περίπτωσης

Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένες μελέτες περίπτωσης εφαρμογών blockchain σε προσεγγίσεις Industry 4.0.

8.1 NTT DATA-Skuchain

Προφίλ εταιρείας

Η NTT Data είναι ιαπωνική πολυεθνική εταιρεία υπηρεσιών IT (θυγατρική της Nippon Telegraph and Telephone-NTT) και η 5η τέτοια μεγαλύτερη εταιρεία παγκοσμίως,



σύμφωνα με το Forbes. Οι υπάλληλοι της ανέρχονται στους 118,000 (2019), ενώ ο προκάτοχος της εταιρείας, Japan Telegraph and Telephone Public Corporation, ιδρύθηκε το 1967. Ανά τα χρόνια έχει απορροφήσει αρκετές εταιρείες όπως την Value Team S.p.A με έδρα στην Ιταλία, την Design and Technology Consultancy, RMA Consulting με έδρα στο Λονδίνο, την Everis με έδρα στη Μαδρίτη και την Dell IT Services, οι οποίες ασχολούνται με υπηρεσίες και προϊόντα IT.

Τομέας εφαρμογής

Ο τομέας του IT είναι ένας από τους μεγαλύτερους και γρηγορότερα αναπτυσσόμενους παγκοσμίως. Πρόκειται για τομέα ο οποίος μπορεί να επωφεληθεί από την υιοθέτηση του blockchain και των αρχών του. Χάρη στην τεχνολογία του, το blockchain προσφέρει μεγάλη ασφάλεια στις συναλλαγές και μεγάλο βαθμό ιχνηλασιμότητας των προϊόντων. Έτσι, οι πολύπλοκες εφοδιαστικές αλυσίδες που υποφέρουν από μεγάλη γραφειοκρατία και μικρή ιχνηλασιμότητα μπορούν να απλοποιηθούν σημαντικά και έτσι η αλυσίδα να αποκτήσει υψηλότερη αποδοτικότητα, μικρότερους χρόνους απόκρισης σε διαφοροποιήσεις και αλλαγές αλλά και μεγαλύτερο βαθμό ελέγχου από την επιχείρηση.



Σχήμα 19: Υπηρεσίες IT

Πηγή: www.eminussolutions.com

Εφαρμογή του blockchain

Η NTT Data αποφάσισε, σε συνεργασία με την εταιρεία παροχής υπηρεσιών blockchain Skuchain, να υιοθετήσει μια εφαρμογή blockchain για την διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας της και τον έλεγχο της παραγωγής της. Η λύση συνδυάζει την τεχνολογία του



blockchain μαζί με τεχνολογίες Internet of Things όπως RFID ώστε να μεγιστοποιήσει την αποδοτικότητα και την παραγωγικότητα της επιχείρησης. Με την λύση αυτή, τα προϊόντα της εταιρείας είναι ανιχνεύσιμα σε κάθε στάδιο της παραγωγής τους. Χάρη στην τεχνολογία του RFID, οι εργάτες στο εργοστάσιο δεν χρειάζεται να σκανάρουν κάθε διαφορετικό κομμάτι στην παραγωγή αφού μέσω της τεχνολογίας αυτής, τα προϊόντα σκανάρονται αυτόματα χάρη σε φορητές συσκευές όπως κινητά τηλέφωνα. Το στοιχείο του blockchain εμφανίζεται με την μορφή μιας εφαρμογής, της Porcodes, η οποία επιτρέπει την ανίχνευση και την ιχνηλάτηση των αγαθών σε κάθε σημείο της εφοδιαστικής αλυσίδας. Χάρη σε αυτή τη λύση, η εταιρεία υπογραμμίζει ότι έχει πετύχει χαμηλότερη σπατάλη πόρων, υψηλότερη αποδοτικότητα και μεγαλύτερο και λεπτότερο έλεγχο της εφοδιαστικής της αλυσίδας.

8.2 Moog Aircraft Group-Veripart

Προφίλ εταιρείας

Η Moog πρόκειται για εταιρεία σχεδιασμού και παραγωγής συστημάτων ελέγχου κίνησης και ρευστών για εφαρμογή σε τομείς αεροναυπηγικής, αεροδιαστημικής και άμυνας. Ιδρύθηκε το 1951, έχει την έδρα της στις ΗΠΑ και έχει γραφεία σε 26 χώρες παγκοσμίως. Ιστορικά έχει βοηθήσει σε αρκετά σημαντικά αεροσκάφη όπως το Boeing SST, το Apollo, το Space Shuttle, το F-35, το Boeing 787, το International Space Station (ISS) και το Deep Space 1. Εκτός από τα παραπάνω τμήματα, η εταιρεία διαθέτει τμήματα σε τομείς παραγωγής πλαστικών και υδραυλικών με σκοπό την Formula 1 αλλά και στον τομέα της υγείας με την παραγωγή ιατρικών συσκευών.

Τομέας εφαρμογής

Ο τομέας στον οποίο εφαρμόζεται το blockchain στην συγκεκριμένη εταιρεία είναι ο αεροναυπηγικός. Η εταιρεία παράγει αρκετά συστήματα πλοήγησης για αεροσκάφη καθώς και άλλες συσκευές ελέγχου οι οποίες βοηθούν στην πτήση. Ο τομέας των εναέριων μεταφορών είναι αρκετά σημαντικός αφού απαιτεί μεγάλο βαθμό τεχνογνωσίας και υψηλή ασφάλεια στα συστήματα αυτά. Σύμφωνα με την Flightradar24, ο συνολικός αριθμός πτήσεων το 2019 ήταν 68,948,849, δηλαδή 188,901 πτήσεις ημερησίως. Αυτό σημαίνει ότι ένας τεράστιος αριθμός ανθρώπων ταξιδεύει καθημερινά με αεροπλάνο. Είναι, λοιπόν, προφανές ότι τα υλικά και οι συσκευές που απαρτίζουν τα αεροσκάφη θα πρέπει να είναι ιδιαίτερα υψηλής ποιότητας και να έχουν ελεγχθεί από τους κατάλληλους φορείς καθ'όλη την διάρκεια τους μέσα στην εφοδιαστική αλυσίδα.



Εφαρμογή του blockchain

Η Moog χρησιμοποίησε την διαδικασία “Veripart” ώστε να διασφαλίσει τον έλεγχο και την ποιότητα των προϊόντων της στην εφοδιαστική της αλυσίδα. Χρησιμοποιώντας την τεχνολογία του blockchain, κατάφερε να καταστήσει όλα τα προϊόντα της ανιχνεύσιμα σε όλα τα στάδια της παραγωγής τους. Έτσι, μείωσε δραματικά τις πιθανότητες να βρεθεί κάποιο προϊόν-απομίμηση δικού της στην αγορά, το οποίο προφανώς θα είχε δραματικές συνέπειες σε πιθανή αποτυχία του. Χρησιμοποιώντας στην εφοδιαστική της αλυσίδα την πλατφόρμα του Verichain, μια ασφαλή, έμπιστη αγορά βασισμένη σε blockchain, η εταιρεία κατάφερε να πιστοποιεί κάθε προϊόν και υλικό το οποίο παράγει με αποτέλεσμα αυτό να διατηρεί την μέγιστη δυνατή ποιότητα καθ’όλη την διάρκεια της ζωής του. Έτσι, κάθε υλικό και συσκευή που παράγει η εταιρεία έχει ένα μοναδικό πιστοποιητικό το οποίο αποδεικνύει την γνησιότητα του σε κάθε αγοραστή.

Επιπροσθέτως, η εταιρεία σχεδιάζει να χτίσει ένα δίκτυο βασισμένο σε blockchain το οποίο θα παράγει με 3D Printing τα υλικά και τις συσκευές που χρειάζεται, ακριβώς την στιγμή που τα χρειάζεται με αποτέλεσμα την μείωση του τελικού κόστους αλλά και του λογιστικού κόστους, την ελαχιστοποίηση του αναγκαίου αποθηκευτικού χώρου και άρα την καλύτερη εξυπηρέτηση του πελάτη. Η παραγγελία θα μεταφέρεται, μέσω του blockchain, στον 3D εκτυπωτή ο οποίος αυτόματα θα παράγει τα αναγκαία κομμάτια. Το κάθε κομμάτι θα λαμβάνει, έπειτα, την πιστοποίηση ότι είναι μοναδικό και η μοναδικότητα αυτή θα αποδεικνύεται μέσω του σκαναρίσματος της δομής του υλικού του κομματιού.



Σχήμα 20 : Κομμάτι 3D printed από την Moog

Πηγή: www.moog.com



8.3 BMW-PartChain

Προφίλ εταιρείας

Η BMW πρόκειται για γερμανική πολυεθνική εταιρεία που παράγει αυτοκίνητα πολυτελείας και μοτοσυκλέτες. Είναι η 12η μεγαλύτερη εταιρεία παραγωγής οχημάτων στον κόσμο με ίδρυση το 1916 και 133,000 περίπου εργαζόμενους παγκοσμίως. Οι πωλήσεις της το 2019 ήταν 2,564,025 οχήματα και συνολικά έσοδα της τάξης των 5 δισεκατομμυρίων για την ίδια χρονιά. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην BMW ανήκουν και οι μάρκες Mini και Rolls-Royce, ενώ η ίδια η BMW έχει σημαντική ιστορία στον τομέα της Formula 1 καθώς και σε άλλους γνωστούς αγώνες. Τα αυτοκίνητα της έχουν συνήθως την εικόνα της πολυτελείας ενώ η εταιρεία παράγει αυτοκίνητα σχεδόν πάσης κατηγορίας.

Τομέας εφαρμογής

Η συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης αφορά την κατασκευή ανταλλακτικών και διαφόρων συστατικών οχημάτων. Ο τομέας των οχημάτων έχει αναπτυχθεί αρκετά τα τελευταία χρόνια χάρη σε αρκετές νομοθετικές αλλαγές (κυρίως στην Ευρώπη) αλλά και στην εισαγωγή νέων τεχνολογιών στα αυτοκίνητα όπως η υβριδική κίνηση, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα και άλλα. Σχεδόν όλες οι εταιρείες παραγωγής αυτοκινήτων εξάγουν τα προϊόντα τους σε αρκετές χώρες με αποτέλεσμα οι εφοδιαστικές τους αλυσίδες να είναι ιδιαίτερα πολύπλοκες. Επιπροσθέτως, τα οχήματα αποτελούν αρκετά πολύπλοκα συστήματα από μηχανικά, υδραυλικά και ηλεκτρικά συστήματα γεγονός το οποίο συνεισφέρει στην πολυπλοκότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας τέτοιων επιχειρήσεων. Για αυτό το λόγο, οι εταιρείες ψάχνουν συνεχώς τρόπους να απλοποιήσουν την αλυσίδα αυτή. Πέρα από αυτά, στην βιομηχανία αυτή υπάρχει συνεχώς το πρόβλημα της πιστοποίησης αυθεντικότητας των ανταλλακτικών που φτάνουν στον καταναλωτή. Πολλές φορές, τα ανταλλακτικά που φτάνουν στα συνεργεία και άρα τον καταναλωτή είναι απομιμήσεις των γνησίων και έχουν όχι μόνο μικρότερη διάρκεια ζωής, αλλά και σε αρκετές περιπτώσεις, μεγάλο κίνδυνο για τους επιβαίνοντες. Έτσι, ο παραγωγός αλλά και ο καταναλωτής επιθυμούν να βρεθεί ένας τρόπος να μπορεί να ιχνηλατηθεί κάθε ανταλλακτικό κατά την μεταφορά του στην εφοδιαστική αλυσίδα. Το blockchain, χάρη στα πλεονεκτήματά του μπορεί να λύσει τα προβλήματα αυτά και να παρέχει σιγουριά για τον τρόπο, τον τόπο και την ποιότητα κατασκευής ενός ανταλλακτικού.

