



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΑΙΓΑΙΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΚΑΙ
ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΚΕΝΤΡΟ ΕΡΕΥΝΑΣ
ΓΙΑ ΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ
ΔΙΑΚΥΒΕΡΝΗΣΗ



Εφαρμογές Internet of Things στον αγροτικό τομέα – Μελέτη Περιπτώσεων – Τρόποι αξιοποίησης των δεδομένων με τεχνικές machine learning και data mining

Η Διπλωματική Εργασία
παρουσιάστηκε ενώπιον
του Διδακτικού Προσωπικού
του Πανεπιστημίου Αιγαίου

Σε Μερική Εκπλήρωση
των απαιτήσεων για την απόκτηση
του διπλώματος του
Μηχανικού Πληροφορικών
και Επικοινωνιακών Συστημάτων

Του
Αθανασίου Εμμανουηλίδη – 321/2010046

Σεπτέμβριος 2019

Η ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΔΙΔΑΣΚΟΝΤΩΝ
ΕΠΙΚΥΡΩΝΕΙ ΤΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΧΑΡΑΛΑΜΠΙΔΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ, Επιβλέπων
Αν. Καθηγητής
Πολυτεχνική Σχολή Πανεπιστήμιο Αιγαίου
Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών
και Επικοινωνιακών Συστημάτων

ΛΟΥΚΗΣ ΕΥΡΙΠΙΔΗΣ, Μέλος
Καθηγητής
Πολυτεχνική Σχολή Πανεπιστήμιο Αιγαίου
Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών
και Επικοινωνιακών Συστημάτων

ΚΑΡΥΔΑ ΜΑΡΙΑ, Μέλος
Αν. Καθηγήτρια
Πολυτεχνική Σχολή Πανεπιστήμιο Αιγαίου
Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών
και Επικοινωνιακών Συστημάτων

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2019

[Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή]

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή αυτής της εργασίας εξ ολοκλήρου ή τμήματος, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή αυτής, για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, χωρίς την ρητή άδεια του συγγραφέα, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται ή να αναγράφεται η προέλευση της αρχικής εργασίας και να διατηρείται αυτό το μήνυμα, αυτούσιο. Για τη χρήση της παρούσας εργασίας, στα πλαίσια ενεργειών κερδοσκοπικού ή/και εμπορικού χαρακτήρα, είναι απαραίτητη η ρητή έγγραφη άδεια του συγγραφέα.

Δηλώνω υπεύθυνα, ότι για την παρούσα εργασία, ουδέποτε προέβην σε ενέργειες λογοκλοπής εν γνώσει μου. Το παρόν έγγραφο αποτελεί ερευνητική εργασία και πνευματική ιδιοκτησία του συγγραφέα και τυχόν ομοιότητες με άλλες εργασίες παρόμοιας φύσης, είναι εντελώς τυχαίες και συμπτωματικές. Σε περίπτωση που διαπιστωθεί κάποια ένδειξη ή πράξη λογοκλοπής, παρακαλώ επικοινωνήστε με τον συγγραφέα.

Οι παρακάτω απόψεις, συμπεράσματα και σχολιασμοί που περιέχονται στην παρούσα εργασία εκφράζουν αυστηρά τις απόψεις και τις ιδέες του συγγραφέα και δεν αποτελούν θέσεις ή απόψεις που εκφράζουν επίσημα: ο επιβλέπον καθηγητής, το Πανεπιστήμιο Αιγαίου ή/και το τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον διδάσκοντα και επιβλέπων καθηγητή, Δρ. Ιωάννη Χαραλαμπίδη για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το ενδιαφέρον αυτό θέμα, τον κο. Μιχάλη Αυγερινό Λούτσαρη, υποψήφιο διδάκτορα, για την υποστήριξη και την καθοδήγηση που μου παρείχε, καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Οφείλω να ευχαριστήσω τους θείους μου, Δημήτρη και Ευσταθία και τους παππούδες μου, Χαρίκλεια και Αθανάσιο, για την πολύτιμη και συνεχή βοήθειά τους, καθώς και για την υποστήριξή τους κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Ευχαριστώ επίσης, την οικογένειά μου για την υπομονή τους και την αδιάλειπτη υποστήριξη που μου παρείχαν, σε όλες τις φάσεις της συγγραφής της εργασίας και των σπουδών μου.

Περίληψη

Ο αγροτικός τομέας αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους τομείς ενός κράτους, καθώς υποστηρίζει τόσο την οικονομική ανάπτυξη όσο και την ευημερία του ίδιου του κράτους και των πολιτών του. Η τεχνολογία αν και δεν παίζει άμεσο ρόλο στην ανάπτυξη, σε σχέση με τον αγροτικό τομέα, έχει ωστόσο εξαπλωθεί σε διάφορους σημαντικούς τομείς και διαδικασίες σε τέτοιο βαθμό, που ουσιαστικά αποτελεί μια από τις κινητήριες δυνάμεις ανάπτυξης. Πλέον η παρουσία της τεχνολογίας έχει εισχωρήσει σε πολλές πτυχές της ζωής μας, συμπεριλαμβανομένου και του αγροτικού τομέα. Με τη χρήση αισθητήρων, ρομποτικών μελών και προχωρημένων τεχνικών δικτύωσης, προσπαθεί πλέον να αναβαθμίσει και να βελτιώσει τις τεχνικές και τις διαδικασίες που αφορούν τον αγροτικό τομέα (καλλιέργειες και κτηνοτροφία).

Παρ' όλο που παλαιότερα οι εφαρμογές αυτές είχαν συζητηθεί με κάποια ψήγματα σκεπτικισμού, πλέον έχουν υλοποιηθεί σε επίπεδο μερικού ή πλήρους αυτοματισμού με εντυπωσιακά αποτελέσματα. Ωστόσο, η ανάπτυξη τεχνολογιών διάχυτου υπολογισμού και υπολογιστικού νέφους έχει οδηγήσει σε παραγωγή μεγάλου όγκου δεδομένων. Για να μπορέσουμε να λάβουμε σωστές και χρήσιμες πληροφορίες από τον μεγάλο αυτό όγκο δεδομένων, εφαρμόζουμε διάφορες τεχνικές πάνω σε αυτά, όπως τεχνικές μηχανικής μάθησης και εξόρυξης δεδομένων.

Σε αυτή την εργασία θα προσπαθήσω να οργανώσω και να παρουσιάσω μεθοδολογικά, την τρέχουσα κατάσταση του συγκεκριμένου τομέα, όσον αφορά τις τεχνολογίες, τις εφαρμογές και τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή πληροφοριών από τα δεδομένα που παράγονται από αυτές. Θα προσπαθήσω επίσης να παρουσιάσω με βάση την παραπάνω ανάλυση, τις καλύτερες πρακτικές και τάσεις που επικρατούν στον αγροτικό τομέα.

© 2019

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

EMMANOYHΛΙΔΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

Abstract

“Internet of Things” applications in agricultural sector –Case Study– Data utilization using machine learning and data mining techniques and tools. Solutions webpage.

Agriculture is a very important sector of a nation regardless of its status and standing since its produce is used to sustain both its economy and its people. Technology on the other hand does not partake such a quintessential role in a nation’s function per se but has pushed most, if not all, of the processes and functions of many sectors to optimal levels, essentially upgrading the role it plays in everyday lives of citizens and nations as a whole. Technology nowadays tends to pervade every aspect of our lives including the agricultural sector.

By using sensors, robotics, sophisticated networks and software solutions, it aims to optimize the process of agriculture such as livestock farming and production of vegetables. Although this effort was reluctantly discussed and used, several years ago, nowadays it has come to a level where small farms have been automated and most of the farms’ management is conducted via computer or mobile systems. This unprecedented growth of pervading technology has led to an increasing amount of data output. In order to have meaningful information extracted from this amount of data, several technologies and techniques have been used, such as machine learning and data mining.

In this paper I will make an effort to organize and present, with a methodological approach, the current state of technologies and applications that are used in the agricultural sector, as well as the techniques used to extract data outputted in conjunction to the use of those technologies. I will also outline the currently observed and used best practices, based on those techniques with respect to the currently available technologies and resources.

Πίνακας Περιεχομένων

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
ABSTRACT	7
ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ	10
ΌΡΟΙ	11
ΛΕΞΙΚΟ ΌΡΩΝ	12
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	13
1.1. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	14
1.2. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	14
2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ	15
2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ «ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ»	17
2.1.1. <i>Internet of Things: Ορισμός</i>	17
2.1.2. <i>Internet of Things: State-of-the-Art</i>	18
2.1.3. <i>Προβλήματα και Προκλήσεις</i>	22
2.2. ΤΕΧΝΗΤΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΛΗΨΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ	27
2.2.1. <i>Εισαγωγή στην Τεχνητή Νοημοσύνη</i>	27
2.2.2. <i>Εφαρμογές</i>	28
2.3. ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΜΑΘΗΣΗ	28
2.3.1. <i>Εισαγωγή στο Machine Learning</i>	29
2.3.2. <i>Εφαρμογές</i>	29
2.4. «ΜΕΓΑΛΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ» ΚΑΙ ΕΞΟΡΥΞΗ ΓΝΩΣΗΣ ΑΠΟ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	29
2.4.1. <i>Big Data</i>	30
2.4.2. <i>Εξόρυξη Δεδομένων</i>	30
2.4.3. <i>Εφαρμογές</i>	31
2.5. ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΙΟΤ	31
2.5.1. <i>Εισαγωγή στον Κατανεμημένο Υπολογισμό</i>	31
2.5.2. <i>Ορισμός</i>	32
2.5.3. <i>Distributed Computing και IoT</i>	32
2.6. ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΣΗ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΙΟΤ	35
2.6.1. <i>Τεχνολογίες Δικτύωσης</i>	36
2.6.2. <i>Περιγραφή Τεχνολογιών</i>	38
2.7. WIRELESS SENSOR NETWORK	48
2.8. ΆΛΛΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΤΥΠΑ	49
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	49
3.1. ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	50
3.2. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΠΗΓΩΝ	50

3.3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΗΓΩΝ	58
4. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΚΤΟΣ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ	58
5. ΉΜΜΕΣΑ ΟΦΕΛΗ ΤΟΥ ΙΟΤ ΣΤΟΝ ΑΓΡΟΤΙΚΟ ΤΟΜΕΑ ...	59
6. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ INTERNET OF THINGS ΣΤΟΝ ΑΓΡΟΤΙΚΟ ΤΟΜΕΑ.....	60
6.1. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΙΟΤ	60
6.2. ΔΙΑΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ.....	61
7. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΞΟΡΥΞΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟΝ ΑΓΡΟΤΙΚΟ ΤΟΜΕΑ.....	71
7.1. SMART FARMING ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ MACHINE LEARNING & DATA MINING	71
7.2. ΔΙΑΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ	72
8. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ.....	75
8.1. ΥΠΑΡΧΟΥΣΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.....	75
8.2. ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΕΦΡΜΟΓΩΝ	77
9. ΚΑΛΕΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	81
9.1. ΚΑΛΕΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΤΟΥ ΙΟΤ ΣΤΟΝ ΑΓΡΟΤΙΚΟ ΤΟΜΕΑ	82
9.2. ΤΡΟΠΟΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	83
9.3. ΠΟΡΙΣΜΑΤΑ.....	84
10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	85
11. ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΑΣ.....	86
11.1. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΑΣ.....	86
11.2. ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΑΣ.....	87
11.3. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ.....	87
11.4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΑΣ.....	87
11.5. ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΣΕΛΙΔΩΝ	87
11.6. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ.....	88
11.7. SCREENSHOTS	89
12. ΠΗΓΕΣ ΚΑΙ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	93
Βιβλιογραφία και αναφορές.....	93
Διαδικτυακές πηγές	106
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	109
Παράρτημα Εικόνων και Γραφημάτων	109
Παράρτημα Πίνακα Υποσημειώσεων	110

Σημειώσεις Συγγραφέα και Παραδοχές

Τα άρθρα από περιοδικά, οι εργασίες ερευνητών και οποιαδήποτε άλλη ψηφιακή πηγή πέρα από τα βιβλία που χρησιμοποιήθηκαν στην διπλωματική αυτή εργασία, είναι γραμμένα στα αγγλικά. Οποιοδήποτε απόσπασμα της εργασίας συνοδεύεται από αναφορά στην ξενόγλωσση βιβλιογραφία, έχει μεταφρασθεί ή/και παραφραστεί από την αρχική πηγή. Όλες οι αναφορές γίνονται από τις πηγές που υπάρχουν στην βιβλιογραφία της εργασίας (βλ. κεφ. [13 – Πηγές και Βιβλιογραφία](#)).

Οι παραπομπές στην ακαδημαϊκή και ερευνητική βιβλιογραφία της εργασίας, γίνονται με την χρήση άγκιστρων («[]») ως εκθέτες ενώ η αναφορά σε διαδικτυακές πηγές οι οποίες δεν είναι μέρος της βιβλιογραφίας, γίνονται με την χρήση του αριθμού αναφοράς που υπάρχει στο αντίστοιχο παράρτημα (βλ. κεφ. [13 – Πηγές και βιβλιογραφία\ Διαδικτυακές Πηγές](#)) με τον αριθμό ως εκθέτη, μέσα σε παρενθέσεις («()»). Οι σχετικές παραπομπές σε υποσημειώσεις σελίδων γίνονται με ένα αριθμό δίπλα από τον σχετικό όρο ως εκθέτες, χωρίς παρενθέσεις ή άγκιστρα.

Όροι

- **IoT/iot:** Internet of Things είναι το βασικό μοντέλο τεχνολογίας που πραγματεύεται η παρούσα εργασία (βλ. κεφ. [2.1.1](#))
- **“things”/«πράγματα»:** «Έξυπνοι» κόμβοι οι οποίοι αποτελούν τα δομικά στοιχεία του IoT (βλ. κεφ. [2.1.1](#)).
- **WSN:** Wireless Sensor Network
- **PA:** Precision Agriculture
- **ML:** Machine Learning
- **DM:** Data mining
- **SF:** Smart Farming
- **SIoT:** Social Internet of Things
- **RFID:** Radio Frequency Identification
- **NFC:** Near-Field Communication
- **PLC:** Power Line Communication
- **DECT:** Digitally Enhanced Cordless Telecommunication
- **POI:** Point of Interest
- **M2M:** Machine-to-Machine
- **DSS:** Decision Support Systems
- **ANN:** Artificial Neural Network
- **KNN:** k-Nearest Neighbor
- **SVM:** Support Vector Machine
- **DNN:** Deep Neural Network
- **NB:** Naive Bayes
- **DT:** Decision Trees
- **CMS:** Content Management System

Λεξικό Όρων

- Access Control: Έλεγχος πρόσβασης
- Access Gateway Layer: Επίπεδο διόδου πρόσβασης
- Actuator: Ενεργοποιητής
- Analytics: Υπηρεσίες ανάλυσης δεδομένων
- Application Layer: Επίπεδο εφαρμογών
- Benchmarking: Αξιολόγηση επιδόσεων
- Cloud Computing: Υπολογισμός νέφους
- Cloud storage: Αποθηκευτικός χώρος νέφους
- Content Management Systems: Συστήματα διαχείρισης περιεχομένου
- Context-Aware Systems: Συστήματα επίγνωσης περιβάλλοντος
- Data mining: Εξόρυξη γνώσης
- Database: Βάση δεδομένων
- Decision Support: Υποστήριξη αποφάσεων
- Denial of Service (attack): (Επίθεση) άρνησης εξυπηρέτησης
- Detection and Identification: Ανίχνευση και αναγνώριση
- Detection Models: Μοντέλα ανίχνευσης
- DSS: Συστήματα Υποστήριξης αποφάσεων
- Edge Computing: Υπολογισμός άκρων
- Farm Automation: Αυτοματισμός φάρμας
- Fog Computing: Υπολογισμός ομίχλης
- Gaussian frequency shift keying: Γκαουσιανή διαμόρφωση ολίσθησης συχνότητας
- Hydroponics farming: Υδροπονικές καλλιέργειες/υδροπονική γεωργία
- IoT/Internet of Things: Διαδίκτυο των πραγμάτων
- Leaf wetness: Υγρασία φύλλων
- Machine Learning: Μηχανική γνώσης
- Media Access Control Layer: Επίπεδο ελέγχου προσπέλασης πόρων
- Mesh topology: Τοπολογία πλέγματος
- Middleware Layer: Επίπεδο ενδιάμεσου λογισμικού
- Network Layer: Επίπεδο δικτύου
- Peer-to-peer (δίκτυο): Δίκτυο ισότιμων κόμβων
- Perception Layer: Επίπεδο «αντίληψης»
- Personal Area Networks: Δίκτυα προσωπικού χώρου
- Precision Agriculture: Γεωργία/Κτηνοτροφία ακριβείας
- Process and Model Improvement: Βελτίωση διεργασιών και μοντέλων
- Remote Sensing: Απομακρυσμένη παρακολούθηση
- Security-by-design: Ασφάλεια ενσωματωμένη στον σχεδιασμό
- Semantic Web: Σημασιολογικός ιστός
- Simulations: Προσομοιώσεις
- Smart farming: Έξυπνη γεωργία/κτηνοτροφία
- Ubiquitous Computing: Πανταχού παρούσα υπολογιστική
- Web server: Εξυπηρετητής
- Wideband Code Division Multiple Access: Πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης κώδικα, μεγάλου εύρους σήματος
- Wireless Sensor Network: Δίκτυα ασύρματων αισθητήρων

1. Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια, λόγω των αυξημένων απαιτήσεων σε πρωτογενή προϊόντα όπως τρόφιμα και άλλα γεωργικά προϊόντα, ο αγροτικός τομέας, αντιμετωπίζει ολοένα και μεγαλύτερες απαιτήσεις για πιο γρήγορη, μαζική και αποδοτική παραγωγή καθώς και καλύτερη διαχείριση πόρων. Για τους παραπάνω λόγους υπάρχει μια φανερή τάση, πλέον, για εκμοντερνισμό και βελτιστοποίηση των διαδικασιών του. Με τη βοήθεια της τεχνολογίας των τελευταίων ετών έχουν γίνει διάφορες αλλαγές στον αγροτικό τομέα έτσι ώστε να βελτιωθούν παλιές τεχνικές και να δημιουργηθούν νέες, με σκοπό την αποδοτικότερη παραγωγή και διαχείριση τόσο των πόρων που παράγει ο κλάδος, όσο και των πόρων που απαιτεί για την εύρυθμη λειτουργία του.

Οι κυριότερες τεχνικές που ακολουθούνται πλέον στον αγροτικό τομέα είναι η χρήση αισθητήρων και αυτοματοποιημένων ψηφιακών ή ηλεκτρονικών συσκευών και κατ' επέκταση η χρήση τεχνικών από τον κλάδο της μηχανικής μάθησης και της εξόρυξης δεδομένων, έτσι ώστε να γίνει διαχειρίσιμος ο μεγάλος όγκος δεδομένων που παράγεται από τους αισθητήρες και τις συσκευές. Επιπλέον, η ανάπτυξη της ίδιας της τεχνολογίας έχει εξωθήσει τη λειτουργία των ψηφιακών συσκευών σε μεγαλύτερα επίπεδα αυτοματισμού και αποσκοπεί στην πλήρη αυτοματοποίηση τους, όπου ο ανθρώπινος παράγοντας συμμετέχει ελάχιστα. Με βάση την ιδέα αυτή, τα τελευταία χρόνια έχει αναδειχθεί ένα καινούριο μοντέλο τεχνολογίας, το Internet of Things, το οποίο έχει σαν κεντρική ιδέα τη διασύνδεση πολλαπλών έξυπνων συσκευών ("things") οι οποίες λειτουργούν αυτόνομα είτε σαν μονάδα, είτε ως σύνολο, με ελάχιστη ή μηδενική παρέμβαση, ενώ ταυτόχρονα παρέχουν αποτελεσματικά υπηρεσίες και λειτουργίες σε χρήστες και άλλες συσκευές.

Με την ανάδειξη της παραπάνω τεχνολογίας έχουν αναπτυχθεί καινούριοι κλάδοι στον αγροτικό τομέα, όπως ο κλάδος του Precision Agriculture, ο οποίος πραγματεύεται τον ακριβή έλεγχο του περιβάλλοντος και των περιβαλλοντικών συνθηκών, για να επιτύχει βέλτιστη παραγωγή με την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση πόρων (π.χ. νερό). Το PA με τη βοήθεια τεχνικών μηχανικής μάθησης, αισθητήρων και αυτοματοποιημένων συσκευών, όπως αυτόματα συστήματα άρδευσης, αλλά και δικτύων για την επικοινωνία των διάφορων συσκευών που συμμετέχουν στην παραγωγή με άλλες συσκευές, πετυχαίνουν το επιθυμητό αποτέλεσμα, αποδοτικά.

Παράλληλα, η συνεχής παραγωγή δεδομένων, τόσο στο Διαδίκτυο όσο και σε διάφορες εφαρμογές, έχει οδηγήσει στη δημιουργία πολύ μεγάλου όγκου πληροφοριών οι οποίες, ωστόσο, παραμένουν αχρησιμοποίητες. Η ανάγκη για την αποτελεσματική χρήση τους και για την εξόρυξη χρήσιμων πληροφοριών από αυτές, έχει ωθήσει την ανάπτυξη κλάδων που σχετίζονται τόσο με το data mining όσο και με το machine learning, οι οποίοι αποσκοπούν να αξιοποιήσουν αυτόν τον μεγάλο όγκο δεδομένων. Σε συνδυασμό με τις τεχνολογίες του IoT, στον αγροτικό τομέα, οι παραπάνω τεχνικές αποσκοπούν στην αποτελεσματικότερη καλλιέργεια, στην εξαγωγή πληροφοριών, στην παραγωγή γνώσης καθώς και στη δημιουργία υπηρεσιών για την πληροφόρηση (όπως γνωσιακές βάσεις) και στην αποτελεσματικότερη διαχείριση της αγροτικής παραγωγής.

Σε αυτήν την εργασία θα προσπαθήσω να καλύψω τη χρήση του IoT, του machine learning και του data mining, καθώς και τις διάφορες επιμέρους τεχνικές και τεχνολογίες, οι οποίες χρησιμοποιούνται στον αγροτικό τομέα. Στο κεφάλαιο 2 θα κάνω, σταδιακά, μια εισαγωγή στις σχετικές τεχνολογίες και τεχνικές που συνδέονται με τις τεχνολογίες του θέματος της εργασίας και θα δοθεί ένα state-of-the-art μαζί με

σχετική ανάλυση της βιβλιογραφίας, όσον αφορά τον αγροτικό κλάδο, για να έχουμε μια σφαιρική και επίκαιρη εικόνα των εξελίξεων στον τομέα. Στην συνέχεια, στο κεφάλαιο 6, 7 και 8, βάσει ανάλυσης της βιβλιογραφίας, θα προσπαθήσω να δώσω μερικές εφαρμογές και use cases που αφορούν την τεχνολογία του IoT καθώς και του IoT σε συνδυασμό με ML και DM. Τέλος, θα εξετάσω την εφαρμογή των παραπάνω προτύπων έτσι ώστε να διακρίνω τάσεις και καλές πρακτικές, όσον αφορά τη χρήση τους στον αγροτικό τομέα. Επίσης, θα δοθεί το σχετικό documentation και μια παρουσίαση σχετικής ιστοσελίδας, όπου θα οργανωθούν τα αποτελέσματα και τα πορίσματα της εργασίας αυτής.

Πιο κάτω, στο κεφάλαιο 3 περιγράφεται η σχετική μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε στην εύρεση, οργάνωση και ανάλυση των πηγών από την βιβλιογραφία (βλ. [13 – Πηγές και Βιβλιογραφία](#)).

1.1. Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να αναδείξει τις τεχνολογικές εξελίξεις του τομέα Internet of Things σε συνδυασμό με εφαρμογές machine learning και data mining, στον αγροτικό τομέα καθώς και να αναδείξει καλές πρακτικές τέτοιων εφαρμογών βάσει των παραπάνω τεχνολογιών και τεχνικών.

1.2. Αντικείμενο της εργασίας

Η παρούσα εργασία ασχολείται με τις τεχνολογίες και τις τεχνικές που εφαρμόζονται στον τομέα του «Διαδικτύου των Πραγμάτων» πάνω στον αγροτικό τομέα. Επιπλέον, εξετάζεται η συνδυαστική χρήση των παραπάνω τεχνολογιών και τεχνικών με τεχνικές machine learning και data mining, σε εφαρμογές στον αγροτικό τομέα.

Στο κεφάλαιο [2 – Εισαγωγή στις τεχνολογίες](#), δίνουμε αρχικά μια γενική εικόνα του τομέα του Internet of Things (κεφ. [2.1. – Εισαγωγή στο «Διαδίκτυο των Πραγμάτων»](#)), έτσι ώστε να γίνει μια εισαγωγή στο γενικό πλαίσιο του αντικειμένου που πραγματεύεται η εργασία.

Στην συνέχεια στα επόμενα κεφάλαια δίνεται μια συνοπτική ανάλυση των κύριων επιμέρους τεχνολογιών καθώς και των τεχνικών ML και DM, στα πλαίσια χρήσης τους στο IoT (από το κεφ. [2.2. – Τεχνητή νοημοσύνη στην Επεξεργασία Δεδομένων και Λήψη Αποφάσεων](#) μέχρι και το κεφ. [2.8. – Άλλες τεχνολογίες και Πρότυπα](#)).

Στο κεφ. [4 – Εφαρμογές εκτός Αγροτικού Τομέα](#), αναφέρουμε ενδεικτικά κάποιες εφαρμογές των τεχνολογιών του IoT εκτός του αγροτικού τομέα ώστε να δοθεί μια πιο σφαιρική εικόνα των τεχνικών δυνατοτήτων που προσφέρει σαν τομέας.

Στο κεφ. [5 – Έμμεσα Οφέλη του IoT στον Αγροτικό Τομέα](#), παρουσιάζουμε ενδεικτικά, οφέλη που τα συστήματα IoT προσφέρουν στον αγροτικό τομέα μέσα από την εφαρμογή τους σε διαδικασίες ή άλλα συστήματα που δεν είναι άμεσα συνδεδεμένα με τον αγροτικό τομέα και την παραγωγή του.

Στα κεφάλαια [6 – Εφαρμογή του Internet of Things στον Αγροτικό Τομέα](#) και [7 – Εφαρμογές Μηχανικής Μάθησης και Εξόρυξης Δεδομένων στον Αγροτικό Τομέα](#) εξετάζουμε εκτενέστερα ποιες είναι η εφαρμογές που προσφέρει ο τομέας του IoT στον αγροτικό τομέα τόσο μόνος του όσο και σε συνδυασμό με τεχνικές και τεχνολογίες machine learning και data mining.

Στο κεφ. [8 – Παραδείγματα Εφαρμογών](#), παρουσιάζουμε ενδεικτικά μερικές υλοποιημένες εφαρμογές του IoT σε συνδυασμό με machine learning και data mining, στον αγροτικό τομέα.

Στο κεφ. [9 – Καλές Πρακτικές και Αξιοποίηση Δεδομένων](#), παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης που έγινε στα προηγούμενα κεφάλαια και δίνονται οι τάσεις χρήσης των τεχνολογιών του IoT σε συνδυασμός με τεχνικές ML και DM στον αγροτικό τομέα.

Στα κεφ. [10 – Συμπεράσματα](#) δίνονται τα τελικά πορίσματα της εργασίας ενώ στο κεφ. [11 – Τεκμηρίωση Ιστοσελίδας](#), παρουσιάζεται η ιστοσελίδα με τα αποτελέσματα της εργασίας.

2. Εισαγωγή στις Τεχνολογίες

Λόγω των ραγδαίων τεχνολογικών εξελίξεων πλέον, ο αγροτικός τομέας έχει συγκεντρώσει και υποστηρίζεται από έναν μεγάλο αριθμό άλλων τεχνολογιών και κλάδων. Με σκοπό την ταχύτερη ανάπτυξή του και έτσι ώστε να ανταποκριθεί σε ολοένα και μεγαλύτερες ανάγκες παραγωγής, χρησιμοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές και λύσεις, αισθητήρες και άλλες τεχνολογίες για την παραγωγή δεδομένων που σχετίζονται με την βελτίωση απόδοσης της παραγωγής, την καλύτερη διαχείριση διάφορων πόρων, τη σωστή, αποτελεσματική και ασφαλή αξιολόγηση και εκμετάλλευση του περιβάλλοντος. Παράλληλα, γίνεται προσπάθεια για καλύτερο σχεδιασμό, μοντελοποίηση και διαχείριση του μεγάλου όγκου δεδομένων που παράγονται μέσω των παραπάνω τεχνολογιών.

Επιστρατεύονται, για παράδειγμα, αυτοματοποιημένα συστήματα με διάφορων ειδών αισθητήρες, όπως αισθητήρες υγρασίας υπεδάφους, για την αποτελεσματική άρδευση και την παρακολούθηση του εδάφους και των φυτών που καλλιεργούνται.

Πάνω στα δεδομένα που παράγουν οι παραπάνω αισθητήρες, εφαρμόζονται τεχνικές εξόρυξης δεδομένων για την ανάλυση τους και στη συνέχεια γίνεται χρήση τεχνικών μηχανικής μάθησης έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί αυτοματοποιημένη άρδευση, αποτελεσματικά και χωρίς σπατάλη νερού και ενέργειας.

Σε παρακάτω κεφάλαια θα αναλυθούν ξεχωριστά κάποιες σημαντικές επιμέρους τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στον αγροτικό τομέα σε συνδυασμό με το Internet of Things.

Οι εν λόγω τεχνολογίες μπορούν να χωριστούν σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες καθώς αφορούν διαφορετικό «μέρος» των συστημάτων που θα μελετηθούν στην συνέχεια.

- Τεχνολογίες Υλικού
- Τεχνολογίες Δικτύου
- Τεχνολογίες Λογισμικού
- Τεχνικές και Πρότυπα

Τεχνολογίες Υλικού

Οι τεχνολογίες υλικού αφορούν το βασικό υλικό που χρησιμοποιείται στις διάφορες συσκευές που αποτελούν μέρος του IoT. Βασικό χαρακτηριστικό που βλέπουμε στις περισσότερες εφαρμογές που σχετίζονται με τον αγροτικό τομέα και

υλοποιούν λύσεις με IoT πρότυπα, είναι η υιοθέτηση αισθητήρων, υλικών τμημάτων για ενεργειακή αυτονομία και ειδικών τμημάτων για επικοινωνία με άλλους κόμβους.

Τεχνολογίες Δικτύου

Σε συνδυασμό με τις τεχνολογίες υλικού, κατηγοριοποιήθηκαν ξεχωριστά οι τεχνολογίες δικτύου γιατί αποτελούν ένα από τα κύρια μέρη των τεχνολογιών IoT, εφόσον η επικοινωνία και κατ' επέκταση η εφαρμογή τεχνολογιών δικτύωσης παίζουν βασικό ρόλο στην υλοποίηση εφαρμογών IoT και αποτελούν ένα από τα κύρια, αν όχι, το κύριο χαρακτηριστικό των προτύπων του IoT. Επιπλέον, η τεχνολογίες που θα παρουσιαστούν έχουν στενή σχέση με την επιλογή και την λειτουργία των τεχνολογιών υλικού και αλληλοεπηρεάζονται σημαντικά καθώς διαφορετικά πρωτόκολλα και τεχνολογίες απαιτούν διαφορετικές συσκευές και έχουν διαφορετικές ενεργειακές απαιτήσεις.

Τεχνολογίες Λογισμικού

Ως τεχνολογίες λογισμικού στην παρούσα εργασία θεωρούνται ολοκληρωμένες προγραμματιστικές λύσεις και υλοποιημένοι αλγόριθμοι σε μορφή λογισμικού, που χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τεχνολογίες υλικού και δικτύωσης καθώς και άλλων τμημάτων διάφορων εφαρμογών του IoT στον αγροτικό τομέα (π.χ. κινητές συσκευές για διασύνδεση με τον χρήστη). Ανάλογα με την υλοποίηση των εφαρμογών, έχουμε διαφορετικά είδη λογισμικού τα οποία ασχολούνται με διαφορετικά μέρη μιας ολοκληρωμένης λύσης. Λεπτομέρειες σχετικά με τη χρήση τους θα δοθεί κατά περίπτωση, αν απαιτείται, με βάση τα παρουσιαζόμενα αποτελέσματά τους, εφόσον δεν υπάρχει τρόπος να αξιολογηθούν άμεσα.

Τεχνικές και Πρότυπα

Ως τεχνικές και πρότυπα θεωρούμε τις θεωρητικές λύσεις που έχουν χρησιμοποιηθεί ως βάση για την υλοποίηση όλων των υπόλοιπων «απτών» τεχνολογιών και τεχνολογιών λογισμικού. Να σημειωθεί ότι λόγω των ραγδαίων εξελίξεων στους διάφορους κλάδους, που με τη σειρά τους συμβάλλουν στην εξέλιξη του κλάδου του IoT και κατ' επέκταση του αγροτικού τομέα και λόγω εξελισσόμενων ερευνητικών προσπαθειών, η χρήση διάφορων τεχνικών και προτύπων βασίζεται σε κάποια πορίσματα άλλοτε θεωρητικά και άλλοτε εμπειρικά. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην υπάρχουν μοναδικές λύσεις για κάποιο συγκεκριμένο πρόβλημα ή για κάποια ομάδα προβλημάτων.

Να σημειωθεί σε αυτό το σημείο, ότι η παρούσα εργασία έχει ως σκοπό να δώσει μια γενική εικόνα για έναν κλάδο ο οποίος είναι εγγενώς και σε μεγάλο βαθμό ανομοιογενής: για κάθε είδος καλλιέργειας υπάρχουν διαφορετικές απαιτήσεις όσον αφορά τους απαραίτητους πόρους και την τοπολογία. Κατ' επέκταση, για κάθε καλλιέργεια υπάρχουν διαφορετικές απαιτήσεις στον σχεδιασμό, την κατανομή και ακόμα και την επιλογή συστημάτων και συσκευών εφόσον. Για παράδειγμα, πρέπει να μελετηθεί αν οι διαφορές συσκευές που θα εγκατασταθούν μπορούν να λειτουργήσουν με αποδοτικότητα μέσα στο εκάστοτε κλίμα της καλλιέργειας (υγρασία περιβάλλοντος, τοποθέτηση συσκευής κ.α.) χωρίς να προκληθεί βλάβη σε αυτές και χωρίς να αλλοιώνονται τα δεδομένα που συλλέγονται. Επομένως, για την

αποτελεσματική υλοποίηση των διάφορων συστημάτων χρησιμοποιούνται διαφορετικές τεχνολογίες ανά περίπτωση.

Με βάση τα παραπάνω θα γίνει σχολιασμός των αντίστοιχων τεχνολογιών έχοντας υπόψη την τοπολογία των συστημάτων όπως συστήματα σε κλειστούς χώρους ή «κλειστά συστήματα» (π.χ. θερμοκήπια) καθώς και άλλων ειδών παράγοντες όπως ο τρόπος καλλιέργειας (π.χ. καλλιέργεια χωρίς χώμα ή άλλων ειδών).

2.1. Εισαγωγή στο «Διαδίκτυο των Πραγμάτων»

Το Internet of Things είναι η βασική τεχνολογία πίσω από τα πρότυπα του PA (Precision Agriculture), smart farming και των υπόλοιπων σχετικών τεχνολογικών προτύπων που αφορούν τον αγροτικό τομέα. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της τεχνολογίας, στο οποίο στηρίζονται οι βασικές λειτουργίες των παραπάνω κλάδων, είναι η επικοινωνία μεταξύ αυτοματοποιημένων ή ημι-αυτοματοποιημένων κόμβων και η ανταλλαγή και επεξεργασία δεδομένων μεταξύ τους και στην συνέχεια, η εξαγωγή χρήσιμων πληροφοριών.

Συγκεκριμένα στον αγροτικό τομέα, η ανταλλαγή, η επεξεργασία και η εξαγωγή πληροφοριών, αποσκοπούν στην παρουσίαση χρήσιμων δεδομένων όπως η χαρτογράφηση του κλίματος, του υπεδάφους τον καλλιεργήσιμων εκτάσεων καθώς και η παρακολούθηση της ανάπτυξης των καλλιεργειών, και η παρουσίασή αυτών των πληροφοριών στους ενδιαφερόμενους ή σε άλλα αυτοματοποιημένα συστήματα τα οποία υποβοηθούν τη συντήρηση των καλλιεργειών. Το IoT δηλαδή, αποτελεί έναν βασικό και σημαντικό κρίκο στην αλυσίδα επεξεργασίας και προώθησης πληροφοριών με τελικό σκοπό την αποτελεσματική διαχείριση των καλλιεργειών.

Πέραν, όμως των παραπάνω το IoT μπορεί να χρησιμοποιηθεί και πιο άμεσα και πρακτικά: βάσει δεδομένων που συλλέγονται σε πραγματικό χρόνο, υπάρχει η δυνατότητα για αυτοματοποίηση λειτουργιών σε μια καλλιέργεια, όπως αυτόματη άρδευση. Επιπλέον, σε συνδυασμό με άλλες τεχνολογίες όπως data mining και machine learning παρέχεται η δυνατότητα για πρόβλεψη παραγωγής προϊόντων και άλλων χρήσιμων πληροφοριών, μέσω ιστορικών δεδομένων, οι οποίες δυνητικά προσφέρουν και άλλα οφέλη σε άλλα κομμάτια της αλυσίδας παραγωγής, όπως η παρακολούθηση κατανομής των παραγόμενων προϊόντων στην αγορά. Για πιο συγκεκριμένες εφαρμογές μπορείτε ανατρέξετε στο κεφ. [5 – Έμμεσα οφέλη του IoT στον αγροτικό τομέα](#).

2.1.1. Internet of Things: Ορισμός

Το Internet of Things (IoT) είναι ένα καινούριο μοντέλο τεχνολογίας, η οποία στοχεύει στη δημιουργία αυτόνομων δικτύων από «έξυπνους» κόμβους καθώς και στη δημιουργία αυτοματοποιημένων ενεργειών με τη βοήθεια των παραπάνω δικτύων. Υπάρχουν πολλοί ορισμοί για το τι είναι το IoT.

Παρακάτω παραθέτουμε μερικούς βασικούς ορισμούς:

- Το IoT είναι ένα καινούριο πρότυπο το οποίο αποτελείται από «πράγματα» τα οποία μπορούν να προσδιοριστούν μοναδικά, το καθένα με διευθύνσεις, και να επικοινωνήσουν διαμέσου δυναμικών παγκόσμιων δικτύων, από τον

ορισμό που έχει δοθεί από την ITU (International Telecommunication Union, 2005) ^[1].

- Ένας άλλος ορισμός βλέπει το IoT από μια άλλη πιο ολιστική σκοπιά: Αναφέρεται ότι η τεχνολογία μπορεί να συνοψιστεί λέγοντας ότι διασυνδέει ανθρώπους, υπολογιστές και «πράγματα» ^[2].
- Άλλος ορισμός λέει: Το IoT είναι ένα δίκτυο από αντικείμενα που υποστηρίζουν διασύνδεση στο Internet μαζί με τις αντίστοιχες Διαδικτυακές υπηρεσίες καθώς και επικοινωνία με άλλα αντικείμενα στο περιβάλλον τους ^[3].

Μία άλλη βασική έννοια η οποία είναι σημαντικό να αναφερθεί είναι αυτή του «πράγματος» (“thing”) το οποίο αποτελεί βασικό δομικό στοιχείο του IoT ^{[3][4]}, όπως αναφέρεται εξάλλου και στο μεγαλύτερο μέρος της βιβλιογραφίας.

“Things” είναι συσκευές οι οποίες έχουν μετατραπεί κατάλληλα ώστε να μπορούν να γίνουν τμήμα ενός τέτοιου δικτύου π.χ. με την προσθήκη μικρών υπολογιστών. Οι περισσότερες έρευνες πλέον δίνουν έμφαση στην ανάπτυξη «νοημοσύνης» των συσκευών έτσι ώστε να βελτιωθεί η διαλειτουργικότητα τους και κατ’ επέκταση οι υπηρεσίες που προσφέρουν (Ashton, 2014; Mionardi et al., 2012). Θεωρητικά οποιοδήποτε φυσικό αντικείμενο, αν περιέχει κάποιου είδους υπολογιστή, μπορεί να γίνει μέρος του δικτύου ^{[2][7]}.

Ένας άλλος ορισμός για τα “things”, λέει ότι: Τα “things” περιλαμβάνουν μια ευρεία γκάμα αντικειμένων και ακόμα και ατόμων· μπορεί να είναι οτιδήποτε, ωστόσο κάθε “thing” πρέπει να έχει τουλάχιστον ένα μοναδικό αναγνωριστικό ώστε να μπορεί να αναγνωρίζει και να επικοινωνεί με άλλα “things”, όπως ορίζει το IETF (IETF, 2010).

Σε κάθε περίπτωση, θα μπορούσαμε να πούμε ότι το IoT έχει σαν κεντρική ιδέα την διασύνδεση αυτόνομων συσκευών και άλλων αντικειμένων ^{[9][10][11]} (Ashton, 2014; Mionardi et al., 2012) –πολλές φορές ανομοιογενών μεταξύ τους αντικειμένων–, υπολογιστών και φυσικά χρηστών καθώς και την αλληλεπίδραση αυτών μεταξύ τους ^{[7][12]} (Ashton, 2014; Mionardi et al., 2012).

Σκοπός του είναι η αυτοματοποίηση εργασιών, η βελτίωση δυνατοτήτων ή η χρήση νέων δυνατοτήτων έτσι ώστε να φέρει σε πέρας διάφορες λειτουργίες.

Μία από τις λειτουργίες στις οποίες επιστρατεύεται το IoT είναι η βελτίωση του κλάδου του αγροτικού τομέα με διάφορους τρόπους ^{[12][13][14][15][16][17][18]}, όπως φαίνεται εξάλλου και σε όλη την βιβλιογραφία. Μέσα από διάφορες εφαρμογές που στοχεύουν κυρίως στην αυτοματοποίηση – αλλά όχι μόνο– γίνεται συστηματική προσπάθεια στη βελτίωση και βελτιστοποίηση διάφορων λειτουργιών, που πρότινος γίνονταν χειρονακτικά και μη αυτόματα.

2.1.2. Internet of Things: State-of-the-Art

Τα τελευταία χρόνια ο κλάδος του IoT έχει πετύχει ραγδαίους ρυθμούς ανάπτυξης κυρίως λόγω των εξελίξεων των επιμέρους τεχνολογιών στις οποίες βασίζεται, ^{[4][19]} (Hwang & Chen, 2017; Lin et al., 2016; Zheng et al., 2016; Wang et al., 2017) αλλά και λόγω του μεγάλου ενδιαφέροντος που παρουσιάζει σαν τεχνολογία ^[9]. Κλάδοι όπως η τεχνητή νοημοσύνη και η εξόρυξη δεδομένων, τα τελευταία χρόνια, έλαβαν μεγάλο μέρος της προσοχής της επιστημονικής κοινότητας, το οποίο είχε σαν

αποτέλεσμα να εξελιχτούν σε μεγάλο βαθμό. Κατ' επέκταση τεχνολογίες και πρότυπα τα οποία βασίζονται σε αυτούς τους κλάδους έχουν εξελιχθεί και αυτά, παράλληλα.

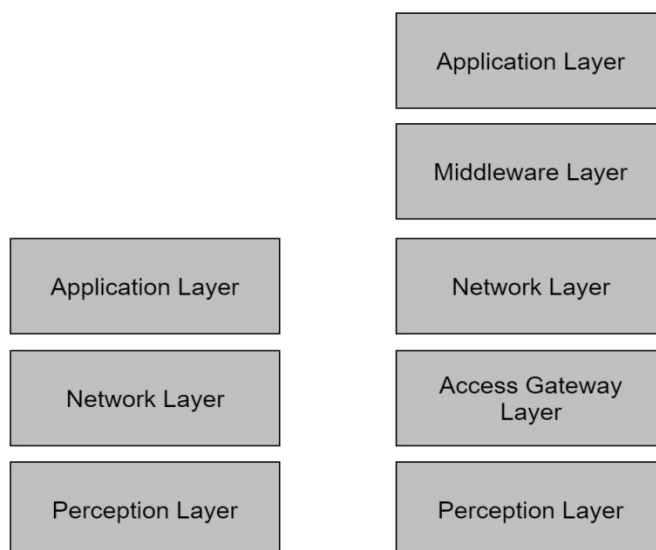
Ένα αρκετά καλό παράδειγμα αποτελεί το IoT το οποίο βασίζεται σε μια ευρεία γκάμα κλάδων ^[19](Botterman, 2009; Atzori et al., 2010; Stankovic, 2014), όσον αφορά το κομμάτι τη πληροφορικής, όπως: ο κατακευματισμένος υπολογισμός, ο κλάδος της ρομποτικής, διάφορες τεχνολογίες αυτοματισμού, τεχνολογίες και πρότυπα δικτύων καθώς και άλλες τεχνολογίες οι οποίες «χρησιμοποιούνται» κατά περίπτωση. Επιπλέον, πέραν αυτών το IoT επιστρατεύει και άλλους κλάδους –όχι άμεσα σχετικούς– με το τεχνολογικό του κομμάτι (Botterman, 2009; Atzori et al., 2010; Stankovic, 2014).

Ένας από τους στόχους του IoT είναι η διασύνδεση των διάφορων «πραγμάτων» και η δημιουργία νέων υπηρεσιών και εφαρμογών με τελικό στόχο την διαμόρφωση ενός εκσυγχρονισμένου περιβάλλοντος και καλύτερων συνθηκών ζωής ^[9](M&M Research Group, 2012). Παρ' όλη αυτή την προσπάθεια το IoT επιδέχεται, ακόμα, σοβαρές βελτιώσεις καθώς επιβαρύνεται όχι μόνο με προβλήματα τα οποία είναι μοναδικά στον κλάδο του αλλά και με προβλήματα των επιμέρους τεχνολογιών που το υποστηρίζουν, όπως για παράδειγμα στα ^{[10][28]}.

Βασική αρχιτεκτονική

Το γενικό πρότυπο αρχιτεκτονικής που προτείνεται για το IoT έχει διαμορφωθεί σε ένα διαστρωματομένο μοντέλο ^{[9][13][14][18][29][30][31][32]} όπου το κάθε επίπεδο αντιπροσωπεύει ιδεατά ένα σύνολο από έννοιες και συστήματα καθώς και συγκεκριμένους στόχους και λειτουργίες (π.χ. μια λειτουργία του Perception Layer είναι η διασύνδεση του μοντέλου με το περιβάλλον μέσω αισθητήρων και άλλων συσκευών). Όλα τα παραπάνω αποτελούν δομικά στοιχεία του μοντέλου του IoT.

Παρακάτω παρατίθεται ένα μοντέλο όπως έχει αναφερθεί σε ορισμένες από τις εργασίες που έχω συγκεντρώσει και μελετήσει:



Εικόνα. 1 Μοντέλα αρχιτεκτονικής εφαρμογών βασισμένα στο Internet of Things. Adapted from “Future Internet of Things: open issues and challenges,” by C. W. Tsai, C. F. Lai, and A. V. Vasilakos, 2014, May 13, 2014, *Wireless Networks*, 20(8), p. 2201-2217. Copyright 2014 by Springer Science+Business Media New York

Η αριστερή στοίβα απεικονίζει την πιο ευρέως διαδεδομένη αρχιτεκτονική για το IoT^{[13][14]} (Ning & Hu, 2012; Chang et al., 2012; Ning & Wang, 2011; Li & Chen, 2012; Khan et al., 2012; Cheng-Jun, 2014). Η δεξιά στοίβα είναι ένα μοντέλο της βασικής αρχιτεκτονικής με επιπρόσθετα επίπεδα, έτσι ώστε να αποδοθούν με περισσότερη λεπτομέρεια και να τμηματοποιηθούν περαιτέρω τεχνολογίες ή πρότυπα τα οποία εισάγονται «επιπρόσθετα» στη βασική αρχιτεκτονική και βελτιώνουν τις δυνατότητες του βασικού μοντέλου^[13].

- **Perception Layer:**

Αυτό το επίπεδο αναφέρεται στα φυσικά μέρη της αρχιτεκτονικής (hardware), από όπου γίνεται συλλογή των δεδομένων^{[9][29]}, όπως για παράδειγμα δίκτυα WSN (Cheng-Jun, 2014) καθώς και το απαραίτητο λογισμικό για την τέλεση των απαραίτητων διεργασιών συλλογής των παραπάνω δεδομένων.

