



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
& ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Τεχνολογίες Διαδικτύου των Πραγμάτων στη γεωργία και στην κτηνοτροφία ακριβείας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

Στρίκου Ζήση

Επιβλέποντες: Αν. Καθηγήτρια Λούτα Μαλαματή

Δρ. Κυριακίδης Θωμάς

ΚΟΖΑΝΗ/ΜΑΡΤΙΟΣ/2022



HELLENIC DEMOCRACY
UNIVERSITY OF WESTERN MACEDONIA
SCHOOL OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL
& COMPUTER ENGINEERING

Internet of Things technologies in precision agriculture and livestock farming

THESIS

Strikos Zisis

SUPERVISOR: Mrs. Louta Malamati

Associate Professor

KOZANI/MARCH/2022



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
& ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΗΨΗΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗΣ ΕΥΘΥΝΗΣ

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν. 1599/1986 και τα άρθρα 2,4,6 παρ. 3 του Ν. 1256/1982, η παρούσα Διπλωματική Εργασία με τίτλο “Τεχνολογίες Διαδικτύου των Πραγμάτων στη γεωργία και στην κτηνοτροφία ακριβείας” καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας και αναφέρονται ρητώς μέσα στο κείμενο που συνοδεύουν, και η οποία έχει εκπονηθεί στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας, υπό την επίβλεψη του μέλους του Τμήματος κ. Λούτα Μαλαματή αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής εργασίας και δεν προσβάλλει κάθε μορφής πνευματικά δικαιώματα τρίτων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή / και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και μόνο.

Copyright (C) Στρίκος Ζήσης, Λούτα Μαλαματή, Κυριακίδης Θωμάς, 2022, Κοζάνη

Υπογραφή Φοιτητή: ΣΤΡΙΚΟΣ Ζ.

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία στοχεύει να εισάγει τους αναγνώστες της σε κρίσιμα θέματα που αφορούν τη γεωργία ακριβείας και την κτηνοτροφία ακριβείας, έναν από τους πιο σημαντικούς τομείς του Διαδικτύου των Πραγμάτων. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων περιλαμβάνει έξυπνες συσκευές, όπως κάμερες, αισθητήρες, πλατφόρμες και μοντέλα που λειτουργούν αυτόνομα και μπορούν να παρέχουν τις απαραίτητες πληροφορίες κάθε φορά στους χρήστες τους, έτσι ώστε εκείνοι να μπορούν να εκτελούν τις εργασίες τους με τη μικρότερη δυνατή επιβάρυνση σε χρόνο και χρήμα. Στη γεωργία ακριβείας και στην κτηνοτροφία ακριβείας συγκεκριμένα, οι συσκευές που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι ικανές να αντιλαμβάνονται τις διαδοχικές αλλαγές στις συνθήκες του περιβάλλοντα χώρου στον οποίο εγκαθίστανται και να επικοινωνούν με άλλα συστήματα για την ανταλλαγή δεδομένων και την επακόλουθη παροχή υπηρεσιών μεταξύ των αγροτών για να αυξήσουν την παραγωγικότητα στα αγροκτήματά τους, έχοντας το μικρότερο «οικολογικό αποτύπωμα». Η γεωργία ακριβείας και η κτηνοτροφία ακριβείας λοιπόν είναι αναβαθμισμένες εκδοχές της παραδοσιακής γεωργίας και της παραδοσιακής κτηνοτροφίας αντίστοιχα που ενσωματώνουν τεχνολογίες του Διαδικτύου των Πραγμάτων για να συμβάλλουν στην πιο αποτελεσματική διαχείριση των αγροκτημάτων και στην αύξηση των κερδών για τους αγρότες. Δίνεται ο ορισμός του Διαδικτύου των Πραγμάτων, οι αρχιτεκτονικοί σχεδιασμοί με τους οποίους κατασκευάζεται και τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιεί. Εξετάζονται αναλυτικά μελέτες και έρευνες που έχουν αναπτυχθεί με σκοπό να διερευνηθούν με ακρίβεια οι διάφορες τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί για την αναβάθμιση της χειρωνακτικής γεωργίας και της χειρωνακτικής κτηνοτροφίας και επισημαίνονται ανοιχτά προβλήματα που προκαλούνται με την αξιοποίηση της συγκεκριμένης τεχνολογίας στον πρωτογενή τομέα. Τέλος, κατασκευάζεται και μία εφαρμογή που επικοινωνεί με μία βάση δεδομένων μέσω ενός λογισμικού που παρέχεται ως υπηρεσία, με τη βοήθεια της οποίας οι χρήστες της θα μπορούν να διαχειρίζονται τη φάρμα ή τις φάρμες που έχουν στην κατοχή τους.

Abstract

The specific thesis aims to introduce its readers to critical issues related to precision agriculture and precision livestock, which are one of the most important sections of the Internet of Things. The Internet of Things includes smart devices, like cameras, sensors, platforms and models that function autonomously and are able to provide the necessary information each time to their users, so that they can perform their tasks with the least possible burden in time and money. Specifically regarding precision agriculture and precision livestock, the aforementioned devices are able to perceive the successive changes to the conditions of the surrounding area at which they are installed and communicate with other systems for data exchange and service provision among the farmers to increase productivity in their farms, with the smallest «ecological footprint». Precision agriculture and precision livestock are enhanced versions of traditional agriculture and livestock respectively which embed Internet of Things' technologies to contribute to a more efficient management of the farms and achieving of greater profits for the farmers. The definition of the Internet of Things, the architectural designs of its construction and the protocols that it uses are given. Studies and researches that have been developed for the purpose of accurate investigation of the various technologies developed for the enhancement of manual agriculture and livestock are examined here in detail and open problems caused due to the utilization of the specific technology in the primary sector are highlighted. Finally, a web application that communicates with a database through a software-as-a-service is developed, for assisting users to manage their farm or farms.

Λέξεις-κλειδιά

Διαδίκτυο των Πραγμάτων, γεωργία ακριβείας, κτηνοτροφία ακριβείας, έξυπνη καλλιέργεια

Keywords

Internet of Things, precision agriculture, precision livestock, smart farming

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου που με υποστήριξε καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, έτσι ώστε να τις ολοκληρώσω με επιτυχία. Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω το σύνολο του διδακτικού προσωπικού του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών για τις γνώσεις που απέκτησα πάνω στα αντικείμενα ενασχόλησής τους και ειδικότερα τους επιβλέποντες της διπλωματικής μου εργασίας Αν. Καθηγήτρια Λούτα Μαλαματή και Δρ. Κυριακίδη Θωμάς για την καθοδήγηση που μου παρείχαν κατά τη διάρκεια της εκπόνησής της εκ μέρους μου. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Τσίπη Ευάγγελο για την καθοδήγησή του με σκοπό να υλοποιήσω το προγραμματιστικό κομμάτι (εφαρμογή) της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας. Ακόμη, τα παιδιά με τους οποίους ήμασταν συμφοιτητές όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου, αλλά και τα παιδιά με τους οποίους γίναμε φίλοι και περάσαμε μαζί πολλές όμορφες στιγμές. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους ανθρώπους που ήταν γενικότερα πάντα στο πλευρό μου και με βοήθησαν είτε σε μικρό είτε σε μεγάλο βαθμό σε οποιοδήποτε πρόβλημα προέκυπτε.

Περιεχόμενα

Περίληψη	7
Abstract	8
Λέξεις-κλειδιά	9
Keywords	10
Ευχαριστίες	11
Περιεχόμενα	13
Συντομογραφίες	15
Κατάλογος Εικόνων	21
Πρόλογος	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	23
1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής	23
1.2 Οργάνωση του τόμου	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	24
2.1 Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things)	24
2.1.1 Ορισμός	24
2.2 Αρχιτεκτονικές	24
2.3 Πρωτόκολλα	27
2.4 Εφαρμογές στη γεωργία ακριβείας και στην κτηνοτροφία ακριβείας	29
2.5 Προκλήσεις στη γεωργία ακριβείας και στην κτηνοτροφία ακριβείας	31
2.6 Επιθέσεις στον κυβερνοχώρο στη γεωργία και κτηνοτροφία ακριβείας	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ	36
3.1 Πλατφόρμες λειτουργικών συστημάτων για τη γεωργία	36
3.2 Αισθητήρες για τη γεωργία	37
3.3 Εφαρμογές για τη γεωργία	38
3.4 Ολοκληρωμένες λύσεις	42
3.5 Ανίχνευση ασθενειών στις σοδειές	42
3.6 Παρακολούθηση και διαχείριση διασυνδεδεμένων έξυπνων θερμοκηπίων	46
3.7 Προγραμματισμένη άρδευση καλλιεργειών	50
3.8 Ανάλυση μεγάλων δεδομένων για τα γεωργικά μηχανήματα	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ	60
4.1 Εκτεταμένη εκτροφή προβάτων	60
4.2 Εκτροφή χοίρων	63

4.3 Ανάλυση της ποιότητας του γάλακτος από τις αγελάδες	66
4.4 Διαχείριση πληροφοριών από την εκτροφή πουλερικών	69
4.5 Παρακολούθηση των ζώων	74
4.6 Διαχείριση ζωικού κεφαλαίου	78
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΤΙΚΗ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ	81
5.1 Αρχιτεκτονική και εργαλεία προγραμματισμού	81
5.2 Ασφάλεια εφαρμογής	82
5.3 Δημιουργία διεπαφής προγραμματισμού εφαρμογής	85
5.4 Παρουσίαση της εφαρμογής	86
5.5 Λόγοι χρήσης βιβλιοθηκών και υπηρεσιών	91
5.6 Μετατροπή κώδικα σε εκτελέσιμο αρχείο εφαρμογής	91
5.7 Διάγραμμα ροής της εφαρμογής	93
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΠΙΛΟΓΟΣ	95
6.1 Συμπεράσματα	95
6.2 Μελλοντικές επεκτάσεις	95
Βιβλιογραφία	96
Απόδοση ξενόγλωσσων όρων	100

Συντομογραφίες

LTE	Long-Term Evolution
CDMA	Code-Division Multiple Access
GSM	Global System for Mobile (communications)
Wi-Fi	Wireless Fidelity
LoRa	Long Range
NFC	Near Field Communication
UWB Bluetooth	Ultra-WideBand Bluetooth
RFID	Radio-Frequency IDentification
SaaS	Software-as-a-Service
MAC	Medium Access Control
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
Kbps	Kilobits per second
IPv4	Internet Protocol version 4
IPv6	Internet Protocol version 6
TCP	Transmission Control Protocol
UDP	User Datagram Protocol
CoAP	Constrained Application Protocol
AMQP	Advanced Message Queuing Protocol
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
HTTP	Hyper-Text Transfer Protocol
TLS	Transport Layer Security
SSL	Secure Sockets Layer

PaaS	Platform-as-a-Service
DFS	Distributed File System
GPRS	General Packet Radio Service
IP	Internet Protocol
FTP	File Transfer Protocol
IoT	Internet of Things
GHz	GigaHertz
Mbps	Megabits per second
Gbps	Gigabits per second
LoRaWAN	Long-Range Wide Area Network
MHz	MegaHertz
WiMAX	Worldwide interoperability for Microwave Access
2G	2 nd Generation
3G	3 rd Generation
4G	4 th Generation
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
LR-WPANs	Low-Rate Wireless Personal Area Networks
ISO	International Organization for Standardization
OASIS	Organization for the Advancement of Structured Information Standards
KHz	KiloHertz
LPWANs	Low-Power Wide Area Networks
NB-IoT	Narrow-Band IoT
LTE-M	Long-Term Evolution for Machines

3GPP LTE	3 rd Generation Partnership Project Long-Term Evolution
M2M	Machine-to-Machine
BLE	Bluetooth Low Energy
V2V	Vehicle-to-Vehicle
UAVs	Unmanned Aerial Vehicles
GISs	Geographic Information Systems
GPS	Global Positioning System
QoS	Quality of Service
GNSSs	Global Navigation Satellite Systems
RTK	Real-Time Kinematics
DoS	Denial of Service
DDoS	Distributed Denial of Service
RPL	Routing Protocol for Low-power and Lossy Networks
OMA LWM2M	Open Mobile Alliance Lightweight Machine-to-Machine
HTTPS	Hyper-Text Transfer Protocol Secure
LED	Light Emitting Diode
MDFC-ResNet	Multidimensional Feature Compensation Residual Neural Network
AI	Artificial Intelligence
SD	Secure Digital
W	Watt
Ah	Ampere hours
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index

NB	Naïve Bayes
SVM	Support Vector Machine
NB	Naive Bayes
MATLAB	MATrix LABoratory
KWp	KiloWatt-peak
Wp	Watt-peak
KW	KiloWatt
Ah	Ampere hours
ml	millilitres
ANN	Artificial Neural Network
RMSE	Root Mean Square Error
ICT	Information and Communication Technologies
CWSI	Crop Water Stress Index
EMA	Exponential Moving Average
PWM	Pulse Width Modulation
Wm^{-2}	Watt per square metres
$Kgha^{-1}$	Kilograms per hectare
Wh	Watt hours
KWh	KiloWatt hours
SoC	System-on-Chip
LCD	Liquid Crystal Display
V	Volt
AC	Alternating Current
DC	Direct Current

USB	Universal Serial Bus
IIC	Inter-Integrated Circuit
SPI	Serial Peripheral Interface
mm	millimetres
CART	CAtegory Regression Tree
ms	milliseconds
TB	TeraByte
EID	Electronic IDentification
WOW	Walk-Over-Weight
ToF	Time of Flight
K	Kelvin
BCS	Body Condition Scoring
IoF2020	Internet of Food & Farm 2020
IRS	Infrared Spectroscopy
MIRS	Mid-Infrared Spectroscopy
NIRS	Near-Infrared Spectroscopy
mg/dL	milligrams per decilitre
nm	nanometres
mm	millimetres
AMRs	Automatic Milking Robots
FTIR	Fourier transform infrared spectroscopy
E-R	Entity-Relationship
GB	GigaByte
IPC	Industrial Personal Computer

ICC	Industrial Control Computer
EISU	Environmental Information Sensing Unit
I2C	Inter-Integrated Circuit
SQL	Structured Query Language
OMGUI	Open Movement GUI
KPIs	Key Performance Indicators
VPN	Virtual Private Network
6LoWPAN	IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Network
TDMA	Time Division Multiple Access
CSMA	Carrier Sense Multiple Access
C2B	Collar-to-Beacon
B2B	Beacon-to-Beacon
RESTful API	Representational State Transfer API
CPS	Cyber Physical System
CAP	Cognitive Automation Process
XML	eXtensible Markup Language
JSON	JavaScript Object Notation
JWT	JSON Web Token
CRUD	Create-Read-Update-Delete

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 - Αρχική οθόνη της εφαρμογής	87
Εικόνα 2 - Οθόνη αυθεντικοποίησης του χρήστη μέσω της υπηρεσίας Auth0	88
Εικόνα 3 - Εμφάνιση ονόματος και e-mail χρήστη μετά την επιτυχή αυθεντικοποίηση με την υπηρεσία Auth0.....	88
Εικόνα 4 - Οθόνη διαχείρισης των εκτροφών των ζώων.....	89
Εικόνα 5 - Οθόνη διαχείρισης των ζώων.....	89
Εικόνα 6 - Οθόνη διαχείρισης της φυσικής κατάστασης των ζώων.....	90
Εικόνα 7 - Οθόνη διαχείρισης της αναπαραγωγικής δραστηριότητας των ζώων.....	90
Εικόνα 8 - Οθόνη διαχείρισης του εμβολιασμού των ζώων.....	91
Εικόνα 9 - Διάγραμμα ροής της Farmdain Mobile App	93

Πρόλογος

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία με τίτλο Τεχνολογίες Διαδικτύου των Πραγμάτων στη γεωργία και στην κτηνοτροφία ακριβείας διενεργήθηκε υπό την επίβλεψη των διδασκόντων του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών κας. Λούτα Μαλαματή και κ. Κυριακίδη Θωμά σχετικά με το θεωρητικό κομμάτι της και υπό την επίβλεψη του κ. Τσίπη Ευάγγελου σχετικά με το προγραμματιστικό κομμάτι της. Η διπλωματική εργασία καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησής της διεξήχθη εξ' αποστάσεως και πραγματοποιήθηκε στις Σέρρες, στην οποία βρίσκεται ο τόπος μόνιμης κατοικίας του συγγραφέα της. Για την υλοποίηση του προγραμματιστικού κομματιού της (εφαρμογή) χρησιμοποιήθηκε η επίσημη πλατφόρμα της εταιρείας Google για ανάπτυξη Android εφαρμογών που ονομάζεται Android Studio.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανασκόπηση των υφιστάμενων τεχνολογιών του Διαδικτύου των Πραγμάτων στη γεωργία ακριβείας και στην κτηνοτροφία ακριβείας και των προβλημάτων στην εγκαθίδρυσή τους τα οποία δεν έχουν επιλυθεί μέχρι τώρα, καθώς και συγκεκριμένων μελετών που έχουν εφαρμοστεί για την υλοποίησή τους σε έξυπνα αγροκτήματα. Για την αποτελεσματικότητα των τεχνολογιών σε διαφορετικές περιοχές εφαρμογής, έχουν πραγματοποιηθεί πειράματα και δοκιμές σε φυσικά και σε εικονικά μηχανήματα και έχουν αξιολογηθεί οι δυνατότητες και οι αδυναμίες τους σύμφωνα με τους επιθυμητούς στόχους που αναμένεται να εκπληρωθούν από αυτές. Επιπρόσθετα, πραγματοποιείται αναφορά και στο θεωρητικό και πρακτικό μέρος μίας εφαρμογής για κινητές συσκευές που διενεργήθηκε στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας και η οποία στοχεύει να διευκολύνει τους αγρότες να διαχειρίζονται με απλό και κατανοητό τρόπο τα αγροκτήματά τους, μέσω της μεταβολής και επεξεργασίας διαφορετικών παραμέτρων με την επικοινωνία της εφαρμογής με μία βάση δεδομένων.

1.2 Οργάνωση του τόμου

Η παρούσα διπλωματική εργασία οργανώνεται ως εξής: στο Κεφάλαιο 2 πραγματοποιείται μία συνοπτική αναφορά στο θεωρητικό υπόβαθρο του Διαδικτύου των Πραγμάτων, στο οποίο δίνεται ο ορισμός του, οι προτεινόμενες από τη βιβλιογραφία αρχιτεκτονικές του, τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιεί, κάποιες εφαρμογές του που εξετάζονται συνοπτικά και σχετίζονται με τη γεωργία και την κτηνοτροφία ακριβείας. Τέλος, αναφέρονται προκλήσεις και επιθέσεις στον κυβερνοχώρο στη γεωργία και κτηνοτροφία ακριβείας. Στο Κεφάλαιο 3 πραγματοποιείται μία εκτενέστερη ανάλυση σε τεχνολογίες και σε προβλήματα-ανοιχτές προκλήσεις του Διαδικτύου των Πραγμάτων στη γεωργία ακριβείας, ενώ στο Κεφάλαιο 4 πραγματοποιείται μία εκτενής ανάλυση τεχνολογιών και αντίστοιχων προβλημάτων-ανοιχτών προκλήσεων του Διαδικτύου των Πραγμάτων στην κτηνοτροφία ακριβείας. Στο Κεφάλαιο 5 αναφέρεται το προγραμματιστικό κομμάτι της διπλωματικής εργασίας με τα αποτελέσματά του (που περιλαμβάνει μία εφαρμογή για κινητές συσκευές, όπως αναφέρθηκε παραπάνω) και στο Κεφάλαιο 6 υπάρχουν ο επίλογος και τα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

2.1 Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things)

2.1.1 Ορισμός

Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things) είναι ένα σύνολο δικτύων τεχνολογικών εξοπλισμών που παρατάσσονται σε καθορισμένες περιοχές και έχουν την ικανότητα να ανιχνεύουν και να καταγράφουν δεδομένα από ποικίλες πηγές πληροφόρησης του περιβάλλοντα χώρου τους μέσω του κατάλληλου υλικού (hardware) και λογισμικού (software) που ενσωματώνουν και να τα ανταλλάσσουν είτε μεταξύ τους με βάση το τοπικό δίκτυο, είτε με ευρύτερα συστήματα ή πλατφόρμες με βάση το Διαδίκτυο, προκειμένου να υποστούν επεξεργασία και να εξαχθούν σημαντικές πληροφορίες για κάποιον συγκεκριμένο σκοπό.

Στην επόμενη ενότητα αναφέρονται οι προτεινόμενες αρχιτεκτονικές του Διαδικτύου των Πραγμάτων που έχουν παρουσιαστεί στη βιβλιογραφία.

2.2 Αρχιτεκτονικές

Στη βιβλιογραφία έχουν προταθεί διαφορετικά μοντέλα αρχιτεκτονικής για το Διαδίκτυο των Πραγμάτων και τα οποία αναφέρονται αμέσως μετά.

Στο άρθρο [1] περιγράφεται η ακόλουθη αρχιτεκτονική: Το **Επίπεδο Αντίληψης (Perception Layer)** είναι το κατώτερο επίπεδο στη συγκεκριμένη αρχιτεκτονική και περιλαμβάνει ηλεκτρονικές συσκευές και τεχνολογίες δικτύωσης όπως είναι οι αισθητήρες, οι μικροελεγκτές και οι πύλες δικτύου (gateways). Οι μικροελεγκτές ειδικότερα κάνουν προσαρμογές στα δίκτυα για να βοηθούν τους εξοπλισμούς που παρατάσσονται και συνδέονται σε αυτά να συλλέγουν δεδομένα από τον περιβάλλοντα χώρο τους. Το επίπεδο αυτό λοιπόν προσπαθεί να λαμβάνει δεδομένα από τις συσκευές και να τα μεταδίδει στα ανώτερα επίπεδα της αρχιτεκτονικής. Το **Επίπεδο Δικτύου (Network Layer)** επιδιώκει να εξασφαλίσει βέλτιστες επικοινωνίες μέσα στις πλατφόρμες που υφίσταται με τεχνολογίες επικοινωνιών, όπως είναι: η Μακροπρόθεσμη Εξέλιξη (Long-Term Evolution/LTE), η Πολλαπλή Πρόσβαση με Διαίρεση Κώδικα (Code-Division Multiple Access/CDMA), το Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών (Global System for Mobile (Communications)/GSM), η Ασύρματη Πιστότητα (Wireless Fidelity/Wi-Fi), το ZigBee, η τεχνολογία μεγάλης εμβέλειας (Long Range/LoRa), η Επικοινωνία Κοντινού Πεδίου (Near-Field Communication/NFC), το Bluetooth Εξαιρετικά Ευρείας Ζώνης (Ultra-WideBand Bluetooth/UWB Bluetooth) και η Ταυτοποίηση Ραδιοσυχνοτήτων (Radio-Frequency Identification/RFID). Το **Επίπεδο Ενδιάμεσου Λογισμικού (Middleware Layer)** διαχειρίζεται τις παρατεταγμένες συσκευές, αντιλαμβάνεται τις συνθήκες από τα χαρακτηριστικά του χώρου στον οποίο εφαρμόζεται και εκτελεί ενέργειες σύμφωνα με αυτές και παρέχει διαλειτουργικότητα και ασφάλεια. Το **Επίπεδο Εξυπηρέτησης (Service Layer)**

είναι ένα σημαντικό επίπεδο στη συγκεκριμένη αρχιτεκτονική, καθώς υποστηρίζει αποθήκευση σε υπολογιστικό νέφος (cloud) και λογισμικά που παρέχονται ως υπηρεσίες (Software-as-a-Service/SaaS) και επιτελεί λειτουργίες όπως είναι η παρακολούθηση των συσκευών, η εξασφάλιση ελέγχου και η συγκέντρωση και δημοσίευση δεδομένων από αυτές. Το **Επίπεδο Ανάλυσης (Analytics Layer)** αναλαμβάνει το ρόλο της επεξεργασίας και της ανάλυσης των δεδομένων που προέρχονται από τις ηλεκτρονικές συσκευές. Στο συγκεκριμένο επίπεδο λαμβάνονται αποφάσεις προβλέψεων που συμβάλλουν στην ενίσχυση της παρακολούθησης των αγροκτημάτων από τους αγρότες και τους υποστηρίζουν στην υλοποίηση καλύτερων συστημάτων. Το **Επίπεδο Τελικών Χρηστών (End-User Layer)** είναι το υψηλότερο επίπεδο στη συγκεκριμένη αρχιτεκτονική και παρέχει μία φιλική προς το χρήστη πλατφόρμα που βασίζεται στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων, η οποία εκτελεί αποφάσεις σύμφωνα με τη μελέτη της συμπεριφοράς του. Ένας επίσης πολύ σημαντικός ρόλος του συγκεκριμένου επιπέδου είναι η παρακολούθηση και το τρέξιμο ολόκληρης της πλατφόρμας. Αυτό είναι επομένως ένα εξα-επιπεδικό μοντέλο που στοχεύει κυρίως στην παροχή τεχνολογιών δικτύωσης στους αγρότες για την εκτέλεση λογικών αποφάσεων.

Στο άρθρο [2] η δεύτερη αρχιτεκτονική του Διαδικτύου των Πραγμάτων που προτείνεται είναι η παρακάτω: Το **Φυσικό Επίπεδο και Επίπεδο Ελέγχου Προσπέλασης Μέσου (Physical and MAC Layer)** είναι το κατώτερο επίπεδο και περιέχει το πρότυπο IEEE 802.15.4, με τα κύρια πλεονεκτήματά του να εντοπίζονται στην εξασφάλιση χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης και χαμηλής πολυπλοκότητας για τα συστήματα, επιτυγχάνοντας ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 250 Kbps. Το **Επίπεδο Προσαρμογής (Adaptation Layer)** υποστηρίζει τη δυνατότητα στις ηλεκτρονικές συσκευές να συνδέονται και να λειτουργούν μεταξύ τους χωρίς περιορισμούς στις διεργασίες που εκτελούν και κατασκευάζει μηχανισμούς ώστε τα δεδομένα που μεταδίδονται από αυτές να περικόπτονται, να συμπιέζονται και να επανα-συναρμολογούνται με σωστό τρόπο. Το **Επίπεδο Δικτύου (Network Layer)** μεταδίδει σημαντικά δεδομένα στο επίπεδο εφαρμογών με χρήση της 4^{ης} έκδοσης πρωτοκόλλου Διαδικτύου (Internet Protocol version 4/IPv4) και της 6^{ης} έκδοσης πρωτοκόλλου Διαδικτύου (Internet Protocol version 6/IPv6). Το **Επίπεδο Μεταφοράς (Host-to-Host) ((Host-to-Host) Transport Layer)** λαμβάνει και αποθηκεύει καταγεγραμμένα δεδομένα από αισθητήρες. Τα πρωτόκολλα που επιτυγχάνουν αυτή τη λειτουργία είναι το Πρωτόκολλο Ελέγχου Μετάδοσης (Transmission Control Protocol/TCP) και το Πρωτόκολλο Δεδομένων Χρηστών (User Datagram Protocol/UDP). Το πλεονέκτημα του TCP είναι η εξασφάλιση αξιοπιστίας στα δεδομένα που αποστέλλονται σε κάποιον συγκεκριμένο παραλήπτη, αλλά τα μειονεκτήματά του έγκεινται στην απαίτηση συνδεσιμότητας μεταξύ των εμπλεκόμενων πηγών και στη χαμηλή ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων. Από την άλλη πλευρά, το UDP έχει τα πλεονεκτήματα της υψηλής ταχύτητας μετάδοσης δεδομένων και της μη απαίτησης συνδεσιμότητας, αλλά το μειονέκτημά του έγκεινται στη μη εξασφάλιση ότι τα δεδομένα από τον αποστολέα προς τον παραλήπτη είναι αξιόπιστα. Στο **Επίπεδο Εφαρμογών (Application Layer)** χρησιμοποιούνται πρωτόκολλα, όπως είναι: το Πρωτόκολλο Περιορισμένων Εφαρμογών (Constrained Application Protocol/CoAP), το Προηγμένο Πρωτόκολλο Ουράς Μηνυμάτων (Advanced Message Queuing Protocol/AMQP), η Μεταφορά Τηλεμετρίας Ουράς Μηνυμάτων (Message Queuing Telemetry Transport/MQTT) και το Πρωτόκολλο Μεταφοράς

Υπερκειμένου (Hyper-Text Transfer Protocol/HTTP). Πιο συγκεκριμένα, το CoAP λειτουργεί πάνω στο UDP, το AMQP λειτουργεί πάνω από το TCP και προκειμένου να διαβιβαστεί ασφάλεια στα δεδομένα που ανταλλάσσονται, επιστρατεύει την Ασφάλεια Επιπέδου Μεταφοράς (Transport Layer Security/TLS) και το Επίπεδο Ασφαλών Υποδοχών (Secure Sockets Layer/SSL). Επιπρόσθετα, το MQTT είναι πρωτόκολλο που έχει αποδοτικό εύρος ζώνης και χρησιμοποιείται για μετάδοση και λήψη δεδομένων από αισθητήρες και τέλος, το HTTP είναι πρωτόκολλο ανταλλαγής μηνυμάτων ιστού που λειτουργεί πάνω από το TCP και επιστρατεύει τα TLS/SSL για την υποστήριξη ασφάλειας. Έχουμε λοιπόν εδώ ένα πεντα-επιπεδικό μοντέλο που στοχεύει στις επικοινωνίες των παρατεταγμένων συσκευών στα αγροκτήματα.

Τρίτη αρχιτεκτονική του Διαδικτύου των Πραγμάτων που προτείνεται στο άρθρο [14] (από το κατώτερο προς το ανώτερο επίπεδο) είναι η ακόλουθη: Το **Φυσικό Επίπεδο (Physical Layer)** περιλαμβάνει συσκευές ανίχνευσης και καταγραφής δεδομένων που τα χρησιμοποιούν μεταξύ τους ώστε αυτές να λαμβάνουν λογικές αποφάσεις, ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες των αγροτών. Αργότερα, οι συσκευές μπορούν να ανεβάσουν τα δεδομένα τους σε συστήματα άκρου και υπολογιστικού νέφους (edge/cloud), έτσι ώστε οι αγρότες να διενεργούν αυτοματοποιημένες εργασίες. Το **Επίπεδο Άκρου (Edge Layer)** εκτελεί υπολογισμούς και αποφάσεις σε πραγματικό χρόνο, ελαχιστοποιώντας τον υπολογιστικό φόρτο και το φόρτο του εμπλεκόμενου δικτύου. Το **Επίπεδο Υπολογιστικού Νέφους (Cloud Layer)** εικονικοποιείται σε κέντρα δεδομένων και η επικοινωνία με τα υπόλοιπα επίπεδα πραγματοποιείται μέσω του Διαδικτύου (Internet). Στα συστήματα που ενσωματώνουν λειτουργίες του cloud layer ακολουθείται η αρχιτεκτονική της πλατφόρμας που παρέχεται ως υπηρεσία (Platform-as-a-Service/PaaS). Στις πλατφόρμες αυτές λαμβάνονται δεδομένα από το επίπεδο άκρου και αποθηκεύονται στο αποκαλούμενο Κατακεντρωμένο Σύστημα Αρχείων (Distributed File System/DFS). Στη συνέχεια, αυτά χρησιμοποιούνται από λογισμικά αναλύσεων και από προγραμματιστές, οι οποίοι δημιουργούν εφαρμογές για να χρησιμοποιούνται από τους τελικούς χρήστες, όπως είναι οι αγρότες, και εκείνοι να εκπληρώνουν τις ανάγκες τους. Το **Επίπεδο Επικοινωνιών Δικτύου (Network Communication Layer)** είναι ικανό να παρέχει μία στοίβα δικτύου (network stack) με τη βοήθεια της οποίας ενσύρματα, ασύρματα και κινητά υπο-δίκτυα επικοινωνούν μεταξύ τους σε οποιοδήποτε περιβάλλον και αν υφίστανται με την επίτευξη μεγάλης προσαρμοστικότητας, αλλά και να διαφυλάττει την ανεμπόδιστη συνδεσιμότητα μεταξύ του φυσικού επιπέδου και του επιπέδου άκρου για να μπορούν αυτά να ανταλλάσσουν δεδομένα με το επίπεδο υπολογιστικού νέφους. Υπάρχει λοιπόν και το συγκεκριμένο τετρα-επιπεδικό μοντέλο που επιστρατεύει τις τεχνολογίες edge και cloud για αποτελεσματικές επικοινωνίες μεταξύ των συσκευών.

Μία τελευταία αρχιτεκτονική του Διαδικτύου των Πραγμάτων που θα αναφερθεί και αναλύεται στο άρθρο [15] περιλαμβάνει τα εξής επίπεδα: Το **Επίπεδο Ανίχνευσης (Sensing Layer)** περιλαμβάνει αισθητήρες που χρησιμοποιούν τεχνολογίες Wi-Fi, ZigBee και General Packet Radio Service/GPRS για να μεταδώσουν δεδομένα στο επίπεδο προσπέλασης. Το **Επίπεδο Προσπέλασης (Access Layer)** περιλαμβάνει gateways υλικού και ενσωματωμένο λογισμικό, το οποίο συμβάλλει στη μείωση της πολυπλοκότητας των δικτύων. Το **Επίπεδο Δικτύου (Network Layer)** μεταδίδει δεδομένα στο ανώτερο ιεραρχικά επίπεδο της

συγκεκριμένης αρχιτεκτονικής με τη χρήση του πρωτοκόλλου Διαδικτύου (Internet Protocol/IP) και πρωτοκόλλων δικτύων κινητών επικοινωνιών. Το **Επίπεδο Διαμοιρασμού Δεδομένων (Data Sharing Layer)** περιέχει έναν πολύ μεγάλο χώρο αποθήκευσης δεδομένων, με σκοπό να διαμοιραστούν τα δεδομένα που καταγράφονται από τους παρατεταγμένους εξοπλισμούς με χρήση των πρωτοκόλλων TCP και UDP. Το **Επίπεδο Εφαρμογών (Application Layer)** λαμβάνει τα δεδομένα από το αμέσως προηγούμενο ιεραρχικά επίπεδο με χρήση του πρωτοκόλλου HTTP και του πρωτοκόλλου μεταφοράς αρχείων (File Transfer Protocol/FTP) και αργότερα υλοποιεί ένα αγροτικό IoT σύστημα. Και αυτό το πεντα-επιπεδικό μοντέλο στοχεύει στην εξισορρόπηση της κίνησης δεδομένων μεταξύ των εμπλεκόμενων εξοπλισμών.

Σε γενικότερες γραμμές, όσο περισσότερα είναι τα επίπεδα στα μοντέλα που προτείνονται για την υλοποίηση του Διαδικτύου των Πραγμάτων για τη γεωργία και κτηνοτροφία ακριβείας, τόσο πιο αποτελεσματικά λειτουργούν τα συστήματα που κατασκευάζονται χάρη σε αυτά.

Στην επόμενη ενότητα γίνεται μία λεπτομερής ανάλυση των πρωτοκόλλων που έχουν κατασκευαστεί για την καθιέρωση της γεωργίας ακριβείας και της κτηνοτροφίας ακριβείας.

2.3 Πρωτόκολλα

Για την επικοινωνία των εξοπλισμών που παρατάσσονται στα αγροκτήματα έχουν κατασκευαστεί κάποια πρωτόκολλα που συμβάλλουν στην καθιέρωση της έξυπνης γεωργίας (smart farming), τα πιο δημοφιλή εκ των οποίων περιγράφονται στο άρθρο [2] και είναι τα ακόλουθα: Το **IEEE 802.11 Wi-Fi** λειτουργεί σε απόσταση μεταξύ των οντοτήτων που επικοινωνούν μεταξύ τους η οποία κυμαίνεται από 20 έως 100 μέτρα και είναι μία συλλογή προτύπων επικοινωνιών ασύρματου τοπικού δικτύου (Wireless Local Area Network). Αυτά τα πρότυπα επικοινωνιών ειδικότερα είναι τα: 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n, 802.11ac και λειτουργούν σε εύρος ζώνης 5 GHz, 2.2 GHz, 2.4/5 GHz, 60 GHz, 5 GHz αντίστοιχα, επιτυγχάνοντας ρυθμό μετάδοσης δεδομένων που κυμαίνεται από 1 Mbps μέχρι 7 Gbps. Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο λοιπόν χρησιμοποιείται για ασύρματη επικοινωνία μεταξύ αντικειμένων σε κοντινή απόσταση. Το **Δίκτυο Ευρείας Περιοχής Μεγάλης Εμβέλειας (Long-Range Wide Area Network/LoRaWAN)** βασίζεται στο πρότυπο LoRaWAN R1.0, λειτουργεί σε συχνότητες 868 ή 900 MHz, επιτυγχάνει ρυθμό μετάδοσης δεδομένων που κυμαίνεται από 0.3 έως 50 Kbps και απόσταση μικρότερη από 30 χιλιόμετρα για τη μετάδοσή τους. Αυτό το πρωτόκολλο χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για να εξασφαλίσει ότι οι πολλαπλοί χειριστές που πιθανώς να εμπλέκονται στις λειτουργίες ενός συστήματος το οποίο στοχεύει στο smart farming, θα μπορούν να συνεργάζονται απρόσκοπτα. Η **Παγκόσμια Διαλειτουργικότητα για Μικροκυματική Προσπέλαση (Worldwide interoperability for Microwave Access/WiMAX)** βασίζεται στο πρότυπο IEEE 802.16, λειτουργεί στις συχνότητες 2 - 66 GHz, επιτυγχάνει ρυθμό μετάδοσης δεδομένων από 1.5 Mbps έως 1 Gbps για σταθερές επικοινωνίες και 50 - 100 Mbps για κινητές επικοινωνίες και προσφέρει ευρυζωνική ενσύρματη ή ασύρματη συνδεσιμότητα πολλαπλής πρόσβασης. Τα **πρότυπα**

κινητών επικοινωνιών 2G (δεύτερης γενιάς), **3G** (τρίτης γενιάς), **4G** (τέταρτης γενιάς) είναι βασισμένα στα πρότυπα 2G-GSM, CDMA-3GUMTS, CDMA2000 και 4G-LTE, λειτουργούν σε συχνότητες 865 MHz και 2.4 GHz και μπορούν να μεταδώσουν δεδομένα μέσα σε μια ολόκληρη περιοχή με κυψελωτό σχήμα. Ειδικότερα, οι κινητές επικοινωνίες δεύτερης γενιάς επιτυγχάνουν ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 50 – 100 Kbps, οι κινητές επικοινωνίες τρίτης γενιάς επιτυγχάνουν ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 200 Kbps και οι κινητές επικοινωνίες τέταρτης γενιάς έχουν ρυθμό μετάδοσης δεδομένων που κυμαίνεται από 0.1 έως 1 Gbps. Επομένως, τα προαναφερόμενα πρότυπα κινητών επικοινωνιών χρησιμοποιούνται από τους εξοπλισμούς που ενσωματώνουν το Διαδίκτυο των Πραγμάτων πάνω από κυψελωτά δίκτυα. Τα **Ασύρματα Δίκτυα Προσωπικής Περιοχής Χαμηλού Ρυθμού (Low-Rate Wireless Personal Area Networks/ LR-WPANs)** είναι βασισμένα στο πρότυπο IEEE 802.15.4, λειτουργούν στις συχνότητες 868 MHz, 915 MHz και 2.4 GHz, προσφέρουν ρυθμό μετάδοσης που κυμαίνεται από 40 Kbps μέχρι 250 Kbps και εγκαθιστούν επικοινωνίες χαμηλών ταχυτήτων και χαμηλού κόστους, με απόσταση μετάδοσης από 10 έως 20 μέτρα. Το **RFID** βασίζεται στο πρότυπο ISO 18000-6C, λειτουργεί σε συχνότητες 860 – 960 MHz, προσφέρει ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων 40 - 160 Kbps και εύρος μετάδοσης δεδομένων από 1 έως 5 μέτρα. Ακόμα, περιλαμβάνει συσκευές ανάγνωσης και ετικέτες που λαμβάνουν και μεταδίδουν ραδιοκύματα και αυτές εγκαθίστανται σε αντικείμενα για να μπορούν να αναγνωριστούν και να καταγραφούν σημαντικές πληροφορίες από το περιβάλλον τους. Το **ZigBee** βασίζεται στο πρότυπο IEEE 802.15.4, λειτουργεί στα 2.4 GHz και επιτυγχάνει ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 20 - 250 Kbps και εύρος μετάδοσης δεδομένων από 10 έως 20 μέτρα. Το ZigBee είναι ένα σύνολο προδιαγραφών για την επικοινωνία μεταξύ συσκευών που χαρακτηρίζεται από μεταδόσεις δεδομένων μικρής ισχύος. Το **MQTT** είναι βασισμένο στο πρότυπο OASIS, λειτουργεί επίσης στα 2.4 GHz, επιτυγχάνει ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 250 Kbps και είναι ένα πρωτόκολλο ανταλλαγής μηνυμάτων σε μεγάλες αποστάσεις μεταξύ του αποστολέα και του παραλήπτη που χρησιμοποιείται για αναλύσεις δεδομένων. Το **SigFox** είναι βασισμένο στο πρότυπο SigFox, λειτουργεί στα 200 KHz, προσφέρει ρυθμό μετάδοσης δεδομένων από 100 έως 600 bits/δευτερόλεπτο και εύρος μετάδοσης δεδομένων από 30 έως 50 χιλιόμετρα και αυτό είναι ένα ασύρματο κυψελωτό δίκτυο χαμηλών ρυθμών δεδομένων και εξαιρετικά στενής ζώνης που χρησιμοποιείται περισσότερο για επικοινωνίες μεταξύ μηχανημάτων και για επικοινωνίες που ενσωματώνουν το Διαδίκτυο των Πραγμάτων. Το **Bluetooth** είναι βασισμένο στο πρότυπο IEEE 802.15.1, λειτουργεί στα 2.4 GHz, προσφέρει ρυθμό μετάδοσης δεδομένων που κυμαίνεται από 1 έως 24 Mbps και εύρος μετάδοσης δεδομένων που κυμαίνεται από 8 έως 10 μέτρα. Το Bluetooth είναι ένα δίκτυο προσωπικής περιοχής χαμηλής ισχύος που εφαρμόζεται για κινητές επικοινωνίες μικρής εμβέλειας. Σύμφωνα με το άρθρο [12], άλλα πρωτόκολλα που επίσης χρησιμοποιούνται είναι τα ακόλουθα: Αρχικά, θα γίνει αναφορά σε κάποιες από τις **τεχνολογίες των Low-Power Wide Area Networks/LPWANs**: Τα **Sigfox** και τα **Long-Range Wide-Area Networks/LoRaWANs**, που αναφέρθηκαν και παραπάνω, αλλά και τα **Narrow-Band IoT/NB-IoT** και **Long-Term Evolution for Machines/LTE-M** που είναι κομμάτια του έργου Third Generation Partnership Project Long-Term Evolution/3GPP LTE και χρησιμοποιούνται για εφαρμογές Machine-to-Machine/M2M και IoT. Και αυτές οι δύο τελευταίες τεχνολογίες, παρ' όλο που μπορούν να προσφέρουν χαμηλή κατανάλωση

ενέργειας και υψηλό εύρος ζώνης, στηρίζονται πολύ σε δημόσια δίκτυα επικοινωνιών, και σε συνδυασμό της απαίτησης πληρωμής χρηματικού ποσού στο χειριστή των τηλεπικοινωνιών, η παράταξή τους σε αγροτικές περιοχές καθίσταται δύσκολη. Ωστόσο, προκειμένου να επιτευχθεί ασύρματη επικοινωνία, υπάρχει και η δυνατότητα χρήσης **τεχνολογιών που δε βασίζονται αποκλειστικά στο πρωτόκολλο Διαδικτύου**. Παραδείγματά τους είναι τα εξής: Το **ZigBee** που αναφέρθηκε παραπάνω, το **Bluetooth Low Energy/BLE** που είναι μία ενισχυμένη έκδοση του Bluetooth και όπως και το ZigBee απαιτεί χαμηλή κατανάλωση ισχύος. Συγκριτικά με το Bluetooth, μπορεί να καλύπτει 10 φορές μεγαλύτερο εύρος επικοινωνιών ή αλλιώς 100 μέτρα, μικρότερη ισχύ ραδιενέργειας και μικρότερο latency από εκείνο. Άλλα πλεονεκτήματα του BLE είναι η ευρεία χρήση του σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και σε επικοινωνίες Vehicle-to-Vehicle/V2V, ενώ μειονέκτημά του αποτελούν οι περιορισμοί χρήσης του σε υλοποιήσεις τοπολογιών αστέρα και πλέγματος. Το **EPCglobal** χρησιμοποιείται σε συσκευές εξαιρετικά υψηλής συχνότητας για αναγνώριση ραδιοσυχνοτήτων και τέλος, το **Z-Wave** χρησιμοποιείται για οικιακούς αυτοματισμούς.

Από την ανάλυση αυτή, διαπιστώνεται ότι υπάρχουν πολλά διαφορετικά πρωτόκολλα για διαφορετικές λειτουργίες στη γεωργία και κτηνοτροφία ακριβείας.

Στην επόμενη ενότητα γίνεται λόγος για τις εφαρμογές που έχει το Διαδίκτυο των Πραγμάτων στη γεωργία ακριβείας και στην κτηνοτροφία ακριβείας.