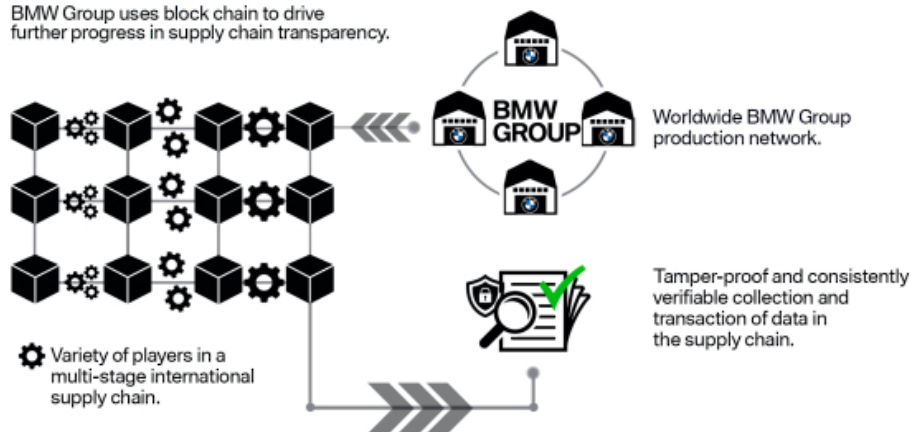


Εφαρμογή του blockchain

Η BMW χρησιμοποίησε την τεχνολογία του blockchain για να δημιουργήσει ένα σύστημα υψηλής ιχνηλασιμότητας των ανταλλακτικών και των πρώτων υλών της ανά τις πολλές διαφορετικές χώρες στις οποίες δραστηριοποιείται. Το σύστημα αυτό ονομάζεται PartChain και έχει σαφές πλεονέκτημα από τα διάφορα μικρότερα συστήματα ιχνηλάτησης που χρησιμοποιούσαν στον παρελθόν όλα τα εμπλεκόμενα μέρη στην εφοδιαστική αλυσίδα μόνα τους, αφού, στο παρελθόν, για να γίνει ιχνηλάτηση ενός κομματιού, έπρεπε οι διάφορες μικρότερες υπηρεσίες να επικοινωνήσουν μεταξύ τους, γεγονός το οποίο πρόσθετε πολυπλοκότητα στην όλη διαδικασία. Έτσι, για να επιτευχθεί διαφάνεια στο παρελθόν, απαιτούνταν σημαντικός φόρτος εργασίας, επικοινωνία διαφόρων φορέων και αρκετός χρόνος. Για αυτό το λόγο, η BMW χρησιμοποίησε το PartChain το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί από κάθε εμπλεκόμενο μέρος στην εφοδιαστική αυτή αλυσίδα της BMW. Το πρότζεκτ αυτό χρησιμοποιείται όχι μόνο στα ανταλλακτικά που παράγει η ίδια η BMW στα εργοστάσια της αλλά σιγά σιγά και στις πρώτες ύλες που παραλαμβάνει η ίδια από τις οποίες μετασχηματίζει σε ανταλλακτικά. Το σύστημα του PartChain χρησιμοποιεί τεχνολογίες Cloud όπως Amazon Web Services και Microsoft Azure μαζί με την τεχνολογία του blockchain. Αυτό επιτρέπει την πρόσβαση κάθε εμπλεκόμενου μέλους στην προέλευση του κάθε εξαρτήματος χωρίς τον φόβο της υποκλοπής ή της αλλαγής των δεδομένων αυτών. Το σύστημα αυτό έχει ήδη χρησιμοποιηθεί σε αρκετά εργοστάσια της BMW και αναμένεται σε λίγο καιρό να καλύπτει κάθε σημείο της εφοδιαστικής αλυσίδας της επιχείρησης.

BLOCKCHAIN

BMW Group uses block chain to drive further progress in supply chain transparency.



Σχήμα 21 : Blockchain στην εφοδιαστική αλυσίδα της BMW

Πηγή: www.press.bmwgroup.com



8.4 Boeing-GoDirect

Προφίλ εταιρείας

Η Boeing είναι πολυεθνική εταιρεία με έδρα στην Αμερική η οποία δραστηριοποιείται στον χώρο της αεροναυπηγικής και της αεροδιαστημικής. Ιδρύθηκε το 1916 και η σημερινή εταιρεία είναι αποτέλεσμα συγχώνευσης της McDonnell Douglas με την Boeing το 1997. Στοιχεία του 2019 δείχνουν ότι απασχολεί 161,133 υπαλλήλους παγκοσμίως, παράγει κάθε χρόνο 380 επιβατικά αεροπλάνα και 229 μαχητικά. Είναι μια από τις μεγαλύτερες εταιρείες αεροναυπηγικής στον κόσμο και άρα έχει μια από τις πιο πολύπλοκες εφοδιαστικές αλυσίδες.

Τομέας εφαρμογής

Ο τομέας που εφαρμόστηκε το blockchain σε αυτή τη μελέτη περίπτωσης είναι ο τομέας των ανταλλακτικών και των διαφόρων εξαρτημάτων των αεροπλάνων. Λόγω της περίπλοκης εφοδιαστικής αλυσίδας της, η επιχείρηση στο παρελθόν δεν παρήγαγε τον ακριβή αριθμό εξαρτημάτων που χρειαζόταν με αποτέλεσμα αρκετά εξαρτήματα να μένουν αχρησιμοποίητα για αρκετό καιρό στις αποθήκες της. Αυτό σημαίνει ότι η εταιρεία χρησιμοποιούσε και παραπάνω χώρο από ό,τι απαιτούνταν αλλά και είχε μεγάλο δεσμευμένο κεφάλαιο σε εξαρτήματα τα οποία δεν μπορούσαν να πωληθούν. Έτσι, απαιτούνταν μια δραστική λύση για να μειωθεί το δεσμευμένο αυτό κεφάλαιο και να πωληθούν τα εξτρα ανταλλακτικά που είχε.



Σχήμα 22: Ανταλλακτικά επιβατικού αεροπλάνου

Πηγή:<https://kwc.aero/aviation-spare-parts>

Εφαρμογή του blockchain

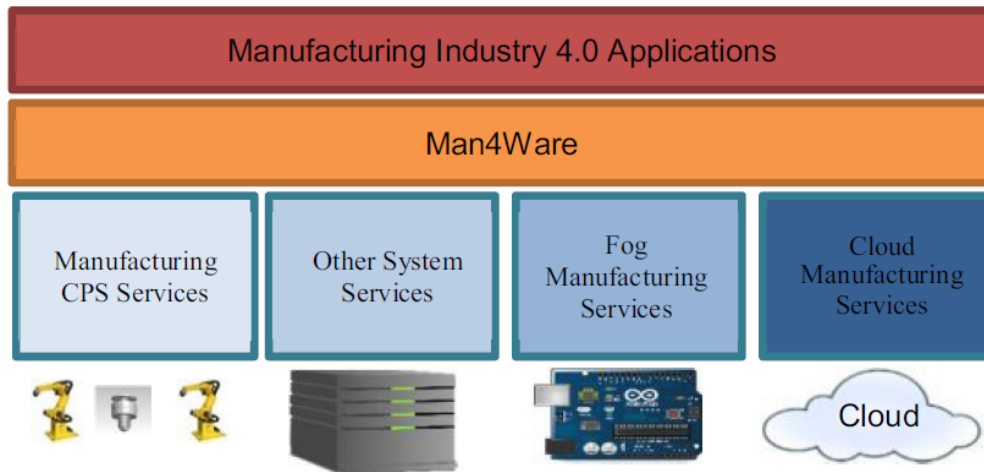
Η Boeing, λοιπόν, αποφάσισε να συνεργαστεί με την εταιρεία Honeywell, μια άλλη εταιρεία που δραστηριοποιούνται στον ίδιο τομέα, ώστε να καταφέρει να πουλήσει ανταλλακτικά αξίας 1 δισεκατομμυρίων δολαρίων. Η Boeing χρησιμοποίησε την βασισμένη σε blockchain πλατφόρμα της Honeywell, την GoDirect για να πουλήσει τα ανταλλακτικά αυτά. Στο παρελθόν, η πώληση και η αγορά ανταλλακτικών αεροναυπηγικής περιλάμβανε πολλή γραφειοκρατία και πιστοποιητικά για κάθε ανταλλακτικό. Έτσι, σε μια συναλλαγή, ο πωλητής και ο αγοραστής χρειαζόταν να συμπληρώσουν και να εξακριβώσουν αρκετά έγγραφα ώστε να πραγματοποιηθεί η συναλλαγή. Ακόμη, στο παρελθόν χρειαζόταν να μετακινηθούν υπό φυσική μορφή τα έγγραφα μεταξύ αρκετών τοποθεσιών διότι υπήρχαν ανησυχίες ότι η ηλεκτρονική ανταλλαγή περιείχε κινδύνους πλαστογράφησης. Σύμφωνα με στοιχεία της εταιρείας, τα ανταλλακτικά μεταπωλούνται έως και 4 φορές μέχρι να πάψουν να χρησιμοποιούνται. Όλα αυτά υπογραμμίζουν την ανάγκη χρήσης ενός πιο αποδοτικού και εύκολου τρόπου πώλησης των εξαρτημάτων αυτών. Έτσι η Boeing χρησιμοποίησε την πλατφόρμα GoDirect, η οποία βασίζεται σε μια προσαρμοσμένη έκδοση του Hyperledger Fabric open-source κώδικα ο οποίος εκδόθηκε περίπου 2 χρόνια πριν. Στην πλατφόρμα αυτή συμμετέχουν περίπου 6,500 καταγεγραμμένοι χρήστες οι οποίοι εκπροσωπούν περίπου 2,400 εταιρείες. Σύμφωνα με στοιχεία της εταιρείας, η πλατφόρμα διευκόλυνε συναλλαγές αξίας 7 εκατομμυρίων δολαρίων μόλις τον πρώτο χρόνο λειτουργίας της. Συμμετέχοντας σε αυτή την υπηρεσία, η Boeing κατάφερε να πουλήσει ανταλλακτικά αξίας 1 δισεκατομμυρίου δολαρίων, γεγονός το οποίο θα ήταν σχεδόν αδύνατο αν γινόταν με τον παραδοσιακό τρόπο.