Επιπλέον, συμπεριλαμβάνει και όλες τις διεργασίες διεπαφής του μοντέλου με το περιβάλλον. Στον αγροτικό τομέα, για παράδειγμα, συμπεριλαμβάνει συσκευές με αισθητήρες, οι οποίες συλλέγουν δεδομένα από την εκάστοτε καλλιεργήσιμη έκταση ή από τον κτηνοτροφικό τομέα, ενδείξεις περιβάλλοντος ή δεδομένα από αισθητήρες στα ζώα, αντίστοιχα.

Όπως είναι αναμενόμενο, το συγκεκριμένο επίπεδο χαρακτηρίζεται και αποτελείται από πολλές συσκευές οι οποίες διασυνδέονται μεταξύ τους, με σκοπό τη συλλογή και τη διάδοση πληροφοριών^[29].

- **Network Layer:**

Αφορά τη διασύνδεση των δύο ακραίων επιπέδων και την μεταφορά δεδομένων^{[9][29]}. Δηλαδή, τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επικοινωνία μεταξύ των συσκευών με αισθητήρες, και άλλες συσκευές όπως κόμβους μεταφοράς ή επεξεργασίας δεδομένων καθώς και άλλων απομακρυσμένων μερών^[29] (Cheng-Jun, 2014). Να σημειωθεί ότι επιπλέον περιλαμβάνει και την επικοινωνία με άλλα μέρη όπως το cloud¹.

- **Application Layer:**

Το επίπεδο αυτό αφορά τις εφαρμογές και τις υπηρεσίες που παρέχονται από το IoT μοντέλο, στα επιμέρους τμήματά του ή στους χρήστες, για ανάλυση δεδομένων κ.ο.κ.^[9]. Επιπλέον, περιλαμβάνει τα ξεχωριστά ή ανεξάρτητα μέρη του μοντέλου, όπως το cloud (το οποίο χρησιμοποιείται συχνά σε εφαρμογές IoT) ή web servers και databases όπως αναφέρεται (Cheng-Jun, 2014).

Το ενισχυμένο μοντέλο έχει επιπρόσθετα το Gateway Layer, το οποίο μαζί με το Network Layer διαχειρίζονται την ροή δεδομένων από το φυσικό περιβάλλον προς τα υπόλοιπα συστήματα μέσω εξειδικευμένων κόμβων καθώς και το Middleware Layer το οποίο αφορά την αλληλεπίδραση των διάφορων συστημάτων με τις εφαρμογές και τις υπηρεσίες στο Application Layer^[9].

Να σημειωθεί ότι το παραπάνω μοντέλο αρχιτεκτονικής δεν είναι το μόνο που υπάρχει. Κατά καιρούς έχουν προταθεί πολλά διαφορετικά πρότυπα, όπως φαίνεται στις εργασίες^{[4][29][30][31][32]}. Άλλα πρότυπα, για παράδειγμα, είναι παραλλαγές του παραπάνω «ενισχυμένου» μοντέλου, με λιγότερα επίπεδα^[29]. Στην πράξη ανάλογα με

¹ Wikipedia contributors. (2019, July 15). Cloud computing. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved July 15, 2019, from https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Cloud_computing&oldid=906301328

την εφαρμογή μπορεί να υπάρχουν διαφορές και αποκλίσεις μεταξύ των μοντέλων αρχιτεκτονικής, όπως ανέφερα και πριν, ωστόσο οι περισσότερες εφαρμογές εμπίπτουν κατά ένα μεγάλο μέρος τους, στο παραπάνω γενικό μοντέλο αρχιτεκτονικής.

Συνδεσιμότητα

Ένα βασικό χαρακτηριστικό του IoT είναι η διασύνδεση των κόμβων και η δημιουργία δικτύων μεταξύ τους για την ανταλλαγή δεδομένων. Η δικτύωση των κόμβων απαιτεί επομένως, προσοχή κατά τη σχεδίαση αποτελεσματικών συστημάτων. Πάνω σε αυτές τις απαιτήσεις έχουν προταθεί ως λύσεις, μια πληθώρα προτύπων όπως Wi-fi, RFID, Bluetooth, Zigbee, GSM με GPRS, WSN, NFC κ.α. [2][3][12][19] με στόχο την βέλτιστη απόδοση (ακεραιότητα δεδομένων, ταχύτητα μετάδοσης, οικονομία πόρων και ενέργειας) στο εκάστοτε περιβάλλον, μέσα στο οποίο κάθε σύστημα λειτουργεί. Περισσότερες λεπτομέρειες δίνονται στο κεφ. [2.6 – Επικοινωνία και Δικτύωση στα Συστήματα IoT](#).

Στον αγροτικό τομέα, οι διάφορες συσκευές είναι συνήθως αποκομμένες από υποδομές δικτύωσης και πολλές από αυτές βασίζονται σε φορητές πηγές ενέργειας^[13]. Επιπλέον, οι ίδιες οι συσκευές λόγω κόστους, φορητότητας και αυτονομίας δεν διαθέτουν επαρκή αποθηκευτικό χώρο ή επεξεργαστική ισχύ^[10] ώστε να διακπεραιώσουν οι ίδιες, διεργασίες για την επεξεργασία των δεδομένων που συλλέγουν. Επομένως, η επιλογή σωστού πρωτόκολλου επικοινωνίας συσκευών, είναι σημαντικό κομμάτι της επικοινωνίας των κόμβων τόσο μεταξύ τους όσο και με το cloud ή το ευρύτερο δίκτυο του εκάστοτε συστήματος (το οποίο ενδεχομένως διαθέτει και τους κατάλληλους κόμβους για επεξεργασία δεδομένων). Η επιλογή του εκάστοτε πρωτόκολλου επικοινωνίας επηρεάζει επίσης, σημαντικά τις απαιτήσεις ενέργειας των συσκευών ανάλογα με τις ενεργειακές απαιτήσεις που επιβάλλονται. Επομένως έχει άμεση σχέση με την κατανάλωση ενέργειας, η οποία αποτελεί πολύτιμο πόρο για συσκευές οι οποίες λειτουργούν με ενεργειακές πηγές περιορισμένης αυτονομίας, όπως μπαταρίες.

Συσκευές, Λογισμικό και Υπηρεσίες

Φυσικά, οι παραπάνω περιορισμοί δεν υφίστανται μόνο για τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που θα επιλεγθούν σε μια υλοποίηση, αλλά αφορούν και άλλα μέρη του συστήματος, όπως η επιλογή συσκευών και λογισμικού, καθώς και ο τρόπος υλοποίησης και κατασκευής ενός συστήματος με τα παραπάνω μέρη.

Για την υλοποίηση και δικτύωση ενός συστήματος IoT, συνήθως χρησιμοποιούμε σε βασικό επίπεδο, δικτυωμένες συσκευές αισθητήρων (WSNs) ή και άλλους κόμβους που εκτελούν βοηθητικές διεργασίες δικτύωσης^[19]. Όλα τα παραπάνω μέρη IoT ανήκουν, σύμφωνα με το μοντέλο αρχιτεκτονικής που αναφέραμε παραπάνω, στο Perception Layer και αναφέρονται συνήθως ως WSNs.

Πέρα από το καθαρά φυσικό κομμάτι ενός συστήματος IoT, σημαντικό ρόλο στο σχεδιασμό του, παίζει και το λογισμικό το οποίο χρησιμοποιείται στις συσκευές του συστήματος. Δεδομένων των περιορισμών που ενέχει ο σχεδιασμός ενός συστήματος IoT, απαιτείται –πέραν της προσεκτικής επιλογής συσκευών και μέσων δικτύωσης – η επιλογή ενός εξίσου αποδοτικού λογισμικού ή λογισμικών, έτσι ώστε να αξιοποιηθούν πλήρως και αποτελεσματικά, οι υπολογιστικές δυνατότητες που μας

προσφέρουν. Παρακάτω, στο κεφ. [2.1.3. – Προβλήματα και Προκλήσεις/ Ασφάλεια και Ιδιωτικότητα](#), γίνεται ιδιαίτερα εμφανές το αντίκτυπο που έχουν οι παραπάνω περιορισμοί –ιδιαίτερα η έλλειψη υπολογιστικής ισχύος– στο κομμάτι της ασφάλειας των IoT συστημάτων.

Δεδομένου λοιπόν, ότι και το λογισμικό προσδίδει κάποιες βασικές απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ, γίνεται κατανοητό ότι οι περιορισμοί που αναφέρονται παραπάνω αλλά και στην συνέχεια της εργασίας, παίζουν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο και κατευθύνουν τόσο τον σχεδιασμό ενός συστήματος IoT, όσο και την εξέλιξη του κλάδου.

Πρόσθετες Τεχνολογίες

Πέρα από τις βασικές τεχνολογίες διασύνδεσης των κόμβων, το IoT, έχει υιοθετήσει και άλλες τεχνολογίες όπως τεχνολογίες «έξυπνου υπολογισμού» (computational intelligence ή CI) όπως υποστηρίζουν οι (Kulkarni et al., 2011; Del Valle et al., 2008; Ngatchou et al., 2005; Rao et al., 2004; Sousa et al., 2011).

Δύο πολύ βασικές τεχνολογίες για την ανάπτυξη και εφαρμογή του IoT είναι το data mining και το machine learning . Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούν data mining, δίνουν τη δυνατότητα σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα IoT, να επεξεργαστεί μεγάλο αριθμό δεδομένων τα οποία παράγονται από την κατώτερη στοιβά της αρχιτεκτονικής του IoT ^[9], να βγάλει συμπεράσματα και ενδεχομένως να πάρει κάποιες ενέργειες με βάση αυτά (π.χ. αυτόματη άρδευση).

Παρακάτω, σε επόμενο κεφάλαιο θα σχολιάσουμε συνοπτικά πως οι CI τεχνολογίες επηρεάζουν το IoT και ποια είναι η συμβολή τους στις εφαρμογές του, στον αγροτικό τομέα.

Μία άλλη «οικογένεια» τεχνολογιών που συμβάλλουν στην ανάπτυξη και εξέλιξη του IoT είναι τεχνολογίες κατακευματισμένου υπολογισμού. Μερικές από αυτές είναι το “fog computing”, το “edge computing” και το “cloud computing” στις οποίες θα γίνει αναλυτικότερη αναφορά σε παρακάτω κεφάλαιο.

Εύρος Εφαρμογών

Το IoT πέρα από τον αγροτικό τομέα χρησιμοποιείται και σε πολλούς άλλους τομείς λόγω της ευέλικτης αρχιτεκτονικής του και του πολυχρηστικού του χαρακτήρα. Μερικές εφαρμογές υπάρχουν στον τομέα της υγείας, στον τομέα μετακίνησης και μεταφοράς, σε περιβαλλοντικές εφαρμογές, σε οικιακά ή βιομηχανικά αυτοματοποιημένα συστήματα ^{[2][10][19]} κ.α. παραδείγματα τα οποία αναφέρονται σε πολλά σημεία στην βιβλιογραφία. Το IoT όπως αναφέραμε και πριν είναι ακόμα σε φάση εξέλιξης: οι τομείς πάνω στους οποίους έχουμε τη δυνατότητα να σχεδιάσουμε και να υλοποιήσουμε εφαρμογές IoT, δεν είναι πλήρως ορισμένοι.

2.1.3. Προβλήματα και Προκλήσεις

Κάποια από τα κύρια προβλήματα τα οποία αντιμετωπίζει το IoT σαν τεχνολογία, αφορούν κυρίως την ασφάλεια, την ιδιωτικότητα, την προτυποποίηση των διάφορων συσκευών και εφαρμογών που βασίζονται στο IoT καθώς και την διαχείριση των

δεδομένων που παράγονται. Φυσικά υπάρχουν και άλλα προβλήματα καθώς το μοντέλο αν και εξελισσόμενο ραγδαία, είναι ακόμα νέο και δεν έχει ωριμάσει πλήρως ούτε από ερευνητικής άποψης, ούτε όμως και χρηστικά, εφόσον ακόμα βρίσκεται σε στάδιο μη συστηματικών υλοποιήσεων ή πολύ γενικής χρήσης. Ένδειξη για αυτό είναι οι εφαρμογές open source που υπάρχουν στον τομέα, οι οποίες είτε είναι πολύ ειδικές είτε πολύ γενικές^[44].

Κατ' επέκταση συναντάμε προβλήματα τα οποία αφορούν την εκάστοτε υλοποίηση του μοντέλου: ανάλογα με την φύση της υλοποίησης δημιουργούνται νέες απαιτήσεις και προβλήματα που συνάδουν άμεσα με τον σχεδιασμό του. Για παράδειγμα σε ένα σύστημα που αφορά την παρακολούθηση κατανομής προϊόντων απαιτείται ακεραιότητα των δεδομένων που συλλέγονται, ώστε να γίνεται σωστά η παρακολούθηση της κατανομής τους στα σημεία πώλησης, πράγμα για το οποίο ακόμα δεν υπάρχει σωστή υποστήριξη εγγενώς από το μοντέλο του IoT.

2.1.3.1. Ασφάλεια και Ιδιωτικότητα

Η ασφάλεια είναι ένα από τα κυριότερα και πιο σημαντικά προβλήματα τα οποία αντιμετωπίζει το IoT ως ανερχόμενη τεχνολογία, αν λάβουμε υπόψη τη συχνότητα αναφοράς του^{[2][10][11][19][28]}. Δεδομένου ότι προορίζεται να τοποθετηθεί στο μέλλον σε πολλά επίπεδα υποδομών, συμπεριλαμβανομένων και υποδομών ζωτικής σημασίας, η ασφάλεια συστημάτων IoT, απαιτείται να είναι ικανή να αντιμετωπίσει τα περισσότερα σύγχρονα προβλήματα που συναντούν πολλά από τα υπάρχοντα υπολογιστικά συστήματα, όπως προβλήματα εμπιστοσύνης και αυθεντικοποίησης και είδη επιθέσεων που στοχεύουν σε καταναμημένα συστήματα, όπως το IoT.

Ωστόσο, ακόμα και η ίδια η αρχιτεκτονική του IoT, εγγενώς, δημιουργεί νέα ζητήματα ασφάλειας, τόσο με τον σχεδιασμό της, όσο και με τις απαιτήσεις των συσκευών και άλλου υλικού που χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με αυτή, γεγονός που πολλαπλασιάζει τη δυσκολία εύρεσης μόνιμων καθολικών λύσεων, όπως φαίνεται και παρακάτω, στα θέματα ασφάλειας που θα αναλυθούν.

Στο ^[10] και στο ^[45], αναφέρεται ότι γενικά, τα κλασσικά μέτρα ασφάλειας που χρησιμοποιούνται στο internet δεν είναι δυνατό να εφαρμοστούν αποτελεσματικά στο τομέα του IoT. Επιπλέον, «κλασσικές» επιθέσεις οι οποίες πραγματοποιούνται μέσω internet (π.χ. Denial of Service), δεν γίνεται να αντιμετωπιστούν με τον ίδιο τρόπο από τα συστήματα IoT δεδομένου ότι έχουν τελείως διαφορετικές απαιτήσεις σχεδιασμού και υλοποίησης όσον αφορά την αρχιτεκτονική τους, την έκταση και την πολυπλοκότητα του συστήματος, την διαθεσιμότητα πόρων κ.ο.κ ^{[10][45]}.

Ο αγροτικός κλάδος και η χρήση του IoT σε αυτόν δεν αποτελούν εξαίρεση από τον παραπάνω συλλογισμό καθώς τα δεδομένα που παράγονται από την χρήση του IoT στον τομέα, είναι ευάλωτα σε επιθέσεις ή σε κακή χρήση, γεγονός που μπορεί να δυσκολέψει ή να σταματήσει την παραγωγή πρώτων υλών ή καταναλωτικών προϊόντων πρώτης ανάγκης, σε περίπτωση που δεν μπορεί να ελεγχθεί και να περιοριστεί σωστά και αποτελεσματικά.

Όπως καταδεικνύεται στο ^[29], υπάρχουν πολλά είδη επιθέσεων τα οποία είναι δυνατό να διεξαχθούν εναντίον δικτύων IoT, σε οποιοδήποτε επίπεδο/στρώμα του μοντέλου του, τα οποία χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής. Πολλά από αυτά είναι συμβατικές τεχνικές επίθεσης που χρησιμοποιούνται και σε συμβατικά δίκτυα υπολογιστών ενώ άλλα είναι προσαρμοσμένα να αξιοποιούν ευπάθειες μοναδικές ως προς το μοντέλο του IoT ^[29]. Φυσικά, υπάρχουν και επιθέσεις οι οποίες στοχεύουν

μια πτυχή του συστήματος, όπως για παράδειγμα αδυναμίες των πρωτοκόλλων επικοινωνίας^[10].

Παρακάτω θα παρατεθούν μερικά γενικά αλλά σημαντικά προβλήματα που αντιμετωπίζει το πρότυπο του IoT όσον αφορά την ασφάλεια:

Αυθεντικοποίηση (Authentication)

Οι περισσότερες συσκευές που βρίσκονται σε ένα δίκτυο που βασίζεται στο πρότυπο του IoT, είναι συσκευές με περιορισμένη υπολογιστική ισχύ και πόρους, πράγμα που δυσχεραίνει την πραγματοποίηση διεργασιών πέραν της κύριας λειτουργίας τους, όπως για παράδειγμα την αυθεντικοποίηση κόμβων και άλλων μερών του δικτύου^[28]. Επιπλέον, με την εισαγωγή μη-αυθεντικοποιημένων κόμβων στο δίκτυο, δημιουργούνται προβλήματα στην ασφάλεια του δικτύου τα οποία αφορούν την διαχείριση δεδομένων. Αν και υπάρχουν κάποιες λύσεις που επιστρατεύουν «ελαφριά» κρυπτογράφηση (Lee et al., 2014), ουσιαστικά δεν υπάρχει ικανοποιητική λύση για αυτό το πρόβλημα ακόμα^[45].

Access Control

Στο IoT λόγω της ταχείας παραγωγής και μετακίνησης δεδομένων μεταξύ κόμβων, υπάρχει μεγάλη απαίτηση σε επεξεργαστική ισχύ, πράγμα το οποίο εισάγει πιθανές ευπάθειες σε ένα σύστημα βασισμένο στο IoT ^[45]. Ο σωστός καταμερισμός και διαμοιρασμός πόρων αποτελεί ένα βασικό κομμάτι για την εύρυθμη λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος, δεδομένης της φύσης των συστημάτων που βασίζονται στην αρχιτεκτονική IoT.

Ιδιωτικότητα

Η ιδιωτικότητα των δεδομένων μέσα σε ένα δίκτυο IoT είναι σημαντική, δεδομένου ότι ορισμένες εφαρμογές του IoT διαχειρίζονται δεδομένα προσωπικού χαρακτήρα, όπως δεδομένα που παράγονται από διάφορες συσκευές για προσωπική χρήση^[29] ή δεδομένα από υποδομές των οποίων οι λειτουργίες χαρακτηρίζονται ως κρίσιμες (π.χ. IoT σύστημα σε κάποιο νοσοκομείο).

Ακεραιότητα Δεδομένων (Data Integrity)

Επίσης, ένα σημαντικό κομμάτι της λειτουργίας του IoT, το οποίο αντιμετωπίζει πρόβλημα λόγω έλλειψης δυνατότητας κρυπτογράφησης, είναι η εξασφάλιση της ακεραιότητας των δεδομένων. Η έλλειψη επεξεργαστικής ισχύος εμποδίζει τους απαραίτητους υπολογισμούς που θα βοηθούσαν στην εξακρίβωση μεγάλων συνόλων δεδομένων (τα οποία συναντώνται σχεδόν συνέχεια σε συστήματα και εφαρμογές IoT)^[28].

Ανίχνευση Εισβολέων (Intrusion Detection)

Ένα άλλο πρόβλημα που αντιμετωπίζει το IoT είναι η ασφάλεια του συστήματος όσον αφορά την διαχείριση επιτιθέμενων ή κόμβων που συμπεριφέρονται σαν επιτιθέμενοι. Δεδομένης της έκτασης ενός τέτοιου δικτύου και τις ευρείας γκάμας κόμβων που συνυπάρχουν σε ένα τέτοιο δίκτυο καθώς και των περιορισμένων πόρων που διαθέτουν, είναι δύσκολο να γίνει σωστή ανίχνευση πιθανής εισβολής, με τόσο αποκεντρωμένη διαχείριση^[28].

Μία λύση κατ' επέκταση, θα μπορούσε να είναι η υιοθέτηση του μοντέλου "security-by-design" κατά τον σχεδιασμό ενός συστήματος, όπου το δίκτυο θωρακίζεται εξ αρχής παθητικά από πιθανά συμβάντα ασφάλειας.

Αυτά τα τέσσερα πεδία στον τομέα της ασφάλειας, καλύπτουν μια μεγάλη κατηγορία προβλημάτων που αντιμετωπίζει το IoT, στην παρούσα φάση της εξέλιξης του.

Να σημειωθεί εδώ ότι ανάλογα με την υλοποίηση κάποιου συστήματος IoT πολλά από αυτά τα προβλήματα μπορεί να έχουν επιλυθεί ή να μην υφίστανται εξ αρχής. Δεδομένης της ανομοιογένειας των υλοποιήσεων αλλά και εγγενώς του κλάδου, τα διάφορα προβλήματα αλλά και οι εφαρμογές, βρίσκονται υπό συζήτηση.

2.1.3.2. Προτυποποίηση

Η προτυποποίηση είναι ένα άλλο πρόβλημα που αντιμετωπίζει ο κλάδος. Η τεχνολογία του IoT θεωρείται ως ανερχόμενη. Πολλοί από τους οργανισμούς και τα άτομα που την έχουν υιοθετήσει θεωρούνται "early adopters"² ^[47] και έχουν υλοποιήσει λύσεις οι οποίες είναι διαμορφωμένες για συγκεκριμένες ανάγκες και είναι αρκετά εξειδικευμένες. Οι λύσεις αυτές επομένως δεν βασίζονται σε συγκεκριμένα καθολικά πρότυπα. Αυτό σημαίνει, ότι δεν υπάρχουν κοινώς αποδεκτοί «κανόνες» για την υλοποίηση λύσεων που βασίζονται στο IoT.

Ως επακόλουθο, οι καταναλωτές υποχρεώνονται να διαλέξουν ένα κατασκευαστή/πάροχο για την υλοποίηση των λύσεων που αναζητούν χωρίς να έχουν άμεση επιλογή ως προς τον τρόπο υλοποίησης της. Επιπλέον, εξαρτώνται από τον πάροχο για περαιτέρω υποστήριξη χωρίς να υπάρχουν εναλλακτικές πηγές πληροφοριών, εφόσον μόνο ο πάροχος έχει την απαραίτητη τεχνογνωσία για το εκάστοτε προϊόν που παρέχει.

Όσον αφορά την τεχνολογία, λόγω πλήρους ή μερικής έλλειψης προτυποποίησης είναι αρκετά δύσκολο να υλοποιηθούν ολοκληρωμένες λύσεις με ανομοιογενή μέρη εφόσον, συχνά δεν υπάρχει κοινός διάυλος για επικοινωνία ή ενσωμάτωση διαφορετικών προϊόντων^{[9][13][48]}, γεγονός το οποίο φαίνεται και έμμεσα σχεδόν σε όλη την βιβλιογραφία. Αυτό πολλές φορές δυσκολεύει και τους παρόχους εφόσον αναγκάζονται να διαθέσουν πόρους για την κατασκευή λύσεων από την αρχή με αυξημένο κόστος. Επιπλέον, να σημειωθεί ότι αυτό είναι και βασικό πρόβλημα για την ανάπτυξη του ίδιου του κλάδου εφόσον η βασική ιδέα του IoT είναι η διασύνδεση

² Wikipedia contributors. (2019, March 21). Early adopter. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved June 17, 2019, from https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Early_adopter&oldid=888768737

και αυτοματοποίηση των “things”. Όταν αυτά δεν έχουν τρόπο να επικοινωνήσουν, λόγω διαφορετικού σχεδιασμού, αμέσως έχουμε ρήξη του ορισμού του IoT.

Φυσικά υπάρχουν προτεινόμενες λύσεις όπως γίνεται αναφορά στο ^[9] για τον σχεδιασμό του μοντέλου με βάση ενός κοινώς αποδεκτού interface, για την επικοινωνία μεταξύ των ανομοιογενών μερών. Εφόσον, όμως ο ορισμός ενός IoT συστήματος είναι ακόμα ευμετάβλητος και το πρότυπο δεν έχει πάρει οριστική μορφή τέτοιες λύσεις παραμένουν υπό συζήτηση.

Ως αποτέλεσμα, κάθε υλοποίηση από διαφορετικό φορέα ή επιχείρηση αποτελούν και ένα καινούριο πρότυπο εφόσον ο εκάστοτε φορέας/επιχείρηση προωθεί τα δικά του πρότυπα και τεχνολογικές προσαρμογές στο βασικό πρότυπο IoT ^[48].

2.1.3.3. Data Governance

Ένα άλλο λιγότερο άμεσο αλλά εξίσου σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζει το IoT είναι η διαχείριση του μεγάλου όγκου δεδομένων που παράγει όπως φαίνεται στο ^[49] και όπως αναφέρεται στο ^[4], καθώς και των δεδομένων τα οποία χρησιμοποιούνται για την αυτοδιαχείρισή του. Έχοντας υπόψη των περιορισμό πόρων που οι περισσότερες συσκευές διαθέτουν, δεν είναι δυνατή η ταυτόχρονη δρομολόγηση των δεδομένων που παράγονται αλλά και των δεδομένων που διακινούνται, μέσα στο δίκτυο, τα οποία αφορούν τη διαχείριση του ίδιου του δικτύου. Αυτό παρατηρείται ιδιαίτερα όσο το μέγεθος του δικτύου αυξάνεται. Η επεκτασιμότητα επομένως, έχει άμεση σχέση με τη διαχείριση δεδομένων σε ένα δίκτυο IoT, και καθιστά τη διαχείριση δεδομένων ως ένα πολύ σημαντικό κομμάτι στην εξέλιξη της τεχνολογία του IoT.

Όπως αναφέρθηκε και πιο πριν στο κεφ. [2.1.2. – Internet of Things: Προβλήματα και Προκλήσεις](#) μια λύση για την διαχείριση του μεγάλου όγκου δεδομένων, είναι η επεξεργασία τους με την χρήση τεχνικών εξόρυξης δεδομένων έτσι ώστε να μειωθεί ο όγκος τους και επιπλέον να μας δώσουν χρήσιμα αποτελέσματα. Παρ’ όλα αυτά σε μεγάλα δίκτυα η ανάγκη για διαχείριση των δεδομένων καθώς και της ροής τους, υπάρχει ακόμα.

2.1.3.4. Άλλα Προβλήματα/Θέματα

Πέρα από τα παραπάνω βασικά προβλήματα, υπάρχουν και άλλα θέματα τα οποία δυσχεραίνουν την ομαλή υιοθέτηση και χρήση του IoT.

Ένα θέμα το οποίο συνδέεται έμμεσα με το πρόβλημα της προτυποποίησης (βλ. [2.1.3.2 - Προτυποποίηση](#)) είναι η ετερογένεια των κόμβων και η διαλειτουργικότητα τους ^{[11][13]} (Du & Roussos, 2013): Η υποστήριξη ετερογένειας σε ένα σύστημα IoT, υπάρχει ως πρωταρχική απαίτηση δεδομένου ότι έχουμε διαφορετικών ειδών κόμβους, οι οποίοι καλούνται να συνεργαστούν μεταξύ τους σύμφωνα με το μοντέλο IoT που αναφέραμε. Αυτό κατ’ επέκταση, απαιτεί να συμπεριληφθεί η κατάλληλη υποστήριξη, κατά τον σχεδιασμό ενός μοντέλου ή της υλοποίησης μιας εφαρμογής IoT. Ωστόσο αυτό, αποτελεί εμπόδιο στην ομαλή υιοθέτηση και λειτουργία συστημάτων IoT και επιπλέον δυσκολεύει την ομαλή διαδικασία καθολικής προτυποποίησης: πρόβλημα, το οποίο δυσχεραίνει τον κλάδο, σημαντικά.

Ένα άλλο θέμα το οποίο συνάδει με τα προβλήματα ασφάλειας που αναφέρθηκαν παραπάνω, είναι η διαχείριση αναβαθμίσεων λογισμικού των κόμβων ^[28]. Η

ετερογένεια και η έκταση ενός τέτοιου δικτύου καθιστά τη γρήγορη και αποτελεσματική εγκατάσταση και ενημέρωση του λογισμικού των κόμβων, σε ένα δίκτυο IoT, αρκετά δύσκολη και επιρρεπή σε σφάλματα. Ταυτόχρονα, η αδυναμία εγκατάστασης αναβαθμίσεων με αποδοτικό τρόπο, μειώνει την ασφάλεια τέτοιων συστημάτων^[28].

Επιπλέον, βασικό πρόβλημα για την υλοποίηση ενός συστήματος IoT είναι η διαχείριση διευθύνσεων και δικτύωσης. Επειδή ακριβώς τα συστήματα IoT έχουν συγκεκριμένες ενεργειακές απαιτήσεις πρέπει να γίνει ανάλογος σχεδιασμός των πρωτόκολλων επικοινωνίας (βλ. [2.1.2 – Internet of Things: State-of-the-Art/Συνδεσιμότητα](#)). Αυτό έχει οδηγήσει στον σχεδιασμό και υλοποίηση πολλών πρωτόκολλων τα οποία έχουν διάφορες απαιτήσεις και δυνατότητες, όπως φαίνεται και στο ^[4]. Η βασική ιδέα είναι ότι τα συστήματα IoT πρέπει να έχουν την δυνατότητα να επικοινωνούν με συσκευές που χρησιμοποιούν IP, ώστε να υπάρχει συμβατή επικοινωνία με υπηρεσίες και άλλες οντότητες στο Διαδίκτυο^[4]. Ωστόσο, ακόμα δεν έχει παγιωθεί ένα συγκεκριμένο πρωτόκολλο για χρήση σε τέτοια συστήματα, ώστε να υπάρχει ένα καθολικό πρότυπο επικοινωνίας, για όλες τις εφαρμογές IoT.

Επίσης, η διαχείριση των διάφορων κόμβων καθώς και το μοντέλο διαχείρισης του δικτύου είναι ένα θέμα το οποίο επιδέχεται βελτίωση όσον αφορά τα συστήματα IoT, όπως δείχνουν και οι εργασίες ^{[4][51]}. Στην βιβλιογραφία υπάρχει μεγάλος όγκος αναφορών στο συγκεκριμένο θέμα χωρίς ωστόσο να υπάρχει σαφής ορισμός για το ποιες τεχνικές ακολουθούνται στον τομέα. Παρ' όλα αυτά αποτελεί ένα σημείο στον σχεδιασμό των συστημάτων IoT το οποίο δεν έχει οριστεί πλήρως και ενέχει επιπλέον, εγγενώς, το θέμα διαχείρισης των παραγόμενων δεδομένων (βλ. [2.1.3.3 – Data Governance](#)).

Σε επόμενο κεφάλαιο (κεφ. [2.6. – Επικοινωνία και δικτύωση στα συστήματα IoT](#)) αναλύουμε με περισσότερη λεπτομέρεια κάποια από τα πρότυπα δικτύωσης που χρησιμοποιούνται στα συστήματα IoT.

2.2. Τεχνητή Νοημοσύνη στην Επεξεργασία Δεδομένων και Λήψη Αποφάσεων

Ο κλάδος της τεχνητής νοημοσύνης (Artificial Intelligence/A.I.) αναπτύσσεται εδώ και αρκετό καιρό, τόσο από την επιστημονική κοινότητα όσο και από την βιομηχανία για να καλύψει ανάγκες που αφορούν την λήψη αποφάσεων και την εύρεση λύσεων.

2.2.1. Εισαγωγή στην Τεχνητή Νοημοσύνη

Προς το παρόν δεν υπάρχει ένας ενιαίος και κοινός αποδεκτός ορισμός για το A.I. Ωστόσο θα μπορούσαμε να πούμε, ότι ασχολείται με την προσομοίωση της ανθρώπινης ευφυΐας και της εκτέλεσης ενεργειών, όπως ο ανθρώπινος παράγοντας^[52].

Για την επίτευξη του στόχου αυτού, όπως και το IoT, έτσι και το A.I., επιστρατεύει μια ευρεία γκάμα τεχνολογιών και προτύπων όπως το machine learning κ.α. Τα τελευταία χρόνια το A.I. έχει σημειώσει μεγάλη πρόοδο και πλέον, υπάρχουν διάφορες εφαρμογές χωρίς βέβαια να έχει τελειοποιηθεί πλήρως. Οι εφαρμογές οι

οποίες έχουν δημιουργηθεί αφορούν κυρίως προβλέψεις και λήψη αποφάσεων με βάση αυτές (Agrawal, Gans, & Goldfarb, 2018). Επιπλέον, ενεργή προσπάθεια στον συνδυασμό των τεχνολογιών IoT με τεχνικές και τεχνολογίες Α.Ι.^[11]

2.2.2. Εφαρμογές

Στον αγροτικό τομέα η χρήση του Α.Ι. γίνεται μέσω των διάφορων εφαρμογών, οι οποίες επεξεργάζονται και διαχειρίζονται δεδομένα και κατ' επέκταση χρησιμοποιούν τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης.

Στην βιβλιογραφία, δεν βρήκα κάποια απτή εφαρμογή η οποία να κάνει άμεσα χρήση ολοκληρωμένου Α.Ι. για την λήψη αποφάσεων ή για προβλέψεις. Ωστόσο, γίνονται γενικές αναφορές στην χρήση του όπως στο ^[13]. Επίσης, έχουν γίνει πειραματικές αναφορές κατά καιρούς, για να εξεταστεί η χρήση μοντέλων Α.Ι., όπως για παράδειγμα για την πρόβλεψη παραγωγής, στην εργασία ^[54]. Πρέπει να σημειωθεί ότι όσο μεγαλώνει ο όγκος των δεδομένων και οι δυνατότητες που υπάρχουν στην ρομποτική, στις συσκευές με αισθητήρες και σε actuators³, τόσο πιο αισθητή θα γίνει και η χρήση συστημάτων Α.Ι., δεδομένων των αυξανόμενων απαιτήσεων σε αυτοματοποίηση και συστήματα που είναι context-aware.

Σύμφωνα με τους (Ren et al., 2017), η χρήση Α.Ι. σε κόμβους του IoT, θα βοηθήσει αισθητά στο να γίνουν πιο «έξυπνοι», μειώνοντας σημαντικά τον αριθμό των απαραίτητων αισθητήρων. Επιπλέον, με την χρήση Α.Ι. θα μπορούν να αποκτήσουν context awareness⁴ ή ολοκληρωμένη αντίληψη περιβάλλοντος, έτσι ώστε αν ανταποκρίνονται αποτελεσματικά σε αλλαγές που προέρχονται από το περιβάλλον τους ή τους χρήστες τους^[29](Lefort et al., 2011).

2.3. Μηχανική Μάθηση

Ο κλάδος της μηχανικής μάθησης (machine learning/ML) είναι από τους πιο ραγδαία εξελισσόμενους κλάδους της εποχής μας. Οι ανερχόμενες τεχνολογίες τόσο του Α.Ι. όσο και άλλων κλάδων και οι εφαρμογές τους οι οποίες απαιτούν από ένα υπολογιστικό σύστημα να «μαθαίνει» αυτοματοποιημένα καινούρια μοτίβα δεδομένων, συμπεριφορές και τάσεις, και στην συνέχεια να προβαίνει σε ενέργειες βάση αυτών, έχει ωθήσει τον κλάδο σε ένα ταχύ ρυθμό ανάπτυξης.

³ Wikipedia contributors. (2019, June 20). Actuator. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved June 23, 2019, from <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Actuator&oldid=902636033>

⁴ Wikipedia contributors. (2019, May 30). Context awareness. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved June 17, 2019, from https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Context_awareness&oldid=899492367

2.3.1. Εισαγωγή στο Machine Learning

Το ML αναφέρεται ως μια διεργασία η οποία, με αυτόματο τρόπο, αυτό-βελτιώνεται και προσαρμόζεται βάσει εμπειριών και εκμάθησης χωρίς ωστόσο να έχει προγραμματιστεί εξειδικευμένα για να πετύχει κάποιο συγκεκριμένο γνωσιακό στόχο (Mitchell, 1997; Ayodele, 2010; Langley & Simon, 1995).

Με βάση άλλο ορισμό το ML προσπαθεί να παράγει συμπεράσματα και προβλέψεις από ογκώδη δεδομένα βάσει στατιστικών τεχνικών^[59]. Αυτό το πετυχαίνει «μαθαίνοντας» πρότυπα (“patterns”), με τα οποία επιλέγει ποια κομμάτια πληροφορίας από δεδομένα, θα εξάγει, τα οποία δεν έχουν υποστεί προηγουμένως επεξεργασία^[59].

Συνοπτικά, μπορούμε να θεωρήσουμε την ML ως μια τεχνική η οποία αποσκοπεί στην προσομοίωση της ικανότητας του ανθρώπου να μάθει καινούρια πρότυπα-μοντέλα, κανόνες, τάσεις κ.ο.κ. με αυτοματοποιημένο και αυτόνομο τρόπο, και στην συνέχεια να χρησιμοποιήσει τη γνώση αυτή για να βγάλει συμπεράσματα και να κάνει προβλέψεις.

2.3.2. Εφαρμογές

Στα συστήματα IoT του αγροτικού τομέα, γίνεται χρήση της ML στις διαδικασίες αυτοματοποίησης, που απαιτούνται για την εκτέλεση αυτοματοποιημένων ενεργειών, βάσει των δεδομένων που συλλέγονται από αισθητήρες ή άλλες πηγές δεδομένων, όπως για παράδειγμα στο ^[59]. Άλλο παράδειγμα αποτελεί, η αυτόματη προσαρμογή της ποσότητας νερού που χρειάζεται μια καλλιέργεια κατά την άρδευση, βάσει δεδομένων από αισθητήρες υγρασίας και άλλα δεδομένα για την σωστή ανάπτυξη των εκάστοτε ειδών που καλλιεργούνται.

Γίνεται αντιληπτό σε αυτό το σημείο ότι για την σωστή λήψη μια τέτοιας απόφασης είναι απαραίτητη η ανάλυση πολλών δεδομένων και η προσαρμογή πολλών παραμέτρων, όπως για παράδειγμα η κατανομή των ειδών που καλλιεργούνται στην περιοχή, οι απαιτήσεις νερού από το κάθε είδος (οι οποίες μπορεί να αλλάζουν και ανά φάση ανάπτυξης του κάθε είδους), οι καιρικές συνθήκες, οι συνθήκες που επικρατούν στο υπέδαφος, η ποσότητα νερού που είναι διαθέσιμη, το κόστος κ.α. Είναι, πρακτικά, εξαιρετικά δύσκολο μια τέτοια εργασία να γίνει εμπειρικά από ένα μη εξειδικευμένο άτομο, με ελλιπή δεδομένα, σε ένα δυναμικό περιβάλλον.

Για αυτόν τον λόγο το ML παίζει σημαντικό ρόλο τόσο στη σωστή λειτουργία των συστημάτων IoT όσο και στην ανάπτυξη της ίδιας της καλλιέργειας, καθώς αυτοματοποιεί διεργασίες μειώνοντας σημαντικά το κόστος και ενδεχομένως τα λάθη που θα γίνονταν αν η διαδικασία εκτελούνταν βάσει καθαρά εμπειρικών γνώσεων και μη αυτόματης εργασίας.

2.4. «Μεγάλα Δεδομένα» και Εξόρυξη Γνώσης από Δεδομένα

Ο κλάδος του data mining είναι ένας σχετικά καινούριος κλάδος ο οποίος εξελίχθηκε σημαντικά τα τελευταία περίπου 10-15 χρόνια⁽¹⁾, λόγω της παραγωγής αυξανόμενου όγκου δεδομένων από υπολογιστικές συσκευές καθώς και την ανάγκη για καλύτερη αξιοποίηση τους. Ιδιαίτερη πρόοδος έχει σημειωθεί τα τελευταία χρόνια

με την ανάδειξη των μεγάλων δεδομένων (“big data”) στο προσκήνιο. Για να αξιοποιηθεί αποτελεσματικά αυτός ο όγκος δεδομένων ήταν απαραίτητο αρχικά να γίνει μια διαλογή δεδομένων και στη συνέχεια να βρούμε πρότυπα (“patterns”), συνδέσεις κ.α. χαρακτηριστικά τους ώστε να εξάγουμε χρήσιμα δεδομένα. Σε αυτό βοήθησε εξαιρετικά η χρήση τεχνικών εξόρυξης δεδομένων αλλά και άλλων τεχνικών, όπως στατιστική ανάλυση και γενικά, τεχνικές Α.Ι.^[49].

2.4.1. Big Data

Τα «μεγάλα δεδομένα» (“big data”) είναι ένα κλάδος ο οποίος συνοδεύεται από εξελίξεις στο πεδίο της ανάλυσης δεδομένων και διάφορων άλλων καινοτομιών οι οποίες αποσκοπούν στην καλύτερη αξιοποίησή του μεγάλου αυτού όγκου δεδομένων^{[49][60]}.

Κατά καιρούς και ανά κλάδο, έχουν δοθεί πολλοί διαφορετικοί ορισμοί, όπως φαίνεται στο^[60]. Ένας ορισμός που προτείνει έτσι ώστε να γίνει μια ολοκληρωμένη σύνοψη των διάφορων ορισμών είναι ο εξής:

Ως big data μπορούμε να ορίσουμε, όπως αναφέρεται και στην Wikipedia στο⁽²⁾, το πεδίο επιστήμης το οποίο ασχολείται με την συλλογή και την αποδοτική επεξεργασία μεγάλου όγκου δεδομένων ή περίπλοκων δεδομένων από τα οποία δεν είναι δυνατόν να αποκομίσουμε κάποια ωφέλιμη πληροφορία, χρησιμοποιώντας συμβατικές τεχνικές και τεχνολογίες ανάλυσης δεδομένων. Παρόλο που αυτά τα δεδομένα δεν μπορούν να υποστούν («συμβατική») ανάλυση είναι δυνητικά χρήσιμα καθώς με τις κατάλληλες τεχνικές μπορούν να αποβούν ωφέλιμα, δίνοντας μας πληροφορίες ή άλλα χρηστικά και χρήσιμα δεδομένα⁽²⁾. Επίσης, σαν big data αναφέρουμε και ως όρο τα ίδια τα δεδομένα που συλλέγουμε, τα οποία μπορεί να παράγονται από διάφορες πηγές^[49], όπως για παράδειγμα δεδομένα τα οποία παράγονται από τη λειτουργία κοινωνικών δικτύων ή άλλων διαδικτυακών υπηρεσιών ή συστημάτων IoT.

Big Data, στον αγροτικό τομέα συναντώνται συχνά λόγω των ανερχόμενων αυτόματων συστημάτων τα οποία, μέσω αισθητήρων συλλέγουν δεδομένα^[10], σε συχνά και τακτά χρονικά διαστήματα. Η συνεχόμενη λήψη ενδείξεων οδηγεί αναπόφευκτα τόσο σε έναν ταχύ ρυθμό συγκέντρωσης μεγάλου όγκου δεδομένων όσο και στη συλλογή αλλοιωμένων δεδομένων, λόγω αστοχίας ή στατιστικά ακραίων ενδείξεων που δεν χρησιμεύουν πραγματικά στην εξαγωγή χρήσιμων πληροφοριών^{[49][59]}. Εξ ου και η ανάγκη για την χρήση τεχνικών για την διαλογή τους όπως το data mining και το machine learning.

2.4.2. Εξόρυξη Δεδομένων

Η εξόρυξη δεδομένων (“data mining”) είναι το σύνολο τεχνικών και τεχνολογιών οι οποίες μας δίνουν την δυνατότητα να εξάγουμε δεδομένα ή πληροφορίες από κάποιο άλλο σύνολο δεδομένων^{[61][62]} συχνά, πολύ μεγάλο για μη αυτόματη επεξεργασία.

Και εδώ υπάρχουν αρκετοί ορισμοί για το τι είναι το data mining, όπως:

- Η αναγνώριση προτύπων και pattern μέσα από ένα πολύπλοκο ή/και μεγάλο σύνολο δεδομένων^[61].

- Η εξαγωγή ή ανακάλυψη κρυμμένων πληροφοριών μέσα από μία βάση δεδομένων ή άλλων μεγάλων συνόλων δεδομένων με σκοπό την δημιουργία προβλέψεων, βάσει τεχνικών και τεχνολογιών που ανήκουν σε διαφορετικούς κλάδους όπως στατιστική, τεχνητή νοημοσύνη κ.α., και η οργάνωση και παρουσίαση τους ώστε να γίνουν κατανοητά και να είναι έτοιμα προς περαιτέρω χρήση^[62].

2.4.3. Εφαρμογές

Οι εφαρμογές του data mining είναι πάρα πολλές πλέον και συναντώνται συχνά σε ένα μεγάλο εύρος άλλων εφαρμογών, όπως για παράδειγμα στις μηχανές αναζήτησης και στα κοινωνικά δίκτυα, όπου ο μεγάλος όγκος δεδομένων επιβάλλει αυτοματοποιημένη επεξεργασία και εξαγωγή χρήσιμων πληροφοριών, για τη βελτίωση της εκάστοτε εφαρμογής.

Στον αγροτικό τομέα το data mining συναντάται ως μέρος της «αλυσίδας» επεξεργασίας των δεδομένων που παράγονται είτε από έρευνες (μη αυτόματη συλλογή δεδομένων) είτε από αυτοματοποιημένα συστήματα, όπως συστήματα IoT με αισθητήρες^{[49][59][62]}. Ο όγκος των δεδομένων που συλλέγονται πρέπει τόσο για πρακτικούς όσο και για ερευνητικούς λόγους, να περάσει από ένα στάδιο φιλτραρίσματος και να εξαχθούν χρήσιμα δεδομένα και πληροφορίες από αυτόν έτσι ώστε να βελτιωθούν διάφορες διαδικασίες, όπως π.χ. η άρδευση ή/και η κατανομή φυτοφαρμάκων.

2.5. Κατανεμημένος Υπολογισμός και IoT

Στη βάση του κλάδου του κατανεμημένου υπολογισμού βρίσκονται τα λεγόμενα κατανεμημένα συστήματα. Ο κλάδος, ασχολείται και ερευνά τη διασύνδεση υπολογιστικών συστημάτων με στόχο την προσπέλαση των πόρων τους με ενιαίο τρόπο ακόμα και αν αυτά είναι απομακρυσμένα. Επιπλέον, επιδιώκει τα διάφορα συστήματα να προσπελαύνονται σαν ένα ενιαίο σύστημα^[63].

2.5.1. Εισαγωγή στον Κατανεμημένο Υπολογισμό

Ο κατανεμημένος υπολογισμός και τα κατανεμημένα συστήματα κατ' επέκταση, υπάρχουν ως έννοιες εδώ και αρκετό καιρό. Κατά καιρούς έχουν δοθεί πολλοί ορισμοί για το τι είναι ένα κατανεμημένο σύστημα χωρίς όμως να υπάρχει συμφωνία μεταξύ τους^[63]. Ωστόσο, υπάρχουν πάρα πολλές εφαρμογές οι οποίες κάνουν χρήση των εννοιών του και των εφαρμογών του.

Για παράδειγμα η χρήση βάσεων δεδομένων οι οποίες έχουν καταταμηθεί και βρίσκονται σε διαφορετικά φυσικά συστήματα αλλά είναι διαθέσιμες άμεσα και ολοκληρωμένα χωρίς να γίνεται αντιληπτή η παραπάνω κατάτμηση.

2.5.2. Ορισμός

Ο ορισμός που προτείνω και που αναφέρεται εδώ ^[63] είναι αυτός ενός συστήματος από ξεχωριστά υπολογιστικά συστήματα τα οποία είναι διακριτά μεταξύ τους αλλά εμφανίζονται σαν ένα ενιαίο σύστημα στους χρήστες του.

Ωστόσο, ένα καταναμημένο σύστημα έχει πολλές παραπάνω απαιτήσεις και χαρακτηριστικά^[63], και δεν μπορεί να οριστεί εξ ολοκλήρου από τον παραπάνω ορισμό.

