



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Μελέτη ενός Επίγειου Συστήματος για την Επιτήρηση
Απομακρυσμένων Περιοχών σε Πραγματικό Χρόνο

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Παπαοικονόμου Ιωάννη

Επιβλέπων : Σκούτας Δημήτριος Επ. Καθηγητής

Μέλη εξεταστικής επιτροπής:

Σκούτας Δημήτριος, Επ. Καθηγητής

Κορμέντζας Γεώργιος, Καθηγητής

Κωστούλας Θεόδωρος Αν. Καθηγητής

Σάμος, Ιανουάριος 2023

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

Πρόλογος και ευχαριστίες

Μέσα σε μία περίοδο όπου ο κόσμος αλλάζει υπό την επίδραση πρωτοφανών γεγονότων, στη μέσο-Covid και μετά-Covid εποχή, οι κοινωνίες καλούνται να προσαρμοστούν σε νέα δεδομένα για να αποτινάξουν την εσωστρέφεια και να προχωρήσουν, αφήνοντας πίσω ένα τρόπο ζωής που εμπεριείχε λιγότερους κανόνες στην καθημερινότητα. Η λογική της συλλογικής ευθύνης οδήγησε σε λύσεις που διαχώρισαν την εργασία και γενικότερα τη δράση από τη φυσική παρουσία. Η τηλεεκπαίδευση, οι βιντεοκλήσεις και η τηλεεργασία ωρίμασαν δια της ανάγκης, για να ενσωματωθούν στη νέα κανονικότητα. Στο ίδιο μέτρο αναπτύχθηκε και η ανάγκη οι επαγγελματικοί και δημόσιοι χώροι να είναι διαθέσιμοι για να επιβλέπονται απομακρυσμένα. Οι μεγάλες αλλαγές γεννούν ανασφάλεια και η ανασφάλεια απρόβλεπτες συμπεριφορές με αποτέλεσμα να αυξάνεται η ανάγκη επίβλεψης της ιδιοκτησίας για να προστατευτεί από τους παραβάτες. Τα συστήματα επιτήρησης απομακρυσμένων περιοχών είναι αναγκαία περισσότερο από ποτέ και η τεχνολογία ενός κόσμου της πληροφορίας που προσανατολίστηκε για να συνδεθεί στον, κατά το δυνατό, μεγαλύτερο βαθμό υπόσχεται πολλά.

Θέλω να ευχαριστήσω όσους αφουγκράστηκαν την ανάγκη να δεσμεύσω χρόνο για να πραγματοποιήσω ένα ακόμη βήμα μπροστά. Βήμα που περνά μέσα από το παρόν πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών. Η ικανότητα της κατανόησης είναι αρετή. Ευχαριστώ τις μοναδικές προσωπικότητες που γνώρισα στο πρόγραμμα και το συνόδευσαν με ευχάριστες αναμνήσεις. Τέλος ευχαριστώ τον επιβλέπων καθηγητή Κ^ο Σκούτα Δημήτρη για τον οποίο τρέφω ειλικρινή εκτίμηση.

Τη διπλωματική μου εργασία επιθυμώ να την αφιερώσω στην κόρη μου, τη Μαρίλια.

© 2023

του

ΠΑΠΑΟΙΚΟΝΟΜΟΥ ΙΩΑΝΝΗ

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

Δήλωση πρωτοτυπίας

Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και δηλώνω ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω αναφέρει τις πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τη συγκεκριμένη μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία.