9. Ενδιάμεση προσέγγιση για εφαρμογή του blockchain στο Industry 4.0

9.1 Man4Ware

Σε αυτό το τμήμα, θα συζητηθεί η προσέγγιση για την ενσωμάτωση του blockchain σε ένα ενδιάμεσο πλαίσιο ώστε να προκύψουν λύσεις για πολλές προκλήσεις του Industry 4.0 και να επιτραπεί η υλοποίηση και η ενσωμάτωση των συστημάτων του Industry 4.0. Οι εφαρμογές του smart manufacturing συνήθως περιλαμβάνουν διανεμημένους πόρους και υπηρεσίες διαθέσιμα σε διαφορετικές τεχνολογίες όπως manufacturing CPS, cloud manufacturing, fog manufacturing και άλλα συστήματα βασισμένα σε hardware και software. Αυτοί οι πόροι και οι υπηρεσίες μπορεί να ανήκουν σε μια μεγάλη κατασκευαστική εταιρεία ή πολλές εταιρείες που συνδέονται μεταξύ τους για να υποστηρίξουν μια επιθυμητή value-chain. Οι εφαρμογές smart manufacturing δεν μπορούν να λειτουργήσουν αποδοτικά χωρίς κατάλληλη και ευέλικτη ανάπτυξη και εκτελεστικό περιβάλλον που θα υποστηρίξουν τις λειτουργίες τους, αλλά ούτε χωρίς καλούς μηχανισμούς στήριξης της ενσωμάτωσης όλων των διανεμημένων πόρων και υπηρεσιών. Το Man4Ware μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποστηρικτικό και εκτελεστικό πλαίσιο ώστε να προσφέρει τους μηχανισμούς ενσωμάτωσης για αυτές τις εφαρμογές. Το Man4Ware είναι ένα Service-Oriented Middleware (SOM) σχεδιασμένο για την ανάπτυξη, εκτέλεση και υποστήριξη των διανεμημένων υπηρεσιών για εφαρμογές smart manufacturing. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ενσωματωθούν οι διαφορετικές τεχνολογίες που χρειάζονται για τις ολοκληρωμένες λύσεις smart manufacturing που περιλαμβάνουν πολλά συστατικά όπως industrial IoT, manufacturing CPS, fog manufacturing και cloud manufacturing.



Σχήμα 23: Οι υπηρεσίες που προσφέρει το Man4Ware

Πηγή: Applying Blockchain in Industry 4.0 Applications, Mohamed, Al-Jaroodi, 2019

Το Man4Ware βλέπει όλους τους πόρους στο περιβάλλον του smart manufacturing, συμπεριλαμβανομένου αισθητήρων, ενεργοποιητών και συσκευών IoT ως υπηρεσίες που μπορούν να ζητηθούν και να αξιοποιηθούν από άλλες υπηρεσίες σε εφαρμογές smart manufacturing. Παραδείγματος χάριν, μπορεί να δει όλους τους πόρους manufacturing CPS σε ένα smart factory ως υπηρεσίες με πρότυπα interfaces που μπορούν να προσπελαστούν ομοιόμορφα από άλλες υπηρεσίες και εφαρμογές. Το Man4Ware, ακόμη, προσφέρει ουσιώδεις υπηρεσίες όπως broker, invocation, location-based και basic security. Οι broker υπηρεσίες είναι υπεύθυνες για άλλες υπηρεσίες IoT, fog computing και cloud computing όπως διαφήμιση, ανακάλυψη και καταχώρηση. Υπάρχουν 2 είδη broker υπηρεσιών στο Man4Ware: μια παγκόσμια διαθέσιμη στο cloud και διάφορες τοπικές που προσφέρονται σε κάθε fog node ή τοπικό compute node. Η παγκόσμια υπηρεσία χρησιμοποιείται για να καλύψει όλο το περιβάλλον και οι τοπικοί μεσίτες προσφέρουν γρήγορες μεσιτικές υπηρεσίες για τα local compute nodes και fog nodes στα οποία διαμένουν. Τα invocation services προσφέρουν υποστήριξη για τοπικές και μακρινές service calls. Ακόμα, οι κύριες λειτουργίες των υπηρεσιών security στο Man4Ware είναι η ενσωμάτωση διαφορετικών μηχανισμών ασφαλείας μεταξύ όλων των local compute και fog nodes, IoT συσκευών και συστημάτων cloud και η επιβεβαίωση ότι τα βασικά μέτρα ασφαλείας εφαρμόζονται ορθά. Διαφορετικά είδη εφαρμογών smart manufacturing μπορούν να αναπτυχθούν αξιοποιώντας τις υπηρεσίες του Man4Ware μαζί με τις συγκεκριμένες για την εφαρμογή υπηρεσίες.



Το Man4Ware είναι ένα Service-Oriented middleware, και έτσι οι δυνατότητες τους μπορούν να επεκταθούν προσθέτοντας περισσότερες βασικές υπηρεσίες και δημιουργώντας τις δυνατότητες για υποστήριξη περισσότερων προχωρημένων υπηρεσιών και εφαρμογών. Το Man4Ware επεκτείνεται για να καλύπτει ένα βασικό σετ από υπηρεσίες του blockchain οι οποίες γίνονται ολοένα και περισσότερο χρήσιμες για εφαρμογές smart manufacturing, υπηρεσίες οι οποίες παρέχουν λειτουργικότητα στο blockchain. Αυτές οι υπηρεσίες του Man4Ware μπορούν να ενσωματωθούν για να σχηματιστούν νέες πιο προχωρημένες λειτουργίες και υπηρεσίες για αυτές τις εφαρμογές. Για παράδειγμα, αν το Man4Ware πρόκειται να ενσωματώσει μια εφαρμογή η οποία καλύπτει πολλές κατασκευαστικές εταιρείες και τους επιτρέπει να ανταλλάσσουν πληροφορίες και να εκτελούν διάφορες συναλλαγές από κοινού, τότε αυτές οι υπηρεσίες του Man4Ware θα επιτρέψουν την ανταλλαγή των δεδομένων και την συνεργασία για την ολοκλήρωση των απαιτούμενων συναλλαγών σωστά και με ασφάλεια. Αυτές οι υπηρεσίες μπορούν να συνδεθούν με άλλες διανεμημένες υπηρεσίες ledger για το κτίσιμο εξακριβώσιμων και αμετάβλητων αρχείων καταγραφής συναλλαγών (Transaction logs). Επιπροσθέτως, άλλες ενσωματωμένες υπηρεσίες που συνδέονται με ψηφιακές ταυτότητες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να πιστοποιήσουν την αυθεντικότητα αυτών των συναλλαγών. Τα διανεμημένα ledgers που δημιουργήθηκαν και κρατούνται μέσω του Man4Ware και των υπηρεσιών του μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως έμπιστες και ανιχνεύσιμες εγγραφές και πηγές ώστε να επαληθευτεί η ορθότητα αυτών των συναλλαγών. Τώρα, οι εφαρμογές smart manufacturing μπορούν να δημιουργηθούν χρησιμοποιώντας τις διαθέσιμες υπηρεσίες που ορίζονται στο Man4Ware. Αυτές οι εφαρμογές μπορούν να απασχολήσουν τον local broker ώστε να εκτελέσει μια συγκεκριμένη συναλλαγή με μία ή περισσότερες οντότητες που έχουν ενσωματωθεί με την εφαρμογή (αυτές μπορεί να βρίσκονται στον ίδιο οργανισμό ή να είναι εξωτερικές) οι οποίες θα μπορούν να παρέχουν την απαιτούμενη υπηρεσία. Η υπηρεσία του local broker θα ταυτοποιήσει και θα συνδέσει τις απαιτούμενες υπηρεσίες των οντοτήτων. Έπειτα, η εφαρμογή θα χρησιμοποιήσει αυτές τις υπηρεσίες για να εργαστεί με τις οντότητες στην διαπραγμάτευση, στην επικύρωση και στην οριστικοποίηση της επιθυμητής συναλλαγής. Όταν η συναλλαγή οριστικοποιηθεί και συμφωνηθεί οι υπηρεσίες του blockchain θα την καταχωρήσουν στο ledger. Η υπηρεσία του blockchain στο Man4Ware θα υποστηρίξει ολόκληρη την διαδικασία, θα την κρυπτογραφήσει και θα την ενσωματώσει στην αλυσίδα και θα την αντιγράψει και διανέμει σε όλα τα εμπλεκόμενα μέρη. Το Man4Ware προσφέρει και υπηρεσίες για να γίνει mine στο blockchain ώστε να βρεθούν συγκεκριμένες συναλλαγές και να υποστηριχθούν υπηρεσίες micro-control και analysis στα περιεχόμενα της αλυσίδας για εξουσιοδοτημένες υπηρεσίες στις εφαρμογές smart manufacturing.

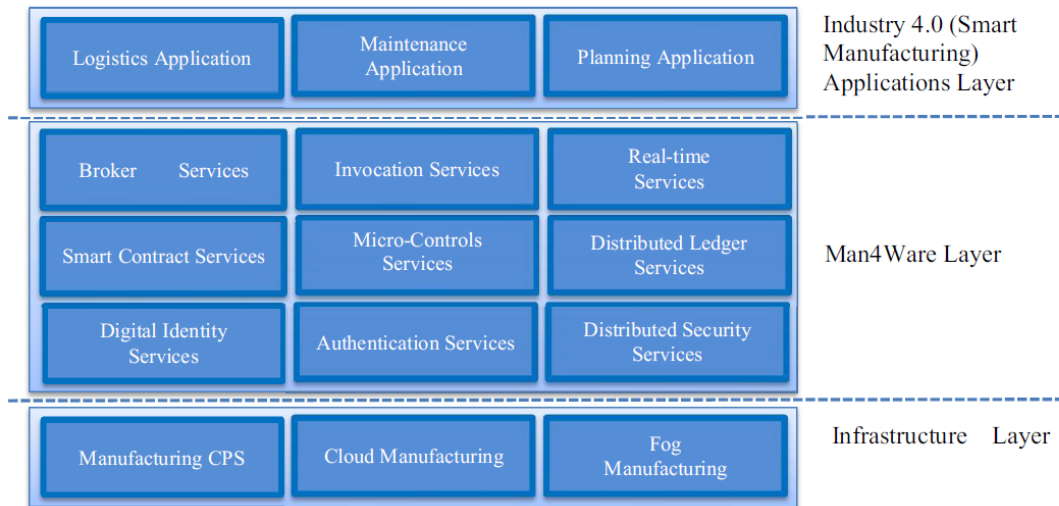
Άλλες εφαρμογές smart manufacturing μπορούν να χρησιμοποιήσουν smart contracts για να αυτοματοποιήσουν διαπραγματευτικές και συμφωνητικές διαδικασίες που χρειάζονται οι εφαρμογές. Έτσι, αντί να χιτίζονται λεπτομερείς κώδικες για διαπραγματεύσεις και συμφωνίες, οι υπηρεσίες blockchain του Man4Ware μπορούν να



χρησιμοποιηθούν αντί αυτού. Όλα τα τελικά contracts επίσης κρυπτογραφούνται και καταγράφονται στο blockchain για ασφαλή και αξιόπιστη αποθήκευση και mining. Επίσης, βάσει των χαρακτηριστικών που είναι ενσωματωμένα στο blockchain, όλες οι εμπλεκόμενες οντότητες θα πρέπει να αποδεχθούν το smart contract προτού αυτό καταχωρηθεί και άρα δεν θα μπορούν να το τροποποιήσουν ή να το αρνηθούν σε επόμενο χρόνο. Ακόμη, άλλες υπηρεσίες βασισμένες στο blockchain μπορούν να προστεθούν και να επεκτείνουν την λειτουργικότητα του και να προσφέρουν στις εφαρμογές του ένα μεγαλύτερο εύρος από υπηρεσίες μέσω του ίδιου πλαισίου. Υπηρεσίες για auditing, micro-measurement, dynamic controls και pricing αλλά και κτισίματος trust model είναι κάποια παραδείγματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από εφαρμογές smart manufacturing.