2.5.3. Distributed Computing και IoT

Το IoT θα μπορούσε να θεωρηθεί ως ένα καταναμημένο σύστημα καθώς έχει τα βασικά χαρακτηριστικά ενός τέτοιου συστήματος, όπως δίκτυα κόμβων και καταναμημένο φόρτο εργασίας.

Ένα ολοκληρωμένο σύστημα IoT περιέχει πολλές ανομοιογενείς συσκευές οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους. Ωστόσο, αυτή η ετερογένεια δεν είναι εμφανής στους χρήστες του ακόμα και αν αυτοί είναι άλλες συσκευές που επικοινωνούν με ένα τέτοιο σύστημα. Δηλαδή, συνδέει πόρους με χρήστες (ακόμα και αν αυτοί είναι άλλες συσκευές), είναι διαφανές εφόσον εμφανίζεται σαν ένα ενιαίο σύστημα στους χρήστες του, λειτουργεί ανοιχτά εφόσον κάθε υπηρεσία που προσφέρει είναι τυποποιημένη τουλάχιστον μέσα στο ευρύτερο σύστημά του, και τέλος είναι επεκτάσιμο εφόσον δίνει τη δυνατότητα να προστεθούν περισσότεροι κόμβοι και συστήματα στο υπάρχον σύστημα^[63].

2.5.3.1. Μοντέλα Καταναμημένου Υπολογισμού

Πέρα από τις τεχνολογίες λογισμικού, υλικού και των διάφορων τεχνολογιών επεξεργασίας δεδομένων που εξυπηρετούν το IoT, ένα σημαντικό κομμάτι του, είναι και οι τεχνολογίες καταναμημένου υπολογισμού που χρησιμοποιούνται για τον καταμερισμό και την καταναμημένη χρήση των πόρων, σε αυτό. Η αδυναμία εξάλλου των συστημάτων IoT, σε επεξεργαστική ισχύ και σε υπολογιστικούς πόρους γενικότερα, γίνεται εμφανής και στο κομμάτι της ασφάλειας (βλ. [2.1.3. – Προβλήματα και Προκλήσεις/ Ασφάλεια και ιδιωτικότητα](#)).

Αυτές οι τεχνολογίες, ωστόσο, δεν εξυπηρετούν μόνο το φυσικό κομμάτι της επικοινωνίας και τον διαμοιρασμό πόρων αλλά εισχωρούν και στο μοντέλο λειτουργίας των συστημάτων IoT έτσι ώστε να ενισχύσουν την λειτουργία τους και την διαλειτουργικότητα των μερών τους αποτελεσματικά.

Υπάρχουν διάφορα μοντέλα τέτοιων τεχνολογιών τα οποία διαμορφώνουν το πώς οι υπηρεσίες και οι εφαρμογές που προσφέρει ένα IoT σύστημα, αλληλεπιδρούν και επικοινωνούν μεταξύ τους. Παρακάτω αναφέρουμε μερικά από αυτά τα πρότυπα και μοντέλα που χρησιμοποιούνται από το IoT, με την βοήθεια των οποίων διαμορφώνονται ολοκληρωμένα συστήματα.

2.5.3.2. Cloud Computing

Το cloud computing αναδείχθηκε σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες, αλλά ερευνάται από το 1960^[12]. Τα τελευταία χρόνια λόγω ανάγκης «αναβάθμισης» των υπαρχόντων προτύπων και μοντέλων δικτύων, καθώς και η ολοένα μεγαλύτερη ανάγκη δημιουργίας υπηρεσιών οι οποίες δεν βρίσκονται στο ίδιο φυσικό σύστημα ή δίκτυο του χρήστη, το cloud computing άρχισε να εμφανίζεται στο προσκήνιο δίνοντας τη δυνατότητα πρόσβασης στις παραπάνω υπηρεσίες μέσω απομακρυσμένων δικτύων ή του διαδικτύου^[64]. Πλέον, είναι μια από τις κατεξοχήν κύριες υποδομές σε πολλές διαδικτυακές υπηρεσίες και κατέχει μεγάλο «κομμάτι» σε πολλά μοντέλα αρχιτεκτονικής συστημάτων και υπηρεσιών και κατ' επέκταση σε πολλές υλοποιήσεις αυτών. Στο IoT αντίστοιχα, γίνεται ευρεία χρήση του (πολλά παραδείγματα αναφέρονται στην εργασία ^[12]) στα διάφορα μοντέλα αρχιτεκτονικής που χρησιμοποιούνται και αποτελεί μια από τις πιο πάγιες τεχνολογίες στον τομέα, δεδομένου ότι καλύπτει πολλά προβληματικά σημεία της IoT αρχιτεκτονικής.

Γενικά, υπάρχουν πολλοί ορισμοί για το τι είναι cloud computing όμως κανένας δεν συγκεκριμενοποιεί πλήρως την έννοια ^[64]. Παρακάτω παραθέτουμε μερικές απόψεις για το πώς ορίζεται:

- Το cloud computing λειτουργεί σαν ένα αφηρημένο επίπεδο δικτύου στο οποίο έχουν πρόσβαση οι συσκευές των χρηστών και μέσα από το οποίο δίνεται η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά διάφορες εφαρμογές και υπηρεσίες, απομακρυσμένα ^[64].
- Άλλος ορισμός λέει ότι το cloud computing, βασιζόμενο στο Internet, κάνει δυναμικά διαθέσιμα: εφαρμογές, υπηρεσίες, λογισμικό και άλλους εικονικούς πόρους καθώς και υλικό, σε διάφορα άλλα υπολογιστικά συστήματα όταν ζητηθούν, χωρίς ωστόσο οι χρήστες τους να «γνωρίζουν» τα χαρακτηριστικά του, ως προς το πώς λειτουργεί ή πώς διαχειρίζεται^[12].

Το IoT σε πολλές εφαρμογές του τόσο στον αγροτικό όσο και σε άλλους τομείς, χρησιμοποιεί το cloud για διάφορους σκοπούς ^{[12][64][65]}. Ένας από τους πιο συνηθισμένους είναι η εξαγωγή προ-επεξεργασμένων δεδομένων προς αυτό, με σκοπό την τελική επεξεργασία τους και την εξαγωγή πληροφοριών από αυτά (cloud computing), όπως στην εφαρμογή στο ^[48]. Το cloud ωστόσο μπορεί να πάρει και άλλους ρόλους, σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα IoT, όπως την προσφορά διάφορων εφαρμογών και υπηρεσιών στους «τελικούς χρήστες» (end users)⁵ του συστήματος ^{[7][48]}. Για παράδειγμα υπηρεσίες “cloud storage” ^{[7][29][30][48]} (Gubbi et al., 2013).

Η επιλογή του cloud computing, σαν επιπρόσθετο μοντέλο στην αρχιτεκτονική του IoT είναι αρκετά καλή επιλογή. Δίνει στο IoT ένα διακριτό, ανεξάρτητο μοντέλο, το οποίο ασχολείται με διάφορα θέματα στα οποία ένα IoT δίκτυο είναι εγγενώς αδύναμο και επιπλέον δίνει δυνατότητες επέκτασης. Επομένως, μπορεί να προσαρμοστεί σε τυχόν επέκταση του εκάστοτε συστήματος που χρησιμοποιεί ένα τέτοιο μοντέλο.

⁵ Wikipedia contributors. (2019, June 4). End user. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved June 17, 2019, from https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=End_user&oldid=900193230

2.5.3.3. Fog Computing

Το πρότυπο του Fog Computing αναπτύχθηκε με σκοπό την γεφύρωση των τεχνολογιών νέφους (cloud) και του IoT^[28] και θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι το αποτέλεσμα της εξέλιξης διάφορων άλλων τεχνολογιών όπως π.χ. το cloud computing (Fernando, Loke & Rahayu, 2013; Ahmed & Rehmani, 2017; Chiang & Zhang, 2016). Το fog computing είναι αρκετά καινούριο πρότυπο και κατ' επέκταση δεν έχει εδραιωθεί ακόμα^[70]. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην υπάρχει σαφής ορισμός για το τι είναι, αλλά προσδιορίζεται πιο συγκεκριμένα από τη λειτουργία του η οποία είναι, να φέρνει κόμβους με επεξεργαστική ισχύ πιο κοντά στους κόμβους των φυσικών υποδομών ενός κατακευματισμένου δικτύου^{[28][70][71]}.

Το πρότυπο, έχει άμεση σχέση με την ανάπτυξη του IoT και ένας από τους λόγους που δημιουργήθηκε είναι και η υποστήριξη τέτοιων δικτύων (IoT) (Negash et al., 2018). Σαν κύρια δυνατότητα προσφέρει στα δίκτυα IoT, μια επέκταση του cloud με ενισχυμένη ασφάλεια και ιδιωτικότητα (Naranjo et al., 2017; Byers, 2017), (βλ. [2.1.3.1 – Ασφάλεια και Ιδιωτικότητα](#)) χωρίς ωστόσο, αυτό να σημαίνει ότι δεν αντιμετωπίζει προβλήματα ασφάλειας και ιδιωτικότητας, τα οποία αναπόφευκτα «κληρονομεί» από τις αρχιτεκτονικές cloud^[28]. Επίσης, προσφέρει έναν τρόπο επικοινωνίας μεταξύ ετερογενών συσκευών, το οποίο αποτελεί ένα από τα κύρια προβλήματα του IoT, λόγω έλλειψης προτυποποίησης και σχεδιασμού, όπως αναφέρθηκε και στο [2.1.3.2 – Προτυποποίηση](#) (Botta et al., 2016).

Πολλά από τα προβλήματα που έχουμε αναφέρει στο [2.1.3.1 – Ασφάλεια και Ιδιωτικότητα](#) βρίσκουν λύσεις με τη χρήση του μοντέλου fog computing, όπως προβλήματα ιδιωτικότητας, όπου προτείνεται ο περιορισμός μετάδοσης ευαίσθητων δεδομένων ή προβλήματα διαμοιρασμού πόρων, όπου με την χρήση fog computing γίνεται δυνατή η υλοποίηση συνηθισμένων μοντέλων πρόσβασης πόρων, όπως access list^[28].

Γενικά, θα λέγαμε ότι η ιδέα πίσω από το fog computing, όσον αφορά τη συμβολή του στο IoT είναι, ότι εφόσον εγγενώς οι κόμβοι ενός IoT συστήματος έχουν χαμηλή επεξεργαστική ισχύ, περιορισμένες δυνατότητες και απόδοση καθώς και περιορισμένη αυτονομία, με την εισαγωγή κόμβων που υποστηρίζουν τα πρότυπα του fog computing, πολλά προβλήματα που απορρέουν από αυτές τις περιορισμένες δυνατότητες των συμβατικών κόμβων IoT, θα εξαλειφτούν^[28].

Παράδειγμα, όσον αφορά την ασφάλεια συστημάτων IoT, είναι η δυνατότητα κρυπτογράφησης η οποία είναι αρκετά δύσκολη λόγω περιορισμένης επεξεργαστικής ισχύος, από συμβατικούς κόμβους IoT. Με τη χρήση του μοντέλου fog computing γίνεται δυνατή η χρήση πιο περίπλοκων και χρήσιμων τεχνικών κρυπτογράφησης (βλ. [2.1.3.1. – Ασφάλεια και Ιδιωτικότητα/ Ακεραιότητα Δεδομένων](#)).

Δυστυχώς, το fog computing, ενώ λύνει κάποια προβλήματα της αρχιτεκτονικής του IoT, δημιουργεί άλλα προβλήματα. Όπως για παράδειγμα, ο συγχρονισμός λειτουργίας των κόμβων^[71] ή η αντιμετώπιση της ετερογένειας των κόμβων, όπως φαίνεται στο παράδειγμα στο ^[70]. Η αντιμετώπιση της ετερογένειας των κόμβων σε αυτήν την περίπτωση υφίσταται, όταν αυτή γίνεται αρκετά περίπλοκη. Όταν αυτό συμβαίνει, απαιτείται ειδική διαχείριση πόρων και χρήση ειδικών τεχνικών υπολογισμού στην ανάπτυξη εφαρμογών και υπηρεσιών^[70].

2.5.3.4. Edge Computing

Το edge computing είναι ένα πρότυπο το οποίο έχει στενή σχέση με την εξέλιξη του κλάδου του IoT και έχει στενή σχέση με το fog computing^[71]. Προτείνει, για το IoT, ένα καινούριο μοντέλο υποδομής το οποίο βασίζεται στην αποκέντρωση του φόρτου εργασίας, με τους κόμβους στην άκρη του δικτύου/συστήματος να λειτουργούν ως κατακεμημένο σύστημα επεξεργασίας^[76], αυξάνοντας έτσι την αποδοτικότητα και την επεξεργαστική ισχύ του συστήματος. Επιπλέον, παρέχει δυνατότητες διασύνδεσης με άλλων ειδών δίκτυα γεγονός το οποίο θεωρητικά, δίνει δυνατότητες επέκτασης στο μοντέλο αρχιτεκτονικής του IoT^[76].

Το edge computing, επομένως, παρέχει διάφορες εφαρμογές και υπηρεσίες με λιγότερο κόστος πόρων, μεγαλύτερη ταχύτητα (εφόσον ο υπολογισμός θα γίνεται τοπικά) και με λιγότερα προβλήματα ασφάλειας και ιδιωτικότητας (επίσης, λόγω τοπικότητας). Ωστόσο, η μεταφορά αυτή δεν μπορεί να γίνει εξ ολοκλήρου καθώς υπάρχουν εφαρμογές και υπηρεσίες οι οποίες εξακολουθούν να απαιτούν πρόσβαση στο cloud^[76].

Παρ' όλες τις δυνατότητες που μας προσφέρει το edge computing, δεν υπάρχει συστηματική εφαρμογή του η οποία να στοχεύει στην απόδοση και σε άλλες πτυχές του προτύπου, σε πραγματικές συνθήκες. Ωστόσο, αποτελεί μια καλή προοπτική για το IoT καθώς αυξάνει τις δυνατότητες επεξεργασίας ενός συστήματος βασισμένο στο IoT, το οποίο εγγενώς δεν έχει τέτοιες δυνατότητες επεξεργαστικής ισχύος από μόνο του^[76] (βλ. [2.1.3 – Προβλήματα και Προκλήσεις](#)).

2.5.3.5. Ubiquitous Computing

Ως ubiquitous computing θεωρούμε την ιδέα-πρότυπο όπου οι υπολογιστές και άλλα υπολογιστικά συστήματα καταλαμβάνουν ένα σημαντικό κομμάτι της καθημερινότητας των ανθρώπων όπως και το πώς αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον (Weiser, 2002). Οι διάφοροι υπολογιστικοί κόμβοι έχουν συγκεκριμένες και ειδικές λειτουργίες και ταυτόχρονα, συνδέονται μέσω μικρών ή μεγάλων δικτύων, και συνεργάζονται στενά ώστε να καλύψουν διάφορες ανάγκες που έχουν οι χρήστες^[7].

Το IoT θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε ότι είναι μια αρχική προσέγγιση της ιδέας-προτύπου του ubiquitous computing: Ένα σύστημα IoT στοχεύει στην αυτόνομη εισροή δεδομένων από το περιβάλλον του και με βάση την επεξεργασία και την ερμηνεία αυτών, στην αλληλεπίδραση με το περιβάλλον ή τους χρήστες του.

2.6. Επικοινωνία και Δικτύωση στα Συστήματα IoT

Όπως έχουμε αναφέρει, το μοντέλο αρχιτεκτονικής του IoT δεν είναι ακόμα πλήρως παγιωμένο. Επομένως, ανάλογα με τις διαφορετικές υλοποιήσεις έχουμε και διαφορετικά «μέρη» από τα οποία μπορεί να αποτελείται ένα ολοκληρωμένο σύστημα IoT, ανάλογα με τον σκοπό και τον σχεδιασμό του.

Ένα από τα μέρη τα οποία διαφέρουν αρκετά από σχεδιασμό σε σχεδιασμό και ανάλογα με την υλοποίηση, είναι και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας, τα οποία χρησιμοποιούνται στο εκάστοτε σύστημα, στα επίπεδα: Perception Layer, Access Gateway Layer και Network Layer (βλ. [2.1.2. - Internet of Things: State-of-the-Art/Βασική Αρχιτεκτονική](#)).

Ανάλογα με τις διάφορες συσκευές (και κατ' επέκταση κατασκευαστές) που εξυπηρετούν ως κόμβοι του συστήματος IoT, έχουμε διαφορετικές τεχνολογίες και πρωτόκολλα επικοινωνίας τα οποία έχουν σαν σκοπό να καλύψουν διαφορετικές ανάγκες που έχουν τα εκάστοτε συστήματα. Για παράδειγμα, κάποια πρωτόκολλα ή τεχνολογίες εστιάζουν σε μικρό overhead⁶, έτσι ώστε να έχουμε μικρότερο φόρτο επικοινωνίας και λιγότερη κατανάλωση ενέργειας.

Άλλα πρωτόκολλα εστιάζουν στο εύρος κάλυψης, δεδομένου ότι μπορεί να έχουμε συστήματα IoT τα οποία προσπαθούν να καλύψουν ολόκληρες καλλιεργήσιμες εκτάσεις πολλών τετραγωνικών χιλιομέτρων. Άλλες τεχνολογίες, όπως το Bluetooth⁽⁴⁾ είναι σχεδιασμένες εγγενώς, για επικοινωνία σε μικρές αποστάσεις με περιορισμένες ενεργειακές απαιτήσεις. Επομένως, ανάλογα με την υλοποίηση του εκάστοτε συστήματος IoT μπορεί να γίνει χρήση διαφορετικών τεχνολογιών.

Επιπλέον, υπάρχουν διαφορετικά πρωτόκολλα ή τεχνολογίες δικτύωσης τα οποία χρησιμοποιούνται για επικοινωνία μεταξύ των κόμβων για ανταλλαγή δεδομένων, και διαφορετικά πρωτόκολλα ή τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται μεταξύ των διάφορων κόμβων ή ολόκληρου του δικτύου –του εκάστοτε συστήματος IoT– για επικοινωνία με άλλο δίκτυο ή με το Διαδίκτυο, όπως φαίνεται σε διάφορες εφαρμογές στην βιβλιογραφία. Δεδομένης της ανομοιογένειας των συστημάτων IoT μπορεί, ενδεχομένως, να υπάρχουν και μέρη του συστήματος, τα οποία να χρησιμοποιούν διαφορετικά πρωτόκολλα και τεχνολογίες επικοινωνίας το κάθε ένα.

Επομένως, τόσο οι διάφορες συσκευές που είναι μέρος ενός συστήματος IoT, όσο και τα διάφορα αντικείμενα τα οποία συμμετέχουν στην επικοινωνία και τη διάδοση πληροφοριών (όπως τα διάφορα “things”, βλ. κεφ. [2.1.1. – Internet of Things: Ορισμός](#)), μπορεί να χρησιμοποιούν διαφορετικά πρωτόκολλα και τεχνολογίες επικοινωνίας.

2.6.1. Τεχνολογίες Δικτύωσης

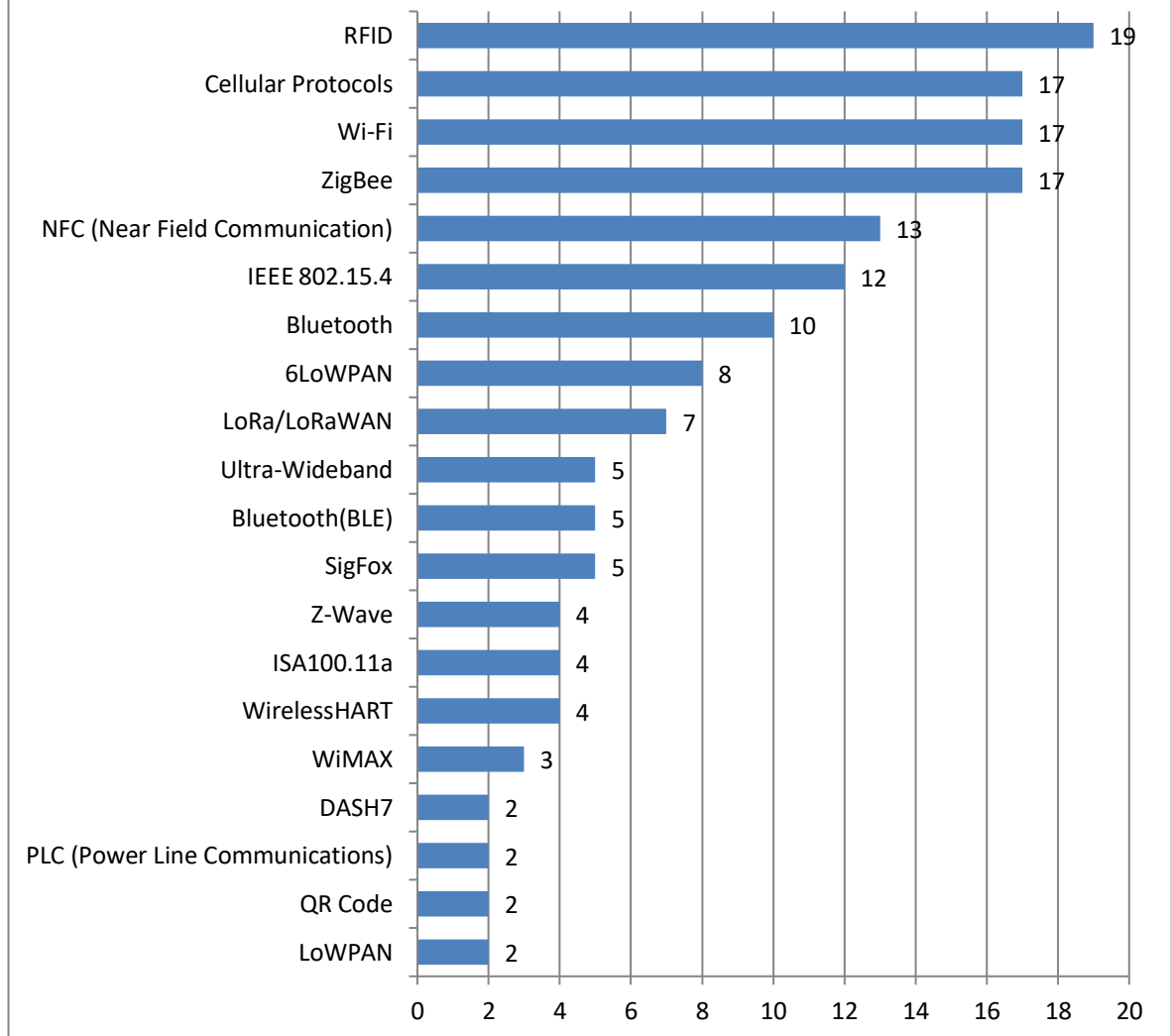
Παρακάτω παρουσιάζονται, ενδεικτικά, κάποια από τα πρωτόκολλα και τις τεχνολογίες που αναφέρονται στη βιβλιογραφία και προτείνονται ως υλοποιήσεις σε συστήματα IoT, για τον αγροτικό τομέα ή αναφέρονται ενδεικτικά, για άλλες εφαρμογές IoT. Η αναφορά θα γίνει ανά επίπεδο (layer). Ωστόσο, μερικές τεχνολογίες μπορεί να χρησιμοποιούνται σε παραπάνω από ένα επίπεδα/στρώματα.

Μερικές από τις τεχνολογίες-πρότυπα στην βιβλιογραφία αναφέρονται μεμονωμένα και επομένως δεν θα τα συμπεριλάβω στα παρακάτω γραφήματα, δεδομένου ότι δεν έχω την δυνατότητα να τα λάβω υπόψη σαν αντιπροσωπευτικό δείγμα. Επιπλέον, τα παρακάτω γραφήματα δεν έχουν ως σκοπό την εξαντλητική απαρίθμηση των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται ή δύνανται να χρησιμοποιηθούν σε συστήματα IoT. Κάτι τέτοιο βρίσκεται εκτός του θέματος της εργασίας και απαιτεί εκτενή ακαδημαϊκή και στατιστική έρευνα.

Συνοπτικά, οι αναφορές που βρήκα στην βιβλιογραφία φαίνονται στα εξής γραφήματα:

⁶ Wikipedia contributors. (2019, March 24). Overhead (computing). In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved June 17, 2019, from [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Overhead_\(computing\)&oldid=889322063](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Overhead_(computing)&oldid=889322063)

Τεχνολογίες δικτύωσης του IoT στον αγροτικό τομέα



Γράφημα. 1 Ενδεικτικές αναφορές της βιβλιογραφίας σε τεχνολογίες και πρωτόκολλα επικοινωνίας και δικτύωσης του IoT, στον αγροτικό τομέα.

Παρατηρήσεις

Αξίζει να σημειωθεί σε αυτό το σημείο, ότι οι περισσότερες αναφορές που βρήκα έγιναν ενδεικτικά ακόμα και μέσα στις πηγές. Πρακτικά μπορεί να υπάρχουν πολλές άλλες τεχνολογίες ή/και πρωτόκολλα που έχουν υλοποιηθεί για να καλύψουν τις ανάγκες επικοινωνιών σε ένα σύστημα IoT. Επιπλέον, πολλές πηγές αναφέρουν τις διάφορες τεχνολογίες δικτύωσης συνοπτικά με όρους-ομπρέλα, όπως “low power wireless protocols/technologies” κ.τ.λ.

Ενδεικτικά, βλέπουμε ότι από τις σχετικές αναφορές, ότι αν και υπάρχει μια σχετική ομοιογένεια, το πρότυπο IEEE 802.15.4⁷ και τα πρότυπα ZigBee και 6LoWPAN τα οποία βασίζονται στο πρότυπο IEEE 802.15.4, όπως αναφέρει η Wikipedia (“IEEE 802.15.4”, 2019), εμφανίζονται περισσότερο από άλλα πιο κλειστά πρότυπα όπως SigFox κ.α., για την επικοινωνία συσκευών και τη δικτύωση, στην βιβλιογραφία. Όπως αναφέρεται από τους (Tzounis et al., 2017), τα πρωτόκολλα αυτά είναι από τα πιο διαδεδομένα.

Παρατηρούμε ότι μια από τις πιο συχνά αναφερόμενες τεχνολογίες είναι το RFID και το NFC καθώς και το Bluetooth και το αντίστοιχο πρότυπό του, BLE.

Οι τεχνολογίες αυτές έχουν σχεδιαστεί εξ αρχής με σκοπό την εξυπηρέτηση συσκευών οι οποίες έχουν περιορισμένους πόρους και δεν αφορούν την επικοινωνία συσκευών, για μεγάλες αποστάσεις⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾. Επίσης, οι παραπάνω τεχνολογίες –όσον αφορά τη λειτουργία τους– έχουν μικρό ρυθμό κατανάλωσης ενέργειας σε σχέση με άλλες τεχνολογίες, όπως το συμβατικό μοντέλο WiFi. Βάσει των παραπάνω, αποτελούν καλές υποψήφιες τεχνολογίες για τις ανάγκες των περισσότερων IoT συστημάτων, οι οποίες αφορούν την παρακολούθηση. Συνήθως εγκαθίστανται κοντά στις τοποθεσίες παρακολούθησης, σε συσκευές με περιορισμούς σε υπολογιστικούς πόρους και ενεργειακή παροχή.

2.6.2. Περιγραφή Τεχνολογιών

Περιγραφή

Παρακάτω παραθέτουμε, συνοπτικά, τα χαρακτηριστικά του κάθε προτύπου-τεχνολογίας δικτύωσης, με τυχαία σειρά αναφοράς:

RFID

Η τεχνολογία RFID⁽⁴⁾ λειτουργεί με τη διάδοση δεδομένων μέσω ραδιοσυχνοτήτων, με τη χρήση μικρών συσκευών–ετικετών οι οποίες λειτουργούν ενεργητικά με αυτόνομες πηγές ενέργειας ή παθητικά με τη χρήση συσκευών για την τάρωσή τους, χωρίς να απαιτείται line-of-sight με τις ετικέτες RFID ^{[2][11][19](4)}. Η τεχνολογία αυτή έχει ήδη διάφορες εφαρμογές (σε άλλους κλάδους) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο IoT σαν ένα μέσο ανίχνευσης αντικειμένων ή επικοινωνίας δεδομένων^{[2][19]}. Επιπλέον, το μέγεθος των μικροτσίπ κάνουν πολύ εύκολη την εγκατάστασή τους σε τοποθεσίες με μη-ιδανικές συνθήκες περιβάλλοντος^[2] ή/και με περιορισμένες δυνατότητες εγκατάστασης άλλων ηλεκτρονικών συσκευών. Υπάρχουν ωστόσο, διαφορές στην υλοποίηση μεταξύ παθητικών και ενεργών RFID tags, όπου τα τελευταία έχουν μεγαλύτερο εύρος κάλυψης σε σχέση με τα παθητικά^[19].

⁷ Wikipedia contributors. (2019, May 21). IEEE 802.15.4. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved June 17, 2019, from https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=IEEE_802.15.4&oldid=898104134

NFC

Η τεχνολογία NFC⁽⁵⁾ έχει σχεδιαστεί για την επικοινωνία συσκευών για αποστάσεις μερικών εκατοστών^{[11][19](5)}. Λειτουργεί παρόμοια με την τεχνολογία RFID, χωρίς ωστόσο να είναι σχεδιασμένες με τον ίδιο τρόπο^[19], όπου η μια συσκευή παράγει ένα πεδίο ραδιοσυχνότητας έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί επικοινωνία μεταξύ των συσκευών.

Η διαφορά έγκειται στο ότι η τεχνολογία NFC υποστηρίζει επικοινωνία δύο κατευθύνσεων όπου οι συσκευές διαμορφώνουν ένα peer-to-peer⁸ δίκτυο για την επικοινωνία μεταξύ τους^[19], όπως αναφέρεται και στο άρθρο της Wikipedia (“Near-field communication”, 2019). Σύμφωνα με την Wikipedia (“Near-field communication”, 2019), αν και δεν έχει μεγάλες ενεργειακές απαιτήσεις γενικά, παρ’ όλα αυτά, σε κάποιες περιπτώσεις, (το NFC) απαιτεί λίγο παραπάνω ενέργεια από το BLE πρότυπο (Bluetooth Low Energy)⁽⁵⁾.

Bluetooth

Το πρότυπο Bluetooth αποτελεί αρκετά παλιά τεχνολογία σε σχέση με τις υπόλοιπες τεχνολογίες τις οποίες αναφέραμε⁽³⁾. Η τεχνολογία σχεδιάστηκε για την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ συσκευών, με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, για σχετικά μικρές αποστάσεις (σύμφωνα με την Wikipedia (“Bluetooth”, 2019) περίπου μέχρι και 100m), με την διαμόρφωση PANs (Personal Area Network)⁽³⁾. Σύμφωνα με την (Borgia, 2014), χρησιμοποιείται σε συστήματα IoT κυρίως στην φάση συλλογής δεδομένων.

Bluetooth Low Energy (BLE)

Το Bluetooth Low Energy είναι ουσιαστικά ένα νέο πρότυπο δικτύωσης, το οποίο είναι σχεδιασμένο για λειτουργία σε ιδιαίτερα χαμηλά επίπεδα ενέργειας, προσφέροντας την ίδια απόσταση κάλυψης⁽⁶⁾. Το πρότυπο αυτό, δεδομένου ότι έχει πολύ χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις, αποτελεί ένα αξιόλογο «υποψήφιο» πρότυπο για χρήση σε συστήματα IoT, τα οποία ήδη από τον σχεδιασμό τους έχουν προβλήματα ενεργειακής αυτονομίας όσον αφορά κάποια κομμάτια τους.

Να σημειωθεί εδώ ότι το πρότυπο δεν είναι αντίστροφα συμβατό με το συμβατικό πρότυπο Bluetooth⁽⁶⁾. Αυτό αν και δεν αποτελεί άμεσο μειονέκτημα από μόνο του, αν λάβουμε υπόψη ότι ένα από τα προβλήματα των IoT συστημάτων είναι η διαλειτουργικότητα των διάφορων μερών του συστήματός τους^[13], μπορεί να αποβεί εμπόδιο στον σχεδιασμό και τη λειτουργία τους.

QR Code

Τα QR Codes είναι μια σχετικά καινούρια τεχνολογία/πρότυπο (δημιουργήθηκε το 1996 στην Ιαπωνία), το οποίο σχεδιάστηκε αρχικά για γρήγορη σάρωση και αναγνώριση⁽⁷⁾. Παρέχει την δυνατότητα κωδικοποίησης πληροφορίας με τη βοήθεια

⁸ Wikipedia contributors. (2019, June 16). Peer-to-peer. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved June 17, 2019, from <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Peer-to-peer&oldid=902077495>

ενός «δυσδιάστατου Barcode⁹»⁽⁷⁾. Αν και το QR Code σαν τεχνολογία εγγενώς, δεν προσφέρει αρκετές δυνατότητες για την τοποθέτησή του σε σημαντικές υποδομές ενός μοντέλου IoT, βοηθάει πάρα πολύ στην εγκατάσταση και σε άλλα «παράπλευρα» θέματα, όσον αφορά τα συστήματα IoT, διευκολύνοντας έτσι την εφαρμογή τους^[2].

Ultra-Wideband

Η τεχνολογία Ultra-Wideband είναι μια τεχνολογία ραδιοσυχνοτήτων η οποία παρέχει ιδιαίτερα χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις για εφαρμογές επικοινωνίας σε κοντινές αποστάσεις^{[29](8)}. Επιπλέον, η χρήση των συχνοτήτων γίνεται με τέτοιο τρόπο που θεωρητικά δίνει τη δυνατότητα παράλληλης λειτουργίας με άλλες εφαρμογές ή τεχνολογίες, οι οποίες χρησιμοποιούν χαμηλές ραδιοσυχνότητες^{[29](8)}.

Όπως γίνεται αναφορά στην Wikipedia (“Ultra-wideband”, 2019), η τεχνολογία αυτή, χρησιμοποιείται σε εφαρμογές παρακολούθησης, εφαρμογές εντοπισμού ακριβείας και σε εφαρμογές συλλογής δεδομένων από αισθητήρες. Δεδομένου των παραπάνω, η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι μείζονος σημασίας σε εφαρμογές IoT^[4] καθώς επιτρέπει, χαμηλών ενεργειακών απαιτήσεων επικοινωνία για μικρές αποστάσεις και ταυτόχρονα δεν δυσχεραίνει την επικοινωνία άλλων τεχνολογιών-μερών συστημάτων IoT που χρησιμοποιούν χαμηλές συχνότητες, διευκολύνοντας έτσι τη διαλειτουργικότητα.

PLC (Power Line Communications)

Η τεχνολογία PLC προσφέρει δυνατότητες επικοινωνίας μέσω καλωδίων τροφοδοσίας ηλεκτρικού ρεύματος, διαμορφώνοντας το σήμα και στέλνοντάς το μέσα από αυτά⁽⁹⁾. Οι δυνατότητες που προσφέρει, ωστόσο, είναι περιορισμένες δεδομένου ότι τα καλώδια τροφοδοσίας έχουν σχεδιαστεί για να λειτουργούν σε συχνότητες 50Hz ή 60Hz, πράγμα που περιορίζει σημαντικά τη μετάδοση διαμορφωμένου σήματος μέσω αυτών⁽⁹⁾. Επιπλέον, υπάρχουν δυσκολίες όσον αφορά την υλοποίησή του, λόγω νομοθεσίας και προτύπων ανά χώρα⁽⁹⁾. Κατά καιρούς έχουν προταθεί και προωθηθεί διάφορα μοντέλα βάσει της τεχνολογίας αυτής όπως “HomePlug AV” και “HomePlug GreenPHY”⁽⁹⁾. Σαν κύριο βασικό επικυρωμένο πρότυπο θεωρείται το IEEE 1901 και το IEEE 1905 τα οποία περιλαμβάνουν τα παραπάνω μοντέλα⁽⁹⁾.

Αν και αναφέρεται στο ^[4] ως μια σημαντική τεχνολογία η οποία είναι μέρος διάφορων υλοποιήσεων, πιστεύω ότι θα βρει εφαρμογή μόνο σε πολύ συγκεκριμένες περιπτώσεις, δεδομένου ότι πολλές εφαρμογές IoT απαιτούν αυτονομία συσκευών χωρίς δυνατότητα μόνιμης παροχής ενέργειας, όπως έχουμε αναφέρει και πιο πριν (βλ. [2.1.2 – Internet of Things: State-of-the-Art/Συνδεσιμότητα](#)).

⁹ Wikipedia contributors. (2019, June 5). Barcode. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved June 18, 2019, from <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Barcode&oldid=900376957>

DASH7

Όπως αναφέρεται στην Wikipedia (“DASH7”, 2019) ⁽¹⁰⁾, το DASH7 είναι ένα ανοιχτό¹⁰ πρωτόκολλο δικτύωσης αισθητήρων και actuators, το οποίο προσφέρει εξαιρετικά αποδοτικό χρόνο ζωής για συσκευές οι οποίες λειτουργούν αυτόνομα (με μπαταρία), μεγάλο εύρος κάλυψης (έως και 2km) και την δυνατότητα επικοινωνίας με κινητές συσκευές καθώς και δικό του μοντέλο διαστρωματομένων πρωτόκολλων⁽¹⁰⁾. Επιπλέον, προσφέρει δυνατότητα κρυπτογράφησης⁽¹⁰⁾. Το μοντέλο που προτείνεται από το πρότυπο DASH7 αποτελεί, ένα άριστο πλαίσιο για τον σχεδιασμό συστημάτων IoT, εφόσον έχει σχεδιαστεί για εφαρμογές και χρήση μέσα σε WSNs (βλ. [2.7. – Wireless Sensor Network](#)), και καλύπτει επαρκώς τις βασικές απαιτήσεις σχεδιασμού και εφαρμογών που έχουν τα περισσότερα συστήματα IoT, σε αυτό το κομμάτι.

Πρότυπο IEEE 802.15.4

Το πρότυπο αυτό δημιουργήθηκε το 2003, από την αντίστοιχη ομάδα IEEE 802.15 και προτυποποιεί τις βασικές λειτουργίες του φυσικού επιπέδου (Physical Layer)¹¹ και του “Media Access Control Layer”(MAC Layer)¹² ⁽¹¹⁾. Το πρότυπο έχει σχεδιαστεί ουσιαστικά, για χρήση σε LR-WPANs¹³ (Low Rate – WPAN)^[11] και αποτελεί το βασικό πρότυπο πάνω στο οποίο βασίζονται και επεκτείνουν, άλλα πρότυπα όπως τα: ZigBee, ISA100.11a, WirelessHART και 6LoWPAN, ενδεικτικά⁽¹¹⁾.

Το πρότυπο λειτουργεί με ραδιοκύματα. Αρχικά λειτουργούσε σε συγκεκριμένες συχνότητες 826 MHz και 915 MHz, αλλά οι υλοποιημένες εφαρμογές του λειτουργούν στο εύρος 2.4 GHz ISM¹⁴. Σύμφωνα με τον (Jiang, 2015), η επικοινωνία έχει εμβέλεια περίπου 10 m με ταχύτητες μετάδοσης κοντά στα 250 kbit/sec.

¹⁰ Wikipedia contributors. (2019, June 11). Open source. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved June 23, 2019, from https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Open_source&oldid=901396802

¹¹ Wikipedia contributors. (2019, June 22). Physical layer. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved June 29, 2019, from https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Physical_layer&oldid=902948937

¹² Wikipedia contributors. (2019, May 14). Medium access control. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved June 29, 2019, from https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Medium_access_control&oldid=897115204

¹³ Wikipedia contributors. (2019, June 25). Personal area network. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved June 29, 2019, from https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Personal_area_network&oldid=903350450

¹⁴ Wikipedia contributors. (2019, July 25). ISM band. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved July 26, 2019, from https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=ISM_band&oldid=907774646

ZigBee

Το πρότυπο ZigBee, το οποίο –όπως αναφέραμε και πριν– βασίζεται στο πρότυπο IEEE 802.15.4, σχεδιάστηκε το 1998 και προτυποποιήθηκε για πρώτη φορά το 2003. Το πρότυπο υποστηρίζει μικρά δίκτυα PAN στα οποία η επικοινωνία τελείται μέσω ραδιοκυμάτων και δίνει έμφαση σε μικρές ενεργειακές απαιτήσεις, με μικρό εύρος σήματος⁽¹²⁾. Επιπλέον, το πρότυπο είναι προσανατολισμένο στο να είναι πιο οικονομικό από άλλα παρόμοια πρότυπα, όπως το Bluetooth ή το Wi-Fi⁽¹²⁾.

Βασικό χαρακτηριστικό της τεχνολογίας, το οποίο το καθιστά αρκετά καλό πρότυπο προς χρήση σε συστήματα IoT, είναι ότι έχει σχεδιαστεί για ανάγκες ενεργειακά αυτόνομων συσκευών και επιπλέον το μοντέλο το οποίο προωθεί, υποστηρίζει εγγενώς την επικοινωνία με άλλες συσκευές –με αρκετά καλό εύρος κάλυψης– δεδομένου ότι αυτός είναι ο κατ’ εξοχήν τρόπος με τον οποίο επικοινωνεί σε μεγάλες αποστάσεις⁽¹²⁾. Τέλος, παρέχει υποτυπώδη κρυπτογράφηση για ασφαλή επικοινωνία⁽¹²⁾.

WirelessHART

Η τεχνολογία/πρότυπο WirelessHART, δημιουργήθηκε το 2004 και ολοκληρώθηκε το 2007, από μια ομάδα εταιριών⁽¹³⁾. Σύμφωνα με την Wikipedia (“WirelessHART”, 2019), το πρωτόκολλο χρησιμοποιεί αρχιτεκτονική πλέγματος (mesh), με κόμβους οι οποίοι συγχρονίζονται, αυτό-οργανώνονται και έχουν δυνατότητα αυτόνομης ανάκαμψης/ανάληψης (“self-recovery”)⁽¹³⁾. Το πρότυπο συγκαταλέγεται στις λύσεις δικτύωσης συστημάτων IoT και αποτελεί λύση χαμηλών ενεργειακών απαιτήσεων^{[4][13][19]}. Επιπλέον, το μοντέλο χρησιμοποιεί ραδιοκύματα για την επικοινωνία σύμφωνα με το πρότυπο IEEE 802.15.4, ενώ αναφέρεται ότι για ασύρματη επικοινωνία χρησιμοποιεί τεχνολογίες TSMP¹⁵.

ISA100.11a

Είναι ένα πρότυπο ασύρματης επικοινωνίας το οποίο έχει ως σκοπό τον σαφή ορισμό και υλοποίηση λειτουργιών, για συστήματα τα οποία επικοινωνούν ασύρματα και αφορούν αυτοματισμούς καθώς και τον έλεγχο περιβάλλοντος⁽¹⁴⁾. Το πρότυπο επίσημα οριστικοποιήθηκε το 2009⁽¹⁴⁾.

LoWPAN/6LoWPAN

Τα παραπάνω ονόματα είναι ακρωνύμια αντίστοιχα για, “Low-power Wireless Personal Area Network” και συγκεκριμένα το «6» στο “6LoWPAN” αναφέρεται στο “IPv6¹⁶ over Low-power Wireless Personal Area Network”⁽¹⁵⁾.

¹⁵ Wikipedia contributors. (2018, September 12). TSMP. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved July 2, 2019, from <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=TSMP&oldid=859166393>

¹⁶ Wikipedia contributors. (2019, June 29). IPv6. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved July 2, 2019, from <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=IPv6&oldid=903991159>

Το πρότυπο/τεχνολογία σχεδιάστηκε με βάση την ιδέα ότι ακόμα και μικρές συσκευές, με περιορισμένη υπολογιστική ισχύ και δυνατότητες, πρέπει να έχουν τη δυνατότητα πρόσβασης σε διάφορα δίκτυα και στο internet⁽¹⁵⁾. Κατ' επέκταση το IoT επωφελείται πλήρως από αυτήν την τεχνολογία πρότυπο και τη χρησιμοποιεί ευρέως^{[4][10][29]}.

Όπως αναφέραμε και παραπάνω το πρωτόκολλο-πρότυπο αυτό βασίζεται στο πρότυπο "IEEE 802.15.4". Για να πετύχει την διαλειτουργικότητα και την συμβατότητα των δύο αυτών προτύπων το 6LoWPAN έχει δημιουργήσει ένα ενδιάμεσο επίπεδο το οποίο αναλαμβάνει την σωστή διευθυνσιοδότηση και επικοινωνία με άλλα δίκτυα τα οποία χρησιμοποιούν πρότυπα IP^{[4][10][19]}.

Το πρότυπο δίνει διάφορες δυνατότητες συμπίεσης των headers που ανταλλάσσονται κατά την διάρκεια της επικοινωνίας^{[10][11](15)} και κατ' επέκταση μειώνει το συνολικό overhead των επικοινωνιών, με αποτέλεσμα τη μείωση σε απαίτηση υπολογιστικής ισχύς και ενέργειας. Οι κατεξοχήν εφαρμογές στις οποίες προβλέπεται ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι σε αυτοματοποιημένα συστήματα⁽¹⁵⁾. Επιπλέον, παρέχει τη δυνατότητα σε όποιες συσκευές είναι συμβατές, να δημιουργούν δίκτυα πλέγματος (mesh network¹⁷) μικρής έκτασης και επίσης, δίνει τη δυνατότητα ασφαλούς δικτύωσης⁽¹⁵⁾, χωρίς ωστόσο να παρέχει ολοκληρωμένες λύσεις ασφάλειας, οι οποίες να καλύπτουν τις ανάγκες του IoT^{[10][29][45]}.

Το πρότυπο αυτό αποτελεί ένα από τα κατ' εξοχήν προτιμώμενα μοντέλα για υλοποίηση σε συστήματα IoT καθώς είναι επακριβώς σχεδιασμένο για εφαρμογές που συμπίπτουν με αυτές του μοντέλου IoT^{[10][29]}. Ο σχεδιασμός και η εξέλιξη του προτύπου, όπως αναφέρεται στην Wikipedia ("6LoWPAN", 2019) και στο^[10], συνάδει σε μεγάλο βαθμό με τις απαιτήσεις που ορίζουν τα συστήματα IoT, δίνοντας καλές προοπτικές για παράλληλη εξέλιξη και εφαρμογή και των δύο.

Όπως αναφέρουν οι (Borgia, 2014; Granjal, Monteiro & Silva, 2015), αποτελεί ένα βασικό πρότυπο για διευθυνσιοδότηση και επιπλέον, στο^[19] αναφέρεται, πως λειτουργεί και συμπεριφέρεται ο μηχανισμός συμπίεσης των header για μείωση του overhead. Ακόμα, γίνεται ενδελεχής εργασία για την προτυποποίηση διάφορων πτυχών της λειτουργίας του προτύπου, πράγματα το οποίο συμπίπτει με τις απαιτήσεις των εφαρμογών IoT^[19]. Στο^[10] δίνονται με ακρίβεια τα σημεία στα οποία το πρότυπο «βοηθάει» το μοντέλο IoT.

Wi-Fi/WiMAX

Το Wi-fi, ένα από τα πιο διαδεδομένα πρότυπα/πρωτόκολλα ασύρματης επικοινωνίας μέχρι τώρα, προτάθηκε, για πρώτη φορά, για εμπορική χρήση 1998⁽¹⁶⁾. Το Wi-fi λειτουργεί με την βοήθεια διαμορφωμένων ραδιοκυμάτων και βασίζεται στην ομάδα προτύπων IEEE 802.11⁽¹⁶⁾, ενώ ταυτόχρονα έχει σχεδιαστεί για χρήση με άλλα πρότυπα/πρωτόκολλα όπως το Ethernet^{18 (16)}. Το εύρος κάλυψης της τεχνολογίας είναι περίπου 20 μέτρα και λειτουργεί αποδοτικότερα με line-of-sight⁽¹⁶⁾ χωρίς ωστόσο να περιορίζεται σημαντικά σε διαφορετικές περιπτώσεις.