Πίνακας περιεχομένων

1	Εισαγωγή	11
1.1	Συστήματα απομακρυσμένης επιτήρησης	11
1.2	Σενάρια που μπορεί να εξυπηρετήσει ένα σύστημα απομακρυσμένης επιτήρησης.....	12
1.3	Αντικείμενο διπλωματικής	13
1.4	Δομή της διπλωματικής	14
2	Αρχιτεκτονική του συστήματος επιτήρησης	15
2.1	Αναδρομή στα συστήματα παρακολούθησης 1 ^{ης} , 2 ^{ης} και 3 ^{ης} γενιάς	15
2.2	Επιπλέον εμβάθυνση στα συστήματα 3 ^{ης} γενιάς	16
2.3	Δομή ενός σύγχρονου συστήματος επιτήρησης	17
2.3.1	Κεντρική μονάδα επιτήρησης	19
2.3.2	Εσωτερικό δίκτυο	20
2.3.3	Εξωτερικό δίκτυο.....	20
2.3.4	Υπηρεσίες Τεχνητής Νοημοσύνης, Machine Learning, Deep Learning.....	26
2.3.5	Πλατφόρμες δεδομένων.....	30
2.3.6	Αισθητήρες.....	34
3	Υλοποίηση ενός συστήματος επιτήρησης απομακρυσμένης περιοχής.....	37
3.1	Εισαγωγή	37
3.2	Σχηματική απεικόνιση	38
3.3	Δομή του συστήματος	38
3.3.1	Κεντρική μονάδα	39
3.3.2	Εσωτερική μνήμη.....	40
3.3.3	LTE module.....	41
3.3.4	Κεραία LTE	42
3.3.5	Κάρτα SIM.....	43
3.3.6	Κάμερα	43
3.3.7	Αισθητήρας κίνησης.....	44
3.3.8	Πλήρες σύστημα.....	45
3.4	Software.....	46
3.5	Λειτουργία του συστήματος	46
3.6	Διαχείριση δεδομένων	49
3.6.1	Λήψη φωτογραφιών με διαφορετική οπτική ανάλυση	49
3.6.2	Μελέτη του χρόνου αποστολής δεδομένων	52

3.6.3	Συμπεράσματα	53
3.7	Ενεργειακή κατανάλωση	54
3.7.1	Σύγκριση τριών τύπων συστημάτων επιτήρησης ως προς την ενεργειακή κατανάλωση. 54	
3.7.2	Κατανάλωση και επάρκεια του συστήματος που υλοποιήθηκε	57
3.7.3	Συστήματα συλλογής ενέργειας (Energy harvesting)	61
3.8	Βελτίωση του συστήματος	71
3.8.1	Σύστημα εντοπισμού θέσης	71
3.8.2	Σύνδεση με μπαταρία αποκλειστικής χρήσης	72
3.8.3	Χρήση energy harvesting.....	72
4	Συστήματα επιτήρησης και ηθική	73
4.1	Εισαγωγή	73
4.2	Χαρακτηριστικές περιπτώσεις	74
4.2.1	Ινδία	74
4.2.2	Σιγκαπούρη.....	74
4.2.3	Ευρώπη.....	75
4.3	Συμπεράσματα.....	75
	Βιβλιογραφία	77
	Παράρτημα I , Κώδικας προγραμματισμού για τον έλεγχο του συστήματος επιτήρησης σε γλώσσα προγραμματισμού python	80
	Python Script surveillance.py	80
	Python Script pushoverimg.py	82

Λίστα Σχημάτων

ΕΙΚΟΝΑ	ΛΕΞΑΝΤΑ	ΣΕΛΙΔΑ
1	Εξέλιξη των συστημάτων επιτήρησης	16
2	Διάγραμμα των επιμέρους τμημάτων ενός πλήρους συστήματος επιτήρησης	18
3	Κεντρική μονάδα οικιακού συστήματος επιτήρησης	19
4	Απεικόνιση επαγγελματικής κεντρικής μονάδα επιτήρησης	19
5	Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα	21
6	Δίκτυο LoRa (Long Range network)	22
7	Δίκτυο Sigfox	22
8	Δίκτυο NARROWBAND IoT (NB-IoT)	23
9	Δίκτυο LTE-M	23
10	Μέσος όρος γεγονότων ενδιαφέροντος που καταγράφηκαν από σύστημα επιτήρησης κατά τη διάρκεια τριών διαφορετικών ημερών	26
11	Η αβεβαιότητα για την πληροφορία της πρώτης φωτογραφίας ελέγχεται από μία δεύτερη κάμερα που απεικονίζει το ίδιο γεγονός από άλλη γωνία	27
12	Οι τεχνολογίες που συνδυάζονται για να αποδώσουν το Internet of Drones υποσύνολο του IoT	28
13	Η ακολουθία διαδικασιών Deep Learning στον τομέα της επιτήρησης	28
14	Η αρχιτεκτονική της επιτήρησης μέσω UAVs στις έξυπνες πόλεις	29
15	10 γνωστοί Cloud Services πάροχοι για το 2023	31
16	Σύγκριση των αρχιτεκτονικών Edge Computing (EC) Fog Computing (FC) και Multi-Access Edge Computing (MEC) σε όρους τοποθεσίας και απόστασης από τον πυρήνα του Cloud	32
17	Οι σχέσεις των διαφόρων αρχιτεκτονικών σε μορφή συνόλων και υποσυνόλων	33
18	Η αρχιτεκτονική τριών στρωμάτων του οικοσυστήματος Internet of Things – Fog Computing – Cloud	34
19	Είδη αισθητήρων ανά κατηγορία συχνότητας	35
20	Σύστημα επιτήρησης απομακρυσμένης περιοχής με αισθητήρα κίνησης, κάμερα και LTE/GSM module	38
21	Η κεντρική μονάδα του συστήματος επιτήρησης	39
22	Η κεντρική μονάδα του συστήματος επιτήρησης	39
23	Η κάρτα με την εσωτερική μνήμη του συστήματος επιτήρησης	40
24	Η κάρτα με την εσωτερική μνήμη του συστήματος επιτήρησης	40