9.2. Συζήτηση περί SOM

Η ενσωμάτωση των Service Oriented Middleware όπως το Man4Ware και των δυνατοτήτων του blockchain σε μια πλατφόρμα μπορεί να προσφέρει ένα ισχυρό περιβάλλον για εφαρμογή και λειτουργία πολλών εφαρμογών smart manufacturing οι οποίες ενσωματώνουν πολλαπλές οντότητες από τον κατασκευαστικό τομέα και το value chain. Οι δυνατότητες του Man4Ware προσφέρουν ένα ευέλικτο και επεκτάσιμο περιβάλλον για την υλοποίηση και την λειτουργία εφαρμογών smart manufacturing. Ενώ αυτό μπορεί να δημιουργήσει ένα περιβάλλον Internet of Services για εφαρμογές smart manufacturing, το blockchain το εμπλουτίζει με στοιχεία από το Internet of Transactions. Αυτό το Internet of Transactions μπορεί να εγκαθιδρύσει ένα πιο ασφαλές, εμπιστεύσιμο και ελεγχόμενο περιβάλλον για το κτίσιμο και την λειτουργία εφαρμογών του smart manufacturing. Τα Service calls μπορούν να συσχετιστούν με συναλλαγές οι οποίες μπορούν να επαληθευθούν και να καταγραφούν από τις υπηρεσίες του blockchain. Αυτά τα service/transactions μπορούν να αναπαριστούν διάφορες δραστηριότητες smart manufacturing όπως παραγγελίες, πληρωμές, βιομηχανικές διαδικασίες, διεργασίες μηχανών και ρύθμιση τους, δεδομένα από έρευνα και ανάπτυξη, δραστηριότητες παρακολούθησης, αποθηκευτικά αρχεία, παραγγελίες αποστολής και εντολές που σχετίζονται με ενέργεια.



Σχήμα 24: Οι εφαρμογές και τα συστατικά του Man4Ware

Πηγή: Applying Blockchain in Industry 4.0 Applications, Mohamed, Al-Jaroodi, 2019

Αυτό μπορεί να βελτιώσει την διαδικασία ανάπτυξης των εφαρμογών smart manufacturing. Επιπροσθέτως, μπορεί να φτιάξει νέους τύπους εφαρμογών για την υποστήριξη νέων επιχειρηματικών μοντέλων και ιδεών στο smart manufacturing. Ένα από αυτά τα μοντέλα είναι η παροχή λεπτομερών διαδραστικών monitoring services για κατασκευαστικές μηχανές ώστε να παρέχονται έξυπνες και φθηνές πληροφορίες που θα αποτρέψουν μεγάλες μη προγραμματισμένες περιόδους διακοπής λειτουργίας τους. Με τα στοιχεία του blockchain, τα δεδομένα που συλλέγονται μπορούν με ασφάλεια να μοιραστούν με εξουσιοδοτημένες οντότητες και να προστατευτούν από τυχόν παραβιάσεις. Ακόμη, οι ίδιες υπηρεσίες μπορούν να επαυξηθούν με την δυνατότητα να προκαλούν smart contracts για την απαιτούμενη δουλειά συντήρησης και να δημιουργούν τον απαιτούμενο φόρτο εργασίας, προγραμματισμό και συναλλαγές πληρωμής. Ένα άλλο παράδειγμα είναι η χρήση των υπηρεσιών του blockchain ώστε να δημιουργηθεί με ασφάλεια ένα κοινό ιστορικό της κατανάλωσης ενέργειας για πολλές παρόμοιες εγκαταστάσεις. Τα δεδομένα μπορούν να συλλεχθούν ως συγκεντρωμένα και ανώνυμα σετ για την διευκόλυνση ανάλυσης της κατανάλωσης ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα όλων των παραγωγών ώστε να ανιχνευθούν τυχόν λάθη και περιοχές σπατάλης ενέργειας.

Το Man4Ware και πιθανόν άλλα service oriented middlewares απλουστεύουν και βελτιστοποιούν τις εφαρμογές του smart manufacturing ενώ το blockchain βοηθά να προστεθεί αξία σε αυτές τις εφαρμογές. Η αξία κερδίζεται σε όρους ασφάλειας,



ανιχνευσιμότητας, εμπιστοσύνης και διανομής μέσω του κοινού ledger. Πολλές πρόοδοι είναι δυνατές αν βασιστούν στην χρήση αυτών των 2 τεχνολογιών. Ισχυρές εφαρμογές smart manufacturing θα γίνουν πιο εφικτό να φτιαχτούν και να αναπτυχθούν βάσει στο μικρότερο κόστος και μεγαλύτερη επιστροφή της επένδυσης. Επίσης, το blockchain θα κάνει δυνατή την κατόρθωση της inter-organizational συνεργασίας αφού θα βοηθήσει στην εγκαθίδρυση εμπιστοσύνης, επαλήθευσης των συναλλαγών, ασφάλειας και προστασίας των δεδομένων και θα επιβάλλει την μη δυνατότητα απάρνησης. Όλες αυτές οι δυνατότητες θα βοηθήσουν στην εμφάνιση νέων επιχειρηματικών μοντέλων, θα δημιουργήσουν αποδοτικές διαδικασίες smart manufacturing, θα στηρίζουν την ευελιξία στα προϊόντα που αναπτύσσονται και φτιάχνονται και θα δημιουργήσει πιο προσαρμοστικά και εξειδικευμένα προϊόντα.



10. Δομημένη Βιβλιογραφική Ανασκόπηση της χρήσης blockchain σε εφαρμογές Industry 4.0

10.1.Εισαγωγή

Η συγκεκριμένη έρευνα αναλύει τις τάσεις που υπάρχουν στο ερευνητικό πεδίο σχετικά με την χρήση blockchain στις διάφορες εφαρμογές Industry 4.0. Η έρευνα αυτή στοχεύει στην εξέταση της φάσης στην οποία βρίσκεται το πεδίο αυτό αλλά και στις ερευνητικές ανάγκες οι οποίες θα προκύψουν μελλοντικά. Έπειτα παρουσιάζεται η διαδικασία με την οποία διεξήχθη η έρευνα αυτή, η ταξινόμηση των αποτελεσμάτων καθώς και η αξιολόγηση τους.

10.2. Διαδικασία Έρευνας

Το αρχικό βήμα στην ανασκόπηση αυτή είναι η επιλογή της βάσης δεδομένων η οποία θα χρησιμοποιηθεί. Εδώ έχει επιλεγεί η βάση δεδομένων Scopus. Έπειτα, παρουσιάζεται το πρωτόκολλο έρευνας καθώς και ο τρόπος με τον οποίο καθορίζεται η επιλογή ή η απόρριψη των αποτελεσμάτων. Τέλος, αξιολογούνται τα αποτελέσματα όσον αφορά στην πληρότητα τους και την σαφήνεια τους.

Ο επόμενος πίνακας δείχνει τις παραμέτρους οι οποίες εισήχθησαν στην βάση δεδομένων για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων καθώς και σύντομη επεξήγηση τους:



Research Protocol	Title: set of "Blockchain in Industry 4.0"
Βάση δεδομένων	Scopus: Παγκόσμια βάση δεδομένων η οποία καλύπτει ευρύ φάσμα δημοσιεύσεων, περισσότερες από 20,000 εγκεκριμένων από ομότιμους συναδέλφους
Είδη Δημοσιεύσεων	Μόνο εγκεκριμένα από ομότιμους συναδέλφους άρθρα
Γλώσσα	Αγγλικά: Ευρύ φάσμα πληροφορίας
Data range	Δεν τέθηκαν όρια μιας και οι δημοσιεύσεις αρχίζουν από το 2017
Πεδίο Αναζήτησης	Μόνο Titles, Abstracts και Keywords
Όροι Αναζήτησης	<p>TITLE-ABS-KEY(blockchain industry 4.0) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE,"ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE,"re") OR LIMIT-TO (DOCTYPE,"ch")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA,"COMP") OR LIMIT-TO (SUBJAREA,"ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA,"DECI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA,"BUSI")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE,"English")) AND (LIMIT-TO (SRCTYPE,"j") OR LIMIT-TO (SRCTYPE,"k") OR LIMIT-TO (SRCTYPE,"b"))</p> <p>Η θεματική ενότητα περιορίζεται στα Computer Sciences, Engineering, Decision Sciences και Business Management, χωρίς δηλαδή τα Mathematics, μιας και δεν μας ενδιαφέρουν οι μαθηματικές έννοιες και οι μαθηματικοί τύποι αλλά η γενικότερη έννοια της χρήσης blockchain σε εφαρμογές Industry 4.0.</p> <p>Ο τύπος των άρθρων που επιλέγονται είναι Article, Book Chapter και Review ενώ ο τύπος πηγής είναι Journal, Book Series και Books.</p>
Deselection Criteria	<p>Το κριτήριο μη επιλογής είναι σχετικό με το κάθε entry. Μερικά άρθρα είναι φανερό πως δεν είναι σχετικά βάση της σύνοψης τους ενώ άλλα απλά περιέχουν τους γενικούς όρους blockchain και Industry 4.0 χωρίς να κάνουν λόγο για κάποια εφαρμογή του blockchain στο Industry 4.0. Όσον αφορά στα σχετικά άρθρα, ελέγχθηκε ολόκληρο το περιεχόμενο τους ώστε να επιτευχθεί αναλυτική τους κατηγοριοποίηση.</p>



Αξίζει να σημειωθεί ότι ο όρος αναζήτησης προσπαθεί να βρει επιστημονικές μελέτες, ανασκοπήσεις και έρευνες σχετικά με τις εφαρμογές του blockchain στο Industry 4.0. Οι λέξεις-κλειδιά είναι οι “blockchain industry 4.0” και πρέπει να περιέχονται σε τίτλο, στο abstract ή στις λέξεις κλειδιά του αποτελέσματος ώστε να αυξάνονται οι πιθανότητες το αποτέλεσμα να εντάσσεται στην κατηγορία που μας ενδιαφέρει. Τα αποτελέσματα κρατούνται μόνο όταν είναι άρθρα, κεφάλαια βιβλίων ή ανασκοπήσεις ώστε να προσομοιάζουν όσο περισσότερο γίνεται στο είδος έρευνας που αποσκοπεί να πετύχει η εργασία αυτή. Ο τύπος της πηγής πρέπει να είναι Journal, Book series ή Books ώστε το αποτέλεσμα να είναι όσο πιο επιστημονικό γίνεται και άρα η έρευνα που διεξάγεται να είναι όσο πιο ορθή γίνεται.

Τα 31 άρθρα που προκύπτουν από την παραπάνω έρευνα κατηγοριοποιούνται όπως αναλύεται στην συνέχεια.

10.3. Μεθοδολογία Έρευνας

Η έρευνα που έχει διεξαχθεί έχει σπάσει σε 3 κομμάτια κατηγοριοποίησης. Η πρώτη κατηγοριοποίηση είναι σχέση με τον τομέα της εφαρμογής που αναφέρεται το κάθε άρθρο, δεύτερη σε σχέση με την χρονιά που έχει δημοσιευθεί το άρθρο και η τρίτη σχετικά με το είδος του άρθρου.

10.3.1. Είδος τομέα εφαρμογής

Οι κατηγορίες στις οποίες εντάσσονται τα άρθρα είναι το Manufacturing, το Healthcare, το Energy, το Digital Twins και το Agriculture. Αξίζει να σημειωθεί ότι κάποια άρθρα κάνουν αναφορά σε περισσότερες από μια τέτοιες κατηγορίες, οπότε και έχουν ενταχθεί σε όλες τις αντίστοιχες. Σύμφωνα με αυτές τις κατηγορίες τα παραπάνω άρθρα εντάσσονται ως εξής:



Κατηγορία	Σχετικά Άρθρα
Manufacturing	16
Energy	6
Digital Twins	2
Healthcare	6
Agriculture	2

Παρατηρούμε, λοιπόν, ότι τα περισσότερα άρθρα αναφέρονται σε εφαρμογές στον τομέα του manufacturing ενώ οι τομείς ενέργειας και υγείας είναι οι επόμενοι.