¹⁷ Wikipedia contributors. (2019, June 17). Mesh networking. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved July 2, 2019, from https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Mesh_networking&oldid=902211900

¹⁸ Wikipedia contributors. (2019, June 25). Ethernet. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved July 3, 2019, from <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Ethernet&oldid=903424127>

Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός διαφορετικών «εκδόσεων» του πρωτόκολλου που βασίζονται στο πρωταρχικό πρότυπο (π.χ. 802.11a κ.α.). Αυτές διαφέρουν σε διάφορα τεχνικά χαρακτηριστικά όπως, πως χρησιμοποιούν τις συσκευές και πως κατ' επέκταση προσφέρουν διαφορετικές δυνατότητες, χωρίς ωστόσο να περιορίζουν την χρήση πολλαπλών εκδόσεων σε μια συσκευή⁽¹⁶⁾.

Η τεχνολογία έχει ως κύριο σκοπό την διασύνδεση διάφορων συσκευών στο internet και χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο ως μέσο για την παροχή πρόσβασης σε αυτό⁽¹⁶⁾. Ωστόσο, το ίδιο το πρωτόκολλο δεν παρέχει πρόσβαση στο internet εγγενώς, αλλά δίνει αυτήν την δυνατότητα με την χρήση συσκευών διαμόρφωσης-αποδιαμόρφωσης, οι οποίες είναι συνήθως ενσωματωμένες στις συσκευές Wi-fi⁽¹⁶⁾.

Το Wi-fi σαν πρότυπο/τεχνολογία αποτελεί έναν βασικό υποψήφιο για συστήματα IoT, καθώς αποτελεί μια από τις πιο διαδεδομένες και φθηνές τεχνολογίες δικτύωσης, με αρκετά καλό εύρος κάλυψης (για τα δεδομένα του IoT) και η οποία επιπλέον, παρέχει συμβατότητα με άλλες υλοποιήσεις τις⁽¹⁶⁾. Ωστόσο, η υλοποίηση σε συσκευές IoT ενέχει κάποια βασικά μειονεκτήματα, όπως οι ενεργειακές απαιτήσεις τους, ο φόρτος κίνησης δεδομένων και η υπολογιστική ισχύς που απαιτείται για τη διεκπεραίωση επικοινωνίας μέσω της τεχνολογίας αυτής.

Το WiMAX είναι ένα πρότυπο/τεχνολογία το οποίο βασίζεται στην ομάδα προτύπων IEEE 802.16⁽¹⁷⁾. Χρησιμοποιεί παρόμοια τεχνολογία μετάδοσης σήματος με τη βοήθεια ραδιοκυμάτων. Το εύρος κάλυψης που παρέχει, ωστόσο, είναι πολύ μεγαλύτερο (μπορεί να καλύψει ολόκληρες πόλεις) και παρέχει αυξημένες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων⁽¹⁷⁾.

Παρ' όλο που το πρότυπο είναι παρόμοιο, και πολλές φορές αναφέρεται ως επέκταση ή διαφοροποίηση του Wi-fi, έχει κάποιες σημαντικές διαφορές με το Wi-fi όπως ο σχεδιασμός μηχανισμών που προβλέπουν κινητικότητα κόμβων⁽¹⁷⁾. Επιπλέον, δεν υποστηρίζει εγγενώς διευθυνσεοδότηση σύμφωνα με την αρχιτεκτονική IP⁽¹⁷⁾. Στα πλαίσια χρήσης του σαν μέθοδο δικτύωσης κόμβων για συστήματα IoT, παρατηρείται ότι υπάρχει καλύτερο εύρος κάλυψης από το Wi-fi και επιπλέον, οι μηχανισμοί handover που προσφέρει δίνουν περισσότερα περιθώρια ευελιξίας και προσφέρουν τη δυνατότητα κινητών συσκευών. Ωστόσο η συγκεκριμένη τεχνολογία/πρότυπο έχει τα ίδια μειονεκτήματα με το πρότυπο Wi-fi.

SigFox

Το πρότυπο SigFox δημιουργήθηκε από την ομώνυμη γαλλική εταιρία. Το πρότυπο χρησιμοποιεί ραδιοκύματα με διαμόρφωση ολίσθησης φάσης του φέροντος σήματος (“DBPSK¹⁹⁾”) με “Gaussian frequency shift keying (GFSK)^{20),(18)}” και λειτουργεί με τη χρήση συχνοτήτων στο “ISM” εύρος. Αυτό δίνει τη δυνατότητα για τη χρήση σήματος το οποίο μπορεί να περάσει μέσα από στερεά αντικείμενα και το οποίο έχει μεγάλη κάλυψη, με πολύ χαμηλές απαιτήσεις ενέργειας⁽¹⁸⁾. Επίσης, προσφέρει λόγω αυτών των δυνατοτήτων, πρόσβαση σε συσκευές οι οποίες

¹⁹ Wikipedia contributors. (2019, June 25). Phase-shift keying. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved July 3, 2019, from https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Phase-shift_keying&oldid=903407132

²⁰ Wikipedia contributors. (2019, June 1). Frequency-shift keying. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved July 3, 2019, from https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Frequency-shift_keying&oldid=899829355

βρίσκονται κάτω από το έδαφος⁽¹⁸⁾. Αυτό μπορεί να βοηθήσει σημαντικά τα συστήματα IoT, τα οποία αφορούν τον αγροτικό τομέα εφόσον η τοποθέτηση αισθητήρων στο υπέδαφος αποτελεί ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για την παρακολούθηση καλλιεργειών και του ίδιου του υπεδάφους. Επιπλέον, οι ενεργειακές απαιτήσεις της τεχνολογίας το καθιστούν ένα αρκετά καλό «υποψήφιο» σαν τεχνολογία, δεδομένων των απαιτήσεων σε συστήματα IoT.

Πρωτόκολλα Κινητής Τηλεφωνίας (LTE, GPRS κ.α.)

Τα πρωτόκολλα/πρότυπα τα οποία έχουν σχεδιαστεί για την επικοινωνία κινητών συσκευών και συγκεκριμένα κινητών τηλεφώνων, τα οποία αναφέρονται στην βιβλιογραφία, περιλαμβάνουν τα: GSM, GPRS, UMTS, HSPA και LTE.

Το πρωτόκολλο GSM είναι ένα πρωτόκολλο δικτύωσης τηλεφωνίας, το οποίο αναφέρεται και ως 2G και αναπτύχθηκε για να αντικαταστήσει τα προηγούμενα αναλογικά πρότυπα⁽¹⁹⁾. Το GSM αρχικά σχεδιάστηκε για την ταυτοχρονισμένη ή πλήρως αμφίδρομη επικοινωνία (full-duplex) και στη συνέχεια εξελίχθηκε σταδιακά για να υποστηρίξει μεταφορά δεδομένων (πέραν της τηλεφωνίας)· αρχικά με την χρήση ολοκληρωμένων κυκλωμάτων μεταγωγής δεδομένων (circuit-switch) και μετά με μεταγωγή πακέτων (GPRS⁽²⁰⁾ και EDGE⁽²¹⁾). Επιπλέον, το πρότυπο είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να υποστηρίζει εγγενώς, ασφαλή επικοινωνία και κρυπτογράφηση⁽¹⁹⁾.

Το GPRS, όπως αναφέρθηκε, είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας μεταγωγής πακέτων για την μεταφορά δεδομένων σε δίκτυα κινητής τηλεφωνίας αλλά και για την επικοινωνία τέτοιων συσκευών με το internet ⁽²⁰⁾. Το πρότυπο αυτό, χρησιμοποιείται σε δίκτυα 2G και 3G και προσφέρει best-effort²² υπηρεσίες κάνοντας διαμοιρασμό του διαύλου με χρήση πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης χρόνου (“TDMA²³”)⁽²⁰⁾.

Το UMTS αποτελεί πρωτόκολλο δικτύωσης κινητών συσκευών τρίτης γενιάς, το οποίο επίσης λειτουργεί με μεταγωγή πακέτων, αλλά χρησιμοποιεί την τεχνική “wideband code division multiple access (w-CDMA)²⁴” για τον διαμοιρασμό διαύλου επικοινωνίας, το οποίο επιτρέπει αποδοτικότερη χρήση του εύρους ζώνης και υποστηρίζει εγγενώς και τη μεταφορά δεδομένων⁽²¹⁾. Επιπλέον, το UMTS προσφέρει καλύτερες υπηρεσίες ασφάλειας σε σχέση με τον «προκάτοχό» του, το GSM, καθώς προσφέρει αμφίδρομη ταυτοποίηση χρηστών και δικτύου και υποστηρίζει μεγαλύτερα κλειδιά ταυτοποίησης ώστε να δυσχεράνει τυχόν επιθέσεις⁽¹⁹⁾.

²¹ Wikipedia contributors. (2019, July 2). Enhanced Data Rates for GSM Evolution. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved July 5, 2019, from https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Enhanced_Data_Rates_for_GSM_Evolution&oldid=904555052

²² Wikipedia contributors. (2018, January 25). Best-effort delivery. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved July 5, 2019, from https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Best-effort_delivery&oldid=822213117

²³ Wikipedia contributors. (2019, April 25). Time-division multiple access. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved July 5, 2019, from https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Time-division_multiple_access&oldid=894129451

²⁴ Wikipedia contributors. (2019, July 3). Code-division multiple access. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved July 5, 2019, from https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Code-division_multiple_access&oldid=904669631

Το HSPA είναι ο συνδυασμός δύο ξεχωριστών προτύπων τεχνολογιών: “High Speed Downlink Packet Access (HSDPA)” και “High Speed Uplink Packet Access (HSUPA)”⁽²²⁾. Έχει σαν σκοπό τη βελτίωση απόδοσης όσον αφορά την μεταφορά δεδομένων για δίκτυα τρίτης γενιάς τα οποία χρησιμοποιούν τεχνικές w-CDMA, όπως το UMTS⁽²²⁾. Το 2008 άρχισε να γίνεται και χρήση του “Evolved High Speed Packet Access” (“HSPA+”) το οποίο επιτρέπει μεγαλύτερες ταχύτητες μετάδοσης από το HSPA⁽²²⁾.

Το LTE είναι μια τεχνολογία/πρότυπο το οποίο αποτελεί εξέλιξη των παραπάνω προτύπων που αναφέραμε, μαζί με κάποιες άλλες βελτιώσεις όπως η «απλούστευση» της αρχιτεκτονικής δικτύωσης και επικοινωνίας, και η μετατροπή του σε επικοινωνία βασισμένη στην IP καθώς και η καλύτερη προσαρμογή του σήματος και η αποδοτικότερη διαμόρφωση του με νέες τεχνικές⁽²³⁾.

Αν και τα παραπάνω πρότυπα/τεχνολογίες, είναι από τις πιο διαδεδομένες τεχνολογίες κινητής τηλεφωνίας και δικτύωσης -ειδικά οι τεχνολογίες 4G και οι δυνατότητες που προσφέρουν- υπόκεινται σε αρκετούς περιορισμούς^[19], οι οποίοι τα καθιστούν δύσκολα στη χρήση τους σε συστήματα IoT.

LoRa/LoRaWAN

Οι όροι LoRa/LoRaWAN αναφέρονται στο ίδιο πρότυπο, όπου LoRa αναφέρεται στο ίδιο το πρότυπο –στο φυσικό επίπεδο – και το LoRaWAN, στο δίκτυο το οποίο χρησιμοποιεί το παραπάνω πρότυπο. Το LoRa/LoRaWAN χρησιμοποιεί τεχνολογία ραδιοκυμάτων^[79] και την τεχνική CSS (chirp spread spectrum)²⁵ για την κωδικοποίηση δεδομένων, έτσι ώστε να κάνει πιο ανθεκτικό το σήμα σε παρεμβολές και άλλων ειδών αλλοιώσεις^[79]. Επιπλέον, είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να καλύπτει ένα μεγάλο γεωγραφικό εύρος “περίπου 2-5 km” και χρησιμοποιεί star topology^[79].

Επιπλέον, στο ^[79] αναφέρεται ότι σχεδιάστηκε, με εφαρμογές IoT σαν κύριο αποδέκτη και επιπλέον, είναι έτσι φτιαγμένο ώστε να ανταποκρίνεται στις ιδιαίτερες ανάγκες και εφαρμογές συστημάτων IoT, στον αγροτικό τομέα. Στο ^[79] γίνεται, μάλιστα, και μια παρουσίαση κάποιων εφαρμογών του προτύπου στην ίδια εργασία, όπου βλέπουμε ότι υπάρχουν διάφορες εφαρμογές IoT, στις οποίες η παραπάνω τεχνολογία χρησιμοποιείται.

Z-Wave

Το Z-Wave είναι ένα πρότυπο ασύρματων τηλεπικοινωνιών μεταξύ συσκευών για αυτοματοποίηση, κυρίως για οικιακές συσκευές^{[11](24)}. Το πρότυπο λειτουργεί με ραδιοκύματα χαμηλής ενέργειας και δημιουργεί δίκτυα mesh, για την επικοινωνία των συσκευών⁽²⁴⁾. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι το Z-Wave, όπως αναφέρεται και στην Wikipedia (“Z-Wave”, 2019), προσφέρει στο επίπεδο Εφαρμογής (Application Layer) διαλειτουργικές δυνατότητες. Επιπλέον, το 2016 ένα μέρος του πρωτόκολλου έγινε διαθέσιμο δημόσια με τον σχεδιασμό μιας ανοικτού τύπου (open-source) βιβλιοθήκης⁽²⁴⁾. Σκοπός αυτού, ήταν να βοηθήσει όποιον ενδιαφερόμενο, να σχεδιάσει λογισμικό συμβατό με το πρότυπο⁽²⁴⁾.

²⁵ Wikipedia contributors. (2019, March 7). Chirp spread spectrum. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved July 3, 2019, from https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Chirp_spread_spectrum&oldid=886685354

Το πρότυπο είναι σχεδιασμένο να λειτουργεί με “low-latency”²⁶ και χαμηλές ταχύτητες αποστολής δεδομένων, το οποίο ανταποκρίνεται καλύτερα σε συσκευές με περιορισμένες δυνατότητες, όπως αισθητήρες κ.α. ⁽²⁴⁾ Το πρότυπο χρησιμοποιεί τις ίδιες συχνότητες με το SigFox στο εύρος ISM⁽²⁴⁾, με αποτέλεσμα να μην δημιουργεί πολλές παρεμβολές σε εφαρμογές τους, πέραν κάποιων συσκευών ασύρματης τηλεφωνίας ή άλλων οικιακών συσκευών⁽²⁴⁾. Η εμβέλεια για εφαρμογές σε εξωτερικούς χώρους μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 90 μέτρα και υποστηρίζει ασφάλεια και κρυπτογράφηση, εγγενώς⁽²⁴⁾, σύμφωνα με το άρθρο (“Z-Wave”, 2019) της Wikipedia, ενώ υποστηρίζεται στο ^[11] ότι δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 30 m.

Βλέποντας τις παραπάνω τεχνολογίες συνοπτικά, μπορούμε να δούμε ότι ανάλογα με την υλοποίηση και τον συνδυασμό τους με τις αντίστοιχες συσκευές, μας δίνουν τη δυνατότητα να καλύψουμε ένα μέρος των απαιτήσεων που αφορούν τα συστήματα IoT.

Για παράδειγμα μπορούμε να επιλέξουμε να υλοποιήσουμε κάποιο πρωτόκολλο επικοινωνίας το οποίο παρέχει κάλυψη και σχετικούς μηχανισμούς ανάνηψης σε βάρος της ασφάλειας, η οποία όμως μπορεί να καλυφθεί από το λογισμικό των συσκευών αυτών. Αυτό επιτρέπει την επιλογή υλοποίησης (από τους παρόχους συσκευών) πολλών προτύπων από αυτά που αναφέραμε καθώς και άλλων, τα οποία είναι ειδικά προσαρμοσμένα με βάση τις ανάγκες των εκάστοτε σχεδιαζόμενων συστημάτων. Δεδομένου του παραπάνω, είναι δύσκολο να ορίσουμε ένα πρότυπο σαν μοναδική λύση αν λάβουμε υπόψη μας την συνολική λειτουργία του συστήματος.

Αντίθετα, μπορούμε να κάνουμε μια αρχική εκτίμηση βάσει των απαιτήσεων που ορίζουν τα περισσότερα συστήματα IoT, δηλ.:

- Συμβατότητα/διαλειτουργικότητα
- Εύρος κάλυψης/ πρόσβαση συσκευών
- Χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις
- Χαμηλές απαιτήσεις σε υπολογιστικούς πόρους
- Ασφάλεια επικοινωνιών

Βάσει των παραπάνω κριτηρίων καθώς και των τεχνολογιών/προτύπων που αναφέρθηκαν πιο πάνω, θα έλεγα ότι ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα πρότυπα SigFox, LoRa/LoRaWAN και 6LoWPAN.

Τα πρότυπα SigFox και LoRa/LoRaWAN παρέχουν επαρκές εύρος κάλυψης για της ανάγκες συστημάτων IoT, στα πλαίσια καλλιεργειών μικρού και μεσαίου μεγέθους. Το πρότυπο SigFox, μάλιστα, δίνει την δυνατότητα κάλυψης και στο υπέδαφος. Και τα δύο πρότυπα καλύπτουν τις απαραίτητες ενεργειακές απαιτήσεις. Ωστόσο, το SigFox δεν παρέχει εγγενώς συμβατότητα με άλλα πρότυπα. Το LoRa/LoRaWAN από την άλλη πλευρά, δίνει την δυνατότητα για υλοποίηση του σε ανομοιογενή συστήματα και επομένως μπορούμε να πούμε ότι προσφέρει ένα είδος έμμεσης συμβατότητας.

Το 6LoWPAN αποτελεί ένα πρότυπο σχεδιασμένο κατ’ εξοχήν για χρήση με IoT συσκευές. Παρέχει παρόμοιο εύρος κάλυψης με το SigFox (χωρίς να αναφέρεται

²⁶ Wikipedia contributors. (2019, May 19). Latency (engineering). In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved July 22, 2019, from [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Latency_\(engineering\)&oldid=897823178](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Latency_(engineering)&oldid=897823178)

ωστόσο ότι δίνει δυνατότητα κάλυψης του υπεδάφους) ενώ, η μορφή με την οποία έχει σχεδιαστεί δίνει την δυνατότητα σε τρίτους παρόχους να προωθήσουν ένα πιο καθολικό πρότυπο, κάνοντας τις συσκευές πιο συμβατές, δεδομένου ότι το πρότυπο είναι συμβατό με το TCP/IP που χρησιμοποιείται παγκόσμια. Το 6LoWPAN καλύπτει και αυτό τις ενεργειακές απαιτήσεις που ορίζουν τα συστήματα IoT και επιπλέον παρέχει κάποια βασικά χαρακτηριστικά ασφάλειας.

2.7. Wireless Sensor Network

Τα WSN²⁷ μπορούμε να πούμε ότι είναι ο ακρογωνιαίος λίθος του IoT, εφόσον περιλαμβάνει όλες τις τεχνολογίες και το υλικό πάνω στο οποίο βασίζεται το Perception Layer του IoT, και τελεί τις βασικές λειτουργίες διασύνδεσης με το περιβάλλον. Επίσης, αποτελεί τη βασική τεχνολογία στην οποία βασίζεται το RA^{[80][81]} δεδομένου ότι απαιτεί real-time²⁸ συλλογή, επεξεργασία και αυτοματοποίηση^[81].

Μπορούμε να το ορίσουμε ως ένα σύνολο από κόμβους οι οποίοι διεκπεραιώνουν συγκεκριμένους ρόλους, με σκοπό την έγκαιρη παραγωγή, τη μεταφορά και την αποθήκευση δεδομένων μέσω δικτύων σε άλλους κόμβους^[14].

Ένας άλλος ορισμός, βλέπει τα WSN ως το αμάλγαμα διάφορων τεχνολογιών. Συγκεκριμένα το ^[80] ορίζει το WSN ως: τεχνολογίες αισθητήρων, τεχνολογίες αυτοματισμού, τεχνολογίες ψηφιακής μετάδοσης δεδομένων και τεχνολογίες αποθήκευσης και επεξεργασίας δεδομένων.

Ένα WSN –συμβατικά– λειτουργεί διασυνδέοντας διάφορους κόμβους, οι οποίοι είναι με τη σειρά τους συνδεδεμένοι με αισθητήρες περιβάλλοντος (π.χ. αισθητήρες θερμοκρασίας κ.α.), σε ένα δίκτυο^[19]. Όπως αναφέραμε και πιο πριν, οι συσκευές που λειτουργούν ως αισθητήρες, έχουν περιορισμένους πόρους και ενεργειακή αυτονομία (βλ. κεφ. [2.1.2 – Internet of Things: State-of-the-art/Συνδεσιμότητα](#)). Οι αισθητήρες στη συνέχεια συνδέονται με κόμβους (επονομαζόμενοι και ως “sink nodes”^[19]) οι οποίοι συλλέγουν και ομαδοποιούν τα δεδομένα^[19]. Ανάλογα με την αρχιτεκτονική που έχει υλοποιήσει η εκάστοτε εφαρμογή, το σύστημα επεκτείνεται σε άλλου είδους «κομμάτι», όπως για παράδειγμα στο cloud ή το internet.

Στον αγροτικό τομέα, το WSN έχει λάβει τον κατεξοχήν ρόλο τέλεσης διεργασιών όσον αφορά το Perception Layer (για συστήματα IoT), για παράδειγμα η παρακολούθηση περιβάλλοντος, όπως και φαίνεται στο ^[17], λόγω του ότι σε πολλές τοποθεσίες και τοπολογίες δεν είναι δυνατή η εγκατάσταση καλωδίων (το ίδιο ισχύει βέβαια και για άλλες εφαρμογές που συναντούν παρόμοιες δυσκολίες)^[80]. Με την εξέλιξή του, πλέον επιτρέπει πολύ πιο ευέλικτη εγκατάσταση αυξάνοντας έτσι

²⁷ Wikipedia contributors. (2019, July 14). Wireless sensor network. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved July 19, 2019, from https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Wireless_sensor_network&oldid=906222476

²⁸ Wikipedia contributors. (2018, October 17). Real-time data. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved June 17, 2019, from https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Real-time_data&oldid=864482973 &

Wikipedia contributors. (2019, April 29). Real-time computing. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved June 17, 2019, from https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Real-time_computing&oldid=894705181

την χρηστικότητα του, σε σενάρια όπου αντιμετωπίζουμε δυσκολίες εγκατάστασης, ή όπου χρειάζεται λεπτομερής παρακολούθηση^[81]. Επιπλέον, το πρότυπο έχει εξελιχθεί, έτσι ώστε να μπορεί να προσφέρει οικονομική σε πόρους επικοινωνία μεταξύ των κόμβων, πράγμα το οποίο καλύπτει την απαίτηση για χαμηλή κατανάλωση ενέργειας (βλ. [2.1.2 – Internet of Things: State-of-the-Art\Συνδεσιμότητα](#)) (Wang, Zang & Wang, 2006).

Εδώ, για να γίνει σαφής ο διαχωρισμός μεταξύ του WSN και του IoT, πρέπει να τονίσω τη διαφορά ανάμεσα στην εφαρμογή ενός WSN και σε μία εφαρμογή IoT. Το IoT περιλαμβάνει εφαρμογές WSN, αλλά δεν αποτελείται μόνο από αυτές τις εφαρμογές. Το IoT περιλαμβάνει και άλλα επίπεδα χρήσης, όπως η επεξεργασία δεδομένων και τελικά, η εξαγωγή και παρουσίαση πληροφοριών σε μορφή υπηρεσίας στους χρήστες, τα οποία ένα WSN, δεν προσφέρει εγγενώς σαν μοντέλο.

2.8. Άλλες Τεχνολογίες και Πρότυπα

CoAP

Το CoAP, Constrained Application Protocol, είναι ένα ειδικό πρωτόκολλο το οποίο έχει σχεδιαστεί για χρήση με συσκευές, οι οποίες λειτουργούν υπό περιορισμούς⁽²⁴⁾. Η κύρια χρήση του, προορίζεται για δίκτυα τα οποία απαιτούν μικρή ενεργειακή κατανάλωση και στα οποία η επικοινωνία είναι ευάλωτη σε σφάλματα ή/και σε απώλειες⁽²⁴⁾. Επιπλέον, το πρωτόκολλο υποστηρίζει επικοινωνία με HTTP και καλύπτει άλλες δυνατότητες όπως multicast²⁹ και μικρό overhead⁽²⁴⁾. Επίσης, αναφέρεται ότι η κατεξοχήν χρήση του είναι για συσκευές οι οποίες συμμετέχουν σε WSNs⁽²⁴⁾.

Όπως αναφέρεται στο ίδιο άρθρο (“Constrained Application Protocol”, 2019) της Wikipedia, τα παραπάνω χαρακτηριστικά είναι σημαντικά σε συσκευές οι οποίες έχουν περιορισμένους υπολογιστικούς και ενεργειακούς πόρους, όπως στο IoT⁽²⁴⁾. Αυτό καθιστά το πρωτόκολλο ιδανικό για χρήση σε συστήματα IoT, τα οποία αφορούν τον αγροτικό τομέα, δεδομένου ότι τα δίκτυα που εγκαθίστανται σε τέτοιες περιπτώσεις όντως υπόκεινται σε απώλειες και σφάλματα.

3. Μεθοδολογία

Η παρακάτω μεθοδολογία είναι μερικώς εμπνευσμένη από την μεθοδολογία στην εργασία της πηγής^[18], η οποία βασίζει την δική της μεθοδολογία στην εργασία των Kitchenham και Charters (2007) και ονομάζεται Systematic Literature Review (SLR) όπως αναφέρεται στο^[18].

²⁹ Wikipedia contributors. (2019, July 2). Multicast. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved July 5, 2019, from <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Multicast&oldid=904447798>

3.1. Ερευνητικοί στόχοι της εργασίας

Η παρούσα εργασία έχει ως σκοπό την ανάλυση σχετικής βιβλιογραφίας (βλ. [13 – Πηγές και Βιβλιογραφία](#)) και άλλων πηγών ώστε να δώσει πληροφορίες σχετικά με τα εξής ερωτήματα:

1. Πως έχει εξελιχθεί η τεχνολογία του IoT, σε συνδυασμό με τον κλάδο του DM και του ML, στον αγροτικό τομέα.
2. Ποιες είναι συνοπτικά και ενδεικτικά οι κυριότερες τεχνολογίες που εφαρμόζονται στο IoT.
3. Ενδεικτικά, τι εφαρμογές υπάρχουν στον αγροτικό τομέα οι οποίες χρησιμοποιούν το πρότυπο του IoT σε συνδυασμό με DM και ML.
4. Ποιες είναι οι καλύτερες πρακτικές όσον αφορά την εφαρμογή των τεχνολογιών IoT, DM και ML, στον αγροτικό τομέα, σύμφωνα με την παραπάνω ανάλυση.

Τέλος, θα δοθεί η σχετική τεκμηρίωση για μια πρότυπη ιστοσελίδα η οποία θα παρουσιάζει συνοπτικά τα στατιστικά στοιχεία της εργασίας και τα σχετικά αποτελέσματα (βλ. κεφ. [11 – Τεκμηρίωση Ιστοσελίδας](#)).

3.2. Συγκέντρωση Πηγών

Για τη συγκέντρωση των πηγών της εργασίας ακολουθήθηκε η παρακάτω μεθοδολογία έτσι ώστε να καλυφθεί η απαραίτητη βιβλιογραφία για το παραπάνω θέμα.

Αρχικά έγινε συλλογή βιβλιογραφίας από τις παρακάτω επιστημονικές βιβλιοθήκες και πηγές (Γράφημα. 2):

- ISI Web of Knowledge
- IEEE Xplore
- SCOPUS
- Semantic Scholar
- Elsevier
- Science Direct
- Springer
- MDPI
- Oxford Academic
- Emerald Insight

Τα ερωτήματα που έγιναν στις μηχανές αναζήτησης των ηλεκτρονικών βιβλιοθηκών, είχαν τα παρακάτω keywords σε διάφορους συνδυασμούς έτσι ώστε να καλυφθεί μεγάλο εύρος εφαρμογών και άλλων τεχνολογιών που υποστηρίζουν τις τεχνολογίες του αγροτικού κλάδου και με τις οποίες ασχολούμαστε στην παρούσα εργασία: internet of things, iot, agriculture, security, precision farming, smart farming, data-mining/data mining, machine learning, A.I/artificial intelligence, big data, decision-making/decision making, smart agriculture, privacy, farming, precision agriculture, introduction, data processing, intelligent systems, intelligent agents, decision support systems (dss), trends, cloud computing, fog computing, computation intelligence, distributed computing, distributed computation.

Ενδεικτικά μερικά από τα ερωτήματα που έγιναν σε μηχανές αναζήτησης είναι:

- iot
- internet of things
- (iot or “internet of things”) AND security
- (iot or “internet of things”) AND privacy
- (iot or “internet of things”) AND agriculture
- (iot or “internet of things”) AND “precision agriculture”
- (iot or “internet of things”) AND “smart agriculture”
- (iot OR “internet of things”) AND farming
- (iot OR “internet of things”) AND “precision farming”
- (iot OR “internet of things”) AND smart farming
- (iot OR “internet of things”) AND “machine learning”
- (iot OR “internet of things”) AND (“data mining” OR “data-mining”)
- (iot OR “internet of things”) AND (“artificial intelligence” OR “AI”)
- (iot OR “internet of things”) AND "big data"
- agriculture AND (“data mining” OR “data-mining”)
- agriculture AND “machine learning”
- agriculture AND “big data”
- precision agriculture AND ...
- smart agriculture AND ...
- farming AND ...
- (iot OR "internet of things") AND agriculture AND (“data mining” OR data-mining”)
- (iot OR “internet of things”) AND agriculture AND “machine learning”
- (iot OR “internet of things”) AND agriculture AND “big data”
- (iot OR “internet of things”) AND “cloud computing”
- (iot OR “internet of things”) AND “distributed computing”
- (iot OR “internet of things”) AND “computation intelligence”
- Κ.Ο.Κ.

Η περίοδος αναζήτησης των πηγών ήταν από τον Οκτώβριο του 2018 έως και τον Μάρτιο του 2019. Επιπλέον, η αναζήτηση –όσον αφορά τις πηγές που ήταν σχετικές με το θέμα– έγινε για πηγές οι οποίες δημοσιεύθηκαν από το 2005 μέχρι και το 2019, έτσι ώστε να είναι έγκαιρες (Γράφημα. 3). Επιπλέον, εφαρμόστηκε ταξινόμηση με βάση τις αναφορές (“citations”) που έγιναν στις εργασίες, όπου προτιμήθηκαν εργασίες με υψηλό δείκτη αναφορών σε αυτές, χωρίς όμως να περιορίζονται αποκλειστικά από αυτό το κριτήριο.

Μετά από σύντομη εξέταση των αποτελεσμάτων των σχετικών αναζητήσεων, επιλέχθηκαν 50 πηγές. Στην συνέχεια έγινε μια πιο ενδελεχής διαλογή των πηγών με τα παρακάτω κριτήρια:

- Πόσο σχετικό ήταν το θέμα της πηγής με το θέμα της παρούσας εργασίας, για πηγές η οποίες αφορούσαν το πρωτεύον θέμα της παρούσας εργασίας. Για το συγκεκριμένο κριτήριο λήφθηκε υπόψη αν το θέμα της εκάστοτε πηγής είχε σχέση με machine learning, data-mining, data analysis και αφορούσε τον αγροτικό τομέα,

καθώς και αν η εφαρμογή των παραπάνω έγινε στο πλαίσιο της τεχνολογίας Internet of Things.

- Πόσο έγκυρες ήταν οι πηγές. Δηλαδή κατά πόσο ήταν σχετικές με το συνολικό θέμα της παρούσας εργασίας.
- Για εργασίες οι οποίες είχαν βοηθητικά θέματα, όπως π.χ. ασφάλεια για Internet of Things, λήφθηκε υπόψη πόσο επαρκώς κάλυπταν την εκάστοτε τεχνολογία/κλάδο που πραγματεύονταν.
- Σε ποιο βαθμό οι εκάστοτε εργασίες, πραγματεύονταν τεχνικά θέματα: πλήρως τεχνικές αναφορές είναι εκτός ενδιαφέροντος της παρούσας εργασίας πέραν απλής αναφοράς.

Μετά την εξέταση των 50 παραπάνω πηγών με βάση τα κριτήρια συλλέχθηκαν 36 πηγές. Μια πρώτη οργάνωση των πηγών πραγματοποιήθηκε παράλληλα με τη συλλογή και τη διαλογή τους, με βάση λέξεις-κλειδιά και τη γενική θεματολογία τους. Αυτές είναι: privacy, distributed computing, fog computing, networking, computation intelligence, computation issues, layer stack, characteristics, applications, security, standards, deployment, technologies, healthcare, green computing, ubiquitous computing, cloud computing, energy management, big data, data governance, organization issues, supply chain, infrastructure, data management, services, infrastructure, model, machine learning, data mining, data analysis, big data analysis, image processing, machine learning algorithms, risk assessment, artificial intelligence, remote sensing, precision agriculture, virtualization, deep learning, authentication, confidentiality, access control, cryptography, edge computing.

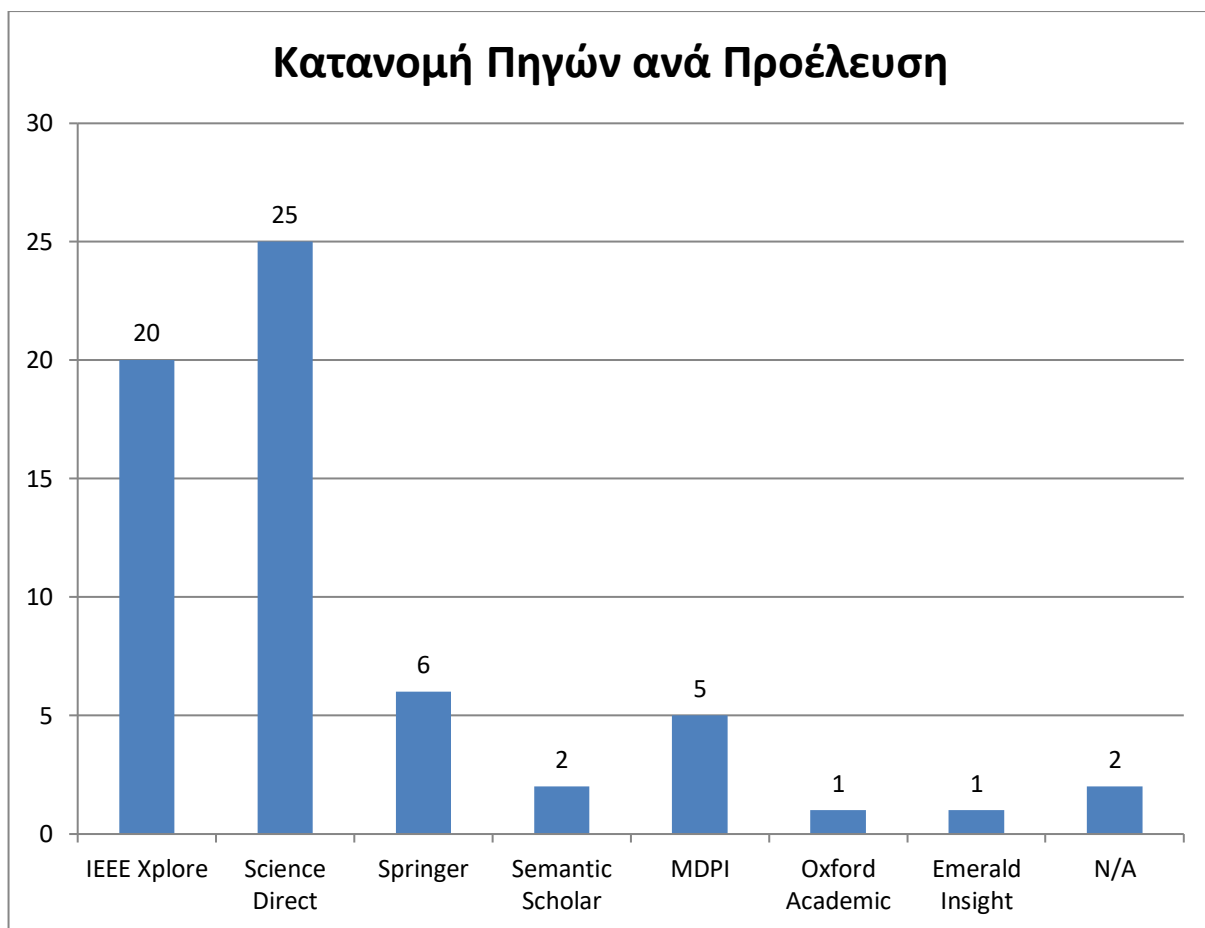
Τα αντίστοιχα θέματα ήταν (Γράφημα. 4):

- IoT Introduction
- Agriculture + IoT Introduction
- Security
- Applications
- Applications + Data mining/Machine Learning
- Data mining/Machine Learning
- Networking/Sensors
- Technology Introduction - IoT
- Technology Introduction - Machine Learning
- Technology Introduction - Data mining
- Technology Introduction - A.I.
- Technology Introduction – Distributed Computing

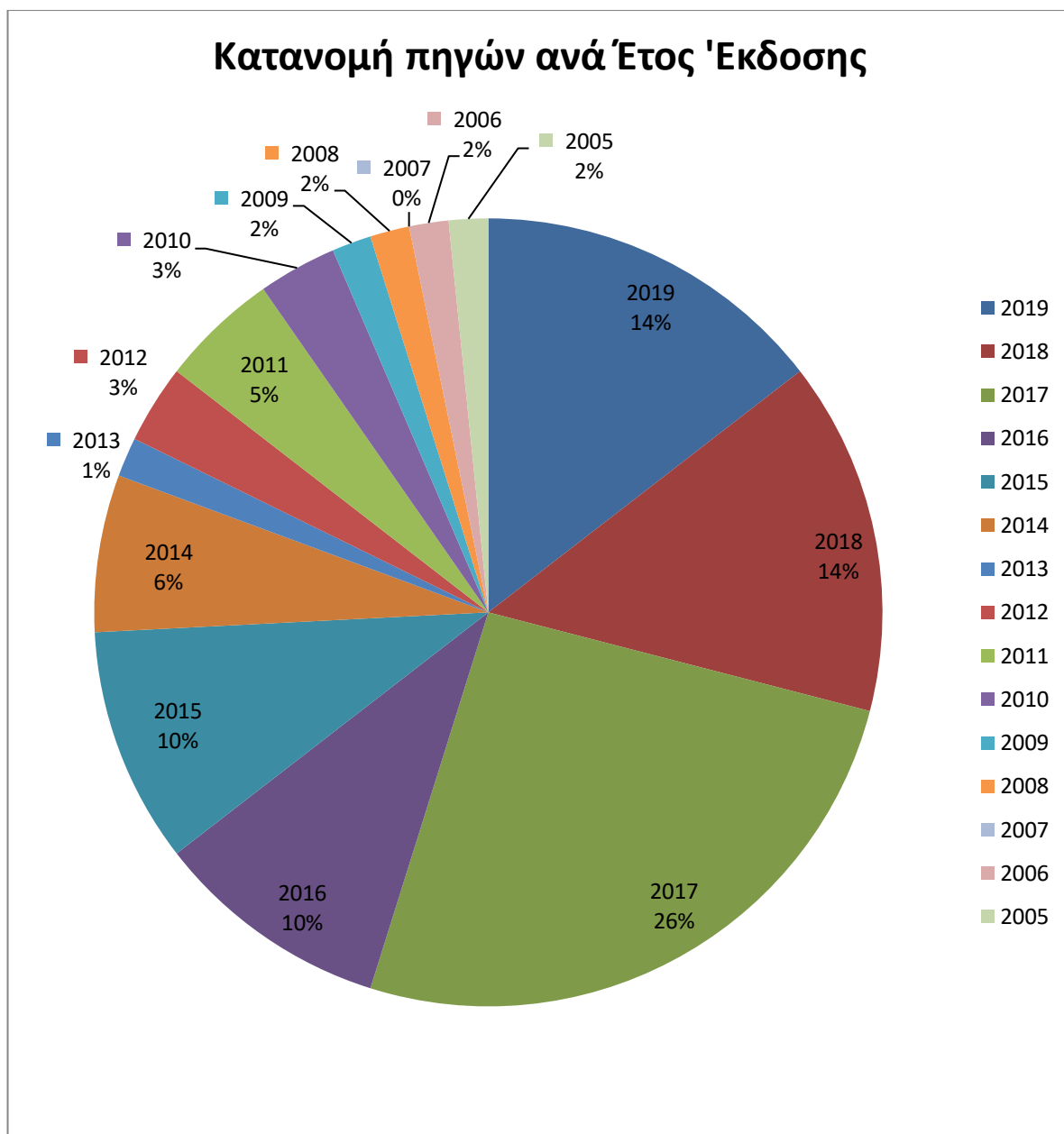
Η παραπάνω διαδικασία επαναλήφθηκε άλλες τρεις φορές έτσι ώστε να υπάρχει σωστή κάθετη και οριζόντια κάλυψη του θέματος καθώς και για να καλυφθούν καινούριες δημοσιεύσεις. Στο τέλος αυτής της διαδικασίας συλλέχθηκαν 51 πηγές.

Έπειτα, κατά περίπτωση, κατά τη συγγραφή, επιλέχθηκαν συμπληρωματικές πηγές για να καλυφθούν μερικώς ασύνδετα τμήματα της εργασίας και ελλειπείς έννοιες.

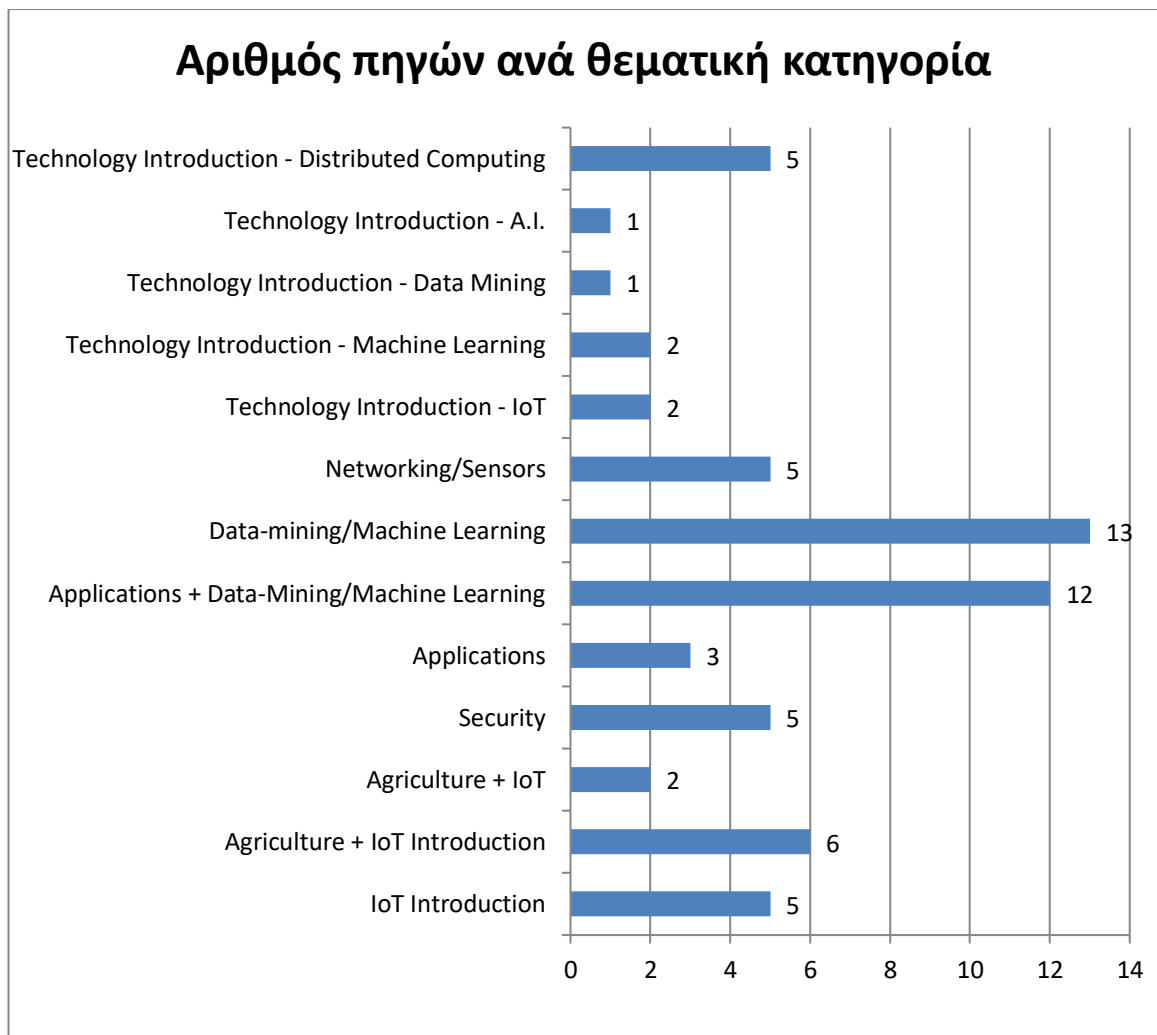
Παρακάτω παρουσιάζονται στατιστικά στοιχεία όσον αφορά την κατανομή πηγών (“N/A” είναι πηγές οι οποίες δεν προήλθαν από κάποια ηλεκτρονική βιβλιοθήκη) που επιλέχθηκαν μετά την παραπάνω διαδικασία.