25	Η LTE μονάδα του συστήματος	41
26	Η LTE μονάδα του συστήματος	41
27	Η κεραία LTE του συστήματος	42
28	Η Κάρτα SIM του συστήματος	43
29	Η κάμερα του συστήματος επιτήρησης	43
30	Ο αισθητήρας κίνησης PIR Sensor	44
31	Ο αισθητήρας κίνησης PIR Sensor	44
32	Ο αισθητήρας κίνησης PIR Sensor	44
33	Η πλήρης διάταξη του συστήματος επιτήρησης	45
34	Λειτουργία του συστήματος σε αδράνεια	47
35	Λειτουργία του συστήματος κατά την ανίχνευση κίνησης. Διακρίνεται η λειτουργία της κάμερας	47
36	Ειδοποίηση εκκίνησης του συστήματος επιτήρησης	48
37	Ειδοποίηση ανίχνευσης κίνησης στο χώρο επιτήρησης, συνοδευόμενη από φωτογραφία του χώρου	48
38	Μέγιστη ανάλυση, 2592X1944, μέγεθος αρχείου 2314 kB	50
39	Ανάλυση Full HD, 1920X1080, μέγεθος αρχείου 1065 kB	51
40	Ανάλυση SVGA, 800X600, μέγεθος αρχείου 240 kB	51
41	Ανάλυση QVGA, 320X240, μέγεθος αρχείου 67 kB	51
42	Μία συνηθισμένη μπαταρία αυτοκινήτου	61
43	Εύκαμπτο φωτοβολταϊκό στοιχείο προορισμένο για συλλογή ενέργειας από τη φωτεινή ακτινοβολία σε συσκευές IoT	62
44	Ένα στοιχείο συλλογής ενέργειας από κινήσεις ή δονήσεις	63
45	Θερμοστοιχείο συλλογής θερμικής ενέργειας	63
46	Συλλέκτης ενέργειας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας	64
47	Η δομή ενός RFID tag	65
48	Φωτοβολταϊκό στοιχείο ηλεκτρικής ισχύος 6W / 5.5V	66
49	Μέση ετήσια ισχύς φωτεινής ακτινοβολίας (καθαρός ουρανός)	67
50	Μέση ετήσια ισχύς φωτεινής ακτινοβολίας (όλες οι καιρικές συνθήκες)	67
51	GPS Module συμβατό με την υλοποίηση του συστήματος επιτήρησης	72
52	Έλεγχος θερμοκρασίας σώματος και χρήσης μάσκας κατά την είσοδο στο αεροδρόμιο Changi της Σιγκαπούρης	74

53	Σύσκεψη του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας με θεματολογία που περιλαμβάνει τα προβλήματα ηθικής κατά την πανδημία SARS – COVID19	75
----	--	----