10.3.2. Έτος δημοσίευσης

Η κατάταξη σύμφωνα με το έτος δημοσίευσης φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Έτος δημοσίευσης	Σχετικά άρθρα
2020	18
2019	10
2018	2
2017	1

Παρατηρούμε ότι τα άρθρα αυξάνονται καθώς προχωρούν τα έτη το οποίο είναι λογικό αφού πρόκειται για τεχνολογίες οι οποίες είναι πολύ καινούργιες και καινοτομικές. Αξίζει,



ακόμη, να σημειωθεί ότι αποτελέσματα πριν το 2017 δεν υπάρχουν, κάτι που είναι λογικό μιας και πρόκειται για τεχνολογία η οποία είναι ακόμα σε όχι και τόσο προχωρημένο στάδιο. Επίσης, είναι σημαντικό να παρατηρηθεί ότι οι τεχνολογίες και οι ιδέες του blockchain αλλά και του Industry 4.0 υπήρχαν πριν το 2017, ωστόσο η ιδέα να χρησιμοποιηθεί blockchain στο Industry 4.0 είναι σχετικά νέα και άρα τα επιστημονικά άρθρα που προτείνουν εφαρμογές blockchain στο Industry 4.0 είναι και αυτά νέα και άρα σχετικά μικρά σε αριθμό.

10.3.3. Είδη άρθρων

Η κατάταξη αυτή φαίνεται στον επόμενο πίνακα:

Κατηγορία	Σχετικά άρθρα
Propose-Develop Algorithm or Method	18
Literature Review or Survey	11
Software-System	6

10.4. Συμπεράσματα έρευνας

Από τα παραπάνω αποτελέσματα μπορούμε να εξάγουμε αρκετά ενδιαφέροντα συμπεράσματα για κάθε είδος κατηγοριοποίησης.

Σχετικά με τον τομέα εφαρμογής μπορούμε να πούμε τα εξής:

Ο πιο κοινός τομέας εφαρμογής blockchain σε Industry 4.0 είναι ο κατασκευαστικός (manufacturing). Αυτό είναι λογικό μιας και οι περισσότερες τεχνολογίες blockchain και Industry 4.0 αφορούν και επικεντρώνονται στον κατασκευαστικό τομέα, από τα Cyber-



Physical Systems και το Industrial IoT μέχρι τα smart contracts και την ασφάλεια των συναλλαγών μεταξύ υπηρεσιών και πόρων.

Σχετικά με το έτος δημοσίευσης μπορούμε να πούμε τα εξής:

Παρατηρείται μια μεγάλη αύξηση των άρθρων όσο περνούν τα χρόνια. Αυτό είναι λογικό αφού το blockchain σαν πρακτική τεχνολογία υπάρχει μόνο από το 2008 ενώ το Industry 4.0 υπάρχει ως θεωρητικός στόχος από το 2011 (Hannover). Έτσι, και οι 2 αυτές τεχνολογίες είναι αρκετά πρώιμες και καινοτόμες και άρα δεν υπάρχει ακόμα εκτεταμένο θεωρητικό και, πιο σημαντικά, πρακτικό υπόβαθρο και έρευνα ώστε αυτές να αναπτυχθούν ώστε να μπορέσουν να ενσωματωθούν σε ένα κοινό πλαίσιο. Το συμπέρασμα από αυτή την τάση είναι ότι τα επόμενα χρόνια αναμένεται μεγάλη αύξηση στο συγκεκριμένο πεδίο της έρευνας και άρα του τομέα της χρήσης blockchain στις εφαρμογές του Industry 4.0.

Σχετικά με τα είδη των άρθρων μπορούμε να πούμε τα εξής:

Τα περισσότερα άρθρα είναι τα proposals, τα οποία ουσιαστικά είναι προτάσεις για εφαρμογές blockchain σε Industry 4.0 για κάποιο συγκεκριμένο τομέα. Επόμενα σε αριθμό είναι τα reviews τα οποία αποτελούν μια σύνοψη του πεδίου εφαρμογής και δεν προτείνουν κάποια συγκεκριμένη λύση. Τέλος, τα λιγότερα σε αριθμό είναι τα Software-Systems τα οποία είναι ολοκληρωμένες λύσεις για εφαρμογή στον συγκεκριμένο τομέα. Αυτές, όπως βλέπουμε και από τον παραπάνω πίνακα, είναι και οι λιγότερες μιας και απαιτείται αρκετός χρόνος για την ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης λύσης σε ένα τόσο καινοτομικό πεδίο εφαρμογών.

10.5. Ανάλυση άρθρων

Από τα άρθρα που βρέθηκαν μπορούν, πέραν των προαναφερθέντων κατηγοριοποιήσεων, να εξαχθούν και αρκετά ακόμη χρήσιμα συμπεράσματα.

Καταρχάς, παρατηρείται ότι σε όλα τα άρθρα, η εφαρμογή blockchain στο πλαίσιο του Industry 4.0 έχει πολλά θετικά αποτελέσματα για την επιχείρηση. Χάρη στο blockchain, η



εφοδιαστική αλυσίδα απλουστεύεται, το κόστος των παρεχόμενων υπηρεσιών και προϊόντων μειώνεται και ο έλεγχος της εταιρείας στα προϊόντα της αυξάνεται. Το blockchain, επίσης, βοηθάει στην οργάνωση και την διαχείριση των πόρων που χρησιμοποιεί μια επιχείρηση και, όπως παρατηρείται στην βιβλιογραφία, ελαττώνει σημαντικά την σπατάλη πόρων και την παραγωγή περισσότερων προϊόντων από ότι χρειάζεται. Είναι προφανές, επίσης, ότι λόγω των πολλών θετικών αποτελεσμάτων που έχει το blockchain στο πλαίσιο του Industry 4.0, οι περισσότερες εταιρείες ψάχνουν συνεχώς τρόπους να το εφαρμόσουν στις παραγωγικές διαδικασίες τους. Βέβαια, αυτή η έρευνα, λόγω των πολύπλοκων εφοδιαστικών αλυσίδων τους, έχει αρκετό κόστος, ωστόσο το κόστος που πρόκειται να μειωθεί λόγω της εφαρμογής blockchain στο Industry 4.0 είναι πολύ μεγαλύτερο και άρα η έρευνα αυτή λαμβάνει χώρα σε πολλές επιχειρήσεις. Έτσι, αναμένεται να παρατηρηθούν πολλές τέτοιες εφαρμογές στα επόμενα χρόνια.

Από την πλειοψηφία των άρθρων αυτών, μπορεί να υπογραμμιστούν και τα εξής: η τάση στη σημερινή αγορά είναι ότι όλο και περισσότερες επιχειρήσεις ψάχνουν τρόπους μείωσης κόστους, αύξησης ποιότητας ασφάλειας και ιχνηλασιμότητας και ανιχνευσιμότητας των προϊόντων τους και των συναλλαγών τους. Έτσι, ολοένα και περισσότερες στρέφονται προς την έρευνα και την ανάπτυξη εφαρμογών blockchain σε Industry 4.0, μιας και αυτές οι λύσεις μπορούν να πραγματοποιήσουν τους παραπάνω στόχους. Έτσι, η τάση έρευνας εφαρμογών blockchain σε Industry 4.0 στη σημερινή εποχή παρατηρείται να είναι ολοένα και αυξανόμενη. Ωστόσο, στις περισσότερες περιπτώσεις πειραμάτων και έρευνας που αναφέρονται μέσα σε άρθρα, η κλίμακα είναι πολύ μικρή και η πολυπλοκότητα της πειραματικής διάταξης είναι σαφώς χαμηλότερη από αυτή που είχε μια ολοκληρωμένη εφαρμογή.

Σχετικά με την χρήση του blockchain στη σημερινή βιομηχανία μπορούν να αναφερθούν τα εξής συμπεράσματα. Σύμφωνα με τα άρθρα της έρευνας, αρκετές επιχειρήσεις χρησιμοποιούν τεχνολογία blockchain στις διάφορες διεργασίες τους. Όπως παρατηρήθηκε και στις μελέτες περίπτωσης, αρκετές μεγάλες εταιρείες έχουν ήδη εφαρμόσει blockchain σε κάποιο πλαίσιο του Industry 4.0 και έχουν καταφέρει να ελαττώσουν σημαντικά το κόστος των προϊόντων τους. Η Boeing, μέσω της βασισμένης σε blockchain πλατφόρμας GoDirect κατάφερε να πουλήσει εξαρτήματα αξίας 1 δισεκατομμυρίου δολαρίων. Η BMW, επίσης, εφαρμόζοντας blockchain στο πλαίσιο του δικτύου εξαρτημάτων της κατάφερε να ανιχνεύει με μεγάλη ακρίβεια την προέλευση και την τοποθεσία του κάθε εξαρτήματος της στην εφοδιαστική της αλυσίδα σε πραγματικό χρόνο. Αυτό υπογραμμίζει τα πολλά θετικά αποτελέσματα που μπορεί να έχει μια τέτοια εφαρμογή για μια επιχείρηση.



Η χρήση του blockchain στην βιομηχανία, σύμφωνα με τα άρθρα της βιβλιογραφικής έρευνας, είναι κυρίως για την διασφάλιση της ασφάλειας και της εγκυρότητας των συναλλαγών μεταξύ των επιχειρήσεων. Χάρη στο blockchain, όταν μια συναλλαγή καταγράφεται σε αυτό είναι πρακτικά αδύνατο να παραποιηθεί ή να διαγραφεί ενώ για την καταγραφή της απαιτείται η ομοφωνία όλων των εμπλεκόμενων μερών. Έτσι, αρκετές επιχειρήσεις σήμερα χρησιμοποιούν blockchain κυρίως για να διασφαλίσουν τις συναλλαγές τους. Η χρήση του blockchain φαίνεται να έχει, σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις, σημαντικά θετικά αποτελέσματα για την επιχείρηση. Επίσης, μέσω πλατφόρμας blockchain, πολλές εταιρείες όπως η Boeing έχουν καταφέρει να απλουστεύσουν και άρα να διευκολύνουν τις συναλλαγές τους με τους πελάτες και άρα να αυξήσουν το κέρδος τους.

Σύμφωνα με τα άρθρα που εντοπίστηκαν, δεν φαίνεται να υπάρχει κάποιος άλλος τρόπος κρυπτογράφησης και ασφάλειας στο Industry 4.0 πέρα από το blockchain ο οποίος να είναι τόσο αποδοτικός και ασφαλής όπως αυτό. Αυτό συμβαίνει επειδή το blockchain έχει περιγραφεί πλήρως σαν τεχνολογία και έχει λάβει πρακτική εφαρμογή σε αρκετές περιπτώσεις μέσα σε επιχειρήσεις, οπότε είναι μια δοκιμασμένη τεχνολογία. Μάλιστα, από τα άρθρα που εντοπίστηκαν, δεν φαίνεται να υπάρχει κάποια αναφορά σε άλλη μέθοδο κρυπτογράφησης πέρα από το blockchain.