Γράφημα. 2 Αριθμός πηγών ανά ηλεκτρονική βιβλιοθήκη (αρχική φάση)



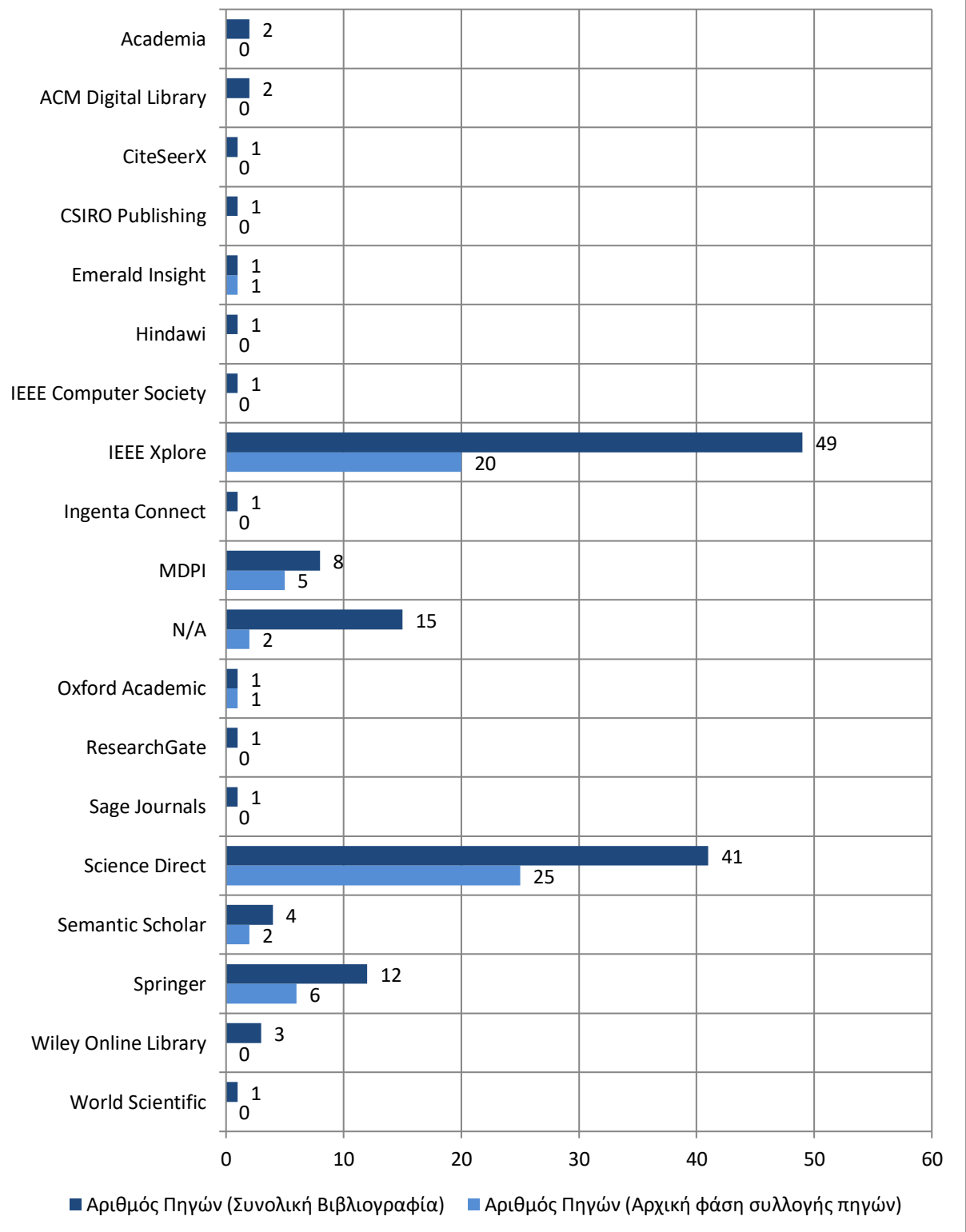
Γράφημα. 3 Αριθμός πηγών ανά έτος έκδοσης (αρχική φάση)



Γράφημα. 4 Αριθμός πηγών ανά θεματική κατηγορία (αρχική φάση)

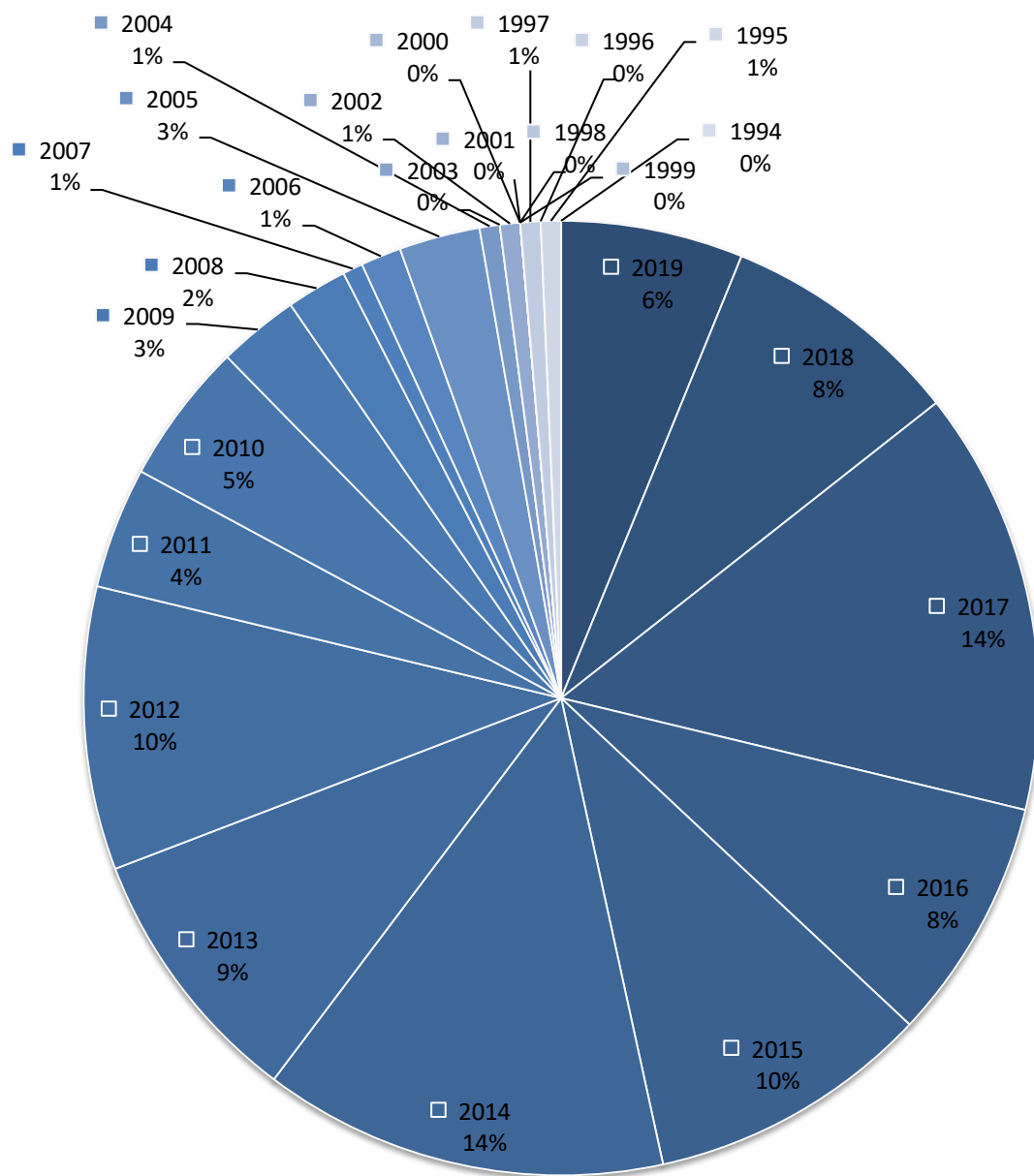
Εδώ θα δοθούν τα «συνολικά» στατιστικά στοιχεία μαζί με τις πηγές που συμπληρώθηκαν κατά την διάρκεια της συγγραφής. Να σημειωθεί ότι σε αυτά τα στοιχεία δεν περιλαμβάνουμε κατανομή θεματικών κατηγοριών δεδομένης της φύσης των υπόλοιπων πηγών.

Αριθμός πηγών ανά Προέλευση (Αρχική φάση συλλογής πηγών & Συνολική Βιβλιογραφία)



Γράφημα. 5 Αριθμός πηγών ανά ηλεκτρονική βιβλιοθήκη (όλες οι πηγές στην βιβλιογραφία)

Κατανομή πηγών ανά Έτος Έκδοσης (Συνολική Βιβλιογραφία)



■ 2019 ■ 2018 ■ 2017 ■ 2016 ■ 2015 ■ 2014 ■ 2013 ■ 2012 ■ 2011
 ■ 2010 ■ 2009 ■ 2008 ■ 2007 ■ 2006 ■ 2005 ■ 2004 ■ 2003 ■ 2002
 ■ 2001 ■ 2000 ■ 1999 ■ 1998 ■ 1997 ■ 1996 ■ 1995 ■ 1994

Γράφημα. 6 Κατανομή πηγών ανά έτος έκδοσης (όλη η βιβλιογραφία)

3.3. Ανάλυση Πηγών

Στη συνέχεια, έγινε ανάλυση των πηγών έτσι ώστε να μελετηθούν τα βασικά χαρακτηριστικά των τεχνολογιών που παραθέτονται στην παρούσα εργασία καθώς και τάσεις και τεχνικές που έχουν ευρεία και συχνή χρήση στον αγροτικό κλάδο. Με την βοήθεια των παραπάνω κατηγοριών έγινε κατηγοριοποίηση των πηγών σύμφωνα με το βασικό θέμα που πραγματεύεται κάθε μία. Να σημειωθεί ότι πολλές από τις πηγές δεν εστιάζουν σε ένα μοναδικό θέμα, επομένως γίνεται αναφορά σε αυτές για θέματα πέραν της κατηγορίας στην οποία βρίσκονται.

Τέλος, έγινε μια ενδεικτική έρευνα μέσα από τις πηγές της βιβλιογραφίας ώστε να κατηγοριοποιηθούν οι τάσεις και οι εφαρμογές που επικρατούν στον τομέα, σύμφωνα με τα ερευνητικά ερωτήματα στο κεφ. [3.1. – Ερευνητικοί στόχοι της εργασίας](#) και στην συνέχεια έγινε οι παρουσίαση των αποτελεσμάτων μαζί με την σχετική ανάλυση.

4. Εφαρμογές εκτός Αγροτικού Τομέα

Φυσικά, υπάρχουν εφαρμογές οι οποίες δεν έχουν άμεση σχέση με τον αγροτικό τομέα και συγκεκριμένα με την ανάπτυξη καλλιεργειών ή την κτηνοτροφία, ωστόσο παρουσιάζουν ενδιαφέρον στην εφαρμογή τους και τις δυνατότητες που μπορούν να προσφέρουν τόσο στον αγροτικό τομέα όσο και σε άλλους τομείς γενικότερα.

Οι (Alamri et al., 2013; Misra, Tiwari & Obaidat, 2009) αναφέρουν εφαρμογές IoT, οι οποίες χρησιμοποιούν και το cloud σαν βάση, στις οποίες γίνεται χρήση των αισθητήρων για την παρακολούθηση της κατάστασης ασθενών, σε διάφορες περιπτώσεις όπου οι ασθενείς δεν βρίσκονται στην ίδια γεωγραφική τοποθεσία. Κατ' επέκταση αυτό προσδίδει πολλά υποσχόμενη δυναμική σε συστήματα IoT, καθώς λύνει προβλήματα που θα έκαναν τέτοιες εφαρμογές αδύνατες. Παρόμοια, στις εργασίες των (Islam et al., 2015; Hu, Xie & Shen, 2013), υπάρχει αναφορά για εφαρμογές του IoT οι οποίες επίσης λειτουργούν παρακολουθώντας ζωτικής σημασίας ενδείξεις για ασθενείς, απομακρυσμένα και σε πραγματικό χρόνο, έτσι ώστε να υπάρχει άμεση εικόνα της κατάστασης του ασθενή. Μια γενική αναφορά σε παρόμοια λύση, στον τομέα της υγείας, γίνεται και στην εργασία των (Chow et al., 2009).

Άλλη εφαρμογή, από την εργασία των (Nurulhaq & Sitanggang, 2015), είναι η χρήση του IoT, για παρακολούθηση πυρκαγιών με βάση συλλεγμένων δεδομένων και η χρήση αναγνώρισης προτύπων. Σε αυτό το παράδειγμα έχουμε και πάλι χρήση του IoT για παρακολούθηση, η οποία είναι πρακτικά αδύνατο και δαπανηρό να γίνει τακτικά, λόγω των παραπάνω, χωρίς να υπάρχει δυνατότητα για χρήση ανθρώπινου δυναμικού. Πέρα από τα παραπάνω προβλήματα τα οποία λύνει το αναφερόμενο σύστημα, κάνει ταυτόχρονα και ανάλυση ιστορικών δεδομένων με σκοπό την πρόβλεψη πιθανών εστιών πυρκαγιάς.

Μια άλλη εφαρμογή του IoT, η οποία έχει μεγάλη συνάφεια με τις εφαρμογές του IoT στον αγροτικό τομέα, είναι η παρακολούθηση και δημιουργία της κλιματολογικής εικόνας μια περιοχής, ενός κλιματολογικού χάρτη δηλαδή (Torres-Ruiz et al., 2016; Hachem et al., 2015). Φυσικά αυτό μπορεί να επεκταθεί και σε άλλους παράγοντες και εφαρμογές όπως ηχορύπανση, ατμοσφαιρικούς ρύπους κ.α. και κατ' επέκταση να χρησιμοποιηθεί σε αντίστοιχες εφαρμογές (Liu et al., 2013).

Παρόμοιες εφαρμογές με τις παραπάνω περιγράφονται στις εργασίες των (Cater, 2008; Xu, Shen & Wang, 2014; Helmi et al., 2014; Nam et al., 2005), οι οποίες παρακολουθούν: την ποιότητα υδάτων στη θάλασσα όσον αφορά τους ρύπους, τη χημική σύσταση, τη θερμοκρασία και τις θερμικές αλλαγές, το pH³⁰ και άλλους παράγοντες, ώστε να γίνει σωστή εκτίμηση της «υγείας» του υδάτινου περιβάλλοντος και να προστατευθεί από ανθρώπινες επεμβατικές ενέργειες. Αυτό βρίσκει επίσης εφαρμογές στην αλιεία και στην εκτροφή θαλάσσιων προϊόντων (π.χ. εκτροφή οστρακοειδών)^[96].

Στο ^[4] γίνεται αναφορά στη χρήση του IoT σαν υποδομή για την ανάπτυξη «έξυπνων πόλεων». Έχουν ήδη γίνει κάποιες προσπάθειες με θετικά αποτελέσματα σε διάφορες μεγάλες πόλεις όπως το Λονδίνο^[4].

Άλλη πρότυπη εφαρμογή δίνεται στην εργασία των (Atzori et al., 2012), όπου συγκεκριμένα αναφέρεται το SIoT ως τον συνδυασμό εφαρμογών κοινωνικής δικτύωσης με το IoT, έτσι ώστε να βελτιωθούν οι υπηρεσίες που προσφέρονται στους τελικούς χρήστες (end users).

5. Έμμεσα Οφέλη του IoT στον Αγροτικό Τομέα

Όπως αναφέραμε παραπάνω και κυρίως στο κεφάλαιο [2.1.2 – Internet of Things: State-of-the-Art](#), το μοντέλο IoT έχει καλές προοπτικές και μπορεί να προσφέρει πολλές δυνατότητες και ανταγωνιστική δυναμική στον αγροτικό τομέα, ο οποίος πρότινος, βασιζόταν στις εμπειρικές γνώσεις των γεωργών και στο θεωρητικό υπόβαθρο που προσέφεραν οι σχετικές επιστήμες.

Με την εισαγωγή της τεχνολογίας του IoT και τη δυνατότητα επεξεργασίας δεδομένων καθώς και την άμεση χρήση τους για ακριβείς αυτοματοποιημένες εργασίες, κλάδοι όπως το PA και το smart farming ήρθαν στον προσκήνιο. Ωστόσο, υπάρχουν και άλλα όχι πολύ εμφανή οφέλη στην εφαρμογή της τεχνολογίας, στον αγροτικό τομέα τα οποία βοηθούν στην ανάπτυξη και εξέλιξη του κλάδου.

Μία εφαρμογή του IoT, η οποία δίνει έμμεσα οφέλη είναι η χρήση διάφορων αισθητήρων, για την ανίχνευση και την παρακολούθηση κατάστασης, κατά την μετακίνηση, διάφορων πρώτων υλών και άλλου απαραίτητου υλικού. Παράδειγμα θα μπορούσε να είναι η παρακολούθηση της κατάστασης των προϊόντων κατά την μεταφορά τους κατά μήκος της αλυσίδας διανομής και την μετακίνηση των παραγόμενων προϊόντων στα σημεία πώλησης, όπως αναφέρει το ^[13]. Το IoT παρέχει όλες τις απαραίτητες υποδομές για την διαχείριση των παραγόμενων δεδομένων και την βελτίωση του τομέα ^[49](Chen et al., 2014; Miller & Mork, 2013; Esmeijer et al., 2015; Gilpin, 2015) καθώς και για την κάλυψη των αναγκών του αγροτικού τομέα, για δημιουργία υπηρεσιών κ.α., όσον αφορά την αλυσίδα παραγωγής^[13](Verdouw, Beulens, & van der Vorst, 2013).

³⁰ Wikipedia contributors. (2019, June 13). PH. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved June 17, 2019, from <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=PH&oldid=901668108>

6. Εφαρμογή του Internet of Things στον Αγροτικό Τομέα

Το Internet of Things όπως αναφέραμε είναι ένα ανερχόμενο πρότυπο το οποίο τα τελευταία χρόνια έχει σημειώσει μια σημαντική άνοδο ανάπτυξης. Αυτό φαίνεται και από τις πολυάριθμες εφαρμογές που έχουν γίνει τα τελευταία χρόνια, με βάση τα πρότυπα και την αρχιτεκτονική που αναφέραμε στο κεφ. [2.1.2 – Internet of Things: State-of-the-Art](#).

Ωστόσο, η τεχνολογία και το πρότυπο δεν έχουν ωριμάσει αρκετά ακόμα, καθώς υπάρχουν προβλήματα τόσο με το ίδιο το μοντέλο του IoT όσο και με τις διάφορες υλοποιήσεις του (βλ. κεφ. [2.1.3 – Προβλήματα και Προκλήσεις](#)). Επιπλέον, η έλλειψη προτυποποίησης και οι διαφορετικοί τρόποι υλοποίησης της τεχνολογίας, έχουν οδηγήσει σε υλοποίηση εφαρμογών οι οποίες είναι κατά μεγάλο βαθμό διαφορετικές μεταξύ τους (όπως αναφέραμε στο κεφ. [2.1.3.2 – Προτυποποίηση](#)), γεγονός το οποίο καθιστά τον κλάδο ανομοιογενή και τη σύγκριση των διάφορων προτύπων μη αποτελεσματική.

6.1. Εφαρμογές IoT

Είναι σημαντικό να αναφερθεί εδώ ότι, ο κλάδος του Precision Agriculture είναι άμεσα συνδεδεμένος με το IoT και με εφαρμογές του κλάδου της πληροφορικής στον αγροτικό τομέα. Η ιδέα του PA για ακριβής κάλυψη των αναγκών μιας αγροτικής μονάδας^{[11][81]} γίνεται εφικτή μέσω δεδομένων που πρακτικά μπορούν να συλλεχθούν πιο αποτελεσματικά, κυρίως με την βοήθεια συστημάτων πληροφορικής, όπως φαίνεται στο ^[17], λόγω του μεγάλου όγκου τους, με τις εφαρμογές του IoT (για την συλλογή δεδομένων) να ηγούνται όσον αφορά την ανάπτυξη λύσεων. Το PA, επομένως, αποτελεί έναν από τους κυριότερους «χρήστες» των τεχνολογιών και των δυνατοτήτων που προσφέρει το IoT ως κλάδος.

Παρακάτω παρατίθενται κάποιες ενδεικτικές εφαρμογές:

Στο ^[13] διαχωρίζονται οι εφαρμογές που χρησιμοποιούνται για λύσεις κλειστής τοπολογίας, δηλαδή θερμοκήπια, και λύσεις ανοιχτής τοπολογίας, όπως χωράφια και αγρούς.

Ένας άλλος τρόπος να κατηγοριοποιήσουμε τους τομείς παρακολούθησης ενός συστήματος IoT στον αγροτικό τομέα, είναι όπως προτείνεται στο ^[18], βάσει των «πεδίων» που παρακολουθούνται από τους αισθητήρες:

- «Παρακολούθηση αέρα» (“air monitoring”)
- «Παρακολούθηση εδάφους και υπεδάφους» (“Soil monitoring”)
- «Παρακολούθηση υδάτων» (“water monitoring”)
- «Παρακολούθηση φυτών και καλλιεργειών» (“plant monitoring”)
- «Παρακολούθηση ζώων» (“animal monitoring”)

Σε κάθε περίπτωση όμως το IoT, εκτελεί την ίδια λειτουργία: συλλογή και επεξεργασία δεδομένων^{[4][11][13][14][16][49][65][103]}, το οποίο είναι εμφανές σε όλο το εύρος της βιβλιογραφίας και της παρούσας εργασίας.

Η διαφορά βρίσκεται στον τύπο δεδομένων που λαμβάνουμε για κάθε τοπολογία και κατά πόσο είναι δυνατό κάτι τέτοιο ανάλογα με την κάθε περίπτωση, καθώς και στο τι πληροφορίες εξάγουμε από αυτά τα δεδομένα και πως τα χρησιμοποιούμε: σε γενικές γραμμές, για κλειστές τοπολογίες, οι απαιτήσεις από το σύστημα είναι η

ακρίβεια μετρήσεων του κλίματος και η αυτοματοποίηση λειτουργιών με βάση αυτά τα δεδομένα^{[13][14][15]}, ενώ σε ανοιχτές τοπολογίες, τα δεδομένα αφορούν γενικές κλιματικές συνθήκες και συνθήκες υπεδάφους και κατ' επέκταση γίνεται χρήση αυτών των δεδομένων για αυτόματη άρδευση^[13]. Επιπλέον, το IoT αναφέρεται, ότι χρησιμοποιείται και στην κτηνοτροφία, μετρώντας τις συνθήκες διαβίωσης των ζώων, όπως την κατανάλωση τροφής^[13] (Bhargava, Ivanov & Donnelly, 2015) και σε κάποιες περιπτώσεις, στην ανάλυση συμπεριφοράς των ζώων, όπως αναφέρονται στο ^[13] (Asikainen et al., 2013, Huircán et al., 2010, Jeong and Yoe, 2012, Kwong et al., 2012, Nadimi et al., 2012). Σκοπός της αυτοματοποίησης και της συλλογής των παραπάνω δεδομένων, είναι η επίβλεψη των καλλιεργειών για την εξασφάλιση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων και η σωστή και οικονομική διαχείριση των πόρων, όπως φαίνεται στα ^{[12][14][15]}. Επιπλέον, στην ^[65], αναφέρεται η συμβολή του IoT στον αγροτικό τομέα, όσον αφορά την αυτοματοποίηση της διαχείρισης των καλλιεργειών μέσω actuators με βάση τα δεδομένα που παράγονται από τους διάφορους κόμβους-αισθητήρες.

Το IoT, στο ^[12] και στο ^[3], αναφέρεται ως ένας τρόπος ελέγχου της λειτουργίας μιας εγκατάστασης κλειστού χώρου για την παραγωγή φυτικών αγροτικών προϊόντων, όπου το IoT ελέγχει το μικροκλίμα μέσα στις εγκαταστάσεις, τις δοσολογίες για τα θρεπτικά συστατικά που πρέπει να διαλυθούν στο νερό και άλλες αυτοματοποιημένες λειτουργίες όπως η άρδευση.

Άλλες εφαρμογές οι οποίες κινούνται στο ίδιο πλαίσιο, αναφέρονται στο ^[110] όπου γίνεται παρακολούθηση δευτερευόντων στοιχείων μιας καλλιέργειας όσον αφορά την ανάπτυξή τους. Στο ^[103] αναφέρεται μάλιστα και η χρήση δεδομένων του καιρού για την αποτελεσματικότερη και οικονομικότερη άρδευση, μέσα από προτεινόμενο πρότυπο σύστημα.

Η παρακολούθηση ωστόσο, δεν περιορίζεται μόνο σε καλλιέργειες αλλά εφαρμόζεται και στην κτηνοτροφία, σε αγρούς όπου τα ζώα «οργανώνονται» σε κοπάδια. Από τις εργασίες των (González et al., 2014; Umemura, 2013), υπάρχει δυνατότητα να ανιχνευθούν οι θέσεις των ζώων μέσω GPS και κατ' επέκταση με τα δεδομένα αυτά, να γίνει μια βασική εκτίμηση της συμπεριφοράς τους όπως αναφέραμε και πιο πάνω.

Μια άλλη χρήση του IoT είναι η συλλογή ενδείξεων από αισθητήρες (π.χ. υγρασία περιβάλλοντος, υγρασία φυλλωμάτων, υπερϊώδης ακτινοβολία κ.α.) ώστε να αναγνωρισθούν πιθανές ασθένειες που εκδηλώνονται στις καλλιέργειες (Rossi et al., 2014; Patil & Thorat, 2016).

Στο ^[17] γίνονται κάποιες αναφορές που δίνουν μια καλή εικόνα σχετικά με το πόσο σημαντική είναι η συμβολή της πληροφορικής και συγκεκριμένα των εφαρμογών του IoT, στον αγροτικό τομέα και στην ανάπτυξη του.

6.2. Διαδεδομένες Τεχνολογίες

Με βάση τα παραπάνω γίνεται εμφανές ότι οι εφαρμογές IoT οι οποίες υπάρχουν στον αγροτικό τομέα είναι πολλές και η κάθε μια, είναι προσαρμοσμένη στις ειδικές ανάγκες της εκάστοτε καλλιέργειας/εγκατάστασης. Δεδομένης της μεγάλης ανομοιομορφίας που παρουσιάζουν οι υλοποιήσεις μεταξύ τους στον κλάδο, οποιαδήποτε πιθανή σύγκριση και ανάλυση είναι δύσκολη.

Για τη σωστότερη ανάλυση και εκτίμηση των διαφορετικών τεχνολογιών βάσει της βιβλιογραφίας, λαμβάνοντας υπόψη τον παραπάνω περιορισμό, θα προσπαθήσω παρακάτω να ορίσω κάποιους καθολικούς δείκτες οι οποίοι:

1. θα ανταποκρίνονται στα ερευνητικά ερωτήματα τα οποία θέσαμε στο κεφ. [3.1. – Ερευνητικοί Στόχοι Εργασίας](#) και
2. θα καλύπτουν επαρκώς τις διάφορες ανομοιογενείς υλοποιήσεις σε τέτοιο βαθμό, έτσι ώστε να μπορεί να γίνει μια άρτια και σωστή ανάλυση/εκτίμηση σε όλο το εύρος της βιβλιογραφίας.

Οι δείκτες βάσει των οποίων, θα κάνουμε την παραπάνω ανάλυση/εκτίμηση είναι οι παρακάτω:

1. Πόσο ευρέως υιοθετημένη είναι μια υλοποίηση/τεχνολογία: δηλαδή ο αριθμός των υλοποιήσεων οι οποίες χρησιμοποιούν την συγκεκριμένη ή μία παραλλαγή/προσαρμογή της τεχνολογίας ή τεχνικής, στην οποία αναφερόμαστε.
2. Πόσο θα μπορούσε να εξυπηρετήσει άλλες ανάγκες του κλάδου σε περίπτωση μερικής προσαρμογής της σε άλλα συστήματα/υλοποιήσεις.
3. Πόσο ιδιαίτερα χαρακτηριστικά προσφέρει: μια περισσότερο ενδελεχώς προσαρμοσμένη υλοποίηση είναι δύσκολο να συγκριθεί ή ακόμα και να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά σε διαφορετικά συστήματα ή υλοποιήσεις. (Είναι σε μεγάλο βαθμό συναφής με τον δείκτη 2).
4. Πόσο καλά εδραιωμένη στον κλάδο και τις προοπτικές έχει στην συνεχή χρήση της: τεχνολογίες οι οποίες, αν και εφαρμόζονται ευρέως τώρα τείνουν να αντικατασταθούν μελλοντικά από άλλες σχετικά σύντομα, δεν θα προτιμηθούν σε τόσο μεγάλο βαθμό. Αντίστοιχα, τεχνολογίες οι οποίες φαίνεται ότι τείνουν να αντικαταστήσουν κάποιες άλλες στο μέλλον και οι οποίες δεν είναι τόσο διαδεδομένες λόγω του ότι έχουν εμφανιστεί πρόσφατα, θα προτιμηθούν σε μεγαλύτερο βαθμό.

Να σημειωθεί εδώ ότι δεν θα αναφέρουμε τεχνολογίες οι οποίες δεν έχουν υιοθετηθεί σε «λειτουργικές» υλοποιήσεις. Δηλαδή πιθανές νέες τεχνολογίες/πρότυπα/τεχνικές οι οποίες βρίσκονται στα στάδια σχεδιασμού ή βρίσκονται σε στάδια δοκιμών (όπως για παράδειγμα δοκιμές σε ακαδημαϊκά πλαίσια ή σε δοκιμαστικά περιβάλλοντα), δεν θα συμπεριληφθούν στην παραπάνω ανάλυση/εκτίμηση.

Βάσει των παραπάνω θα προσπαθήσω να κάνω μια ενδεικτική ανάλυση και εκτίμηση έτσι ώστε να παρουσιαστούν, ενδεικτικά τουλάχιστον, κάποιες εφαρμογές οι οποίες κατά την διάρκεια της συγγραφής, χρησιμοποιούνται ευρέως ή δείχνουν τάσεις πιο συχνής χρήσης.

Επιπλέον, για να υπάρξει μια οργάνωση στην ανάλυση μας θα προσπαθήσω να κατηγοριοποιήσω τις τεχνολογίες/πρότυπα/τεχνικές ανάλογα με τη στοίβα στην οποία ανήκουν ή εξυπηρετούν, βάσει του μοντέλου αρχιτεκτονικής που έχουμε αναφέρει στο κεφ. [2.1.2. – Internet of Things: State-of-the-Art](#).

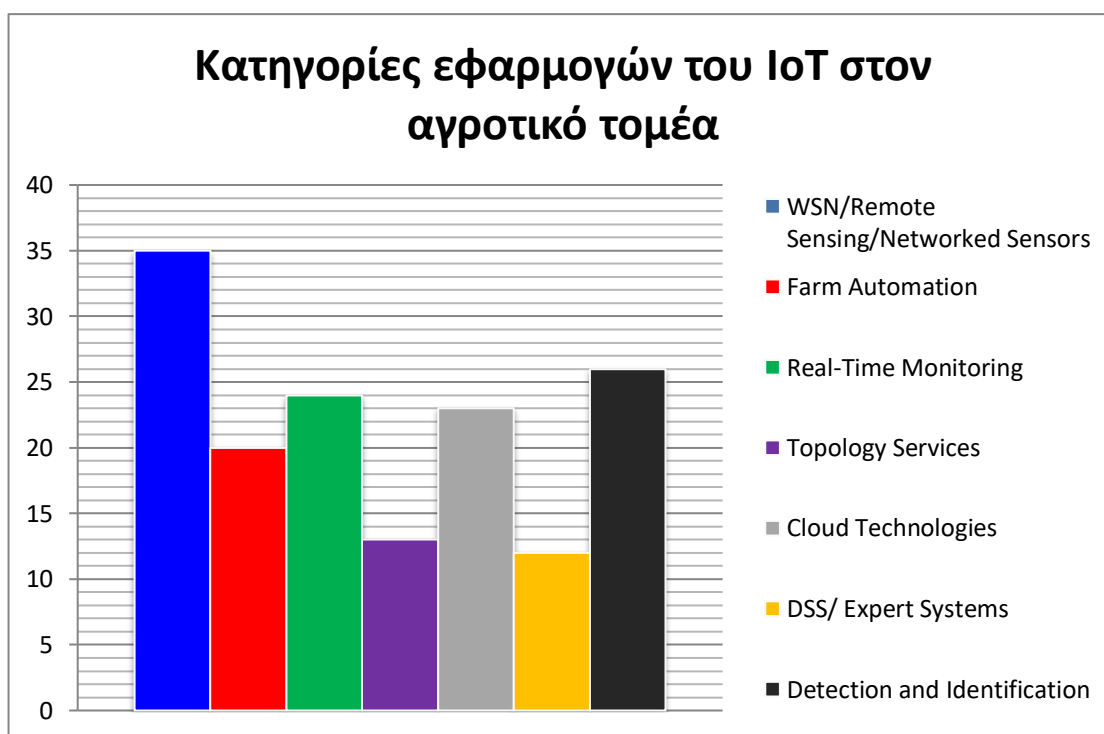
Πρέπει να αναφερθεί εδώ ότι η παρακάτω παράθεση δεν είναι εξαντλητική και αντικατοπτρίζει αποκλειστικά τις τάσεις στα πλαίσια της βιβλιογραφίας που έχω συγκεντρώσει. Επιπλέον, ο κλάδος είναι σχετικά καινούριος και όπως αναφέραμε, δεν υπάρχει πλήρης ενασχόληση της βιομηχανίας με αυτόν. Αυτό κατ' επέκταση

περιορίζει κατά έναν βαθμό τόσο την βιβλιογραφία την οποία έχουμε στην διάθεσή μας –τέτοια που να μας προσφέρει “hands-on” παραδείγματα σε περιβάλλοντα παραγωγής– όσο και πραγματικά παραδείγματα εφαρμογής της τεχνολογίας.

Τέλος, να σημειωθεί ότι πολλές από τις αναφορές που αναγράφονται στη βιβλιογραφία ή στις πηγές, δεν ορίζονται με σαφή τρόπο (δηλαδή με τεχνικά χαρακτηριστικά κ.τ.λ.) αλλά αναφέρονται γενικά, ως προς το αποτέλεσμά τους (π.χ. αυτόματη άρδευση, πρόβλεψη σοδειάς κ.α.). Τις παραπάνω τεχνολογίες θα προσπαθήσω να τις ομαδοποιήσω στο μεγαλύτερο βαθμό και κατά περίπτωση θα προσπαθήσω να δώσω μια συνοπτική εικόνα της υλοποίησής τους.

Παρακάτω, γίνεται μια ενδεικτική ανάλυση βασικών τεχνολογιών και εφαρμογών, σε μορφή γραφήματος, που βρίσκουν χρήση σε συστήματα IoT του αγροτικού τομέα. Στη συνέχεια, θα δώσω μια συνοπτική εξήγηση του γραφήματος και κάποιες περαιτέρω διευκρινίσεις για τις κατηγορίες τεχνολογιών.

Να σημειωθεί ότι το παρακάτω γράφημα δεν αποτελεί αντιπροσωπευτική ανάλυση όλου του κλάδου, αλλά της βιβλιογραφίας και των αναφορών που έχω συλλέξει. Η παρακάτω κατηγοριοποίηση είναι ενδεικτική, έτσι ώστε να έχουμε μια γενική εικόνα των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται από το IoT, στον αγροτικό τομέα. Για την ενδελεχή έρευνα του κλάδου, απαιτείται η συλλογή επίσημων στατιστικών δεδομένων και εκτεταμένη παρακολούθηση σε βάθος χρόνου, έτσι ώστε να καλυφθούν όλες οι πιθανές εφαρμογές και τεχνολογίες.



Γράφημα. 7 Αριθμός ενδεικτικών αναφορών τεχνολογιών, στην βιβλιογραφία

Από το παραπάνω γράφημα, παρατηρούμε ότι οι κυριότερες τεχνολογίες που αναφέρονται, αφορούν τη χρήση WSNs ή γενικά την χρήση αισθητήρων. Στη συνέχεια βλέπουμε ότι ιδιαίτερη σημασία δίνεται σε τεχνολογίες αναγνώρισης και ανίχνευσης, οι οποίες χρησιμοποιούνται για διεργασίες ανίχνευσης ασθενειών, ποικιλία καλλιέργειας κ.ο.κ.. Τέλος, έχουμε διάφορες άλλες υπηρεσίες όπως τη

συνεχή παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο, διάφορες υπηρεσίες και τεχνολογίες cloud, λειτουργίες αυτοματισμού (π.χ. αυτόματη άρδευση, ελεγχόμενη διανομή φυτοφαρμάκων κ.α.), υλοποίηση συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων και χρήση υπηρεσιών χαρτογράφησης ή εντοπισμού.

Τα παραπάνω αποτελέσματα έρχονται σε σύγκλιση με τον μέχρι τώρα σχολιασμό της εργασίας: το IoT ειδικεύεται στη διασύνδεση συσκευών, τα οποία λαμβάνουν πληροφορίες μέσω αισθητήρων (WSN ή remote sensing γενικότερα) και στη συνέχεια, την επεξεργάζονται ή την στέλνουν για επεξεργασία στο cloud και τέλος, χρησιμοποιούν την παραγόμενη πληροφορία για τη διεκπεραίωση αυτοματοποιημένων διεργασιών, όπως το αυτόματο πότισμα.

Φυσικά, ο σκοπός των αυτοματοποιήσεων δεν είναι μόνο ο αυτοματισμός των διεργασιών αλλά αποσκοπεί και στην οικονομικότερη διαχείριση πόρων όπως το νερό και το λίπασμα. Ανάλογα με την τοπολογία και το πόσο μεγάλη έκταση καλύπτει μια καλλιέργεια, μπορούν να εφαρμοσθούν διάφορες τεχνολογίες χαρτογράφησης ή αν μιλάμε για κτηνοτροφική μονάδα, τεχνολογίες εντοπισμού και παρακολούθησης.

Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι στην βιβλιογραφία, η κύρια αναφορά γίνεται στις πιο διαδεδομένες τεχνολογίες τόσο με τη μορφή άμεσης αναφοράς όσο και με έμμεση αναφορά σε εφαρμογές τους.

Από τα παραπάνω μπορούμε να συμπεράνουμε ότι υπάρχει μια πολύ στενή σχέση ανάμεσα στις διάφορες «κατηγορίες» τεχνολογιών. Ωστόσο, υπάρχουν διαφορές στην υλοποίησή τους και στις απαιτήσεις του εκάστοτε συστήματος που εξυπηρετούν, γεγονός που διαφοροποιεί τη χρήση της κάθε «κατηγορίας» τεχνολογίας, ανάλογα με τις ανάγκες που εξυπηρετεί.

Παρακάτω θα αναλύσω κάθε κατηγορία εκτενέστερα:

Perception Layer – Φυσικό Επίπεδο

WSN

Το WSN, όπως ανέφερα και στο κεφ. [2.7. – Wireless Sensor Network](#), αποτελεί ένα σημαντικό κομμάτι του IoT καθώς δίνει δυνατότητα εγκατάστασης διάφορων αισθητήρων σε δυσχερή περιβάλλοντα και επιπλέον, προσφέρει δυνατότητες δικτύωσης.

Διαφορές παρατηρούνται ανάμεσα στις διάφορες υλοποιήσεις όσον αφορά το υλικό, ανάλογα με τις ανάγκες της εκάστοτε υλοποίησης και τις απαιτήσεις του συστήματος. Αυτό το παρατηρούμε τόσο σε πειραματικές εφαρμογές, όσο και μέσα από την πληθώρα υλοποιήσεων και υλικού που προσφέρεται στην αγορά.

Επιπλέον, ένα WSN είναι εγγενώς «εξοπλισμένο» με δυνατότητες υποστήριξης αυτοματοποιήσεων και actuators, τα οποία μπορεί επίσης, να διαφέρουν ανάλογα με τις παραπάνω απαιτήσεις. Όπως αναφέραμε εξάλλου στο κεφ. [2.1.3.2. – Προτυποποίηση](#), κάθε κατασκευαστής προσφέρει ένα δικό του πρότυπο και κατ' επέκταση μια δική του εφαρμογή του IoT.

Από την έρευνα που έχω πραγματοποιήσει, παρατηρώ ότι το WSN, αν και δεν έχει τελειοποιηθεί πλήρως ως κλάδος, αναφέρεται αρκετά συχνά σε διάφορες υλοποιήσεις IoT. Οι δυνατότητες που προσφέρει ως κλάδος, είναι κατά μεγάλο μέρος συναφείς με τις απαιτήσεις του IoT γενικά σαν τεχνολογία, αλλά εξυπηρετούν σε ακόμα μεγαλύτερο βαθμό τις απαιτήσεις του αγροτικού τομέα από το IoT.

Οι δυνατότητες που προσφέρει ωστόσο, δεν περιορίζονται μόνο στην χρήση του στον αγροτικό τομέα. Τομείς όπως η υγεία, μπορούν να εξυπηρετηθούν από αυτή, εξίσου καλά.

Remote Sensing

Όπως ανέφερα παραπάνω, το remote sensing είναι ένας πιο ευρύς όρος, ο οποίος μάλιστα κατά τη γνώμη μου, συμπεριλαμβάνει κάποιες από τις εφαρμογές WSN. Ωστόσο, περιέχει και εφαρμογές οι οποίες δεν προσφέρουν απαραίτητα δικτύωση των κόμβων-αισθητήρων μεταξύ τους ή ακόμα και με εξωτερικά δίκτυα.

Δηλαδή, κάποια υλοποίηση μπορεί να αποτελείται από συγκεκριμένους κόμβους οι οποίοι λαμβάνουν δεδομένα, ανάλογα με τον ρόλο τους, και στη συνέχεια στέλνουν τα δεδομένα σε ένα κλειστό σύστημα αυτόνομο, χωρίς να επικοινωνούν μεταξύ τους. Επιπλέον, μπορεί η επεξεργασία των δεδομένων να γίνεται σε πραγματικό χρόνο στην ίδια τη συσκευή και απλώς να προσφέρει στους χρήστες μια παρουσίαση των δεδομένων.

Παρ' όλο που αυστηρά από τεχνικής άποψης, θα μπορούσαμε να το θεωρήσουμε ως δίκτυο από άποψη μοντέλου αρχιτεκτονικής, ο αυστηρός ορισμός του ως δίκτυο, έχει κάποιες ελλείψεις.

Να σημειωθεί εδώ ότι εξ' ορισμού το remote sensing σαν κατηγορία, νοείται ότι δεν υποστηρίζει αυτοματισμούς εγγενώς, πράγμα που το διαχωρίζει από το WSN ως ένα βαθμό. Θα μπορούσαμε να πούμε εννοιολογικά, ότι το WSN έχει σαν βάση το remote sensing αλλά δίνει και δυνατότητες αυτοματισμού.

Farm Automation

Οι αυτοματισμοί στον αγροτικό τομέα, εμπίπτουν σε αυτήν την κατηγορία τεχνολογίας. Σαν αυτοματισμούς, εννοούμε τις τεχνολογίες και το υλικό το οποίο επιτρέπει τον έλεγχο μηχανικών, ηλεκτρικών ή και ρομποτικών μελών, τα οποία με τη σειρά τους δίνουν τη δυνατότητα ελέγχου του περιβάλλοντος ή τη δυνατότητα μηχανικής κίνησης, επονομαζόμενα και ως “actuators”.

Οι εφαρμογές των παραπάνω είναι πασιφανείς αν σκεφτούμε ότι ένας από τους κύριους παράγοντες ο οποίος συντελεί άμεσα στην παραγωγή, στον αγροτικό τομέα, είναι οι περιβαλλοντικές συνθήκες. Ανάλογα λοιπόν, με την τοπολογία (κλειστός χώρος ή ανοιχτή έκταση) συναντάμε διαφορετικών ειδών αυτοματισμούς. Για παράδειγμα, σε θερμοκήπια (όπου και συναντάμε συχνότερα τέτοιους αυτοματισμούς) έχουμε στις περισσότερες περιπτώσεις μηχανισμούς αυτόματου (και αυτόνομου) ποτίσματος, ρύθμισης φωτισμού και υγρασίας κ.α.

Σε αυτού του είδους τις υλοποιήσεις βασίζεται και ο τομέας του PA. Με τη χρήση πληροφοριών οι οποίες εξάγονται από: ιστορικά δεδομένα, δεδομένα σχετικά με την αντίστοιχη καλλιέργεια αλλά και συλλεγόμενα δεδομένα μέσω παρακολούθησης από αισθητήρες, ορίζονται οι ιδανικές συνθήκες για αποδοτική παραγωγή και οι περιβαλλοντικές συνθήκες της καλλιέργειας προσαρμόζονται ανάλογα σε αυτό το μοντέλο, με τη βοήθεια των actuator που υπάρχουν στο σύστημα.

Αντίστοιχα με τις απαιτήσεις παραγωγής, τις ανάγκες και τους στόχους των χρηστών, εγκαθίστανται και χρησιμοποιούνται διαφορετικών ειδών actuator. Το παραπάνω παράδειγμα που αναφέρθηκε, ισχύει μόνο για καλλιέργειες κλειστού τύπου (δηλ. θερμοκήπια), ωστόσο μπορεί να έχουμε άλλων ειδών αυτοματισμούς και

σε «ανοιχτές» τοπολογίες, όπως για παράδειγμα συστήματα τα οποία ρυθμίζουν την υγρασία υπεδάφους.

Αν και σε γενικές γραμμές, το κόστος για τέτοιες εφαρμογές είναι αρκετά υψηλό όσο μεγαλώνει η έκταση, η παραγωγή φθηνών actuators και άλλων αυτοματοποιημένων μερών «βελτιώνεται» καθώς οι αντίστοιχοι κλάδοι εξελίσσονται. Προς το παρόν οι πιο εντατικές εφαρμογές, αναδεικνύονται κατά κύριο λόγο σε θερμοκήπια και καλλιέργειες μικρής έκτασης.

Cloud Technologies

Οι τεχνολογίες νέφους (στις οποίες αναφέρθηκα και στο κεφ. [2.5.3.2. – Cloud Computing](#)), συναντώνται σε αρκετές εφαρμογές του IoT και αποτελούν ένα πολύ σημαντικό κομμάτι πολλών συστημάτων, ιδιαίτερα αυτών που εκτείνονται σε μεγάλες κλίμακες. Οι τεχνολογίες αυτές προσφέρουν στο IoT δυνατότητες τέτοιες ώστε να καλυφθούν αρκετά από τα προβλήματα τα οποία αναφέραμε στο κεφ. [2.1.3 – Προβλήματα και Προκλήσεις](#).

Ενδεικτικά, οι υπηρεσίες που παρέχουν, επιτρέπουν την κάλυψη αναγκών αποθήκευσης και επεξεργασίας μεγάλου όγκου δεδομένων (φαινόμενο το οποίο συναντάται συχνά πλέον σε συστήματα IoT στον αγροτικό τομέα, αλλά και σε άλλα συστήματα IoT, όπου υπάρχει μεγάλος αριθμός αισθητήρων), καθώς και στην παροχή διαδικτυακών υπηρεσιών που σχετίζονται με τα εκάστοτε συστήματα, προς τους χρήστες τους.

Με την εισαγωγή ενός «εξωτερικού» συστήματος όπως περιγράψαμε προηγουμένως, έχουμε την δυνατότητα να υπερκαλύψουμε πλέον το πρόβλημα χαμηλής επεξεργαστικής ισχύος των κόμβων του συστήματος και επιπλέον, το «εξωτερικό» σύστημα μας παρέχει ένα δυνητικά τεράστιο χώρο αποθήκευσης για τα παραπάνω δεδομένα και πληροφορίες.

Φυσικά, αντίστοιχα με τις ανάγκες του κάθε συστήματος IoT, έχουμε διαφορά στις υπηρεσίες που προσφέρονται και κατ' επέκταση στις αντίστοιχες υποδομές (για την διασύνδεση των συστημάτων IoT με το cloud).

Real-Time Monitoring

Οι τεχνολογίες της κατηγορίας “real-time monitoring” αφορούν τεχνολογίες οι οποίες είναι σχεδιασμένες για παρακολούθηση πραγματικού χρόνου, όπως αναφέρει και το όνομα. Αν και είναι μέρος των τεχνολογιών remote sensing, διαφέρουν, δεδομένου ότι η παρακολούθηση του περιβάλλοντος και γενικά οποιουδήποτε POI, γίνεται σε πραγματικό χρόνο. Φυσικά, είναι αδύνατο να έχουμε μια τόσο δυνατή συσκευή που να πραγματοποιεί τέτοιες διεργασίες σε πραγματικό χρόνο, ωστόσο οι τεχνολογίες αυτές αποσκοπούν στην ταχύτερη αποθήκευση και επεξεργασία των δεδομένων παρακολούθησης, το οποίο αποτελεί την ειδοποιό διαφορά με αντίστοιχα πιο απλά συστήματα παρακολούθησης (remote sensing).

Αυτό σημαίνει ότι οι κόμβοι που χρησιμοποιούνται για παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο, έχουν μεγαλύτερη επεξεργαστική ισχύ και ανάλογα με τις ανάγκες του συστήματος, διαφορετικό σχεδιασμό (αλλά και αυξημένο κόστος). Παράδειγμα, είναι συσκευές οι οποίες χρησιμοποιούνται στην κτηνοτροφία και πέρα από άλλες δυνατότητες, προσφέρουν και υπηρεσίες εντοπισμού των ζώων.

Η κατηγορία αυτή τόσο λόγω κόστους, όσο και λόγω δυσκολίας υλοποίησης δεν συναντάται συχνά σε μεγάλη κλίμακα. Ωστόσο, διάφορα συστήματα στην

αρχιτεκτονική τους, περιλαμβάνουν σε έναν περιορισμένο βαθμό κάποια υλοποίηση τέτοιων κόμβων (αν φυσικά υπάρχει ανάγκη για κάτι τέτοιο).

Γενικές Παρατηρήσεις

Σε αυτό το σημείο γίνεται εύκολα εμφανής, η ιδιαίτερα έντονη σχέση του IoT με τεχνολογίες, όπως το WSN, οι οποίες χρησιμοποιούν αισθητήρες και συσκευές για την παρακολούθηση περιβάλλοντος και την αλληλεπίδραση με αυτό. Όπως αναφέραμε και στο κεφ. [2.1.1 – Internet of Things: Ορισμός](#), κύριος σκοπός του ίδιου του IoT αλλά και της χρήσης των συστημάτων του, είναι η πιο ενδεδεγμένη συλλογή δεδομένων από το περιβάλλον και η αποδοτικότερη χρήση αυτών.

Αυτό στον αγροτικό τομέα «μεταφράζεται» ως: αποδοτικότερη χρήση πόρων, βελτίωση των διαδικασιών παραγωγής και διανομής, αναγνώριση ειδών και κάλυψη ειδικών αναγκών, καθώς και διαχείριση επιζήμιων σεναρίων (όπως ύπαρξη και μετάδοση κάποιας αρρώστιας) και διαχείριση ρίσκου στην παραγωγή και πώληση.

Network Layer – Επίπεδο Δικτύωσης

WSN

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά ενός WSN είναι η δικτύωση των κόμβων με σκοπό την επικοινωνία μεταξύ τους και με άλλα δίκτυα (κεφ. [2.7. – Wireless Sensor Network](#)). Οι κόμβοι οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι σε ένα τέτοιο δίκτυο μπορούν να ανταλλάσσουν δεδομένα και (αν υπάρχει δυνατότητα) να κάνουν καταμερισμό εργασιών.