2.4 Εφαρμογές στη γεωργία ακριβείας και στην κτηνοτροφία ακριβείας

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων έχει εφαρμογές στη γεωργία ακριβείας και στην κτηνοτροφία ακριβείας. Παρακάτω παρατίθενται ενδεικτικά παραδείγματα που επιβεβαιώνουν αυτό τον ισχυρισμό.

Η **γεωργία ακριβείας** (precision farming) βοηθά στη βελτιστοποίηση και στην αυτοματοποίηση διαδικασιών για τους αγρότες με σκοπό να ενισχύσουν την παραγωγικότητα των σοδειών στα αγροκτήματά τους με τη δημιουργία έξυπνων συστημάτων. Οι υποκατηγορίες της γεωργίας ακριβείας αναλύονται στο άρθρο [2] και είναι οι εξής: **Η παρακολούθηση των κλιματικών συνθηκών**, η οποία επιτελείται κυρίως με τη χρήση μετεωρολογικών σταθμών που καταγράφουν δεδομένα από το περιβάλλον τους, τα οποία μετά αποστέλλουν σε cloud servers με σκοπό να χαρτογραφηθούν οι καιρικές συνθήκες και να εκτελεστούν ορθολογικές αποφάσεις από τους αγρότες για πιο αυξημένη παραγωγικότητα στα χωράφια τους. Μία άλλη υποκατηγορία της γεωργίας ακριβείας είναι **η παρακολούθηση των μοτίβων εδάφους (soil patterns)**, τα οποία ειδικότερα είναι η υγρασία του εδάφους, η ενυδάτωση του εδάφους, η γονιμοποίηση του εδάφους και η θερμοκρασία του εδάφους. Τελευταίο μοτίβο εδάφους που παρακολουθείται είναι η αναγνώριση του μολυσμένου εδάφους που αποτρέπει την υπερ-γονιμοποίηση και την απώλεια σοδειών για τους αγρότες. Επιπρόσθετη υποκατηγορία της γεωργίας ακριβείας είναι **η παρακολούθηση των παρασίτων και η ανίχνευση ασθενειών στις σοδειές** για να αποτραπούν σε πρώιμα στάδια και να επιτευχθούν τα μέγιστα δυνατά έσοδα για τους αγρότες από τη διάσωση των σοδειών τους. Κάτι τέτοιο πραγματοποιείται από κατάλληλες συσκευές ανίχνευσης των οποίων τα παραγόμενα δεδομένα καταγραφής αποστέλλονται σε έναν απομακρυσμένο server και αυτός

τα αποστέλλει μετά σε βάση δεδομένων για αποθήκευση. Αργότερα οι χρήστες ενός τέτοιου συστήματος είναι σε θέση να εφαρμόσουν μοντέλα εξόρυξης δεδομένων για την εξαγωγή πολύτιμων συμπερασμάτων. Συνεχίζοντας με τις υποκατηγορίες της γεωργίας ακριβείας, μία από αυτές είναι και **τα συστήματα παρακολούθησης άρδευσης**, όπου με την προγραμματισμένη άρδευση ανά τακτά χρονικά διαστήματα, οι αγρότες μπορούν να εξοικονομήσουν μεγάλες ποσότητες νερού. Μία ακόμη υποκατηγορία της γεωργίας ακριβείας είναι **ο καθορισμός της βέλτιστης ώρας για σπορά και για ξεχορτάρισμα** με τη χρήση εφαρμογών που ενσωματώνουν την υπολογιστική σε cloud, εφαρμογών τελικών χρηστών, ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων και μέσω της αναγνώρισης ραδιοσυχνοτήτων. **Η ιγνηλασιμότητα** είναι άλλη μία σημαντική εφαρμογή του Διαδικτύου των Πραγμάτων στην οποία οι τεχνολογίες του βοηθούν τις αγροτικές εταιρείες να παίρνουν ορθότερες αποφάσεις διαχείρισης των αγροκτημάτων τους και συνδεσιμότητας με συνεταιίρους τους, εξοικονομώντας με αυτόν τον τρόπο χρήματα και χρόνο. Μία από τις τελευταίες υποκατηγορίες της γεωργίας ακριβείας αφορά **τα ολοκληρωμένα συστήματα διαχείρισης αγροκτημάτων**, στα οποία τα δεδομένα συλλέγονται από εξαρτήματα ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων, GSM και μικροελεγκτών. Στα συγκεκριμένα συστήματα, τοποθετείται στους παρατεταγμένους εξοπλισμούς ένα αναγνωριστικό που παρέχει πληροφορίες γονιμοποίησης, καιρικών δεδομένων, αυτόματης παρακολούθησης πλάτους ζώνης ασφαλείας και αυτόματης εγγραφής λεπτομερειών από τις ημερήσιες δραστηριότητες των αγροκτημάτων. Όλες αυτές οι πληροφορίες μπορούν να αποθηκευτούν σε υπολογιστή και να προσπελούνται από κινητά τηλέφωνα ή από το Διαδίκτυο. Η τελευταία υποκατηγορία της γεωργίας ακριβείας σχετίζεται με **τα αγροτικά drones/Μη Επανδρωμένα Εναέρια Οχήματα (Unmanned Aerial Vehicles/UAVs)** που σχεδιάζονται ώστε να ελέγχονται απομακρυσμένα ή προγραμματίζονται ώστε να λειτουργούν αυτόνομα και επιτελούν εργασίες στα χωράφια, με παραδείγματα αυτών να είναι το ψέκασμα, το φύτεμα, η κατόπτευση των χωραφιών και η ανάλυση του εδάφους. Επιπρόσθετα, στα drones/UAVs ενσωματώνεται χαρτογράφηση **συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (Geographic Information Systems/GISs)** και συσκευές **παγκόσμιου συστήματος εντοπισμού θέσης (Global Positioning System/GPS)**, αλλά και συσκευές για την παρακολούθηση της υγείας των σοδειών, για το μέτρημα των φυτών, για το ύψος των φυτών, για τη χαρτογράφηση των αποχετεύσεων και άλλα.

Μία άλλη περιοχή στην οποία εφαρμόζεται το Διαδίκτυο των Πραγμάτων είναι **η παρακολούθηση των θερμοκηπίων**, τα οποία παρέχουν ένα ελεγχόμενο περιβάλλον για την ανάπτυξη των φυτών. Οι υποκατηγορίες της παρακολούθησης των θερμοκηπίων αναφέρονται στο άρθρο [2] και είναι οι εξής: **Η διαχείριση του νερού** για την αποτροπή υπερβολικής χρήσης του, η οποία στα θερμοκήπια επιτελείται με αυτόματη στάγδην άρδευση ελέγχοντας μία τιμή κατωφλίου που σχετίζεται με την υγρασία του εδάφους και οι αγρότες μπορούν να τη ρυθμίζουν κατάλληλα κάθε φορά για τις ανάγκες τους. Δεύτερη υποκατηγορία της παρακολούθησης των θερμοκηπίων είναι **η τακτική παρακολούθηση των φυτών** μέσω συσκευών και σε περιπτώσεις όπου ανιχνευθεί οποιοδήποτε μη φυσιολογικό περιστατικό, παράγουν συναγερμούς για τον εντοπισμό του. Εκτός όμως από συσκευές, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και IoT τεχνολογίες που είναι βασισμένες σε cloud και τα δεδομένα ανίχνευσης από τα προαναφερόμενα περιστατικά αποθηκεύονται και παρακολουθούνται από

τους αγρότες. Τελευταία υποκατηγορία της παρακολούθησης των θερμοκηπίων είναι η **παρακολούθηση του κλίματος** που περιλαμβάνει τη συντήρηση του εξαερισμού, της θερμοκρασίας και των επιπέδων οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα μέσα στα θερμοκήπια. Κάτι τέτοιο είναι δυνατό να επιτευχθεί με έξυπνες συσκευές που καταγράφουν και διαμοιράζουν δεδομένα για να είναι ικανοί οι αγρότες να παίρνουν ισχυρές αποφάσεις σχετικά με τα θερμοκήπιά τους.

Τρίτη περιοχή εφαρμογής των τεχνολογιών του Διαδικτύου των Πραγμάτων έγκειται στην **παρακολούθηση της κτηνοτροφίας**, με υποκατηγορίες αυτής να περιγράφονται στο άρθρο [2] και είναι οι εξής: **Η παρακολούθηση της θερμοκρασίας των ζώων**, κατά την οποία η οποιαδήποτε μεταβολή καθοδικά ή ανοδικά της φυσιολογικής θερμοκρασίας τους υποδηλώνει ότι τα ζώα πιθανώς να υποφέρουν από κάποια ασθένεια. Επίσης, **η παρακολούθηση της θερμικής καταπόνησης των ζώων**, η οποία φαίνεται πιο έντονα κατά την εποχή του καλοκαιριού, όπου η ποσότητα υγρών πέφτει στα ζώα και αυξάνεται η θερμική καταπόνηση σε αυτά, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει ακόμη και στο θάνατό τους. **Η αναγνώριση σωματικών κινήσεων των ζώων** είναι μία άλλη περιοχή παρακολούθησης στην οποία οι συμπεριφορές χειρονομιών των ζώων ταξινομούνται σε κινούμενες που είναι το περπάτημα, το τρέξιμο και η βοσκή και σε στατικές που είναι το κάθισμα, η ορθοστασία και ο ύπνος. **Ακόμα, ο μηρυκασμός** ανιχνεύεται μέσω συσκευών στη μύτη των ζώων για την παρακολούθηση των χωνευμένων τροφών από αυτά και **η μέτρηση του καρδιακού ρυθμού** μπορεί να μετρηθεί με IoT συσκευές και αισθητήρες. Τέλος, **η παρακολούθηση των αγροκτημάτων που είναι βασισμένη στο GPS** χρησιμοποιείται για να προσδιοριστεί κάποιο αγρόκτημα και αργότερα οι καταγεγραμμένες πληροφορίες μπορούν να αποσταλούν στον κεντρικό σταθμό παρακολούθησης μέσω ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων.

Στην επόμενη ενότητα περιγράφονται οι προκλήσεις που αντιμετωπίζει το Διαδίκτυο των Πραγμάτων στη γεωργία ακριβείας και στην κτηνοτροφία ακριβείας.

2.5 Προκλήσεις στη γεωργία ακριβείας και στην κτηνοτροφία ακριβείας

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων ως σύνολο τεχνολογιών έχει πολλές προκλήσεις και ειδικότερα στην καθιέρωση της γεωργίας και κτηνοτροφίας ακριβείας.

Σύμφωνα με το άρθρο [1], όσον αφορά τη γεωργία ακριβείας, **οι αγρότες με τη χρήση παραδοσιακών μεθόδων καλλιέργειας αποτρέπουν τη βελτιστοποίηση της κατανάλωσης χρόνου και χρημάτων**. Επίσης, **η εξάντληση του εδάφους με τους συνεχείς ανέμους και πλημμύρες προκαλεί την εναπόθεση ιζημάτων, ρύπων και νιτρικών και φωσφορικών αλάτων και συνεπακόλουθα ευτροφισμό**. **Ακόμα, το συνεχές φύτεμα ίδιων σοδειών επαναληπτικά αφαιρεί την ικανότητα από το χώμα να διατηρεί τις θρεπτικές ουσίες του**. Επιπρόσθετα, **η λειψυδρία που εμφανίζεται με τις μεταβολές του παγκόσμιου κλίματος, προκαλεί μείωση στην ύπαρξη υπόγειων νερών για να χρησιμοποιηθούν για άρδευση από τους αγρότες**. Ένα άλλο γεγονός που επίσης συνδέεται με την κλιματική αλλαγή και αποτελεί αιτία για την ύπαρξή της είναι και **η καταστροφή των τροπικών δασών**, η οποία έχει ως αποτέλεσμα τη **ραγδαία αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα και άλλων επικίνδυνων**

αερίων θερμοκηπίου. Άλλες προκλήσεις είναι ότι οι περισσότεροι αγρότες δεν έχουν την κατάλληλη εξειδίκευση για να μπορούν να αναγνωρίζουν τα είδη φυτών και δεν υπάρχουν πολλές κατάλληλες μέθοδοι για να εντοπίζουν ασθένειες σε πρώιμα στάδια.

Όσον αφορά και τη γεωργία και την κτηνοτροφία ακριβείας και σύμφωνα και πάλι με το άρθρο [1], **οι αυξημένες απαιτήσεις σε υλικό και λογισμικό των IoT συστημάτων, αλλά και οι οικονομικές διαφορές μεταξύ των χωρών του κόσμου, παραμένουν εμπόδιο στην παράταξή τους** και έτσι κρίνεται επιτακτική η θέσπιση ισχυρών οικονομικών μοντέλων για την ανάπτυξη συστημάτων με βελτιστοποίηση κόστους για όλους τους αγρότες. Άλλες προκλήσεις είναι **η έλλειψη τυποποιήσεων για τους IoT εξοπλισμούς, όπως και η ανομοιογένεια που προκαλείται με την ύπαρξη διαφορετικού είδους συσκευών στα IoT συστήματα, η οποία έχει το επακόλουθο της εμφάνισης μεγάλης πολυπλοκότητας στα εμπλεκόμενα δίκτυα και λανθασμένων αποτελεσμάτων, επειδή οι συσκευές πιθανώς να λειτουργούν ανεξάρτητα η μία από την άλλη. Θα πρέπει επίσης να καταπολεμηθεί η έλλειψη διαθεσιμότητας του υλικού, του λογισμικού και των υπηρεσιών για τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων** για να είναι δυνατή η αποσυμφόρηση των καθυστερήσεων. Επιπρόσθετα, παρατηρείται έλλειψη στην **ικανότητα προσαρμογής των συσκευών με άλλες συσκευές και με τον περιβάλλοντα χώρο τους** κατά το σχεδιασμό των μοντέλων για γεωργία και κτηνοτροφία ακριβείας. Μία διαφορετική, αλλά όχι λιγότερο σημαντική πρόκληση είναι και **η βελτιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης των συσκευών που μπορεί να επιτευχθεί με πηγές ενέργειας όπως είναι η αιολική ενέργεια, η ηλιακή ενέργεια και η ενέργεια από το νερό. Ακόμα, πρέπει να μελετηθεί η συμβατότητα των σχεδιασμένων μοντέλων, δηλαδή η ευελιξία που θα πρέπει να κατέχουν για να λειτουργούν σε οποιοδήποτε μηχάνημα, αλλά και η συγκέντρωση και μετάδοση αξιόπιστων δεδομένων από τους IoT εξοπλισμούς για την ορθότερη λήψη και εκτέλεση αποφάσεων. Άλλες προκλήσεις που θα πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπ' όψιν είναι η ανάγκη κατασκευής συσκευών και εφαρμογών για να είναι φορητές και διατήρησης συνδεσιμότητας μεταξύ τους, η επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών και η παράταξη συστημάτων ή μοντέλων σε πραγματικό χρόνο. Προκλήσεις έγκεινται όμως σύμφωνα με το άρθρο [2] και σχετικά με την απουσία εμπιστευτικότητας των ανταλλασσόμενων προσωπικών στοιχείων των αγροτών και των πληροφοριών που αφορούν τη γεωργία και κτηνοτροφία ακριβείας που θα πρέπει να είναι προσβάσιμες μόνο σε άτομα με ανάλογη εξουσιοδότηση, στη μη αλλοίωση των αποθηκευμένων και μεταδιδόμενων πληροφοριών, στην αυθεντικοποίηση των ομότιμων συσκευών, στη φρεσκάδα των ανταλλασσόμενων μηνυμάτων που περιέχουν δεδομένα και στη μη αποκρήρυξη, με την οποία απαγορεύεται η άρνηση αποστολής ενός ήδη απεσταλμένου μηνύματος από κάποιον κόμβο. Αξιοσημείωτες προκλήσεις είναι επιπρόσθετα και η παροχή εξουσιοδότησης στις συσκευές για να έχουν τη δυνατότητα πρόσβασης στο δίκτυο ή σε άλλους πόρους, η αυτο-θεραπεία, δηλαδή η παροχή ασφαλείας από άλλες συσκευές ενός συστήματος ή μοντέλου σε περίπτωση βλάβης κάποιας συγκεκριμένης συσκευής, αλλά και πιο ειδικές επιθέσεις, τέτοιες όπως είναι οι επιθέσεις στη βάση των διαταραχών σε πληροφορίες γεωργίας και κτηνοτροφίας ακριβείας, στις οποίες οι χάκερ μπορούν να τις επεξεργαστούν ή να τις χειραγωγήσουν με σκοπό να δημιουργήσουν ψευδείς πληροφορίες, οι επιθέσεις στη βάση των ιδιοτήτων των hosts, που κατηγοριοποιούνται σε 2 υποκατηγορίες: στην έκθεση**

του υλικού, όπου οι εισβολείς επιτίθενται στις συσκευές ή σε κλειδιά και τις επαναπρογραμματίζουν εισχωρώντας κακόβουλο κώδικα, και στην **έκθεση του λογισμικού**, όπου οι εισβολείς εκμεταλλεύονται ευπάθειες λογισμικού του λειτουργικού συστήματος και των εφαρμογών των συστημάτων ή πλατφορμών, όπως και **επιθέσεις στη βάση των ιδιοτήτων των δικτύων**, που κι αυτές αποτελούνται από 2 υποκατηγορίες: στην **έκθεση των τυπικών πρωτοκόλλων**, όπου οι εισβολείς παρεκκλίνουν από αυτά με σκοπό να προκαλέσουν απειλή στη διαθεσιμότητα των δικτύων και στην **έκθεση της στοίβας πρωτοκόλλων του δικτύου**, που περιλαμβάνει διαφορετικούς τύπους ευπαθειών. Τελευταίες προκλήσεις που μπορούν να αναφερθούν είναι η **υπερέκθεση του υλικού των παρατεταγμένων στα αγροκτήματα εξοπλισμών σε δριμείς περιβαλλοντικές συνθήκες** που μπορούν να προκαλέσουν **ζημιές στα ηλεκτρονικά εξαρτήματα, η δυσκολία μετάδοσης δεδομένων με ενσύρματα δίκτυα** εξαιτίας του υψηλού κόστους και των διαρκώς μεταβαλλόμενων καιρικών συνθηκών, επομένως θα πρέπει να στραφεί το ενδιαφέρον των αγροτών προς τις ασύρματες επικοινωνίες, **οι δυσκολίες στην κατασκευή επαρκώς πληροφορημένων IoT πλατφορμών** με την ενσωμάτωση διεπαφών προγραμματισμού εφαρμογών, βιβλιοθηκών και πλαισίων λογισμικού (frameworks), **οι παρεμβολές που προκαλούνται από τη χρήση ίδιου φάσματος από τις συσκευές**, όπως επίσης και **η επεκτασιμότητα των back-end βάσεων δεδομένων και των εφαρμογών δικτύων, ο υπολογισμός της χρήσης των διαθέσιμων πόρων**, με σκοπό να ενισχυθεί η βελτιστοποίησή τους και να μεγιστοποιηθεί η παραγωγικότητα, **η κατασκευή μίας καθολικής πλατφόρμας που δε θα υπόκειται σε γεωγραφικούς περιορισμούς και η εγγύηση της Ποιότητας Υπηρεσιών (Quality of Service/QoS)**.

Όλες οι προαναφερόμενες προκλήσεις έχουν μικρότερη ή μεγαλύτερη επίδραση στην εφαρμογή της γεωργίας και κτηνοτροφίας ακριβείας και ως εκ τούτου θα πρέπει να αντιμετωπιστούν με την αντίστοιχη σοβαρότητα και προσοχή από τους αγρότες.

Η επόμενη ενότητα αναλύει τις ειδικότερες επιθέσεις στον κυβερνοχώρο για την εισαγωγή του στη γεωργία ακριβείας και στην κτηνοτροφία ακριβείας.

2.6 Επιθέσεις στον κυβερνοχώρο στη γεωργία και κτηνοτροφία ακριβείας

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων εκτός από όλες τις προαναφερόμενες προκλήσεις, επιφέρει και κινδύνους στον κυβερνοχώρο για την ενσωμάτωσή του στη γεωργία και κτηνοτροφία ακριβείας, οι οποίοι αναλύονται στο άρθρο [14] και είναι επεξηγηματικά οι ακόλουθοι: **Επιθέσεις στα δεδομένα**, οι οποίες κατηγοριοποιούνται ως: α) **Διαρροή δεδομένων εκ των έσω**, όπου παραδείγματος χάριν κάποιοι δυσαρεστημένοι υπάλληλοι είναι πιθανό να διαρρεύσουν εμπιστευτικά δεδομένα για να προκαλέσουν ζημιά ή και για να αποκτήσουν χρήματα. β) **Διαρροή δεδομένων από cloud**, του οποίου τα κέντρα δεδομένων πιθανώς να κατανέμονται σε διαφορετικές χώρες και να τοποθετούνται μέσα σε αυτά εικονικά μηχανήματα, γεγονός που επιδρά αρνητικά στην ασφάλειά τους, επειδή οι κυβερνήσεις αυτών των χωρών ενδέχεται να μην επιβάλλουν τόσο αυστηρές απαιτήσεις ασφαλείας ή να συλλέγουν εμπιστευτικά δεδομένα από τους servers των επιχειρήσεων μέσα στα όρια δικαιοδοσίας τους. γ) **Επιθέσεις έγχυσης ψευδών δεδομένων**, στις οποίες οι εισβολείς

επιδιώκουν να νοθεύσουν δεδομένα που είναι χρήσιμα στους ιδιοκτήτες τους για αποφάσεις σε πραγματικό χρόνο. δ) **Επιθέσεις παραπληροφόρησης**, στις οποίες οι εισβολείς διαρρέουν ψευδή δεδομένα για κάποιο αγρόκτημα, όπως παραδείγματος χάριν για ξέσπασμα ασθένειας στις σοδειές ή στα ζώα του και η αναφορά αυτή ίσως να είναι αρκετά παρόμοια ή και ακριβώς ίδια με εκείνη που θα εξέδιδε το συγκεκριμένο αγρόκτημα αν συνέβαινε ένα τέτοιο περιστατικό στην πραγματικότητα. Έτσι, γίνεται αντιληπτό ότι η κατάρριψη μίας τέτοιας ψευδούς αναφοράς από εισβολείς θα αποτελούσε μία πολύ χρονοβόρα και κοστοβόρα διαδικασία.

Μία άλλη κατηγορία κυβερνο-επιθέσεων είναι οι **επιθέσεις στη δικτύωση και στους εξοπλισμούς** που και αυτές χωρίζονται σε υποκατηγορίες, οι οποίες περιγράφονται αναλυτικά στο άρθρο [14] και είναι οι εξής: α) **Επιθέσεις παρεμβολών σε ραδιοσυχνότητες**. Οι εξοπλισμοί που χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή του smart farming κάνουν συχνή χρήση των παγκόσμιων δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης (Global Navigation Satellite Systems/GNSSs) που συνδυάζουν το GPS με κινηματική σε πραγματικό χρόνο (Real-Time Kinematics/RTK) προκειμένου να εξασφαλίζουν μεγαλύτερη ακρίβεια στα δεδομένα τοποθεσιών σε πραγματικό χρόνο. Λαμβάνοντας το συγκεκριμένο γεγονός υπ' όψιν, οι εισβολείς μπορούν να παρατάξουν καταναμημένους παρεμβολείς (jammers) χαμηλής ισχύος με σκοπό να αποδιοργανώσουν τα GNSSs και κάτι τέτοιο θα είναι καταστροφικό για τη σωστή λειτουργία των εξοπλισμών που παρατάσσουν αντίστοιχα οι αγρότες στα αγροκτήματά τους. β) **Επιθέσεις έγχυσης κακόβουλου λογισμικού (malware)** που τις περισσότερες φορές διαδίδεται μέσα στα συστήματα και λειτουργεί αυτόματα. Είναι πολύ εύκολο να μεταδοθεί από το ένα έξυπνο αγρόκτημα σε ένα άλλο, καθώς αυτά χρησιμοποιούν παρόμοιες τεχνολογίες, επομένως το κακόβουλο λογισμικό μπορεί να προκαλέσει πολλές διαφορετικές ζημιές στους αγρότες, όπως είναι η υποκλοπή πληροφοριών που αφορούν κατανάλωση των γεωργικών και κτηνοτροφικών υλικών, πληροφοριών που αφορούν αγορές φρούτων και λαχανικών και πληροφοριών σχετικών με την κτηνοτροφία και με τα γεωργικά μηχανήματα. Τέλος, το κακόβουλο λογισμικό μπορεί να εμπεριέχεται σε κάποιο botnet που περιλαμβάνει έξυπνες συσκευές και, όπως και οι επιθέσεις παρεμβολών σε ραδιοσυχνότητες, έτσι και το malware μπορεί να εμποδίσει τη σωστή λειτουργία των εξοπλισμών, με καταστροφικές συνέπειες. γ) **Επιθέσεις άρνησης υπηρεσιών (Denial of Service/DoS)** που μπορούν όχι μόνο να εμποδίζουν τις κανονικές λειτουργίες εξαρτημάτων σε ένα αγρόκτημα, αλλά και να διακόπτουν νόμιμες κυβερνο-υπηρεσίες. δ) **Botnet**, το οποίο αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό συσκευών που συνδέονται μεταξύ τους και ελέγχονται από κάποιο κακόβουλο σύστημα, σχηματίζοντας το αποκαλούμενο Botnet των Πραγμάτων (Botnet of Things). Συνέπεια μίας τέτοιας κατάστασης είναι η παραγωγή ενός στρατού ζόμπι μολυσμένων IoT συσκευών που είναι ικανές να μολύνουν πολλά περισσότερα δίκτυα και έτσι το τρέχον έξυπνο αγρόκτημα είναι ικανό να μετατραπεί σε διαδίκτυο ευπαθειών που εκμεταλλεύονται και χρησιμοποιούν εγκληματίες στον κυβερνοχώρο. ε) **Επιθέσεις πλευρικού καναλιού** που αφορούν περισσότερο επιθέσεις στην απόκτηση πληροφοριών από τους τρόπους εφαρμογής ενός συστήματος παρά στην ταυτοποίηση των τύπων αδυναμιών κατά την εφαρμογή του. Σε αυτές τις επιθέσεις, οι εισβολείς μπορούν να εκμεταλλευτούν διαφορετικά κανάλια. Κάποια παραδείγματα τέτοιων επιθέσεων είναι οι επιθέσεις καναλιών χρονισμού, οι επιθέσεις σε

μοτίβα κατανάλωσης ενέργειας, οι επιθέσεις σε ηλεκτρομαγνητική διαρροή ή και οι επιθέσεις σε ηχητικά και ακουστικά συστήματα.

Άλλες κατηγορίες επιθέσεων στον κυβερνοχώρο σύμφωνα με το άρθρο [14] περιλαμβάνουν **επιθέσεις σε αλυσίδες εφοδιασμού, σε κανονισμούς συμμόρφωσης και λειτουργίας, τρομοκρατίας στον κυβερνοχώρο και επιθέσεις στην υπολογιστική σε cloud**. Στην κατηγορία επιθέσεων στην υπολογιστική σε cloud, τα μολυσμένα μηχανήματα μπορούν να μεταχειριστούν ως κομμάτια παγκόσμιων botnets τα οποία κατά συνέπεια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για επιθέσεις Κατανεμημένης Άρνησης Υπηρεσιών (Distributed Denial of Service/DDoS) μεγάλης κλίμακας για να εμποδίσουν τις κανονικές λειτουργίες του cloud. Μία επίθεση DDoS με υπερβολικό αριθμό αιτήσεων, πακέτων ή μηνυμάτων μπορεί να αρνηθεί την παροχή υπηρεσιών σε έξυπνα αγροκτήματα ή και να μπλοκάρει την κίνηση εικονικών μηχανημάτων που είναι στον ίδιο φυσικό server.

Συμπερασματικά, οι επιθέσεις στον κυβερνοχώρο κρίνονται ως επιθέσεις υψηλού και άμεσου κινδύνου, επομένως θα πρέπει να λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα ασφαλείας και αυτά να ενημερώνονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

Στο επόμενο κεφάλαιο αναλύονται οι προτεινόμενες τεχνολογίες και τα προβλήματα του Διαδικτύου των Πραγμάτων στη γεωργία ακριβείας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων έχει ήδη εισχωρήσει στον πρωτογενή τομέα σε πολλές εφαρμογές του. Παρακάτω πραγματοποιείται μία συγκριτική επισκόπηση της παράταξης των τεχνολογιών του για την επίλυση πραγματικών αναγκών στη γεωργία ακριβείας. Η γεωργία ακριβείας αναφέρεται στο σύνολο των τεχνολογιών που επιτρέπουν βέλτιστη διαχείριση των σοδειών των αγροκτημάτων, με σκοπό τη μέγιστη δυνατή παραγωγή και ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων και το ελάχιστο οικονομικό και περιβαλλοντικό κόστος για τους αγρότες.

Αμέσως μετά αναφέρονται οι πλατφόρμες λειτουργικών συστημάτων που έχουν κατασκευαστεί σε συνδυασμό με τεχνολογίες του Διαδικτύου των Πραγμάτων.

3.1 Πλατφόρμες λειτουργικών συστημάτων για τη γεωργία

Οι πλατφόρμες λειτουργικών συστημάτων που έχουν αναπτυχθεί για τη γεωργία και υλοποιούν το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, σύμφωνα με το άρθρο [1], είναι οι ακόλουθες: Στην **Contiki (2002)** οι συσκευές περιορίζονται σε μνήμη και ισχύ και χρησιμοποιούνται τα πρωτόκολλα IPv4 και IPv6, αλλά και ενσωματωμένη σουίτα πρωτοκόλλων που επικοινωνούν μέσω Διαδικτύου και βοηθούν στην πολυ-διεργασία (multitasking). Η **Android Things (2015)** είναι μία πλατφόρμα λειτουργικού συστήματος ανοιχτού κώδικα που χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο Weave και η οποία ρυθμίζεται μετά από το πέρας 6 εβδομάδων κάθε φορά και δεν έχει μεγαλύτερη κατανάλωση ισχύος, υποστηρίζοντας τα Bluetooth και Wi-Fi. Η **RIOT** είναι ανοιχτού κώδικα και κάνει χρήση των πρωτοκόλλων CoAP, Routing Protocol for Low power and Lossy networks/RPL, IPv6 και UDP. Αυτή η πλατφόρμα λειτουργικού συστήματος είναι ανεξάρτητη από το υλικό, εφαρμόζεται σε 8-bit, 16-bit και 32-bit επεξεργαστές και παρέχει ενεργειακή απόδοση. Η **TinyOS (2000)** είναι κλιμακούμενη πλατφόρμα και χρησιμοποιεί σαν πρωτόκολλο το Bluetooth, με δυνατότητα χειρισμού πολλών ασύρματων συσκευών κυρίως με χαμηλή ισχύ. Η **Apache Mynewt (2019)** χρησιμοποιεί τα πρωτόκολλα HTTP και Bluetooth και επιτυγχάνει ταυτόχρονα 32 συνδέσεις, αλλά και παρέχει υποστήριξη φορτωτή (loader) κονσόλας, φλοιού (shell) και εκκίνησης (boot), όπως και υποστήριξη προγραμματισμού βάσει προτεραιοτήτων, προληπτικού προγραμματισμού και κατανομής σωρού (heap) και πιασίνης μνήμης. Η **Zephyr (2016)** έχει μικρό πυρήνα (kernel), χρησιμοποιεί τα πρωτόκολλα IPv4, IPv6, Bluetooth, MQTT και Open Mobile Alliance Lightweight Machine-to-Machine/OMA LWM2M και παρέχει ευέλικτη λειτουργία και προσδιορισμό χρόνου μεταγλώττισης. Η **Raspbian (2012)** είναι πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα, ευέλικτη για επεξεργαστές της σειράς Raspberry Pi, παρέχει προ-εγκατεστημένο IoT λογισμικό για γενική και πειραματική χρήση και έχει παρόμοιο πυρήνα όπως των λειτουργικών συστημάτων UNIX. Η **Google Puchsia (2016)** είναι πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα, κάνει χρήση των πρωτοκόλλων

HTTP, MQTT και Bluetooth και περιλαμβάνει ένα κιτ ανάπτυξης λογισμικού (software development kit) που ονομάζεται Flutter. Η **Windows IoT (1999)** είναι πλατφόρμα κλειστού κώδικα, κάνει χρήση των πρωτοκόλλων MQTT, AMQP και Hyper-Text Transfer Protocol Secure/HTTPS, έχει υβριδικό πυρήνα και τρέχει σε ARM επεξεργαστή. Η **TizenRT (2013)** χρησιμοποιεί τα πρωτόκολλα IPv4, IPv6 και Bluetooth, έχει μονολιθικό πυρήνα, η υποδομή της προσφέρει βιωσιμότητα και είναι κατάλληλη για εφαρμογές κινητών συσκευών. Η **Snappy** διαθέτει στοίβα πρωτοκόλλων TCP/IP και πυρήνα του λειτουργικού συστήματος Ubuntu. Η συγκεκριμένη πλατφόρμα παρέχει ασφάλεια για τις IoT συσκευές και αυθεντικοποίηση βασισμένη σε κλειδί.

Έχουν κατασκευαστεί επομένως πολλές διαφορετικές πλατφόρμες που επιτελούν διαφορετικές λειτουργίες και εμπεριέχουν μία πληθώρα χαρακτηριστικών.

Παρακάτω περιγράφονται οι αισθητήρες που υλοποιούν τεχνολογίες του Διαδικτύου των Πραγμάτων για τη γεωργία ακριβείας.

3.2 Αισθητήρες για τη γεωργία

Εκτός από την κατασκευή πλατφορμών λειτουργικών συστημάτων για τη γεωργία, κρίσιμης σημασίας είναι και η κατασκευή αισθητήρων που πραγματοποιούν μία πληθώρα μετρήσεων. Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες σύμφωνα με τα άρθρα [1] και [2] είναι οι ακόλουθοι: α) Οι **αισθητήρες στάθμης** μετρούν τη σύσταση υγρών σε καλούπια και πραγματοποιούν μετρήσεις τέτοιες όπως εάν ένα συστατικό υπερβαίνει ή υπολείπεται ενός σημείου ανίχνευσης ή συνεχείς μετρήσεις που μετρούν τις ποσότητες των συστατικών του υγρού. Ειδικότερα στις καλλιέργειες, αυτοί οι αισθητήρες είναι οι **αισθητήρες στάθμης νερού (water level sensors)**, οι **αισθητήρες υγρασίας (humidity sensors)** και οι **αισθητήρες ενυδάτωσης (moisture sensors)**. Οι **αισθητήρες στάθμης σημείου (point level sensors)** χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο σε ξηρές περιοχές, ενώ οι **αισθητήρες συνεχούς στάθμης (continuous level sensors)** χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο σε ημι-άνυδρες περιοχές. β) Οι **αισθητήρες θερμοκρασίας** είναι οι εξής: **θερμίστορ, θερμοστοιχεία (thermocouples)**, **ανιχνευτές θερμοκρασίας αντίστασης** και **αισθητήρες ημιαγωγών**. γ) Οι **αισθητήρες εγγύτητας** χωρίζονται σε τέσσερις υποκατηγορίες, στους **επαγωγικούς**, στους **χωρητικούς**, στους **φωτοηλεκτρικούς** και στους **υπερηχητικούς** αισθητήρες εγγύτητας και ανιχνεύουν αντικείμενα χωρίς ανθρώπινη παρουσία. Αυτοί οι αισθητήρες εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική δέσμη και προσπαθούν να εντοπίσουν παραλλαγές στο εκπεμπόμενο σήμα. δ) Οι **αισθητήρες υπερύθρων** εκπέμπουν υπέρυθρες ακτίνες και χωρίζονται σε δύο υποκατηγορίες, στους **ενεργούς αισθητήρες υπερύθρων** και στους **παθητικούς αισθητήρες υπερύθρων**. Πιο συγκεκριμένα, οι ενεργοί αισθητήρες υπερύθρων έχουν δίοδο εκπομπής φωτός (LED) και ένα δέκτη και εκπέμπουν και ανιχνεύουν την υπέρυθρη ακτινοβολία. Αντίθετα, οι παθητικοί αισθητήρες υπερύθρων έχουν μόνο δίοδο εκπομπής φωτός (LED) και μπορούν αποκλειστικά να ανιχνεύουν την υπέρυθρη ακτινοβολία. Και οι δύο προαναφερόμενοι τύποι αισθητήρων υπερύθρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε καλλιέργειες για να εντοπίζουν τρωκτικά, να μετρούν την ποσότητα των φυτικών ειδών στα χωράφια και να καταγράφουν δορυφορικές

εικόνες από αυτά. ε) Οι **αισθητήρες αφής** χωρίζονται σε τέσσερις υποκατηγορίες, στους **ανθεκτικούς σε καλώδια αισθητήρες**, στους **χωρητικούς αισθητήρες επιφανείας**, στους **προβαλλόμενους (projected) χωρητικούς αισθητήρες** και στους **αισθητήρες ακουστικών κυμάτων επιφανείας**. Αυτοί οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται για να εντοπίζουν διάφορες εισβολές στα χωράφια. στ) Οι **αισθητήρες pH** χρησιμοποιούνται για να παρακολουθούν ποσότητες των θρεπτικών συστατικών στο έδαφος για άρδευση και για υγιή ανάπτυξη των σοδειών. ζ) Οι **αισθητήρες αερίων** υπολογίζουν ποσότητες των τοξικών αερίων στα αγροκτήματα. η) Οι **υπεριώδεις αισθητήρες** παρακολουθούν τις υπεριώδεις ακτίνες με τη μετατροπή του ρεύματος σε τάση και συνδυάζονται με μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό σήμα. θ) Οι **αισθητήρες ανίχνευσης κίνησης** εντοπίζουν κινήσεις για ανεπιθύμητα ζώα ή αντικείμενα, με σκοπό να αποτρέψουν με συναγερμό την κλοπή ζώων. ι) Οι **αισθητήρες υγρασίας εδάφους** μετρούν την υγρασία και το νερό στο έδαφος και περιλαμβάνουν δύο εκτεθειμένα τακάκια (pads) που λειτουργούν με ηλεκτρική αγωγιμότητα, υπονοώντας πως όταν η ποσότητα νερού στο έδαφος είναι κάτω από τα απαιτούμενα όρια, τότε υπάρχει χαμηλή τάση και προειδοποιώντας έτσι τους αγρότες για να πάρουν τα κατάλληλα μέτρα. κ) Οι **αισθητήρες υγρασίας αέρα** μετρούν την πραγματική θερμοκρασία του. λ) Οι **αισθητήρες βαρομετρικής πίεσης** μετρούν την ατμοσφαιρική πίεση του αέρα και όταν αυτή είναι χαμηλή, υπάρχει μικρότερη πιθανότητα βροχόπτωσης. Επιπρόσθετα, όταν η ατμοσφαιρική πίεση είναι μικρότερη από μία τιμή κατωφλίου, τότε διακόπτεται η παροχή νερού.

Σε γενικότερες γραμμές πάντως, έχουν υλοποιηθεί αισθητήρες για διαφορετικά πεδία εφαρμογών στη γεωργία, όπως περιγράφεται στο άρθρο [1]. Ανάλογα με αυτήν την κατηγοριοποίηση, υπάρχουν **αισθητήρες που σχετίζονται με το έδαφος των καλλιεργειών**, τέτοιοι όπως είναι οι: **pogo portable soil sensor, hydra probe II soil sensor, ECH2O EC-5, VH-400, EC-250, THERM200, tipping bucket rain gage, AquaTrak 5000 και WET-2, αισθητήρες που σχετίζονται με τον περιβάλλοντα χώρο των αγροκτημάτων**, τέτοιοι όπως είναι οι: **WXT520 compact weather station, CM-100 compact weather station, Met Station One weather station, All-In-One weather sensor, XFAM-115KPASR, RM Young, Met One Series 380 rain gauge, RG13/RG13H και Li-200 Pyranometer**, αλλά και **αισθητήρες σχετικά με τα φυτά**, τέτοιοι όπως είναι οι **leaf wetness sensor, 237-L leaf wetness sensor, LW100 leaf wetness sensor, SENSEH2TM hydrogen sensor, TPS-2 portable photosynthesis, CI-340 handheld photosynthesis και PTM-48A photosynthesis monitor**.

Μετά από την αναφορά όλων των προηγούμενων αισθητήρων, γίνεται κατανοητό ότι αυτοί παίζουν έναν πολύ σημαντικό ρόλο στη γεωργία.

Παρακάτω αναλύονται εφαρμογές για συσκευές που βοηθούν τους αγρότες σε ποικίλες δραστηριότητες για την απλοποίηση των αναγκών τους.

3.3 Εφαρμογές για τη γεωργία

Πέρα από τις πλατφόρμες λειτουργικών συστημάτων και τους αισθητήρες, υπάρχουν ήδη πολλές διαθέσιμες εφαρμογές για κινητές συσκευές και οι οποίες βοηθούν στην επιτήρηση

διαφορετικών παραμέτρων στη γεωργία. Παρακάτω πραγματοποιείται μία εκτενής ανάλυση των ποικίλων εφαρμογών για τη γεωργία από το άρθρο [2].

Η πρώτη κατηγορία εφαρμογών είναι οι **εφαρμογές που παρέχουν πληροφορίες για τη διαχείριση ζητημάτων σχετικών με τη γεωργία**: Η **Farm Manager** [2] ενημερώνει τους αγρότες σχετικά με την υλοποίηση των πιο χρήσιμων τεχνικών πριν το ξεκίνημα του φυτέματος και οργανώνει και επεξεργάζεται όλες τις δυνατές εξαγόμενες πληροφορίες από κάποιο χωράφι χωρίς τη χρήση κινητής συσκευής. Η **Agriapp** [2] υποστηρίζει τους αγρότες στην εξαγωγή ηλεκτρονικών χαρτών από τα χωράφια τους, στην παραγωγή αρχείων ιστορικού για τις αναπτυσσόμενες σοδειές σε αυτά και στην ιχνηλάτηση τοποθεσιών διαφόρων αντικειμένων. Η **Bayer TurafXpert** [2] παρακολουθεί ασθένειες και παράσιτα σε αγριόχορτα που βρίσκονται σε γλοστόπητα (turfgrass). Η **Irrigo-crops, agriculture irrigation and cost** [2] μετράει την απαραίτητη κάθε φορά ποσότητα νερού για άρδευση. Η **Viewpoint FieldView** [2] περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικές με την παρακολούθηση της βροχόπτωσης, την ανάλυση απόδοσης της παραγωγής, την υγεία των χωραφιών και πληροφορίες για τον καιρό. Η **OneSoil Scouting-Satellite Field Monitoring** [2] περιλαμβάνει ψηφιακά εργαλεία όπως είναι τα επίπεδα δεδομένων για το έδαφος, δεδομένα των συγκομιδών και εικονικοποίηση.

Η δεύτερη κατηγορία εφαρμογών είναι οι **εφαρμογές υπολογισμών** για τη γεωργία: Η **Blend Calculator** [2] προσδιορίζει το βάρος, τον όγκο και το κόστος των μειγμάτων για τα λιπάσματα. Η **Fertilizer removal by crop** [2] εκτελεί εκτιμήσεις για την αφαίρεση των θρεπτικών συστατικών των σοδειών. Η **Farm Calculators** [2] εκτελεί υπολογισμούς για τον πληθυσμό των φυτών, για παρασιτοκτόνα, για μυκητοκτόνα, για ζιζανιοκτόνα και για λιπάσματα. Η **Simple NPK Calculator** [2] χρησιμοποιείται για υπολογισμό των θρεπτικών συστατικών αζώτου, φωσφόρου, καλίου και θείου. Η **Corn N Rate Calculator** [2] συμβάλλει στην επιλογή κατάλληλης ποσότητας αζώτου στις σοδειές καλαμποκιού. Η **N Price Calculator** [2] κάνει μετατροπές στις τιμές των λιπασμάτων αζώτου. Η **Fertilizer Calculator n2f** [2] είναι μία εφαρμογή που υπολογίζει τιμές σε θρεπτικά συστατικά των λιπασμάτων. Η **Fertilizer Mixing Calculators** [2] παρέχει άμεση πρόσβαση σε στοιχεία σχετικά με τα λιπάσματα. Η **Blend Calculator** [2] μετράει ποσοστά ανάμειξης λιπασμάτων για την κατάλληλη παροχή φωσφορικού άλατος, θειικού άλατος, αζώτου και ποτάσας από τους αγρότες. Η **Fertilizer Cost Calculator** [2] πραγματοποιεί μετρήσεις κόστους ανά μονάδα φωσφόρου για να είναι ικανή να εκτιμήσει την ποσότητα αζώτου ανά μονάδα φωσφόρου. Η **Illinois Manure Calculator** [2] εξισορροπεί τις εφαρμογές της κοπριάς των ζώων και εκτελεί υπολογισμούς για θρεπτικά συστατικά.