Βιβλιογραφία

- A. Angrish, B. Craver, M. Hasan, and B. Starly, "A case study for blockchain in manufacturing: `FabRec': A prototype for peer-to-peer network of manufacturing nodes," *Procedia Manuf.*, vol. 26, pp. 1180-1192, 2018.
- A. Azaria, A. Ekblaw, T. Vieira, and A. Lippman, "MedRec: Using blockchain for medical data access and permission management," in *Proc. 2nd Int. Conf. Open Big Data (OBD)*, Aug. 2016, pp. 25-30.
- A. Dubovitskaya, Z. Xu, S. Ryu, M. Schumacher, and F. Wang, "How blockchain could empower eHealth: An application for radiation oncology," in *Proc. VLDB Workshop Data Manage. Anal. Med. Healthcare*, 2017, pp. 3-6.
- A. E. C. Mondragon, C. E. C. Mondragon, and E. S. Coronado, "Exploring the applicability of blockchain technology to enhance manufacturing supply chains in the composite materials industry," in *Proc. IEEE Int. Conf. Appl. Syst. Invention ICASI*, Apr. 2018, pp. 13001303
- A. Goranovic, M. Meisel, L. Fotiadis, S. Wilker, A. Treytl, and T. Sauter, "Blockchain applications in microgrids an overview of current projects and concepts," in *Proc. IECON-43rd Annu. Conf. IEEE Ind. Electron. Soc.*, Oct. 2017
- A. Reyna, C. Martín, J. Chen, E. Soler, and M. Díaz, "On blockchain and its integration with IoT. Challenges and opportunities," *Future Gener. Comput. Syst.*, vol. 88, pp. 173-190, Nov. 2018.
- A. Theodouli, S. Arakliotis, K. Moschou, K. Votis, and D. Tzovaras, "On the design of a blockchain-based system to facilitate healthcare data sharing," in *Proc. 17th IEEE Int. Conf. Trust, Secur. Privacy Comput. Commun. 12th IEEE Int. Conf. Big Data Sci. Eng. (TrustCom/BigDataSE)*, Aug. 2018, pp. 1374-1379
- Arnold, C., D. Kiel, and K. Voigt. 2016. "How the Industrial Internet of Things Changes Business Models in Different Manufacturing Industries." *International Journal of Innovation Management*
- B. Carminati, C. Rondanini, and E. Ferrari, "Confidential business process execution on blockchain," in *Proc. IEEE Int. Conf. Web Services (ICWS)*, Jul. 2018, pp. 58-65.
- Bi, Z., L. Xu, and C. Wang. 2014. "Internet of Things for Enterprise of Modern Manufacturing." *IEEE Transactions on Industrial Informatics*
- C.-F. Liao, S.-W. Bao, C.-J. Cheng, and K. Chen, "On design issues and architectural styles for blockchain-driven IoT services," in *Proc. IEEE Int. Conf. Consum. Electron.-Taiwan (ICCE-TW)*, Jun. 2017, pp. 351-35
- Cai, H., L. Xu, B. Xu, C. Xie, S. Qin, and L. Jiang. 2014. "IoT-based Configurable Information Service Platform for Product Lifecycle Management." *IEEE Transactions on Industrial Informatics*
- Carcano, A., A. Coletta, M. Guglielmi, M. Masera, I. Fovino, and A. Trombetta. 2011. "A Multidimensional Critical State Analysis for Detecting Intrusions in SCADA Systems." *IEEE Transactions on Industrial Informatics*



- Chunguang Bai, Patrick Dallasega, Guido Orzes , Joseph Sarkis, "Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective" *International Journal of Production Economics*, 2020
- Colombo, A., D. Schleuter, and M. Kircher. 2015. "An Approach to Qualify Human Resources Supporting the Migration of SMEs into an Industry 4.0-compliant Company Infrastructure." In *Proceedings of IECON 2015 Yokohama*
- D.-Y. Liao and X. Wang, "Design of a blockchain-based lottery system for smart cities applications," in *Proc. IEEE 3rd Int. Conf. Collaboration Internet Comput. (CIC)*, Oct. 2017, pp. 275-282
- F. Tian, "A supply chain traceability system for food safety based on HACCP, blockchain & Internet of Things," in *Proc. Int. Conf. Service Syst. Service Manage.*, Jun. 2017, pp. 1-6.
- F. Tian, "An agri-food supply chain traceability system for China based on RFID & blockchain technology," in *Proc. 13th Int. Conf. Service Syst. Service Manage. (ICSSSM)*, Jun. 2016,
- G. Perboli, S. Musso, and M. Rosano, "Blockchain in logistics and supply chain: A lean approach for designing real-world use cases," *IEEE Access*,
- H. Johng, D. Kim, T. Hill, and L. Chung, "Using blockchain to enhance the trustworthiness of business processes: A goal-oriented approach," in *Proc. IEEE Int. Conf. Services Comput. (SCC)*, Jul. 2018, pp. 249-252.
- I. Weber, X. Xu, R. Riveret, G. Governatori, A. Ponomarev, and J. Mendling, "Untrusted business process monitoring and execution using blockchain," in *Proc. Int. Conf. Bus. Process Manage.*, 2016,
- J. Hua, X. Wang, M. Kang, H. Wang, and F.-Y. Wang, "Blockchain based provenance for agricultural products: A distributed platform with duplicated and shared bookkeeping," in *Proc. IEEE Intell. Vehicles Symp. (IV)*, Jun. 2018, pp. 97-101
- J. Kishigami, S. Fujimura, H. Watanabe, A. Nakadaira, and A. Akutsu, "The blockchain-based digital content distribution system," in *Proc. IEEE 5th Int. Conf. Big Data Cloud Comput.*, Aug. 2015,
- J. Mendling et al., "Blockchains for business process management challenges and opportunities," *ACM Trans. Manage. Inf. Syst.*, vol. 9, no. 1, pp. 1-16, 2018.
- J. Truby, "Decarbonizing bitcoin: Law and policy choices for reducing the energy consumption of blockchain technologies and digital currencies," *Energy Res. Social Sci.*, Oct. 2018.
- J. Zhang, N. Xue, and X. Huang, "A secure system for pervasive social network-based healthcare," *IEEE Access*, vol. 4, pp. 9239-9250, 2016.
- Jay Lee, Moslem Azamfar, Jaskaran Singh, "A blockchain enabled Cyber-Physical System architecture for Industry 4.0 manufacturing systems" *Elsevier*, 2019
- K. Biswas and V. Muthukkumarasamy, "Securing smart cities using blockchain technology," in *Proc. IEEE 18th Int. Conf. High Perform. Comput. Commun.; IEEE 14th Int. Conf. Smart City; IEEE 2nd Int. Conf. Data Sci. Syst. (HPCC/SmartCity/DSS)*, Dec. 2016, pp. 13921393.



- K. Leng, Y. Bi, L. Jing, H.-C. Fu, and I. van Nieuwenhuysse, "Research on agricultural supply chain system with double chain architecture based on blockchain technology," *Future Gener. Comput. Syst.*, Sep. 2018.
- Kaynak, O. 2005. "The Exhilarating Journey from Industrial Electronics to Industrial Informatics." *IEEE Transactions on Industrial Informatics*
- L.-N. Lundbaek and M. Huth, "Oligarchic control of Business-to-Business blockchains," in *Proc. IEEE Eur. Symp. Secur. Privacy Workshops (EuroS&PW)*, Apr. 2017, pp. 68-71.
- Li Da Xu, Eric L. Xu & Ling Li "Industry 4.0: state of the art and future trends", *International Journal of Production Research*, 2018
- M. A. Khan and K. Salah, "IoT security: Review, blockchain solutions, and open challenges," *Future Gener. Comput. Syst.*, vol. 82, pp. 395-411, May 2018.
- M. P. Caro, M. S. Ali, M. Vecchio, and R. Giaffreda, "Blockchain-based traceability in agri-food supply chain management: A practical implementation," in *Proc. IoT Vertical Topical Summit Agricult.-Tuscany (IOT Tuscany)*, May 2018,
- M. Samaniego and R. Deters, "Hosting virtual IoT resources on edgehosts with blockchain," in *Proc. IEEE Int. Conf. Comput. Inf. Technol. (CIT)*, Dec. 2016, pp. 116-119.
- M. Singh, A. Singh, and S. Kim, "Blockchain: A game changer for securing IoT data," in *Proc. IEEE 4th World Forum Internet Things (WF-IoT)*, Feb. 2018, pp. 51-55.
- Monostori, L. 2014. "Cyber-physical Production Systems: Roots, Expectations and R&D Challenges." *Procedia CIRP*
- Mourtzis, D., and E. Vlachou. 2016. "Cloud-based Cyber-physical Systems and Quality of Services." *The TQM Journal* 28
- N. Kshetri, "1 Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives," *Int. J. Inf. Manage.*, Apr. 2018.
- N. M. Kumar and P. K. Mallick, "Blockchain technology for security issues and challenges in IoT," *Procedia Comput. Sci.* 3, 2018
- N. Ri, E. Rachkidi, N. Agoulmine, and N. C. Taher, "Towards using blockchain technology for eHealth data access management," in *Proc. 4th Int. Conf. Adv. Biomed. Eng. (ICABME)*, Oct. 2017, pp. 1-4.
- Nader Mohamed, Jameela Al-Jaroodi "Applying Blockchain in Industry 4.0 Applications" 2019
- P. K. Sharma and J. H. Park, "Blockchain based hybrid network architecture for the smart city," *Future Gener. Comput. Syst.*, vol. 86, pp. 650-655, Sep. 2018
- P. Rimba, A. B. Tran, I. Weber, M. Staples, A. Ponomarev, and X. Xu, "Comparing blockchain and cloud services for business process execution," in *Proc. IEEE Int. Conf. Softw. Archit. (ICSA)*, Apr. 2017, pp. 257-260.



Q. K. Nguyen, "Blockchain financial technology for future sustainable development," in Proc. 3rd Int. Conf. Green Technol. Sustain. Develop. (GTSD), Nov. 2016, pp. 51-54.

Q. Xia, E. B. Sifah, K. O. Asamoah, J. Gao, X. Du, and M. Guizani, "MeDShare: Trust-less medical data sharing among cloud service providers via blockchain," IEEE Access, vol. 5, pp. 14757-14767, 2017.

R. Rivera, J. G. Robledo, V. M. Larios, and J. M. Avalos, "How digital identity on blockchain can contribute in a smart city environment," in Proc. Int. Smart Cities Conf. (ISC), Sep. 2017, pp. 1-4.

Regli, W. 2007. "The Need for a Science of Engineering Informatics." Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing

Sandra Grabowska, "SMART FACTORIES IN THE AGE OF INDUSTRY 4.0" Silesian University of Technology 2020

UMESH BODKHE 1, SUDEEP TANWAR 1, (Member, IEEE), KARAN PAREKH1, PIMAL KHANPARA1, SUDHANSHU TYAGI 2, (Senior Member, IEEE), NEERAJ KUMAR 3,4, (Senior Member, IEEE), AND MAMOUN ALAZAB5, (Senior member, IEEE) "Blockchain for Industry 4.0: A Comprehensive Review", IEEE Access 2020

van Kranenburg, R. 2008. The Internet of Things: A Critique of Ambient Technology and the All-seeing Network of RFID. Amsterdam: Institute of Network Cultures

Wang, C., Z. Bi, and L. Xu. 2014. "IoT and Cloud Computing in Automation of Assembly Modeling Systems

Weber, A. 2016. "Industry 4.0: Myths Vs. Reality."

Wilamowski, B. 2005. "Welcome to the IEEE Transactions on Industrial Informatics, a New Journal of the Industrial Electronics Society." IEEE Transactions on Industrial Informatics

X. Liang, J. Zhao, S. Shetty, J. Liu, and D. Li, "Integrating blockchain for data sharing and collaboration in mobile healthcare applications," in Proc. IEEE 28th Annu. Int. Symp. Pers., Indoor, Mobile Radio Commun. (PIMRC), Oct. 2017, pp. 1-5.

X. Yue, H. Wang, D. Jin, M. Li, and W. Jiang, "Healthcare data gateways: Found healthcare intelligence on blockchain with novel privacy risk control," J. Med. Syst, Oct. 2016.