Ανάλογα με τις ανάγκες που υπάρχουν, η υλοποίηση ενός WSN μπορεί να διαφέρει κατά μεγάλο μέρος από σύστημα σε σύστημα. Για παράδειγμα, η δικτύωση των κόμβων μπορεί να διαφέρει στον τρόπο επικοινωνίας, χρησιμοποιώντας διαφορετικά πρωτόκολλα επικοινωνίας όπως αναφέρεται και στο κεφ. [2.6 – Επικοινωνία και Δικτύωση στα Συστήματα IoT](#).

Βασικό ρόλο, στην επιλογή ενός πρωτοκόλλου, παίζει:

- Η τοπολογία: πόσο γεωγραφικά δύσβατη και απροσπέλαστη είναι η τοποθεσία στην οποία πρέπει να εγκατασταθούν οι συσκευές.
- Αν υπάρχει ή όχι, ηλεκτρική παροχή: ανάλογα, μπορεί να προτιμηθούν πρωτόκολλα τα οποία να συνεργάζονται καλύτερα με κόμβους οι οποίοι έχουν αυτόνομη ενεργειακή παροχή.
- Πόσο επικίνδυνο είναι το περιβάλλον για τους αισθητήρες (π.χ. κλίμα κ.τ.λ.) και πόσο ακριβείς πρέπει να είναι οι ενδείξεις που συλλέγουν. Ανάλογα με την περίπτωση, θα προτιμηθούν πρωτόκολλα τα οποία είναι ανθεκτικά σε θόρυβο και άλλων ειδών αλλοιώσεις, σε βάρος άλλων δυνατοτήτων όπως για παράδειγμα ταχύτητα μετάδοσης.
- Οι δυνατότητες και τα τεχνικά χαρακτηριστικά που έχουν οι συσκευές που θα χρησιμοποιηθούν.

Remote Sensing

Στο Networking Layer, το remote sensing, αφορά τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία των κόμβων-αισθητήρων με άλλους εξειδικευμένους κόμβους οι οποίοι εκτελούν λειτουργίες αποθήκευσης, επεξεργασίας ή αποστολής των δεδομένων σε άλλο μέρος του συστήματος. Ανάλογα με τον σχεδιασμό του συστήματος έχουμε διαφορετικές απαιτήσεις και κατ' επέκταση διαφορετικές υλοποιήσεις.

Σε υποδομές όπου μετακινούνται ευαίσθητα ή προσωπικά δεδομένα, ορίζονται διαφορετικές απαιτήσεις ως προς το επίπεδο αυτό, δεδομένου ότι το αντίστοιχο σύστημα καλείται να αντιμετωπίσει θέματα ασφάλειας, θέματα ακεραιότητας ή θέματα κακοδιαχείρισης των δεδομένων.

Σε άλλα συστήματα όπου υπάρχει θόρυβος και παρατηρούνται αλλοιώσεις ή ακραίες τιμές στις ενδείξεις (λόγω θορύβου), μπορεί να υιοθετούνται πρωτόκολλα τα οποία είναι ανθεκτικά σε παρεμβολές των επικοινωνιών (από όπου προέρχονται πιθανές αλλοιώσεις) και προσφέρουν δυνατότητες ανάκτησης ή επιβεβαίωσης των δεδομένων που αποστέλλονται.

Για αυτόν το λόγο μπορεί να έχουμε συγκεκριμένα πρωτόκολλα επικοινωνίας τα οποία ευνοούν κάποιες τέτοιες λειτουργίες όπως, την ανθεκτικότητα σε παρεμβολές σε βάρος άλλων λειτουργιών όπως η ασφάλεια.

Cloud Technologies

Οι τεχνολογίες cloud επηρεάζουν σημαντικά τις συσκευές και τα πρότυπα που χρησιμοποιούνται στο Network Layer των IoT συστημάτων, εφόσον για να γίνει εκμετάλλευση των υπηρεσιών του cloud, απαιτείται να υπάρχουν οι κατάλληλες υποδομές οι οποίες θα επιτρέψουν στο εκάστοτε σύστημα να αποκτήσει πρόσβαση σε αυτές.

Κατ' επέκταση, αυτό σημαίνει ότι τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται είναι (συνήθως) αναγκαίο, να συμπεριλαμβάνουν και τρόπους επικοινωνίας με συσκευές οι οποίες αποτελούν μέρος υποδομών cloud. Επιπλέον, πολλές υπηρεσίες στο cloud λειτουργούν βάσει συγκεκριμένων προδιαγραφών τόσο όσον αφορά την επικοινωνία M2M, όσο και την μορφή του payload³¹ που ουσιαστικά είναι τα δεδομένα προς επεξεργασία.

Real-time Monitoring

Η παρακολούθηση πραγματικού χρόνου, επηρεάζει εξίσου το Network Layer, καθώς προσδίδει νέες απαιτήσεις όσον αφορά την αξιοπιστία των επικοινωνιών. Δεδομένης της φύσης των συστημάτων τα οποία εκτελούν παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο, είναι απαραίτητη η σωστή και ακέραια μετάδοση των πληροφοριών, γεγονός που δίνει πολύ μικρό χώρο για σφάλματα όσον αφορά την μεταφορά τους και την παρουσίασή τους στον τελικό χρήστη.

³¹ Wikipedia contributors. (2019, March 15). Payload (computing). In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved July 26, 2019, from [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Payload_\(computing\)&oldid=887946730](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Payload_(computing)&oldid=887946730)

Φυσικά, από τη μετάδοση των δεδομένων μέχρι την παρουσίαση τους στους χρήστες (είτε άλλες συσκευές, είτε φυσικά πρόσωπα), παρεμβάλλονται αρκετές διαδικασίες οι οποίες δίνουν δυνατότητες ανάνηψης των δεδομένων. Ωστόσο, σε συστήματα όπου τα δεδομένα ακολουθούν μια μακριά αλυσίδα επεξεργασίας είναι πολύ εύκολο, λάθη τα οποία παρουσιάζονται νωρίς, να αλλοιώσουν σημαντικά τα δεδομένα ή να τα καταστήσουν επιρρεπή σε περαιτέρω αλλοιώσεις, σε μετέπειτα μέρος της «αλυσίδας».

Αν λάβουμε υπόψη μας τις ιδιαίτερες απαιτήσεις που παρουσιάζονται στον σχεδιασμό συστημάτων παρακολούθησης πραγματικού χρόνου, γίνεται εύκολα εμφανής η σημαντικότητα μείωσης σφαλμάτων, καθ' όλη τη διάρκεια των διαδικασιών και της πορείας που ακολουθούν τα δεδομένα.

Επομένως, στο συγκεκριμένο επίπεδο για να αντιμετωπιστούν τυχόν σφάλματα, είναι πολύ σημαντική η επιλογή του κατάλληλου πρωτοκόλλου επικοινωνιών.

Application Layer – Επίπεδο Εφαρμογών

Topology Services

Η κατηγορία αυτή αναφέρεται σε τεχνολογίες, υπηρεσίες και εφαρμογές χαρτογράφησης των καλλιεργειών ή σε υπηρεσίες γεω-εντοπισμού. Η κατηγορία αυτή δεν περιλαμβάνει κάποια αξιοσημείωτη καινούργια τεχνολογία, αλλά προσφέρει στον αγροτικό τομέα μέσω των συστημάτων IoT, ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο, ιδιαίτερα για καλλιέργειες μεγάλης έκτασης οι οποίες παρουσιάζουν ανομοιομορφίες στο μικροκλίμα ή/και σε άλλους παράγοντες. Το ίδιο ισχύει και για καλλιέργειες οι οποίες περιλαμβάνουν πολλές διαφορετικές ποικιλίες ή/και είδη.

Τέτοιες εφαρμογές, συνήθως χρησιμοποιούν τεχνολογίες GPS ή άλλες τεχνολογίες που «συνεργάζονται» με τις τεχνολογίες GPS. Επιπλέον, μπορεί να έχουμε με την βοήθεια αντίστοιχων κόμβων, θερμική χαρτογράφηση, χαρτογράφηση της γενικής ή ειδικής υγρασίας ανά γεωγραφικό τμήμα της καλλιέργειας κ.ο.κ.

Επιπλέον, συχνή είναι η χρήση τέτοιων τεχνολογιών για τον εντοπισμό ζώων, όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο.

WSN/Remote Sensing/Networked Sensors/Real-time Monitoring

Αντίστοιχα με τα υπόλοιπα επίπεδα, οι κατηγορίες τεχνολογιών, WSN, remote sensing, networked sensors και real-time monitoring, παρέχουν εφαρμογές για την επεξεργασία και τη διαχείριση των δεδομένων που συλλέγονται. Τέτοιες εφαρμογές συνήθως περιλαμβάνουν τη χρήση τεχνικών data mining και machine learning για την εξαγωγή πληροφοριών και θα μας απασχολήσουν σε επόμενο κεφάλαιο.

Ωστόσο, οι εφαρμογές που συναντάμε σε αυτό το επίπεδο δεν αφορούν μόνο τη διαχείριση δεδομένων. Πολλές από αυτές υλοποιούνται και εξυπηρετούν, στην παρουσίαση των πληροφοριών που παράγονται από την επεξεργασία των δεδομένων και στην χρήση και διαχείριση των αυτοματισμών των εκάστοτε συστημάτων.

Δεν είναι σπάνιο μάλιστα, να συναντήσουμε εφαρμογές οι οποίες συνδυάζουν αυτές τις λειτουργίες σε μία εφαρμογή, η οποία στη συνέχεια χρησιμοποιείται τόσο από φυσικά πρόσωπα-χρήστες, όσο και από άλλες συσκευές-χρήστες.

Φυσικά, ανάλογα με τις απαιτήσεις των χρηστών και τον σχεδιασμό και την έκταση του συστήματος, συναντάμε διαφορετικές εφαρμογές τόσο ως προς την πολυπλοκότητα όσο και ως προς την χρηστικότητα τους.

DSS/Expert Systems

Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να αναφέρουμε τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων (Decision Support Systems/ Expert Systems), καθώς αποτελούν μια σημαντική κατηγορία εφαρμογών στον αγροτικό τομέα.

Οι παραπάνω εφαρμογές χρησιμοποιούνται ως πηγές γνώσεων και πληροφοριών και εκτελούν διεργασίες ανάλυσης. Επιπλέον, λειτουργούν και σαν αρχειοθέτες γνώσεων εφόσον δίνουν τη δυνατότητα στους χρήστες τους να προσθέτουν στις γνωσιακές τους βάσεις, εμπειρικές πληροφορίες και γνώσεις τις οποίες μετέπειτα διαμοιράζουν σε όλους του αντίστοιχους χρήστες της εκάστοτε εφαρμογής.

Αυτό για παράδειγμα, δίνει τη δυνατότητα σε πολλούς αγρότες ή κτηνοτρόφους για πιο γρήγορη προσαρμογή σε νέα είδη καλλιεργειών ή στην κτηνοτροφία, στη χρήση πιο αποδοτικών πρακτικών.

Κατ' επέκταση, ανάλογα με τον σχεδιασμό τους μπορεί να συνδεθούν κατευθείαν με συστήματα IoT τα οποία έχουν εγκατασταθεί στη μονάδα παραγωγής, και μέσω αυτών να διαχειρίζονται αυτόματα ή ημι-αυτόματα, τις διάφορες λειτουργίες της.

Στην βιβλιογραφία παράδειγμα των παραπάνω βλέπουμε στο ^[80] όπου οι Kassim, Mat & Harun, έχουν σχεδιάσει μια πρότυπη εφαρμογή.

Detection Systems

Άλλες εφαρμογές που υιοθετούνται στη διαχείριση συστημάτων στον αγροτικό τομέα, είναι η χρήση συστημάτων για την ανίχνευση ασθενειών (όπως έχει αναφερθεί και πιο πριν στο κεφ. [6.1. – Εφαρμογές IoT](#)) και άλλων ενδείξεων, όπως για παράδειγμα στην κτηνοτροφία, η ύπαρξη οίστρου. Μάλιστα, σαν ανερχόμενη πρακτική για το παραπάνω είναι και η χρήση drone³² για την ανίχνευση ασθενειών μέσω ανάλυσης εικόνων.

Cloud Technologies

Σημαντική είναι και εδώ, η συμβολή των τεχνολογιών cloud καθώς προσφέρουν διάφορες υπηρεσίες σε συστήματα IoT και στους χρήστες τους, πέραν των άλλων δυνατοτήτων που προσφέρουν, όπως έχουμε αναφέρει στα άλλα επίπεδα-κατηγορίες.

Υπηρεσίες όπως η πρόβλεψη καιρικών συνθηκών ή η διαχείριση αυτοματοποιημένων μερών, είναι μερικές από τις εφαρμογές που συναντάμε συχνά σε συστήματα IoT, τα οποία χρησιμοποιούν τεχνολογίες cloud.

Επιπλέον, το cloud αποτελεί ένα σημαντικό κομμάτι στην αλυσίδα επεξεργασίας δεδομένων, εφόσον πολλά από τα συστήματα IoT το χρησιμοποιούν σαν μέσο αποθήκευσης και επεξεργασίας. Πολύ συχνά, βλέπουμε τη χρήση του ως εξωτερικό μέρος του συστήματος όπου και εκτελούνται διεργασίες data mining ή/και machine

³² Wikipedia contributors. (2019, June 10). Agricultural drone. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved July 26, 2019, from https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Agricultural_drone&oldid=901271688

learning, εφόσον πολλά μέρη των συστημάτων IoT δεν έχουν τους απαραίτητους πόρους για να εφαρμόσουν τις διαδικασίες αυτές.

7. Εφαρμογές Μηχανικής Μάθησης και Εξόρυξης Δεδομένων στον Αγροτικό Τομέα

Όπως αναφέραμε και σε άλλα μέρη της εργασίας, με τη χρήση αισθητήρων συλλέγονται δεδομένα για την εκάστοτε καλλιέργεια και με τη βοήθεια αυτών, γίνεται στοχευμένη διαχείριση πόρων και άλλων παραγόντων. Πολλές φορές ωστόσο τα δεδομένα, ακόμα και μετά από ενδελεχή επεξεργασία, είτε είναι υπερβολικά μεγάλα σε όγκο, είτε δεν μας δίνουν άμεσα χρήσιμες πληροφορίες.

Για αυτόν τον λόγο πλέον, οι εφαρμογές που υλοποιούνται, υιοθετούν και τεχνικές εξόρυξης δεδομένων και μηχανικής μάθησης έτσι ώστε να μπορέσουν να εξάγουν και να χρησιμοποιήσουν αποτελεσματικά πιθανές πληροφορίες, οι οποίες υπάρχουν μέσα στα συλλεγμένα δεδομένα.

7.1. Smart Farming και εφαρμογές Machine Learning & Data mining

Πέρα από τον κλάδο του Precision Agriculture ο οποίος, όπως αναφέρθηκε στο κεφ. [6.1 – Εφαρμογές IoT](#), προσπαθεί να επιτύχει ακριβή διαχείριση πόρων με βάση τα δεδομένα τα οποία λαμβάνει επιτόπου (από τους αισθητήρες που βρίσκονται τοποθετημένοι στην τοποθεσία της καλλιέργειας), υπάρχει και ο κλάδος του Smart Farming.

Το SF χρησιμοποιεί τεχνικές επεξεργασίας δεδομένων (“Big Data”) σε πραγματικό χρόνο^[49]. Για την επεξεργασία τέτοιων δεδομένων συνήθως χρησιμοποιούνται τεχνικές DM και ML πάνω σε αυτά τα δεδομένα, που προκύπτουν από το στάδιο της παραγωγής. Τα γνωστικά συστήματα και οι εφαρμογές που χρησιμοποιούμε στο SF έχουν την δυνατότητα να διακρίνουν πρότυπα και τάσεις τα οποία εν δυνάμει, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την καλύτερη διαχείριση μιας καλλιέργειας, βάσει δεδομένων τα οποία προκύπτουν από συστήματα τα οποία είναι context-aware και δίνουν την δυνατότητα για μια πιο σφαιρική ανάλυση των δεδομένων, όπως ορίζουν οι (Wolfert, Sørensen & Goense, 2014) και αναφέρεται στο ^[49]. Για παράδειγμα, μπορούν να προσδιορίσουν πως μια ποικιλία σιταριού ανταποκρίνεται σε διάφορες συνθήκες και λιπάσματα και στην συνέχεια να διακρίνει ποια έχει το καλύτερο αποτέλεσμα για την συγκεκριμένη καλλιέργεια (Phenonet)^[4].

Άλλες εφαρμογές-μοντέλα, επιτρέπουν στην πρόβλεψη παραγωγής γάλακτος (Murphy et al., 2014), τα οποία όπως αναφέρεται από τους (Zom, André & Van Vuuren, 2012), παράγουν καλύτερες προβλέψεις όταν συνδυάζονται με την παρακολούθηση συγκεκριμένων παραγόντων διαβίωσης των αγελάδων (όπως για παράδειγμα την απαραίτητη ποσότητα τροφής).

Γενικά, όπως και με τις τεχνολογίες και τις τεχνικές που αφορούν το IoT, οι τεχνολογίες και οι τεχνικές που χρησιμοποιούν DM και ML, στοχεύουν στην επεξεργασία των συλλεγμένων δεδομένων και την εξαγωγή πληροφοριών για την πιο αποτελεσματική διαχείριση μιας καλλιέργειας ή κτηνοτροφικής μονάδας ^{[16][17][18][59][60][81]}.

Επιπλέον, όπως αναφέρεται στο ^[49], με βάση την ανάλυση που προσφέρουν οι παραπάνω τεχνικές, δίνεται η δυνατότητα στους χρήστες να παράγουν και να

χρησιμοποιούν μοντέλα πρόβλεψης (predictive models). Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να γίνει αξιολόγηση του μοντέλου και της ποσότητας παραγωγής και να αποφευχθούν τυχόν αστοχίες ή προβλήματα στην παραγωγή^{[49][62]}.

Πολλές από τις εφαρμογές που αναφέραμε στο κεφ. [6.1 – Εφαρμογές IoT](#), όπως η αναγνώριση ασθενειών, μπορούν να υλοποιηθούν και με τεχνικές ML και DM^[61] αν υπάρχουν τα κατάλληλα ιστορικά δεδομένα. Παραδείγματα εφαρμογών αναφέρονται στο ^[61]. Επιπλέον μας δίνεται η δυνατότητα να παρακολουθήσουμε διάφορες παραμέτρους που επηρεάζουν την καλλιέργεια και να παράγουμε μοντέλα προβλέψεων βάσει αυτών (Guo & Xue, 2012; Guo & Xue 2014; Medar & Rajpurohit 2014; Khairunniza-Bejo, Mustaffha & Ismail, 2014; Dahikar & Rode, 2014; Yengoh & Ardö, 2014; Ramesh & Vardhan, 2015). Άλλη εφαρμογή που προτείνεται στο ^[125] είναι η χαρτογράφηση της καλλιεργήσιμης έκτασης.

Βλέπουμε, από την βιβλιογραφία (ενδεικτικά ^{[16][17][18][59][60][81]}) ότι τεχνικές machine learning και data mining υιοθετούνται τακτικά και ευρέως για την διεκπεραίωση εργασιών και την ανάλυση δεδομένων που αφορούν τον αγροτικό τομέα, γεγονός που καθιστά την χρήση τους σημαντική.

Ωστόσο, παρ' όλη την ραγδαία ανάπτυξη του κλάδου, βρίσκουμε στην βιβλιογραφία μόνο πρότυπες και πολύ εξειδικευμένες εφαρμογές οι οποίες έχουν ρυθμίσει τα εκάστοτε συστήματα IoT (όπως αναφέρουμε και στο κεφ. [2.1.3.2 – Προτυποποίηση](#)) που διαθέτουν, καθαρά για τις ανάγκες τους. Αυτό μας δείχνει ότι δεν υπάρχει κάποιο εδραιωμένο γενικό και καθολικό μοντέλο IoT πάνω στο οποίο να βασίζονται οι εφαρμογές αυτές. Αυτό κατ' επέκταση αποτελεί δείκτη για την ανάπτυξη του κλάδου τόσο ως τεχνολογία όσο και σαν μοντέλο εφαρμογών.

7.2. Διαδεδομένες Τεχνικές και Τεχνολογίες

Στην πράξη, το DM και το ML δεν αποτελούν πολύ ξεχωριστές τεχνικές καθώς και οι δύο αποσκοπούν στην εξαγωγή πληροφοριών, είτε μέσω συνδέσεων των δεδομένων σε συμπεράσματα, είτε με τη δημιουργία μοντέλων τα οποία αναγνωρίζουν «μοτίβα» στα δεδομένα αυτά. Σε κάθε περίπτωση, στόχος και των δύο τεχνικών είναι η αξιοποίηση του μεγάλου όγκου πληροφοριών οι οποίες παράγονται στον αγροτικό τομέα (Lee, Hwang & Yoe, 2013).

Μέσα από τη βιβλιογραφία γίνεται φανερό ότι ένα μέρος των εφαρμογών ML και DM στον αγροτικό τομέα εφαρμόζονται σε ιστορικά δεδομένα, ανεξάρτητα από το αν οι τεχνικές αυτές χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τη λειτουργία συστημάτων IoT.

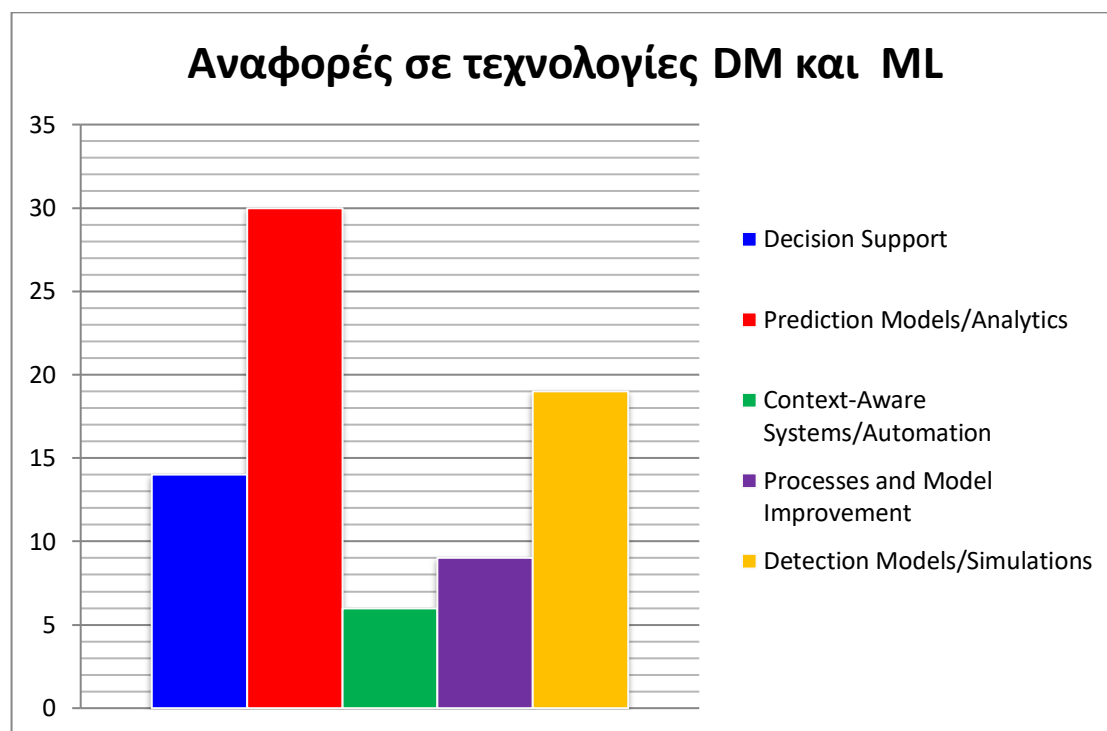
Από τη βιβλιογραφία, μπορούμε να παρατηρήσουμε επίσης ότι οι παραπάνω τεχνικές αφορούν κυρίως τα δεδομένα και όχι τις υποδομές των συστημάτων (ωστόσο διατηρούν μια έμμεση σχέση μεταξύ τους). Αυτό σημαίνει ότι ο σχολιασμός γίνεται ανεξάρτητα από το ποιες συσκευές χρησιμοποιούνται ή μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

Να σημειωθεί εδώ ότι κάποιες τεχνολογίες που έχουν αναφερθεί στο κεφ. [6.2 – Διαδεδομένες Τεχνολογίες](#) μπορεί να αναφερθούν και σε αυτό το κομμάτι της εργασίας αλλά θα εστιάσουμε περισσότερο σε πτυχές ML και DM.

Το παρακάτω γράφημα δεν αποτελεί αντιπροσωπευτική εικόνα ολόκληρου του κλάδου αλλά της συλλεγμένης βιβλιογραφίας και των σχετικών πηγών. Για να γίνει έρευνα ολόκληρου του κλάδου απαιτούνται επίσημα στατιστικά στοιχεία και εκτενής παρακολούθηση σε βάθος χρόνου, ώστε να καλυφθούν όλες οι πιθανές τεχνικές και

τεχνολογίες καθώς και διάφορες εφαρμογές οι οποίες κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας δεν έχουν δημοσιευτεί.

Η έρευνα που έγινε συνοψίζεται στο παρακάτω γράφημα:



Γράφημα. 8 Ενδεικτικές αναφορές σε τεχνολογίες data mining και machine learning.

Από τις εφαρμογές και τις χρήσεις που έχω αναφέρει στην εργασία, συμπεραίνουμε ότι το ML και το DM αποτελούν σημαντικές τεχνικές για τη σωστή αξιοποίηση των δεδομένων που παράγονται κατά την λειτουργία των συστημάτων IoT, μέσα σε μια καλλιέργεια ή κτηνοτροφική μονάδα.

Από το γράφημα, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι οι κυριότερες λειτουργίες που εξυπηρετούν οι δύο τεχνικές, αφορούν την ανάλυση δεδομένων και την παραγωγή χρήσιμων πληροφοριών από αυτά, καθώς και τη δημιουργία μοντέλων προσανατολισμένων στην ανίχνευση προτύπων.

Οι βασικές κατηγορίες χρήσης των δύο τεχνικών είναι:

- DSS: συστήματα τα οποία χρησιμοποιούν ML και DM για τη λήψη ή την υποστήριξη λήψης αποφάσεων.
- Prediction Models/Analytics: η ανάλυση των δεδομένων για την παραγωγή μοντέλων πρόβλεψης ή την εύρεση πληροφοριών που θα βοηθήσουν την παραγωγή αλλά και το υπόλοιπο «κομμάτι» της αλυσίδας.
- Context-Aware Systems/Automation: η χρήση των παραπάνω δεδομένων για τη μοντελοποίηση του περιβάλλοντος και στη συνέχεια η επίδραση σε αυτό, μέσω εργαλείων αυτοματισμού και αλληλεπίδρασης (π.χ. λήψη αποφάσεων για το αν ένα μέρος της καλλιέργειας χρειάζεται συχνότερο πότισμα και προγραμματισμός αυτού μέσω αυτοματοποιημένων ψεκαστήρων).

- **Process and Model Improvement:** η χρήση των παραπάνω τεχνικών για την βελτίωση των μοντέλων λειτουργίας των συστημάτων IoT, των διαδικασιών λειτουργίας της καλλιέργειας (όχι μόνο αυτών που αφορούν την πληροφορική) και των διαδικασιών που εκτείνονται σε άλλα μέρη της αλυσίδας παραγωγής και πώλησης.
- **Detection Models/Simulations:** η χρήση των παραπάνω τεχνικών για την αναγνώριση προτύπων (π.χ. ενδείξεις για κάποια αρρώστια στις καλλιέργειες ή στα ζώα) και τη δημιουργία σεναρίων και προβλέψεων βάσει επιλογών των χρηστών. Παράδειγμα εφαρμογής του ML για αυτήν την κατηγορία, δίνεται στο ^[125].

Βάσει των παραπάνω μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι οι αναφερόμενες κατηγορίες, αν και είναι ουσιαστικά διαφορετικές λειτουργίες, είναι ωστόσο στενά συνδεδεμένες και εμφανίζουν «αλληλοεπικαλύψεις». Σε κάθε περίπτωση, ο σκοπός χρήσης των παραπάνω, παραμένει η ανάλυση των παραγόμενων δεδομένων για την εξαγωγή χρήσιμων πληροφοριών και την αξιοποίηση τους για την βελτίωση του αγροτικού τομέα ως κλάδο αλλά και την βελτίωση των λειτουργιών του.

Επίσης, να σημειωθεί ότι σε αρκετές αναφορές σε εφαρμογές που χρησιμοποιούν τις παραπάνω τεχνικές αναφέρεται και η χρήση υπηρεσιών cloud σε συνδυασμό με αυτές. Βλέπουμε, επομένως ότι το IoT κάνει συχνή χρήση τεχνολογιών cloud, ML και DM.

Αλγόριθμοι ML/DM

Βάσει της βιβλιογραφίας παρατηρούμε ότι οι αλγόριθμοι οι οποίοι παρουσιάζουν κάποιο ενδιαφέρον είναι:

- ANN/NN (Neural Networks)
- DNN
- NB
- Association Rules
- Nearest Neighbor
- SVM
- Random Forest
- Regression Models
- DT
- Fuzzy Logic^[54]

Ο σχολιασμός και ανάλυση των παραπάνω βρίσκεται εκτός ενδιαφέροντος της παρούσας εργασίας ωστόσο, παρουσιάζουν ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον, αν λάβουμε υπόψη την ολοένα συχνότερη χρήση τεχνικών ML και DM, σε συστήματα IoT, στον αγροτικό τομέα.

8. Παραδείγματα Εφαρμογών

8.1. Υπάρχουσες εφαρμογές

Βάσει σχετικής έρευνας, υπάρχουν μερικά παραδείγματα εφαρμογών τα οποία μπορούμε να αναφέρουμε συνοπτικά στην παρούσα εργασία. Τα παραδείγματα αφορούν δύο Ευρωπαϊκά προγράμματα τα οποία έχουν σαν τεχνολογία-κλειδί το IoT και την εφαρμογή του στον αγροτικό τομέα. Τα δύο αυτά προγράμματα είναι: το IoF2020³³ και το SWAMP. Επιπλέον, μέσα από την βιβλιογραφία έχουμε αναφορές σε πρότυπες εφαρμογές όπως το SmartFarmNet στο ^[48] και το Phenonet ^{[4][127]}.

IoF2020

Το IoF2020, σύμφωνα με την σελίδα παρουσίασής του, είναι ένα ευρωπαϊκό πρόγραμμα το οποίο στοχεύει στο να εκσυγχρονίσει την παραγωγή στον αγροτικό τομέα μέσω της σταδιακής υιοθέτησης του IoT. Με το να συνδυάσει την τεχνολογία του IoT με τον κλάδο, έχει ως στόχο την καλύτερη, ασφαλέστερη και πιο οικονομική παραγωγή τροφίμων καθώς και την ενίσχυση του ανταγωνισμού των αγροτών αγροτικών προϊόντων.

Όπως αναφέρεται και από το briefing του εγχειρήματος, η ζήτηση σε τρόφιμα και άλλα αγροτικά είδη ολοένα αυξάνεται. Το γεγονός αυτό με την σειρά του προσδίδει περαιτέρω δυσκολίες στην παραγωγή, για να ανταπεξέλθει σε αυτές τις απαιτήσεις. Με την σωστή τεχνογνωσία και την χρήση συστημάτων και τεχνολογιών IoT, οι απαιτήσεις σε ζήτηση και παραγωγή μπορούν να εκπληρωθούν αποτελεσματικότερα και οικονομικότερα, εφόσον η χρήση τους δίνει δυνατότητες καλύτερης διαχείρισης και βελτιωμένης απόδοσης κατά την παραγωγή. Το IoT στο συγκεκριμένο πρόγραμμα, ωστόσο, δεν περιορίζεται μόνο στην παραγωγή αλλά και σε άλλα κομμάτια της αλυσίδας, όπως στην προώθηση των προϊόντων στις αγορές και στην κατανομή.

SWAMP

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής δεν θα γίνει σχολιασμός των τεχνικών χαρακτηριστικών της συγκεκριμένης εφαρμογής ωστόσο θα προχωρήσω στον σχολιασμό της επιλογής του μοντέλου λειτουργίας και των λοιπών χαρακτηριστικών λειτουργίας.

Το SWAMP (Smart Water Management Platform) είναι ένα εγχείρημα το οποίο αποσκοπεί στην αποδοτικότερη διαχείριση του νερού που χρησιμοποιείται για άρδευση καλλιεργειών, όπως αναφέρεται στην εργασία των Kamienski et. all. (Kamienski et. all., "SWAMP: an IoT-based Smart Water Management Platform for Precision Irrigation in Agriculture." 2018).

Το SWAMP ακολουθεί ένα μοντέλο 5 επιπέδων^[44]:

1. Συσκευές και Επικοινωνία

³³<https://www.iof2020.eu/>, https://cordis.europa.eu/project/rcn/206761_en.html

2. Συλλογή πληροφοριών, Ασφάλεια και Διαχείριση
3. Διαχείριση Πληροφοριών
4. Άρδευση και Μοντέλα Διανομής
5. “Water Application Services”^[44]: υπηρεσίες προς τους χρήστες του συστήματος

Κάθε επίπεδο επιτελεί συγκεκριμένα καθήκοντα τα οποία εξυπηρετούν συνδυαστικά τις ανάγκες αυτόματης άρδευσης. Το κάθε επίπεδο είναι έτσι φτιαγμένο ώστε να προσφέρει διαφορετικό επίπεδο «αφαίρεσης» (όσον αφορά την αρχιτεκτονική του συστήματος) και κατ’ επέκταση προσφέρει διαφορετικό επίπεδο λεπτομερούς παραμετροποίησης^[44]: τα επίπεδα 1, 2, 3 είναι έτσι φτιαγμένα ώστε να δίνουν την δυνατότητα χρήσης και σε άλλες εφαρμογές ενώ τα υπόλοιπα επίπεδα παραμετροποιούνται εξ αρχής, στις ανάγκες της υλοποίησης του αντίστοιχου συστήματος^[44].

Το ολοκληρωμένο μοντέλο υλοποίησης του, αποτελείται από 3 νοητούς κόμβους-μέρη: “SWAMP Field Fog Node”, “SWAMP Fog Hub” και “SWAMP Cloud”^[44].

Το FFN (Field Fog Node) μαζί με το FH (Fog Hub) αποτελούν την εγκατάσταση που συναντάμε στην καλλιέργεια, ενώ στο Cloud (SWAMP Cloud) γίνεται προσπέλαση μέσω σύνδεσης στο Διαδίκτυο. Το FFN είναι το βασικό κομμάτι στο οποίο ανήκουν οι διάφορες συσκευές, όπως αισθητήρες και άλλο σχετικό υλικό^[44]. Το FH παίζει τον ρόλο της διασύνδεσης μεταξύ του χρήστη του συστήματος, με τις υπηρεσίες που προσφέρονται από το σύστημα καθώς και του FFN με το Cloud. Τέλος το Cloud, συσσωρεύει τα δεδομένα τα οποία παράγονται από το σύστημα, τα αποθηκεύει και τα επεξεργάζεται και ανάλογα με την έκταση και την παραμετροποίηση του, δίνει την δυνατότητα χειρισμού όλου του συστήματος.

SmartFarmNet

Το SmartFarmNet είναι ένα από τα μεγαλύτερα δίκτυα χρηστών και εφαρμογών παρακολούθησης στον αγροτικό τομέα. Αποτελεί ένα δίκτυο από συστήματα IoT και διασυνδέει πολλές μονάδες παραγωγής έτσι ώστε να δημιουργήσει μια βάση γνώσεων^[48]. Υποστηρίζει την εύρεση νέων κόμβων IoT και την αυτόματη «ενσωμάτωσή» τους και των δεδομένων που παράγουν, στο δίκτυο, μέσω διάφορων προτύπων και τεχνικών semantic web³⁴. Κατ’ επέκταση, υποστηρίζει τη διασύνδεση ετερογενών συστημάτων σε μια κοινή βάση ώστε να υπάρχει πρόσβαση στις απαραίτητες πληροφορίες από όλους τους χρήστες της εφαρμογής^[48], το οποίο όπως φαίνεται από το “Table 1” («Πίνακα 1») της πηγής ^[48] και όπως αναφέρεται στο κεφ. 2.1.3.2. - Προτυποποίηση, δεν έχει εφαρμοσθεί πλήρως από άλλες παρόμοιες εφαρμογές άλλων φορέων-παρόχων.

Τα δεδομένα της εφαρμογής είναι χωρισμένα –θεωρητικά– σε διαστρωματομενά επίπεδα σε μορφή «πυραμίδας». Αυτή η οργάνωση αντικατοπτρίζεται και στα metadata τα οποία αποδίδονται στα συλλεγόμενα δεδομένα. Επιπλέον, κάθε επίπεδο (ανάλογα με τον ρόλο του) χωρίζεται σε κόμβους έτσι ώστε να υπάρχει μια οργάνωση των δεδομένων σε πρακτικό επίπεδο^[48]. Συγκεκριμένα έχουμε από πάνω προς τα κάτω, σύμφωνα με τους (Jayaraman et al., 2016):

³⁴ Wikipedia contributors. (2019, July 13). Semantic Web. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved August 1, 2019, from https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Semantic_Web&oldid=906091384

1. Users («Χρήστες»)
2. Experiments («Πειράματα»)
3. Nodes («Κόμβους»)
4. Streams («Ροές»)

Στο επίπεδο 4 συνδέονται οι φυσικές συσκευές αισθητήρων. Οι ροές οργανώνουν την κάθε «ροή-κατηγορία» πληροφορίας από τους κόμβους και ο κάθε κόμβος αφορά ένα μέρος της καλλιέργειας^[48].

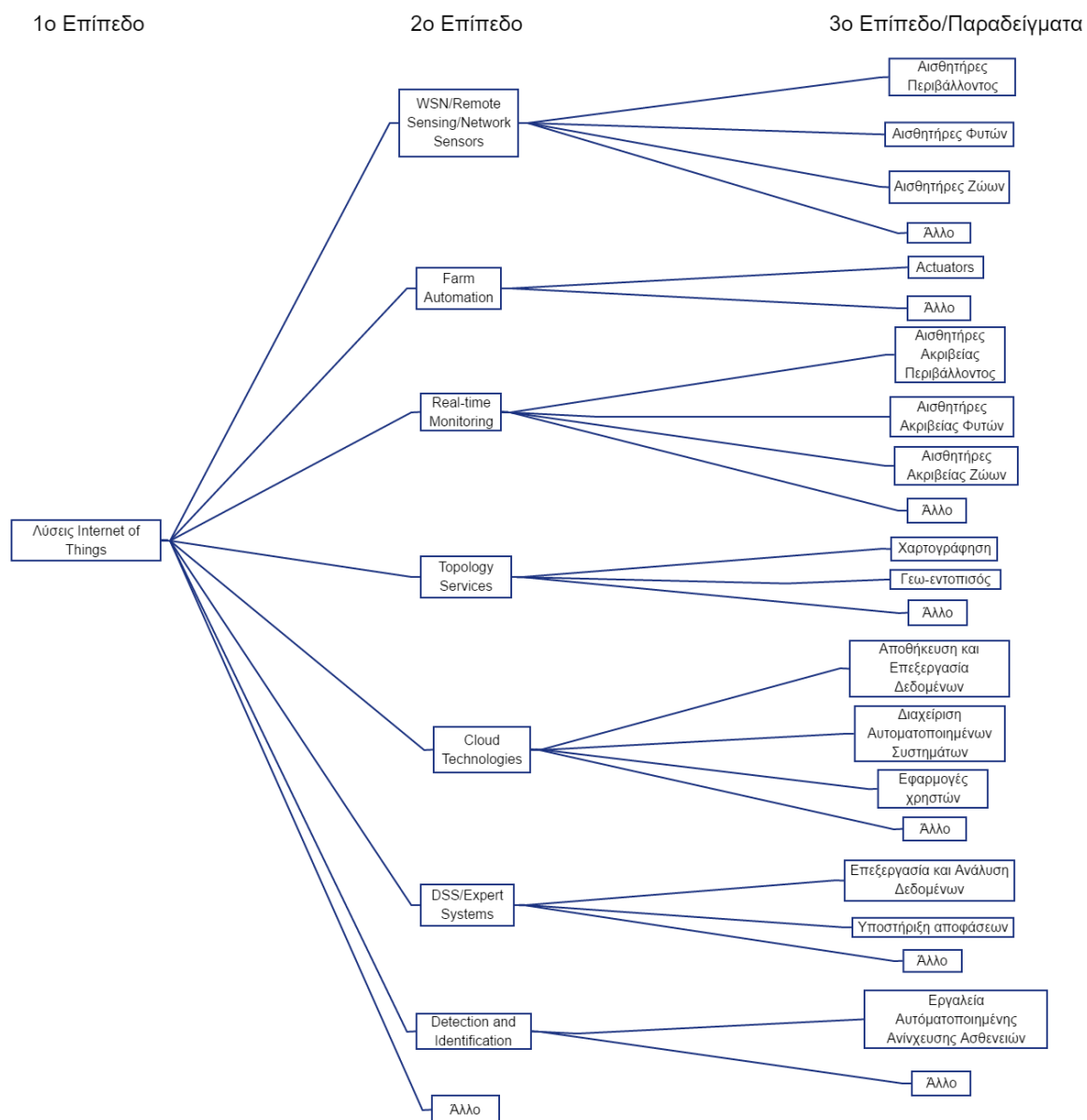
Η αρχιτεκτονική του SmartFarmNet χρησιμοποιεί τόσο τις συσκευές στο τοπικό δίκτυο όσο και το cloud (όπου βρίσκεται η κύρια πλατφόρμα) για επεξεργασία των παραγόμενων δεδομένων. Με αυτόν τον τρόπο διασυνδέονται αποτελεσματικά οι δύο «άκρες» του συστήματος (σύστημα αισθητήρων, πλατφόρμα στο cloud) και γίνεται δυνατή η συλλογή δεδομένων από διαφορετικών ειδών πηγές^[48].

Η συγκεκριμένη εφαρμογή δίνει ένα πολύ καλό παράδειγμα, καθώς προσπαθεί να επιλύσει αρκετά προβλήματα όπως αυτό της προτυποποίησης (κεφ. [2.1.3.2. – Προτυποποίηση](#)) και της διαχείρισης δεδομένων (κεφ. [2.1.3.3. – Data Governance](#)). Επιπλέον, σύμφωνα με τις δυνατότητες που προσφέρει, καλύπτει σχεδόν όλες τις απαιτήσεις (διαλειτουργικότητα, διασύνδεση, εύρωστη επεξεργασία δεδομένων και υποστήριξη χρηστών) ενός ολοκληρωμένου συστήματος IoT καθώς και τις περισσότερες ανάγκες των χρηστών.

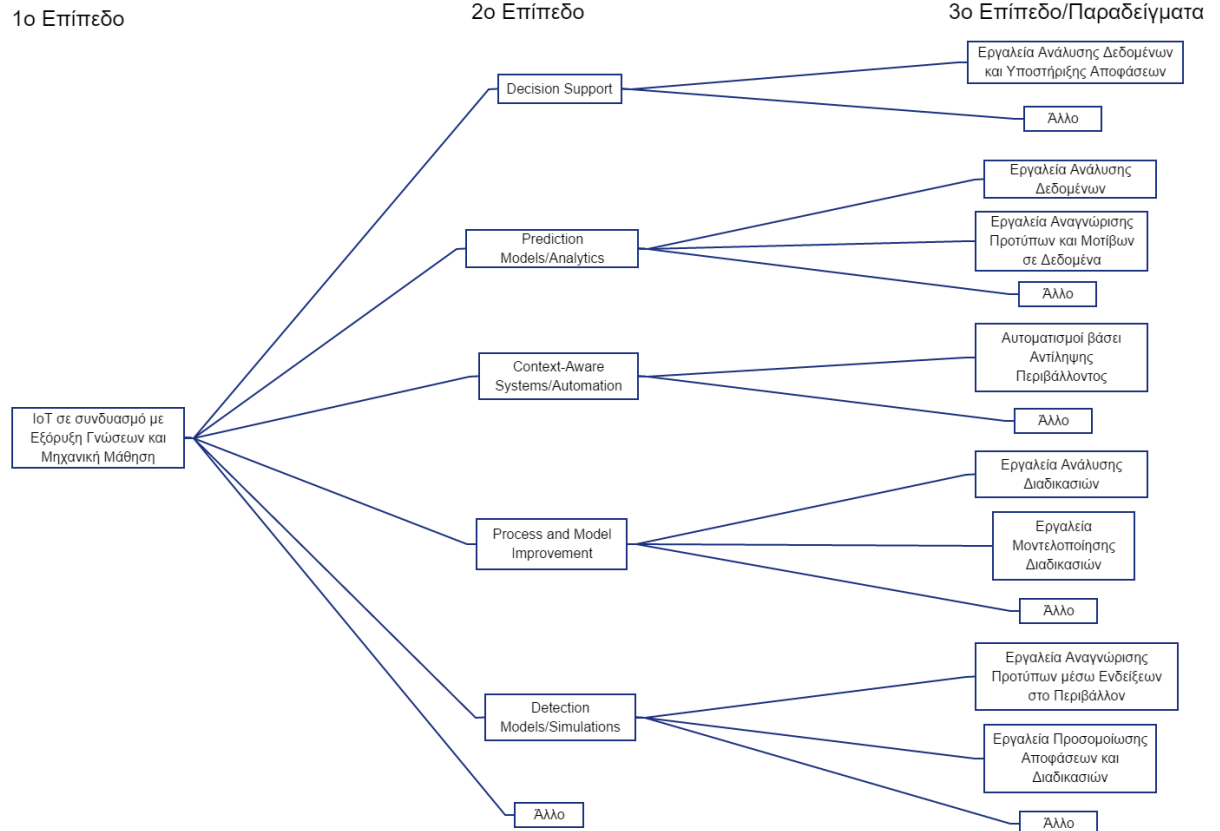
Να σημειωθεί εδώ ότι οι παραπάνω αναφορές δεν είναι εξαντλητικές ούτε και αντιπροσωπευτικές όλων των εφαρμογών. Όπως αναφέρεται συχνά στην εργασία αυτή, ο κλάδος του IoT εξελίσσεται συνεχώς. Επομένως δεν αποκλείεται να υπάρχουν εφαρμογές και use cases, τα οποία δεν έχουν δημοσιοποιηθεί ή βρίσκονται ακόμα σε πειραματικό στάδιο και προβλέπεται να δημοσιοποιηθούν ή γενικά, να γίνουν διαθέσιμα στο εγγύς μέλλον.