Η τρίτη κατηγορία εφαρμογών είναι εκείνες που παρέχουν **πληροφόρηση στους αγρότες σχετικά με τα νέα και με τον καιρό**: Η **Crop Monitor** [2] επιτελεί θέαση μελετών σχετικών με το έδαφος για έρευνα στις σοδειές, κάνει αναγνώριση των παρασίτων και στέλνει αποτελέσματα από την απόδοση της παραγωγής άμεσα στο χρήστη της με ηλεκτρονικό ταχυδρομείο (e-mail). Η **AgWeb News & Markets** [2] προσφέρει πολλές λειτουργίες, όπως ενημέρωση σχετικά με τα πιο πρόσφατα νέα για την αγροτική επιχειρηματικότητα, ιστολόγια (blogs) για την αγροτική επιχειρηματικότητα, παροχή συμβουλών υποστήριξης και άλλα. Η **Farm Futures** [2] επίσης προσφέρει καθημερινή πληροφόρηση για την αγροτική επιχειρηματικότητα. Η **Agri Zone: All in oneagri app** [2] εμφανίζει νέα σχετικά με τον καιρό,

τις αγορές, συμβουλές για την οικονομία, ενημερώσεις τιμολόγησης και παράγει συναγερμούς για έντομα. Η **RealAg Markets** [2] είναι μία εφαρμογή που εμφανίζει τα πιο πρόσφατα άρθρα σχετιζόμενα με τη γεωργία που ανταποκρίνονται στα ενδιαφέροντα των αγροτών. Η **AgMobile** [2] περιλαμβάνει διαγράμματα σχετικά με τη γεωργία, την αγροτική επιχειρηματικότητα, αγορές εμπορευμάτων και μετεωρολογικά νέα. Η **Farm Journal Television** [2] είναι μία εφαρμογή που παρέχει πληροφόρηση σχετικά με τα AgriTalk, Machinery Pete TV, AgDay, Farm Report, Market Rally και άλλα. Η **Brownfield mobile 2.0** [2] προσφέρει πληροφορίες για τιμές των αγορών, για καιρικές συνθήκες και για τα πιο πρόσφατα νέα για τη γεωργία. Η **Argus Publications** [2], με την οποία οι αγρότες έχουν πρόσβαση σε τιμές των αγορών και σε διάφορες αναφορές. Η **Gavilon Grain** [2] παρέχει πολλές λειτουργίες, όπως ενημερώσεις για τον καιρό, τα πιο πρόσφατα νέα από τις αγορές, προσφορές μετρητών και άλλα. Η **Commodity Classic 2019** [2] παρέχει σχολιασμό των αγορών και αγροτικά νέα και συγκρίνει επιλογές διαχείρισης επιχειρηματικών ρίσκων για να βοηθήσει τους αγρότες να παίρνουν αποτελεσματικές αποφάσεις. Αυτοί μπορούν να πραγματοποιούν συναλλαγές σχετικές με εμπορία (marketing), να επεξεργάζονται τα εισαγόμενα στην εφαρμογή κόστη και να παρακολουθούν τα ετήσια έσοδά τους. Η **Farm Progress** [2] δείχνει πληροφορίες σχετικά με τις αγορές της κτηνοτροφίας και νέα για τον καιρό και για την τοπική γεωργία. Η **Farming Solution** [2] είναι μία εφαρμογή για επικοινωνία μεταξύ αγροτών, κτηματιών, αγροτικών επιχειρήσεων, διαφημιστών, ελεύθερων επαγγελματιών και δημοσίων φορέων. Άλλες εφαρμογές που επικεντρώνονται σε ειδήσεις για τη γεωργία και μετεωρολογικά νέα είναι η **CVA Coop** [2], η οποία παρέχει τη δυνατότητα στους αγρότες για προσφορές μετρητών σε πραγματικό χρόνο, επίδειξη μελλοντικών τιμών, ενημερώσεις για τον καιρό και τα πιο πρόσφατα νέα για τη γεωργία, όπως επίσης υπάρχει και η **FarmWeekNow** [2]. Η εφαρμογή **The Weather Channel** [2] δείχνει δελτία ειδήσεων σε τοπικό και διεθνές επίπεδο, χάρτες καιρού και τρέχουσες καιρικές συνθήκες. Η **AccuWeather** [2] παρέχει παρακολούθηση των χωραφιών ειδικότερα και των αγροκτημάτων γενικότερα με λεπτό-προς-λεπτό πρόβλεψη βροχόπτωσης. Η **Weather Underground** [2] περιλαμβάνει συναγερμούς για δριμείς καιρικές συνθήκες και χάρτες από δορυφόρους. Η **Weather by Weather-Bug Real Time Forecast & Alert** [2] παρακολουθεί τον καιρό σε πραγματικό χρόνο και με αυτόν τον τρόπο μπορεί να εκπέμπει γρήγορους ωριαίους συναγερμούς καιρού.

Η τέταρτη κατηγορία εφαρμογών είναι οι **εφαρμογές ανάμειξης δεξαμενών**: Η **Tank Mixing Ag app** [2] βοηθάει στον προσδιορισμό ενεργειών για προϊόντα φυλλώματος, για φυτοφάρμακα και για ανοσοενισχυτικά. Η **TankMix from DuPont** [2] μετράει τις ποσότητες νερού και άλλων προϊόντων για τον υπολογισμό του λόγου όγκος-προς-όγκο. Η **OnMRK** [2] υπολογίζει το ρυθμό και τον τύπο των λιπασμάτων, την ποσότητα των λιπασμάτων, τις μεθόδους εφαρμογής τους και τα στρέμματα. Η **Agronote Farming Expenses** [2] διατηρεί μητρώα παραγωγής από σοδειές, απόδοσης παραγωγής, φυτοφαρμάκων, ιστορικού των σοδειών και γεγονότων άρδευσης.

Η πέμπτη κατηγορία εφαρμογών είναι οι **εφαρμογές διατήρησης μητρώων**: Η **Pest Detector** [2] καταγράφει καίριες πληροφορίες για τις σοδειές και περιέχει εφαρμογές για τα φυτοφάρμακα. Η **AgDNA Prime** [2] είναι μία εφαρμογή που παρέχει στους αγρότες πολλές λειτουργίες, όπως χαρτογράφηση ορίων για αγροκτήματα, σχεδιασμούς για τις καλλιέργειες,

εργαλεία επικοινωνίας, διαμοιρασμό δεδομένων και άλλα. Η **Farm At Hand** [2] υποστηρίζει τους αγρότες με παρακολούθηση με ακρίβεια των δραστηριοτήτων των χωραφιών, διαχείριση των αγροκτημάτων, ενδείξεις λεπτομερειών για εξοπλισμούς και διατήρηση ημερολογίων.

Η έκτη κατηγορία εφαρμογών είναι οι **εφαρμογές δειγματοληψίας εδάφους**: Η **Soil Sampler** [2] ολοκληρώνει και εμφανίζει εργασίες δειγματοληψίας. Η **Ag PhD Soils** [2] παρέχει εναέριες εικόνες, δοκιμές εδάφους, ρυθμούς συνταγογράφησης και αρχεία από ελεγκτές. Η **SOILapp** [2] προσφέρει τη δυνατότητα πληροφορημένων δράσεων γονιμότητας και προσαρμογές σε θεραπείες. Η **Civil Tests Mini** [2] διατάσσει τις δοκιμές που πραγματοποιούνται στο έδαφος. Η **Soil Sampling with GPS** [2] υποστηρίζει τους αγρότες στη δυνατότητα υποβολής δειγμάτων χρώματος και φυτών.

Η έβδομη κατηγορία εφαρμογών αφορά **εφαρμογές που στρέφονται στη γεωργία ακριβείας**: Η **Explorer for ArcGIS** [2] βοηθάει στην αναζήτηση χρήσιμων πληροφοριών σε χάρτες και στο διαμοιρασμό τους μεταξύ των αγροτών. Στην **Field NET Mobile from Lindsay** [2] μπορούν να παρακολουθηθούν και να ελεγχθούν άξονες άρδευσης, αλλά και να εμφανίζονται αναφορές χρησιμοποίησης νερού. Στην **Manna Irrigation Intelligence** [2] παρακολουθείται η δραστηριότητα άρδευσης από κινητά τηλέφωνα. Η **SoilInfo app** [2] παρουσιάζει μία γραφική περίληψη του τύπου του εδάφους σύμφωνα με την τρέχουσα περιοχή στην οποία βρίσκεται ο αγρότης. Η **Farm Progress Growing Degree Days** [2] βλέπει παρελθοντικά στοιχεία ωρίμανσης και την τρέχουσα κατάσταση των σοδειών και έτσι υπολογίζει την ωριμότητά τους. Η **From The Field from Pioneer** [2] εμφανίζει στους αγρότες τις πιο πρόσφατες πληροφορίες για τη γεωργία και εκπέμπει αντίστοιχους συναγερμούς. Η **Seeds Planting** [2] συμβουλεύει τους αγρότες για να επιλέξουν τις κατάλληλες ποικιλίες σπόρων για τον αντίστοιχο τύπο εδάφους. Η **Ag PhD Soybean Diseases** [2] διαθέτει επιλογές διαχείρισης εντόμων, παρασίτων και ασθενειών.

Η όγδοη κατηγορία εφαρμογών αφορά **εφαρμογές για εργασίες σε συγκεκριμένες περιοχές**: Η **Field navigator** [2], όπου οι αγρότες μπορούν να μαρκάρουν ακριβείς θέσεις και να μετρήσουν την περίμετρο και το εμβαδόν κυκλικών περιοχών και χωραφιών. Η **GPS Fields Area Measure** [2] παρέχει πληροφορίες μετρήσεων για υπολογισμό περιμέτρων, εμβαδών, αποστάσεων και εύκολους σε διαμοιρασμό χάρτες. Η **Planmeter-GPS Area Measure|Land Survey on Map** [2] δίνει τη δυνατότητα για μαρκαρίσματα σε ακριβείς θέσεις, για μετρήσεις χωραφιών και για κυκλικές περιοχές.

Η τελευταία κατηγορία εφαρμογών είναι εκείνες για **τιμολόγηση εμπορευμάτων**: Η **Farm Futures** [2] που αναφέρθηκε και παραπάνω παρέχει όλες τις τελευταίες πληροφορίες σχετικά με τον καιρό, με τα νέα και προσφορές μετρητών. Η **FarmPartner** [2] είναι μία εφαρμογή για την εισαγωγή μεγάλου αριθμού μεταβλητών για αγροτικές δραστηριότητες και η **Crop prices** [2] περιέχει λειτουργίες, όπως ένα φύλλο λεπτομερειών για υψηλές, χαμηλές, τελευταίες και καθαρές αλλαγές σε τιμές και με πολλές άλλες επιλογές.

Οι εφαρμογές που περιγράφηκαν παραπάνω είναι πολύ σημαντικές και ειδικότερα στο πεδίο της γεωργίας ακριβείας, όπου πρέπει να λαμβάνονται κρίσιμες αποφάσεις.

Στην επόμενη ενότητα γίνεται αναφορά στα κατασκευασμένα προϊόντα για τη διευκόλυνση των αγροτών.

3.4 Ολοκληρωμένες λύσεις

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, εκτός από τις προαναφερόμενες εφαρμογές, έχει εισχωρήσει και σε πραγματικά προϊόντα που βοηθούν στις ανάγκες των αγροτών. Ενδεικτικά είναι τα ακόλουθα από το άρθρο [2]: Το **3D Crop Sensor Array with PAR Addon** μπορεί να παρακολουθεί τα επίπεδα θερμοκρασίας, υγρασίας και διοξειδίου του άνθρακα στα αγροκτήματα. Το **EC-1 Controller** παρακολουθεί τις συνθήκες του περιβάλλοντος στο οποίο παρατάσσεται και με την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση συσκευών, αυτές στη συνέχεια ελέγχουν διάφορες παραμέτρους του περιβάλλοντος. Το **Arable Mark** παρακολουθεί τα καιρικά δεδομένα και παίρνει πληροφορημένες αποφάσεις στο χέρι του χρήστη του. Το **Growlink One Controller** έχει την υψηλότερη επεξεργαστική ισχύ και έχει την ικανότητα να δουλεύει μαζί με άλλες συσκευές στα αγροκτήματα. Οι χρήστες αυτού του προϊόντος μπορούν να προσθέσουν και έναν μικροελεγκτή με τη χρήση IP δικτύων. Το **GreenIQ** ελέγχει την άρδευση στα χωράφια και οι αγρότες μπορούν να εξοικονομήσουν ως και τη μισή τιμή στους λογαριασμούς νερού. Το **Climate Monitoring**, με το οποίο οι αγρότες έχουν την ικανότητα να παρακολουθούν τη θερμοκρασία του αέρα σε πραγματικό χρόνο, την υγρασία στον αέρα και την ηλιακή ακτινοβολία. Το συγκεκριμένο προϊόν χρησιμοποιεί Bluetooth και έχει απόσταση μετάδοσης μέχρι 200 μέτρα, αλλά και αποθηκεύει μετρήσεις μέχρι 30 ημέρες πριν. Το **MeteoHelix Weather Station** μετράει τη θερμοκρασία, την υγρασία, την ατμοσφαιρική πίεση, τα σημεία δρόσου (dew) και την ηλιακή ακτινοβολία. Το **Leaf Wetness Sensor** μετράει την υγρότητα των φύλλων μέσω ηλεκτρικής αντίστασης. Το **Swip Track Micro** ανιχνεύει κάθε είδους κινούμενο αντικείμενο στα χωράφια. Το **Waspote Plug & Sense! Smart Agriculture Xtreme** μετράει παραμέτρους του αέρα και της βροχόπτωσης με οπτική τεχνολογία, όπως επίσης και τις ποσότητες οξυγόνου και περιεκτικότητας νερού. Το **SKY-LoRa Weather Station** στέλνει δεδομένα καιρού σε έναν κεντρικό αισθητήρα ως και 600 μέτρα μακριά μέσω Wi-Fi. Το **Pulse IoT Automation Sensor** θα μπορεί στο μέλλον να θέτει σε κίνηση διαφορετικές συσκευές και αυτές θα μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους. Το **CropX StarterKit – Soil Temperature 24/7 Sensor** είναι ένας αισθητήρας για την παρακολούθηση της θερμοκρασίας του εδάφους σε πραγματικό χρόνο.

Τα προϊόντα που έχουν κατασκευαστεί για τη γεωργία είναι λειτουργικά και ιδιαίτερα χρήσιμα για την υλοποίηση της γεωργίας ακριβείας.

Παρακάτω αναφέρονται μελέτες που στοχεύουν στην ανίχνευση ασθενειών στις σοδειές των αγροκτημάτων και την έγκαιρη καταπολέμησή τους.

3.5 Ανίχνευση ασθενειών στις σοδειές

Οι τεχνολογίες του Διαδικτύου των Πραγμάτων έχουν εφαρμογή και στην ανίχνευση ασθενειών στα χωράφια, η οποία επηρεάζει την ποιότητα των προϊόντων και συνεπακόλουθα την ανθρώπινη υγεία όταν γίνεται η κατανάλωσή τους. Παρακάτω περιγράφεται μία μελέτη από το άρθρο [3] όπου μπορούν να ανιχνευθούν έγκαιρα οι ασθένειες των σοδειών. Το τρέχον σύστημα αποτελείται από τα ακόλουθα συστατικά στοιχεία: αρχικά, χρησιμοποιούνται βιντεοκάμερες προκειμένου να καταγράφονται δεδομένα μέσω της παρακολούθησης των σοδειών. Έπειτα, τα δεδομένα από τα βίντεο αποστέλλονται σε έναν αποκρυπτογραφητή, ο

οποίος τα αποκρυπτογραφεί και σχηματίζει από αυτά την εικόνα των σοδειών που εξάγει προς ένα μοντέλο βαθιάς μάθησης. Σε αυτό το μοντέλο, υπολογίζεται το πόσο υγιείς είναι οι σοδειές και μετά τα αντίστοιχα αποτελέσματα αποστέλλονται σε ένα κέντρο μηνυμάτων. Εκεί, τα αποτελέσματα από την αξιολόγηση της κατάστασης υγείας των σοδειών μετατρέπονται σε ουρά μηνυμάτων και αποστέλλονται στον επεξεργαστή του συστήματος. Στο τέλος, ο επεξεργαστής υποβάλλει τα δεδομένα σε επεξεργασία και αποστέλλει με μορφή ειδοποιήσεων τα πιο χρήσιμα από αυτά σε κατάλληλες εφαρμογές. Κατά την επεξεργασία τους, τα δεδομένα υφίστανται ενίσχυση και κανονικοποίηση και πιο συγκεκριμένα ανατίθενται σε κατηγορίες που αναφέρονται στα διαφορετικά είδη των σοδειών, στις ασθένειες των σοδειών και στην κατάσταση υγείας των σοδειών, η καθεμία από τις οποίες περιέχει στο τέλος ίσο αριθμό εικόνων με ίδιο μέγεθος σε pixels και αφαίρεση του θορύβου. Ένα διαφορετικό στάδιο που επιτελείται στο συγκεκριμένο μοντέλο είναι η εκπαίδευσή του μέσω του διαχωρισμού των δεδομένων στο σύνολο εκπαίδευσης, στο σύνολο επικύρωσης και στο σύνολο δοκιμών. Στη συνέχεια, το προτεινόμενο μοντέλο τίθεται σε συντονισμό, κατά τη διάρκεια του οποίου επιλέγεται ο αρχικοποιητής που θα χρησιμοποιηθεί για να δημιουργήσει αρχικές τιμές για την εκπαίδευση του υπολειμματικού νευρωνικού δικτύου που συνεργάζεται με το μοντέλο, όπως επίσης και ο βελτιστοποιητής που ρυθμίζει διάφορες παραμέτρους του υπολειμματικού νευρωνικού δικτύου για να συμφωνεί η είσοδος των νευρωνικών κόμβων με την έξοδό τους. Στο τέλος, επιλέχθηκε ο αρχικοποιητής `glorot_normal` που έχει μεγάλα ποσοστά ευστοχίας στην εκπαίδευση (90.92%), στην επικύρωση (87.31%) και στις δοκιμές (84.07%) και ο βελτιστοποιητής Adam με παρόμοια πλεονεκτήματα (ρυθμός μάθησης 0.0001, ευστοχία εκπαίδευσης 96.44%, ευστοχία επικύρωσης 90.72% και ευστοχία δοκιμών 84.16%). Με στόχο οι ασθένειες των σοδειών να μπορούν να αναγνωριστούν, χρησιμοποιείται το νευρωνικό δίκτυο Multidimensional Feature Compensation Residual Neural Network/MDFC-ResNet, το οποίο αποτελείται από τρία επίπεδα που επιτελούν αναγνώριση του είδους της σοδειάς από τις εικόνες, αναγνώριση των ασθενειών και επίτευξη μεγάλης ακρίβειας στα παραγόμενα αποτελέσματα.

Το MDFC-ResNet [3] συγκρίνεται με μεθόδους ταυτοποίησης ασθενειών σε σοδειές, όπως είναι οι AlexNet [3], VGG-19 [3] και ResNet-50 [3]. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν, έδειξαν ότι το προτεινόμενο σε αυτήν την ανάλυση μοντέλο ήταν το πιο εύστοχο από όλα τα υπόλοιπα για την εκπαίδευση της ταυτοποίησης ασθενειών, για την επίτευξη επικύρωσης και για ευστοχία σε δοκιμές. Ειδικότερα, το MDFC-ResNet πέτυχε μεγαλύτερη ευστοχία του συνόλου δεδομένων κατά 1.1%, 8.4% και 5.31% συγκριτικά με τις τρεις προαναφερόμενες μεθόδους αντίστοιχα, μεγαλύτερη ευστοχία του συνόλου επικύρωσης κατά 0.08%, 4.12% και 3.04% αντίστοιχα και μεγαλύτερη ευστοχία του συνόλου δοκιμών κατά 5.03%, 2.12% και 3.18% αντίστοιχα.

Ανοιχτές προκλήσεις που μπορούν να επιλυθούν με μεγαλύτερη ακρίβεια στο μέλλον είναι η διερεύνηση των λόγων για τους οποίους η αναγνώριση των ασθενειών των σοδειών αποτυγχάνει σε αρκετές περιπτώσεις, η αύξηση των τύπων των αισθητήρων για τη βελτίωση αυτού του σκοπού και η εγκαθίδρυση θεραπειών για τις σοδειές ακολουθώντας τις καλύτερες κάθε φορά πρακτικές.

Μία άλλη μελέτη που περιγράφεται στο άρθρο [16] και θα αναλυθεί παρακάτω αφορά την ανίχνευση παρασίτων του είδους *Tessaratoma rappilloso* σε μία περιοχή της Ταιβάν στις σοδειές για την αποτροπή ασθενειών με τη χρήση τεχνητής νοημοσύνης (Artificial Intelligence/AI). Σε αυτήν, αρχικά χρησιμοποιείται ένα drone, αισθητήρες που καταγράφουν περιβαλλοντικά δεδομένα σχετικά με τη θερμοκρασία, την υγρασία, το φως, την υγρασία του εδάφους, την ατμοσφαιρική πίεση και το υψόμετρο και μία εφαρμογή για κινητές συσκευές που αποθηκεύει μητρώα από τα δεδομένα των αισθητήρων και λαμβάνει εικόνες από τα παράσιτα και στη συνέχεια, οι αισθητήρες και η εφαρμογή τις επεξεργάζονται και τις στέλνουν σε μία βάση δεδομένων που είναι εγκατεστημένη σε cloud server. Η συγκεκριμένη εφαρμογή μπορεί επίσης να κάνει ενημέρωση στα δεδομένα που λαμβάνονται από το περιβάλλον και αυτή χωρίζεται σε δύο μέρη, στην προβολή και περιήγηση της βάσης δεδομένων και στον προγραμματισμό πτήσεων για ψέκασμα για το drone. Στις εικόνες εφαρμόζεται προεπεξεργασία, κατά την οποία πραγματοποιείται ενίσχυση των χρωματικών χαρακτηριστικών των εικόνων, η οποία ακολουθείται από την ανίχνευση των αποκαλούμενων ακμών Sobel. Στην τελευταία αυτή διαδικασία, εφαρμόζεται ο κατακόρυφος ανιχνευτής ακμών Sobel για να αυξήσει την απόδοση των κατακόρυφων ακμών των εικόνων και μετά εφαρμόζεται ο οριζόντιος ανιχνευτής ακμών Sobel για να αυξήσει την απόδοση των οριζόντιων ακμών των εικόνων. Με αυτόν τον τρόπο οι δύο εικόνες που δημιουργούνται για καθεμία αρχική εικόνα της βάσης δεδομένων συγχωνεύονται και λαμβάνεται μία νέα εικόνα με ανιχνευμένες ακμές. Αργότερα, ακολουθεί η φάση της επεξεργασίας των εικόνων σε κλίμακα γκρι χρώματος και οι εικόνες διαχωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες, οι οποίες συγκεκριμένα είναι: λευκό χρώμα, γκρι-λευκό χρώμα, φωτεινό γκρι χρώμα, γκρι χρώμα, σκούρο γκρι χρώμα, φωτεινό μαύρο χρώμα και μαύρο χρώμα. Μετά από αυτήν τη φάση, ακολουθεί η ενίσχυση των εικόνων με τη χρήση της βιβλιοθήκης *Imgaug* για τη γλώσσα προγραμματισμού *Python* και μηχανικής μάθησης και τα δεδομένα που παράγονται αυτόματα από την προαναφερόμενη κατηγοριοποίηση των χρωμάτων των εικόνων, χρησιμοποιούνται για την αύξηση της δυνατότητας ανίχνευσης παρασίτων για το μοντέλο βαθιάς μάθησης *YOLOv3*. Για την προεπεξεργασία των δεδομένων, υλοποιείται και η αύξηση των εικόνων, μέσω της κανονικοποίησης, της αναστροφής αριστερά-δεξιά, του ακονίσματος ακμών, της ρύθμισης της αντίθεσης γάμμα, της προσθήκης γκαουσιανού θορύβου και της γκαουσιανής θαμπάδας. Στο τέλος, το πλέον εκπαιδευμένο με όλες τις προαναφερόμενες διαδικασίες μοντέλο που έχει τη μορφή ενός συνελκτικού νευρωνικού δικτύου απέκτησε ποσοστό ευστοχίας αναγνώρισης παρασίτων 84% και ποσοστό ταξινόμησης παρασίτων 86%. Το παραδοσιακό συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο που χρησιμοποιείται στη συγκεκριμένη μελέτη, επιτυγχάνει την αναγνώριση εικόνων μέσω του διαμοιρασμού του πυρήνα συνέλιξης σε όλα τα διαφορετικά σημεία των εικόνων. Με τις καταγεγραμμένες εικόνες των παρασίτων και την επακόλουθη διαπίστωση των ζημιών που έχουν υποστεί οι σοδειές από αυτά, το drone μπορεί να εκτελεί ψέκασμα με μεγάλη ακρίβεια.

Με τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν, λήφθηκαν αποτελέσματα από 10 διαφορετικές γωνιακές εικόνες και διαπιστώθηκε ότι όταν υπήρχε ανομοιομορφία στα 849 δείγματα (δηλαδή υπήρχαν περισσότερες εικόνες στο πίσω μέρος των παρασίτων και λιγότερες στα υπόλοιπα μέρη τους) για την εκπαίδευση του μοντέλου *YOLOv3*, η ευστοχία αναγνώρισης

παρασίτων ήταν 73%, ενώ σε συνολικά 10920 δείγματα κατά μέσο όρο που εφαρμόστηκαν για την εκπαίδευση του YOLOv3, η ευστοχία αναγνώρισης παρασίτων έφτασε στο 92%.

Μία τελευταία μελέτη που έχει πραγματοποιηθεί και θα περιγραφεί αμέσως μετά αφορά την παρακολούθηση των σοδειών με σιτάρι στο National Agriculture Research Center στο Ισλαμαμπάντ του Πακιστάν [4]. Οι αισθητήρες που επιλέχθηκαν στη συγκεκριμένη μελέτη περιλαμβάνουν έναν αισθητήρα θερμοκρασίας και υγρασίας, έναν αισθητήρα θερμοκρασίας εδάφους και έναν αισθητήρα υγρασίας εδάφους. Όσον αφορά την επίτευξη επικοινωνιών, εδώ χρησιμοποιείται η τεχνολογία LoRa. Άλλα συστατικά στοιχεία που επίσης χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση δεδομένων είναι η τοπολογία αστέρα με 8 κόμβους-σκλάβους και 1 κύριο κόμβο. Η αποστολή των παραγόμενων δεδομένων επιτυγχάνεται με την τεχνολογία LoRa από τους κόμβους-σκλάβους προς τον κύριο κόμβο και με την τεχνολογία GSM από τον κύριο κόμβο προς τη δικτυακή πύλη. Η τοπολογία αστέρα έχει μικρό κόστος, αλλά έχει και το μειονέκτημα του μοναδικού σημείου αποτυχίας για τη μετάδοση δεδομένων από τον κύριο κόμβο. Για να αποφευχθούν επομένως περιστατικά βλαβών επικοινωνίας, στον κύριο κόμβο εγκαθίσταται και μία κάρτα SD που είναι ικανή να διατηρεί ημερήσια δεδομένα. Προκειμένου αυτά τα εξαρτήματα να λειτουργούν σε πραγματικές συνθήκες, εφαρμόζεται στους κόμβους-σκλάβους παροχή ισχύος 10W από ένα ηλιακό panel και μπαταρία 4Ah, ενώ στον κύριο κόμβο εφαρμόζεται παροχή ισχύος 40W από το ηλιακό panel και μπαταρία 5Ah. Σχετικά με την παράταξη και χρήση αυτών των κόμβων στο χωράφι με το σιτάρι, αυτό μετατρέπεται σε έναν πίνακα 3*3 με 9 κελιά που έχουν εμβαδόν 0.15 στρεμμάτων και μέσα στο οποίο υπάρχει ένας κόμβος. Όσον αφορά τα ίδια τα δεδομένα, αυτά προέρχονταν και από τους κόμβους, αλλά και από drone. Ειδικότερα, αφού οι κόμβοι κατέγραφαν δεδομένα, μετέπειτα αυτά αποστέλλονταν στον τοπικό server ανά πέντε λεπτά και οι εικόνες που κατέγραφε το drone λαμβάνονταν κάθε εβδομάδα. Τα δεδομένα από τους κόμβους και από το drone υπέστησαν προ-επεξεργασία και οι πολυφασματικές εικόνες που λαμβάνονταν σε μία πτήση του drone ήταν 25 με 30 με επικάλυψη 70% στο περιεχόμενό τους κατά μέσο όρο, η οποία χρησιμοποιήθηκε για να ενώσει όλες τις εικόνες μαζί για να δημιουργηθεί η πλήρης εικόνα του χωραφιού. Αργότερα, υπολογίστηκαν οι τιμές του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης διαφοράς (Normalized Difference Vegetation Index/NDVI) από τις προσκολλημένες μεταξύ τους εικόνες για να βρεθεί πόση χλωροφύλλη υπήρχε στις σοδειές. Η συγκεκριμένη μελέτη που πραγματοποιήθηκε έδειξε ότι, κατά τις πρώιμες φάσεις ανάπτυξης των σοδειών, η τιμή του NDVI ήταν μικρότερη από την αντίστοιχη τιμή της κατά την ωριμασμένη φάση της επιμήκυνσης στελέχους (stem elongation), όπως και κατά τη φάση της ωρίμανσης σιτηρών (grain ripening), στην οποία οι σοδειές σιταριού χάνουν τη χλωροφύλλη τους. Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, τα δεδομένα που κατέγραφαν οι κόμβοι αποθηκεύονταν κάθε 5 λεπτά και οι εικόνες που συνέλλεγε το drone καταγράφονταν κάθε εβδομάδα. Ακόμα, τα δεδομένα των κόμβων εξάγονταν με μέσες τιμές ανά εβδομάδα και υπέστησαν χαρτογράφηση σύμφωνα με τη χρονική ανάλυση των πολυφασματικών δεδομένων του απεικονιστή. Μόλις πετύχαιναν ίδια χρονική ανάλυση, τα δεδομένα των κόμβων και του drone υπέστησαν χαρτογράφηση και στην ίδια χωρική ανάλυση. Μετά, οι NDVI τιμές που υπολογίστηκαν νωρίτερα για τα κελιά του σχηματισμένου 3*3 πίνακα του χωραφιού, μετατράπηκαν σε διάνυσμα με δείκτες που υποδηλώνουν την NDVI τιμή των εικονοστοιχείων (pixels) του

καθενός κελιού. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για τη χαρτογράφηση των δεδομένων των IoT κόμβων. Μετά από την εκτέλεση των συγκεκριμένων ενεργειών για όλα τα κελιά του 3*3 πίνακα του χωραφιού με το σιτάρι, δημιουργήθηκε ένας πίνακας [X] που περιλαμβάνει το πλήθος των εγγραφών και το πλήθος των δεδομένων από τους αισθητήρες, των NDVI τιμών και των δεδομένων κατά τη φάση ανάπτυξης των σοδειών. Όλες αυτές οι πληροφορίες ετοιμάστηκαν για καθεμία σοδειά και έπειτα επιτελέστηκε ταξινόμηση της κατάστασης υγείας τους. Κατά την ταξινόμηση αυτή, δημιουργήθηκαν οι τάξεις Unhealthy, Stressed και Healthy όπως και ένας νέος πίνακας [Y] που περιλαμβάνει το πλήθος των εγγραφών και το πλήθος των κλάσεων. Στο τέλος των δοκιμών, ο πίνακας [X] είχε 570408 εγγραφές και 6 συνολικά χαρακτηριστικά. Από όλα αυτά τα δεδομένα που προέκυψαν, τα 2/3 (382173 εγγραφές) εφαρμόστηκαν για την εκπαίδευση του συγκεκριμένου συστήματος και το υπολειπόμενο 1/3 των δεδομένων εφαρμόστηκε για δοκιμές (188235 εγγραφές). Σχετικά με την εκπαίδευση του συστήματος, οι κλάσεις Unhealthy, Stressed και Healthy περιείχαν 36904, 137887 και 207282 εγγραφές αντίστοιχα, ενώ σχετικά με τις δοκιμές, οι τρεις αυτές κλάσεις περιείχαν 18379, 68336 και 101520 εγγραφές αντίστοιχα. Επιπλέον, εκπαιδεύτηκε και ένα νευρωνικό δίκτυο με μοντέλα ρηχής και βαθιάς μάθησης.

Για να δειχθεί η αποτελεσματικότητα ενός τέτοιου συστήματος, χρησιμοποιήθηκαν 9 μοντέλα, τα Naive Bayes/NB, το Support Vector Machine/SVM, και τα μοντέλα νευρωνικών δικτύων M1, M2, M3, M4, M5, M6 και M7. Το μοντέλο M1 είχε τη μικρότερη απόδοση (62%) επειδή δεν είχε κανένα κρυμμένο επίπεδο, ενώ τα μοντέλα M2 και M3 είχαν ένα κρυμμένο επίπεδο με 64 κόμβους και 128 κόμβους αντίστοιχα. Και τα τρία αυτά μοντέλα επομένως ήταν ανίκανα να μάθουν σχέσεις πολυπλοκότητας μεταξύ των δεδομένων. Το μοντέλο M4 είχε τη μεγαλύτερη ευστοχία δοκιμών (98.4%), τη μεγαλύτερη ακρίβεια (98%), το μεγαλύτερο recall (97%), που είναι ο συνολικός αριθμός των σωστά ταξινομημένων παραδειγμάτων και το μεγαλύτερο F1 Score (97.49%) που συνδυάζει την ακρίβεια και το recall. Τα μοντέλα M5 και M7 είχαν μικρότερη ακρίβεια από το M4 (96% και 94.2% αντίστοιχα) εξαιτίας της πολυπλοκότητάς τους και των πολλών κρυμμένων επιπέδων με πολύ μεγάλο αριθμό κόμβων. Συμπερασματικά, για την κατασκευή των NDVI χαρτών για την υγεία των σοδειών επιλέχθηκε το μοντέλο M4 και με αυτούς τους χάρτες διαπιστώθηκε η ικανότητά τους να εξάγουν πληροφορίες για την κατάσταση των σοδειών των χωραφιών.

Στην επόμενη ενότητα περιγράφονται μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί για την παρακολούθηση και διαχείριση διασυνδεδεμένων έξυπνων θερμοκηπίων.

3.6 Παρακολούθηση και διαχείριση διασυνδεδεμένων έξυπνων θερμοκηπίων

Μία επιπρόσθετη εφαρμογή του Διαδικτύου των Πραγμάτων είναι στην παρακολούθηση και στη διεύθυνση των θερμοκηπίων στα αγροκτήματα. Παρακάτω γίνεται μία αναλυτική περιγραφή ενός δικτύου διασυνδεδεμένων θερμοκηπίων που πηγάζει από το άρθρο [5]. Με τη συγκεκριμένη μελέτη, προτείνεται ένα δίκτυο συνδεδεμένων μεταξύ τους θερμοκηπίων που παράγει νερό από μόνο του με αφαλάτωση (desalination), η οποία λειτουργεί ως μικροπλέγμα. Αυτή η αφαλάτωση-μικροπλέγμα αποτελείται από ανανεώσιμη ενέργεια που κατανέμεται στο χώρο, ένα σύστημα για τη διατήρηση της παραγόμενης

ενέργειας, αισθητήρες, φορτία ηλεκτρικής ενέργειας και ενέργειας από το νερό, υποδομές για τις απαιτούμενες μετρήσεις και επικοινωνίες μεταξύ των εμπλεκόμενων εξοπλισμών και ένα σύστημα παρακολούθησης και διαχείρισης. Οι λειτουργίες του μικροπλέγματος είναι διαφορετικές, καθώς αυτό συνδέεται και με το κύριο ηλεκτρικό δίκτυο για ανταλλαγή ισχύος, αλλά και μέσω του αποκαλούμενου islanded mode κατορθώνει να έχει ενεργειακή αυτονομία που είναι ανανεώσιμη και με αυτόν τον τρόπο το προτεινόμενο σύστημα είναι ικανό να παρέχει αδιάλειπτα τις υπηρεσίες του. Ως προϋπόθεση στο συγκεκριμένο σύστημα θεωρείται ότι κάθε θερμοκήπιο μέσα στο δίκτυο είναι ένα αυτο-ρυθμιζόμενο μικροκλίμα και παρέχει στους ιδιοκτήτες του αμφίδρομες επικοινωνίες και εξελιγμένα εργαλεία για τη διαχείριση αναγκών σχετικών με την παρακολούθηση της παροχής ενέργειας, της παραγόμενης πλεονάζουσας ενέργειας, αλλά και για την παροχή συμβουλών για το πιο ευνοϊκό περιβάλλον ανάπτυξης των φυτών. Όσον αφορά τώρα το προαναφερόμενο σύστημα παρακολούθησης και διαχείρισης, αυτό μεταχειρίζεται καταγεγραμμένα δεδομένα από τους αισθητήρες όλων των θερμοκηπίων για να εκτιμήσει την ισχύ που παράγεται, τις παραμέτρους του εξωτερικού κλίματος των θερμοκηπίων και τα φορτία της ηλεκτρικής ισχύος. Αφού πραγματοποιήσει τις συγκεκριμένες μετρήσεις, το σύστημα αυτό τις αποστέλλει στον κύριο ελεγκτή, ο οποίος ευθύνεται για τον έλεγχο του δικτύου των θερμοκηπίων και για τη μεταχείριση της διαθέσιμης ενέργειας για τη μεταφορά ισχύος στο ηλεκτρικό δίκτυο ή ενέργειας στις μπαταρίες. Παρ' όλα αυτά, σε περιπτώσεις όπου ο κύριος ελεγκτής χρειάζεται ισχύ-ενέργεια για να μπορεί να λειτουργεί, αυτή θα προέρχεται αναγκαστικά από το ηλεκτρικό δίκτυο ή από τις μπαταρίες. Ειδικότερα, τα θερμοκήπια που αποτελούν το δίκτυο θερμοκηπίων χωρίζονται σε δύο μέρη, τη μονάδα αφαλάτωσης που παράγει καθαρό νερό για άρδευση από υφάλμυρο ή θαλασσινό νερό μέσω ύγρανσης-αφύγρανσης και τη μονάδα που καθορίζει το εσωτερικό κλίμα των θερμοκηπίων και αποτελείται από τεχνητό φωτισμό, μία γεννήτρια διοξειδίου του άνθρακα, ένα σύστημα θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού, ανεμιστήρες, μία αντλία και φυσικό εξαερισμό. Αυτό το σύστημα μελετήθηκε στο MATLAB Simulink, στο οποίο υιοθετήθηκε η υπόθεση ενός φωτοβολταϊκού πεδίου 6 KWp που περιλάμβανε 20 φωτοβολταϊκές μονάδες των 300 Wp, μία τουρμπίνα ανέμου των 30KW και μία μπαταρία 2600Ah και με ποσοστό λειτουργίας που ήταν αρχικά 78%. Επιπρόσθετα, παρατάχθηκε και ένας αντιστροφείας-φορτιστής με διακόπτες μεταφοράς για να συμβάλλει στην ανεμπόδιστη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ των πηγών εναλλασσόμενου ρεύματος και των πηγών συνεχούς ρεύματος και ολόκληρο το σύστημα συνδέεται και λαμβάνει ισχύ από το κύριο ηλεκτρικό δίκτυο. Ακόμα, η μονάδα αφαλάτωσης που εγκαθίσταται σε κάθε θερμοκήπιο θεωρείται ότι εξασφαλίζει συνεχή παροχή νερού με τεχνολογία ύγρανσης-αφύγρανσης και ηλιακούς θερμοσίφωνες. Έπειτα, το αποκτούμενο υφάλμυρο ή θαλασσινό νερό καθαρίζεται και στη συνέχεια το εξαγόμενο καθαρό νερό αποθηκεύεται σε ντεπόζιτο 8 κυβικών μέτρων, στο οποίο υπάρχει αρχικό αποθηκευμένο νερό 2 κυβικών μέτρων.

Πειράματα που πραγματοποιήθηκαν, έδειξαν ότι η παραγωγή φρέσκου νερού συμβαδίζει με την πρόοδο της εξωτερικής θερμοκρασίας των θερμοκηπίων και της ηλιακής ακτινοβολίας. Η μονάδα αφαλάτωσης των θερμοκηπίων μπορεί να παράγει μέχρι και 47 ml νερού ανά δευτερόλεπτο και 2200 λίτρα νερού κατά μέσο όρο από τις 05:30 μέχρι τις 20:00 κάθε μέρα και αυτές οι μετρήσεις ισχύουν για όλα τα θερμοκήπια. Ένα άλλο πράγμα που

παρατηρήθηκε από την εκτέλεση των πειραμάτων είναι οι πηγές που συνεισέφεραν σε ισχύ και διαπιστώθηκε ότι η πηγή με τη μεγαλύτερη παραγωγή ισχύος και παροχή της στο μικροπλέγμα είναι η τουρμπίνα ανέμου με 62%, ακολουθεί η παροχή ισχύος από το ηλεκτρικό δίκτυο με 16%, μετά η παροχή ισχύος 12% από τις μπαταρίες και τελικά η ηλιακή ενέργεια με 10% παροχή ισχύος. Η ενέργεια που δε χρησιμοποιείται και πλεονάζει δε χάνεται, αλλά στέλνεται στη μονάδα αποθήκευσης ενέργειας και συνδυάζεται η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας με ηλιακή ισχύ. Με αυτόν τον τρόπο οι μπαταρίες μπορούν να φτάσουν και σε ποσοστό φόρτισης 81% στις 19:00 και τέλος, η μεγαλύτερη κατανάλωση ισχύος παρατηρήθηκε στα 36-37 KW κατά τις 03:00. Σχετικά με τα συστήματα θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού που περιέχει το προτεινόμενο μοντέλο, θα πρέπει να βρίσκονται αποκλειστικά σε λειτουργία θέρμανσης για όλα τα θερμοκήπια ξεχωριστά, επειδή παρατηρήθηκε ότι καθορίζουν τη λειτουργία τους ανάλογα με αναφορές από την εξωτερική θερμοκρασία.

Σε μία διαφορετική μελέτη του άρθρου [17], σχετικά με την παρακολούθηση των θερμοκηπίων χρησιμοποιείται το τεχνητό νευρωνικό δίκτυο (Artificial Neural Network/ANN), το οποίο θεωρείται ένας από τους πιο αποτελεσματικούς αλγορίθμους προβλέψεων που ενσωματώνει λειτουργίες των νευρώνων του ανθρώπινου εγκεφάλου. Σε αυτήν την περίπτωση, εφαρμόζεται το πλαίσιο λογισμικού Accord.NET για την κατασκευή των μονάδων μάθησης που είναι βασισμένες στο ANN και χρησιμοποιείται ένας προσομοιωτής θερμοκηπίων με το πρόγραμμα Visual Studio C#. Προχωρώντας στην ανάλυση των μονάδων του συστήματος, υπάρχει μία μονάδα μάθησης για συντονισμό του φίλτρου Kalman για τα δεδομένα του αισθητήρα θερμοκρασίας που παίρνει ως εισόδους την εξωτερική θερμοκρασία, την ηλιακή ακτινοβολία, την ταχύτητα του ανέμου, τα δεδομένα καταγραφής του συγκεκριμένου αισθητήρα, τα επίπεδα φυσικού εξαερισμού, τη διάρκεια του φυσικού εξαερισμού, τα επίπεδα εξαναγκασμένου εξαερισμού, τη διάρκεια του εξαναγκασμένου εξαερισμού, τα επίπεδα του αερόθερμου (heater), τη διάρκεια του αερόθερμου, τα επίπεδα του συστήματος ψύξης (chiller) και τη διάρκεια του συστήματος ψύξης. Το κρυμμένο επίπεδο σε αυτή τη μονάδα περιλαμβάνει 20 νευρώνες, τη σιγμοειδή συνάρτηση ενεργοποίησης, τον αλγόριθμο μάθησης Levenberg-Marquardt και ρυθμό μάθησης 0.1. Η έξοδος αυτής της μονάδας είναι το προβλεπόμενο σφάλμα το οποίο αφορά τα δεδομένα του αισθητήρα θερμοκρασίας. Μία άλλη μονάδα είναι η μονάδα μάθησης για συντονισμό του φίλτρου Kalman για τα δεδομένα του αισθητήρα διοξειδίου του άνθρακα που παίρνει ως εισόδους το διοξείδιο του άνθρακα του περιβάλλοντος, την ηλιακή ακτινοβολία, την ταχύτητα του ανέμου, τα δεδομένα του συγκεκριμένου αισθητήρα, τα επίπεδα φυσικού εξαερισμού, τη διάρκεια του φυσικού εξαερισμού, τα επίπεδα εξαναγκασμένου εξαερισμού, τη διάρκεια του εξαναγκασμένου εξαερισμού, τα επίπεδα της γεννήτριας διοξειδίου του άνθρακα και τη διάρκεια της γεννήτριας διοξειδίου του άνθρακα. Το κρυμμένο επίπεδο σε αυτή τη μονάδα περιλαμβάνει και πάλι 20 νευρώνες, τη σιγμοειδή συνάρτηση ενεργοποίησης, τον αλγόριθμο μάθησης Levenberg-Marquardt και ρυθμό μάθησης 0.1. Η έξοδος αυτής της μονάδας είναι τα παραγόμενα δεδομένα διοξειδίου του άνθρακα. Μία τελευταία μονάδα που χρησιμοποιείται είναι η μονάδα μάθησης για συντονισμό του φίλτρου Kalman για τα δεδομένα του αισθητήρα υγρασίας, που παίρνει σαν εισόδους την υγρασία του περιβάλλοντος, την ηλιακή ακτινοβολία, την ταχύτητα του ανέμου, τα δεδομένα του αισθητήρα υγρασίας, τα επίπεδα φυσικού εξαερισμού, τη

διάρκεια του φυσικού εξαερισμού, τα επίπεδα εξαναγκασμένου εξαερισμού, τη διάρκεια του εξαναγκασμένου εξαερισμού, τα επίπεδα του αποκαλούμενου FogSys, τη διάρκεια του FogSys, τα επίπεδα του αφυγραντήρα και τη διάρκεια του αφυγραντήρα. Το κρυμμένο επίπεδο είναι το ίδιο με τις άλλες μονάδες παραπάνω και η έξοδος είναι τα παραγόμενα δεδομένα της υγρασίας. Έπειτα, χρησιμοποιούνται δύο μοντέλα θορύβου για να υπολογιστεί η ευστοχία των προβλέψεων, το πρώτο εκ των οποίων είναι το μοντέλο βασισμένο στο μέσο όρο, σύμφωνα με το οποίο το σφάλμα είναι ανάλογο με το μέσο όρο των συσσωρευμένων στοιχείων σφάλματος για τις ποσότητες θερμοκρασίας, υγρασίας και διοξειδίου του άνθρακα των αντίστοιχων αισθητήρων. Με τις μετρήσεις που πραγματοποιούνται, φαίνεται ότι το μέσο σφάλμα για τη θερμοκρασία είναι 0.07, για το διοξείδιο του άνθρακα είναι -0.07 και για την υγρασία είναι 0.03. Το δεύτερο μοντέλο θορύβου είναι το μοντέλο βασισμένο στο μέγιστο, σύμφωνα με το οποίο το σφάλμα είναι ανάλογο με τα μέγιστα στοιχεία σφάλματος της θερμοκρασίας, της υγρασίας και του διοξειδίου του άνθρακα. Μετά από μετρήσεις, παρατηρείται ότι το μέγιστο σφάλμα για τη θερμοκρασία και την υγρασία είναι 4 και για το διοξείδιο του άνθρακα είναι 33.