X. Wang, X. Xu, L. Feagan, S. Huang, L. Jiao, and W. Zhao, "Inter-bank payment system on enterprise blockchain platform," in Proc. IEEE 11th Int. Conf. Cloud Comput. (CLOUD), Jul. 2018, pp. 614-621

Y. M. Qin, D. L. Kong, and S. Li, "China cold-chain logistics development report," Res. Markets, Tech. Rep., 2014, pp. 116-117.

Z. Li, A. V. Barenji, and G. Q. Huang, "Toward a blockchain cloud manufacturing system as a peer to peer distributed network platform," Robot. Comput.-Integr. Manuf., vol. 54, pp. 133-144, Dec. 2018.



Z. Shae and J. J. P. Tsai, "On the design of a blockchain platform for clinical trial and precision medicine," in Proc. IEEE 37th Int. Conf. Distrib. Comput. Syst. (ICDCS), Jun. 2017, pp. 1972-1980.



Παράρτημα: Κατηγοριοποίηση και αξιολόγηση επιστημονικών άρθρων

Πρώτα παρατίθενται όλα τα αποτελέσματα όπως προκύπτουν από την αναζήτηση στη βάση δεδομένων του Scopus. Έπειτα, δίνονται σε πίνακα τα αποτελέσματα της αξιολόγησης τους και της κατηγοριοποίησης τους. Αν η τιμή αποδεκτό είναι 1 τότε το άρθρο αναφέρεται όντως σε εφαρμογή του Blockchain σε πλαίσιο του Industry 4.0, ενώ αν η τιμή αποδεκτό είναι 0 τότε το άρθρο δεν αναφέρεται σε κάποια τέτοια εφαρμογή. Στην κατηγοριοποίηση είδος έχουμε τις τιμές proposal, review και software (κάποια άρθρα παίρνουν παραπάνω από 1 τιμή). Τέλος στις επόμενες στήλες έχουμε την τιμή 1 ανάλογα με το αν η εφαρμογή ή οι εφαρμογές που αναφέρει και αναλύει το άρθρο ανήκουν στους τομείς Manufacturing, Healthcare, Agriculture, Digital Twins ή Energy. Και εδώ, κάποια άρθρα αναφέρονται σε παραπάνω από 1 τομέα οπότε σε κάποιες γραμμές υπάρχουν παραπάνω από 1 τιμές “1”.

- 1) Blockchain, business and the fourth industrial revolution: Whence, whither, wherefore and how?, Kimani, D., Adams, K., Attah-Boakye, R., (...), Frecknall-Hughes, J., Kim, J., 2020, Technological Forecasting and Social Change
- 2) A framework to achieve sustainability in manufacturing organisations of developing economies using industry 4.0 technologies' enablers, Yadav, G., Kumar, A., Luthra, S., (...), Kumar, V., Batista, L., 2020, Computers in Industry
- 3) Blockchain-based business process management (BPM) framework for service composition in industry 4.0, Viriyasitavat, W., Da Xu, L., Bi, Z., Sapsomboon, A., 2020, Journal of Intelligent Manufacturing
- 4) Blockchain-Enabled Secure Energy Trading with Verifiable Fairness in Industrial Internet of Things, Li, M., Hu, D., Lal, C., Conti, M., Zhang, Z., 2020, IEEE Transactions on Industrial Informatics



- 5) Analysis of resilience strategies and ripple effect in blockchain-coordinated supply chains: An agent-based simulation study, Lohmer, J., Bugert, N., Lasch, R., 2020, International Journal of Production Economics
- 6) Blockchain-assisted access for federated Smart Grid domains: Coupling and features, Alcaraz, C., Rubio, J.E., Lopez, J., 2020, Journal of Parallel and Distributed Computing
- 7) Blockchain-based anomaly detection of electricity consumption in smart grids, Li, M., Zhang, K., Liu, J., Gong, H., Zhang, Z., 2020, Pattern Recognition Letters
- 8) Blockchain and the circular economy: potential tensions and critical reflections from practice, Gupta, R., Tanwar, S., Kumar, N., Tyagi, S., 2020, Computers and Electrical Engineering
- 9) Blockchain-based security attack resilience schemes for autonomous vehicles in industry 4.0: A systematic review, Gupta, R., Tanwar, S., Kumar, N., Tyagi, S., 2020, Computers and Electrical Engineering
- 10) A novel cloud manufacturing service composition platform enabled by Blockchain technology, Aghamohammadzadeh, E., Fatahi Valilai, O., 2020, International Journal of Production Research
- 11) A Trustworthy Privacy Preserving Framework for Machine Learning in Industrial IoT Systems, Arachchige, P.C.M., Bertok, P., Khalil, I., (...), Camtepe, S., Atiquzzaman, M., 2020, IEEE Transactions on Industrial Informatics



- 12) Financial implications of fourth industrial revolution: Can bitcoin improve prospects of energy investment?, Su, C.-W., Qin, M., Tao, R., Umar, M., 2020, Technological Forecasting and Social Change
- 13) Combining blockchain and iot: Food-chain traceability and beyond, Grecuccio, J., Giusto, E., Fiori, F., Rebaudengo, M., 2020, Energies
- 14) Research in business service purchasing: current status and directions for the future, Hofmann, E., Brunner, J.H., Holschbach, E., 2020, Management Review Quarterly
- 15) A survey on decision-making based on system reliability in the context of Industry 4.0, Hoffmann Souza, M.L., da Costa, C.A., de Oliveira Ramos, G., da Rosa Righi, R., 2020, Journal of Manufacturing Systems
- 16) The challenges and countermeasures of blockchain in finance and economics, Zhang, L., Xie, Y., Zheng, Y., (...), Zheng, X., Xu, X., 2020, Systems Research and Behavioral Science
- 17) The use of the blockchain technology and digital watermarking to provide data authenticity on a mining enterprise, Evsutin, O., Meshcheryakov, Y., 2020, Sensors (Switzerland)
- 18) Industrial blockchain based framework for product lifecycle management in industry 4.0, Liu, X.L., Wang, W.M., Guo, H., (...), Li, Z., Huang, G.Q., 2020, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing
- 19) Technologies for the future of learning: state of the art, Hernandez-de-Menendez, M., Escobar Díaz, C., Morales-Menendez, R., 2020, International Journal on Interactive Design and Manufacturing



- 20) IoT-blockchain enabled optimized provenance system for food industry 4.0 using advanced deep learning, Khan, P.W., Byun, Y.-C., Park, N., 2020, Sensors (Switzerland)
- 21) Lightweight proof of game (LPoG): A proof of work (PoW)'s extended lightweight consensus algorithm for wearable kidneys, Kumar, A., Sharma, D.K., Nayyar, A., Singh, S., Yoon, B., 2020, Sensors (Switzerland)
- 22) Agri-food 4.0: A survey of the Supply Chains and Technologies for the Future Agriculture, Lezoche, M., Panetto, H., Kacprzyk, J., Hernandez, J.E., Alemany Díaz, M.M.E., 2020, Computers in Industry
- 23) Blockchain-oriented dynamic modelling of smart contract design and execution in the supply chain, Dolgui, A., Ivanov, D., Potryasaev, S., (...), Ivanova, M., Werner, F., 2020, International Journal of Production Research
- 24) A Blockchain Tokenizer for Industrial IOT trustless applications, Mazzei, D., Baldi, G., Fantoni, G., (...), Ricci, L., Rizzello, L., 2020, Future Generation Computer Systems
- 25) When is blockchain worth it? A case study of carbon trading, Zhao, F., Chan, W.K., 2020, Energies
- 26) Digital transformation of economy, Udaltsova, N.L., 2020, Quality - Access to Success



- 27) The Future of Healthcare Internet of Things: A Survey of Emerging Technologies, Qadri, Y.A., Nauman, A., Zikria, Y.B., Vasilakos, A.V., Kim, S.W., 2020, IEEE Communications Surveys and Tutorials
- 28) Developing a theoretical framework for intelligent contract acceptance, McNamara, A.J., Sepasgozar, S.M.E., 2020, Construction Innovation
- 29) Blockchain technology: Is it hype or real in the construction industry?, Perera, S., Nanayakkara, S., Rodrigo, M.N.N., Senaratne, S., Weinand, R., 2020, Journal of Industrial Information Integration
- 30) Evaluation of smart alarm systems for industry 4.0 technologies, Chang, C.-W., 2020, Applied Sciences (Switzerland)
- 31) An exhaustive survey on security and privacy issues in Healthcare 4.0, Hathaliya, J.J., Tanwar, S., 2020, Computer Communications
- 32) Dealing with the game-changing technologies of Agriculture 4.0: How do we manage diversity and responsibility in food system transition pathways?, Klerkx, L., Rose, D., 2020, Global Food Security
- 33) Understanding the paradigm shift in maritime education: The role of 4th Industrial Revolution technologies: an industry perspective, Simmons, E., McLean, G., 2020, Worldwide Hospitality and Tourism Themes
- 34) Blockchain-based electronic healthcare record system for healthcare 4.0 applications, Tanwar, S., Parekh, K., Evans, R., 2020, Journal of Information Security and Applications



- 35) Consensus-oriented cloud manufacturing based on blockchain technology: An exploratory study, Zhu, X., Shi, J., Huang, S., Zhang, B., 2020, Pervasive and Mobile Computing
- 36) Blockchain envisioned UAV networks: Challenges, solutions, and comparisons, Mehta, P., Gupta, R., Tanwar, S., 2020, Computer Communications
- 37) 5g support for industrial iot applications – challenges, solutions, and research gaps, Varga, P., Peto, J., Franko, A., (...), Maliosz, M., Toka, L., 2020, Sensors (Switzerland)
- 38) Blockchain for Industry 4.0: A comprehensive review, Bodkhe, U., Tanwar, S., Parekh, K., (...), Kumar, N., Alazab, M., 2020, IEEE Access
- 39) Industry 4.0 and the supply chain digitalisation: a blockchain diffusion perspective, Wamba, S.F., Queiroz, M.M., 2020, Production Planning and Control
- 40) A secure IoT sensors communication in industry 4.0 using blockchain technology, Rathee, G., Balasaraswathi, M., Chandran, K.P., Gupta, S.D., Boopathi, C.S., 2020, Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing
- 41) Industry 4.0: Opportunities and challenges for operations management, Olsen, T.L., Tomlin, B., 2020, Manufacturing and Service Operations Management



- 42) Anomaly detection via blockchained deep learning smart contracts in industry 4.0, Demertzis, K., Iliadis, L., Tziritas, N., Kikiras, P., 2020, Neural Computing and Applications
- 43) A Novel Smart Healthcare Design, Simulation, and Implementation Using Healthcare 4.0 Processes, Kumar, A., Krishnamurthi, R., Nayyar, A., (...), Grover, V., Hossain, E., 2020, IEEE Access
- 44) Towards Blockchain-Enabled Security Technique for Industrial Internet of Things Based Decentralized Applications, Sodhro, A.H., Pirbhulal, S., Muzammal, M., Zongwei, L., 2020, Journal of Grid Computing
- 45) Risks associated with Logistics 4.0 and their minimization using Blockchain, Kodym, O., Kubáč, L., Kavka, L., 2020, Open Engineering
- 46) Cloud Manufacturing Architecture Based on Public Blockchain Technology, Kaynak, B., Kaynak, S., Uygun, O., 2020, IEEE Access
- 47) Cyber-Physical Trust Systems Driven by Blockchain, Milne, A.J.M., Beckmann, A., Kumar, P., 2020, IEEE Access
- 48) Mapping the potentials of blockchain in improving supply chain performance, Mahyuni, L.P., Adrian, R., Darma, G.S., (...), Dewi, I.G.A.A.P., Permana, G.P.L., 2020, Cogent Business and Management
- 49) Blockchain, TTP attacks and harmonious relationship with AI, Kendzierskyj, S., Jahankhani, H., 2020, Advanced Sciences and Technologies for Security Applications