8.2. Κατηγοριοποίηση Εφαρμογών

Παρακάτω δίνουμε μια ενδεικτική ταξινόμηση των παραπάνω κατηγοριών σε επίπεδο εφαρμογών. Αρχικά από τεχνικής πλευράς:

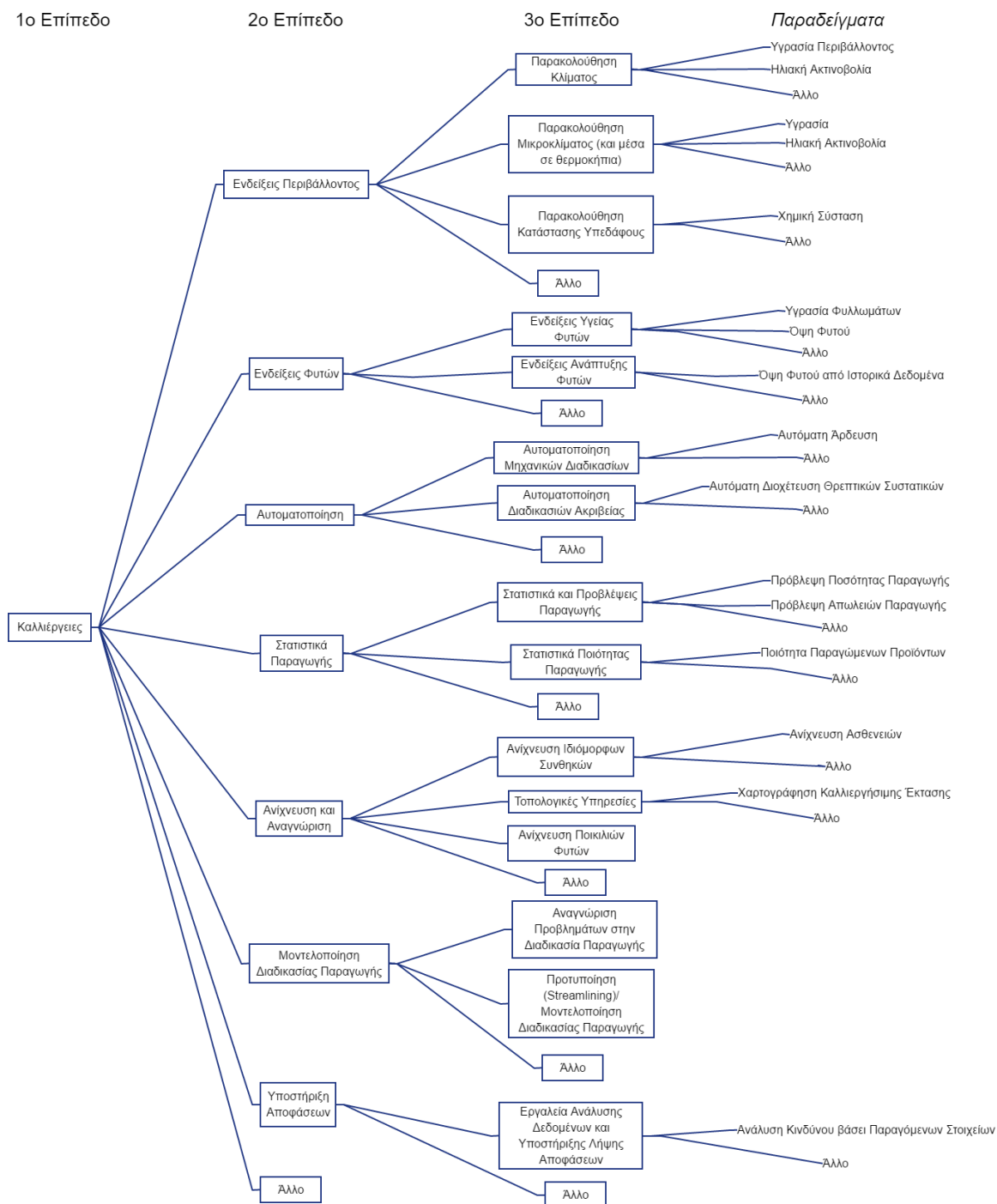


Εικόνα. 2 Ταξινόμηση κατηγοριών εφαρμογών του Διαδικτύου των Πραγμάτων από τεχνική σκοπιά.

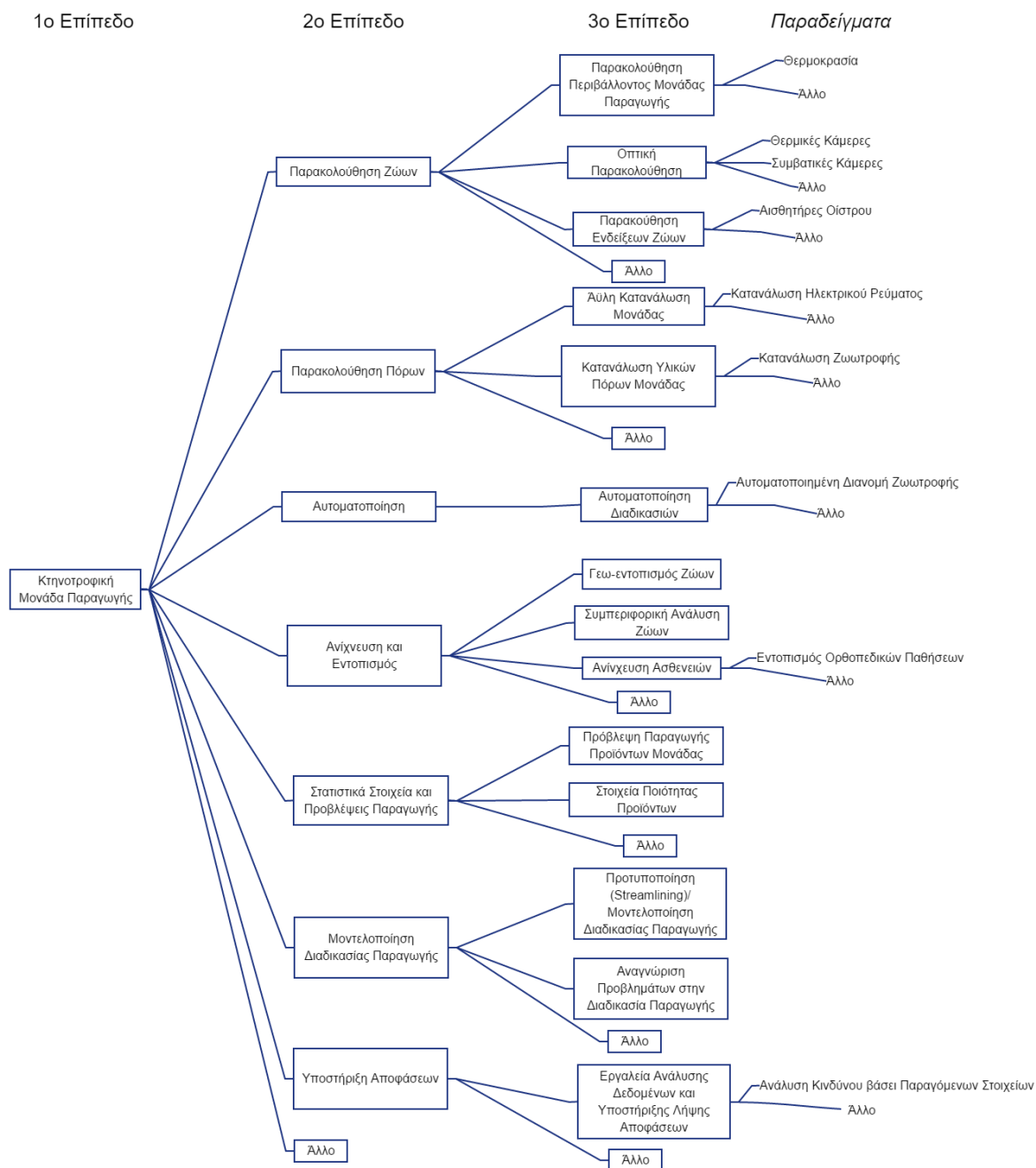


Εικόνα. 3 Ταξινόμηση κατηγοριών εφαρμογών του Διαδικτύου των Πραγμάτων σε συνδυασμό με εφαρμογές Εξόρυξης Δεδομένων και Μηχανική Μάθησης από τεχνική σκοπιά.

Στην συνέχεια παραθέτουμε και ενδεικτική κατηγοριοποίηση των εφαρμογών αυτών από την σκοπιά των χρηστών:



Εικόνα. 4 Ταξινόμηση κατηγοριών εφαρμογών IoT από την σκοπιά των χρηστών.



Εικόνα. 5 Ταξινόμηση εφαρμογών Διαδικτύου των Πραγμάτων σε συνδυασμό με εφαρμογές Εξόρυξης Δεδομένων και Μηχανική Μάθηση από την σκοπιά των χρηστών

9. Καλές πρακτικές και αξιοποίηση δεδομένων

Βάσει των τεχνολογιών που αναφέραμε στα κεφ. [6.2](#) και [7.2](#) θα παραθέσω σε αυτό το κεφάλαιο ποιες από αυτές τις τεχνολογίες και τεχνικές, μπορούμε να θεωρήσουμε, κατά την άποψή μου καλές πρακτικές στον αγροτικό τομέα.

Αρχικά, θα δοθούν τα κριτήρια με τα οποία θα γίνει η επιλογή των τεχνολογιών και πως την επηρεάζουν. Στην συνέχεια θα προχωρήσουμε στην παράθεση των τεχνολογιών και στην ανάλυση της επιλογής για κάθε τεχνολογία.

Το κεφάλαιο έχει χωριστεί σε δύο τμήματα έτσι ώστε να ομαδοποιηθούν τα ζητήματα και τα αποτελέσματα ξεχωριστά, για να αποφευχθούν τυχόν ασάφειες. Ωστόσο, υπάρχουν τεχνολογίες και τεχνικές οι οποίες πιθανώς να συνδυάζουν και τα δύο τμήματα, δεδομένης της φύσης τους. Σε αυτήν την περίπτωση θα εξηγήσω την επιλογή της κάθε μιας για το εκάστοτε κεφάλαιο, αντίστοιχα.

9.1. Καλές Πρακτικές εφαρμογών του IoT στον Αγροτικό Τομέα

Από τις πολυάριθμες αναφορές που έχουν γίνει σχεδόν σε όλη την βιβλιογραφία, μπορούμε να διακρίνουμε κάποια κοινά μοτίβα όσον αφορά την χρήση του IoT στον αγροτικό τομέα. Ωστόσο, κάθε ένα από αυτά βασίζεται σε μια ανάγκη που ορίζει ο αγροτικός κλάδος.

Η εξοικονόμηση πόρων έχει ωθήσει τα συστήματα και τις εφαρμογές, στην αυτοματοποίηση διαδικασιών, όπου οι πιο συχνές εφαρμογές είναι η αυτόματη άρδευση, στον τομέα των καλλιεργειών και η παρακολούθηση κατανάλωσης τροφής και αυτόματη διανομή της, στον τομέα της κτηνοτροφίας.

Οι παραπάνω ενέργειες εκτελούνται βάσει των παρακάτω βασικών κριτηρίων, όσον αφορά την παραγωγή στον τομέα των καλλιεργειών:

- Ο τύπος της καλλιέργειας ως προς την τοπολογία, την έκταση και τον τρόπο καλλιέργειας (π.χ. θερμοκήπια, hydroponic³⁵ farming κ.α.).
- Ο τύπος της καλλιέργειας ως προς την ποικιλία και το είδος των φυτών που καλλιεργούνται και οι ιδιαίτερες ανάγκες και απαιτήσεις που επιβάλλει.
- Οι περιβαλλοντικές συνθήκες όπως: ο καιρός, τα θρεπτικά συστατικά και η υγρασία υπεδάφους, η κατάσταση του νερού που χρησιμοποιείται στην άρδευση, η σύσταση του αέρα, η ηλιακή έκθεση της καλλιέργειας με τα σχετικά στοιχεία, το κλίμα και το μικροκλίμα που επικρατούν (συνήθως σε καλλιέργειες μεγάλης έκτασης).
- Ενδείξεις των φυτών της καλλιέργειας όπως: η υγρασία στα μέλη των φυτών (π.χ. leaf wetness), οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται και η εικόνα των φυτών.
- Άλλοι παράγοντες, ειδικοί ως προς την καλλιέργεια.

Όλοι οι παραπάνω παράγοντες μαζί με άλλους πιο ειδικούς, αποτελούν δεδομένα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν, για να ορίσουμε την κατανάλωση πόρων έτσι ώστε να γίνεται με τον οικονομικότερο τρόπο (π.χ. δεν υπάρχει λόγος να ποτίσουμε αν γνωρίζουμε ότι θα βρέξει). Επίσης, χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τεχνικές αξιοποίησης δεδομένων, σε αυτοματοποιημένα συστήματα, έτσι ώστε να

³⁵ Wikipedia contributors. (2019, July 17). Hydroponics. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved July 30, 2019, from <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Hydroponics&oldid=906661208>

λαμβάνονται αυτόνομα αποφάσεις και να εκτελούνται οι ανάλογες ενέργειες χωρίς να απαιτείται ανθρώπινη παρέμβαση.

Άλλες εφαρμογές που πραγματοποιούνται βάσει των παραπάνω παραγόντων είναι η αναγνώριση ασθενειών ή ζιζανίων (αν μιλάμε για φυτικές καλλιέργειες) και η πρόβλεψη παραγωγής (η οποία παρουσιάζει περισσότερο ενδιαφέρον στο επόμενο κεφάλαιο).

Στον τομέα της κτηνοτροφίας, παρατηρούμε ότι τα συστήματα IoT συνήθως παρακολουθούν τους εξής παράγοντες:

- Μορφολογία των ζώων: ενδείξεις για πιθανές κινητικές ή άλλες παθήσεις.
- Συμπεριφορά των ζώων: παράγοντας ο οποίος χρησιμοποιείται συνήθως για την αναγνώριση πιθανών αιτιών μείωσης της παραγωγής ή ως ένδειξη ασθενειών.
- Τοποθεσία των ζώων.
- Ενδείξεις οίστρου καθώς αποτελεί παράγοντας ο οποίος χρήζει ιδιαίτερης μεταχείρισης εφόσον παραθέτει επιπλέον ανάγκες και απαιτήσεις, προς τον κτηνοτρόφο.
- Κατανάλωση τροφής ανά ζώο.
- Ποσότητα και ποιότητα τροφής των ζώων. Δηλαδή, εμμέσως μετριέται η γενική κατανάλωση τροφής και η σύνδεση που έχει η ένδειξη αυτή με την ποιότητα της τροφής και την συμπεριφορά (και υγεία) των ζώων.
- Σε ζώα τα οποία «παράγουν» αγαθά (π.χ. αγελάδες), μετρήσεις ποσότητας και ποιότητας του παραγόμενου προϊόντος.

Όλοι οι παραπάνω παράγοντες αποτελούν πηγές δεδομένων για την κατάσταση που επικρατεί σε μια κτηνοτροφική μονάδα, όσον αφορά τα ζώα και την παραγωγή.

Έχοντας γνώση αυτής, μπορούμε να σχεδιάσουμε αυτοματοποιημένες και αυτόνομες εργασίες (π.χ. αυτόματη διανομή τροφής) καθώς και να παραμετροποιήσουμε το περιβάλλον, επακριβώς και σύμφωνα με τις ανάγκες των ζώων και της παραγωγής.

Επιπρόσθετα και ενδεικτικά, όπως αναφέρεται και στο ^[129], μπορούμε να έχουμε επιπλέον μετρήσεις όπως:

- Κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος.
- Κατανάλωση νερού.

Αυτό εμπίπτει στην κατηγορία “Process and Model Improvement” όπου η χρήση των συστημάτων IoT σε συνδυασμό με τεχνικές ML και DM χρησιμοποιούνται έμμεσα για την βελτίωση του τρόπου λειτουργίας μιας κτηνοτροφικής ή άλλης μονάδας.

9.2. Τρόποι αξιοποίησης παραγόμενων δεδομένων

Ένα άλλο μοτίβο που παρατηρείται πολύ συχνά είναι η παρακολούθηση της καλλιέργειας, η οποία αφορά τη δημιουργία γνώσης και όχι την αξιοποίηση πόρων. Με βάση τους παράγοντες που αναφέραμε στο κεφ. [9.1. – Καλές πρακτικές εφαρμογών του IoT στον αγροτικό τομέα](#), μπορούμε να συλλέξουμε δεδομένα και να τα χρησιμοποιήσουμε έτσι ώστε να βγάλουμε συμπεράσματα για την αποδοτικότερη

καλλιέργεια της εκάστοτε «ποικιλίας» ή για την παραγωγή γνώσης για αυτήν. Πολλές από τις καλλιέργειες βασίζονται σε καθαρά εμπειρικές γνώσεις οι οποίες δεν είναι πάντα αξιόπιστες και αποδοτικές.

Με τη χρήση συστημάτων για την παρακολούθηση, μας δίνεται η δυνατότητα να συλλέξουμε δεδομένα τα οποία σε βάθος χρόνου και με την εφαρμογή τεχνικών ML και DM, μπορούν να μας δώσουν χρήσιμες πληροφορίες για την καλλιέργεια ή την κτηνοτροφία και κατ' επέκταση τρόπους για να πετύχουμε μέγιστη απόδοση, όσον αφορά την παραγωγή.

Άλλος τρόπος αξιοποίησης των δεδομένων είναι η εύρεση πληροφοριών μέσα από αυτά τα δεδομένα τα οποία αφορούν έμμεσους παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή, οι οποίοι δεν είναι άμεσα εμφανείς στους εμπειρογνώμονες, αλλά παρ' όλα αυτά παίζουν σημαντικό ρόλο (π.χ. πρακτικές οι οποίες φαίνεται να μην έχουν σχέση με την παραγωγή ωστόσο την επηρεάζουν).

Επιπλέον, με την συνεχή συλλογή δεδομένων και την χρήση DM και ML, παγιώνεται το μοντέλο λειτουργίας μιας μονάδας και γίνονται εμφανείς οι παράγοντες που επηρεάζουν τη λειτουργία και την παραγωγή της. Αυτό κατ' επέκταση δίνει στους εμπλεκόμενους την δυνατότητα: να διορθώσουν τυχόν κακές πρακτικές, να βελτιώσουν ή να επεκτείνουν τις διαδικασίες που ακολουθούν, να επεκτείνουν το μοντέλο λειτουργίας και γενικά να βελτιστοποιήσουν την λειτουργία της μονάδας τόσο ως προς την εσωτερική λειτουργία, όσο και ως προς την αλληλεπίδραση της μονάδας με το «περιβάλλον» της και τις αλυσίδες παραγωγής στις οποίες είναι μέλος.

9.3. Πορίσματα

Από την έρευνα που έχει γίνει συμπεραίνουμε ότι καλές πρακτικές αποτελούν:

- Συλλογή πληροφοριών για την κατανόηση συμπεριφοράς των καλλιεργήσιμων ειδών ή των ζώων έναντι άλλων συνθηκών (π.χ. περιβαλλοντικές συνθήκες ή άλλες για ειδικά σενάρια)
- Συλλογή πληροφοριών για την αυτόματη, αυτόνομη και αποδοτική εκτέλεση ενεργειών και κατ' επέκταση εξοικονόμηση πόρων.
- Συλλογή πληροφοριών για την ανίχνευση ασθενειών και άλλων ιδιαίτερων συνθηκών, που δυνητικά μπορούν να δυσκολέψουν ή να εμποδίσουν την παραγωγή.
- (Σε συνδυασμό με την αξιοποίηση πληροφοριών) Η συλλογή δεδομένων για την παραγωγή πληροφοριών και γνώσης που αποσκοπούν στην ακριβέστερη και πιο ενδελεχή κατανόηση των καλλιεργειών ή των ζώων και η χρήση αυτών για την βελτίωση της απόδοσης ή/και των συνθηκών παραγωγής.
- Συλλογή πληροφοριών για την παραγωγή και τις επιμέρους διαδικασίες και στην συνέχεια βελτιστοποίηση αυτών βάσει συλλεγμένων δεδομένων.

Βάσει των παραπάνω μπορούμε να πούμε ότι το IoT και οι τεχνικές ML και DM μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως δείκτες καινούριων πρότυπων τρόπων καλλιέργειας και παραγωγής: με την χρήση των υπαρχόντων δεικτών (δημιουργημένων με στατιστικές ή άλλες τεχνικές), είναι δυνατό στο εγγύς μέλλον, να προβούμε σε αποδοτικότερο benchmarking της παραγωγής και των διάφορων λειτουργιών μέσω των συστημάτων IoT και κατ' επέκταση να τα χρησιμοποιήσουμε

(τα συστήματα IoT) όχι μόνο ως συστήματα που έχουν ως σκοπό την βελτίωση, αλλά και ως συστήματα για την εκτίμηση επιτυχίας της παραγωγής.

Το αντικείμενο βρίσκεται εκτός του παρόντος θέματος ωστόσο, παρουσιάζει ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον.

10. Συμπεράσματα

Από την ανάλυση που έγινε στο υπόλοιπο μέρος της εργασίας, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι ο κλάδος IoT και τα πρότυπα συστήματα που προσφέρει, καθώς και ο συνδυασμός των τεχνολογιών του με τεχνικές ML και DM, αποτελούν ένα σύνθετο και περίπλοκο κράμα.

Αρχικά, ο κλάδος του IoT από τεχνικής άποψης, αποτελεί έναν πολυσύνθετο εγχείρημα και επιχειρεί να συνδυάσει πολλών ειδών τεχνολογίες και τεχνικές, έτσι ώστε να επιτύχει την σύνδεση του φυσικού περιβάλλοντος με τον κυβερνοχώρο. Αυτό οδηγεί αναπόφευκτα σε θέματα προτυποποίησης των εφαρμογών του και στην δημιουργία ενός τεχνολογικού οικοσυστήματος το οποίο δεν εξυπηρετεί στην ομαλή υιοθέτηση και υλοποίηση τους. Ενδεικτικό παράδειγμα αποτελεί η πληθώρα προτύπων και πρωτοκόλλων επικοινωνίας, όπως είδαμε στο κεφ. [2.6 – Επικοινωνία και Δικτύωση στα Συστήματα IoT](#).

Επιπλέον, οι ιδιαίτερες απαιτήσεις που παρουσιάζουν τα συστήματα IoT, δυσχεραίνουν τόσο την προσαρμογή υπαρχόντων τεχνολογιών στο μοντέλο του κλάδου όσο και την δημιουργία νέων προτύπων, τα οποία θα μπορούσαν να ικανοποιήσουν τις παραπάνω απαιτήσεις.

Παρ' όλες, τις δυσκολίες ωστόσο, τα συστήματα IoT παρέχουν ισχυρά εργαλεία τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά στον αγροτικό τομέα, ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τεχνικές ανάλυσης δεδομένων όπως το DM και το ML.

Από άλλη σκοπιά, οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μελών ενός συστήματος IoT και του περιβάλλοντος, δεν περιορίζονται μόνο στην συλλογή δεδομένων (το οποίο ωστόσο αποτελεί πολύ βασικό κομμάτι των διαδικασιών του) αλλά και στην επίδραση των πληροφοριακών συστημάτων του στο περιβάλλον, μέσω αυτοματισμών. Επίσης, σημαντικό μέρος των επικοινωνιών των συστημάτων αυτών αποτελεί και η δικτύωση των κόμβων του και άλλων δικτύων καθώς και του Διαδικτύου, έτσι ώστε να καταστεί δυνατή η εύρυθμη και γρήγορη επικοινωνία και ανταλλαγή δεδομένων.

Εφαρμογές όπως συστήματα υποστήριξης αποφάσεων, και μηχανισμοί αυτόματης άρδευσης καθώς και συστήματα ανίχνευσης ασθενειών είναι λίγες από τις δυνατότητες που μας προσφέρουν τα συστήματα IoT, όπως είδαμε στα κεφ. [5](#), [6](#) και [7](#). Καθώς ο κλάδος του IoT «ωριμάζει» και νέες εξελίξεις αναδεικνύουν νέες τεχνικές δυνατότητες που μπορεί να προσφέρει, θα αυξηθούν αντίστοιχα και οι εφαρμογές στις οποίες θα μπορέσει να συμβάλει.

Με την χρήση των παραπάνω τεχνικών και των τεχνολογιών που προσφέρουν τα συστήματα IoT, μας δίνουν τη δυνατότητα εύρεσης πληροφοριών μέσα από ένα αχανές και ογκώδες οικοσύστημα δεδομένων, χρησιμοποιώντας τεχνικές εξόρυξης δεδομένων και τεχνικές μηχανικής γνώσης. Επιπλέον, μας προσφέρουν εργαλεία για τη δημιουργία προβλέψεων και την προσομοίωση σεναρίων, την αυτόματη και αυτόνομη λήψη αποφάσεων και τη χρήση αυτών για την αποδοτική αλληλεπίδραση με το περιβάλλον και τέλος, τη δυνατότητα βελτίωσης διαδικασιών και λειτουργιών.

Στο τελευταίο κομμάτι της εργασίας (κεφ. [9 – Καλές πρακτικές και αξιοποίηση δεδομένων](#)) παρατίθενται, βάσει των αναλύσεων στην εργασία, καλές πρακτικές που ακολουθούνται στον αγροτικό τομέα. Οι περισσότερες από αυτές όπως είδαμε, βασίζονται στη συλλογή δεδομένων για τη βελτιστοποίηση των λειτουργιών άμεσα και έμμεσα, μέσω αυτοματισμών ή/και χρήση νέας γνώσης.

Ιδιαίτερη σημασία, πρέπει να δοθεί, ωστόσο στον συνδυασμό των παραπάνω τεχνικών (ανάλυση δεδομένων, παρακολούθηση περιβάλλοντος, επέμβαση στο περιβάλλον) καθώς αποτελεί το κλειδί για την βελτίωση των διαδικασιών παραγωγή και την αποδοτικότερη διεξαγωγή τους. Με την βοήθεια, του IoT και των τεχνικών DM και ML γίνεται δυνατή η σε βάθος ανάλυση δεδομένων, η δημιουργία προβλέψεων και μοντέλων λειτουργίας και οι βελτίωση αυτών καθώς και οι καλύτερη αξιοποίηση των μηχανισμών αυτοματισμού, – αναπτύσσοντας context-awareness–.

Με τη βοήθεια των παραπάνω, ο αγροτικός τομέας εξελίσσεται από έναν κλάδο ο οποίος ήταν «οδηγούμενος» από εμπειρικές γνώσεις και την φιλοσοφία “trial and error”, σε έναν κλάδο ο οποίος με τη χρήση δεδομένων και πληροφοριακών συστημάτων αυτο-βελτιώνεται και βελτιστοποιεί τις διαδικασίες και το μοντέλο παραγωγής του, με πιο αξιόπιστο και γρήγορο τρόπο.

Επιπρόσθετα, δίνεται στον κλάδο η δυνατότητα λεπτομερούς διαχείρισης μιας καλλιέργειας ή κτηνοτροφικής μονάδας πράγμα που προσφέρει μια δυναμική στρατηγικού επιπέδου. Κατ’ επέκταση η παραγωγή από μια πτυχή του αγροτικού τομέα η οποία διαχειρίζονταν σπασμωδικά σε βραχυχρόνια πλαίσια, πλέον είναι διαχειρίσιμη στρατηγικά: Οι αποφάσεις και οι επεμβάσεις γίνονται με σκοπό την καλύτερη απόδοση βάσει συγκεκριμένου προγράμματος και πόρων.

Από την άλλη πλευρά, ο κλάδος του IoT είναι καινούριος και έχει γνωρίσει αξιοσημείωτη ανάπτυξη μόλις την τελευταία δεκαετία. Ως κλάδος δεν έχει ακόμα αναπτυχθεί στον βαθμό όπου οι εφαρμογές του μπορούν να χρησιμοποιηθούν ευέλικτα και αντιμετωπίζει αρκετά προβλήματα όπως, ο σχεδιασμός του υλικού του και του υλικολογισμικού του, η εύρυθμη επικοινωνία των μελών του, η ασφάλεια και ιδιωτικότητα όσον αφορά τα δεδομένα που διαχειρίζεται κ.α.

Κατ’ επέκταση, η προσαρμογή του σε ιδιαίτερες απαιτήσεις, όπως συστήματα κρίσιμων υποδομών (π.χ. νοσοκομεία), πολυμορφικά περιβάλλοντα (π.χ. καλλιέργειες με ιδιόμορφη εδαφική κατανομή/έκταση ή πολλαπλά μικροκλίματα), περιβάλλοντα κάτω από αντίξοες συνθήκες (π.χ. περιβάλλοντα με ακραίες καιρικές συνθήκες) κ.ο.κ. είναι δύσκολη και απαιτεί ιδιαίτερους πόρους.

Ωστόσο, ο κλάδος του IoT, υπόσχεται συστήματα τα οποία θα βελτιώσουν ενδελεχώς όλη την αλυσίδα παραγωγής και πώλησης άμεσα (με την χρήση υπηρεσιών) αλλά και έμμεσα (με χρήση μοντέλων παραγωγής, τεχνικές αναγνώρισης κ.ο.κ.). Επιπλέον, με την δυναμική εξέλιξής του πολλά από τα προβλήματα τα οποία αντιμετωπίζει σαν κλάδος σταδιακά επιλύονται δίνοντας έτσι την δυνατότητα επέκτασής του και εισαγωγής του σε πολλές πτυχές του αγροτικού τομέα.

11. Τεκμηρίωση Ιστοσελίδας

11.1. Σκοπός της ιστοσελίδας

Η ιστοσελίδα φτιάχτηκε έτσι ώστε να παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας στα πλαίσια εκπόνησής της. Σε αυτήν

παρουσιάζουμε το θέμα της εργασίας καθώς και τα αντίστοιχα πορίσματα και συμπεράσματα στα οποία καταλήξαμε μετά το πέρας της έρευνας.

11.2. Πλατφόρμα ιστοσελίδας

Η ιστοσελίδα σχεδιάστηκε με την βοήθεια του CMS “Wordpress”, έκδοση 5.2.2. .

11.3. Εγκατάσταση πλατφόρμας

Η ιστοσελίδα εγκαταστάθηκε μέσω υπηρεσίας FTP, στον server islab.aegean.gr κάνοντας upload τα αντίστοιχα αρχεία της πλατφόρμας στον χώρο που παραχωρήθηκε για την φιλοξενία της ιστοσελίδας.

Στην συνέχεια προχωρήσαμε στην εγκατάσταση της πλατφόρμας στον εξυπηρετητή. Αν και δεν αντιμετωπίσαμε πρόβλημα με την εισαγωγή στοιχείων για την βάση δεν ήταν δυνατό να γίνει αυτοματοποιημένα η παραμετροποίηση του αρχείου config.php, στο οποίο καταγράφονται τα στοιχεία σύνδεσης με την βάση δεδομένων οπότε και προχωρήσαμε στην χειροκίνητη δημιουργία του αρχείου σύμφωνα με τις υποδείξεις της πλατφόρμας. Η πλατφόρμα εγκαταστάθηκε με επιτυχία στο τέλος.

11.4. Σχεδιασμός ιστοσελίδας

Αρχικά έγινε η επιλογή του θέματος που φαίνεται στις εικόνες παρακάτω. Στην συνέχεια προχωρήσαμε στην παραμετροποίηση των διάφορων menu που περιέχει η ιστοσελίδα ώστε να υπάρχει πρόσβαση στα διάφορα μέρη της ιστοσελίδας και των ρυθμίσεων ώστε να κάνουμε μη διαθέσιμα τα σχόλια και την εγγραφή στην ιστοσελίδα. Τέλος, προσθέσαμε το περιεχόμενο με την βοήθεια του editor το οποίο μας δίνει η πλατφόρμα “Wordpress” εξ αρχής.

Ο σχεδιασμός ξεκίνησε και τελείωσε τον Άυγουστο 2019.

Η ιστοσελίδα έχει 13 υπο-σελίδες συμπεριλαμβανομένης και της αρχικής σελίδας. Όλες οι ιστοσελίδες είναι προσβάσιμες από τα μενού τα οποία είναι διαθέσιμα σχεδόν σε κάθε υπο-σελίδα.

11.5. Τεκμηρίωση σελίδων

- «Αρχική σελίδα»: Δίνονται πολύ συνοπτικά κάποια στοιχεία για την ιστοσελίδα και δίνει πρόσβαση μέσω πλαισίου σε άλλα μέρη της ιστοσελίδας.
- «Πληροφορίες εργασίας»: Δίνονται με λεπτομέρεια βασικά στοιχεία τα οποία αφορούν την παρούσα εργασία όπως τίτλος, αντικείμενο, κ.ο.κ.
- «Ερωτήματα Έρευνας και Μεθοδολογία»: Σε αυτήν την σελίδα παρουσιάζουμε τους ερευνητικούς στόχους της εργασίας καθώς και την μεθοδολογία έρευνας που ακολουθήθηκε.

- «Πορίσματα Ανάλυσης»: Εδώ δίνουμε συνοπτικά τα πρώτα πορίσματα στα οποία καταλήξαμε μετά την ανάλυση των στατιστικών στοιχείων της εργασίας (βλ. Γράφημα. 7 και Γράφημα. 8)
- «Κατηγορίες Εφαρμογών IoT»: Εδώ αναλύουμε τα στατιστικά στοιχεία για το γράφημα εφαρμογών IoT (βλ. Γράφημα. 7) και αναλύουμε συνοπτικά τις κατηγορίες εφαρμογών IoT στις οποίες καταλήξαμε. Η σελίδα πέρα του πλάγιου μενού βρίσκεται στο κύριο μενού (ακριβώς κάτω από τον τίτλο) σαν επιλογή μενού κάτω από την σελίδα «Πορίσματα Ανάλυσης».
- «Κατηγορίες Εφαρμογών DM και ML»: Εδώ αναλύουμε τα στατιστικά στοιχεία για το γράφημα εφαρμογών DM και ML (βλ. Γράφημα. 8) και αναλύουμε συνοπτικά τις κατηγορίες εφαρμογών DM και ML στις οποίες καταλήξαμε. Η σελίδα πέρα του πλάγιου μενού βρίσκεται στο κύριο μενού (ακριβώς κάτω από τον τίτλο) σαν επιλογή μενού κάτω από την σελίδα «Πορίσματα Ανάλυσης».
- «Καλές πρακτικές – Ανάλυση»: Εδώ παρουσιάζουμε την ανάλυση τάσεων για την εύρεση καλών πρακτικών όσον αφορά την εφαρμογή συστημάτων IoT στον αγροτικό τομέα.
- «Καλές πρακτικές – Αξιοποίηση Δεδομένων»: Η ιστοσελίδα αυτή παρουσιάζει την ανάλυση χρήσης του data mining και του machine learning στον αγροτικό τομέα καθώς και τις αντίστοιχες καλές πρακτικές που εφαρμόζονται.
- «Καλές πρακτικές – Συμπεράσματα»: Εδώ παρουσιάζουμε τα τελικά συμπεράσματα, δηλαδή τις καλές πρακτικές που ακολουθούνται στον αγροτικό τομέα με την χρήση IoT, data mining και machine learning.
- «Γραφήματα»: Σε αυτήν την σελίδα έχουμε συγκεντρωμένα όλα τα σχετικά γραφήματα τα οποία αφορούν την παρουσίαση της εργασίας στην ιστοσελίδα.
- «Επικοινωνία»: Σε αυτήν την σελίδα έχουμε βάλει τα στοιχεία του διαχειριστή της ιστοσελίδας (κατά την περίοδο συγγραφής της εργασίας: Αθανάσιος Εμμανουηλίδης)
- «Όροι χρήσης»: Εδώ δίνουμε κάποια νομικά πλαίσια που αφορούν την χρήση της ιστοσελίδας.
- «Πολιτική Απορρήτου»: Εδώ παραθέτουμε την πολιτική απορρήτου που ακολουθεί η ιστοσελίδα όσον αφορά τα δεδομένα των επισκεπτών.

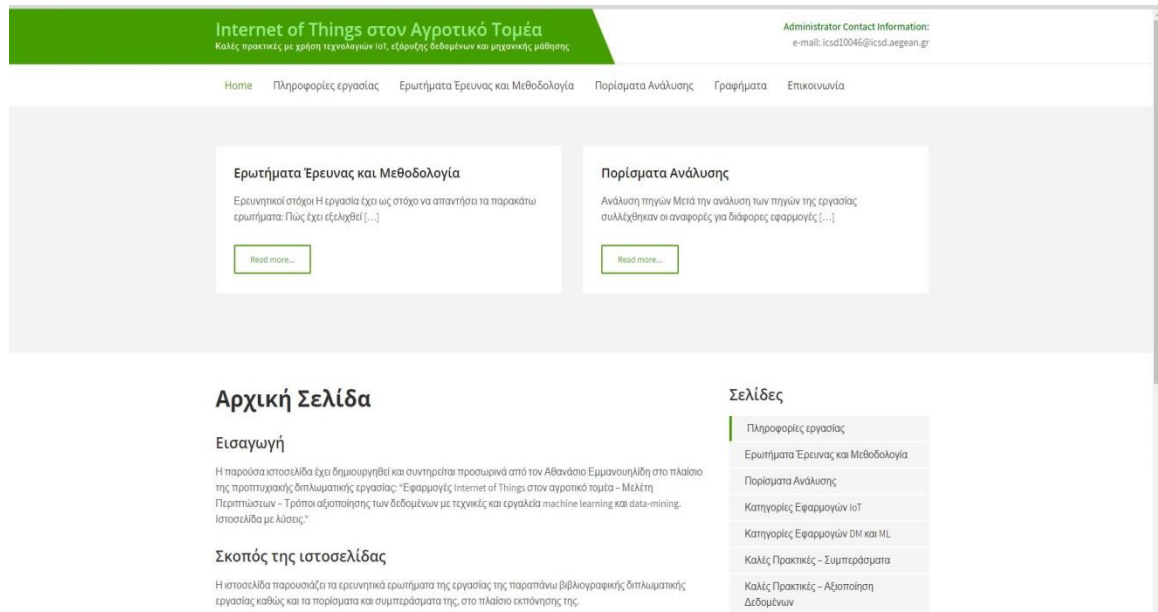
11.6. Σχολιασμός

Στο κάτω μέρος (“footer”) της σελίδας έχουμε βάλει κάποια χρήσιμα link καθώς και ένα link ώστε να μπορεί ο διαχειριστής να μπει στο μέρος της πλατφόρμας που αφορά την διαχείριση. Επιπλέον, έχουμε προσθέσει μια μπάρα αναζήτησης στην οποία ο χρήστης έχει την δυνατότητα να αναζητήσει λέξεις μέσα στην ιστοσελίδα (παρέχεται από το Wordpress).

Πάνω αριστερά έχει σημειωθεί το e-mail του διαχειριστή (κατά την συγγραφή: Αθανάσιος Εμμανουηλίδης)

11.7. Screenshots

Ενδεικτικά παραθέτουμε κάποια από τα μέρη της ιστοσελίδας.



Εικόνα. 6 Αρχική σελίδα της ιστοσελίδας.



Εικόνα. 7 Υπομενού «Πορίσματα Ανάλυσης»

Ερωτήματα Έρευνας και Μεθοδολογία

Ερευνητικοί στόχοι

Η εργασία έχει ως στόχο να απαντήσει τα παρακάτω ερωτήματα:

1. Πώς έχει εξελιχθεί η τεχνολογία του IoT, σε συνδυασμό με τον κλάδο του data mining και machine learning, στον αγροτικό τομέα;
2. Ποιές είναι συνοπτικά και ενδεικτικά οι κυριότερες τεχνολογίες που εφαρμόζονται στο IoT;
3. Ενδεικτικά, τι εφαρμογές υπάρχουν στον αγροτικό τομέα οι οποίες χρησιμοποιούν το πρότυπο του IoT σε συνδυασμό με data mining και machine learning.
4. Ποιές είναι οι καλύτερες πρακτικές όσον αφορά την εφαρμογή των τεχνολογιών IoT, data mining και machine learning, στον αγροτικό τομέα, σύμφωνα με την παραπάνω ανάλυση.

Μεθοδολογία Έρευνας

Η μεθοδολογία που ακολουθήσαμε βασίζεται (αλλά δεν είναι ίδια) με την μεθοδολογία "Systematic Literature Review (SLR)" την οποία έχουν δημιουργήσει οι Kitchenam & Charters (2007).

Συλλογή Πηγών

Διαλογή πηγών

Η συλλογή των πηγών έγινε σταδιακά σε 3 φάσεις και έγινε για πηγές με έτος έκδοσης από το 2005 έως και το 2019. Σε κάθε φάση πραγματοποιήθηκαν τα εξής βήματα:

1. Συλλογή πηγών από ηλεκτρονικές βιβλιοθήκες με βάση συγκεκριμένα keywords και ερωτήματα.
2. Διαλογή πηγών με βάση συγκεκριμένα κριτήρια (αναφέρονται παρακάτω).
3. Κατηγοριοποίηση των πηγών που επιλέχθηκαν με βάση το θέμα τους.

Keywords

Ενδεικτικά κάποια από τα keywords τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την αναζήτηση των πηγών είναι:

internet of things, iot, agriculture, security, privacy, precision farming, precision agriculture, smart farming, smart agriculture, data-mining/data mining, machine learning, artificial intelligence/AI, big data

Σελίδες

Πληροφορίες εργασίας
Ερωτήματα Έρευνας και Μεθοδολογία
Πορίσματα Ανάλυσης
Κατηγορίες Εφαρμογών IoT
Κατηγορίες Εφαρμογών DM και ML
Καλές Πρακτικές – Συμπεράσματα
Καλές Πρακτικές – Αξιοποίηση Δεδομένων
Καλές πρακτικές – Ανάλυση
Γραφήματα

Νομικά και Επικοινωνία

Όροι Χρήσης Ιστοσελίδας
Πολιτική Απορρήτου
Επικοινωνία

Εικόνα. 8 «Ερωτήματα Έρευνας και Μεθοδολογία»

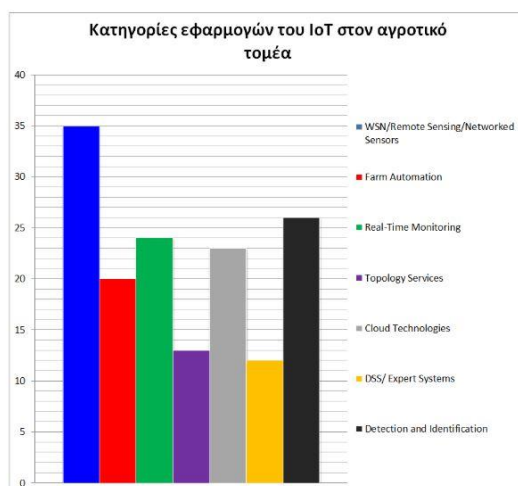
Πορίσματα Ανάλυσης

Ανάλυση πηγών

Μετά την ανάλυση των πηγών της εργασίας συλλέχθηκαν οι αναφορές για διάφορες εφαρμογές του IoT έτσι ώστε να αναδειχθούν τυχόν τάσεις σχετικά με την εφαρμογή τους στον αγροτικό τομέα.

Επιπλέον, πέραν των απλών εφαρμογών εξετάστηκαν και εφαρμογές οι οποίες χρησιμοποίησαν data mining και machine learning.

Παρακάτω παραθέτω ενδεικτικά στατιστικά στοιχεία τα οποία ήταν αποτέλεσμα της παραπάνω έρευνας.



Με βάση τα στατιστικά στοιχεία που προέκυψαν από τη βιβλιογραφία οι διάφορες εφαρμογές κατηγοριοποιήθηκαν, έτσι ώστε να αποκτήσουμε μια σφαιρική εικόνα για το πώς χρησιμοποιούνται πιο αποτελεσματικά. Από τον πίνακα αυτό φαίνεται καθαρά τι είδους εφαρμογές προτιμούνται στον αγροτικό τομέα. Από το γραφήμα αυτό βλέπουμε ότι οι εφαρμογές οι οποίες χρησιμοποιούνται περισσότερο στον αγροτικό τομέα όσον αφορά το IoT, είναι η εγκατάσταση δικτύων αισθητήρων για την παρακολούθηση των καλλιεργειών καθώς και οι εφαρμογές οι οποίες ειδικεύονται στην ανίχνευση ασθενειών κ.τ.λ.

Σελίδες

Πληροφορίες εργασίας
Ερωτήματα Έρευνας και Μεθοδολογία
Πορίσματα Ανάλυσης
Κατηγορίες Εφαρμογών IoT
Κατηγορίες Εφαρμογών DM και ML
Καλές Πρακτικές – Συμπεράσματα
Καλές Πρακτικές – Αξιοποίηση Δεδομένων
Καλές πρακτικές – Ανάλυση
Γραφήματα

Νομικά και Επικοινωνία

Όροι Χρήσης Ιστοσελίδας
Πολιτική Απορρήτου
Επικοινωνία

Εικόνα. 9 «Πορίσματα Ανάλυσης»

Internet of Things στον Αγροτικό Τομέα

Καλές πρακτικές με χρήση τεχνολογιών IoT, εξόρυξης δεδομένων και μηχανικής μάθησης

Administrator Contact Information:
e-mail: icsd10046@icsd.aegean.gr

[Home](#) [Πληροφορίες εργασίας](#) [Ερωτήματα Έρευνας και Μεθοδολογία](#) [Πορίσματα Ανάλυσης](#) [Γραφήματα](#) [Επικοινωνία](#)

Γραφήματα

Γραφήματα	Σελίδες
Γραφήματα κατανομής πηγών	1 – 2
Γραφήματα τάσεων	3 – 4

Γραφήματα κατανομής πηγών

Γράφημα αριθμού πηγών ανά προέλευση

Προέλευση	Αριθμός πηγών
Προέλευση 1	20
Προέλευση 2	25

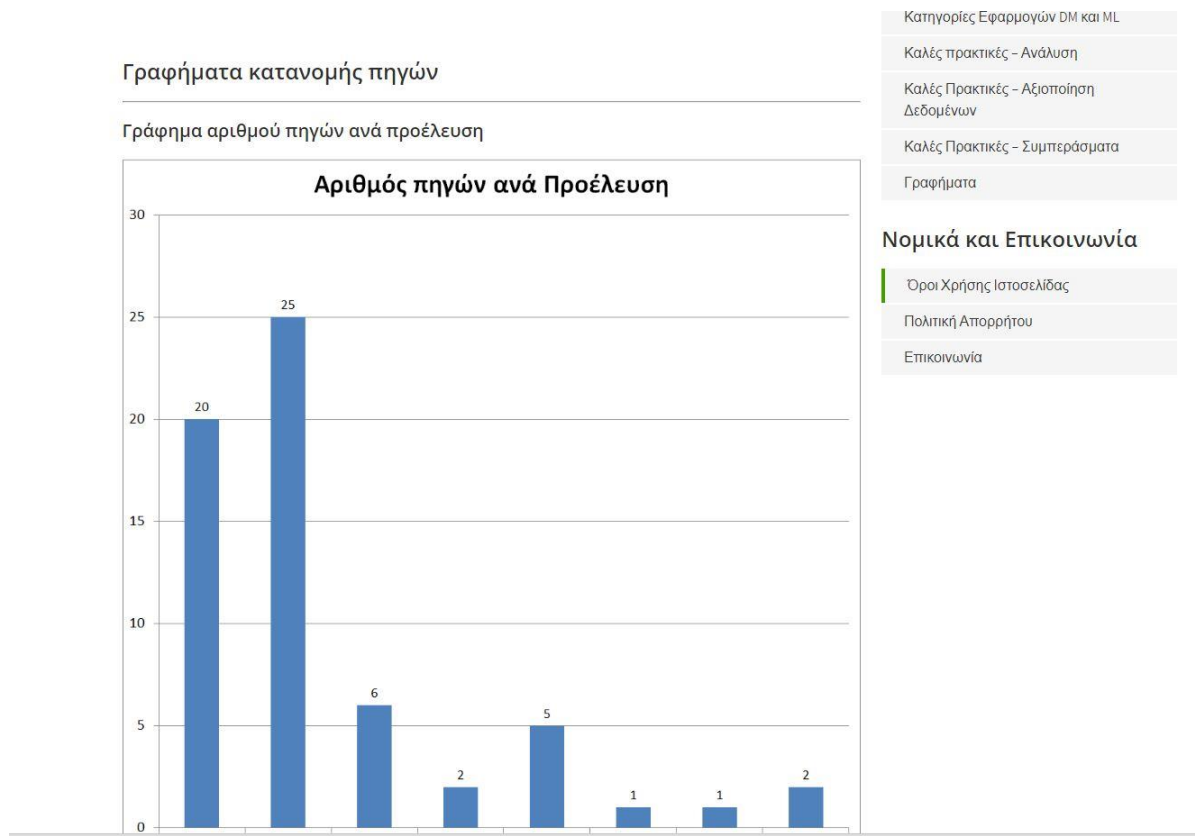
Σελίδες

Πληροφορίες εργασίας
Ερωτήματα Έρευνας και Μεθοδολογία
Πορίσματα Ανάλυσης
Κατηγορίες Εφαρμογών IoT
Κατηγορίες Εφαρμογών DM και ML
Καλές Πρακτικές – Συμπεράσματα
Καλές Πρακτικές – Αξιοποίηση Δεδομένων
Καλές πρακτικές – Ανάλυση
Γραφήματα

Νομικά και Επικοινωνία

Όροι Χρήσης Ιστοσελίδας
Πολιτική Απορρήτου
Επικοινωνία

Εικόνα. 10 «Γραφήματα» 1



Εικόνα. 11 «Γραφήματα» 2

Internet of Things στον Αγροτικό Τομέα

Καλές πρακτικές με χρήση τεχνολογιών IoT, εξόρυξης δεδομένων και μηχανικής μάθησης

Administrator Contact Information:
e-mail: icsd10046@icsd.aegean.gr

Home

Πληροφορίες εργασίας

Ερωτήματα Έρευνας και Μεθοδολογία

Πορίσματα Ανάλυσης

Γραφήματα

Επικοινωνία

Πολιτική Απορρήτου

Ποιοί είμαστε

Η παρούσα ιστοσελίδα (<http://islab.samos.aegean.gr/iot/>) έχει σχεδιαστεί και συντηρείται προσωρινά από τον Αθανάσιο Εμμανουηλίδη, προπτυχιακό φοιτητή του τμήματος Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων (Μ.Π.Ε.Σ.) του Πανεπιστημίου Αιγαίου.