Για τα πειράματα, οι συγγραφείς χρησιμοποίησαν το 75% των δεδομένων για την εκπαίδευση του τεχνητού νευρωνικού δικτύου και αυτά περιέχουν 10000 εγγραφές και το υπόλοιπο 25% των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν για δοκιμές. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων με τη χρήση του μοντέλου βασισμένου στο μέσο όσο έδειξαν ότι η ρίζα της μέσης τετραγωνικής απόκλισης (Root Mean Square Error/RMSE) για τα διαφορετικά σχήματα που χρησιμοποιήθηκαν είναι: σχετικά με το σχήμα βασικής γραμμής (baseline scheme), το RMSE της θερμοκρασίας είναι 0.32, της υγρασίας είναι 0.35 και του διοξειδίου του άνθρακα είναι 3.21. Σχετικά με το προβλεπόμενο σχήμα με φίλτρο Kalman (predicted scheme with Kalman filter), το RMSE της θερμοκρασίας είναι 0.18, της υγρασίας είναι 0.2 και του διοξειδίου του άνθρακα είναι 1.26, ενώ σχετικά με το προβλεπόμενο σχήμα με μάθηση στο φίλτρο Kalman (predicted scheme with learning to Kalman filter), το RMSE της θερμοκρασίας είναι 0.15, της υγρασίας είναι 0.18 και του διοξειδίου του άνθρακα είναι 1.22, επομένως το σχήμα που περιέχει μάθηση στο φίλτρο Kalman είναι το πιο αποτελεσματικό. Κατά αντιστοιχία, τα πειράματα με τη χρήση του μοντέλου βασισμένο στο μέγιστο έδειξαν ότι: σχετικά με το σχήμα βασικής γραμμής, το RMSE της θερμοκρασίας είναι 0.8, της υγρασίας είναι 0.98 και του διοξειδίου του άνθρακα είναι 6.26. Σχετικά με το προβλεπόμενο σχήμα με φίλτρο Kalman, το RMSE της θερμοκρασίας είναι 0.26, της υγρασίας είναι 0.25 και του διοξειδίου του άνθρακα είναι 2.27 και σχετικά με το προβλεπόμενο σχήμα με μάθηση στο φίλτρο Kalman, το RMSE της θερμοκρασίας είναι 0.2, της υγρασίας είναι 0.14 και του διοξειδίου του άνθρακα είναι 1.29. Συμπερασματικά, και πάλι το σχήμα που περιέχει μάθηση στο φίλτρο Kalman είναι πιο αποτελεσματικό από τα υπόλοιπα σχήματα.

Κάποιες άλλες μέθοδοι που αναφέρονται στο άρθρο [18] σχετικά με τη διαχείριση των θερμοκηπίων είναι η χρήση πολυαιθυλενίου και πάνελ με μονό ή διπλό στρώμα γυαλιού για την εξωτερική πλευρά τους με σκοπό να ελαττωθεί σημαντικά η συμπύκνωση και οι απώλειες θερμότητας, αλλά και η χρήση νέων συστημάτων υαλοπινάκων που ενδέχεται να είναι ενεργοί ή παθητικοί για την παροχή φωτός στα αγροκτήματα. Ένα άλλο επίσης σημαντικό θέμα είναι η μεταφορά της ηλιακής ακτινοβολίας σε όλη την έκταση του θερμοκηπίου μέσω καλυμμάτων επένδυσης ή σκίασης. Η σκίαση είναι μία αποτελεσματική μέθοδος προκειμένου να ελαττωθεί

η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που εισχωρεί στα θερμοκήπια και με αυτόν τον τρόπο οι απαιτήσεις νερού για άρδευση λιγοστεύουν σε μεγάλο βαθμό. Ένα προϊόν που επιτυγχάνει την αποκαλούμενη φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία είναι τα φίλτρα υπερύθρων. Αξιοσημείωτη αναφορά πρέπει να γίνει επίσης και στη χρήση των φίλτρων υπερύθρων και στη χρήση πλαστικών καλυμμάτων στους αεραγωγούς των θερμοκηπίων για να αποφευχθούν τα παράσιτα στις σοδειές. Επίσης, ο φωτισμός των θερμοκηπίων είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί μέσω των διόδων εκπομπής φωτός και να διαχειριστούν χειροκίνητα από τους αγρότες τα μήκη κύματος που αυτές παράγουν για να ωριμάσουν κατάλληλα τα είδη φυτών των σοδειών, αλλά και με την εφαρμογή του αλγορίθμου σμήνους παράλληλων σωματιδίων (parallel particle swarm algorithm) με μία συστοιχία διόδων εκπομπής φωτός μπορούν να εξοικονομηθούν μεγάλες ποσότητες φωτεινής ενέργειας. Ακόμα, οι ανάγκες των θερμοκηπίων σε διοξείδιο του άνθρακα για την πραγματοποίηση της φωτοσύνθεσης στα φυτά μπορεί να υλοποιηθεί μέσω μίας γεννήτριας διοξειδίου του άνθρακα μαζί με αντίστοιχες αντλίες. Επιπρόσθετα, η απαιτούμενη θερμότητα μέσα στα θερμοκήπια μπορεί να επιτευχθεί είτε με ενεργά συστήματα που περιλαμβάνουν λέβητα, ηλεκτρικές θερμάστρες ή/και θάλαμο καύσης, τα οποία μετατρέπουν τα καύσιμα αέρια σε θερμότητα, είτε με παθητικά συστήματα που χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως είναι η ηλιακή ενέργεια. Για να πετύχουν αυτό το στόχο, τα σύγχρονα παθητικά συστήματα ενσωματώνονται με φωτοβολταϊκά πάνελ και εμπεριέχουν: μονο-κρυσταλλικό ή πολυ-κρυσταλλικό πυρίτιο, τεχνολογία ηλιακών κυψελών λεπτής μεμβράνης, φωτοβολταϊκά με οργανικά υλικά ή ηλιακά κύτταρα ευαισθητοποιημένα σε βαφή. Άλλο αξιοσημείωτο ζήτημα είναι η παροχή της κατάλληλης θερμοκρασίας-υγρασίας για την ανάπτυξη των φυτών στα θερμοκήπια, η οποία μπορεί να επιτευχθεί με πολλούς τρόπους: με ανεμιστήρες, με ρολά εξαερισμού, με συστήματα ψύξης με εξατμισμό, με μονάδες χειρισμού αέρα, με επίγειες αντλίες θερμότητας/αντλίες θερμότητας υπόγειων υδάτων και με τη χρήση των σωλήνων μορφής U (U tubes). Σχετικά με την παρακολούθηση των διάφορων παραμέτρων των θερμοκηπίων για τις καλλιέργειες των φυτών, οι αγρότες μπορούν να χρησιμοποιούν τις αποκαλούμενες τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνίας (Information and Communication Technologies/ICT) αλλά και έξυπνα συστήματα διαχείρισης δικτύων. Η πιο συνηθισμένη δομή τέτοιων συστημάτων περιλαμβάνει το δίκτυο παρακολούθησης, το δίκτυο επικοινωνιών και τη μονάδα ελέγχου. Πιο συγκεκριμένα, στο δίκτυο παρακολούθησης εφαρμόζεται ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων, οι οποίοι διακρίνονται στους βιοχημικούς αισθητήρες που καταγράφουν δεδομένα σχετικά με τις σοδειές και στους φυσικούς αισθητήρες που μετρούν τη θερμοκρασία και την υγρασία στον αέρα, την ατμοσφαιρική πίεση και την ηλιακή ακτινοβολία.

Στην ακόλουθη ενότητα αναλύονται μελέτες για την προγραμματισμένη άρδευση καλλιεργειών στα αγροκτήματα.

3.7 Προγραμματισμένη άρδευση καλλιεργειών

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων μπορεί να βοηθήσει και στην άρδευση ακριβείας στα αγροκτήματα. Παρακάτω περιγράφεται μία μέθοδος από το άρθρο [6] που μπορεί να πετύχει αυτόν το στόχο. Αρχικά, θα εισαχθεί η έννοια του δείκτη υδατικής καταπόνησης σοδειών

(Crop Water Stress Index/CWSI), ο οποίος, όπως αναφέρει και το όνομά του, είναι ένας δείκτης που μετράει την υδατική καταπόνηση στα φυτά των σοδειών και παίρνει τιμή από 0 ως 1, όπου το 0 υποδεικνύει καλό πότισμα και το 1 υποδεικνύει πότισμα με μεγάλη πίεση νερού. Μία άλλη παράμετρος που πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπ' όψιν στην άρδευση είναι η περιεκτικότητα της υγρασίας του εδάφους (θ), η οποία συνήθως υπολογίζεται με χωρητικούς αισθητήρες υγρασίας εδάφους που εισάγουν ηλεκτρόδια μέσα στο έδαφος και μετρούν την επιτρεπτότητα του εδάφους. Στη συνέχεια η επιτρεπτότητα εδάφους μετατρέπεται σε ογκομετρική περιεκτικότητα υγρασίας εδάφους, δηλαδή στο λόγο του όγκου του νερού σε κυβικά εκατοστά προς τον όγκο του εδάφους σε κυβικά εκατοστά. Τα δεδομένα που καταγράφονται από τους αισθητήρες θα πρέπει να υποστούν επεξεργασία πριν από τη χρήση τους για να εξαλειφθεί ο πιθανός θόρυβος και κάτι τέτοιο μπορεί να επιτευχθεί μέσω του αποκαλούμενου Exponential Moving Average/EMA που υπολογίζεται με τους τύπους: $\bar{y}(k) = \alpha * y(k) + (1 - \alpha) * \bar{y}(k - 1)$ και $\alpha = 2/(n+1)$. Επεξηγηματικά, το $y(k-1)$ είναι το EMA των δεδομένων που έχουν καταγραφεί σε συγκεκριμένα σημεία σε σειρά σε προηγούμενη χρονική στιγμή $k-1$, α είναι ο συντελεστής εξομάλυνσης που παίρνει τιμές από 0 ως 1 και n είναι ο αριθμός των σημείων. Όσο πιο υψηλά είναι τα δεδομένα που κυμαίνονται, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται αντίστοιχα περισσότερα σημεία δεδομένων για να εξομαλύνονται, ενώ αντίθετα όσο πιο χαμηλά είναι τα δεδομένα που κυμαίνονται, τόσο λιγότερα σημεία δεδομένων θα πρέπει να χρησιμοποιούνται. Τις περισσότερες φορές, τα λιγότερο κυμαινόμενα δεδομένα είναι εκείνα της περιεκτικότητας υγρασίας του εδάφους και τα περισσότερο κυμαινόμενα δεδομένα είναι εκείνα που περιγράφουν το κλίμα. Στη συγκεκριμένη μελέτη, εφαρμόζεται ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων με τοπολογία αστέρα και με τα εξής συστατικά μέρη: **Δύο συσσωρευτές αισθητήρων** που περιέχουν μία πληθώρα από αισθητήρες, οι οποίοι είναι ένας αισθητήρας υγρασίας εδάφους, ένας αισθητήρας θερμοκρασίας του αέρα και σχετικής υγρασίας, ένας αισθητήρας φωτός και ένας αισθητήρας θερμοκρασίας υπερύθρων. Ως μικρο-ελεγκτής για να υπάρχει δυνατότητα συσσωμάτωσης των καταγεγραμμένων δεδομένων, επιλέχθηκε η πλακέτα Arduino UNO R3 και οι συσσωρευτές αισθητήρων περιέχονται σε ένα αδιάβροχο κιβώτιο (container) και αργότερα αποστέλλουν τα δεδομένα μέσω ενός πομποδέκτη με ενισχυτή ισχύος/ενισχυτή χαμηλού θορύβου που επιτρέπει μετάδοση μέχρι και 1000 μέτρα στον κεντρικό ελεγκτή. Σε αυτόν ενσωματώνονται ένας Radio Frequency πομποδέκτης 2.4 GHz, ένα Radio Frequency synthesizer και ένας επιταχυντής πρωτοκόλλων υλικού. **Ο κεντρικός ελεγκτής** που δρα και ως συντονιστής της μετάδοσης και λήψης δεδομένων και ως εξωτερικό σύστημα προγραμματισμού άρδευσης. **Η μονάδα άρδευσης** που περιλαμβάνει παροχή νερού, αντλία που μπορεί να αλλάζει την ταχύτητα λειτουργίας της μέσω οδηγού κίνησης βασισμένου στη διαμόρφωση πλάτους παλμού (Pulse Width Modulation/PWM) και στις αποφάσεις του κεντρικού ελεγκτή, βαλβίδες, γραμμές κατανομής και εκπομπούς. Το προτεινόμενο σύστημα λειτουργεί ως εξής: καταγράφονται αρχικά δεδομένα από τους προαναφερόμενους αισθητήρες, μετά μεταδίδονται προς τον κεντρικό ελεγκτή, εκεί εξαλείφεται ο θόρυβος από τους συσσωρευτές αισθητήρων και η ηλιακή ακτινοβολία από τον κεντρικό ελεγκτή, έπειτα υπολογίζεται η μέση τιμή των δεδομένων που έχουν υποστεί επεξεργασία από αυτούς τους συσσωρευτές, υπολογίζεται το CWSI και η υγρασία του εδάφους, μετά τρέχει το ασαφές λογικό σύστημα το οποίο παράγει

αποφάσεις προγραμματισμού άρδευσης που στέλνονται στην αντλία και στο τέλος υπολογίζεται η χρήση νερού και η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Αν δεν ανιχνευτεί φως από τον ήλιο, η διαδικασία αυτή τελειώνει, αλλιώς επαναλαμβάνεται από την αρχή μέχρι να μην ανιχνεύεται πλέον το ηλιακό φως. Σχετικά με το ασαφές λογικό σύστημα που χρησιμοποιείται στην τρέχουσα μελέτη, αυτό περιλαμβάνει τρεις διαδικασίες, τη fuzzification, τη fuzzy inference και τη defuzzification. Στην πρώτη διαδικασία, οι τιμές του CWSI και της υγρασίας εδάφους μετατρέπονται σε ασαφή λογική, η οποία ταξινομείται με τις συναρτήσεις μέλους (membership functions) του CWSI σε πέντε κατηγορίες: Very Low (VL), Low (L), Medium (M), High (H) και Very High (VH). Η δεύτερη διαδικασία υλοποιείται μέσω της βάσης γνώσης για να αξιολογήσει τους ασαφείς κανόνες και να εξάγει αποτέλεσμα για τον καθένα τους. Στην τρίτη διαδικασία, τα αποτελέσματα των κανόνων μετατρέπονται σε έξοδο του ασαφούς συστήματος για να παραχθεί σήμα ελέγχου για την αντλία, λαμβάνοντας υπ' όψιν το σύνολο της βάσης των κανόνων και των membership functions. Η έξοδος αυτής ταξινομείται στις εξής 5 κατηγορίες: Zero (Z), Low (L), Medium (M), High (H), και Very High (VH). Ειδικότερα, αν η τιμή του CWSI είναι H και η τιμή της περιεκτικότητας της υγρασίας εδάφους είναι L, η αντλία λειτουργεί στο H στο 75%. Αντίθετα, αν η τιμή του CWSI είναι L και η τιμή της περιεκτικότητας της υγρασίας εδάφους είναι VH, η αντλία λειτουργεί στο Z στο 0%. Για την εξέταση της επαλήθευσης και της αποδοτικότητας του συγκεκριμένου προτεινόμενου μηχανισμού άρδευσης, χρησιμοποιήθηκε ένα χωράφι 2*3 τετραγωνικών μέτρων στην επαρχία Rayong της Ταϊλάνδης με 7 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Σχετικά με την αποδοτικότητα, το σύστημα που αναλύθηκε παραπάνω συγκρίθηκε με την παραδοσιακή άρδευση με χειροκίνητο τρόπο και με τη συμβατική άρδευση που είναι βασισμένη στο χρόνο και προκαθορισμένη. Για τη σύγκριση αυτών των τεχνικών, επιλέχθηκε το είδος σιναπιού *Brassica juncea*, το βάθος της ρίζας ήταν περίπου 10-15 εκατοστά, το πείραμα έλαβε χώρα από τις 6 ως τις 15 Απριλίου 2020 και λαμβάνονταν μετρήσεις κάθε λεπτό. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η περιεκτικότητα υγρασίας στο έδαφος εξαιτίας της αυτόματης άρδευσης ήταν αυξημένη κατά τη διάρκεια της μέρας και μειωμένη κατά τη διάρκεια της νύχτας, ενώ η σχετική υγρασία είχε αντίστροφη εξέλιξη και η θερμοκρασία του αέρα ποίκιλλε και ήταν πάνω από 30 βαθμούς Κελσίου κατά τη διάρκεια της μέρας. Τέλος, η ηλιακή ακτινοβολία έφτασε τα 1000 Wm⁻² στις ηλιόλουστες μέρες. Επιπλέον, το σύστημα αυτόματης άρδευσης παρείχε νερό 2 φορές τη μέρα στις 07:00 και στις 16:00 για 2 ώρες. Κατά το πρώτο προγραμματισμένο αυτόματο πότισμα, διαπιστώθηκε ότι η υγρασία του εδάφους αυξανόταν γρήγορα, ενώ το CWSI μειωνόταν. Επομένως, το χρονοδηγούμενο σύστημα άρδευσης ήταν αποτελεσματικό για την αποτροπή της υδατικής καταπόνησης των σοδειών. Αντίθετα, κατά τις 12:00 το μεσημέρι, η υγρασία του εδάφους μειωνόταν συνεχώς, ενώ μεγάλωνε το CWSI εξαιτίας της ηλιακής ακτινοβολίας κι έτσι οι σοδειές είχαν μεγαλύτερη υδατική καταπόνηση στη μέση της μέρας με βάση το χρονοδηγούμενο σύστημα άρδευσης. Κατά το δεύτερο προγραμματισμένο πότισμα, δε σημειώθηκαν σημαντικές διαφορές σχετικά με την περιεκτικότητα υγρασίας του εδάφους και του CWSI για το προτεινόμενο σύστημα και για το χρονοδηγούμενο σύστημα άρδευσης. Άλλη παρατήρηση ήταν η χρήση νερού και κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας που ήταν χαμηλότερες στο προτεινόμενο σύστημα άρδευσης παρά στο χειροκίνητο σύστημα άρδευσης και στο χρονοδηγούμενο σύστημα

άρδευσης. Έχοντας βάση το χειροκίνητο σύστημα άρδευσης, μπορεί να μειωθεί η χρήση νερού και η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το χρονοδηγούμενο σύστημα άρδευσης κατά 17.57% και 9.58% αντίστοιχα, ενώ το προτεινόμενο σύστημα άρδευσης μπορεί να πετύχει μείωση 59.61% στην κατανάλωση νερού και 67.35% στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Με το προτεινόμενο σύστημα αυξήθηκε και η απόδοση παραγωγής στις σοδειές, η οποία ήταν 20.666 Kg ha⁻¹ με τη χειροκίνητη άρδευση, ενώ με το χρονοδηγούμενο σύστημα άρδευσης ήταν 21.833 Kg ha⁻¹, δηλαδή παρατηρήθηκε αύξηση 5.64%, ενώ με το προτεινόμενο σύστημα άρδευσης ήταν 25.333 Kg ha⁻¹, δηλαδή η αύξηση στην απόδοση παραγωγής ήταν 22.58%. Όσον αφορά το κόστος του κύριου ελεγκτή και των δύο συσσωρευτών αισθητήρων ήταν περίπου 288.98 \$, το οποίο σε σύγκριση με άλλα κατασκευασμένα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων που κοστίζουν από περίπου 400 \$ ως και 1900 \$, το σύστημα που περιγράφηκε παραπάνω είναι αρκετά φθηνότερο. Κάποια τελευταία συμπεράσματα από την εκτέλεση του προαναφερόμενου πειράματος είναι τα ακόλουθα: η μέση χρήση νερού για το προτεινόμενο σύστημα άρδευσης ήταν 175.03 λίτρα/μέρα, ενώ για το χρονοδηγούμενο σύστημα άρδευσης ήταν 357.25 λίτρα/μέρα και η μέση κατανάλωση ενέργειας για το προτεινόμενο σύστημα ήταν 23.51 Wh/μέρα, ενώ για το χρονοδηγούμενο σύστημα ήταν 65.11 Wh/μέρα. Επιπρόσθετα, με την υπόθεση ότι το μέσο δασμολόγιο του νερού είναι 0.00425 \$/λίτρο και η μέση τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος είναι 0.2 \$/KWh, εξάγεται το συμπέρασμα ότι το προτεινόμενο σύστημα προγραμματισμού άρδευσης ξόδεψε περίπου 0.7486 \$/μέρα με τα αθροιστικά κόστη κατανάλωσης νερού και ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ το χρονοδηγούμενο σύστημα άρδευσης ξόδεψε περίπου 1.5313 \$/μέρα, άρα η διαφορά είναι 0.7827 \$/μέρα και η εξοικονόμηση κόστους αθροιστικά του πρώτου συστήματος είναι 51.11%.

Ένα διαφορετικό σύστημα προγραμματισμένης άρδευσης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αγροκτήματα αναλύεται στο άρθρο [19] και αποτελείται από μία μονάδα παροχής ισχύος, μία αντλία νερού, ένα σύστημα σε chip (System-on-Chip/SoC) αποτελούμενο από ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο συσκευών που παρέχει δικτύωση μέσω Wi-Fi, έναν αισθητήρα υγρασίας εδάφους, την πλακέτα Arduino Uno, αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας και pH, διεπαφή χρήστη και οθόνη υγρών κρυστάλλων (Liquid Crystal Display/LCD). Προχωρώντας σε βαθύτερη ανάλυση του συστήματος, τα δεδομένα που καταγράφονται από τους αισθητήρες ανεβαίνουν στο Διαδίκτυο κάθε πέντε λεπτά και η ισχύς παρέχεται από μονάδες παροχής ισχύος που περιλαμβάνουν: μία υποβαθμισμένη (step-down) μονάδα μετασχηματιστή τάσης 200V AC σε 12V DC για τη λειτουργία της πλακέτας και της αντλίας, ένα κύκλωμα ρελέ 12V επίσης για την αντλία, αλλά και από την ύπαρξη υποδοχής Universal Serial Bus/USB με τάση 5V ή VIN pin της πλακέτας για την τροφοδοσία της. Η παραγόμενη ισχύς μεταφέρεται στη μονάδα άντλησης νερού για να χρησιμοποιηθεί στα φυτά των καλλιεργειών και ολόκληρο το σύστημα άρδευσης συντονίζεται από την πλακέτα Arduino Uno, η οποία είναι προγραμματισμένη με τη γλώσσα προγραμματισμού C. Όσον αφορά τις λειτουργίες του προτεινόμενου συστήματος, αρχικά πραγματοποιείται η έναρξη λειτουργίας των αισθητήρων και των ενσωματωμένων θυρών για την αντίστοιχη υπόδειξη φόρτωσης πληροφοριών στην LCD οθόνη και ένας μικροελεγκτής προσπαθεί να επιτύχει τη συνδεσιμότητα μεταξύ των εξαρτημάτων και στη συνέχεια οι αισθητήρες υγρασίας και το Wi-Fi τσιπ επιβεβαιώνουν τις συνδέσεις. Έπειτα λαμβάνονται τα δεδομένα των αισθητήρων

υγρασίας, εμφανίζονται στην LCD οθόνη που ενσωματώνεται στην πλακέτα σαν ένα διάγραμμα περιεκτικότητας υγρασίας στο έδαφος και αποθηκεύονται σε cloud server με ημερομηνία και χρονοσφραγίδα. Για τη διεπαφή των αισθητήρων χρησιμοποιείται η σουίτα σχεδίασης Proteus 8.5 και το ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης της πλακέτας Arduino Uno με τη γλώσσα προγραμματισμού C, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Σχετικά με τον αισθητήρα υγρασίας εδάφους, αυτός αποτελείται από τον κύριο αισθητήρα που υπολογίζει τον όγκο του νερού στο έδαφος, και από τη μονάδα ελέγχου που λειτουργεί ως συγκριτής τάσης. Ο αισθητήρας υγρασίας εδάφους αποστέλλει ένα αναλογικό σήμα στο μικροελεγκτή και αυτό μεταδίδεται σε ένα αναλογικό pin εισόδου της πλακέτας Arduino Uno, με τη βοήθεια της οποίας προβάλλεται το ποσοστό περιεκτικότητας νερού στο έδαφος. Συνολικά, το τρέχον σύστημα λειτουργεί ως εξής: οι αισθητήρες υγρασίας τοποθετούνται 2 εκατοστά κάτω από το έδαφος και μόλις αποκτηθεί η επιθυμητή περιεκτικότητα υγρασίας, οι συγκεκριμένοι αισθητήρες ειδοποιούν το μικροελεγκτή, έτσι ώστε εκείνος να απενεργοποιήσει τα κυκλώματα ρελέ που ελέγχουν την αντλία νερού και τέλος, τα καταγεγραμμένα δεδομένα των αισθητήρων φαίνονται στο χρήστη μέσω της LCD οθόνης και επίσης ανεβαίνουν σε cloud server μέσω Wi-Fi.

Από τα πειράματα που διεξήχθησαν, παρατηρήθηκε ότι με την αύξηση της περιεκτικότητας νερού και την υπέρβασή της μεταξύ των ορίων από 100% έως και 400% σχετικά με τον όγκο περιεκτικότητας νερού, το νερό διακόπτεται. Συγκεκριμένα, με τον όγκο περιεκτικότητας νερού να υπολείπεται του 100%, η αντλία νερού ενεργοποιείται, ενώ όταν ο όγκος περιεκτικότητας νερού υπερβαίνει το 400%, η αντλία νερού απενεργοποιείται, επομένως το προτεινόμενο σύστημα είναι αρκετά αποτελεσματικό για την προγραμματισμένη άρδευση των καλλιεργειών.

Παρακάτω, γίνεται αναφορά σε μελέτες για την ανάλυση μεγάλων δεδομένων για τα γεωργικά μηχανήματα των αγροτών.

3.8 Ανάλυση μεγάλων δεδομένων για τα γεωργικά μηχανήματα

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, εκτός από τις προαναφερόμενες εφαρμογές του, έχει υλοποιηθεί και για την ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων που πηγάζουν από τη λειτουργία των γεωργικών μηχανημάτων. Στη συνέχεια αναλύεται μία μελέτη από το άρθρο [7] που αποδεικνύει τον παραπάνω ισχυρισμό και μία πλατφόρμα που έχει ήδη πρόσβαση σε 100 εκατομμύρια σημεία δεδομένων. Αρχικά, θα πρέπει να συλλεχθούν τα δεδομένα που παράγονται από τα γεωργικά μηχανήματα και αυτό επιτυγχάνεται μέσω ενός υπερηχητικού αισθητήρα απόστασης που χρησιμοποιεί υπερηχητικά κύματα για να μεταδίδει σήματα και έχει μεγάλη αντοχή στη βρωμιά και στην αντίσταση που προβάλλει το περιβάλλον στο οποίο εγκαθίσταται. Αυτός τοποθετείται στο πάνω μέρος του τροχού υποστήριξης των εξοπλισμών μετρώντας τη σχετική απόσταση μεταξύ της κύριας δέσμης τους και του εδάφους και με τη σύγκρισή της με το ύψος του σημείου του κατώτερου συνδέσμου του συστήματος ανάρτησης, υπάρχει η δυνατότητα να υπολογιστεί η οριζόντια θέση της συσκευής ανάβασης. Ένας άλλος αισθητήρας που επίσης εφαρμόζεται στη συγκεκριμένη μελέτη είναι ο laser αισθητήρας

απόστασης που υπολογίζει τη δύναμη ανύψωσης της συσκευής ανάβασης μέσω της ανάλυσης της δύναμης της εγκάρσιας τομής. Αυτός ο αισθητήρας μετράει τη σχετική απόσταση μεταξύ του κόμβου ανάρτησης των συσκευών που τοποθετούνται στα γεωργικά μηχανήματα, όπως είναι τα περιστροφικά πηδάλια, και του άξονα του χεριού ανύψωσης. Έπειτα, η συλλογή δεδομένων με συντεταγμένες θέσης αποκτώνται μέσω ενός αισθητήρα συντεταγμένων θέσης και ενώνεται με καλώδιο USB στην πλακέτα του Raspberry Pi 3B+ για να παίρνει ισχύ και να μπορεί να πραγματοποιεί ανάγνωση των καταγεγραμμένων δεδομένων. Όσον αφορά τώρα τη συλλογή των δεδομένων κίνησης και στάσης της συσκευής ανύψωσης, γίνεται χρήση και ενός αισθητήρα στάσης κίνησης που περιέχει τον ψηφιακό μικροεπεξεργαστή κίνησης MPU-6050, ο οποίος είναι ο πρώτος τέτοιος επεξεργαστής με τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο και με τριαξονικό γυροσκόπιο και έχει την ικανότητα χρήσης δια-ολοκληρωμένου κυκλώματος (Inter-Integrated Circuit/IC) και σειριακής περιφερειακής διεπαφής (Serial Peripheral Interface/SPI) διαύλους δεδομένων. Το τσιπ του MPU-6050 περικλείεται από ηλεκτρονικό μπάλωμα (patch) 4*4 mm με κολλητική άρθρωση 0.4 mm και έχει 24 pins εισόδου-εξόδου. Αυτό το εξάρτημα τοποθετείται μεταξύ της πλακέτας επέκτασης και του ανωτέρου μέρους της μητρικής πλακέτας. Σχετικά με την απόκτηση των μετατρεπόμενων δεδομένων των γεωργικών μηχανημάτων και των εξοπλισμών ανύψωσης, εφαρμόζεται ένας αισθητήρας δύναμης με έναν αισθητήρα πίεσης και ενώνεται με τον κλάδο ανίχνευσης του υδραυλικού σωλήνα λαδιού μεγάλης πίεσης για την ανεμπόδιση συλλογή των δεδομένων πίεσης από το υδραυλικό σύστημα. Μετά από την ολοκλήρωση των παραπάνω διαδικασιών απόκτησης δεδομένων από τους αισθητήρες, ακολουθεί η επεξεργασία τους σε πραγματικό χρόνο, η οποία ακολουθεί τη φάση μετατροπής των δεδομένων και τη φάση δυναμικής ρύθμισης των δεδομένων. Ειδικότερα, στη φάση μετατροπής δεδομένων, τα δεδομένα του κέντρου δεδομένων κινητής τηλεφωνίας των οχημάτων ξεπακετάρονται, υφίστανται μείωση του θορύβου, φιλτράρονται με το φιλτράρισμα Kalman και προκαλείται σύντηξή τους. Στη φάση δυναμικής ρύθμισης δεδομένων, το κέντρο δεδομένων κινητής τηλεφωνίας των οχημάτων έχει άμεση πρόσβαση στα μετατρεπόμενα δεδομένα, τα οποία μετά αντιγράφονται σε ασύγχρονη λογική ροής δεδομένων για βαθμονόμηση. Τα δεδομένα που προκύπτουν κάθε φορά από τη βαθμονόμηση αποστέλλονται σε υπολογιστή που τα εγγράφει στο μητρώο ελέγχου των αισθητήρων, το οποίο όπως γίνεται αντιληπτό είναι μία δυναμική διαδικασία. Το φιλτράρισμα των δεδομένων στην τρέχουσα μελέτη εκτελείται με το φίλτρο Kalman ή διαφορετικά τον αλγόριθμο φιλτραρίσματος Kalman που έχει βελτιστοποιήσει τη γραμμική επεξεργασία αυτοπαλίνδρομων δεδομένων (autoregressive data).. Σχετικά με το φιλτράρισμα των δεδομένων, υπάρχει και το φιλτράρισμα πολλαπλών σταδίων ή σύνθετο φιλτράρισμα (composite filtering) στο οποίο πραγματοποιείται σειριακή ή παράλληλη επεξεργασία στο ίδιο σήμα. Μία παραλλαγή αυτού του είδους φιλτραρίσματος είναι και το σύνθετο φιλτράρισμα οριακής απόσβεσης (limit-damping composite filtering), στο οποίο αν η απόκλιση της εκάστοτε τιμής δεδομένου ανήκει μέσα σε ένα συγκεκριμένο εύρος διακύμανσης, τότε θεωρείται ότι το δεδομένο είναι έγκυρο και καταγράφεται, ενώ διαγράφεται ένας μετρητής διακύμανσης που χρησιμοποιούνταν. Σε αντίθετη περίπτωση, δηλαδή αν η απόκλιση της τιμής του δεδομένου δεν ανήκει στο εύρος διακύμανσης, τότε αυτό είναι άκυρο και αντικαθίσταται με το τελευταίο έγκυρο δεδομένο, ενώ ο μετρητής διακύμανσης αυξάνεται κατά 1. Τέλος, όταν ο μετρητής

διακύμανσης ξεπεράσει τη μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή που μπορεί να πάρει, η τρέχουσα έγκυρη τιμή δεδομένου παίρνει τη θέση της τρέχουσας έγκυρης τιμής του μετρητή αυτού. Με τη συγκεκριμένη τεχνική, καταστέλλονται θόρυβοι από περιβαλλοντικούς παράγοντες. Μία άλλη μέθοδος που εφαρμόζεται στα δεδομένα είναι η σύντηξή τους, που είναι η δημιουργία νέων τιμών από αλγορίθμους διαφορετικών χαρακτηριστικών για να εξαχθούν πληροφορίες μεγαλύτερης ευστοχίας και υπολογίζεται από τον τύπο: $\theta_K = \alpha * \theta_{k-1} + (1+\alpha) * a_k + \alpha * w_k * \Delta t$ (θ είναι το ποσό της έγχυσης-στόχου, K είναι η ακολουθία έγχυσης, τα α και w είναι τα ποσά δεδομένων προς σύντηξη και t είναι ο χρόνος). Όταν εκτελείται η ανάλυση των δεδομένων από την αντίστοιχη πλατφόρμα ανάλυσης, μπορούν να εφαρμοστούν αλγόριθμοι χρονοσειρών προκειμένου να επιλύσουν ζητήματα παρουσίας ελαττωματικών δεδομένων ή έλλειψης δεδομένων. Η ανάλυση χρονοσειρών αρχίζει με την ακόλουθη αυτο-παλίνδρομη εξίσωση (autoregressive equation): $y_t = \mu + \sum_{i=1}^p \gamma_i * y(t - i) + \xi_t$. (y_t είναι η τρέχουσα τιμή, μ είναι ο όρος σταθεράς, p είναι η τάξη, γ_i είναι ο συντελεστής αυτοσυσχέτισης και ξ_t είναι το σφάλμα). Τα δεδομένα που παίρνονται ως δείγμα πρέπει να μετατραπούν σε μία χρονοσειρά με ελάχιστες ή και καθόλου διακυμάνσεις. Κάτι τέτοιο μπορεί να επιτευχθεί με τη διαφορά πρώτης τάξης στην οποία αφαιρούνται μεταξύ τους δύο τιμές ακολουθιών που διαχωρίζονται από την αρχική τιμή χρονοσειράς και υπολογίζεται από την εξίσωση διαφορών: $y_t = \Phi * y_{t-1} + \omega_t$. (y είναι η διαφορική μεταβλητή και y_t είναι η τιμή της t χρονοσειράς). Μετά και από αυτήν την εξίσωση, εφαρμόζεται η εξίσωση κινητού μέσου όρου (moving average equation): $y_t = \mu + \xi_t + \theta * \xi_{t-1}$ (y_t είναι ο βεβαρημένος μέσος όρος των 2 τελευταίων χρονοσειρών και ξ_t είναι ακολουθία λευκού θορύβου). Τέλος, για να υπάρχει η δυνατότητα τα δεδομένα δειγμάτων που απαιτούν ανάλυση να είναι άμεσα διαθέσιμα, χρησιμοποιούνται οι εξισώσεις εκθετικής εξομάλυνσης (exponential smoothing equations): $S_i = \alpha * x_i + (1 - \alpha) * (S_{i-1} + t_{i-1})$ και $t_i = \beta * (S_i - S_{i-1}) + t_{i-1} * (1 - \beta)$ (s_i είναι η εξομαλυμένη τιμή της τρέχουσας χρονοσειράς, αλλά και ο βεβαρημένος μέσος όρος του s_{i-1} και της τιμής της προηγούμενης χρονοσειράς και t_i είναι ο όρος εξομάλυνσης). Μετά από την εκτέλεση όλων αυτών των βημάτων, ακολουθείται μία τεχνική για την ανίχνευση ανωμαλιών στα δεδομένα των χρονοσειρών που είναι το μοντέλο ανάλυσης CAtegorY Regression Tree/CART, το οποίο λειτουργεί ως εξής: υποθέτοντας ότι X είναι η είσοδος του και Y είναι η διαρκώς μεταβαλλόμενη στο χρόνο έξοδος του, εφαρμόζεται στο σύνολο δεδομένων αναδρομική αριθμητική λογική και προκύπτουν περιοχές με 2 υπο-περιοχές, για τις οποίες υπολογίζεται η έξοδος από ένα δυαδικό δέντρο απόφασης και δημιουργείται ένα ζεύγος μεταβλητών j,s , όπου j είναι μία βελτιστοποιημένη μεταβλητή και s είναι ένα σημείο τμηματοποίησης και αυτό χρησιμοποιείται στη βέλτιστη εξίσωση τμηματοποίησης (optimal segmentation equation) (R είναι ο διαιρεμένος χώρος εισόδου και c είναι η διορθωμένη τιμή εξόδου του R): $\min_{j,s} [\min_{c1} * \sum_{x_i \in R_1(j,s)} (x_i - c1)^2 + \min_{c2} * \sum_{y_i \in R_2(j,s)} (y_i - c1)^2]$. Οι περιοχές που προκύπτουν από τη διαίρεση του R υπολογίζονται από τους παρακάτω τύπους: $\alpha) R_1(j,s) = \{x \mid x^j \leq s\}$, $\beta) R_2(j,s) = \{x \mid x^j > s\}$, $\gamma) \hat{c}_m = (1/N_m) * \sum_{x_i \in R_m(j,s)} y_i$, $\delta) x \in R_m$, $m = 1, 2$. Η διαίρεση της αρχικής περιοχής μπορεί να συνεχιστεί και για M περιοχές και μετά παράγεται ένα δέντρο απόφασης με την εξίσωση: $f(x) = \sum_{m=1}^M \hat{c}_m * I(x \in R_m)$. Η τελική εξίσωση που εφαρμόζεται είναι η εξίσωση τετραγωνικού

σφάλματος (square error equation) για να υπολογιστεί η καθεμία τιμή εξόδου με το μικρότερο τετραγωνικό σφάλμα: $\sum_{x_i \in R_m} (y_i - f(x_i))^2$. Στη συγκεκριμένη μελέτη, παρατάσσονται 10 διαφορετικά κέντρα δεδομένων που συνδέεται το καθένα με 100 κέντρα δεδομένων κινητής τηλεφωνίας εντός των οχημάτων και καθένα από αυτά τα κέντρα δεδομένων προσπελαύνει ταυτόχρονα 100 σημεία συλλογής δεδομένων. Επιπρόσθετα, ο μεμονωμένος χρόνος απόκρισης του συναγερμού σφαλμάτων σε πραγματικό χρόνο είναι μικρότερος από 1 ms, τα οχήματα λειτουργούν κατά μέσο όρο 10 ώρες τη μέρα, οι καλλιέργειες διαρκούν 9 μήνες το χρόνο και το απαιτούμενο μέγεθος αποθήκευσης δεδομένων που απαιτείται από την πλατφόρμα είναι 2 TB/χρόνο για 100% χρησιμοποίηση του σκληρού δίσκου της. Ένα άλλο αξιοσημείωτο γεγονός είναι ότι η συχνότητα δειγματοληψίας δεδομένων των συνολικά 100 αισθητήρων που παρατάσσονται στα γεωργικά μηχανήματα είναι 5 MHz, επομένως για καθένα αισθητήρα η μέση συχνότητα δειγματοληψίας είναι 50 KHz. Το σύστημα που προτείνεται στη συγκεκριμένη μελέτη χωρίζεται σε τέσσερα υποσυστήματα, τα οποία είναι: το υποσύστημα απόκτησης δεδομένων, το υποσύστημα αποθήκευσης δεδομένων, το υποσύστημα ανάλυσης δεδομένων και το υποσύστημα αλληλεπίδρασης με την πλατφόρμα και όλα αυτά τα υποσυστήματα λειτουργούν κοντά στο υποσύστημα διαχείρισης δεδομένων. Ειδικότερα, στο υποσύστημα απόκτησης δεδομένων, τα δεδομένα που καταγράφουν οι παρατεταγμένοι αισθητήρες λαμβάνονται, πακετάρονται και μεταδίδονται από τον υπολογιστή του κατώτερου επιπέδου προς τα κέντρα επεξεργασίας δεδομένων κινητής τηλεφωνίας των οχημάτων και εκείνα αποφασίζουν αν πρέπει να αλλάξουν τις παραμέτρους διαμόρφωσης των αισθητήρων για να εκτελούν απόκτηση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και να μειώσουν το θόρυβο που προκαλείται από τα οχήματα. Αν πρέπει να πραγματοποιηθεί κάτι τέτοιο, τα κέντρα επεξεργασίας δεδομένων στέλνουν μέσω του κεντρικού υπολογιστή εντολές ελέγχου προς τους αισθητήρες, διαφορετικά στέλνουν τα πακεταρισμένα δεδομένα μέσω του ασύρματου τοπικού δικτύου ή του δικτύου κινητής τηλεφωνίας στο υποσύστημα διαχείρισης δεδομένων. Στο υποσύστημα αποθήκευσης δεδομένων, ένας εξισορροπητής φορτίου εισόδου-εξόδου επεξεργάζεται τα αιτήματα εγγραφής και ανάγνωσης δεδομένων και επιτελεί αυθεντικοποίηση της πηγής τους και μετά αποστέλλει τα αιτήματα σε έναν προσαρμογέα δεδομένων, ο οποίος εγγράφει δεδομένα σε έναν buffer και αποστέλλει ειδοποιήσεις για επεξεργασία τους στον προγραμματιστή δεδομένων. Μία άλλη λειτουργία του προσαρμογέα δεδομένων είναι η προώθησή τους σε διαφορετική βάση δεδομένων ανάλογα με τον τύπο τους για εγγραφή και ανάγνωση. Στο υποσύστημα ανάλυσης δεδομένων, υπάρχει ένας εξισορροπητής φορτίου εισόδου-εξόδου που λειτουργεί όπως και εκείνος στο υποσύστημα αποθήκευσης δεδομένων, αλλά και ένας αναλυτής δεδομένων που κατασκευάζει ένα αφηρημένο μοντέλο για αλγόριθμο ανάλυσης και ένα θεωρητικό υπόβαθρο για την κατασκευή ενός πίνακα καταλόγου εργασιών. Αφού επιτελεστούν αυτές οι διαδικασίες, ο προγραμματιστής ανάλυσης προγραμματίζει τη μηχανή ανάλυσης δειγμάτων και τη συστάδα (cluster) της μηχανής ανάλυσης. Στο τέλος, ο καταγραφέας ανάλυσης αποθηκεύει όλα τα δεδομένα από τις παραπάνω διαδικασίες για να μπορεί ο αναλυτής δεδομένων να κάνει αλλαγές στο αφηρημένο μοντέλο του αλγορίθμου ανάλυσης. Στο σύστημα αποθήκευσης δεδομένων, διακρίνονται πέντε τύποι βάσεων δεδομένων: κατανεμημένη αποθήκη δεδομένων, κατανεμημένη σχεσιακή βάση δεδομένων, βάση δεδομένων αρχείων με βελτιστοποιημένη ανάγνωση, βάση δεδομένων γραφικών και

κατανεμημένη δομημένη μη σχεσιακή βάση δεδομένων. Από αυτές, στην κατανεμημένη βάση δεδομένων χρησιμοποιείται η μηχανή δεδομένων Hive για την αποθήκευση των μη επεξεργασμένων δεδομένων των συνθηκών λειτουργίας των μηχανημάτων από τους αισθητήρες, στην κατανεμημένη σχεσιακή βάση δεδομένων χρησιμοποιείται η TiDB για να αποθηκεύει δομημένα μεταδεδομένα, στη βάση δεδομένων αρχείων με βελτιστοποιημένη ανάγνωση χρησιμοποιείται η μηχανή δεδομένων MongoDB για να αποθηκεύει προσωρινά δομημένα μεταδεδομένα που πηγάζουν από τα αρχικά δεδομένα, στη βάση δεδομένων γραφικών εφαρμόζεται η Neo4j για την αποθήκευση των γραφημάτων της ανάλυσης δεδομένων και τέλος, στην κατανεμημένη δομημένη μη σχεσιακή βάση δεδομένων εφαρμόζεται η μηχανή βάσης δεδομένων HBase που αποθηκεύει άμεσα αποτελέσματα από την ανάλυση δεδομένων. Η διαδικασία της ανάλυσης δεδομένων συντελείται με τις μηχανές ανάλυσης δεδομένων MapReduce και Spark, από τις οποίες η πρώτη εγγράφει άμεσα αποτελέσματα στο σκληρό δίσκο και η δεύτερη εκτελεί επεξεργασία των εργασιών για να αναλυθούν τα δεδομένα.