- 50) Trade-in-to-upgrade as a marketing strategy in disassembly-to-order systems at the edge of blockchain technology, Tozanlı, Ö., Kongar, E., Gupta, S.M., 2020, International Journal of Production Research
- 51) Blockchain-based food supply chain traceability: a case study in the dairy sector, Casino, F., Kanakaris, V., Dasaklis, T.K., (...), Pagoni, M., Rachaniotis, N.P., 2020, International Journal of Production Research
- 52) When Blockchain Meets Smart Grid: Secure Energy Trading in Demand Response Management, Kumari, A., Gupta, R., Tanwar, S., Tyagi, S., Kumar, N., 2020, IEEE Network
- 53) A Blockchain-Based Approach for the Creation of Digital Twins, Hasan, H.R., Salah, K., Jayaraman, R., (...), Taylor, T., Boscovic, D., 2020, IEEE Access
- 54) Future of the internet of things emerging with blockchain and smart contracts, Hassan, M., Jincal, C., Iftexhar, A., Cui, X., 2020, International Journal of Advanced Computer Science and Applications
- 55) IIoT and cyber-resilience: Could blockchain have thwarted the Stuxnet attack?, Gajek, S., Lees, M., Jansen, C., 2020, AI and Society
- 56) A survey on decentralized consensus mechanisms for cyber physical systems, Bodkhe, U., Mehta, D., Tanwar, S., (...), Singh, P.K., Hong, W.-C., 2020, IEEE Access



- 57) A Blockchain Based Framework for Blood Distribution, Çağlıyangil, M., Erdem, S., Özdağoğlu, G., 2020, Contributions to Management Science
- 58) Smart distributed ledger technologies in industry 4.0: Challenges and opportunities in supply chain management, Epiphaniou, G., Bottarelli, M., Al-Khateeb, H., (...), Kanyaru, J., Nahar, V., 2020, Advanced Sciences and Technologies for Security Applications
- 59) Managing the Dynamics of New Technologies in the Global Supply Chain, Reyes, P.M., Visich, J.K., Jaska, P., 2020, IEEE Engineering Management Review
- 60) Smart Contract Privacy Protection Using AI in Cyber-Physical Systems: Tools, Techniques and Challenges, Gupta, R., Tanwar, S., Al-Turjman, F., (...), Nauman, A., Kim, S.W., 2020, IEEE Access
- 61) Robotic Process Automation as a Precursor to e-Government in the Fourth Industrial Revolution, Bwalya, K.J., 2020, Lecture Notes in Electrical Engineering
- 62) Industrial internet of things: Recent advances, enabling technologies and open challenges, Khan, W.Z., Rehman, M.H., Zangoti, H.M., (...), Armi, N., Salah, K., 2020, Computers and Electrical Engineering
- 63) What Is the Future for the Digital Enterprise?, Rangone, A., 2020, Contributions to Management Science



- 64) Can digitalization mitigate barriers to intermodal transport? An exploratory study, Altuntaş Vural, C., Roso, V., Halldórsson, Á., Ståhle, G., Yaruta, M., 2020, *Research in Transportation Business and Management*
- 65) Perspectives on risks and standards of nutbaas: A blockchain-as-a-service platform for intelligent devices, Kulkarni, R.B., 2019, *International Journal of Advanced Science and Technology*
- 66) Blockchain and Internet of Things for Modern Business Process in Digital Economy - The State of the Art, Viriyasitavat, W., Xu, L.D., Bi, Z., Pungpapong, V., 2019, *IEEE Transactions on Computational Social Systems*
- 67) A Survey on Information and Communication Technologies for Industry 4.0: State-of-the-Art, Taxonomies, Perspectives, and Challenges, Aceto, G., Persico, V., Pescapé, A., 2019, *IEEE Communications Surveys and Tutorials*
- 68) Blockchain-enabled supply chain: An experimental study, Longo, F., Nicoletti, L., Padovano, A., d'Atri, G., Forte, M., 2019, *Computers and Industrial Engineering*
- 69) A review of edge computing reference architectures and a new global edge proposal, Sittón-Candanedo, I., Alonso, R.S., Corchado, J.M., Rodríguez-González, S., Casado-Vara, R., 2019, *Future Generation Computer Systems*
- 70) Utilizing blockchain and smart contracts to enable audit 4.0: From the perspective of accountability audit of air pollution control in China, Dai, J., He, N., Yu, H., 2019, *Journal of Emerging Technologies in Accounting*



- 71) The strategic role of logistics in the industry 4.0 era, Tang, C.S., Veelenturf, L.P., 2019, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review
- 72) Blockchain technology in agri-food value chain management: A synthesis of applications, challenges and future research directions, Zhao, G., Liu, S., Lopez, C., (...), Chen, H., Boshkoska, B.M., 2019, Computers in Industry
- 73) 'Solve for India, solve for the world': Strategies of India to lead with new age disruptive technologies, Maurya, A., 2019, International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering
- 74) Towards secure industrial iot: Blockchain system with credit-based consensus mechanism, Huang, J., Kong, L., Chen, G., (...), Liu, X., Zeng, P., 2019, IEEE Transactions on Industrial Informatics
- 75) Towards an Autonomous Industry 4.0 Warehouse: A UAV and Blockchain-Based System for Inventory and Traceability Applications in Big Data-Driven Supply Chain Management, Fernández-Caramés, T.M., Blanco-Novoa, O., Froiz-Míguez, I., Fraga-Lamas, P., 2019, Sensors (Basel, Switzerland)
- 76) A blockchain enabled Cyber-Physical System architecture for Industry 4.0 manufacturing systems, Lee, J., Azamfar, M., Singh, J., 2019, Manufacturing Letters
- 77) The impact of digital technology and Industry 4.0 on the ripple effect and supply chain risk analytics, Ivanov, D., Dolgui, A., Sokolov, B., 2019, International Journal of Production Research



- 78) Artificial intelligence: a survey on evolution, models, applications and future trends, Lu, Y., 2019, Journal of Management Analytics
- 79) Blockchain Applications for Industry 4.0 and Industrial IoT: A Review, Alladi, T., Chamola, V., Parizi, R.M., Choo, K.-K.R., 2019, IEEE Access
- 80) A Review on the Application of Blockchain to the Next Generation of Cybersecure Industry 4.0 Smart Factories, Fernandez-Carames, T.M., Fraga-Lamas, P., 2019, IEEE Access
- 81) Re-designing the business organization using disruptive innovations based on blockchain-IoT integrated architecture for improving agility in future Industry 4.0, Rane, S.B., Narvel, Y.A.M., 2019, Benchmarking
- 82) A Review on Blockchain Technologies for an Advanced and Cyber-Resilient Automotive Industry, Fraga-Lamas, P., Fernández-Caramés, T.M., 2019, IEEE Access
- 83) Leveraging the Capabilities of Industry 4.0 for Improving Energy Efficiency in Smart Factories, Mohamed, N., Al-Jaroodi, J., Lazarova-Molnar, S., 2019, IEEE Access
- 84) IIoT in the hospital scenario: Hospital 4.0, blockchain and robust data management, Faramondi, L., Oliva, G., Setola, R., Vollero, L., 2019, Advanced Sciences and Technologies for Security Applications
- 85) The latest adoption blockchain technology in supply chain management: A systematic literature review, Surjandy, Meyliana, Hidayanto, A.N., Prabowo, H., 2019, ICIC Express Letters



- 86) Digital Supply Chain Twins: Managing the Ripple Effect, Resilience, and Disruption Risks by Data-Driven Optimization, Simulation, and Visibility, Ivanov, D., Dolgui, A., Das, A., Sokolov, B., 2019, International Series in Operations Research and Management Science
- 87) Technological disruptions and the indian IT industry: Employment concerns and beyond, Sagara, H., Das, K., 2019, *Digitalisation and Development: Issues for India and Beyond*
- 88) The innovative platform programme in South Korea: Economic policies in innovation-driven growth, Kim, S.S., Choi, Y.S., 2019, Foresight and STI Governance
- 89) Content analysis of literature on big data in smart cities, Tiwari, P., Ilavarasan, P.V., Punia, S., 2019, Benchmarking
- 90) Towards the internet-of-smart-clothing: A review on IoT wearables and garments for creating intelligent connected E-textiles, Fernández-Caramés, T.M., Fraga-Lamas, P., 2018, Electronics (Switzerland)
- 91) Research in Operations Management and Information Systems Interface, Kumar, S., Mookerjee, V., Shubham, A., 2018, Production and Operations Management
- 92) BSeIn: A blockchain-based secure mutual authentication with fine-grained access control system for industry 4.0, Lin, C., He, D., Huang, X., Choo, K.-K.R., Vasilakos, A.V., 2018, Journal of Network and Computer Applications
- 93) Industry 4.0: State of the art and future trends, Xu, L.D., Xu, E.L., Li, L., 2018, International Journal of Production Research



94) Incorporating seller/buyer reputation-based system in blockchain-enabled emission trading application, Khaqqi, K.N., Sikorski, J.J., Hadinoto, K., Kraft, M., 2018, Applied Energy

95) Blockchain technology in the chemical industry: Machine-to-machine electricity market, Sikorski, J.J., Haughton, J., Kraft, M., 2017, Applied Energy.

A/A	Αποδεκτό	Είδος	Manufacturing	Healthcare	Agriculture	Digital Twins	Energy
1	0						
2	0						
3	0						
4	0						
5	0						
6	1	proposal					1
7	0						
8	0						
9	1	review					



Εφαρμογή του Blockchain σε Υλοποιήσεις Industry 4.0: Ανασκόπηση
του Ερευνητικού Πεδίου και Πρακτικές Εφαρμογές

10	1	software	1				
11	0						
12	0						
13	1	proposal			1		
14	0						
15	0						
16	0						
17	0						
18	1	proposal	1				
19	0						
20	0						
21	0						
22	0						
23	0						
24	1	software+proposal	1			1	
25	0						
26	0						
27	0						
28	0						
29	0						
30	0						
31	1	review		1			



Εφαρμογή του Blockchain σε Υλοποιήσεις Industry 4.0: Ανασκόπηση
του Ερευνητικού Πεδίου και Πρακτικές Εφαρμογές

32	0						
33	0						
34	1	proposal		1			
35	1	software+proposal	1				
36	0						
37	0						
38	1	review	1	1	1		1
39	0						
40	1	proposal	1				
41	0						
42	0						
43	1	software+proposal		1			
44	0						
45	0						
46	1	software	1				
47	1	proposal	1				
48	0						
49	0						
50	0						
51	0						
52	1	proposal					1
53	1	software+proposal				1	



54	0						
55	0						
56	1	review	1				
57	1	proposal		1			
58	0						
59	0						
60	0						
61	0						
62	0						
63	0						
64	0						
65	0						
66	0						
67	0						
68	0						
69	0						
70	0						
71	0						
72	1	review					
73	0						
74	1	proposal	1				
75	1	proposal	1				



Εφαρμογή του Blockchain σε Υλοποιήσεις Industry 4.0: Ανασκόπηση
του Ερευνητικού Πεδίου και Πρακτικές Εφαρμογές

76	1	proposal	1				
77	0						
78	0						
79	1	review	1				
80	1	review	1				
81	1	review	1				
82	1	review	1				
83	1	review					1
84	1	review		1			
85	0						
86	0						
87	0						
88	0						
89	0						
90	0						
91	0						
92	1	proposal					
93	0						
94	1	proposal					1
95	1	proposal					1