Η ιστοσελίδα έχει ενημερωτικό και πληροφοριακό χαρακτήρα και είναι μέρος της προπτυχιακής εργασίας του φοιτητή Αθανάσιου Εμμανουηλίδη και ΔΕΝ παρέχει υπηρεσίες εγγραφής στην ιστοσελίδα ή υπηρεσίες newsletter.

Συλλογή δεδομένων από την ιστοσελίδα

Η ιστοσελίδα είναι σχεδιασμένη για να παρέχει άρθρα και άλλο ενημερωτικό υλικό βάσει της προπτυχιακής διπλωματικής εργασίας του Αθανάσιου Εμμανουηλίδη. Στα πλαίσια λειτουργίας της ιστοσελίδας δεν συλλέγονται ενεργά ή αυτοματοποιημένα και εν γνώσει του διαχειριστή, κανενός είδους προσωπικά δεδομένα, ευαίσθητα δεδομένα ή/και άλλου είδους δεδομένα.

Συλλογή δεδομένων από τρίτους

Οποιαδήποτε συλλογή πληροφοριών πραγματοποιείται κατά την διάρκεια επίσκεψης στην ιστοσελίδα, γίνεται από τον πάροχο του εξυπηρετητή (π.χ. καταγραφή της "IP") στον οποίο η παρούσα ιστοσελίδα φιλοξενείται ή αυτοματοποιημένα από την ίδια την πλατφόρμα φιλοξενίας του περιεχομένου ("WordPress software") χωρίς ρητή ή άλλη ενέργεια από τον διαχειριστή.

Ο διαχειριστής της ιστοσελίδας ΔΕΝ έχει πρόσβαση ή/και δικαιώματα πάνω στα παραπάνω δεδομένα και κατ' επέκταση, ΔΕΝ φέρει καμία ευθύνη για την συλλογή των παραπάνω συλλεγόμενων δεδομένων.

Επικοινωνία

Σε περίπτωση που έχετε απορίες και θέλετε να ρωτήσετε κάτι για την συλλογή των "δεδομένων από τρίτους" παρακαλώ απευθυνθείτε στις/στους διαχειρίστριες/διαχειριστές του εξυπηρετητή που φιλοξενεί την ιστοσελίδα ή/και στον υπαπτόμενο κοινό της πλατφόρμας "WordPress".

Εικόνα. 12 «Πολιτική Απορρήτου»

92

12. Πηγές και Βιβλιογραφία

Βιβλιογραφία και αναφορές

- [1] International Telecommunication Union (2005). ITU Internet Report 2005: The Internet of Things. Geneva: ITU.
- [2] Suresh, P., Vijay J. D., Parthasarathy, V., & Aswathy, R. H. (2014, November). A state of the art review on the Internet of Things (IoT) history, technology and fields of deployment. In *2014 International Conference on Science Engineering and Management Research (ICSEMR)* (pp. 1-8). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICSEMR.2014.7043637>
- [3] Zhao, J. C., Zhang, J. F., Feng, Y., & Guo, J. X. (2010, July). The study and application of the IOT technology in agriculture. In *2010 3rd International Conference on Computer Science and Information Technology* (Vol. 2, pp. 462-465). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCSIT.2010.5565120>
- [4] Gardašević, G., Veletić, M., Maletić, N., Vasiljević, D., Radusinović, I., Tomović, S., & Radonjić, M. (2017). The IoT architectural framework, design issues and application domains. *Wireless personal communications*, 92(1), 127-148. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11277-016-3842-3>
- [5] Ashton, K. (2014) That 'Internet of Things' Thing. Retrieved from <https://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>
- [6] Miorandi, D., Sicari, S., De Pellegrini, F., & Chlamtac, I. (2012). Internet of things: Vision, applications and research challenges. *Ad hoc networks*, 10(7), 1497-1516. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2012.02.016>
- [7] Nandyala, C. S., & Kim, H. K. (2016). Green IoT agriculture and healthcare application (GAHA). *International Journal of Smart Home*, 10(4). 289-300. DOI: <http://dx.doi.org/10.14257/ijsh.2016.10.4.26>
- [8] IETF. (2010). The internet of things –Concept and problem statement. Retrieved from <http://tools.ietf.org/id/draft-lee-iot-problem-statement-00.txt>.
- [9] Tsai, C. W., Lai, C. F., & Vasilakos, A. V. (2014). Future Internet of Things: open issues and challenges. *Wireless Networks*, 20(8), 2201-2217. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11276-014-0731-0>
- [10] Granjal, J., Monteiro, E., & Silva, J. S. (2015). Security for the internet of things: a survey of existing protocols and open research issues. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(3), 1294-1312. DOI: <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2388550>

- [11] Khanna, A., & Kaur, S. (2019). Evolution of Internet of Things (IoT) and its significant impact in the field of Precision Agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 157, 218-231. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.12.039>
- [12] TongKe, F. (2013). Smart agriculture based on cloud computing and IOT. *Journal of Convergence Information Technology*, 8(2). DOI: <https://doi.org/10.4156/jcit.vol8.issue2.26>
- [13] Tzounis, A., Katsoulas, N., Bartzanas T., & Kittas C. (2017). Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges. *Biosystems Engineering*, 164, 31-48. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.09.007>
- [14] Zhou, L., Song, L., Xie, C., & Zhang, J. (2012, October). Applications of Internet of Things in the facility agriculture. In *International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture* (pp. 297-303). Springer, Berlin, Heidelberg. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-36124-1_36
- [15] Sreekantha, D. K., & Kavya, A. M. (2017, January). Agricultural crop monitoring using IOT-a study. In *2017 11th International Conference on Intelligent Systems and Control (ISCO)* (pp. 134-139). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/ISCO.2017.7855968>
- [16] O'Grady, M. J., & O'Hare, G. M. (2017). Modelling the smart farm. *Information processing in agriculture*, 4(3), 179-187. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.05.001>
- [17] Muangprathub, J., Boonnam, N., Kajornkasirat, S., Lekbangpong, N., Wanichsombat, A., & Nillaor, P. (2019). IoT and agriculture data analysis for smart farm. *Computers and Electronics in Agriculture*, 156, 467-474. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.12.011>
- [18] Talavera, J. M., Tobón, L. E., Gómez, J. A., Culman, M. A., Aranda, J. M., Parra, D. T., ... & Garreta, L. E. (2017). Review of IoT applications in agro-industrial and environmental fields. *Computers and Electronics in Agriculture*, 142, 283-297. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.09.015>
- [19] Borgia, E., (2014). The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues. *Computer Communications*, 54, 1-31. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2014.09.008>
- [20] Hwang, K., & Chen, M. (2017). *Big-data analytics for cloud, IoT and cognitive computing*. John Wiley & Sons.
- [21] Lin, K., Chen, M., Deng, J., Hassan, M. M., & Fortino, G. (2016). Enhanced fingerprinting and trajectory prediction for IoT localization in smart buildings. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 13(3), 1294-1307. DOI: <https://doi.org/10.1109/TASE.2016.2543242>

- [22] Zheng, K., Yang, Z., Zhang, K., Chatzimisios, P., Yang, K., & Xiang, W. (2016). Big data-driven optimization for mobile networks toward 5G. *IEEE network*, 30(1), 44-51. DOI: <https://doi.org/10.1109/MNET.2016.7389830>
- [23] Wang, H., Wang, X., Li, K., Ren, J., Zhang, X., & Jiang, T. (2017). A measurement study of device-to-device sharing in mobile social networks based on Spark. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 29(16), e4021. DOI: <https://doi.org/10.1002/cpe.4021>
- [24] Botterman, M. (2009, May). Internet of Things: an early reality of the Future Internet. In *Workshop Report, European Commission Information Society and Media* (Vol. 15).
- [25] Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer networks*, 54(15), 2787-2805. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>
- [26] Stankovic, J. A. (2014). Research directions for the internet of things. *IEEE Internet of Things Journal*, 1(1), 3-9. DOI: <https://doi.org/10.1109/JIOT.2014.2312291>
- [27] M&M Research Group. (2012). Internet of Things (IoT) & M2M communication market-advanced technologies, future cities & adoption trends, roadmaps & worldwide forecasts 2012-2017. *Electronics. ca Publications, Tech. Rep.*
- [28] Alrawais, A., Alhothaily, A., Hu, C., & Cheng, X. (2017). Fog computing for the internet of things: Security and privacy issues. *IEEE Internet Computing*, 21(2), 34-42. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/mic.2017.37>
- [29] Ren, Z., Liu, X., Ye, R., & Zhang, T. (2017, July). Security and privacy on internet of things. In *2017 7th IEEE International Conference on Electronics Information and Emergency Communication (ICEIEC)* (pp. 140-144). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICEIEC.2017.8076530>
- [30] Yang, J., Liu, M., Lu, J., Miao, Y., Hossain, M. A., & Alhamid, M. F. (2018). Botanical internet of things: Toward smart indoor farming by connecting people, plant, data and clouds. *Mobile Networks and Applications*, 23(2), 188-202. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11036-017-0930-x>
- [31] Ferrández-Pastor, F., García-Chamizo, J., Nieto-Hidalgo, M., Mora-Pascual, J., & Mora-Martínez, J. (2016). Developing ubiquitous sensor network platform using internet of things: Application in precision agriculture. *Sensors*, 16(7), 1141. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/s16071141>
- [32] Li, S., Tryfonas, T., & Li, H. (2016). The Internet of Things: a security point of view. *Internet Research*, 26(2), 337-359. DOI: <https://doi.org/10.1108/IntR-07-2014-0173>

- [33] Ning, H., & Hu, S. (2012). Technology classification, industry, and education for Future Internet of Things. *International Journal of Communication Systems*, 25(9), 1230-1241. DOI: <https://doi.org/10.1002/dac.2373>
- [34] Chang, K. D., Chen, J. L., Chen, C. Y., & Chao, H. C. (2012, January). IoT operations management and traffic analysis for Future Internet. In *2012 Computing, Communications and Applications Conference* (pp. 138-142). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/ComComAp.2012.6154018>
- [35] Ning, H., & Wang, Z. (2011). Future internet of things architecture: like mankind neural system or social organization framework?. *IEEE Communications Letters*, 15(4), 461-463. DOI: <https://doi.org/10.1109/LCOMM.2011.022411.110120>
- [36] Li, T., & Chen, L. (2012). Internet of things: Principle, framework and application. In *Future Wireless Networks and Information Systems* (pp. 477-482). Springer, Berlin, Heidelberg. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-27326-1_61
- [37] Khan, R., Khan, S. U., Zaheer, R., & Khan, S. (2012, December). Future internet: the internet of things architecture, possible applications and key challenges. In *2012 10th international conference on frontiers of information technology* (pp. 257-260). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/FIT.2012.53>
- [38] Cheng-Jun, Z. (2014, June). Research and implementation of agricultural environment monitoring based on Internet of Things. In *2014 Fifth International Conference on Intelligent Systems Design and Engineering Applications* (pp. 748-752). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/ISDEA.2014.170>
- [39] Kulkarni, R. V., Forster, A., & Venayagamoorthy, G. K. (2010). Computational intelligence in wireless sensor networks: A survey. *IEEE communications surveys & tutorials*, 13(1), 68-96. DOI: <https://doi.org/10.1109/SURV.2011.040310.00002>
- [40] Del Valle, Y., Venayagamoorthy, G. K., Mohagheghi, S., Hernandez, J. C., & Harley, R. G. (2008). Particle swarm optimization: basic concepts, variants and applications in power systems. *IEEE Transactions on evolutionary computation*, 12(2), 171-195. DOI: <https://doi.org/10.1109/TEVC.2007.896686>
- [41] Ngatchou, P. N., Fox, W. L., & El-Sharkawi, M. A. (2005, June). Distributed sensor placement with sequential particle swarm optimization. In *Proceedings 2005 IEEE Swarm Intelligence Symposium, 2005. SIS 2005.* (pp. 385-388). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/SIS.2005.1501647>
- [42] Rao, S. P., & Cook, D. J. (2004). Predicting inhabitant action using action and task models with application to smart homes. *International Journal on Artificial Intelligence Tools*, 13(01), 81-99. DOI: <https://doi.org/10.1142/S0218213004001533>

- [43] Sousa, T., Morais, H., Vale, Z., Faria, P., & Soares, J. (2011). Intelligent energy resource management considering vehicle-to-grid: A simulated annealing approach. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 3(1), 535-542. DOI: <https://doi.org/10.1109/TSG.2011.2165303>
- [44] Kamienski, C., Soininen, J. P., Taumberger, M., Dantas, R., Toscano, A., Cinotti, T. S., ... & Neto, A. T. (2019). Smart Water Management Platform: IoT-Based Precision Irrigation for Agriculture. *Sensors*, 19(2), 276. DOI: <https://doi.org/10.3390/s19020276>
- [45] Sicari, S., Rizzardi, A., Grieco, L. A., & Coen-Porisini, A. (2015). Security, privacy and trust in Internet of Things: The road ahead. *Computer networks*, 76, 146-164. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2014.11.008>
- [46] Lee, J. Y., Lin, W. C., & Huang, Y. H. (2014, May). A lightweight authentication protocol for internet of things. In *2014 International Symposium on Next-Generation Electronics (ISNE)* (pp. 1-2). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/ISNE.2014.6839375>
- [47] Radanliev, P., De Roure, D. C., Nicolescu, R., Huth, M., Montalvo, R. M., Cannady, S., & Burnap, P. (2018). Future developments in cyber risk assessment for the internet of things. *Computers in Industry*, 102, 14-22. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.08.002>
- [48] Jayaraman, P., Yavari, A., Georgakopoulos, D., Morshed, A., & Zaslavsky, A. (2016). Internet of things platform for smart farming: Experiences and lessons learnt. *Sensors*, 16(11), 1884. DOI: <https://doi.org/10.3390/s16111884>
- [49] Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017) Big Data in Smart Farming – a review. *Agricultural Systems*, 153, 69-80. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>
- [50] Du, P., & Roussos, G. (2013). Adaptive communication techniques for the internet of things. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 2(1), 122-155. DOI: <https://doi.org/10.3390/jsan2010122>
- [51] Kumar, D. P., Amgoth, T., & Annavarapu, C. S. R. (2019). Machine learning algorithms for wireless sensor networks: A survey. *Information Fusion*, 49, 1-25. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2018.09.013>
- [52] Duan, Y., Edwards, J. S., & Dwivedi, Y. K. (2019). Artificial intelligence for decision making in the era of Big Data–evolution, challenges and research agenda. *International Journal of Information Management*, 48, 63-71. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.01.021>
- [53] Agrawal, A., Gans, J., & Goldfarb, A. (2018). *Prediction machines: the simple economics of artificial intelligence*. Harvard Business Press.
- [54] Papageorgiou, E. I., Markinos, A. T., & Gemtos, T. A. (2011). Fuzzy cognitive map based approach for predicting yield in cotton crop production as a basis for

- decision support system in precision agriculture application. *Applied Soft Computing*, 11(4), 3643-3657. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2011.01.036>
- [55] Lefort, L., Henson, C., Taylor, K., Barnaghi, P., Compton, M., Corcho, O., ... & Neuhaus, H. (2011). Semantic sensor network xg final report.
- [56] Mitchell, T. M. (1997). Machine learning. 1997. *Burr Ridge, IL: McGraw Hill*, 45(37), 870-877.
- [57] Ayodele, T. O. (2010). *Introduction to machine learning*. INTECH Open Access Publisher.
- [58] Langley, P., & Simon, H. A. (1995). Applications of machine learning and rule induction. *Communications of the ACM*, 38(11), 54-64. DOI: <https://doi.org/10.1145/219717.219768>
- [59] Morota, G., Ventura, R. V., Silva, F. F., Koyama, M., & Fernando, S. C. (2018). BIG DATA ANALYTICS AND PRECISION ANIMAL AGRICULTURE SYMPOSIUM: Machine learning and data mining advance predictive big data analysis in precision animal agriculture. *Journal of animal science*, 96(4), 1540-1550. DOI: <https://doi.org/10.1093/jas/sky014>
- [60] Saggi, M. K., & Jain, S. (2018). A survey towards an integration of big data analytics to big insights for value-creation. *Information Processing & Management*, 54(5), 758-790. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2018.01.010>
- [61] Gandhi, N., & Armstrong, L. J. (2016, December). A review of the application of data mining techniques for decision making in agriculture. In *2016 2nd International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I)* (pp. 1-6). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/IC3I.2016.7917925>
- [62] Paul, M., Vishwakarma, S. K., & Verma, A. (2015, December). Analysis of soil behaviour and prediction of crop yield using data mining approach. In *2015 International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN)* (pp. 766-771). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/CICN.2015.156>
- [63] Tanenbaum, A. S., van Steen, M. (2005). *Κατανεμημένα Συστήματα*. Αθήνα, Αθήνα: Κλειδάριθμος.
- [64] Velte, A. T., Velte, T. J., Elsenpeter, R. (2010). *Cloud Computing: A Practical Approach*. Αθήνα, Αθήνα: Εκδόσεις: Μόσχος Γκιούρδας
- [65] Zamora-Izquierdo, M. A., Santa, J., Martínez, J. A., Martínez, V., & Skarmeta, A. F. (2019). Smart farming IoT platform based on edge and cloud computing. *Biosystems Engineering*, 177, 4-17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.10.014>
- [66] Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future generation*

- computer systems, 29(7), 1645-1660. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>
- [67] Fernando, N., Loke, S. W., & Rahayu, W. (2013). Mobile cloud computing: A survey. *Future generation computer systems*, 29(1), 84-106. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.future.2012.05.023>
- [68] Ahmed, E., & Rehmani, M. H. (2017). Mobile edge computing: opportunities, solutions, and challenges. *Future generation computer systems*, 70(2017), 59-63. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.future.2016.09.015>
- [69] Chiang, M., & Zhang, T. (2016). Fog and IoT: An overview of research opportunities. *IEEE Internet of Things Journal*, 3(6), 854-864. DOI: <https://doi.org/10.1109/JIOT.2016.2584538>
- [70] Tortonesi, M., Govoni, M., Morelli, A., Riberto, G., Stefanelli, C., & Suri, N. (2019). Taming the IoT data deluge: An innovative information-centric service model for fog computing applications. *Future Generation Computer Systems*, 93, 888-902. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.06.009>
- [71] Muthanna, A., A Ateya, A., Khakimov, A., Gudkova, I., Abuarqoub, A., Samouylov, K., & Koucheryavy, A. (2019). Secure and Reliable IoT Networks Using Fog Computing with Software-Defined Networking and Blockchain. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 8(1), 15. DOI: <https://doi.org/10.3390/jsan8010015>
- [72] Negash, B., Rahmani, A. M., Liljeberg, P., & Jantsch, A. (2018). Fog computing fundamentals in the internet-of-things. In *Fog computing in the internet of things* (pp. 3-13). Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-57639-8_1
- [73] Naranjo, P., Pooranian, Z., Shamshirband, S., Abawajy, J., & Conti, M. (2017). Fog over virtualized IoT: New opportunity for context-aware networked applications and a Case Study. *Applied Sciences*, 7(12), 1325. DOI: <https://doi.org/10.3390/app7121325>
- [74] Byers, C. C. (2017). Architectural imperatives for fog computing: Use cases, requirements, and architectural techniques for fog-enabled iot networks. *IEEE Communications Magazine*, 55(8), 14-20. DOI: <https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1600885>
- [75] Botta, A., De Donato, W., Persico, V., & Pescapé, A. (2016). Integration of cloud computing and internet of things: a survey. *Future generation computer systems*, 56, 684-700. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.future.2015.09.021>
- [76] El-Sayed, H., Sankar, S., Prasad, M., Puthal, D., Gupta, A., Mohanty, M., & Lin, C. T. (2018). Edge of things: the big picture on the integration of edge, IoT and the cloud in a distributed computing environment. *IEEE Access*, 6, 1706-1717. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2780087>

- [77] Weiser, M. (2002). The computer for the 21st century. *IEEE pervasive computing*, 1(1), 19-25. DOI: <https://doi.org/10.1109/MPRV.2002.993141>
- [78] Jiang, W. (2015). A Diagnostic Tool for the Causes of Packet Corruption in Wireless Sensor Networks.
- [79] Adelantado, F., Vilajosana, X., Tuset-Peiro, P., Martinez, B., Melia-Segui, J., & Watteyne, T. (2017). Understanding the limits of LoRaWAN. *IEEE Communications magazine*, 55(9), 34-40. DOI: <https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1600613>
- [80] Kassim, M. R. M., Mat, I., & Harun, A. N. (2014, July). Wireless Sensor Network in precision agriculture application. In *2014 International Conference on Computer, Information and Telecommunication Systems (CITS)* (pp. 1-5). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/CITS.2014.6878963>
- [81] Dimitriadis, S., & Goumopoulos, C. (2008, August). Applying machine learning to extract new knowledge in precision agriculture applications. In *2008 Panhellenic Conference on Informatics* (pp. 100-104). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/PCI.2008.30>
- [82] Wang, N., Zhang, N., & Wang, M. (2006). Wireless sensors in agriculture and food industry—Recent development and future perspective. *Computers and electronics in agriculture*, 50(1), 1-14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2005.09.003>
- [83] Alamri, A., Ansari, W. S., Hassan, M. M., Hossain, M. S., Alelaiwi, A., & Hossain, M. A. (2013). A survey on sensor-cloud: architecture, applications, and approaches. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 9(2), 917923. DOI: <https://doi.org/10.1155%2F2013%2F917923>
- [84] Misra, S., Tiwari, V., & Obaidat, M. S. (2009). LACAS: learning automata-based congestion avoidance scheme for healthcare wireless sensor networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 27(4), 466-479. DOI: <https://doi.org/10.1109/JSAC.2009.090510>
- [85] Islam, S. R., Kwak, D., Kabir, M. H., Hossain, M., & Kwak, K. S. (2015). The internet of things for health care: a comprehensive survey. *IEEE Access*, 3, 678-708. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2015.2437951>
- [86] Hu, F., Xie, D., & Shen, S. (2013, August). On the application of the internet of things in the field of medical and health care. In *2013 IEEE International Conference on Green Computing and Communications and IEEE Internet of Things and IEEE Cyber, Physical and Social Computing* (pp. 2053-2058). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/GreenCom-iThings-CPSCoM.2013.384>
- [87] Chow, E. Y., Beier, B. L., Francino, A., Chappell, W. J., & Irazoqui, P. P. (2009). Toward an Implantable Wireless Cardiac Monitoring Platform Integrated with an FDA-Approved Cardiovascular Stent. *Journal of*

interventional cardiology, 22(5), 479-487. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1540-8183.2009.00483.x>

- [88] Nurulhaq, N. Z., & Sitanggang, I. S. (2015, August). Sequential Pattern Mining on hotspot data in Riau province using the PrefixSpan algorithm. In *2015 3rd International Conference on Adaptive and Intelligent Agroindustry (ICAIA)* (pp. 257-260). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICAIA.2015.7506517>
- [89] Torres-Ruiz, M., Juárez-Hipólito, J. H., Lytras, M. D., & Moreno-Ibarra, M. (2016, July). Environmental noise sensing approach based on volunteered geographic information and spatio-temporal analysis with machine learning. In *International Conference on Computational Science and Its Applications* (pp. 95-110). Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-42089-9_7
- [90] Hachem, S., Mallet, V., Ventura, R., Pathak, A., Issarny, V., Raverdy, P. G., & Bhatia, R. (2015, March). Monitoring noise pollution using the urban civics middleware. In *2015 IEEE First International Conference on Big Data Computing Service and Applications* (pp. 52-61). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/BigDataService.2015.16>
- [91] Liu, Z., Huang, J., Wang, Q., Wang, Y., & Fu, J. (2013, June). Real-time barrier lakes monitoring and warning system based on wireless sensor network. In *2013 Fourth International Conference on Intelligent Control and Information Processing (ICICIP)* (pp. 551-554). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICICIP.2013.6568136>
- [92] Cater, N. E. (2008, September). Smart ocean Sensors Web Enabled ocean sensors for aquaculture. In *OCEANS 2008* (pp. 1-9). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/OCEANS.2008.5151870>
- [93] Xu, G., Shen, W., & Wang, X. (2014). Applications of wireless sensor networks in marine environment monitoring: A survey. *Sensors*, 14(9), 16932-16954. DOI: <https://doi.org/10.3390/s140916932>
- [94] Helmi, A. M. A., Hafiz, M. M., & Rizam, M. S. (2014, December). Mobile buoy for real time monitoring and assessment of water quality. In *2014 IEEE Conference on Systems, Process and Control (ICSPC 2014)* (pp. 19-23). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/SPC.2014.7086223>
- [95] Nam, S., Kim, G., Kim, K. R., Kim, K., Cheng, L. O., Kim, K. W., ... & Kim, Y. G. (2005). Application of real-time monitoring buoy systems for physical and biogeochemical parameters in the coastal ocean around the Korean peninsula. *Marine Technology Society Journal*, 39(2), 70-80. DOI: <https://doi.org/10.4031/002533205787444024>
- [96] Popović, T., Latinović, N., Pešić, A., Zečević, Ž., Krstajić, B., & Djukanović, S. (2017). Architecting an IoT-enabled platform for precision agriculture and ecological monitoring: A case study. *Computers and Electronics in Agriculture*, 140, 255-265. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.06.008>

- [97] Atzori, L., Iera, A., Morabito, G., & Nitti, M. (2012). The social internet of things (siot)–when social networks meet the internet of things: Concept, architecture and network characterization. *Computer networks*, 56(16), 3594-3608. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2012.07.010>
- [98] Chen, M., Mao, S., & Liu, Y. (2014). Big data: A survey. *Mobile networks and applications*, 19(2), 171-209. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11036-013-0489-0>
- [99] Miller, H. G., & Mork, P. (2013). From data to decisions: a value chain for big data. *It Professional*, (1), 57-59. DOI: <https://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/MITP.2013.11>
- [100] Esmeijer, J., Bakker, T., Ooms, M., Kotterink, B., & van Economische Zaken, S. M. (2015). Data-driven innovation in agriculture: case study for the OECD KBC2-programme. *TNO Report TNO*, R10154.
- [101] Gilpin, L. (2015). How Big Data Is Going to Help Feed Nine Billion People by 2050. TechRepublic. Retrieved from <https://www.techrepublic.com/article/how-big-data-is-going-to-help-feed-9-billion-people-by-2050/>
- [102] Verdouw, C. N., Beulens, A. J. M., & Van Der Vorst, J. G. A. J. (2013). Virtualisation of floricultural supply chains: A review from an Internet of Things perspective. *Computers and electronics in agriculture*, 99, 160-175. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.09.006>
- [103] Goap, A., Sharma, D., Shukla, A. K., & Krishna, C. R. (2018). An IoT based smart irrigation management system using Machine learning and open source technologies. *Computers and Electronics in Agriculture*, 155, 41-49. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.09.040>
- [104] Bhargava, K., Ivanov, S., & Donnelly, W. (2015, September). Internet of nano things for dairy farming. In *Proceedings of the Second Annual International Conference on Nanoscale Computing and Communication* (p. 24). ACM. DOI: <https://doi.org/10.1145/2800795.2800830>
- [105] Asikainen, M., Haataja, K., & Toivanen, P. (2013, July). Wireless indoor tracking of livestock for behavioral analysis. In *2013 9th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)* (pp. 1833-1838). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/IWCMC.2013.6583835>
- [106] Huircán, J. I., Muñoz, C., Young, H., Von Dossow, L., Bustos, J., Vivallo, G., & Toneatti, M. (2010). ZigBee-based wireless sensor network localization for cattle monitoring in grazing fields. *Computers and Electronics in Agriculture*, 74(2), 258-264. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2010.08.014>
- [107] Jeong, H. S., & Yoe, H. (2012). Study on the sensor MAC protocol for environment monitoring of livestock farm. In *Proceedings of the International Conference on Wireless Networks (ICWN)* (p. 1). The Steering Committee of

- [108] Kwong, K. H., Wu, T. T., Goh, H. G., Sasloglou, K., Stephen, B., Glover, I., ... & Andonovic, I. (2012). Practical considerations for wireless sensor networks in cattle monitoring applications. *Computers and Electronics in Agriculture*, 81, 33-44. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2011.10.013>
- [109] Nadimi, E. S., Jørgensen, R. N., Blanes-Vidal, V., & Christensen, S. (2012). Monitoring and classifying animal behavior using ZigBee-based mobile ad hoc wireless sensor networks and artificial neural networks. *Computers and Electronics in Agriculture*, 82, 44-54. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2011.12.008>
- [110] Balducci, F., Impedovo, D., & Pirlo, G. (2018). Machine Learning Applications on Agricultural Datasets for Smart Farm Enhancement. *Machines*, 6(3), 38. DOI: <https://doi.org/10.3390/machines6030038>
- [111] González, L. A., Bishop-Hurley, G., Henry, D., & Charmley, E. (2014). Wireless sensor networks to study, monitor and manage cattle in grazing systems. *Animal Production Science*, 54(10), 1687-1693. DOI: <https://doi.org/10.1071/AN14368>
- [112] Umemura, K. (2013). Monitoring grazing bites and walking activity with pedometers. *Journal of dairy science*, 96(2), 1090-1093. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5872>
- [113] Rossi, V., Salinari, F., Poni, S., Caffi, T., & Bettati, T. (2014). Addressing the implementation problem in agricultural decision support systems: the example of vite. net®. *Computers and Electronics in Agriculture*, 100, 88-99. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.10.011>
- [114] Patil, S. S., & Thorat, S. A. (2016, August). Early detection of grapes diseases using machine learning and IoT. In *2016 Second International Conference on Cognitive Computing and Information Processing (CCIP)* (pp. 1-5). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/CCIP.2016.7802887>
- [115] Wolfert, S., Goense, D., & Sørensen, C. A. G. (2014, April). A future internet collaboration platform for safe and healthy food from farm to fork. In *2014 Annual SRII Global Conference* (pp. 266-273). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/SRII.2014.47>
- [116] Murphy, M. D., O'Mahony, M. J., Shalloo, L., French, P., & Upton, J. (2014). Comparison of modelling techniques for milk-production forecasting. *Journal of dairy science*, 97(6), 3352-3363. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7451>
- [117] Zom, R. L. G., André, G., & Van Vuuren, A. M. (2012). Development of a model for the prediction of feed intake by dairy cows: 1. Prediction of feed intake. *Livestock Science*, 143(1), 43-57. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.08.014>

- [118] Guo, W. W., & Xue, H. (2012). An incorporative statistic and neural approach for crop yield modelling and forecasting. *Neural Computing and Applications*, 21(1), 109-117. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00521-011-0636-0>
- [119] Guo, W. W., & Xue, H. (2014). Crop yield forecasting using artificial neural networks: A comparison between spatial and temporal models. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/857865>
- [120] Medar, R. A., & Rajpurohit, V. S. (2014). A survey on data mining techniques for crop yield prediction. *International Journal of Advance Research in Computer Science and Management Studies*, 2(9), 59-64.
- [121] Khairunniza-Bejo, S., Mustaffha, S., & Ismail, W. I. W. (2014). Application of artificial neural network in predicting crop yield: A review. *Journal of Food Science and Engineering*, 4(1), 1.
- [122] Dahikar, S. S., & Rode, S. V. (2014). Agricultural crop yield prediction using artificial neural network approach. *International Journal of Innovative Research in Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering*, 2(1), 683-686.
- [123] Yengoh, G. T., & Ardö, J. (2014). Crop yield gaps in Cameroon. *Ambio*, 43(2), 175-190. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13280-013-0428-0>
- [124] Ramesh, D., & Vardhan, B. V. (2015). Analysis of crop yield prediction using data mining techniques. *International Journal of research in engineering and technology*, 4(1), 47-473.
- [125] Treboux, J., & Genoud, D. (2018, June). Improved Machine Learning Methodology for High Precision Agriculture. In *2018 Global Internet of Things Summit (GIoTS)* (pp. 1-6). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/GIOTS.2018.8534558>
- [126] Lee, M., Hwang, J., & Yoe, H. (2013, December). Agricultural production system based on IoT. In *2013 IEEE 16th International Conference on Computational Science and Engineering* (pp. 833-837). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/CSE.2013.126>
- [127] Jayaraman, P. P., Palmer, D., Zaslavsky, A., & Georgakopoulos, D. (2015, April). Do-it-Yourself Digital Agriculture applications with semantically enhanced IoT platform. In *2015 IEEE Tenth International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP)* (pp. 1-6). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/ISSNIP.2015.7106951>
- [128] Kamienski, C., Soininen, J. P., Taumberger, M., Fernandes, S., Toscano, A., Cinotti, T. S., ... & Neto, A. T. (2018, June). SWAMP: an IoT-based Smart Water Management Platform for Precision Irrigation in Agriculture. In *2018 Global Internet of Things Summit (GIoTS)* (pp. 1-6). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/GIOTS.2018.8534541>

- [129] Shine, P., Murphy, M. D., Upton, J., & Scully, T. (2018). Machine-learning algorithms for predicting on-farm direct water and electricity consumption on pasture based dairy farms. *Computers and electronics in agriculture*, 150, 74-87. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.03.023>
- [130] Behmann, J., Mahlein, A. K., Rumpf, T., Römer, C., & Plümer, L. (2015). A review of advanced machine learning methods for the detection of biotic stress in precision crop protection. *Precision Agriculture*, 16(3), 239-260. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-014-9372-7>
- [131] Delgado, G., Aranda, V., Calero, J., Sánchez-Marañón, M., Serrano, J. M., Sánchez, D., & Vila, M. A. (2009). Using fuzzy data mining to evaluate survey data from olive grove cultivation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 65(1), 99-113. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2008.08.001>
- [132] Drury, B., Valverde-Rebaza, J., Moura, M. F., & de Andrade Lopes, A. (2017). A survey of the applications of Bayesian networks in agriculture. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 65, 29-42. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2017.07.003>
- [133] Ghorbani, M. A., Deo, R. C., Kashani, M. H., Shahabi, M., & Ghorbani, S. (2019). Artificial intelligence-based fast and efficient hybrid approach for spatial modelling of soil electrical conductivity. *Soil and Tillage Research*, 186, 152-164. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.09.012>
- [134] Ivanov, S., Bhargava, K., & Donnelly, W. (2015). Precision farming: Sensor analytics. *IEEE Intelligent systems*, 30(4), 76-80. DOI: <https://doi.org/10.1109/MIS.2015.67>
- [135] Kaloxylos, A., Eigenmann, R., Teye, F., Politopoulou, Z., Wolfert, S., Shrank, C., ... & Nicole, H. (2012). Farm management systems and the Future Internet era. *Computers and electronics in agriculture*, 89, 130-144. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.09.002>
- [136] Kamilaris, A., Kartakoullis, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2017). A review on the practice of big data analysis in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 143, 23-37. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.09.037>
- [137] Kitchenham, B., & Charters, S. (2007). Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering.
- [138] Lin, P., Chen, Y., He, J., & Fu, X. (2017, December). Determination of the varieties of rice kernels based on machine vision and deep learning technology. In *2017 10th International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID)* (Vol. 1, pp. 169-172). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/ISCID.2017.208>
- [139] Mountrakis, G., Im, J., & Ogole, C. (2011). Support vector machines in remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66(3), 247-259. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2010.11.001>

- [140] Qiu, J., Wu, Q., Ding, G., Xu, Y., & Feng, S. (2016). A survey of machine learning for big data processing. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2016(1), 67. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13634-016-0355-x>
- [141] Rajeswari, S., Suthendran, K., & Rajakumar, K. (2017, June). A smart agricultural model by integrating IoT, mobile and cloud-based big data analytics. In *2017 International Conference on Intelligent Computing and Control (I2C2)* (pp. 1-5). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/I2C2.2017.8321902>
- [142] Schuster, E. W., Kumar, S., Sarma, S. E., Willers, J. L., & Milliken, G. A. (2011, November). Infrastructure for data-driven agriculture: identifying management zones for cotton using statistical modeling and machine learning techniques. In *2011 8th International Conference & Expo on Emerging Technologies for a Smarter World* (pp. 1-6). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/CEWIT.2011.6163052>
- [143] Sun, H., Zhu, Q., Ren, J., Barclay, D., & Thomson, W. (2017, June). Combining image analysis and smart data mining for precision agriculture in livestock farming. In *2017 IEEE International Conference on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData)* (pp. 1065-1069). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/iThings-GreenCom-CPSCom-SmartData.2017.162>
- [144] Waheed, T., Bonnell, R. B., Prasher, S. O., & Paulet, E. (2006). Measuring performance in precision agriculture: CART—A decision tree approach. *Agricultural water management*, 84(1-2), 173-185. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.12.003>
- [145] Yashaswini, L. S., Vani, H. U., Sinchana, H. N., & Kumar, N. (2017, September). Smart automated irrigation system with disease prediction. In *2017 IEEE International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering (ICPCSI)* (pp. 422-427). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICPCSI.2017.8392329>

Διαδικτυακές πηγές

- (1) Wikipedia contributors. (2019, June 6). Data mining. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved June 17, 2019, from https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Data_mining&oldid=900488518
- (2) Wikipedia contributors. (2019, June 14). Big data. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved June 17, 2019, from https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Big_data&oldid=901798516

- (3) Wikipedia contributors. (2019, June 13). Bluetooth. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved June 17, 2019, from <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Bluetooth&oldid=901663348>
- (4) Wikipedia contributors. (2019, June 17). Radio-frequency identification. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved June 17, 2019, from https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Radio-frequency_identification&oldid=902202086
- (5) Wikipedia contributors. (2019, June 13). Near-field communication. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved June 17, 2019, from https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Near-field_communication&oldid=901605082
- (6) Wikipedia contributors. (2019, June 11). Bluetooth Low Energy. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved June 17, 2019, from https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Bluetooth_Low_Energy&oldid=901383747
- (7) Wikipedia contributors. (2019, June 12). QR code. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved June 18, 2019, from https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=QR_code&oldid=901502990
- (8) Wikipedia contributors. (2019, June 17). Ultra-wideband. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved June 18, 2019, from <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Ultra-wideband&oldid=902255527>
- (9) Wikipedia contributors. (2019, May 22). Power-line communication. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved June 18, 2019, from https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Power-line_communication&oldid=898248188
- (10) Wikipedia contributors. (2019, May 16). DASH7. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved June 23, 2019, from <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=DASH7&oldid=897341957>
- (11) Wikipedia contributors. (2019, May 21). IEEE 802.15.4. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved June 29, 2019, from https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=IEEE_802.15.4&oldid=898104134
- (12) Wikipedia contributors. (2019, June 24). Zigbee. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved June 30, 2019, from <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Zigbee&oldid=903186669>
- (13) Wikipedia contributors. (2019, January 9). WirelessHART. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved July 2, 2019, from <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=WirelessHART&oldid=877576584>
- (14) Wikipedia contributors. (2019, February 14). ISA100.11a. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved July 2, 2019, from <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=ISA100.11a&oldid=883273397>
- (15) Wikipedia contributors. (2019, May 30). 6LoWPAN. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved July 2, 2019, from <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=6LoWPAN&oldid=899429432>

- (16) Wikipedia contributors. (2019, July 3). Wi-Fi. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved July 3, 2019, from <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Wi-Fi&oldid=904589775>
- (17) Wikipedia contributors. (2019, May 22). WiMAX. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved July 3, 2019, from <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=WiMAX&oldid=898225543>
- (18) Wikipedia contributors. (2019, March 5). Sigfox. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved July 3, 2019, from <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Sigfox&oldid=886299006>
- (19) Wikipedia contributors. (2019, July 5). GSM. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved July 5, 2019, from <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=GSM&oldid=904888456>
- (20) Wikipedia contributors. (2019, July 4). General Packet Radio Service. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved July 5, 2019, from <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=General Packet Radio Service&oldid=904771373>
- (21) Wikipedia contributors. (2019, July 1). UMTS. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved July 5, 2019, from <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=UMTS&oldid=904350097>
- (22) Wikipedia contributors. (2019, June 7). High Speed Packet Access. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved July 5, 2019, from <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=High Speed Packet Access&oldid=900713367>
- (23) Wikipedia contributors. (2019, July 3). LTE (telecommunication). In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved July 5, 2019, from [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=LTE_\(telecommunication\)&oldid=904591051](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=LTE_(telecommunication)&oldid=904591051)
- (24) Wikipedia contributors. (2019, June 28). Z-Wave. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved July 22, 2019, from <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Z-Wave&oldid=903862868>
- (25) Wikipedia contributors. (2019, May 24). Constrained Application Protocol. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved July 5, 2019, from <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Constrained Application Protocol&oldid=898552750>

Παραρτήματα

Παράρτημα Εικόνων και Γραφημάτων

Γραφήματα

Γράφημα. 1 Ενδεικτικές αναφορές της βιβλιογραφίας σε τεχνολογίες και πρωτόκολλα επικοινωνίας και δικτύωσης του IoT, στον αγροτικό τομέα.	37
Γράφημα. 2 Αριθμός πηγών ανά ηλεκτρονική βιβλιοθήκη (αρχική φάση)	53
Γράφημα. 3 Αριθμός πηγών ανά έτος έκδοσης (αρχική φάση)	54
Γράφημα. 4 Αριθμός πηγών ανά θεματική κατηγορία (αρχική φάση)	55
Γράφημα. 5 Αριθμός πηγών ανά ηλεκτρονική βιβλιοθήκη (όλες οι πηγές στην βιβλιογραφία).....	56
Γράφημα. 6 Κατανομή πηγών ανά έτος έκδοσης (όλη η βιβλιογραφία)	57
Γράφημα. 7 Αριθμός ενδεικτικών αναφορών τεχνολογιών, στην βιβλιογραφία.....	63
Γράφημα. 8 Ενδεικτικές αναφορές σε τεχνολογίες data mining και machine learning.	73

Εικόνες

Εικόνα. 1 Μοντέλα αρχιτεκτονικής εφαρμογών βασιζόμενα στο Internet of Things. Adapted from “Future Internet of Things: open issues and challenges,” by C. W. Tsai, C. F. Lai, and A. V. Vasilakos, 2014, May 13, 2014, Wireless Networks, 20(8), p. 2201-2217. Copyright 2014 by Springer Science+Business Media New York	19
Εικόνα. 2 Ταξινόμηση κατηγοριών εφαρμογών του Διαδικτύου των Πραγμάτων από τεχνική σκοπιά.	78
Εικόνα. 3 Ταξινόμηση κατηγοριών εφαρμογών του Διαδικτύου των Πραγμάτων σε συνδυασμό με εφαρμογές Εξόρυξης Δεδομένων και Μηχανική Μάθησης από τεχνική σκοπιά.	79
Εικόνα. 4 Ταξινόμηση κατηγοριών εφαρμογών IoT από την σκοπιά των χρηστών. .	80
Εικόνα. 5 Ταξινόμηση εφαρμογών Διαδικτύου των Πραγμάτων σε συνδυασμό με εφαρμογές Εξόρυξης Δεδομένων και Μηχανική Μάθηση από την σκοπιά των χρηστών	81
Εικόνα. 6 Αρχική σελίδα της ιστοσελίδας.....	89
Εικόνα. 7 Υπομενού «Πορίσματα Ανάλυσης»	89
Εικόνα. 8 «Ερωτήματα Έρευνας και Μεθοδολογία».....	90
Εικόνα. 9 «Πορίσματα Ανάλυσης».....	91
Εικόνα. 10 «Γραφήματα» 1	91
Εικόνα. 11 «Γραφήματα» 2	92
Εικόνα. 12 «Πολιτική Απορρήτου»	92

Παράρτημα Πίνακα Υποσημειώσεων

Οι επίσημες αναφορές για τις πηγές που αναφέρονται στον πίνακα αυτό, έχουν δοθεί στις αντίστοιχες υποσημειώσεις. Ο παρακάτω πίνακας έχει δημιουργηθεί για διευκόλυνση εύρεσης των πηγών αυτών.

Αρ. Αναφο ράς	Όνομα Πηγής	Τίτλος Περιεχομένου	URL
1	Wikipedia, The Free Encyclopedia	Cloud computing	https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Cloud_computing&oldid=906301328
2	Wikipedia, The Free Encyclopedia	Early adopter	https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Early_adopter&oldid=888768737
3	Wikipedia, The Free Encyclopedia	Actuator	https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Actuator&oldid=902636033
4	Wikipedia, The Free Encyclopedia	Context awareness	https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Context_awareness&oldid=899492367
5	Wikipedia, The Free Encyclopedia	End user	https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=End_user&oldid=900193230
6	Wikipedia, The Free Encyclopedia	Overhead (computing)	https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Overhead_(computing)&oldid=889322063
7	Wikipedia, The Free Encyclopedia	IEEE 802.15.4	https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=IEEE_802.15.4&oldid=898104134
8	Wikipedia, The Free Encyclopedia	Peer-to-peer	https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Peer-to-peer&oldid=902077495
9	Wikipedia, The Free Encyclopedia	Barcode	https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Barcode&oldid=900376957
10	Wikipedia, The Free Encyclopedia	Open source	https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Open_source&oldid=901396802
11	Wikipedia, The Free Encyclopedia	Physical Layer	https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Physical_layer&oldid=902948937

12	Wikipedia, The Free Encyclopedia	Medium Access Control	https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Medium_access_control&oldid=897115204
13	Wikipedia, The Free Encyclopedia	Personal area Network	https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Personal_area_network&oldid=903350450
14	Wikipedia, The Free Encyclopedia	ISM band	https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=ISM_band&oldid=907774646
15	Wikipedia, The Free Encyclopedia	TSMP	https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=TSMP&oldid=859166393
16	Wikipedia, The Free Encyclopedia	IPv6	https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=IPv6&oldid=903991159
17	Wikipedia, The Free Encyclopedia	Mesh networking	https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Mesh_networking&oldid=902211900
18	Wikipedia, The Free Encyclopedia	Ethernet	https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Ethernet&oldid=903424127
19	Wikipedia, The Free Encyclopedia	Phase-shift keying	https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Phase-shift_keying&oldid=903407132
20	Wikipedia, The Free Encyclopedia	Frequency-shift keying	https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Frequency-shift_keying&oldid=899829355
21	Wikipedia, The Free Encyclopedia	Enhanced Data Rates for GSM Evolution	https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Enhanced_Data_Rates_for_GSM_Evolution&oldid=904555052
22	Wikipedia, The Free Encyclopedia	Best-effort delivery	https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Best-effort_delivery&oldid=822213117
23	Wikipedia, The Free Encyclopedia	Time-division multiple access	https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Time-division_multiple_access&oldid=894129451

24	Wikipedia, The Free Encyclopedia	Code-division multiple access	https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Code-division_multiple_access&oldid=904669631
25	Wikipedia, The Free Encyclopedia	Chirp spread spectrum	https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Chirp_spread_spectrum&oldid=886685354
26	Wikipedia, The Free Encyclopedia	Latency (engineering)	https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Latency_(engineering)&oldid=897823178
27	Wikipedia, The Free Encyclopedia	Wireless sensor network	https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Wireless_sensor_network&oldid=906222476
28	Wikipedia, The Free Encyclopedia	Real-time data, Real-time computing	https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Real-time_data&oldid=864482973 https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Real-time_computing&oldid=894705181
29	Wikipedia, The Free Encyclopedia	Multicast	https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Multicast&oldid=904447798
30	Wikipedia, The Free Encyclopedia	PH	https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=PH&oldid=901668108
31	Wikipedia, The Free Encyclopedia	Payload (computing)	https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Payload_(computing)&oldid=887946730
32	Wikipedia, The Free Encyclopedia	Agricultural drone	https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Agricultural_drone&oldid=901271688
33	Internet of Food and Farm European Commission CORDIS – Horizon 2020	Internet of Food and Farm Internet of Food and Farm2020	https://www.iof2020.eu/ https://cordis.europa.eu/project/rcn/206761_en.html
34	Wikipedia, The Free Encyclopedia	Semantic Web	https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Semantic_Web&oldid=906091384

35	Wikipedia, The Free Encyclopedia	Hydroponics	https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Hydroponics&oldid=906661208
----	----------------------------------	-------------	---