Προκειμένου να εξεταστεί στην πράξη το συγκεκριμένο σύστημα, λήφθηκαν δεδομένα 60 συνόλων αγροτικών μηχανημάτων που ήταν διαφόρων μοντέλων και χρήσεων. Για τη φυσική μοντελοποίησή τους στο σύστημα, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό 3D Engineering and Simulator, με σκοπό να γίνει ανάλυση των αιτιών που προκαλούν σφάλματα σε αυτά και να προταθούν παραδείγματα για τη συντήρησή τους. Πριν όμως από την καταγραφή δεδομένων, θα πρέπει να μηδενιστεί η στάση του αισθητήρα στάσης κίνησης για να είναι στατικά τα γεωργικά μηχανήματα. Η περίοδος όπου καταγράφηκαν δεδομένα ήταν από 10 Σεπτεμβρίου 2018 μέχρι 8 Οκτωβρίου 2018 και ο αριθμός των εργασιμών ωρών των μηχανημάτων παρουσιάστηκε με περισσότερα από 168 εκατομμύρια σημεία δεδομένων και με αποθηκευτικό χώρο 1.8 TB. Μετά το πέρας των δοκιμών, καταγράφηκαν συνολικά 713 κομμάτια σε 16.8 δισεκατομμύρια σημεία δεδομένων, ο συνολικός αριθμός συναγεργμών που προκλήθηκαν ήταν σε 120 χιλιάδες κομμάτια με 827 χιλιάδες σημεία δεδομένων, από τα οποία οι αποτελεσματικές συσχετίσεις των συναγεργμών των εξαρτημάτων και των σημείων δεδομένων ήταν σε 98 χιλιάδες κομμάτια (81.7%) και με 678 χιλιάδες σημεία δεδομένων (82%). Τελευταία παρατήρηση είναι ο μη έγκυρος αριθμός συσχετίσεων των δύο προηγούμενων κατηγοριών συναγεργμών που ήταν σε 22 χιλιάδες κομμάτια (18.3%) με 149 χιλιάδες σημεία δεδομένων (18%). Επομένως, η πλατφόρμα που αναλύθηκε παραπάνω είναι αποτελεσματική στην παραγωγή άμεσων συναγεργμών σε σφάλματα στα γεωργικά μηχανήματα.

Εκτός από το προαναφερόμενο σύστημα, για την ανάλυση μεγάλων δεδομένων των μηχανημάτων στη γεωργία ακριβείας μπορούν να χρησιμοποιηθούν σύμφωνα με το άρθρο [20] και πολλά άλλα εργαλεία, όπως είναι: τα εργαλεία επεξεργασίας εικόνων IM Toolkit, VTK Toolkit και OpenCV Library, τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών ArcGis, Autodesk, MapInfo και Miramon, τα εργαλεία μηχανικής μάθησης Google TensorFlow, R, Weka, Flavia, Scikit-learn, SHONGUN, mlPy, Mipack, Apache Mahout και Mllib and OrtX, οι πλατφόρμες βασισμένες στο cloud Cloudera, EMC Corporation, IBM InfoSphere BigInsights, IBM PureData System, Aster SQL MapReduce, Pivotal Gemfile, Pivotal Greenplum, MapR Converged Data Platform και Hortonworks and Apache Pig. Επιπλέον, μπορούν να χρησιμοποιηθούν: οι βάσεις δεδομένων Hive, HadoopDB, MongoDB, ElasticSearch, Apache

HAWQ, Google Big Table, Apache HBASE, Cassandra, Rasdaman, MonetDB/SciQL, PostGIS, Oracle GeoRaster και SciDB, τα μεσαία λογισμικά προσανατολισμένα στα μηνύματα MQTT και RabbitMQ, τα εργαλεία στατιστικών μετρήσεων Norsys Netica, R και Weka, τα εργαλεία μοντελοποίησης και προσομοίωσης AgClimate, GLEAMS, LINTUL, MODAM και OpenATK και τέλος, τα εργαλεία ανάλυσης χρονοσειρών Stata, RATS, MatLAB και BFAST.

Συμπερασματικά, υπάρχουν πολλές διαφορετικές τεχνολογίες για τη γεωργία ακριβείας με αρκετά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα η καθεμία, επομένως οι αγρότες θα πρέπει να αναζητήσουν εκείνες που ανταποκρίνονται περισσότερο στις εκάστοτε ανάγκες τους και να τις αξιολογήσουν σύμφωνα με τις προτιμήσεις τους.

Στο επόμενο κεφάλαιο περιγράφονται προτεινόμενες τεχνολογίες και προβλήματα του Διαδικτύου των Πραγμάτων στην κτηνοτροφία ακριβείας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων έχει αναδυόμενα προβλήματα και τεχνολογικές εφαρμογές-λύσεις όχι μόνο στη γεωργία ακριβείας, αλλά και στην κτηνοτροφία ακριβείας. Η κτηνοτροφία ακριβείας αναφέρεται στο σύνολο των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται με σκοπό την παρακολούθηση των ζώων στις φάρμες ανά πάσα χρονική στιγμή και την έγκαιρη και έγκυρη αποτροπή ή πρόληψη διαφόρων ζητημάτων στη διαχείρισή τους. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί από τη συλλογή δεδομένων από έξυπνες συσκευές ή εφαρμογές που εγκαθίστανται στις φάρμες και καταγράφουν διαφορετικές παραμέτρους της συμπεριφοράς τους.

Παρακάτω αναλύεται μία μελέτη της υλοποίησης των τεχνολογιών του Διαδικτύου των Πραγμάτων στην εκτεταμένη εκτροφή προβάτων.

4.1 Εκτεταμένη εκτροφή προβάτων

Κάποιες τεχνολογίες που ήδη χρησιμοποιούνται ή βρίσκονται στο στάδιο της ανάπτυξής τους είναι οι ακόλουθες: Τα συστήματα **ηλεκτρονικής ταυτοποίησης (Electronic Identification/EID)** και **RFID** εγκαθίστανται για την ηλεκτρονική αναγνώριση και για την αναγνώριση ραδιοσυχνοτήτων των ζώων αντίστοιχα. Ένα χαρακτηριστικό στην ηλεκτρονική αναγνώριση των ζώων είναι ότι τοποθετούνται ενεργητικές και παθητικές ετικέτες σε αυτά. Από αυτές τις δύο υποκατηγορίες, η πιο ιδανική, ειδικά στην εκτροφή των προβάτων, είναι οι παθητικές ετικέτες, λόγω του μικρού μεγέθους που έχουν και της μη απαίτησής τους για παροχή ισχύος από μπαταρίες. Από την άλλη πλευρά, η αναγνώριση ραδιοσυχνοτήτων πραγματοποιείται με λειτουργία σε διαφορετικές συχνότητες, οι οποίες είναι οι εξής: α) χαμηλή συχνότητα, που έχει εύρος από 125 ως 134.2 KHz, β) υψηλή συχνότητα, η οποία λειτουργεί στα 13.56 MHz και γ) εξαιρετικά υψηλή συχνότητα, η οποία ρυθμίζεται στα 860 MHz στην Ευρωπαϊκή Ένωση και στα 915 MHz στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. **Η σήμανση αυτιών** των ζώων είναι μία φθηνή μέθοδος για την υλοποίηση της εκτεταμένης εκτροφής προβάτων, αλλά υποκρύπτει και τους κινδύνους να χαθούν οι ετικέτες αν μπλεχτούν σε τμήματα με φυτά ή φράχτες της φάρμας, να πρέπει αυτές να επανατοποθετηθούν στα πρόβατα σε μία τέτοια περίπτωση - μία κατάσταση που έχει επιπτώσεις και στον ανθρώπινο μόχθο και στην ευημερία αυτών των ζώων - αλλά και να μπορούν αυτές να αφαιρεθούν με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια. **Ο βλωμός μηρυκαστικού (ruminal bolus)** είναι μία επιπρόσθετη μέθοδος για την ηλεκτρονική αξιολόγηση των προβάτων, αν και ο βλωμός θα πρέπει να μπορεί να προσαρμοστεί σε πρόβατα που έχουν φτάσει μία συγκεκριμένη ηλικία. **Η ενέσιμη υποδόρια ηλεκτρονική ταυτοποίηση** μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως παθητικός αποθηκευτικός χώρος πληροφοριών, δηλαδή ως κώδικας ταυτοποίησης, και ως αισθητήρας. **Τα επιταχυνσιόμετρα**, τα οποία ενδέχεται να τοποθετηθούν σε μία από τις πατούσες των προβάτων ή στο κεφάλι ή στο λαιμό τους, καταγράφουν μοτίβα των κινήσεων που αυτά

επιτελούν και πηγάζουν από τις διαφορετικές συμπεριφορές τους. Οι **αισθητήρες GPS** μαζί με κάποιο **σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών** είναι ικανοί να δίνουν πληροφορίες για τις κινήσεις που εκτελούν τα πρόβατα και τον τρόπο με τον οποίο αυτά παρατάσσονται σε ποικίλες γεωγραφικές περιοχές, αλλά και μπορούν να ελέγχουν τον τρόπο με τον οποίο ανταποκρίνονται τα πρόβατα σε περιπτώσεις εμφάνισης αρπακτικών ή άγριων ζώων. Τα **συστήματα ανίχνευσης ζευγαρωμάτων**, όπως είναι ένα τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο με λογισμικό που αναφέρεται στο άρθρο [8], χρησιμοποιούνται για να ανιχνεύουν δραστηριότητες ζευγαρώματος των αρσενικών προβάτων, ή ο ηλεκτρονικός Άλφα-Ανιχνευτής (Alpha-Detector/Alpha-D) που πραγματοποιεί ηλεκτρονική αναγνώριση των θηλυκών προβάτων και αποστέλλει τα καταγεγραμμένα δεδομένα σε κεντρικοποιημένο υπολογιστή. Αυτά τα δεδομένα μπορούν να αναλυθούν για να φανεί η συχνότητα των ζευγαρωμάτων, για να αποκαλυφθούν αληθείς και ψευδείς καλύψεις και για να μετρηθούν τα καλυπτόμενα θηλυκά πρόβατα. Ο συγκεκριμένος ανιχνευτής ήδη δοκιμάζεται για εμπορική παραγωγή. Κάποιες άλλες τεχνολογίες που έχουν προταθεί επιστρατεύουν το GPS, τη δορυφορική επικοινωνία δεδομένων που καταγράφονται σε μητρικά κολάρα, την επικοινωνία μικρής απόστασης μεταξύ των κολάρων και τη διαχείριση των ζωοτροφών. Αυτό το σύστημα που μόλις αναφέρθηκε έχει ωστόσο τα μειονεκτήματα της μεγάλης πολυπλοκότητας και του υψηλού κόστους υλοποίησης. Μία ακόμη τεχνολογία είναι και οι αισθητήρες με μικρόφωνα που αναλύουν ήχους των προβάτων όταν μασούν τροφές και όταν ουρούν για να παρακολουθούν τα ποσοστά εκπομπής υγρών και αζώτου. Παρ' όλα αυτά, μία τέτοια τεχνολογία δεν μπορεί να εφαρμοστεί μέχρι τώρα για εμπορική χρήση. Οι **αυτόματοι συντάκτες (automatic drafters)** είναι συστήματα αυτομάτων γύρω από μία πύλη και χρησιμοποιούνται για να διαχωρίζουν και να καθοδηγούν τη διάβαση των προβάτων. Αν συνδυαστούν με συστήματα ζύγισης (που θα αναλυθούν αμέσως μετά), μπορούν να παρακολουθούν την κατάσταση όλων των προβάτων ξεχωριστά και να καθοδηγούν τα πρόβατα που έχουν χαμηλό βάρος προς περιοχές όπου υπάρχουν ζωοτροφές και συμπληρώματα διατροφής. Τα **κιβώτια Walk Over Weight και κιβώτια ζύγισης**, όπου τα πρώτα είναι συστήματα μονόδρομης διάβασης προς ένα συμπληρωματικό τροφοδότη νερού και κατά μήκος αυτής της διάβασης υπάρχει πλατφόρμα ζύγισης που επικοινωνεί με τις ηλεκτρονικές ταυτοποιήσεις των προβάτων σε κάθε πέρασμά τους. Όσον αφορά τα κιβώτια ζύγισης, αυτά διαχωρίζουν κάθε πρόβατο σε ένα διάδρομο μέσω θυρών που κλείνουν από χειριστές, με σκοπό κάθε πρόβατο να ζυγίζεται ακίνητο. Σε αυτά τα κιβώτια, είναι δυνατή η επίτευξη της αναγνώρισης ραδιοσυχνοτήτων των προβάτων και με αναμεταδότες και με κεραίες ανάγνωσης για να αναλύονται τα δεδομένα των προβάτων σε πραγματικό χρόνο. Τέτοια συστήματα πωλούνται ήδη στην αγορά. Η **εικονική περιήραξη και το Grasshopper**: Τα συστήματα εικονικής περιήραξης παρέχουν το πλεονέκτημα στα ζώα να μετακινούνται μέσα σε ένα βοσκότοπο σύμφωνα με τη διαθεσιμότητά του, αλλά υπάρχουν και αρκετά μειονεκτήματα που αποτρέπουν τη μαζική χρήση τους για εμπορικούς σκοπούς, όπως είναι το υψηλό κόστος τους, η έλλειψη τεχνολογικής εμπειρίας και υποδομών στις φάρμες για την εγκαθίδρυσή τους, αλλά και προκλήσεις για την ευημερία των ζώων και για την κοινή γνώμη, επειδή τα ζώα εκτίθενται μακροχρόνια σε ηλεκτρικά ερεθίσματα. Επιπλέον, το Grasshopper είναι ένα αυτοματοποιημένο σύστημα μέτρησης γρασιδιού που μετράει το χρόνο επιστροφής

μίας ηχητικής μετάδοσης από μία ανακλαστική κυκλική πλάκα πάνω στο γρασίδι με κατεύθυνση προς τον πομπό. Τα δεδομένα που συλλέγονται μπορούν να ενσωματωθούν με GPS προκειμένου να βρεθεί η θέση του δείγματος μέσα στη μάντρα ή μπορούν να ανεβούν στο ψηφιακό εργαλείο υποστήριξης Pasturebase Ireland για να υπάρχει η δυνατότητα εκτέλεσης μίας καθολικής εποπτείας της διαθεσιμότητας του γρασιδιού, τόσο σε περιφερειακό όσο και σε εθνικό επίπεδο. **Οι αίθουσες αρμέγματος**, στις οποίες μπορούν να πραγματοποιηθούν μετρήσεις σωματικών κυττάρων για υποκλινική μαστίτιδα μέσω της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ή της οπτικής αξιολόγησης των αισθητήρων σκέδασης υπέρυθρου φωτός. Σχετικά με τα επίπεδα οξύτητας και πήξης του γάλακτος, μπορεί να εφαρμοστεί η φασματοφωτομετρία (spectrophotometry) και η σκέδαση του φωτός. Τέλος, είναι δυνατή η εφαρμογή αυτόματων συστημάτων διακοπής κενού για να μειωθούν οι απαιτήσεις σε φυσική καταπόνηση για το άρμεγμα και για να μειωθεί το ρίσκο της τεράστιας παραγωγής γάλακτος. Μπορούν επίσης να παραταχθούν τροφοδότες για κάθε πρόβατο που θα διανέμουν την απαιτούμενη ποσότητα φαγητού στο καθένα ξεχωριστά. Μία νεοεισερχόμενη τεχνολογία σε αυτό το κομμάτι της κτηνοτροφίας είναι και η επαυξημένη πραγματικότητα (augmented reality). Τελευταία λύση που προτείνεται για την εκτροφή προβάτων είναι **τα λογισμικά διαχείρισης κοπαδιών**, όπως είναι τα Sheep Tracker, Sum-It, FlockFiler και Farmplan.

Τα προβλήματα που υπάρχουν στην εφαρμογή του Διαδικτύου των Πραγμάτων στην εκτεταμένη εκτροφή προβάτων είναι: **Η υιοθέτηση των τεχνολογιών και η προδιάθεση για καινοτομία**: οι αγρότες, προκειμένου να προσαρμοστούν στην ιδέα της υλοποίησης των συστημάτων κτηνοτροφίας ακριβείας και των νέων τεχνολογιών που αναδύονται για την πραγματοποίησή της, θα πρέπει να περάσουν από διαδικασίες απόκτησης δεξιοτήτων που ένα μεγάλο μέρος τους δεν είχε ήδη, αλλά και να εξαρτώνται πολλές φορές από εξειδικευμένους τεχνικούς για διάφορα ζητήματα που έρχονται στην επιφάνεια. Μία άλλη πρόκληση είναι η επίσης μεγάλη εξάρτηση των αγροτών από τη γνώμη των κατοίκων της κοινότητας όπου ζουν, από την αποδοχή τους και από τη λήψη οικονομικών ρίσκων με σκοπό να παίρνουν αποφάσεις. Τρίτον, οι μεγάλες επενδύσεις και η σκέψη ενός αγρότη ότι ενδεχομένως είναι από τους πρώτους ή ίσως και ο πρώτος μέσα στην κοινότητά του όπου θα πρέπει να υιοθετήσει τις νέες τεχνολογίες που υλοποιούνται, αποτρέπουν την καθιέρωση καινοτομίας. Τελευταία πρόκληση είναι η αδυναμία μεγάλης κάλυψης του δικτύου σε κοντινές μεταξύ τους περιοχές και η αστάθειά του και σε πεδινές αλλά περισσότερο σε ορεινές περιοχές. **Τα ηλικιακά και πολιτισμικά εμπόδια**: όσον αφορά τα ηλικιακά εμπόδια, η μέση ηλικία των ανθρώπων που είναι αγρότες είναι πάνω από 55 έτη, το οποίο αποτελεί έναν ακόμα λόγο για την αποτροπή της στροφής του ενδιαφέροντος προς την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών για την κτηνοτροφία ακριβείας. **Τα οικονομικά εμπόδια**: ενώ οι αγρότες διαθέτουν ιδιωτικά κεφάλαια αλλά και επιδοτήσεις από την κυβέρνησή τους ή από την Ευρωπαϊκή Ένωση (σε όσες χώρες βρίσκονται στην Ευρώπη), αυτά τα εισοδήματα ενδέχεται να θεωρούνται από μία μεγάλη μερίδα αγροτών ως ανεπαρκή ή ασταθή. Εκτός αυτού, οι χρονοβόρες διαδικασίες και τα γραφειοκρατικά ζητήματα λειτουργούν ως αποτρεπτικά μέσα για την προσβασιμότητα των αγροτών στις νέες τεχνολογίες.

Ανοιχτές προκλήσεις που μπορούν να επιλυθούν στο μέλλον σχετικά με την εκτεταμένη εκτροφή προβάτων είναι: **η διαχείριση των βοσκοτόπων με τις τεχνολογίες του**

Διαδικτύου των Πραγμάτων που αναλύθηκαν παραπάνω και **η εκτροφή των προβάτων με συμπληρώματα**, η οποία μπορεί να επιτευχθεί περισσότερο με συνδυασμό των κιβωτίων ζύγισης, των ηλεκτρονικών ταυτοποιήσεων και των αυτόματων συντακτών. Για την εκτροφή ακριβείας των προβάτων, είναι καλύτερη **η ένταξη της αναγνώρισης ραδιοσυχνοτήτων στους σταθμούς αρμέγματος**, αλλά και **η αποκατάσταση, η αναβάθμιση ή η κατασκευή νέων αιθουσών αρμέγματος**. Άλλες προκλήσεις είναι **η αποδοχή και η απορρόφηση της τεχνολογίας από τους αγρότες και η παγκόσμια αγορά και τα οικονομολογικά ζητήματα**: για τους αγρότες θα πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα ένταξης της κτηνοτροφίας ακριβείας στις φάρμες τους ως επιχειρηματική στρατηγική, χωρίς να υπόκεινται σε οικονομικά ρίσκα. Επίσης, **η ντόπια αγορά και τα εξειδικευμένα προϊόντα**, όπου η Ευρωπαϊκή Ένωση, μέσω της ανάδειξης υποψήφιων χωρών, προσπαθεί να επιτύχει οικονομική βιωσιμότητα των αγροτικών κοινοτήτων, αλλά και τη βιοποικιλότητα της ντόπιας κτηνοτροφίας. Επιπλέον, χορηγούνται οργανικές, βιολογικές και βιοδυναμικές υποψηφιότητες για εκτεταμένα και βιώσιμα αγροτικά συστήματα με επιπρόσθετη αξία. Τέλος, στρατηγικές άμεσης εμπορίας (Direct Marketing) χρησιμοποιούνται από τους αγρότες, οι οποίες επιτρέπουν απευθείας επαφή μεταξύ των αγροτών και των πελατών. Τελευταίες προκλήσεις είναι **η υπερθέρμανση του πλανήτη, η αντίσταση στα φάρμακα**, όπως με το συνδυασμό του συστήματος κιβωτίων ζύγισης ή του συστήματος WOW με την εφαρμογή ανθελμινθικών από έξυπνα πιστόλια νερού με σκοπό τη μείωση στην κατανάλωση φαρμάκων, **η ευημερία των ζώων και οι κυβερνητικές πολιτικές και επιδοτήσεις**.

Στην ακόλουθη ενότητα αναφέρονται τεχνολογίες του Διαδικτύου των Πραγμάτων στην εκτροφή χοίρων.

4.2 Εκτροφή χοίρων

Άλλη μία περιοχή εφαρμογής του Διαδικτύου των Πραγμάτων στην κτηνοτροφία είναι η εκτροφή χοίρων που περιγράφεται στο άρθρο [9], όπου διάφορες τεχνολογίες παρατάσσονται για τη διαχείριση των συγκεκριμένων ζώων στα αγροκτήματα.

Ο πρώτος κλάδος του Διαδικτύου των Πραγμάτων με αναφορά στους χοίρους αφορά τη χρήση αισθητήρων για την αναγνώρισή τους. Στη βιβλιογραφία, επιτυγχάνεται ανάλυση εικόνων με δισδιάστατες κάμερες για τη μέτρηση του σωματικού βάρους των χοίρων και για ποικίλες συμπεριφορές τους, όπως η στάση του σώματος και η βάδιση. Επειδή όμως πολλές φορές ο φωτισμός που προσφέρουν αυτές οι κάμερες δεν επαρκεί για την παρακολούθηση και για τον έλεγχο των χοίρων σε κάποιο δωμάτιο, χρησιμοποιούνται και τρισδιάστατες κάμερες, όπως είναι ενδεικτικά οι Microsoft Kinect και Intel RealSense, οι οποίες προσφέρουν υψηλή ανάλυση και διαθέτουν υπέρυθρο φωτισμό και αισθητήρα βάθους χρόνου πτήσης (Time of Flight/ToF) με παραγωγή φωτός. Αυτός ο αισθητήρας βάθους λειτουργεί στέλνοντας υπέρυθρο φως πολλές φορές το δευτερόλεπτο από μία δίοδο εκπομπής φωτός και στη συνέχεια μετράει το χρόνο καθυστέρησης του παλμού του υπέρυθρου φωτός μέχρι την επιστροφή του. Στις εικόνες που καταγράφονται με μία τέτοια διαδικασία, εμφανίζονται διαφορετικά χρώματα πάνω τους που υποδεικνύουν την απόσταση που έχει κάθε στοιχείο που απεικονίζεται από την

κάμερα, σχηματίζοντας έναν τοπολογικό χάρτη. Οι συγκεκριμένες κάμερες είναι φθηνές για αγορά, μπορούν να αναλύσουν μεγάλα σύνολα δεδομένων, δε χρειάζονται πολλή ισχύ για τη λειτουργία τους και τοποθετούνται σε οποιοδήποτε περιβάλλον.

Η αναγνώριση των χοίρων μπορεί να επιτευχθεί και μέσω ηχητικών ειδοποιήσεων από μικρόφωνα που είναι εγκατεστημένα στα αγροκτήματα, οι οποίες λαμβάνονται σαν ηλεκτρικά σήματα από υπολογιστές για να εντοπιστούν ενδεχόμενες ασθένειες ή νευρικότητα στους χοίρους.

Μία επιπρόσθετη τεχνική για την αναγνώριση των χοίρων είναι η ανίχνευση της θερμοκρασίας τους μέσω θερμίστορ που υπάρχουν στις ετικέτες των αυτιών των χοίρων και υπέρυθρης τεχνολογίας. Η χρήση της αφορά την εκπομπή υπέρυθρης ακτινοβολίας όποτε η θερμοκρασία των χοίρων που καταγράφονται είναι πάνω από το απόλυτο μηδέν, δηλαδή 0 °K (K: Κέλβιν) και αυτή η θερμοκρασία σχετίζεται με το μήκος κύματος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας. Και σε αυτήν την περίπτωση χρησιμοποιούνται κάμερες υπέρυθρων για την καταγραφή φυσιολογικών και παθολογικών διεργασιών που προκαλούνται από μεταβολές στη θερμοκρασία των χοίρων.

Μία τελευταία τεχνική της αναγνώρισης χοίρων είναι η χρήση επιταχυνσιόμετρων, ηλεκτρομηχανικών συσκευών που καταγράφουν στατικές ή δυναμικές δυνάμεις επιτάχυνσης αυτών των ζώων. Οι κινήσεις που εκτελούν οι χοίροι πιέζουν τους μικροσκοπικούς κρυστάλλους μέσα στις συγκεκριμένες συσκευές, με αποτέλεσμα να δημιουργείται ηλεκτρική τάση. Λαμβάνοντας υπ' όψιν την ποσότητα της παραγόμενης τάσης, οι αισθητήρες που ενσωματώνουν τα επιταχυνσιόμετρα εξάγουν συμπεράσματα για την ταχύτητα με την οποία οι χοίροι κινούνται και προσανατολίζονται στον περιβάλλοντα χώρο τους. Μία ειδικότερη κατηγορία των επιταχυνσιομέτρων είναι τα τριαξονικά επιταχυνσιόμετρα που μετρούν τη βαρυτική έλξη της Γης σε συνδυασμό με την καταγραφή της γωνίας κλίσης των αισθητήρων.

Στις προηγούμενες παραγράφους, έγινε αναφορά στις τεχνολογίες που έχουν εφευρεθεί για την αναγνώριση των χοίρων σε ένα αγρόκτημα. Μία άλλη εξίσου σημαντική περιοχή ενδιαφέροντος για τους αγρότες είναι η ταυτοποίηση των χοίρων. Παρακάτω αναλύονται κάποιες βασικές τεχνικές με τις οποίες πραγματοποιείται αυτή.

Αρχικά, θα γίνει λόγος στην εφαρμογή ενός τσιπ αναγνώρισης ραδιοσυχνοτήτων που εφαρμόζεται στις ετικέτες των αυτιών των χοίρων και οι οποίες περιέχουν αναμεταδότη και αναγνώστη ταυτοποίησης ραδιοσυχνοτήτων για την ανάγνωση και εγγραφή δεδομένων. Αυτά τα δύο εξαρτήματα επικοινωνούν με σήματα ραδιοσυχνοτήτων που αποστέλλονται από τον αναγνώστη προς τον αναμεταδότη και αντίστροφα. Τα δεδομένα από τα εκπεμπόμενα σήματα μπορούν να υποστούν ανάλυση αμέσως μετά ή να αποθηκευτούν και να αναλυθούν αργότερα.

Μία διαφορετική μέθοδος που χρησιμοποιείται για την ταυτοποίηση των χοίρων είναι η οπτική αναγνώρισή τους μέσω της αναγραφής χαρακτήρων πάνω στις ετικέτες των αυτιών τους ή μέσω βαμμένων συμβόλων πάνω στους ίδιους τους χοίρους. Έπειτα, μέσω μίας ψηφιακής κάμερας στα δωμάτια των χοίρων, τα δεδομένα που καταγράφονται μπορούν να επεξεργαστούν με μηχανική μάθηση για να επιτευχθεί απομακρυσμένη οπτική ταυτοποίηση για αυτούς.

Για την ταυτοποίηση των χοίρων χρησιμοποιείται επίσης και η αναγνώριση προσώπου αυτών των ζώων, η οποία χαρακτηρίζεται από ταχύτητα λειτουργίας (620 εικόνες ανά δευτερόλεπτο) και από τη δυνατότητα χρήσης αλγορίθμων ανθρώπινης αναγνώρισης.

Όσον αφορά την παρακολούθηση των χοίρων, αυτή μπορεί να επιστρατεύσει όχι μόνο αισθητήρες, αλλά και κινητές συσκευές, όπως έξυπνα τηλέφωνα (smartphones) και tablets. Αρχικά, τα δεδομένα που συλλέγουν οι αισθητήρες κρυπτογραφούνται και αποστέλλονται σε υπολογιστικά συστήματα για να φιλτραριστούν ανεπιθύμητες ή μη αναγκαίες πληροφορίες και στη συνέχεια, τα φιλτραρισμένα δεδομένα εμφανίζονται στις οθόνες των έξυπνων συσκευών μέσω των Bluetooth ή Wi-Fi.

Ωστόσο, όσο ιδανικές και να φαίνονται όλες οι προαναφερόμενες τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί για τη βιομηχανία των χοίρων, οι προκλήσεις που αντιμετωπίζει αυτός ο κλάδος δεν επιτρέπουν την ολοκληρωμένη εφαρμογή τους: **Η χωλότητα των χοίρων**, με παραδείγματα αυτής να είναι οι αλλοιώσεις των νυχιών και του δέρματός τους, τα πιθανά τραύματά τους, η οστεοχόνδρωση, τα κατάγματα και η αρθρίτιδα. **Το αποκαλούμενο Body Condition Scoring/BCS** είναι μία εκτίμηση της σωματικής σύνθεσης των ζώων για την παροχή κατάλληλης διατροφής σε αυτά. Μελέτες που πραγματοποιήθηκαν σε βοοειδή απέδειξαν ότι αυτά με BCS < 2 είχαν μεγαλύτερη πιθανότητα να υποστούν χωλότητα και οι αγελάδες με πολύ χαμηλό BCS, είχαν μεγαλύτερο κίνδυνο να γίνουν κουτσές και πιθανότητα να ανακάμψουν σε διάστημα όχι μικρότερο των 15 ημερών. Επιπλέον, θηλυκοί χοίροι με συγκεκριμένο σωματικό βάρος και χαμηλή περιεκτικότητα σε λίπος στην πλάτη τους έχουν μεγάλη πιθανότητα να απομακρύνονται από το υπόλοιπο κοπάδι. **Το σύνδρομο πρόπτωσης (prolapse syndrome)**, όπου το ποσοστό εμφάνισης ουρικής, κολπικής και πρωκτικής πρόπτωσης στους χοίρους από 1% το 2013 αυξήθηκε στο 3% το 2016. Τα αρνητικά αποτελέσματα μίας τέτοιας κατάστασης είναι η απευθείας ευθανασία των χοίρων και ως απόρροια αυτού του γεγονότος η απώλεια αγέννητων χοιριδίων. **Οι αρνητικές συμπεριφορές των χοίρων σε ομαδικό επίπεδο, όπως είναι το δάγκωμα της ουράς, των αυτιών ή των πλευρών τους.**

Τα προϊόντα που έχουν αναπτυχθεί για την επίλυση αυτών των προκλήσεων είναι τα ακόλουθα: **τα αποκαλούμενα force plates**, όπως είναι τα Matscan και SowSIS, και **τα αποκαλούμενα pressure-sensing mats**, όπως είναι το GaitFour, αλλά και **η εικονικοποίηση και τα επιταχυνσιόμετρα** που αναφέρθηκαν ήδη. Τα force plates έχουν αρκετές εφαρμογές, όπως είναι η καταγραφή της κατανομής πίεσης στα νύχια των χοίρων, η κατανομή του σωματικού βάρους σε όλα τα πόδια των θηλυκών χοίρων και η μετατόπιση του φορτίου και του βάρους των ποδιών τους. Από την άλλη πλευρά, το GaitFour καταγράφει τη μέγιστη πίεση, το μήκος των δρασκειών των χοίρων, το χρόνο ακινησίας και το χρόνο των δρασκειών τους, αλλά και τον αριθμό των αισθητήρων που υπάρχουν σε καθεμία πατούσα και των θηλυκών και των απογαλακτισμένων χοίρων. Σχετικά με την παρακολούθηση χοίρων σε κλίμακα μάντρας, συνοπτικά αναφέρεται ξανά η χρήση **τρισδιάστατων καμερών και μηχανικής μάθησης**, η χρήση **υπέρυθρης θερμογραφίας**, η χρήση **συσκευών ανίχνευσης ήχου** στους χοίρους, όπως είναι το Soundtalks, η **ζωντανή παρακολούθηση της σωματικής σύνθεσης των χοίρων** και **τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων**, όπως είναι το Remote Insights - Wireless Asset Management System.

Προκλήσεις παρ' όλα αυτά υπάρχουν όχι μόνο στην παρακολούθηση των χοίρων σε ένα αγρόκτημα, αλλά και σχετικά με τους ανθρώπους που προμηθεύονται κρέας από αυτά τα ζώα. Για αυτόν το λόγο, έχουν δημιουργηθεί **προγράμματα ασφάλειας των αγροκτημάτων**, τέτοια όπως το PQA Plus, ή το **blockchain**, μία τεχνολογία που παρακολουθεί την πορεία των τροφίμων σε όλες τις διαδικασίες της τροφικής αλυσίδας. Μία άλλη λύση που βοηθά στην ιχνηλασιμότητα των δεδομένων από αισθητήρες είναι τα **πλαίσια λογισμικού** όπως το IoF2020. Χρησιμοποιείται ένα χρηματοδοτούμενο από την Ευρωπαϊκή Ένωση έργο που συνδέει δεδομένα αισθητήρων από αγροκτήματα σε πραγματικό χρόνο με σημεία σφαγής των χοίρων για να ωφελήσει στη μεγαλύτερη δυνατή ευημερία τους, αλλά και να ενισχύσει τις στρατηγικές κέρδους των ανθρώπων από τις διαδικασίες παραγωγής. Άλλη ανησυχία έγκειται στην **προστασία των προσωπικών δεδομένων των αγροτών μέσω της κρυπτογράφησης τους**, γι' αυτό υπάρχει επιτακτική ανάγκη να θεσπιστούν συμφωνίες και πρότυπα μεταξύ των αγροτών και των ανθρώπων που προσφέρουν υπηρεσίες πληροφορικής. Ακόμα, μειονεκτήματα μπορούν να φανούν και στη **μειωμένη απορρόφηση των φορητών αισθητήρων**, καθώς έχει αναφερθεί ότι μόνο το 5% από το σύνολο αυτών έχει επικυρωθεί επιστημονικά, στο **αυξημένο κόστος της αγοράς και συντήρησης τεχνολογικών υποδομών και εξοπλισμών**, στη **χρονοβόρα απόκτηση δεξιοτήτων για την απόκτηση προσωπικού**, αλλά και στην **αστάθεια των υπαρχόντων δικτύων**, ειδικά σε αγροτικές περιοχές.

Τέλος, υπάρχουν ευκαιρίες ανάπτυξης της κτηνοτροφίας ακριβείας και αυτές αφορούν την **εξέλιξη του ανθρώπινου δυναμικού**, την **ευημερία των ζώων**, την **αποδοχή των πελατών** και την **ενίσχυση της γενικότερης εικόνας που έχουν οι ενδιαφερόμενοι για τη βιομηχανία των χοίρων**.

Στην επόμενη ενότητα περιγράφονται μελέτες σχετικά με την ανάλυση της ποιότητας του γάλακτος από τις αγελάδες με τεχνολογίες του Διαδικτύου των Πραγμάτων.

4.3 Ανάλυση της ποιότητας του γάλακτος από τις αγελάδες

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων έχει πολλές εφαρμογές στην κτηνοτροφία ακριβείας και ένα ακόμη παράδειγμα αυτού του γεγονότος είναι η ανάλυση των συστατικών του γάλακτος που παράγουν οι αγελάδες. Παρακάτω πραγματοποιείται στο άρθρο [10] μία συνοπτική ανάλυση της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται για την επίτευξη αυτού του σκοπού.

Για τη συγκεκριμένη ανάλυση του γάλακτος από αγελάδες εφαρμόζεται η φασματοσκοπία υπέρυθρου (Infrared Spectroscopy/IRS), η οποία αποτελεί μία άμεση, χαμηλού κόστους και εύκολη στη χρήση της τεχνολογία που βρίσκει έρεισμα και στην έρευνα και στην ανάλυση του ωμού γάλακτος. Οι δυσκολίες που πιθανώς να αντιμετωπίσει όποιος θέλει να ασχοληθεί με τη συγκεκριμένη ανάλυση είναι η μεγάλη ανομοιογένεια στο δείγμα που θα πάρει και η υψηλή συγκέντρωση σε νερό. Μία από τις καλύτερες και γρηγορότερες κατηγορίες φασματοσκοπίας υπέρυθρου που υπάρχουν και μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι η αποκαλούμενη φασματοσκοπία μέσης υπέρυθρης ακτινοβολίας (Mid-Infrared Spectroscopy/MIRS), η οποία μπορεί να αναλύσει μέχρι και 500 δείγματα την ώρα. Ωστόσο, οι συσκευές φασματοσκοπίας μέσης υπέρυθρης ακτινοβολίας χαρακτηρίζονται από το

μειονέκτημα ότι κοστίζουν πολύ και επομένως, οι συσκευές που χρησιμοποιούνται συνηθέστερα είναι της αποκαλούμενης φασματοσκοπίας κοντά στο υπέρυθρο (Near-Infrared Spectroscopy/NIRS) που μπορούν να εκτελούν μέχρι και 200 δείγματα την ώρα, αλλά είναι πολύ φθηνότερες (σχεδόν στο 1/20) σε σύγκριση με τις πρώτες και μπορούν να αναλύουν πάνω από ένα προϊόντα.

Στην αγορά κυκλοφορούν ήδη μικρο-NIRS όργανα που συνδυάζονται με εφαρμογές σε έξυπνα τηλέφωνα (smartphones) για να πραγματοποιούν ανάλυση του γάλακτος, η οποία είναι πολύ σημαντική για να παρέχει ανατροφοδότηση στους αγρότες έτσι ώστε να παρέχουν τις κατάλληλες τροφές στις αγελάδες. Επίσης, υπάρχει και ένα όριο σχετικά με την αναλογία λίπους και πρωτεϊνών, και αυτό κυμαίνεται μεταξύ 1.2 και 1.4 που υποδηλώνει θετική ισορροπία ενέργειας από τις αγελάδες, ενώ όταν η αναλογία λίπους-πρωτεϊνών είναι μεγαλύτερη από 1.4, αυτό υποδηλώνει αρνητική ισορροπία ενέργειας και όταν αυτή η αναλογία έχει τιμή 2, υπάρχει η πιθανότητα εμφάνισης υποκλινικής κέτωσης (subclinical ketosis).

Μία άλλη αξιολογητέα γνώση που θα πρέπει να κατέχουν οι αγρότες είναι η συσχέτιση μεταξύ του ποσού περιεκτικότητας πρωτεϊνών και ουρίας (urea) που δείχνει μία αναλογία μεταξύ της συγκέντρωσης πρωτεϊνών και της παροχής ενέργειας από τις τροφές. Η ουρία είναι από τους παράγοντες που αξιοποιούνται από τους διατροφολόγους για να μπορούν να βελτιώνουν τη θρέψη των πρωτεϊνών. Ένα πράγμα που επιδρά αρνητικά στη συγκέντρωση ουρίας στο γάλα είναι η μη ομοιόμορφη εξισορρόπηση αζώτου σε κάποιο αγρόκτημα και η ποσότητα της συγκέντρωσης αυτής είναι μεταξύ 18 και 39 mg/dL.

Με βάση τα προηγούμενα, γίνεται αντιληπτό ότι η μέθοδος της φασματοσκοπίας κοντά στο υπέρυθρο μπορεί να εφαρμοστεί σε όλες τις φάσεις της αλυσίδας παραγωγής γάλακτος από τις αγελάδες, δηλαδή από την άμεση πρόσληψή του σε ωμή μορφή από το αγρόκτημα, σε αναλύσεις ρουτίνας, αλλά και στην αξιολόγησή του στη δημιουργία προϊόντων από αυτό, όπως είναι το γιαούρτι και το τυρί. Μελέτες πάνω σε αυτό το θέμα έχουν ήδη διεξαχθεί, όπως μία όπου αναφέρεται στη βιβλιογραφία και περιλαμβάνει διεξαγωγή πειραμάτων σε μη ομογενοποιημένο γάλα κατά τη διαδικασία του αρμέγματος και πραγματοποιήθηκε συγκριτική επισκόπηση της απόδοσης της NIRS σε κυμαινόμενα μήκη κύματος από 400 ως 2500 nm και σε πυκνότητα δειγμάτων που κυμαινόταν από 1 ως 10 mm. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εκτέλεση αυτού του πειράματος έδειξαν ότι οι περιοχές φάσματος και η πυκνότητα του δείγματος παίζουν καθοριστικό ρόλο στον προσδιορισμό του λίπους και των πρωτεϊνών από το γάλα, αλλά δεν έδειξαν σημαντικά πράγματα σχετικά με τη λακτόζη. Τα καλύτερα αποτελέσματα προέκυψαν για περιοχή φάσματος μεταξύ 700 και 1100 nm, αλλά η μεγαλύτερη ακρίβεια ήταν στην περιοχή φάσματος μεταξύ 1100 και 2400 nm και με πυκνότητα δείγματος 1 mm. Μία διαφορετική μελέτη πέτυχε καλή πρόβλεψη της λακτόζης στο γάλα με εύρος μήκους κύματος από 600 ως 1050 nm, κατασκευάζοντας μοντέλα βαθμονόμησης για μετρήσεις λίπους, πρωτεϊνών, λακτόζης και αζώτου ουρίας από μη ομογενοποιημένο γάλα.

Σε μία τρίτη μελέτη, σε αυτόματα ρομπότ αρμέγματος (Automatic Milking Robots/AMRs) στα οποία προσαρμόστηκαν NIRS συστήματα πρόβλεψης, δεν υπήρχε καλή πρόβλεψη πολλών διαφορετικών παραμέτρων του γάλακτος. Σε άλλη μελέτη, πάνω σε αυτόματα ρομπότ αρμέγματος ενσωματώθηκε ένας NIRS ανιχνευτής που συνέλλεγε και

ανέλυε αυτόματα κάθε δείγμα γάλακτος και λήφθηκαν καλά αποτελέσματα από μετρήσεις λίπους και πρωτεϊνών, αλλά λιγότερο καλά αποτελέσματα από μετρήσεις λακτόζης. Συμπερασματικά, η περιοχή στην οποία γίνεται παράταξη αυτόματων ρομπότ αρμέγματος σε συνδυασμό με την προσθήκη της φασματοσκοπίας κοντά στο υπέρυθρο θα μπορούσε να κατανοηθεί και να εφαρμοστεί με μεγαλύτερη ακρίβεια στο μέλλον για έλεγχο του γάλακτος σε πραγματικό χρόνο και αυτόνομη παρακολούθηση της σύνθεσης του γάλακτος μετά από κάθε άρμεγμα.

Το ενδιαφέρον των αγροτών για την ανάλυση του γάλακτος των αγελάδων θα πρέπει να στραφεί και στο δείκτη συγκέντρωσης σωματιδίων κετόνης στο γάλα για να φανεί η ποσότητα εξισορρόπησης της αρνητικής ενέργειας σε αυτές. Για να προσδιοριστεί η συγκέντρωση αυτή, χρησιμοποιείται μία φασματοφωτομετρική μέθοδος που ονομάζεται φασματοσκοπία υπέρυθρου με μετασχηματισμό Fourier (Fourier transform infrared spectroscopy/FTIR) και εφαρμόζει το μεσο-υπέρυθρο φάσμα (mid-infrared spectrum). Μελέτες έχουν διεξαχθεί και αποδεικνύουν την ικανότητα που έχουν οι FTIR αναλύσεις ώστε να μετρούν την ακετόνη και το β-υδροξυβουτυρικό (β-hydroxybutyrate). Στη βιβλιογραφία προτάθηκε η ιδέα ότι η υποκλινική κέτωση είναι πολύ ευκολότερο να ανιχνευθεί στο γάλα απ' ό,τι στο αίμα και παρουσιάστηκε μεγάλη συσχέτιση μεταξύ της ακετόνης στο γάλα και στο αίμα, ενώ παρατηρήθηκε πολύ μικρή συσχέτιση του β-υδροξυβουτυρικού στο γάλα και στο αίμα. Αυτές οι FTIR αναλύσεις μπορούν να ενισχυθούν με την προσθήκη χαρακτηριστικών των αγελάδων με ευαισθησία στην υπερκετοναιμία (hyperketonemia). Με αυτόν τον τρόπο, θα αυξανόταν το επίπεδο πρόβλεψης του κινδύνου εμφάνισης υπερκετοναιμίας στις αγελάδες και θα βελτιστοποιούνταν η εκτροφή τους μειώνοντας τα κρούσματα με κέτωση.

Οι εφαρμογές της NIRS δεν περιορίζονται σε αυτές τις περιοχές, αλλά αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για να ελέγχει τα επίπεδα προγεστερόνης (progesterone) σε καθεμία αγελάδα ξεχωριστά και αυτό συμβάλλει στην εποπτεία της κατάστασης αναπαραγωγής τους, στην ανίχνευση θερμότητας και στη διάγνωση κύησης των αγελάδων. Μελέτη που έχει πραγματοποιηθεί έχει εξάγει πολύ αισιόδοξα αποτελέσματα σχετικά με την ικανότητα της NIRS να εντοπίζει τα επίπεδα προγεστερόνης για καθεμία αγελάδα και σε κάθε άρμεγμα. Παρ' όλα αυτά, αυτή η μέθοδος από μόνη της δεν είναι αρκετή για να προβλέψει σε ικανοποιητικό βαθμό την ωορρηξία, αλλά σε συνδυασμό με συστήματα ανίχνευσης του οίστρου, είναι ικανή να βρίσκει τις σωστές στιγμές θερμότητας. Σε μελέτη που διεξήχθη, έγινε χρήση της NIRS στις τρίχες των αγελάδων για να υπολογιστούν τα επίπεδα προγεστερόνης και κορτιζόλης σχετικά με την αναπαραγωγική κατάσταση και το στρες αντίστοιχα και τα αποτελέσματά της έδειξαν ικανοποιητική απόδοση της μέτρησης προγεστερόνης και κορτιζόλης.

Εν συνεχεία, θα πρέπει να αναφερθεί ότι το γάλα έχει πολλές τεχνολογικές ιδιότητες οι οποίες συνοψίζονται σε παραμέτρους: **χρόνος πήξης πυτιάς, χρόνος πήξης του τυροπήγματος, σταθερότητα του τυροπήγματος 30 λεπτά μετά την προσθήκη της πυτιάς στο γάλα, pH, τιτλοδοτήσιμη οξύτητα (titrable acidity),** όπως και **περιεχόμενα ασβεστίου και φωσφόρου.** Μέχρι στιγμής, αυτές οι τεχνολογικές ιδιότητες έχουν μελετηθεί μέσω της MIRS. Η NIRS αποδείχθηκε από μελέτη ότι προβλέπει καλύτερα από την MIRS την ύπαρξη μικροσυστατικών στο γάλα, τέτοιων όπως είναι τα καροτενοειδή (carotenoids), οι βιταμίνες και τα λιπαρά οξέα.

Όσον αφορά τώρα την ασφάλεια των τροφίμων, υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον στη χρήση της NIRS σαν τεχνολογία για να ανακαλύπτει περιπτώσεις νοθείας, δηλαδή προσθήκη νερού ή ορρού στο γάλα και προσθήκη μελανίνης, ουρίας ή γλυκόζης. Τα λιπαρά οξέα είναι ένας τρόπος για να διαχωριστεί το γάλα που προέρχεται από ποικίλα συστήματα, αλλά και ως διαβεβαίωση των θρεπτικών συστατικών του γάλακτος για την υγεία των ανθρώπων.

Τέλος, οι προκλήσεις που υπάρχουν και εμποδίζουν την παράταξη όλων των προαναφερόμενων τεχνολογιών είναι **τα έξοδα επένδυσης και η μακροχρόνια απόσβεση χρέους για την αγορά τους, η προχωρημένη ηλικία των περισσότερων κτηνοτρόφων και η έλλειψη χειρισμού ψηφιακών τεχνολογιών** γενικότερα. Τελευταίο μειονέκτημα που μπορεί να αναφερθεί είναι **η απουσία διαδικασιών βαθμονόμησης για την ερμηνεία των δεδομένων**.

Παρακάτω γίνεται αναφορά στη διαχείριση πληροφοριών από την εκτροφή πουλερικών με τη βοήθεια του Διαδικτύου των Πραγμάτων.

4.4 Διαχείριση πληροφοριών από την εκτροφή πουλερικών

Αναφέρθηκαν παραπάνω κάποιες εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων στην κτηνοτροφία ακριβείας. Σε αυτήν την ενότητα θα αναφερθεί η υλοποίηση συστημάτων για την παρακολούθηση και την επεξεργασία πληροφοριών από την εκτροφή πουλερικών, αρχικά από το άρθρο [11].

Το προτεινόμενο σύστημα αποτελείται από τρία επίπεδα, τα οποία είναι τα ακόλουθα (από το κατώτερο προς το ανώτερο επίπεδο): το αποκαλούμενο underlying layer ή αλλιώς bottom layer, το οποίο παρέχει εγκαταστάσεις υλικού στο κτίριο που βρίσκονται τα πουλερικά, μετά είναι το αποκαλούμενο data service layer ή αλλιώς middle layer και το ανώτερο επίπεδο που είναι το σύστημα διαχείρισης που αποτελείται από λογισμικό. Για την πιο αναλυτική περιγραφή του προαναφερόμενου συστήματος, το κατώτερο επίπεδο περιλαμβάνει αισθητήρες περιβάλλοντος, Wi-Fi συσκευές και μικροϋπολογιστές για να αποθηκεύουν και να μεταδίδουν έγκαιρα πληροφορίες από το περιβάλλον αλλά και πληροφορίες για την κατάσταση της υγείας των πουλερικών ξεχωριστά (όπως για το σωματικό βάρος τους, για την πρόσληψη τροφής, για την πρόσληψη πόσιμου νερού, για την ποιότητα των αυγών που γεννούν τα πουλερικά). Οι εξοπλισμοί που χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση της υγρασίας και της θερμοκρασίας στα κτίρια των πουλερικών είναι ανεμιστήρες εξαερισμού, εξατμιστικά τακάκια ψύξης και άλλοι. Στο μεσαίο επίπεδο, μία cloud βάση δεδομένων αποθηκεύει δεδομένα από το κατώτερο και το υψηλότερο επίπεδο και παρέχει υποστήριξη για την υλοποίηση ενός αποδοτικού δικτύου επικοινωνιών και για την υποστήριξη του server. Το ανώτερο επίπεδο προσφέρει οπτική διεπαφή και χωρίζεται σε τέσσερις υποκατηγορίες: το office automation module, το production management module, το expert system και το traceability module. Παραπάνω περιγράφηκε η αρχιτεκτονική του προτεινόμενου συστήματος για την παρακολούθηση δεδομένων σχετικά με την εκτροφή πουλερικών. Όσον αφορά τη μετάδοση των δεδομένων που παράγονται από τους αισθητήρες μεταξύ αυτού και του κτιρίου στέγασης των πουλερικών, αυτή πραγματοποιείται με ενσύρματο δίκτυο επικοινωνιών, όπως είναι το fieldbus. Παρ' όλα αυτά, το τοπικό δίκτυο

του κτιρίου εφαρμόζει μία υβριδική σύνδεση ασύρματης επικοινωνίας και επικοινωνίας με καλωδιακές γραμμές. Από τις τεχνολογίες για επίτευξη ασύρματης επικοινωνίας στη συγκεκριμένη μελέτη επιλέγεται το Wi-Fi εξαιτίας της ταχύτητας με την οποία μεταδίδονται τα δεδομένα και της απόστασης που καλύπτει για τη μετάδοσή τους. Σχετικά με τον τρόπο αποθήκευσης που συλλέγονται από τις διαφορετικές συσκευές που παρατάσσονται, επιλέγεται η βάση δεδομένων Alibaba Cloud Database RDS με καλή διεπαφή χρήστη και πολλά εργαλεία ανάλυσης. Η συγκεκριμένη βάση δεδομένων δημιουργεί διαγράμματα οντοτήτων-συσχετίσεων (Entity-Relationship/E-R diagrams), λεξικά δεδομένων και δεδομένα από δοκιμές κατά την ανάπτυξη της βάσης δεδομένων, της οποίας η έκδοση είναι η MySQL 5.7. Εκτός όμως από αυτές τις λειτουργίες, η βάση δεδομένων επιτελεί και άλλες λειτουργίες, όπως είναι ο σχεδιασμός της λογικής δομής του συστήματος, της ανάλυσης απαιτήσεών του, την κατασκευή των πινάκων των οντοτήτων του προτεινόμενου συστήματος και την επιλογή των σχέσεων πρωτεύοντων και ξένων κλειδιών που έχουν οι οντότητες στους πίνακες αυτούς. Προκειμένου οι χρήστες του συστήματος να έχουν πρόσβαση στην εσωτερική διεύθυνση του δικτύου, χρησιμοποιείται ο Alibaba Cloud Server που χαρακτηρίζεται από απλή εγκατάσταση και μεγάλη ταχύτητα ανάγνωσης. Για την πρόσβαση στην εξωτερική διεύθυνση του δικτύου, οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιήσουν το Διαδίκτυο και εφόσον αυτοί αποκτούν τα απαραίτητα δικαιώματα για πρόσβαση στη βάση δεδομένων, μπορούν να την επεξεργαστούν, δηλαδή να προσθέσουν, να αφαιρέσουν ή να αλλάξουν δεδομένα της. Η μνήμη της βάσης δεδομένων έχει μέγεθος 1 GB, ο επεξεργαστής είναι μονοπύρηνος, η μνήμη αποθήκευσης έχει μέγεθος 20 GB και ο μέγιστος αριθμός συνδέσεων που μπορούν να πραγματοποιηθούν είναι 2000. Επιπρόσθετα, για να κατασκευαστεί το σύστημα διαχείρισης, επιλέχθηκε η γλώσσα προγραμματισμού C++, η τελευταία έκδοση του πλαισίου λογισμικού Qt5 ως βιβλιοθήκη υποστήριξης ανοιχτού κώδικα και το ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης Qt Creator. Όσον αφορά τα modules στα οποία χωρίζεται το σύστημα διαχείρισης, το production management module παρέχει πληροφορίες παρακολούθησης της ανάπτυξης των πουλερικών, των συνθηκών περιβάλλοντος στα οποία μεγαλώνουν αυτά και τη διαχείριση της παραγωγής. Το office management module διεκπεραιώνει κατά κύριο λόγο διαχείριση του προσωπικού και των οικονομικών στοιχείων, αλλά και τις διαδικασίες τιμολόγησης. Το expert system module περιλαμβάνει συνδυαστικές τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης (εξόρυξη δεδομένων) και μηχανικής μάθησης. Αυτές οι τεχνολογίες εφαρμόζονται για να αναλυθεί το σχήμα των αυγών από τα πουλερικά, για να βοηθήσουν στην κατασκευή προτύπων για την εκτροφή των πουλερικών, προτάσεων για αναπαραγωγή τους, για αναλύσεις του ποσοστού θνητότητάς τους και άλλα. Τέλος, αυτές οι τεχνολογίες μπορούν να βοηθήσουν στη διάγνωση ασθενειών στα πουλερικά και μέσω αναλύσεων με ήχο και εικόνες σε αυτά, αποτελούν ένα σύστημα προειδοποιητικών ειδοποιήσεων για τους αγρότες. Και τα τέσσερα αυτά modules μπορούν να δουλεύουν ανεξάρτητα το ένα από το άλλο και να μεταδίδουν πληροφορίες το ένα στο άλλο. Ακόμα, το σύστημα αποτελείται από ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, τα οποία με τη σειρά τους ελέγχουν τερματικούς κόμβους. Οι τερματικοί κόμβοι ξεχωριστά αναζητούν και συνδέονται αυτόματα στα δίκτυα αυτά, μέσω εντολών τεχνητής νοημοσύνης. Με το που συνδεθεί κάποιος τερματικός κόμβος σε δίκτυο αισθητήρων, έχει τη δυνατότητα να πληροφορηθεί σχετικά με τις IP διευθύνσεις του server και της συσκευής και μπορεί να μεταδώσει διαφανώς δεδομένα με

UDP. Με σκοπό να αποκτηθούν και να επεξεργαστούν οι πληροφορίες που συλλέγονται και καταγράφονται από τους τερματικούς κόμβους, αντί για έναν server στο κτίριο των πουλερικών, στη συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκε ένας βιομηχανικός προσωπικός υπολογιστής (Industrial Personal Computer/IPC) που έχει καλύτερη προστασία από νερό, σκόνη και πιο βελτιωμένους μηχανισμούς αντι-παρεμβολών συγκριτικά με έναν server δεδομένων, όπως και μακροχρόνια και χωρίς διακοπές λειτουργία. Ως server στο κτίριο στέγασης των πουλερικών χρησιμοποιείται ένας υπολογιστής βιομηχανικού ελέγχου (Industrial Control Computer/ICC). Τέλος, αναπτύσσονται και εφαρμόζονται προγράμματα στο server με σκοπό να επεξεργαστούν τα δεδομένα από τους τερματικούς κόμβους και να επιτευχθεί αποτελεσματική διεύθυνση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Ένας από τους τερματικούς κόμβους που υπάρχει στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι και η μονάδα ανίχνευσης περιβαλλοντικών πληροφοριών (Environmental Information Sensing Unit/EISU), η οποία αποτελείται από αισθητήρες υγρασίας και θερμοκρασίας, αισθητήρες συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα, αισθητήρες συγκέντρωσης υδρόθειου (hydrogen sulfide), αισθητήρες πυκνότητας φωτός, αισθητήρες ταχύτητας του ανέμου και άλλους. Η EISU συνδυάζεται με μικροεπεξεργαστή και με εξάρτημα ασύρματης μετάδοσης. Οι αισθητήρες αυτοί επικοινωνούν με το δίκτυο δεδομένων του μικροεπεξεργαστή με το πρωτόκολλο I2C (Inter-Integrated Circuit) για την αποστολή των δεδομένων τους και έπειτα ο μικροεπεξεργαστής θα πρέπει να μετατρέψει σε πακέτα τα συλλεχθέντα δεδομένα με την εκάστοτε απαιτούμενη μορφή και με το εξάρτημα ασύρματης μετάδοσης θα πρέπει να τα ανεβάσει στο server του κτιρίου στέγασης των πουλερικών. Στο τέλος, ο server ανεβάζει τα πακεταρισμένα δεδομένα στη βάση δεδομένων. Ένα άλλο θέμα που είναι άξιο αναφοράς είναι ότι για την επικοινωνία των τερματικών κόμβων και του server απαιτείται η εγκαθίδρυση σύνδεσης ένα-προς-πολλά. Η επικοινωνία αυτή πραγματοποιείται μέσω του πακεταρίσματος στους τερματικούς κόμβους των δεδομένων που προέρχονται από τους αισθητήρες και με την αποστολή μηνυμάτων με τεχνολογία sockets στην IP διεύθυνση και στον αριθμό θύρας του server. Εκεί, κατάλληλο πρόγραμμα κατεβάζει τα πακέτα δεδομένων, τα διαχωρίζει με την εκάστοτε μορφοποίηση μετάδοσης και εκτελεί SQL statements για να τα ανεβάσει στη βάση δεδομένων. Εκτός από αυτά τα εξαρτήματα, υπάρχει και η μονάδα διαχείρισης περιβαλλοντικών πληροφοριών (environmental information management module) που δημιουργεί αιτήματα, εκτελεί SQL queries στη βάση δεδομένων και εμφανίζει τα επεξεργασμένα δεδομένα από τους αισθητήρες. Ένα διαφορετικό εξάρτημα στο προτεινόμενο σύστημα είναι η μονάδα παρακολούθησης ασθενειών πουλερικών (poultry disease monitoring module) που αποτελεί ένα μέσο πρώιμων ειδοποιήσεων για ανίχνευση ασθενειών στα πουλερικά και γενικότερα για την κατάσταση της υγείας τους μέσω της επεξεργασίας ηχητικών και βιντεοσκοπημένων δεδομένων παρακολούθησης. Μπορεί ακόμα να παρακολουθεί τις συνθήκες περιβάλλοντος των πουλερικών, πληροφορίες σχετιζόμενες με την ανάπτυξη αυτών των ζώων και πληροφορίες σχετιζόμενες με την πρόσληψη τροφών και νερού από αυτά. Τέλος, η καταγραφή και η ανάλυση της συμπεριφοράς των πουλερικών επιτυγχάνεται με αλγόριθμους βαθιάς μάθησης.

Η παραπάνω ανάλυση του συστήματος παρακολούθησης των δραστηριοτήτων των πουλερικών φαίνεται να είναι μία αποτελεσματική τεχνική, αλλά προκαλεί και την εμφάνιση ανοιχτών θεμάτων για έρευνα και επίλυση, τέτοιων όπως είναι **οι τρόποι με τους οποίους θα**

κατασκευαστεί το υλικό και η δικτύωση των εμπλεκόμενων συσκευών, οι τρόποι κατασκευής της απαιτούμενης βάσης δεδομένων και επικοινωνίας με τον server ή άλλους εξοπλισμούς και οι δυσκολίες στην κατασκευή του λογισμικού που θα χρησιμοποιούν οι πελάτες ενός τέτοιου συστήματος. Άλλες ανοιχτές προκλήσεις που υπάρχουν με την υλοποίηση του συστήματος αυτού είναι η μελέτη για τους τρόπους μορφοποίησης των δεδομένων, η ανακάλυψη του πιο κατάλληλου για ανταλλαγή δεδομένων πρωτοκόλλου, του ρυθμού με τον οποίο χάνονται πακέτα κατά τη μετάδοσή τους και η επιλογή των καλύτερων στρατηγικών που θα ακολουθούνται σε περιπτώσεις δυσλειτουργίας του δικτύου. Άλλο θέμα που απαιτεί επίλυση είναι η μελέτη των περιβαλλοντικών συνθηκών μέσα στις οποίες εκτρέφονται τα πουλερικά και ειδικότερα η ποσότητα των αέριων στοιχείων που συγκεντρώνεται στην ατμόσφαιρα των περιβαλλόντων χώρων. Πολύ σημαντική περιοχή έρευνας είναι ακόμα η επεξεργασία και η ανάλυση του τεράστιου όγκου δεδομένων από τη λειτουργία των διαφορετικών εξαρτημάτων του συγκεκριμένου συστήματος.

Για την αποτελεσματική εκτροφή των πουλερικών, προτείνεται και ένα επιπρόσθετο σύστημα που αναφέρεται στο άρθρο [21] και κάνει χρήση της πλατφόρμας Poultry Chain Management που είναι βασισμένη στο cloud και υποστηρίζεται από ανοιχτά πρότυπα που αναλαμβάνουν τη συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων χωρίς κινδύνους ασφαλείας. Η συγκεκριμένη πλατφόρμα αποτελείται από τέσσερα στάδια: το πρώτο στάδιο αποτελείται από τον προσδιορισμό των πηγών άντλησης δεδομένων, όπως αισθητήρων που μετρούν διάφορες παραμέτρους μέσα στο αγρόκτημα ή από βραχιόλια καρπού που μετρούν τους τρόπους με τους οποίους οι παρατεταγμένοι χειριστές μεταχειρίζονται τα ζώα. Το δεύτερο στάδιο είναι η απόκτηση των δεδομένων, για την πραγματοποίηση της οποίας χρησιμοποιείται το FIWARE Orion Context Broker που επιτρέπει την εκτέλεση εγγραφών, ερωτημάτων, ενημερώσεων και συνδρομών. Για τη διατήρηση ασφαλείας της πλατφόρμας χρησιμοποιείται το FIWARE Keyrock που επιτρέπει την αυθεντικοποίηση και την εξουσιοδότηση αποστολής δεδομένων στο Orion Context Broker και βασίζεται στο OpenStack Keystone, το οποίο παρέχει λειτουργίες αυθεντικοποίησης προγραμματιστικών διεπαφών των εφαρμογών και εξουσιοδότησης multi-tenant. Η τελευταία αναφερόμενη υπηρεσία χρησιμοποιεί την προγραμματιστική διεπαφή Identity του OpenStack και το OpenStack Horizon που παρέχουν διεπαφή χρήστη στο OpenStack Keystone. Μία άλλη τεχνολογία για παροχή ασφαλείας είναι το FIWARE PEP Proxy που συνδυάζεται με το FIWARE Keyrock εγκαθιστώντας φίλτρα αυθεντικοποίησης και εξουσιοδότησης. Τέλος, χρησιμοποιούνται τα FIWARE IoT Agent που συλλέγει τα δεδομένα από τους αισθητήρες περιβάλλοντος, περιλαμβάνει το Mosquitto MQTT Broker και τα αποστέλλει στην πλατφόρμα, αλλά και ο server Apache Tomcat για να αποθηκεύει σημαντικά αρχεία σε δομές αρχείων και να λαμβάνει δεδομένα από πηγές για να τα αποστέλλει επίσης στην πλατφόρμα. Το τρίτο στάδιο της πλατφόρμας είναι η επεξεργασία των δεδομένων, κατά την οποία χρησιμοποιείται ο FIWARE Cygnus Agent ο οποίος επεξεργάζεται και αποθηκεύει τα δεδομένα σε συγκεκριμένο αποθηκευτικό χώρο. Όπως γίνεται κατανοητό, το τελευταίο στάδιο της τρέχουσας πλατφόρμας είναι η αποθήκευση των δεδομένων και σε αυτό τα δεδομένα αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων MongoDB και σε μία δομή αρχείων που περιλαμβάνει αρχεία καταγραφής που δεν είναι σημαντικά για το Orion

Context Broker. Σχετικά τώρα με την αλυσίδα παραγωγής πουλερικών, στο συγκεκριμένο σύστημα χωρίζεται σε τέσσερα επίσης στάδια: το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει την εκτροφή των πουλερικών, τα οποία καταφθάνουν στο αγρόκτημα 3 εβδομάδες μετά από την εκκόλαψη τους και χρησιμοποιούνται 7 εβδομάδες προκειμένου να αποκτήσουν το απαιτούμενο μέγεθος και να τηρούν τα αναγκαία χαρακτηριστικά. Αυτή η πλατφόρμα που χρησιμοποιείται σύμφωνα με το έργο IoF2020, περιλαμβάνει κανόνες που καθορίζονται από τους αγρότες σχετικά με την εκτροφή των πουλερικών. Τα δεδομένα στο συγκεκριμένο στάδιο προέρχονται όπως αναφέρθηκε ήδη από αισθητήρες περιβάλλοντος που καταγράφονται ανά 30 δευτερόλεπτα και αυτοί υπολογίζουν τιμές σχετικές με την θερμοκρασία, την υγρασία και τη φωτεινότητα, αλλά και επίπεδα αμμωνίας και διοξειδίου του άνθρακα. Έπειτα, τα δεδομένα αποστέλλονται μέσω ενός ασυρμάτου δικτύου πολλαπλών βημάτων σε μία πύλη δικτύου στο δωμάτιο ελέγχου και από εκεί αποστέλλονται στο Mosquitto MQTT Broker και στο τέλος στο Orion Context Broker. Υπάρχει επίσης ένα σύστημα διαχείρισης αγροκτημάτων που καταγράφει δεδομένα τα οποία αποθηκεύονται σε κεντροποιημένη βάση δεδομένων και μία εφαρμογή Visual Basic που αποστέλλει τα δεδομένα αυτά στο FIWARE PEP Proxy, το οποίο τα αυθεντικοποιεί και εξουσιοδοτεί προωθώντας τα στο Orion Context Broker. Τελευταία δεδομένα που αποστέλλονται στο Orion Context Broker είναι μετεωρολογικά δεδομένα από μία ιστοσελίδα. Στο δεύτερο στάδιο, επιτελείται η φόρτωση των πουλερικών σε φορτηγά, η οποία παρακολουθείται από βραχιόλια καρπού τα οποία αργότερα αποστέλλονται στο σφαγείο και εκεί κάποιος ελεγκτής τα συνδέει στη θύρα USB ενός προσωπικού υπολογιστή και τα αποθηκευμένα δεδομένα υφίστανται επεξεργασία μέσω του λογισμικού Open Movement GUI/OMGUI. Μετέπειτα, τα εκ των προτέρων μετατρεπόμενα σε αρχεία δεδομένα από το OMGUI αποστέλλονται στην πλατφόρμα μέσω του WeTransfer και οι διαχειριστές της πλατφόρμας τα μεταφέρουν σε δομή αρχείων για μελλοντική χρήση. Προχωρώντας στο τρίτο στάδιο της αλυσίδας παραγωγής των πουλερικών της συγκεκριμένης μελέτης, αυτό περιλαμβάνει τη μεταφορά των ζώων στο σφαγείο, κατά την οποία εγκαθίστανται αισθητήρες μεταφοράς στα φορτηγά που υπολογίζουν τις ίδιες παραμέτρους όπως οι αισθητήρες περιβάλλοντος που αναφέρθηκαν παραπάνω. Μόλις τα φορτηγά φτάσουν στο σφαγείο, οι αισθητήρες μεταφοράς αποστέλλουν τα δεδομένα τους με ασύρματο δίκτυο στην πύλη δικτύου και μετέπειτα στο Mosquitto MQTT Broker, στο Orion Context Broker και μετέπειτα στη βάση δεδομένων MongoDB. Τελευταίο στάδιο αυτής της αλυσίδας παραγωγής είναι οι διαδικασίες που επιτελούνται στο σφαγείο, στο οποίο τα πουλερικά αρχικά σφάζονται και βυθίζονται σε καυτό νερό για να αφαιρεθούν τα φτερά τους και αργότερα αφαιρείται το εσωτερικό τους και ξαναπλένονται. Στο τέλος, τα νεκρά πουλερικά ταξινομούνται σύμφωνα με την ποιότητα και το σωματικό βάρος τους, υφίστανται πάγωμα και αποστέλλονται για πακετάρισμα. Τα δεδομένα από το συγκεκριμένο στάδιο αποθηκεύονται σε αρχείο Excel και αποστέλλεται μία φορά/εβδομάδα στους διαχειριστές της πλατφόρμας, μέσα στη δομή αρχείων της οποίας αποθηκεύεται.

Για τη δοκιμή αυτού του συστήματος, δημιουργήθηκαν τιμές Key Performance Indicators/KPIs για καθένα στάδιο της αλυσίδας παραγωγής σχετικά με τα πουλερικά. Για το στάδιο εκτροφής των πουλερικών, τα KPIs που καταγράφηκαν μαζί με τις αντίστοιχες τιμές τους ήταν: Temperature Warning - 18.31%, Temperature Alarm - 34.48%, Alert Situation -

7.89%, Danger Situation - 5.62% και Emergency Situation - 68.3%. Για το στάδιο φόρτωσης των πουλερικών στα φορτηγά, τα KPIs που καταγράφηκαν μαζί με τις αντίστοιχες τιμές τους ήταν: Saturation Rate - 0.98, Mean Accumulation - 121.67, και Standard Deviation - 48.99. Για το στάδιο μεταφοράς των πουλερικών στο σφαγείο, τα KPIs που καταγράφηκαν μαζί με τις αντίστοιχες τιμές τους ήταν: Low Temperature - 0%, High Temperature - 0%, Low Relative Humidity - 0%, High Relative Humidity - 17% και Abrupt Movements - 9.32%. Για το στάδιο καθορισμού της ποιότητας των πουλερικών στο σφαγείο, τα KPIs που καταγράφηκαν μαζί με τις αντίστοιχες τιμές τους ήταν: Weight Range - 3.42 Kg, Farm Weight - 3.42 Kg, Total Hematoma - 23, Broken Wing - 21, Hematoma Wings - 11, Hematoma Armpit - 0, Breast - 12, Broken Bones - 9, Overscalded - 0, Bad Extraction Viscera - 1, Bad Plucked - 0, Bad Wash - 0, Scab - 0, Crops - 0, Knuckles - 0, Dead in transport - 3, Confiscated - 8, Numbers of chickens - 5040 και Meat Quality - A.

Ανοιχτά θέματα προς επίλυση στο μέλλον είναι η **αυτοματοποίηση των δεδομένων στο στάδιο της σφαγής των ζώων και η ύπαρξη ενός μοναδικού αποθηκευτικού χώρου**, όπως με την κατασκευή διεπαφής με μία φόρμα προς συμπλήρωση, με σκοπό μετά να συμπληρωθούν τα KPIs από τους ανθρώπους που διαχειρίζονται το σφαγείο και να τα αποστέλλουν στην πλατφόρμα, αλλά και η **προσθήκη νέων KPIs σχετικών με παραμέτρους ευημερίας των πουλερικών και τέλος, η λειτουργία του προαναφερόμενου συστήματος έχοντας τις λιγότερες δυνατές απαιτήσεις υλοποίησης.**

Στην ακόλουθη ενότητα περιγράφονται τρόποι με τους οποίους το Διαδίκτυο των Πραγμάτων μπορεί να βοηθήσει στην παρακολούθηση των ζώων σε ένα αγρόκτημα.

4.5 Παρακολούθηση των ζώων

Οι εφαρμογές όπου το Διαδίκτυο των Πραγμάτων μπορεί να παραταχθεί με τις τεχνολογίες του στην κτηνοτροφία ακριβείας είναι πολλές και ποικίλουν. Στη μελέτη από το άρθρο [12] που ακολουθεί, συζητάται η παρακολούθηση των ζώων σε ένα αγρόκτημα.

Μία από τις σημαντικότερες **πλατφόρμες που αποτελούν IoT πύλες δικτύου** είναι το **OneM2M**, το οποίο παρέχει αξιοπιστία, αποτελεσματικότητα και ασφάλεια για τη λειτουργία υπηρεσιών IoT ή M2M. Αυτό μπορεί να υποστηρίζει πολλά πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται για εφαρμογές, όπως είναι τα HTTP, CoAP και MQTT και τεχνολογίες επικοινωνιών, όπως είναι τα ZigBee, Bluetooth, Wi-Fi και τα κυψελωτά δίκτυα. Το OneM2M υποστηρίζει επίσης πρωτόκολλα για κανονικοποίηση λειτουργιών διαχείρισης, όπως είναι τα OMA-DM και BBF TR-069. Επιπρόσθετα, η εταιρεία Intel προσφέρει μία πύλη δικτύου με υποστήριξη των πρωτοκόλλων MQTT, WiFi, εικονικού ιδιωτικού δικτύου (Virtual Private Network/VPN), Bluetooth, ZigBee και κυψελωτών τεχνολογιών. Μία άλλη τεχνολογία, η **SmartM2M**, υποστηρίζει τα πρωτόκολλα HTTP, CoAP, ZigBee, Bluetooth, Wi-Fi και κυψελωτών τεχνολογιών. Μία τελευταία τεχνολογία, η **Lightweight M2M/LWM2M**, υποστηρίζει τα πρωτόκολλα CoAP και IPv6 over Low-power Wireless Personal Area Network (6LoWPAN).

Βέβαια, εκτός από τις προαναφερόμενες τεχνολογίες, υπάρχουν και **πλατφόρμες-συστήματα για την παρακολούθηση των ζώων**, με πιο διαδεδομένα τα **GNSSs** και **GPS**. Όσον αφορά τις πλατφόρμες, κάποια παραδείγματα αυτών είναι η **αυστραλιανή πλατφόρμα OzTrack**, η οποία παρέχει τη δυνατότητα του ανεβάσματος καταγεγραμμένων δεδομένων από GPS, η **πλατφόρμα e-Pasto** που παρέχει εφαρμογή παρακολούθησης των βοσκούμενων σε βουνά βοοειδών και το **Digitanimal** που αποτελείται από GPS συσκευές για την παρακολούθηση διαφορετικών ειδών ζώων. Επειδή όμως αυτές οι πλατφόρμες περιορίζονται μόνο στην παρακολούθηση της κτηνοτροφίας, έχουν υλοποιηθεί και **τεχνολογίες-πλατφόρμες για να υποστηρίξουν την εικονική περιήραξη των ζώων**, όπως είναι το **eShepherd**, το οποίο χρησιμοποιείται σε βοσκούμενες αγελάδες και η **πλατφόρμα NoFence**, η οποία χρησιμοποιείται για κατσίκες. Όσον αφορά την **παρακολούθηση της συμπεριφοράς και γενικότερα των δραστηριοτήτων των ζώων**, μπορούν να χρησιμοποιηθούν **τριαξονικά επιταχυνσιόμετρα** και τα συλλεγμένα δεδομένα μπορούν να αναλυθούν με αλγορίθμους μηχανικής μάθησης. Δύο άλλες εμπορικές εφαρμογές που εξειδικεύονται στην παρακολούθηση των αγελάδων για να εξυπηρετήσουν αντίστοιχες διαδικασίες σε αυτές είναι τα **CowScout** και **Cowlar**.

Εν συνεχεία, προτείνεται ένα σύστημα που ονομάζεται **SheepIt** και αποτελείται από δύο κομμάτια. Το πρώτο κομμάτι είναι ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων που παρακολουθεί την υγεία και τις συμπεριφορές των προβάτων και αργότερα μπορεί να στείλει τα καταγεγραμμένα δεδομένα στο χρήστη. Το δεύτερο κομμάτι είναι η πλατφόρμα όπου πραγματοποιούνται διάφοροι υπολογισμοί και διαμεσολαβούνται μηνύματα και εκεί όπου τα δεδομένα των αισθητήρων αναλύονται, αποθηκεύονται και εμφανίζονται.

Προχωρώντας σε μεγαλύτερη ανάλυση του συστήματος, το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων περιλαμβάνει κινητούς κόμβους για να πραγματοποιηθεί παρακολούθηση της κτηνοτροφίας και σταθερούς κόμβους για τη λειτουργία αισθητήρων και μετεωρολογικών σταθμών. Τα δεδομένα που συλλέγονται από τις συσκευές μπορούν να υπάρχουν είτε τοπικά, είτε να διανεμηθούν στο τρέχον δίκτυο με ραδιο-πομποδέκτη (radio transceiver). Ακόμα, οι ραδιοφάροι (beacons) και οι σταθεροί κόμβοι του συστήματος έχουν διπλό ρόλο, επειδή λειτουργούν και ως δημιουργοί των αισθητήρων και ως συσκευές δικτύωσης. Η λειτουργία τους δεν περιορίζεται μόνο σε αυτούς τους τομείς, αλλά αναμεταδίδουν και τα δεδομένα σε γειτονικούς τους ραδιοφάρους, έτσι ώστε αυτά να μεταδοθούν στις πύλες δικτύου. Ένα άλλο χρήσιμο χαρακτηριστικό τους είναι ότι ελέγχουν αν το δίκτυο είναι ανά πάσα χρονική συγχρονισμένο. Σχετικά με τις επικοινωνίες M2M που εκτελεί το σύστημα, αυτές επιτυγχάνονται με μία στοίβα πρωτοκόλλων τεσσάρων επιπέδων, η οποία αποτελείται με την ακόλουθη σειρά από το κατώτερο προς το ανώτερο επίπεδό της: φυσικό επίπεδο, MAC επίπεδο, επίπεδο μεταφοράς και επίπεδο εφαρμογών. Ειδικότερα για το φυσικό επίπεδο, στη συγκεκριμένη εργασία αποτελείται από ραδιο-πομποδέκτες (radio transceivers) που λειτουργούν στα 433 MHz, στην οποία αργότερα προστέθηκε και η επιλογή λειτουργίας τους στα 868 MHz. Στο MAC επίπεδο ακολουθεί η αρχιτεκτονική Time-Triggered που υποδηλώνει ότι οι διεργασίες εκτελούνται χάρη σε έναν προκαθορισμένο προγραμματισμό. Όσον αφορά τις επικοινωνίες που διαδραματίζονται, είναι βασισμένες στο TDMA (Time Division Multiple Access), προκειμένου να αποφευχθούν στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό

απώλειες πακέτων και συγκρούσεις και να σπαταληθεί ενέργεια από επαναμεταδόσεις πακέτων και εύρος ζώνης. Αυτές οι επικοινωνίες είναι σποραδικές και βασισμένες στο CSMA (Carrier Sense Multiple Access), το οποίο εφαρμόζεται όταν οι συσκευές εγγράφονται σε δίκτυο. Μία συγκεκριμένη διεργασία που πραγματοποιείται στο σύστημα είναι η δημιουργία και η λειτουργία μίας ακολουθίας μικρο-κύκλων που μετατρέπεται σε έναν μακρο-κύκλο που επαναλαμβάνεται ανά χρονικές στιγμές. Οι τύποι αυτών των μικροκύκλων είναι οι: Pairing Request για τη ζεύξη των συσκευών, Collar-to-Beacon/C2B για την επικοινωνία των κινητών κόμβων (κολάρων) και Beacon-to-Beacon/B2B για τις καθυστερήσεις μεταξύ των ραδιοφάρων. Αυτοί οι μικρο-κύκλοι αποτελούνται από παράθυρο συγχρονισμού, στο οποίο οι ραδιοφάροι στέλνουν ένα μήνυμα συγχρονισμού με την ταυτότητά τους και τον τύπο των μικρο-κύκλων. Μετά από το παράθυρο συγχρονισμού, υπάρχει το παράθυρο turn around που προμηθεύεται και επεξεργάζεται τα δεδομένα από τους αισθητήρες και συμβάλλει στην προετοιμασία των κατάλληλων εργασιών. Τελευταίο παράθυρο του πλαισίου δομής των μικρο-κύκλων είναι το παράθυρο variable traffic-type όπου πραγματοποιούνται οι επικοινωνίες.

Εκτός από αυτά τα συστατικά μέρη, υπάρχει και ένας διαχειριστής δικτύου και η πύλη δικτύου θα πρέπει να παίρνει τις απαραίτητες αποφάσεις έτσι ώστε να αποβάλλει από το δίκτυο δυσλειτουργικές συσκευές και να ανιχνεύει ζώα που χάνονται. Για αυτό το σκοπό, επιστρατεύεται ένας μικρο-κύκλος βασισμένος στο CSMA, όπου οι κινητοί κόμβοι (τα κολάρια) αποστέλλουν ένα Registration Request που περιέχει το σειριακό τους αριθμό και χαρακτηριστικά ταυτοποίησης των ζώων και αυτό μεταδίδεται κατά μήκος του δικτύου μέχρι την πύλη δικτύου. Έπειτα η πύλη δικτύου επικυρώνει το Registration Request και αποστέλλει ένα Registration Reply με το σειριακό αριθμό του κολάρου και την ταυτότητα του δικτύου. Από την άλλη πλευρά, υπάρχει και ο διαχειριστής δρομολόγησης που επιλύει θέματα δρομολόγησης μηνυμάτων μεταξύ των ραδιοφάρων, αλλά και ο διαχειριστής ασφάλειας που ελέγχει ότι επιτρέπονται δεδομένα μόνο από πιστοποιημένες συσκευές. Για το σκοπό αυτό, προσαρτάται ένας συγκεκριμένος κωδικός σε όλα τα μηνύματα, όπου η τιμή που περιέχουν υπολογίζεται από τις συσκευές για την αποδοχή ή την απόρριψή τους.

Σχετικά με την πύλη δικτύου, η βασικότερη ευθύνη που αναλαμβάνει το συγκεκριμένο στοιχείο είναι η προώθηση δεδομένων μεταξύ τριών μερών, του ασύρματου δικτύου αισθητήρων, της πλατφόρμας υπολογισμών και της διεπαφής χρήστη. Για την πραγματοποίηση αυτής της εργασίας απαιτείται η αποκωδικοποίηση των πλαισίων των δεδομένων, η αποθήκευσή τους σε βάση δεδομένων και τελικά η ανάκτησή τους και η αποστολή τους στις διεπαφές. Η δικτυακή πύλη όμως δεν έχει αποκλειστικά μόνο την προαναφερόμενη αρμοδιότητα, αλλά η παρουσία της φαίνεται και σε άλλες περιοχές. Ειδικότερα, ενεργοποιεί συναγερμούς όταν αντιλαμβάνεται μη φυσιολογικά περιστατικά στα ζώα μέσω της επεξεργασίας δεδομένων από αυτά, υποστηρίζει τοπική διεπαφή βασισμένη στον Ιστό για να εκτελεί επιτόπια διοίκηση των ζώων και να λαμβάνει υπ' όψιν της ιστορικά και πραγματικού χρόνου στοιχεία, αλλά και υποστηρίζει τοπική εφαρμογή βασισμένη στον Ιστό για να συντονίζει παραμέτρους επικοινωνιών στις εκάστοτε περιοχές ενδιαφέροντος και ενεργοποιεί τη δυνατότητα αποσφαλμάτωσης σε ολόκληρο το σύστημα.

Η διαδικασία λειτουργίας της πύλης δικτύου είναι αρκετά περίπλοκη και περιλαμβάνει τις ακόλουθες ενέργειες: αφού εκτελούνται αρχικά οι απαραίτητες διεργασίες για την αρχικοποίηση του συστήματος, ξεκινάει η αποστολή πλαισίων μέσω της σειριακής θύρας και υφίστανται επικύρωση, ανάλυση και χρονο-σφράγιση. Αυτά τα πλαίσια χωρίζονται σε δύο κλάσεις, τα GetData, τα οποία αποστέλλονται από την τρέχουσα συσκευή του χρήστη και αφορούν αιτήματα δεδομένων, και τα SetData, τα οποία αφορούν εντολές ενημέρωσης παραμέτρων. Από τη μία πλευρά, μόλις γίνεται λήψη ενός GetData πλαισίου, η πύλη δικτύου λαμβάνει τα αντίστοιχα δεδομένα από τη βάση δεδομένων και τα κάνει αναφορά μέσα από την ίδια διεπαφή. Από την άλλη πλευρά, μόλις γίνεται λήψη ενός SetData πλαισίου, αποθηκεύονται οι παράμετροί του στη βάση δεδομένων και στη συνέχεια προωθούνται στο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων. Αργότερα, τα επεξεργασμένα δεδομένα που προκύπτουν αποθηκεύονται σε τοπική βάση δεδομένων και υφίστανται δύο διαφορετικές φάσεις επεξεργασίας. Στη μία φάση επεξεργασίας, επιτελείται διαδικασία εντοπισμού, όπου τα δεδομένα φιλτράρονται και λαμβάνονται και από τα κολάρα των προβάτων και από τους ραδιοφάρους και μετά η εξαγόμενη θέση των ζώων αποθηκεύεται στη βάση δεδομένων. Στην άλλη φάση επεξεργασίας, τα δεδομένα που παράγονται και αποστέλλονται από τους αισθητήρες προβαίνουν σε ανάλυση για να εντοπιστούν μη φυσιολογικά περιστατικά και δημιουργούνται μητρώα ιστορικού για όλα τα ζώα ξεχωριστά και στα οποία εφαρμόζονται κατάλληλοι αλγόριθμοι για πρόσβαση στα ατομικά για κάθε ζώο και στα καθολικά δεδομένα. Και όπως τα επεξεργασμένα δεδομένα των αισθητήρων, έτσι και γεγονότα συναγερμών για μη φυσιολογικές συμπεριφορές των ζώων αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων. Μετά το πέρας όλων αυτών των διαδικασιών, τα απαιτούμενα στοιχεία αποστέλλονται στην πλατφόρμα υπολογισμών και εκείνη τα κάνει λήψη μέσω του AMQP.

Τελευταίο συστατικό κομμάτι του προτεινόμενου συστήματος είναι η πλατφόρμα υπολογισμών, η οποία λαμβάνει, επεξεργάζεται και αποθηκεύει τα δεδομένα των πυλών δικτύου και τα κάνει διαθέσιμα στους χρήστες. Σε αυτήν την πλατφόρμα εφαρμόζεται ένας AMQP μεσίτης και τα δεδομένα του υφίστανται εγγραφή μέσω της μηχανής επεξεργασίας δεδομένων Apache Spark, η οποία επιτρέπει ροή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο προς το αποθετήριο της πλατφόρμας. Εκτός όμως από αυτά, η πλατφόρμα μπορεί να περιέχει και βιβλιοθήκες μηχανικής μάθησης και εξόρυξης δεδομένων που είναι ικανές να προβλέψουν σχετικά γεγονότα. Το πλαίσιο λογισμικού επεξεργασίας είναι λειτουργικό μέσω ενός server διαχείρισης κανόνων για να υλοποιηθεί ένα κεντρικό σύστημα συναγερμών στο εξάρτημα της γεννήτριας συναγερμών της πύλης δικτύου. Τέλος, χρησιμοποιείται στην πλατφόρμα υπολογισμών και μία διεπαφή προγραμματισμού εφαρμογών Representational State Transfer (RESTful API) για διεπαφές χρηστών Ιστού και κινητών συσκευών.

Συμπερασματικά, για να μπορέσει να υλοποιηθεί αυτό το προτεινόμενο σύστημα για ευρεία χρήση, υπάρχουν ανοιχτές προκλήσεις που πρέπει να επιλυθούν: α) Στο συγκεκριμένο σύστημα εφαρμόστηκε σύνδεση Ethernet μεταξύ της πύλης δικτύου και της πλατφόρμας υπολογισμών. Θα πρέπει επομένως **να πραγματοποιηθεί πιο διεξοδική έρευνα σε συνδέσεις μέσω τεχνολογιών κυψελωτών δικτύων, όπως είναι τα δίκτυα δεύτερης, τρίτης και τέταρτης γενιάς και να εξεταστούν εκεί οι ποσότητες του latency και του εύρους ζώνης για να προκληθεί όσο το δυνατόν λιγότερη συμφόρηση σε αυτά.** β) Θα πρέπει να ερευνηθεί

η μείωση της χρονικής καθυστέρησης στη λήψη δεδομένων από τη σειριακή θύρα. γ) Σε αυτήν τη μελέτη δε διερευνήθηκαν οι επιπτώσεις από την αλληλεπίδραση κάποιων εξαρτημάτων με τη βάση δεδομένων. Μία λύση σε περιπτώσεις τέτοιων προβλημάτων θα ήταν η ενημέρωση του μικροεπεξεργαστή της πύλης δικτύου για τη μείωση του overhead. δ) Η χρήση υπηρεσιών σε πραγματικό χρόνο που παρέχει το λειτουργικό σύστημα Linux στο οποίο έτρεξαν όλα τα προαναφερόμενα συστατικά στοιχεία. ε) Μία άλλη περιοχή εφαρμογής του προαναφερόμενου συστήματος είναι η βαθύτερη ανάπτυξη των εξαρτημάτων ασφαλείας, δρομολόγησης και δικτύωσης. στ) Τέλος, θα πρέπει να εκτιμηθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η αυτονομία των κολάρων των προβάτων.

Στην παρακάτω ενότητα γίνεται λόγος στις μεθόδους της διαχείρισης ζωικού κεφαλαίου σε ένα αγρόκτημα με το Διαδίκτυο των Πραγμάτων.

4.6 Διαχείριση ζωικού κεφαλαίου

Αναλύθηκε ανωτέρω μία εφαρμογή του Διαδικτύου των Πραγμάτων στην κτηνοτροφία. Μία άλλη πολύ σημαντική εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας στο συγκεκριμένο κλάδο είναι οι τρόποι με τους οποίους επιτυγχάνεται η διεύθυνση των ζώων που υπάρχουν μέσα σε ένα αγρόκτημα. Παρακάτω, περιγράφονται κάποιες μέθοδοι από το άρθρο [13] που μπορούν να υλοποιηθούν έτσι ώστε οι εργασίες διαχείρισης του ζωικού κεφαλαίου να είναι ικανές να πραγματοποιηθούν με τη μεγαλύτερη δυνατή προσοχή και ακρίβεια.

Η πρώτη μέθοδος που μπορεί να εφαρμοστεί είναι η αποκαλούμενη αρχιτεκτονική **Cyber Physical System/CPS**, όπου συμπεριλαμβάνεται το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, και χρησιμοποιείται στη διεύθυνση διασυνδεδεμένων συστημάτων. Η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική συλλέγει και επεξεργάζεται έναν τεράστιο όγκο δεδομένων που προέρχονται από πολλές διαφορετικές εφαρμογές έξυπνων συσκευών. Το CPS περιέχει μεθόδους υπολογισμών για τα καταγεγραμμένα δεδομένα και μέσω του Διαδικτύου, οι συσκευές που ενσωματώνουν αυτήν την επικοινωνία μπορούν να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους.

Μία δεύτερη μέθοδος που έχει προταθεί είναι αποκαλούμενη ως **canine body-area network** που είναι ένα ασύρματο βιοηλεκτρικό σύστημα με αισθητήρες και ενεργοποιητές και μέσω μηχανικής μάθησης τα παραγόμενα δεδομένα από τις συγκεκριμένες συσκευές ενημερώνουν το σύστημα. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε να είναι πολύ ωφέλιμο στην κτηνοτροφία, γιατί μέσω της σωστής ερμηνείας των δεδομένων μπορούν να εξαχθούν σημαντικά συμπεράσματα για την υγεία και γενικότερα την ευημερία των ζώων.

Μία τρίτη μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι ένας **ανιχνευτής ανωμαλιών** που καταγράφει ηχητικά δεδομένα από τον οίστρο των ζώων, ο οποίος περιέχει διαδικασίες αναπαραγωγής τους, και μέσω των αποκτούμενων αυτών δεδομένων είναι ικανός να καταγράφει πιθανές ανωμαλίες στην αναπαραγωγή των ζώων.

Η τέταρτη μέθοδος που χρησιμοποιείται ειδικά για την παρακολούθηση του οίστρου στα ζώα είναι η επιτήρησή τους με **κάμερες από συστήματα παρακολούθησης** και σε συνδυασμό με το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, αυτή μπορεί να γίνει αυτόματα, χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση.

Η πέμπτη μέθοδος που θα μπορούσε να υλοποιηθεί και πάλι για την παρακολούθηση του οίστρου σε ένα αγρόκτημα μεγάλης κλίμακας και σε πολλά ζώα ταυτόχρονα είναι ο **συνδυασμός του Διαδικτύου των Πραγμάτων με την αρχιτεκτονική CPS** που αναφέρθηκε παραπάνω. Αυτό είναι δυνατό να επιτευχθεί μέσω κατάλληλης ανάλυσης των ήχων που προέρχονται από τα ζώα, όπως είναι ο βήχας, και χάρη στην **υπολογιστικά καθοδηγούμενη γνωστική διαδικασία αυτοματισμού (Cognitive Automation Process/CAP)** και σε **αλγορίθμους τεχνητής νοημοσύνης**.

Η έκτη μέθοδος που χρησιμοποιείται για τη διεύθυνση της κτηνοτροφίας είναι οι **αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης**, οι οποίοι εφαρμόζονται για την επεξεργασία των δεδομένων από τις IoT συσκευές, με στόχο να ενημερώνουν τους αγρότες για οποιοδήποτε μη φυσιολογικό περιστατικό στα αγροκτήματα.

Μία επιπρόσθετη μέθοδος που ωφελεί σε μεγάλο βαθμό τους αγρότες και συμβάλλει στη διεύθυνση της κτηνοτροφίας είναι η **υπολογιστική νέφους (Cloud Computing)**, η οποία προσφέρει πολλές δυνατότητες όπως είναι η υπολογιστική πάνω από το Διαδίκτυο, η πλατφόρμα ως υπηρεσία, η υποδομή ως υπηρεσία και το λογισμικό ως υπηρεσία. Αυτές οι υπηρεσίες μπορούν να παρέχονται δωρεάν ή με μικρό κόστος στους αγρότες και αυτό είναι πολύ χρήσιμο σε αγρότες με χαμηλά εισοδήματα ή/και στους αγρότες που ζουν σε μη τεχνολογικά προηγμένες περιοχές. Ειδικότερα στη σύσταση της υπολογιστικής νέφους, αυτή δεν αποτελείται από ένα μόνο συστατικό μέρος, αλλά από τρεις ξεχωριστές τεχνολογίες: τα αποκαλούμενα Cloudlets, την υπολογιστική ομίχλης (Fog Computing) και το Mobile-Edge Computing/MEC. Καθεμία από αυτές τις τεχνολογίες παίζει και έναν ξεχωριστό ρόλο: τα Cloudlets επιτρέπουν στους αγρότες να προσπελαύνουν το cloud, αλλά και ελαχιστοποιούν οποιαδήποτε απραξία κατά την πρόσβαση αυτή για να ενισχυθεί η ταχύτητα σύνδεσης στο cloud. Το Mobile-Edge Computing εξασφαλίζει την ακεραιότητα και την αμεταβλητότητα της ισχύος που χρησιμοποιείται στην υπολογιστική στο cloud. Το Fog Computing ελέγχει αν η κατανομημένη υπολογιστική λειτουργεί κανονικά και είναι διαθέσιμη ανά πάσα χρονική στιγμή από τους αγρότες, αλλά και επιτρέπει τη λειτουργία της επικοινωνίας των αγροτών σε μεγάλες αποστάσεις και της ανταλλαγής δεδομένων εργασιών από τις IoT συσκευές.

Μία τελευταία μέθοδος για τη διεύθυνση της κτηνοτροφίας είναι με τη χρήση **των δικτύων τέταρτης γενιάς**, τα οποία δεν προσφέρουν ακόμα βέλτιστη κάλυψη δικτύου για επικοινωνία, και **των δικτύων πέμπτης γενιάς**, τα οποία δεν έχουν προς το παρόν υλοποιηθεί ακόμα.

Αφού ειπώθηκαν οι διαφορετικές τεχνικές με τις οποίες το Διαδίκτυο των Πραγμάτων μπορεί να εισχωρήσει στη βελτίωση της διαχείρισης του ζωικού κεφαλαίου στα αγροκτήματα, θα πρέπει να τονιστούν και τα προβλήματα που εγκυμονεί μία τέτοια εφαρμογή: α) Θα πρέπει να αντιμετωπιστεί η **ανομοιογένεια στα δεδομένα και στις συσκευές** που πηγάζει από το σύνολο των ποικίλων και διαφορετικών σεναρίων και διαδικασιών. β) Ένα άλλο πρόβλημα αφορά στην αναζήτηση λύσεων για την **πολυπλοκότητα των δικτύων** με τα οποία επικοινωνούν οι συσκευές, καθώς αυτά αποτελούνται είτε από ενσύρματη επικοινωνία, είτε από ασύρματη επικοινωνία. γ) Οι τρόποι με τους οποίους μπορεί να επιτευχθεί **επαρκής κάλυψη σε ενέργεια και ισχύ** για τον καθορισμό του ρυθμού που μεταδίδονται και ανταλλάσσονται δεδομένα και την επίτευξη κάλυψης της επικοινωνίας των συσκευών μεταξύ

τους. δ) **Η ενσωμάτωση των τεχνολογιών των δικτύων πέμπτης γενιάς** στη διεύθυνση της κτηνοτροφίας. ε) **Η έλλειψη εξειδίκευσης στα χαρακτηριστικά λειτουργίας των δικτύων του Διαδικτύου των Πραγμάτων**, όπως στην κίνηση των δεδομένων. στ) **Η διαχείριση του overhead** από τις IoT συσκευές και τις υπηρεσίες που δεν έχουν ανοχή σε καθυστερήσεις. ζ) **Η αστάθεια** που προκαλείται πολλές φορές **στην επικοινωνία μεταξύ των κινητών συσκευών και η απουσία τεχνικών γνώσεων για την αντιμετώπισή τους**. η) **Το κόστος υλοποίησης πολύπλοκων συστημάτων, ειδικότερα σε περιοχές μη ανεπτυγμένες οικονομικά ή σε δύσβατες/απομονωμένες περιοχές και η αδυναμία κατασκευής κατάλληλου σχεδιασμού τους για προστασία από περιβαλλοντικούς κινδύνους**. θ) Με την παράταξη των IoT συστημάτων, είναι πιθανή η **διάσπαση των δεσμών μεταξύ των ανθρώπων και των ζώων, καθώς οι χειρωνακτικές εργασίες αντικαθίστανται με αυτοματοποιημένους μηχανισμούς**. ι) **Η ύπαρξη ψηφιακών πλατφορμών και οι υλοποιήσεις τους στην κτηνοτροφία θα πρέπει να εναρμονίζονται πάντα με το σεβασμό προς τα ζώα**.

Οι ανοιχτές προκλήσεις που υφίστανται στη διεύθυνση της κτηνοτροφίας και θα πρέπει να αντιμετωπιστούν στο μέλλον είναι: α) **Η βιοασφάλεια**, δηλαδή η κατασκευή και εφαρμογή μέτρων πρόληψης ασθενειών στα ζώα και μέτρων καταστολής των ασθενειών κατά την εμφάνισή τους σε αυτά. Μεγαλύτερη έμφαση για την καθιέρωση βιοασφάλειας θα πρέπει να δοθεί στα ακόλουθα: στη λειτουργία κλειστών κοπαδιών, στη χρήση διπλού φράχτη σε τοποθεσίες κοινών ορίων αγροκτημάτων από διαφορετικούς αγρότες, στον εμβολιασμό των ευπαθών ζώων, στους προηγμένους εξοπλισμούς και στην τήρηση κανόνων υγιεινής, στη διατήρηση της ποιότητας ζωής της κτηνοτροφίας για να αποτραπούν ασθένειες, στον τακτικό έλεγχο για παράσιτα, στην απολύμανση των οχημάτων στα αγροκτήματα και στην όσο μεγαλύτερη δυνατή μείωση επαφής των ζώων ενός αγροκτήματος με ζώα των γειτόνων ή και με τους ίδιους τους γείτονες. β) **Ο έλεγχος της ποιότητας των προϊόντων που παράγονται από τα ζώα**. γ) **Η δυνατότητα της ψηφιακής ιχνηλάτησης των ζώων**.

Από την παραπάνω ανάλυση, φαίνεται ότι οι τεχνολογίες του Διαδικτύου των Πραγμάτων στην κτηνοτροφία ακριβείας έχουν και δυνατότητες και αδυναμίες, επομένως όπως ισχύει και για τη γεωργία ακριβείας, οι αγρότες θα πρέπει να επιλέξουν αυτές που είναι πιο συμφέρουσες και οικονομικές για τους ίδιους.

Στο επόμενο κεφάλαιο περιγράφονται περιληπτικά τα περιεχόμενα της εφαρμογής που κατασκευάστηκε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΤΙΚΗ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ

Η γεωργία ακριβείας και η κτηνοτροφία ακριβείας είναι πολύ σημαντικές περιοχές εφαρμογής των τεχνολογιών του Διαδικτύου των Πραγμάτων, με τις επιπτώσεις τους να είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με την καθημερινή ζωή. Επομένως, η εφαρμογή που κατασκευάστηκε στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας δε θα μπορούσε να παρεκκλίνει από ένα τόσο σημαντικό θέμα αναφοράς.

Η εφαρμογή που κατασκευάστηκε ονομάζεται Farmdain Mobile App και ως σκοπός της είναι η εύκολη και άμεσα διαθέσιμη στο χρήστη διαχείριση δεδομένων για τις φάρμες/αγροκτήματα που έχει στην κατοχή του. Μέσω της συγκεκριμένης εφαρμογής, οι χρήστες της μπορούν αρχικά να λάβουν αυθεντικοποίηση και εξουσιοδότηση χρησιμοποιώντας μία πλατφόρμα και στη συνέχεια, να συμπληρώνουν φόρμες με πεδία κειμένου με σκοπό να εισάγουν, να ενημερώνουν και να διαγράφουν εγγραφές σε πίνακες που πληροφορούν για τη διαχείριση των ζώων των αγροκτημάτων των αγροτών-χρηστών.

5.1 Αρχιτεκτονική και εργαλεία προγραμματισμού

Η Farmdain Mobile App ακολουθεί μία συχνά εμφανιζόμενη **αρχιτεκτονική για εφαρμογές κινητών συσκευών** η οποία αποτελείται από τρία επίπεδα (ιεραρχικά από το κατώτερο προς το ανώτερο): το **επίπεδο προσπέλασης δεδομένων (data access layer)**, το **επίπεδο που ενσωματώνει τη λογική των εφαρμογών (business layer)** και το **επίπεδο παρουσίασης (presentation layer)**. Επεξηγηματικά, το επίπεδο προσπέλασης δεδομένων σχεδιάζεται από τον προγραμματιστή, προσφέρει αποτελεσματικές συναλλαγές μεταξύ των δεδομένων και σε αυτό το επίπεδο προσδιορίζονται μέθοδοι για τη σωστή μορφοποίηση, για την ισχυρή επικύρωση και για τη συντήρηση των δεδομένων. Το επίπεδο που ενσωματώνει τη λογική των εφαρμογών είναι υπεύθυνο για τον τρόπο με τον οποίο η λογική της εφαρμογής θα αναπαρασταθεί στους τελικούς χρήστες της και επιλύει ζητήματα συνδεσιμότητας, προσωρινής αποθήκευσης, διαχείρισης εξαιρέσεων και καθιέρωσης ασφάλειας. Τέλος, το επίπεδο παρουσίασης αποτελείται από δύο συστατικά στοιχεία που εμπεριέχουν τη διεπαφή χρήστη και τις διεργασίες της και η οποία σχεδιάζεται σύμφωνα με τις δυνατότητες και τους περιορισμούς κατασκευής των διαφορετικών μερών της, αλλά και τις απαιτήσεις του πελάτη.

Το επίπεδο προσπέλασης δεδομένων στη συγκεκριμένη εφαρμογή υλοποιήθηκε με τη χρήση βάσης δεδομένων PostgreSQL, η οποία φιλοξενείται σε υπηρεσία υπολογιστικού νέφους (cloud). Το επίπεδο που ενσωματώνει τη λογική των εφαρμογών συμπεριλαμβάνει: συναρτήσεις, την υπηρεσία αυθεντικοποίησης χρήστη, για την επίτευξη της οποίας χρησιμοποιήθηκε η υπηρεσία Auth0 που περιγράφεται παρακάτω, την προγραμματιστική διεπαφή που υλοποιείται μέσω της υπηρεσίας Hasura χρησιμοποιώντας τη γλώσσα GraphQL τα οποία επίσης περιγράφονται παρακάτω, αλλά και κώδικα υλοποιημένο στη γλώσσα προγραμματισμού JAVA που εκτελούν αιτήματα για εισαγωγή, ενημέρωση, διαγραφή ή επιλογή δεδομένων, με στόχο να μπορούν να επιτευχθούν αυτές οι λειτουργίες. Το επίπεδο παρουσίασης συμπεριλαμβάνει κώδικα υλοποιημένο στη γλώσσα σήμανσης eXtensible Markup Language ή XML που δημιουργεί τη διεπαφή με την οποία αλληλεπιδρούν οι χρήστες,

αλλά και κώδικα υλοποιημένο στην JAVA που ενθυλακώνει τα πρώτα και εμφανίζει τη διεπαφή χρηστών στην οθόνη της κινητής συσκευής στην οποία εγκαθίσταται η εφαρμογή.

Η εφαρμογή, όπως αναφέρθηκε στην αρχή του συγκεκριμένου αρχείου, έκανε χρήση της επίσημης πλατφόρμας της εταιρείας Google για ανάπτυξη εφαρμογών σε συσκευές που ενσωματώνουν το λειτουργικό σύστημα Android η οποία ονομάζεται **Android Studio**. Η πλατφόρμα αυτή: παρέχει ένα προσιτό στους χρήστες της προγραμματιστικό περιβάλλον με δυνατότητα εμφάνισης και χειροκίνητης διάταξης των μερών που περιέχουν οι διαφορετικές σελίδες της εφαρμογής (κουμπιά, εικόνες, πλαίσια κειμένου, πίνακες και άλλα) από τον προγραμματιστή, μία πληθώρα επιλογών από τα μενού που περιέχει και οι οποίες ρυθμίζουν διάφορες παραμέτρους, επιλογή έτοιμων ή δημιουργία νέων από την αρχή εικονικών συσκευών με επιλογές για συγκεκριμένο τύπο συσκευής (όπως τηλέφωνα, tablets) και με στόχο την εμφάνιση αποτελεσμάτων σε αυτές από την εκτέλεση του κώδικα, αλλά και δυνατότητα ασύρματης σύνδεσης με Wi-Fi ή ενσύρματης σύνδεσης με καλώδιο USB για την άμεση δοκιμή του κώδικα σε πραγματικές συσκευές (τηλέφωνα, tablets και άλλα).

5.2 Ασφάλεια εφαρμογής

Η ροή λειτουργιών της εφαρμογής ξεκινάει με τη διαδικασία αυθεντικοποίησης και εξουσιοδότησης του χρήστη. Αρχικά, η αυθεντικοποίηση εξυπηρετεί το σκοπό της αναγνώρισης της ηλεκτρονικής ταυτότητας του χρήστη με τη βοήθεια μοναδικών χαρακτηριστικών, για την επίτευξη της οποίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν η διεύθυνση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, το μοναδικό password του, η σάρωση κωδικών, το δακτυλικό αποτύπωμά του και άλλα. Από την άλλη πλευρά, η εξουσιοδότηση εξυπηρετεί το σκοπό της απόδειξης ότι οι εκ των προτέρων αυθεντικοποιημένοι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση σε πόρους ενός συστήματος και προσδιορίζει τα επίπεδα πρόσβασης των χρηστών σε αυτούς.

Με αφορμή την αμέσως προαναφερόμενη διατύπωση, η συγκεκριμένη εφαρμογή εφαρμόζει μία υποκατηγορία εξουσιοδότησης, η οποία ονομάζεται εξουσιοδότηση βασισμένη σε ρόλους. Επεξηγηματικά, στους αυθεντικοποιημένους χρήστες παρέχονται ειδικοί ρόλοι και άδειες με τη βοήθεια των οποίων μπορούν να εκτελούν ενέργειες στο λογισμικό ως υπηρεσία που συνδέεται με τη Farmdain Mobile App. Οι ρόλοι αυτοί στην τρέχουσα εφαρμογή είναι οι: admin, masteruser και user και οι άδειες που έχουν είναι οι ακόλουθες: ο admin έχει δυνατότητα επιλογής, εισαγωγής, ενημέρωσης και διαγραφής δεδομένων σε όλους τους πίνακες της βάσης δεδομένων, ενώ οι χρήστες που αναγνωρίζονται ως masteruser και user έχουν δυνατότητα επιλογής, εισαγωγής, ενημέρωσης και διαγραφής δεδομένων αποκλειστικά σε συγκεκριμένους πίνακες της βάσης δεδομένων της Farmdain Mobile App κάθε φορά.

Για την επίτευξη των παραπάνω λειτουργιών χρησιμοποιήθηκε το **Auth0**, η οποία είναι μία απλή στη χρήση της, φιλική, εύκολα υλοποιήσιμη και προσαρμόσιμη πλατφόρμα που λειτουργεί ως λογισμικό ως υπηρεσία και η οποία προσφέρει αυθεντικοποίηση και εξουσιοδότηση χρηστών, σε όποιο πεδίο εφαρμογής επιθυμεί να την εισάγει ο προγραμματιστής.

Αυτές οι λειτουργίες είναι σημαντικές επειδή η τελική αναγνώριση εξουσιοδότησης έχει τη μορφή μίας ηλεκτρονικής ταυτότητας όπως αναφέρθηκε ήδη και επιβεβαιώνουν ότι ο

καθένας χρήστης ξεχωριστά έχει την άδεια για χρήση των λειτουργιών της εφαρμογής. Κάποιες τεχνολογίες που συμμετέχουν σε αυτή τη διαδικασία είναι το **identification token** (τεκμήριο ταυτοποίησης) και το **access token** (τεκμήριο πρόσβασης).

Όσον αφορά το identification token, αυτό χρησιμοποιείται σαν αποδεικτικό στοιχείο για να επιβεβαιωθεί η επιτυχής ολοκλήρωση αυθεντικοποίησης του χρήστη. Η μορφή που έχει είναι περίπλοκη, καθώς αυτό είναι κωδικοποιημένο ως ένα JavaScript Object Notation Web Token ή JSON Web Token, δηλαδή ως ένα πρότυπο που επιτρέπει στις εφαρμογές την εποπτεία των περιεχομένων τους και το οποίο εξασφαλίζει ότι τα περιεχόμενα αυτά προέρχονται από επαληθευμένο εκδότη και παραμένουν αμετάβλητα. Ένα αξιοσημείωτο γεγονός είναι ότι το token αυτό υπογράφεται από τον εκδότη με το ιδιωτικό κλειδί του και με αυτόν τον τρόπο επιβεβαιώνεται η προέλευσή του. Με την ύπαρξη του συγκεκριμένου token, οι εφαρμογές που κατασκευάζονται αποκτούν εξατομικευμένο χαρακτήρα, επειδή αυτές χρησιμοποιούν τα αποκαλούμενα claims (αξιώσεις) του προφίλ των χρηστών, όπως το ονοματεπώνυμό του, τη διεύθυνση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου του, την εικόνα προφίλ του, την ημερομηνία γέννησής του και άλλα.

Σχετικά με το access token, όπως υποδηλώνει και το όνομά του, αυτό επιτρέπει στις εφαρμογές την πρόσβαση σε κάποιον συγκεκριμένο πόρο συστήματος για να εκτελούνται ενέργειες από τους χρήστες τους. Φυσικά, η διεπαφή προγραμματισμού εφαρμογών που εμπλέκεται σε αυτή τη διαδικασία θα πρέπει να ελέγχει ότι το συγκεκριμένο access token είναι έγκυρο και έμπιστο από τον server εξουσιοδότησης ώστε να μπορεί να εκτελεί αποφάσεις εξουσιοδότησης σε έναν πόρο συστήματος με βάση τις πληροφορίες που αυτό περιέχει.

Προκειμένου να κατανοηθεί ένα JSON Web Token, θα πρέπει να αναφερθούν τα δομικά κομμάτια του, τα οποία είναι τα: header, payload και signature και διαχωρίζονται μεταξύ τους με το σύμβολο της τελείας (.). Ειδικότερα: το header περιλαμβάνει συνήθως δύο κομμάτια, τον τύπο του token (JWT) και τον αλγόριθμο κατακερματισμού. Επιπλέον, το payload περιέχει τα προαναφερόμενα claims που είναι δηλώσεις για τους χρήστες και μεταδεδομένα και οι ειδικότερες κατηγορίες τους είναι οι δεσμευμένες αξιώσεις (reserved claims), οι δημόσιες αξιώσεις (public claims) και οι ιδιωτικές αξιώσεις (private claims). Τέλος, το signature είναι ένα μέσο επαλήθευσης της ηλεκτρονικής ταυτότητας του αποστολέα του JSON Web Token, αλλά και απόδειξης της ακεραιότητας του απεσταλμένου μηνύματος. Για τη δημιουργία υπογραφής χρησιμοποιούνται το κωδικοποιημένο header, το κωδικοποιημένο payload και ένα μυστικό κλειδί/ζεύγος ιδιωτικού κλειδιού-δημόσιου κλειδιού.

Αφού λοιπόν κατασκευάζεται ένα JSON Web Token με τον τρόπο που περιγράφηκε παραπάνω, η διεπαφή προγραμματισμού εφαρμογών στην οποία επιθυμεί να συνδεθεί η εφαρμογή θα ελέγξει το token ενός χρήστη με βάση το header Authorization: Bearer <token> και αν το εντοπίσει και επιβεβαιώσει την εγκυρότητά του, ο χρήστης μπορεί να έχει πρόσβαση στα περιεχόμενα της διεπαφής αυτής, ενώ σε διαφορετική περίπτωση η πρόσβαση απορρίπτεται. Το συγκεκριμένο header χρησιμοποιείται στην εφαρμογή Farmdain Mobile App για την επικοινωνία με την επιθυμητή διεπαφή προγραμματισμού εφαρμογών με τη βοήθεια ενός πελάτη λογισμικού (software client) που ονομάζεται **OkHttpClient**, ο οποίος είναι μία βιβλιοθήκη που πραγματοποιεί κλήσεις για επικοινωνία μεταξύ δεδομένων χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο HTTP. Αυτή η διεπαφή επικοινωνεί με τη σειρά της με μία βάση δεδομένων

PostgreSQL που φιλοξενείται σε cloud πλατφόρμα που προσφέρεται ως υπηρεσία, η οποία ονομάζεται **Heroku**.

Εκτός όμως από την αυθεντικοποίηση και εξουσιοδότηση των χρηστών με το Auth0, θα πρέπει να θεσπιστεί και ένα μέσο με σκοπό να εισάγονται τα σωστά στοιχεία κάθε φορά στις φόρμες της Farmdain Mobile App με τα πεδία κειμένου που εμπεριέχουν, δηλαδή να πραγματοποιηθεί επικύρωση. Η επικύρωση συμβάλλει στη διατήρηση μίας μορφής επικοινωνίας και αλληλεπίδρασης της συγκεκριμένης εφαρμογής με τους χρήστες της, έτσι ώστε αυτοί να γνωρίζουν τι είδους κείμενο να συμπληρώνουν στα διαφορετικά πεδία κειμένου (αριθμούς, αλφαριθμητικά, ημερομηνίες). Ένας άλλος και πιθανώς πολύ πιο σημαντικός λόγος για την ύπαρξη επικύρωσης στην εφαρμογή σχετικά με τις φόρμες είναι η εγκαθίδρυση ενός τείχους προστασίας της βάσης δεδομένων με την οποία η εφαρμογή έχει αμφίδρομη σχέση, καθώς μέσω της Farmdain Mobile App εισάγονται, ενημερώνονται και διαγράφονται εγγραφές από κάποιους πίνακες της βάσης δεδομένων, ενώ μέσω της βάσης δεδομένων υπάρχει η δυνατότητα από τη Farmdain Mobile App να προβάλλει τις εγγραφές των αντίστοιχων πινάκων στους χρήστες της.

Ειδικότερα, η καθεμία φόρμα εμφανίζει μηνύματα στο τέλος κάποιου πεδίου το οποίο είναι απαραίτητο να συμπληρωθεί, είτε για εισαγωγή καινούριας, είτε για ενημέρωση ή διαγραφή ήδη υπάρχουσας εγγραφής, όπως επίσης και την αυτόματη εμφάνιση του πληκτρολογίου της συσκευής με τα απαραίτητα πλήκτρα σε κάθε διαφορετικό πεδίο (για παράδειγμα, για την εισαγωγή αριθμών το πληκτρολόγιο που εμφανίζεται στους χρήστες περιλαμβάνει μόνο αριθμούς και κάποια σύμβολα, ενώ για την εισαγωγή αλφαριθμητικών ή ημερομηνιών το πληκτρολόγιο εμφανίζει όλα τα περιεχόμενά του στους χρήστες (γράμματα, αριθμούς και άλλα)). Εκτός όμως από αυτές τις λειτουργίες, στις φόρμες επιτελούνται και οι ακόλουθοι έλεγχοι: α) έλεγχος σχετικά με το αν στα πεδία με ημερομηνίες το έτος που πληκτρολογείται από τους χρήστες αποτελείται από ακριβώς 4 αριθμούς, β) έλεγχος σχετικά με το αν οι ημερομηνίες που εισάγουν οι χρήστες στα αντίστοιχα πεδία αποτελούνται από: ακριβώς 4 αριθμούς για το έτος ακολουθούμενα από το σύμβολο της παύλας (-), αμέσως μετά ακριβώς 2 αριθμούς για το μήνα ακολουθούμενα από το σύμβολο της παύλας (-) και αμέσως μετά ακριβώς 2 αριθμούς για την ημέρα, γ) έλεγχος όταν στα πεδία με ημερομηνίες εισάγεται από τους χρήστες ένα δίσεκτο έτος και η τιμή 02 για το μήνα Φεβρουάριο, η μέγιστη τιμή που θα πρέπει να εισαχθεί για την ημέρα είναι η 29 (μέχρι 29 Φεβρουαρίου), αλλιώς όταν εισάγεται ένα μη δίσεκτο έτος και η τιμή 02 για το μήνα Φεβρουάριο, η μέγιστη τιμή που θα πρέπει να εισαχθεί για την ημέρα είναι η 28 (μέχρι 28 Φεβρουαρίου), δ) έλεγχος όταν ο μήνας στα πεδία με ημερομηνίες είναι είτε ο Ιανουάριος (τιμή 01), είτε ο Μάρτιος (τιμή 03), είτε ο Μάιος (τιμή 05), είτε ο Ιούλιος (τιμή 07), είτε ο Αύγουστος (τιμή 08), είτε ο Οκτώβριος (τιμή 10), είτε ο Δεκέμβριος (τιμή 12), η μέγιστη τιμή που θα πρέπει να εισαχθεί για την ημέρα είναι η 31, ε) έλεγχος όταν ο μήνας στα πεδία με ημερομηνίες είναι είτε ο Απρίλιος (τιμή 04), είτε ο Ιούνιος (τιμή 06), είτε ο Σεπτέμβριος (τιμή 09), είτε ο Νοέμβριος (τιμή 11), η μέγιστη τιμή που θα πρέπει να εισαχθεί για την ημέρα είναι η 30.

5.3 Δημιουργία διεπαφής προγραμματισμού εφαρμογής

Στη γενικότερη έννοιά της, η διεπαφή προγραμματισμού εφαρμογών είναι ένα λογισμικό που επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ δύο οντοτήτων που είναι πάροχοι υπηρεσιών, όπως κινητών συσκευών, προγραμμάτων, εφαρμογών ή servers. Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, η διεπαφή αυτή έχει υλοποιηθεί με **GraphQL** που είναι μία γλώσσα για υλοποίηση ερωτημάτων μεταξύ των δεδομένων και της Farmdain Mobile App, με τη βοήθεια της οποίας τα δεδομένα που περιλαμβάνουν τα queries και τα mutations δομούνται με τρόπο ώστε οι χρήστες να λαμβάνουν ακριβώς μόνο τα αποτελέσματα που επιδιώκουν από την εκτέλεσή τους σε ένα μοναδικό αίτημα και από ένα μοναδικό τελικό σημείο. Σημαντικό πλεονέκτημα της GraphQL είναι ότι το σχήμα της βάσης δεδομένων κάνει χρήση των τύπων των αντικειμένων για τα αιτήματα των χρηστών που οδηγούν στη μείωση ορθογραφικών και συντακτικών λαθών κατά τη σύνταξη των αιτημάτων με σκοπό να εμφανιστούν τα αναμενόμενα αποτελέσματα.

Η εφαρμογή Farmdain Mobile App υλοποιεί την GraphQL με τη χρήση της πλατφόρμας Hasura, μέσω μίας βιβλιοθήκης που ονομάζεται Apollo Android (πλέον Apollo Kotlin) η οποία θα περιγραφεί παρακάτω. Το **Hasura** είναι ένα λογισμικό ως υπηρεσία που προσφέρει άμεσες και σε πραγματικό χρόνο GraphQL διεπαφές προγραμματισμού εφαρμογών πάνω από το Postgres και δέχεται GraphQL αιτήματα από εφαρμογές. Η υπηρεσία προσφέρει εγγενώς τη δυνατότητα ρύθμισής της ώστε να συνεργάζεται με το τρέχον σύστημα αυθεντικοποίησης και να επιτελεί ελέγχους πρόσβασης με κανόνες δυναμικών μεταβλητών από το σύστημα αυθεντικοποίησης. Τέλος, το Hasura δίνει τη δυνατότητα συγχώνευσης GraphQL σχημάτων βάσεων δεδομένων και αποτελεί από μόνο του μία ενοποιημένη GraphQL διεπαφή προγραμματισμού εφαρμογών.

Η GraphQL επιτρέπει τη χρήση ερωτημάτων (queries) και μεταλλαγών (mutations) προς τη βάση δεδομένων. Ειδικότερα, τα **queries** είναι κομμάτια κώδικα που βοηθούν στην επιλογή δεδομένων από κάποια βάση δεδομένων, ενώ τα **mutations** είναι κομμάτια κώδικα που βοηθούν στην τροποποίηση των δεδομένων κάποιας βάσης δεδομένων, είτε εισάγοντας νέα δεδομένα, είτε ενημερώνοντας δεδομένα, είτε διαγράφοντας ήδη υπάρχοντα δεδομένα της. Με πληροφοριακούς όρους, τα queries και τα mutations υλοποιούν τη διαδικασία **Create-Read-Update-Delete** ή **CRUD**, κατά την οποία η ανάγνωση ήδη αποθηκευμένων δεδομένων (το Read) επιτελείται από τα queries, ενώ η δημιουργία (το Create), η ενημέρωση (το Update) και η διαγραφή δεδομένων (το Delete) επιτελούνται από τα mutations. Η εφαρμογή καταναλώνει τη διεπαφή προγραμματισμού εφαρμογών της GraphQL, η οποία υλοποιείται μέσω του Hasura. Σημειώνεται ότι η υπηρεσία Hasura παράγει αυτόματα τις διατυπώσεις των queries και των mutations, διαβάζοντας το σχήμα της PostgreSQL βάσης δεδομένων.

Για τη λήψη αποτελεσμάτων από τη βάση δεδομένων στο Hasura Cloud Server, χρησιμοποιείται η βιβλιοθήκη Apollo Android (πλέον Apollo Kotlin), η οποία είναι ένας GraphQL client που παράγει αυτόματα αρχεία μέσα στον κώδικα της εφαρμογής στο Android Studio από την εκτέλεση των GraphQL queries και mutations των χρηστών. Με τη χρήση αυτής της βιβλιοθήκης, ο προγραμματιστής μπορεί να προσθέσει και λειτουργία προσωρινής αποθήκευσης (caching) των queries, έτσι ώστε να αποφεύγει πολλαπλές αιτήσεις εκτέλεσής

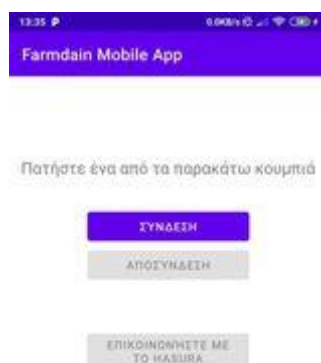
τους στο Hasura Cloud Server και με τη βοήθειά της, οι χρήστες της Farmdain Mobile App μπορούν να έχουν οργανωμένα και εύκολα προσβάσιμα τα αρχεία με τα queries και mutations που συντάσσουν. Παρακάτω φαίνονται εικόνες από τις διαφορετικές σελίδες της εφαρμογής με τα περιεχόμενά τους.

Στο κομμάτι της ανάπτυξης, η επικοινωνία της εφαρμογής με τον cloud server επιτυγχάνεται με τη δημιουργία ενός αρχείου με κατάληξη .graphql που εμπεριέχει τα queries και mutations που συντάσσονται με την κατάλληλη μορφή και την ενσωμάτωσή του στον κώδικα της εφαρμογής, αλλά και με την προσθήκη ενός αρχείου με κατάληξη .json που εμπεριέχει το σχήμα της βάσης δεδομένων, δηλαδή των πινάκων και των χαρακτηριστικών τους. Έπειτα, με τη βοήθεια του Apollo Android (πλέον Apollo Kotlin), παράγονται με τη μεταγλώττιση του project του κώδικα οι αντίστοιχες κλάσεις (.java αρχεία) που σχετίζονται με τα εκτελούμενα queries και mutations. Σχετικά με τα queries, για να μην επαναλαμβάνεται με την καθεμία εκτέλεση η απαίτηση λήψης αποτελεσμάτων για τις ίδιες στήλες των πινάκων της βάσης δεδομένων κάθε φορά, χρησιμοποιούνται τα fragments που παρέχουν τη δυνατότητα εκτέλεσης queries και mutations με επαναχρησιμοποίηση κομματιών τους σε ποικίλα σημεία της εφαρμογής. Στην εφαρμογή Farmdain Mobile App ειδικότερα, τα fragments χρησιμοποιήθηκαν αποκλειστικά για τη λιτότητα των queries των επιθυμητών πινάκων.

5.4 Παρουσίαση της εφαρμογής

Κατά την αρχική φάση της Farmdain Mobile App πραγματοποιείται η λειτουργία της αυθεντικοποίησης από την αρχική οθόνη της εφαρμογής της **Εικόνας 1**, κατά την οποία ο χρήστης θα πρέπει να συνδεθεί στον προσωπικό λογαριασμό του στην πλατφόρμα Auth0, εισάγοντας σε αυτήν το e-mail και το password του, όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 2**. Αφού ολοκληρωθεί αυτή η διαδικασία και αποδειχθεί ότι τα στοιχεία του χρήστη είναι έγκυρα, εκτυπώνονται στην αρχική οθόνη της εφαρμογής το όνομα και το e-mail του (τα οποία αποτελούν μέρος του identification token του) από τα στοιχεία του λογαριασμού του στο Auth0 μετά την επιτυχή αυθεντικοποίηση (**Εικόνα 3**). Η επιλογή του cloud server έγινε με γνώμονα την εξοικονόμηση χρόνου και μόχθου κατά την προγραμματιστική ανάπτυξη όσον αφορά τη διαχείριση των δεδομένων των χρηστών, αλλά και τη διατήρηση της ασφάλειας αυτών των δεδομένων και ευκολίας προσπέλασής τους, αφού η βάση δεδομένων με την οποία αλληλεπιδρά η εφαρμογή υπάρχει διαδικτυακά. Μετά το πέρας της αυθεντικοποίησης, ακολουθεί η λειτουργία της εξουσιοδότησης, κατά την οποία ανταλλάσσεται το identification token με το access token και ο αυθεντικοποιημένος χρήστης συνδέεται στο Hasura Cloud Server με το πάτημα ενός κουμπιού στην αρχική οθόνη της εφαρμογής μέσω του access token, το οποίο είναι αποθηκευμένο για μελλοντική χρήση. Έπειτα εμφανίζεται στο χρήστη μία νέα οθόνη με τη μορφή καρτελών (tabs). Όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 4** παρακάτω που αφορά την οθόνη διαχείρισης των εκτροφών των ζώων, σε αυτήν υπάρχουν δύο κουμπιά για εμφάνιση του πίνακα εκτροφών (κουμπί «ΠΡΟΒΟΛΗ ΠΙΝΑΚΑ ΕΚΤΡΟΦΩΝ») και για διαγραφή του πίνακα εκτροφών από την οθόνη (κουμπί «ΔΙΑΓΡΑΦΗ ΠΙΝΑΚΑ ΕΚΤΡΟΦΩΝ»). Στην **Εικόνα 5** φαίνεται η οθόνη διαχείρισης των ζώων, μέσα στην οποία εμφανίζεται αυτόματα στην αρχή ο τρέχων πίνακας εγγραφών των ζώων από τη βάση

δεδομένων με την οποία επικοινωνεί η εφαρμογή και αμέσως μετά υπάρχει μία φόρμα με πεδία κειμένου προς συμπλήρωση και από κάτω της τρία κουμπιά που εκτελούν με τη σειρά προσθήκη, ενημέρωση και διαγραφή εγγραφής αντίστοιχα. Τα νέα αποτελέσματα κάθε φορά εμφανίζονται σαν πίνακας κάτω από τα κουμπιά της φόρμας. Η **Εικόνα 6** δείχνει την οθόνη διαχείρισης της φυσικής κατάστασης των ζώων, μέσα στην οποία εμφανίζεται αυτόματα στην αρχή ο τρέχων πίνακας εγγραφών της φυσικής κατάστασης των ζώων από τη βάση δεδομένων με την οποία επικοινωνεί η εφαρμογή και αμέσως μετά υπάρχει μία φόρμα με πεδία κειμένου προς συμπλήρωση και από κάτω της τρία κουμπιά που εκτελούν με τη σειρά προσθήκη, ενημέρωση και διαγραφή εγγραφής αντίστοιχα. Τα νέα αποτελέσματα κάθε φορά εμφανίζονται σαν πίνακας κάτω από τα κουμπιά της φόρμας. Η **Εικόνα 7** δείχνει την οθόνη διαχείρισης της αναπαραγωγικής δραστηριότητας των ζώων, μέσα στην οποία εμφανίζεται αυτόματα στην αρχή ο τρέχων πίνακας εγγραφών της αναπαραγωγικής δραστηριότητας των ζώων από τη βάση δεδομένων με την οποία επικοινωνεί η εφαρμογή και αμέσως μετά υπάρχει μία φόρμα με πεδία κειμένου προς συμπλήρωση και από κάτω της τρία κουμπιά που εκτελούν με τη σειρά προσθήκη, ενημέρωση και διαγραφή εγγραφής αντίστοιχα. Τα νέα αποτελέσματα κάθε φορά εμφανίζονται σαν πίνακας κάτω από τα κουμπιά της φόρμας. Τέλος, στην **Εικόνα 8** φαίνεται η οθόνη διαχείρισης του εμβολιασμού των ζώων, μέσα στην οποία εμφανίζεται αυτόματα στην αρχή ο τρέχων πίνακας εγγραφών του εμβολιασμού των ζώων από τη βάση δεδομένων με την οποία επικοινωνεί η εφαρμογή και αμέσως μετά υπάρχει μία φόρμα με πεδία κειμένου προς συμπλήρωση και από κάτω της τρία κουμπιά που εκτελούν με τη σειρά προσθήκη, ενημέρωση και διαγραφή εγγραφής αντίστοιχα. Τα νέα αποτελέσματα κάθε φορά εμφανίζονται σαν πίνακας κάτω από τα κουμπιά της φόρμας.



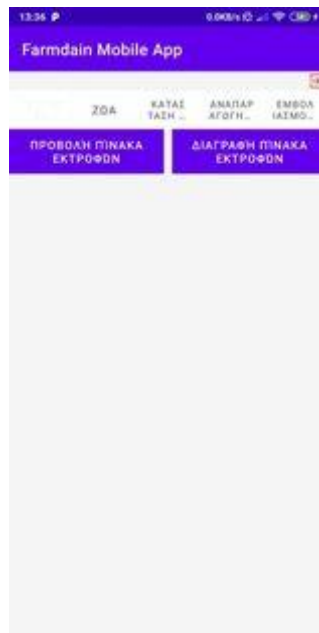
Εικόνα 1 - Αρχική οθόνη της εφαρμογής



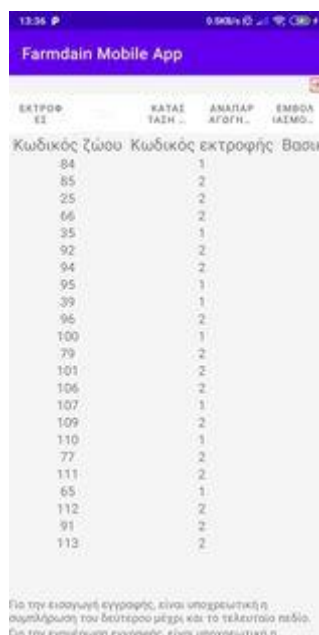
Εικόνα 2 - Οθόνη αυθεντικοποίησης του χρήστη μέσω της υπηρεσίας Auth0



Εικόνα 3 - Εμφάνιση ονόματος και e-mail χρήστη μετά την επιτυχή αυθεντικοποίηση με την υπηρεσία Auth0



Εικόνα 4 - Οθόνη διαχείρισης των εκτροφών των ζώων



Εικόνα 5 - Οθόνη διαχείρισης των ζώων



Εικόνα 6 - Οθόνη διαχείρισης της φυσικής κατάστασης των ζώων



Εικόνα 7 - Οθόνη διαχείρισης της αναπαραγωγικής δραστηριότητας των ζώων



Εικόνα 8 - Οθόνη διαχείρισης του εμβολιασμού των ζώων

5.5 Λόγοι χρήσης βιβλιοθηκών και υπηρεσιών

Συμπερασματικά, οι λόγοι για τους οποίους κρίνεται αναγκαία η χρήση δωρεάν βιβλιοθηκών ανοιχτού κώδικα, λογισμικών ως υπηρεσίες και πλατφορμών ως υπηρεσίες είναι οι ακόλουθοι: ο πρώτος και πιο σημαντικός λόγος είναι η μείωση σε μεγάλο βαθμό του κόστους σε εργατώρες, δηλαδή η μείωση του τελικού χρόνου υλοποίησης του κώδικα της εφαρμογής. Ο δεύτερος λόγος είναι η μείωση του χρόνου ανάπτυξης των λειτουργιών της εφαρμογής και του χρόνου δοκιμών του κώδικα. Ο τρίτος λόγος είναι η επίλυση θεμάτων σχετικών με την επεκτασιμότητα και την προσβασιμότητα, έτσι ώστε η εφαρμογή να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιαδήποτε κινητή συσκευή και να είναι προσβάσιμη σε ανθρώπους όλων των ηλικιών. Ο τέταρτος λόγος είναι η εξασφάλιση συμβατότητας με στόχο η συγκεκριμένη εφαρμογή να είναι διαθέσιμη σε όσες κινητές συσκευές έχουν εγκατεστημένο εκ των προτέρων το λειτουργικό σύστημα Android και να είναι λειτουργική σύμφωνα με αυτό.

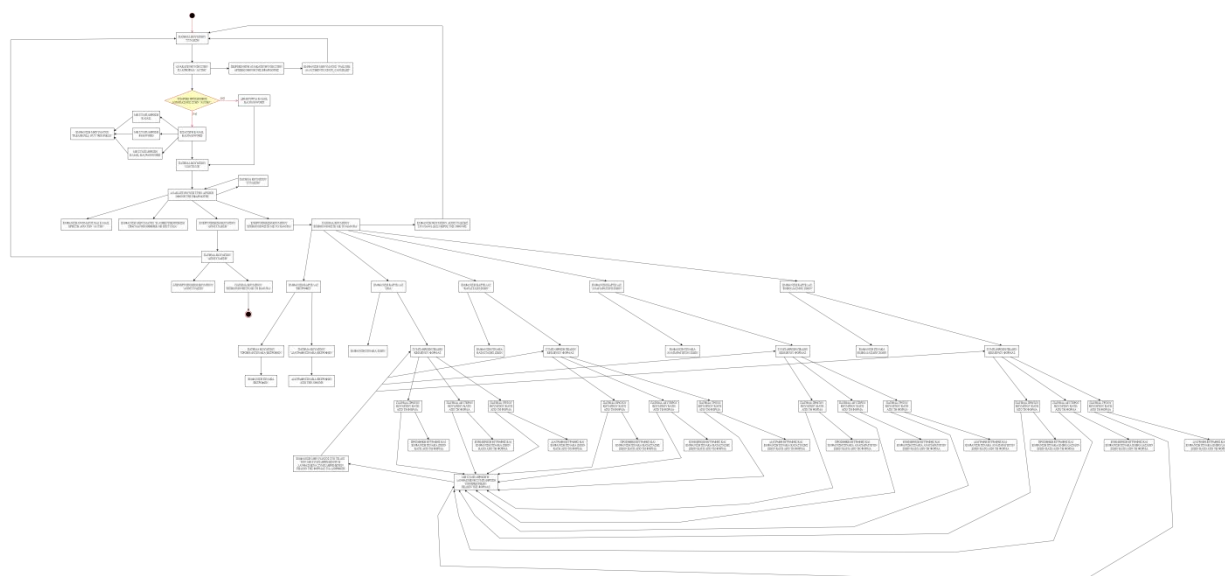
Η εφαρμογή Farmdain Mobile App υποστηρίζει τις εκδόσεις από 5.0 μέχρι 12 του λειτουργικού συστήματος Android για την εγκατάστασή της σε κινητές συσκευές.

5.6 Μετατροπή κώδικα σε εκτελέσιμο αρχείο εφαρμογής

Για τη μετατροπή του κώδικα σε εφαρμογή για κινητές συσκευές, ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία: από το κεντρικό μενού του Android Studio, πατάμε σε μία επιλογή που επιτρέπει τη δημιουργία ενός αρχείου Android App Bundle ή ενός αρχείου Android Package Kit της εκ των προτέρων κατασκευασμένης εφαρμογής και μετά εμφανίζει μία φόρμα, η οποία περιλαμβάνει με τη σειρά τα ακόλουθα πεδία προς συμπλήρωση: α) επιλογή της τοποθεσίας στον υπολογιστή που επιθυμούμε να αποθηκεύσουμε το ιδιωτικό κλειδί για τη δημοσίευση της

εφαρμογής, β) ένα πεδίο για την εισαγωγή password της τοποθεσίας αποθήκευσης για το ιδιωτικό κλειδί, γ) ένα πεδίο επιβεβαίωσης του password της τοποθεσίας αποθήκευσης του ιδιωτικού κλειδιού, δ) ένα πεδίο συμπλήρωσης αναγνωριστικού ονόματος του ιδιωτικού κλειδιού, ε) ένα πεδίο για συμπλήρωση του ίδιου password για το ίδιο το ιδιωτικό κλειδί, στ) ένα πεδίο επιβεβαίωσης του password του ιδιωτικού κλειδιού, ζ) ένα πεδίο για επιλογή της εγκυρότητας σε χρόνια του ιδιωτικού μας κλειδιού (με προεπιλεγμένη τιμή να είναι τα 25 (χρόνια)) και αμέσως μετά υπάρχουν πεδία προς συμπλήρωση για τη δημιουργία του πιστοποιητικού που είναι μέρος του Android Package Kit, τα οποία είναι: η) ένα πεδίο για τη συμπλήρωση ονοματεπωνύμου, θ) ένα πεδίο για τη συμπλήρωση οργανικής μονάδας, ι) ένα πεδίο για τη συμπλήρωση οργανισμού, κ) ένα πεδίο για τη συμπλήρωση πόλης/περιοχής, λ) ένα πεδίο για τη συμπλήρωση επαρχίας/πολιτείας και μ) ένα πεδίο συμπλήρωσης του κωδικού της χώρας του δημιουργού του Android Package Kit (με δύο γράμματα, όπως είναι το GR για την Ελλάδα). Αφού ο προγραμματιστής συμπληρώσει όλα τα παραπάνω στοιχεία και τα επιβεβαιώσει με το αντίστοιχο κουμπί, του εμφανίζεται μία νέα οθόνη με κάποια πεδία προσυμπληρωμένα σύμφωνα με αυτά που είχε γράψει στο προηγούμενο βήμα, αλλά και ένα κουτάκι που μπορεί να επιλέξει ή να απο-επιλέξει για την αποθήκευση των passwords. Σε περίπτωση που είχε επιλέξει τη δημιουργία αρχείου Android App Bundle για την εφαρμογή, κάτω από το προαναφερόμενο κουτάκι, υπάρχει και ένα κουτάκι για την ενεργοποίηση/απενεργοποίηση της δυνατότητας εξαγωγής του κρυπτογραφημένου κλειδιού για την εγγραφή δημοσιευμένων εγγραφών στο Google Play App Signing. Στη συνέχεια, του εμφανίζεται μία νέα οθόνη στην οποία αρχικά υπάρχει ένα πεδίο για τον προσδιορισμό της τοποθεσίας που θα αποθηκευτεί η υπογεγραμμένη πλέον εφαρμογή του στον υπολογιστή, ένα πεδίο για την επιλογή του τύπου με τον οποίο θα χτιστεί η εφαρμογή, ένα πεδίο για την επιλογή της μορφής του εκτελέσιμου αρχείου της εφαρμογής (με προεπιλεγμένες επιλογές τα debug και release) και τέλος, για το αρχείο Android Package Kit, δύο κουτάκια για επιλογή/απο-επιλογή σχετικά με την έκδοση της υπογραφής του αρχείου αυτού. Μετά το πέρας όλων αυτών των διαδικασιών, το Android Studio εμφανίζει μήνυμα σχετικά με την ολοκλήρωση της κατασκευής της υπογεγραμμένης εφαρμογής και δίνει επιλογές για εντοπισμό και για ανάλυση του Android App Bundle ή του Android Package Kit.

5.7 Διάγραμμα ροής της εφαρμογής



Εικόνα 9 - Διάγραμμα ροής της Farmdain Mobile App

Στην **Εικόνα 9** παραπάνω, φαίνεται το διάγραμμα ροής της Farmdain Mobile App που αναλύθηκε στα προηγούμενα υπο-κεφάλαια. Αρχικά, ο χρήστης έχει ενεργοποιημένο μόνο το κουμπί ΣΥΝΔΕΣΗ στην αρχική οθόνη της εφαρμογής, το οποίο αφού το πατήσει, ανακατευθύνεται στην υπηρεσία Auth0 για να εισάγει το προσωπικό e-mail και password του λογαριασμού του ή για να δημιουργήσει ένα λογαριασμό με το e-mail και το password που επιθυμεί. Αφού συμπληρώσει τα συγκεκριμένα στοιχεία, πατάει το κουμπί Continue και ανακατευθύνεται στην αρχική οθόνη της εφαρμογής, στην οποία εμφανίζονται το όνομά του και το e-mail του, καθώς και το μήνυμα Η αυθεντικοποίηση πραγματοποιήθηκε με επιτυχία! αν έχει ολοκληρωθεί σωστά η σύνδεσή του στο Auth0. Αν όμως ο χρήστης επιχειρήσει να μεταφερθεί απευθείας στην αρχική οθόνη της εφαρμογής χωρίς να έχει εισάγει τα προσωπικά στοιχεία του στο Auth0, θα εμφανιστεί στην αρχική οθόνη το μήνυμα Failure: a0.authentication_canceled που υποδηλώνει ότι δεν πραγματοποιήθηκε η αυθεντικοποίησή του στο Auth0. Σε αυτήν την περίπτωση, ο χρήστης θα έχει στη διάθεσή του και πάλι ενεργοποιημένο μόνο το κουμπί ΣΥΝΔΕΣΗ στην αρχική οθόνη της Farmdain Mobile App και πατώντας το, θα μεταφερθεί εκ νέου στην υπηρεσία Auth0 για να ολοκληρωθεί ο έλεγχος του λογαριασμού του. Μόλις πραγματοποιηθεί η συγκεκριμένη διαδικασία, στην αρχική οθόνη της εφαρμογής γίνονται ενεργά πλέον και τα κουμπιά ΑΠΟΣΥΝΔΕΣΗ και ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΗΣΤΕ ΜΕ ΤΟ HASURA. Σε αυτό το σημείο, αν ο χρήστης πατήσει το κουμπί ΑΠΟΣΥΝΔΕΣΗ, θα μπορεί να πατήσει μετά μόνο τα κουμπιά ΣΥΝΔΕΣΗ και ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΗΣΤΕ ΜΕ ΤΟ HASURA. Αν πατήσει το κουμπί ΣΥΝΔΕΣΗ, θα μεταφερθεί ξανά στο Auth0, όπου θα πρέπει να εισάγει ξανά το e-mail και το password του, αν όμως πατήσει το κουμπί ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΗΣΤΕ ΜΕ ΤΟ HASURA, η εφαρμογή θα κλείσει και ο χρήστης θα βγει απευθείας από αυτήν. Προκειμένου λοιπόν να αποφύγει όλα αυτά τα προβλήματα, ο χρήστης μετά από την επιτυχημένη αυθεντικοποίησή του στο Auth0 και την επακόλουθη εμφάνιση του

ονόματος και του e-mail του στην αρχική οθόνη της Farmdain Mobile App και του μηνύματος επιτυχούς σύνδεσής του, μπορεί να πατήσει απευθείας το κουμπί ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΗΣΤΕ ΜΕ ΤΟ HASURA και μετά από αυτό, του εμφανίζεται μία νέα οθόνη με πέντε καρτέλες. Μέσα σε καθεμία καρτέλα αρχικά εμφανίζονται αυτόματα πίνακες όπου μπορεί να διαβάσει τις εκάστοτε εγγραφές του αντίστοιχου πίνακα από τη βάση δεδομένων και φόρμες με πεδία κειμένου προς συμπλήρωση και κουμπιά για την προσθήκη, ενημέρωση και διαγραφή εγγραφών σχετικά με τις εκτροφές, τις προσωπικές πληροφορίες για τα ζώα και τη φυσική κατάσταση των ζώων, την αναπαραγωγή των ζώων και τον εμβολιασμό των ζώων.

Στο επόμενο κεφάλαιο αναφέρονται τα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, καθώς και μελλοντικές επεκτάσεις σχετικές με το Διαδίκτυο των Πραγμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΠΙΛΟΓΟΣ

6.1 Συμπεράσματα

Η γεωργία ακριβείας και η κτηνοτροφία ακριβείας έχουν ποικίλες διαφορετικές εκφάνσεις, που με τη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία αναλύθηκε μόνο ένα μικρό μέρος της πολύ μεγάλης σημαντικότητας που έχουν για την εξέλιξη και αναβάθμιση της παραδοσιακής χειρωνακτικής γεωργίας και χειρωνακτικής κτηνοτροφίας. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων είναι ένα σύνολο τεχνολογιών που μπορεί να φέρει επανάσταση στην καθιέρωση ενός πιο βιώσιμου και φιλικού προς το περιβάλλον μηχανισμού για τον πρωτογενή τομέα, ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες των αγροτών. Αυτό είναι ικανό να βοηθήσει τους αγρότες στη διαχείριση των καλλιεργειών και των ζώων που έχουν υπό την κατοχή τους, στην παρακολούθηση των αγροκτημάτων χωρίς τη φυσική τους παρουσία σε αυτά, στην εκτέλεση κρίσιμων αποφάσεων που υποστηρίζονται σε βασικά στοιχεία από τους παρατεταγμένους εξοπλισμούς και στην κατασκευή συστημάτων και μοντέλων που ανταποκρίνονται στις ανάγκες και στους στόχους τους. Τέλος, μέσα από την ανάπτυξη της σχετικής εφαρμογής που περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, κρίθηκε επιτακτική η ανάγκη ύπαρξης ενός εύχρηστου μέσου για τη διαχείριση αγροκτημάτων μεγάλης κλίμακας (δηλαδή με πολλά ζώα) που θα βοηθήσει τους αγρότες όλων των ηλικιών να βελτιστοποιήσουν την παραγωγή τους.

6.2 Μελλοντικές επεκτάσεις

Στο μέλλον μπορούν να διερευνηθούν σε βάθος και άλλες περιοχές στις οποίες μπορεί να εφαρμοστεί το Διαδίκτυο των Πραγμάτων σε ειδικούς κλάδους της γεωργίας ακριβείας και της κτηνοτροφίας ακριβείας, αλλά και να επιλυθούν στο μέγιστο δυνατό βαθμό οι προκλήσεις και οι περιορισμοί που τίθενται για την κατασκευή έξυπνων συστημάτων και προϊόντων. Πιο συγκεκριμένα, μπορούν να αναλυθούν με διεξοδικότητα τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν οι τεχνολογίες του Διαδικτύου των Πραγμάτων στους αγρότες, τα μειονεκτήματα που επιφέρει η υλοποίησή τους για αυτούς και για το περιβάλλον γενικότερα και οι διαφορετικοί τομείς στους οποίους μπορούν να εφαρμοστούν και πιθανώς δεν έχουν ανακαλυφθεί μέχρι τώρα. Τέλος, μπορούν να κατασκευαστούν νέα προϊόντα που θα επιλύουν συνδυαστικά διαφορετικές ανάγκες των αγροτών και δε θα περιορίζονται σε μία συγκεκριμένη λειτουργία, αλλά και νέα συστήματα και μοντέλα που δε θα περιορίζονται σε μία γεωγραφική περιοχή, αλλά θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους πολίτες μίας ολόκληρης χώρας και θα είναι προσβάσιμα σε ανθρώπους είτε με αρκετές, είτε με ελάχιστες γνώσεις για τις τεχνολογίες που ενσωματώνουν αυτά.

Βιβλιογραφία

- [1] Vippon Preet Kour and Sakshi Arora, “*Recent Developments of the Internet of Things in Agriculture: A Survey*”, School of Computer Science and Engineering, Shri Mata Vaishno Devi University, Katra 182320, India, IEEE Access, vol. 8, 2020, pp. 2, 5-6, 10-13, 23-24
- [2] Muhammad Shoaib Farooq, Shamyla Riaz, Adnan Abid, Kamran Abid and Muhammad Azhar Naeem, “*A Survey on the Role of IoT in Agriculture for the Implementation of Smart Farming*”, IEEE Access, vol. 7, 2019, pp. 4-5, 10-15, 17-23, 27-28, 30
- [3] Wei-Jian Hu, Jie Fan, Yong-Xing Du, Bao-Shan Li, Naixue Xiong and Ernst Bekkering, “*MDFC-ResNet: An Agricultural IoT System to Accurately Recognize Crop Diseases*”, IEEE Access, vol. 8, 2020, pp. 3-8, 10-11
- [4] Uferah Shafi, Rafia Mumtaz, Naveed Iqbal, Syed Mohammad Hassan Zaidi, Syed Ali Raza Zaidi, Imtiaz Hussain and Zahid Mahmood, “*A Multi-Modal Approach for Crop Health Mapping Using Low Altitude Remote Sensing, Internet of Things (IoT) and Machine Learning*”, IEEE Access, vol. 8, 2020, pp. 5-6, 8-10, 13-15
- [5] Ahmed Ouammi, Oumaima Choukai, Driss Zejli and Sami Sayadi, “*A Decision Support Tool for the Optimal Monitoring of the Microclimate Environments of Connected Smart Greenhouses*”, IEEE Access, vol. 8, 2020, pp. 4-10
- [6] Chaowanan Jamroen, Preecha Komkum, Chanon Fongkerd and Wipa Krongpha, “*An Intelligent Irrigation Scheduling System Using Low-Cost Wireless Sensor Network Toward Sustainable and Precision Agriculture*”, IEEE Access, vol. 8, 2020, pp. 3-12
- [7] Dan Li, Yi Zheng and Wei Zhao, “*Fault Analysis System for Agricultural Machinery Based on Big Data*”, IEEE Access, vol. 7, 2019, pp. 3-13, 15
- [8] M. Odintsov Vaintrub, H. Levit, M. Chincarini, I. Fusaro, M. Giammarco and G. Vignola, “*Review: Precision livestock farming, automats and new technologies: possible applications in extensive dairy sheep farming*”, Animal, vol. 15, issue 3, 2021, pp. 3-8
- [9] Madonna Benjamin and Steven Yik, “*Precision Livestock Farming in Swine Welfare: A Review for Swine Practitioners*”, Animals, vol. 9, issue 4, 2019, pp. 3-11, 13-14
- [10] Chiara Evangelista, Loredana Basiricò and Umberto Bernabucci, “*An Overview on the Use of Near Infrared Spectroscopy (NIRS) on Farms for the Management of Dairy Cows*”, Agriculture, vol. 11, issue 4, 2021, pp. 12-16

- [11] Haikun Zheng, Tiemin Zhang, Cheng Fang, Jiayuan Zeng and Xiuli Yang, “*Design and Implementation of Poultry Farming Information Management System Based on Cloud Database*”, *Animals*, vol. 11, issue 3, 2021, pp. 2-7, 9-10, 13
- [12] Luís Nóbrega, Pedro Gonçalves, Paulo Pedreiras and José Pereira, “*An IoT-Based Solution for Intelligent Farming*”, *Sensors*, vol. 19, issue 3, 2019, pp. 7-17, 19-20
- [13] Bernard Ijesunor Akhigbe, Kamran Munir, Olugbenga Akinade, Lukman Akanbi and Lukumon O. Oyedele, “*IoT Technologies for Livestock Management: A Review of Present Status, Opportunities, and Future Trends*”, *Big Data and Cognitive Computing*, vol. 5, issue 1, 2021, pp. 16, 19-20, 23-24, 26-27, 31-32
- [14] Maanak Gupta, Mahmoud Abdelsalam, Sajad Khorsandroo and Sudip Mittal, “*Security and Privacy in Smart Farming: Challenges and Opportunities*”, *IEEE Access*, vol. 8, 2020, pp. 4-5, 8-11
- [15] Xihai Zhang, Zhanyuan Cao and Wenbin Dong, “*Overview of Edge Computing in the Agricultural Internet of Things: Key Technologies, Applications, Challenges*”, *IEEE Access*, vol. 8, 2020, pp. 4
- [16] Ching-Ju Chen, Ya-Yu Huang, Yuan-Shuo Li, Chuan-Yu Chang and Yueh-Min Huang, “*An AIoT Based Smart Agricultural System for Pests Detection*”, *IEEE Access*, vol. 8, 2020, pp. 4-10
- [17] Israr Ullah, Muhammad Fayaz, Nasir Naveed and Dohyeun Kim, “*ANN Based Learning to Kalman Filter Algorithm for Indoor Environment Prediction in Smart Greenhouse*”, *IEEE Access*, vol. 8, 2020, pp. 3, 7-8, 10-11, 13, 16
- [18] Chiara Bersani, Ahmed Ouammi, Roberto Sacile and Enrico Zero, “*Model Predictive Control of Smart Greenhouses as the Path towards Near Zero Energy Consumption*”, *Energies*, 13(14), 2020, pp. 3-5
- [19] Sani Abba, Jonah Wadumi Namkusong, Jeong-A Lee and Maria Liz Crespo, “*Design and Performance Evaluation of a Low-Cost Autonomous Sensor Interface for a Smart IoT-Based Irrigation Monitoring and Control System*”, *Sensors*, 19(17), 2019, pp. 8-10, 13-15, 18
- [20] Showkat Ahmad Bhat and Nen-Fu Huang, “*Big Data and AI Revolution in Precision Agriculture: Survey and Challenges*”, *IEEE Access*, vol. 9, 2021, pp. 9
- [21] Iker Esnaola Gonzalez, Meritxell Gómez Omella, Susana Ferreiro, Izaskun Fernandez, Ignacio Lázaro and Elena Garcia, “*An IoT Platform towards the Enhancement of Poultry*

Production Chains”, Sensors, 20(6), 2020, pp. 5-9, 11, 14, 17

[22] Βιβλιοθήκη του Auth0 και υλοποίησή της με κώδικα, διαθέσιμα από:

<https://auth0.com/docs/libraries/auth0-android>

<https://auth0.com/docs/quickstart/native/android/00-login>

[23] Βιβλιοθήκη του Apollo Android (πλέον Apollo Kotlin) και υλοποίησή της με κώδικα, διαθέσιμα από:

<https://www.apollographql.com/docs/kotlin/>

<https://www.apollographql.com/docs/kotlin/tutorial/00-introduction/>

<https://www.apollographql.com/docs/kotlin/tutorial/01-configure-project/>

[24] Υλοποίηση της GraphQL με κώδικα, διαθέσιμη από:

<https://hasura.io/learn/graphql/android/intro-to-graphql/1-architecture/>

<https://hasura.io/learn/graphql/android/queries/2-create-query/>

[25] Ειδικότερα θέματα χρήσης της GraphQL, διαθέσιμα από:

<https://graphql.org/learn/queries/>

<https://graphql.org/learn/schema/>

[26] Τρόποι υλοποίησης των queries με τη χρήση της GraphQL, διαθέσιμοι από:

<https://hasura.io/docs/latest/graphql/core/databases/postgres/queries/index.html>

[27] Τρόποι υλοποίησης των mutations με τη χρήση της GraphQL, διαθέσιμοι από:

<https://hasura.io/docs/latest/graphql/core/databases/postgres/mutations/insert.html>

<https://hasura.io/docs/latest/graphql/core/databases/postgres/mutations/update.html>

<https://hasura.io/docs/latest/graphql/core/databases/postgres/mutations/delete.html>

[28] Υλοποίηση του Apollo Client με κώδικα, διαθέσιμη από:

<https://hasura.io/learn/graphql/android/apollo-client/>

[29] Παραδείγματα του insert mutation με τη χρήση του Apollo Client, διαθέσιμα από:
<https://hasura.io/learn/graphql/android/mutations-variables/2-query-variables/>

<https://hasura.io/learn/graphql/android/mutations-variables/3-create-mutation/>

[30] Παράδειγμα του update mutation με τη χρήση του Apollo Client, διαθέσιμο από:
<https://hasura.io/learn/graphql/android/optimistic-update-mutations/2-mutation-cache/>

[31] Παράδειγμα του delete mutation με τη χρήση του Apollo Client, διαθέσιμο από:
<https://hasura.io/learn/graphql/android/optimistic-update-mutations/3.1-mutation-update-cache/>

[32] Υλοποίηση του ViewPager2 με οδηγίες χρήσης για εφαρμογές, διαθέσιμη από:
<https://developer.android.com/training/animation/vp2-migration#java>

[33] Θεωρητική αναφορά σε μία από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες αρχιτεκτονικές για την κατασκευή εφαρμογών για κινητές συσκευές, Οκτώβριος 2020, διαθέσιμη από:
<https://os-system.com/blog/mobile-app-architecture-how-to-design-it/>

[34] Κεντρική ιστοσελίδα του Auth0 με αναφορά των δυνατοτήτων του, διαθέσιμη από:
<https://auth0.com>

[35] Θεωρητική αναφορά στο ID token και στο access token με τα χαρακτηριστικά και τις διαφορές τους, Οκτώβριος 2021, διαθέσιμη από:
<https://auth0.com/blog/id-token-access-token-what-is-the-difference/>

[36] Θεωρητική αναφορά στα JSON web tokens με τα χαρακτηριστικά τους, διαθέσιμη από:
<https://auth0.com/learn/json-web-tokens/>

[37] Θεωρητική αναφορά στο Hasura με τις λειτουργίες του, Ιανουάριος 2020, διαθέσιμη από:
<https://hasura.io/blog/what-is-hasura-ce3b5c6e80e8/>

[38] Κεντρική ιστοσελίδα της GraphQL με αναφορά των δυνατοτήτων της, διαθέσιμη από:
<https://graphql.org>

[39] Θεωρητική αναφορά στα mutations με τη χρήση της GraphQL, διαθέσιμη από:
<https://hasura.io/docs/latest/graphql/core/databases/postgres/mutations/index.html>

Απόδοση ξενόγλωσσων όρων

Απόδοση	Ξενόγλωσσος όρος
Διαδίκτυο των Πραγμάτων	Internet of Things
υλικό	hardware
λογισμικό	software
Επίπεδο Αντίληψης	Perception Layer
πύλες δικτύου	gateways
Επίπεδο Δικτύου	Network Layer
Μακροπρόθεσμη Εξέλιξη	Long-Term Evolution
Πολλαπλή Πρόσβαση με Διαίρεση Κώδικα	Code-Division Multiple Access
Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών (Επικοινωνιών)	Global System for Mobile (Communications)
Ασύρματη Πιστότητα	Wireless Fidelity
Μεγάλης Εμβέλειας	Long-Range
Επικοινωνία Κοντινού Πεδίου	Near-Field Communication
Bluetooth Εξαιρετικά Ευρείας Ζώνης	Ultra-WideBand Bluetooth
Ταυτοποίηση Ραδιοσυχνοτήτων	Radio-Frequency IDentification
Επίπεδο Ενδιάμεσου Λογισμικού	Middleware Layer
Επίπεδο Εξυπηρέτησης	Service Layer
(υπολογιστικό) νέφος	cloud
Λογισμικό ως Υπηρεσία	Software-as-a-Service

Επίπεδο Ανάλυσης	Analytics Layer
Επίπεδο Τελικών Χρηστών	End-User Layer
Φυσικό Επίπεδο και Επίπεδο Ελέγχου Προσπέλασης Μέσου	Physical and MAC Layer
Επίπεδο Προσαρμογής	Adaptation Layer
4 ^η έκδοση Πρωτοκόλλου Διαδικτύου	Internet Protocol version 4
6 ^η έκδοση Πρωτοκόλλου Διαδικτύου	Internet Protocol version 6
Επίπεδο Μεταφοράς	Transport Layer
Επίπεδο Μεταφοράς Host-to-Host	Host-to-Host Transport Layer
Πρωτόκολλο Ελέγχου Μετάδοσης	Transmission Control Protocol
Πρωτόκολλο Δεδομένων Χρηστών	User Datagram Protocol
Επίπεδο Εφαρμογών	Application Layer
Πρωτόκολλο Περιορισμένων Εφαρμογών	Constrained Application Protocol
Προηγμένο Πρωτόκολλο Ουράς Μηνυμάτων	Advanced Message Queuing Protocol
Μεταφορά Τηλεμετρίας Ουράς Μηνυμάτων	Message Queuing Telemetry Transport
Πρωτόκολλο Μεταφοράς Υπερκειμένου	Hyper-Text Transfer Protocol
Ασφάλεια Επιπέδου Μεταφοράς	Transport Layer Security
Επίπεδο Ασφαλών Υποδοχών	Secure Sockets Layer
άκρο	edge
Επίπεδο Άκρου	Edge Layer
Επίπεδο (Υπολογιστικού) Νέφους	Cloud Layer
Διαδίκτυο	Internet
Πλατφόρμα ως Υπηρεσία	Platform-as-a-Service
Κατανεμημένο Σύστημα Αρχείων	Distributed File System

Επίπεδο Επικοινωνιών Δικτύου	Network Communication Layer
στοίβα δικτύου	network stack
Επίπεδο Ανίχνευσης	Sensing Layer
Γενική Ραδιοφωνική Υπηρεσία Πακέτων	General Packet Radio Service
Επίπεδο Προσπέλασης	Access Layer
Επίπεδο Δικτύου	Network Layer
Πρωτόκολλο Διαδικτύου	Internet Protocol
Επίπεδο Διαμοιρασμού Δεδομένων	Data Sharing Layer
Πρωτόκολλο Μεταφοράς Αρχείων	File Transfer Protocol
έξυπνη γεωργία	smart farming
Ασύρματο Τοπικό Δίκτυο	Wireless Local Area Network
Δίκτυο Ευρείας Περιοχής Μεγάλης Εμβέλειας	Long-Range Wide Area Network
Παγκόσμια διαλειτουργικότητα για Μικροκυματική Προσπέλαση	Worldwide interoperability for Microwave Access
Ασύρματα Δίκτυα Προσωπικής Περιοχής Χαμηλού Ρυθμού	Low-Rate Wireless Personal Area Networks
Δίκτυα Ευρείας Περιοχής Χαμηλής Ισχύος	Low-Power Wide-Area Networks
IoT Στενής Ζώνης	Narrow-Band IoT
Μακροπρόθεσμη Εξέλιξη για Μηχανήματα	Long-Term Evolution for Machines
Μακροπρόθεσμη Εξέλιξη Έργου Συνεργασίας Τρίτης Γενιάς	Third Generation Partnership Project Long-Term Evolution
Μηχάνημα προς Μηχάνημα	Machine-to-Machine
Χαμηλής Ενέργειας Bluetooth	Bluetooth Low Energy
Όχημα προς Όχημα	Vehicle-to-Vehicle

γεωργία ακριβείας	precision farming
μοτίβα εδάφους	soil patterns
Μη Επανδρωμένα Εναέρια Οχήματα	Unmanned Aerial Vehicles
Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών	Geographic Information Systems
Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης	Global Positioning System
πλαίσια λογισμικού	frameworks
Ποιότητα Υπηρεσιών	Quality of Service
Παγκόσμια Δορυφορικά Συστήματα Πλοήγησης	Global Navigation Satellite Systems
Κινηματική σε Πραγματικό Χρόνο	Real-Time Kinematics
παρεμβολείς	jammers
κακόβουλο λογισμικό	malware
Άρνηση Υπηρεσιών	Denial of Service
Botnet των Πραγμάτων	Botnet of Things
Κατανεμημένη Άρνηση Υπηρεσιών	Distributed Denial of Service
πολυ-διεργασία	multitasking
φορτωτής	loader
φλοιός	shell
εκκίνηση	boot
σωρός	heap
πυρήνας	kernel
κιτ ανάπτυξης λογισμικού	software development kit
Ασφαλές Πρωτόκολλο Μεταφοράς Υπερκειμένου	Hyper-Text Transfer Protocol Secure
αισθητήρες στάθμης νερού	water level sensors

αισθητήρες υγρασίας	humidity sensors
αισθητήρες ενυδάτωσης	moisture sensors
αισθητήρες στάθμης σημείου	point level sensors
αισθητήρες συνεχούς στάθμης	continuous level sensors
θερμοστοιχεία	thermocouples
προβαλλόμενος	projected
τακάκια	pads
χλοοτάπητας	turfgrass
ηλεκτρονικό ταχυδρομείο	e-mail
ιστολόγια	blogs
εμπορία	marketing
δρόσος	dew
Πολυδιάστατο Υπολειμματικό Νευρωνικό Δίκτυο Αντιστάθμισης Χαρακτηριστικών	MultiDimensional Feature Compensation Residual neural Network
Τεχνητή Νοημοσύνη	Artificial Intelligence
Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης Διαφοράς	Normalized Difference Vegetation Index
επιμήκυνση στελέχους	stem elongation
ωρίμανση σιτηρών	grain ripening
εικονοστοιχεία	pixels
ανθυγιεινός	unhealthy
καταπονημένος	stressed
υγιεινός	healthy
Μηχανή Διανυσματικής Υποστήριξης	Support Vector Machine
ανάκληση	recall

σκορ	score
αφαλάτωση	desalination
νησιωτική λειτουργία	islanded mode
Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο	Artificial Neural Network
αερόθερμο	heater
σύστημα ψύξης	chiller
Ρίζα Μέσης Τετραγωνικής Απόκλισης	Root Mean Square Error
σχήμα βασικής γραμμής	baseline scheme
προβλεπόμενο σχήμα με φίλτρο Kalman	predicted scheme with Kalman filter
προβλεπόμενο σχήμα με μάθηση στο φίλτρο Kalman	predicted scheme with learning to Kalman filter
αλγόριθμος σμήνους παράλληλων σωματιδίων	parallel particle swarm algorithm
σωλήνες	tubes
Τεχνολογίες Πληροφοριών και Επικοινωνίας	Information and Communication Technologies
Δείκτης Υδατικής Καταπόνησης Σοδειών	Crop Water Stress Index
Εκθετικός Κινητός Μέσος Όρος	Exponential Moving Average
κιβώτιο	container
Ραδιοσυχνότητα	Radio-Frequency
Διαμόρφωση Πλάτους Παλμού	Pulse Width Modulation
ασάφεια	fuzzification
ασαφές συμπέρασμα	fuzzy inference
σαφήνεια	defuzzification
συναρτήσεις μέλους	membership functions

πολύ	very
χαμηλός	low
μεσαίος	medium
υψηλός	high
μηδέν	zero
Σύστημα σε Τσιπ	System-on-Chip
Οθόνη Υγρών Κρυστάλλων	Liquid Crystal Display
υποβαθμισμένος	step-down
Ενιαίος Σειριακός Δίαυλος	USB
καρφίτσα	pin
Δια-ολοκληρωμένο Κύκλωμα	Inter-Integrated Circuit
Σειριακή Περιφερειακή Διεπαφή	Serial Peripheral Interface
μπάλωμα	patch
αυτο-παλίνδρομα δεδομένα	autoregressive data
σύνθετο φιλτράρισμα	composite filtering
σύνθετο φιλτράρισμα οριακής απόσβεσης	limit-damping composite filtering
αυτο-παλίνδρομη εξίσωση	autoregressive equation
εξίσωση κινητού μέσου όρου	moving average equation
εξισώσεις εκθετικής εξομάλυνσης	exponential smoothing equations
Δέντρο Παλινδρόμησης Κατηγορίας	CAtegory Regression Tree
βέλτιστη εξίσωση τμηματοποίησης	optimal segmentation equation
εξίσωση τετραγωνικού σφάλματος	square error equation
συστάδα	cluster
Ηλεκτρονική Ταυτοποίηση	Electronic Identification

βλωμός μηρυκαστικού	ruminal bolus
Αυτόματοι Συντάκτες	Automatic Drafters
φασματοφωτομετρία	spectrophotometry
επαυξημένη πραγματικότητα	augmented reality
Άμεση Εμπορία	Direct Marketing
Χρόνος Πτήσης	Time of Flight
έξυπνα τηλέφωνα	smartphones
ταμπλέτες	tablets
Βαθμολογία Σωματικής Κατάστασης	Body Condition Scoring
σύνδρομο πρόπτωσης	prolapse scoring
πλάκες δύναμης	force plates
πατάκια με αισθητήρα πίεσης	pressure-sensing mats
Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων	Wireless Sensor Networks
Φασματοσκοπία Υπερύθρου	Infrared Spectroscopy
Φασματοσκοπία Μέσης Υπέρυθρης Ακτινοβολίας	Mid-Infrared Spectroscopy
Φασματοσκοπία Κοντά Στο Υπέρυθρο	Near-Infrared Spectroscopy
υποκλινική κέτωση	subclinical ketosis
ουρία	urea
Αυτόματα Ρομπότ Αρμέγματος	Automatic Milking Robots
Φασματοσκοπία Υπερύθρου με Μετασχηματισμό Fourier	Fourier Transform Infrared Spectroscopy
μεσο-υπέρυθρο φάσμα	mid-infrared spectrum
β-υδροξυβουτυρικό	β-hydroxybutyrate
υπερκετοναμία	hyperketonemia

προγεστερόνη	progesterone
τιτλοδοτήσιμη οξύτητα	titrable acidity
καροτενοειδή	carotenoids
υποκείμενο επίπεδο	underlying layer
κατώτατο επίπεδο	bottom layer
επίπεδο υπηρεσίας δεδομένων	data service layer
μεσαίο επίπεδο	middle layer
μονάδα αυτοματισμού γραφείου	office automation module
μονάδα διαχείρισης παραγωγής	production management module
μονάδα συστήματος εμπειρο- γνωμοσύνης	expert system module
μονάδα ιχνηλασιμότητας	traceability module
διαγράμματα Οντοτήτων-Συσχετίσεων	Entity-Relationship diagrams
μονάδες	modules
μονάδα διαχείρισης γραφείου	office management module
Βιομηχανικός Προσωπικός Υπολογιστής	Industrial Personal Computer
Υπολογιστής Βιομηχανικού Ελέγχου	Industrial Control Computer
Μονάδα Ανίχνευσης Περιβαλλοντικών Πληροφοριών	Environmental Information Sensing Unit
υδρόθειο	hydrogen sulfide
υποδοχές	sockets
δηλώσεις	statements
μονάδα διαχείρισης περιβαλλοντικών πληροφοριών	environmental information management module
ερωτήματα	queries
μονάδα παρακολούθησης ασθενειών	poultry disease monitoring module

πουλερικών	
πολυ-μισθωτικός	multi-tenant
Βασικοί Δείκτες Απόδοσης	Key Performance Indicators
Προειδοποίηση Θερμοκρασίας	Temperature Warning
Συναγερμός Θερμοκρασίας	Temperature Alarm
Κατάσταση Συναγερμού	Alert Situation
Κατάσταση Κινδύνου	Danger Situation
Κατάσταση Έκτακτης Ανάγκης	Emergency Situation
Ρυθμός Κορεσμού	Saturation Rate
Μέση Συσσώρευση	Mean Accumulation
Τυπική Απόκλιση	Standard Deviation
Χαμηλή Θερμοκρασία	Low Temperature
Υψηλή Θερμοκρασία	High Temperature
Χαμηλή Σχετική Υγρασία	Low Relative Humidity
Υψηλή Σχετική Υγρασία	High Relative Humidity
Απότομες Κινήσεις	Abrupt Movements
Εύρος Βάρους	Weight Range
Βάρος στη Φάρμα	Farm Weight
Συνολικά Αιματώματα	Total Hematoma
Σπασμένο Φτερό	Broken Wing
Φτερά με Αιμάτωμα	Hematoma Wings
Μασχάλη με Αιμάτωμα	Hematoma Armpit
Στήθος	Breast
Σπασμένα Οστά	Broken Bones

Υπερθεματισμένος	Overscalded
Κακή Εξαγωγή Σπλάχνων	Bad Extraction Viscera
Άσχημα Μαδημένο (για ζώο)	Bad Plucked
Κακό Πλύσιμο	Bad Wash
Ψώρα	Scab
Περικοπές	Crops
Αρθρώσεις	Knuckles
Νεκρό στη μεταφορά (για ζώο)	Dead in transport
Κατασχεμένος	Confiscated
Αριθμοί κοτόπουλων	Numbers of chickens
Ποιότητα Κρέατος	Meat Quality
Εικονικό Ιδιωτικό Δίκτυο	Virtual Private Network
IPv6 πάνω από Ασύρματα Δίκτυα Προσωπικής Περιοχής Χαμηλής Ισχύος	IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks
ραδιο-πομποδέκτης	radio transceiver
ραδιοφάροι	beacons
Χρονικά Ενεργοποιημένος	Time-Triggered
Πολλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Χρόνου	Time Division Multiple Access
Πολλαπλή Πρόσβαση Ανίχνευσης Φέροντος	Carrier Sense Multiple Access
Αίτημα Σύζευξης	Pairing Request
Κολάρο προς Ραδιοφάρο	Collar-to-Beacon
Ραδιοφάρος προς Ραδιοφάρο	Beacon-to-Beacon
Αίτημα Εγγραφής	Registration Request
Απάντηση Εγγραφής	Registration Reply

διεπαφή προγραμματισμού διεπαφών Representational State Transfer	RESTful API
Φυσικό Σύστημα στον Κυβερνοχώρο	Cyber Physical System
Γνωστική Διαδικασία Αυτοματισμού	Cognitive Automation Process
Υπολογιστική Νέφους	Cloud Computing
Υπολογιστική Ομίχλης	Fog Computing
Υπολογιστική Κινητού Άκρου	Mobile-Edge Computing
επίπεδο προσπέλασης δεδομένων	data access layer
επίπεδο που ενσωματώνει τη λογική των εφαρμογών	business layer
επίπεδο παρουσίασης	presentation layer
Επεκτάσιμη Γλώσσα Σήμανσης	eXtensible Markup Language
κωδικός πρόσβασης	password
διαχειριστής	admin
κύριος χρήστης	masteruser
χρήστης	user
τεκμήριο ταυτοποίησης	identification token
τεκμήριο πρόσβασης	access token
Τεκμήριο Ιστού του Javascript Object Notation	Javascript Object Notation Web Token
τεκμήριο	token
αξιώσεις	claims
επικεφαλίδα	header
ωφέλιμο φορτίο	payload
υπογραφή	signature
δεσμευμένες αξιώσεις	reserved claims

δημόσιες αξιώσεις	public claims
ιδιωτικές αξιώσεις	private claims
Εξουσιοδότηση	Authorization
Φορέας/Κομιστής	Bearer
πελάτης λογισμικού	software client
μεταλλαγές	mutations
Δημιουργώ	Create
Διαβάζω	Read
Ενημερώνω	Update
Διαγράφω	Delete
προσωρινή αποθήκευση	caching
έργο	project
θραύσματα	fragments
καρτέλες	tabs
Δέσμη Εφαρμογών σε Android	Android App Bundle
Κιτ Πακέτων σε Android	Android Package Kit
Υπογραφή Εφαρμογών του Google Play	Google Play App Signing
αποσφαλμάτωση	debug
απελευθέρωση	release
αποτυχία	failure