Λίστα Πινάκων

ΠΙΝΑΚΑΣ	ΛΕΞΑΝΤΑ	ΣΕΛΙΔΑ
1	Συγκεντρωτικά χαρακτηριστικά των ασύρματων δικτύων	25
2	Χαρακτηριστικά της κεντρικής μονάδας	39
3	Χαρακτηριστικά της μονάδας LTE	41, 42
4	Αντιστοίχιση της οπτικής ανάλυσης των φωτογραφιών δοκιμής με το μέγεθος του αρχείου που παράχθηκε	50
5	Συνολικός χρόνος καταγραφής – αποστολής – λήψης δεδομένων	52
6	Κατανάλωση ενέργειας από ένα σύστημα επιτήρησης	54, 55
7	Κατανάλωση ενέργειας από ένα σύστημα επιτήρησης	55
8	Χαρακτηριστικά του Desktop υπολογιστή που χρησιμοποιήθηκε στη σύγκριση κατανάλωσης ενέργειας	55, 56
9	Χαρακτηριστικά του Laptop που χρησιμοποιήθηκε στη σύγκριση κατανάλωσης ενέργειας	56
10	Χαρακτηριστικά του Smartphone που χρησιμοποιήθηκε στη σύγκριση κατανάλωσης ενέργειας	56
11	Χαρακτηριστικά του Tablet που χρησιμοποιήθηκε στη σύγκριση κατανάλωσης ενέργειας	56
12	Χαρακτηριστικά του Raspberry Pi 2 Model B που χρησιμοποιήθηκε στη σύγκριση κατανάλωσης ενέργειας	57
13	Ένδειξη μπαταρίας του συστήματος ανά χρόνο λήψης μέτρησης	57, 58
14	Κατανάλωση ενέργειας και ισχύος του συστήματος	60
15	Παρεχόμενη ηλεκτρική ισχύς από το φωτοβολταϊκό στοιχείο ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες	68
16	Ένδειξη μπαταρίας του συστήματος συναρτήσει του χρόνου φόρτισης	68
17	Χρόνος φόρτισης για τη μεταβολή του ποσοστού υπολοίπου μπαταρίας κατά 1% (min) και μεταβολή του % ποσοστού υπολοίπου μπαταρίας ανά ώρα	69
18	Ένδειξη μπαταρίας του συστήματος ανά χρόνο λήψης για διαφορετικές γωνίες προσανατολισμού του φωτοβολταϊκού στοιχείου	70

Λίστα Διαγραμμάτων

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ	ΛΕΖΑΝΤΑ	ΣΕΛΙΔΑ
1	Συνολικός χρόνος ολοκλήρωσης καταγραφής – αποστολής – λήψης ανά μέγεθος παραγόμενου αρχείου	53
2	Ενεργειακή κατανάλωση του συστήματος	58
3	Ενεργειακή κατανάλωση του συστήματος σε αδράνεια	59
4	Ενεργειακή κατανάλωση του συστήματος (μία ανίχνευση κίνησης ανά 30 λεπτά)	60
5	Ένδειξη μπαταρίας του συστήματος συναρτήσει του χρόνου φόρτισης	69
6	Ένδειξη μπαταρίας του συστήματος ανά χρόνο λήψης για διαφορετικές γωνίες προσανατολισμού του φωτοβολταϊκού στοιχείου (καθαρός ουρανός)	71

Ακρωνύμια

IoT	Internet of Things
A.I.	Artificial Intelligence
LoRa	Long Range network
UNB	Ultra Narrow Band
NB-IoT	NARROWBAND IoT
LTE	Long Term Evolution network
LTE-M	Long Term Evolution Machine Type Communication
LPWA	Low Power Wide Area networks
LBS	Location Based Service
PIR	Passive Infrared Sensor
GPIO	General Purpose Input Output
OoI	Object of Interest
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
ΠΟΥ	Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας
WHO	World Health Organization
ECGSM - IoT	Extended Coverage GSM – Internet of Things
FC	Fog Computing
EC	Edge Computing
MEC	Multi-Access Edge Computing

Περίληψη

Ένα σύστημα επιτήρησης δίνει λύση σε πολλές ανάγκες όπως είναι η ασφάλεια ενός χώρου, η αυτοματοποίηση της παραγωγής και η οργάνωση σε διάφορους τομείς της καθημερινότητας, για παράδειγμα τη ρύθμιση της οδικής κυκλοφορίας.

Η υλοποίηση ενός συστήματος επιτήρησης πρέπει να γίνεται με βασικούς άξονες το κόστος, την κατανάλωση ενέργειας, τις ανάγκες σε ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων και τις ιδιαιτερότητες του σεναρίου που πρέπει να καλυφθεί. Η εξέλιξη των συστημάτων παρακολούθησης βρίσκεται σήμερα στην Τρίτη γενιά συστημάτων. Πλέον η κατανομή της τεχνολογίας αποκεντρώνεται και ενσωματώνεται μεγάλο μέρος της στα επιμέρους τμήματα του συστήματος εξυπηρετώντας, μεταξύ άλλων, την ανάγκη για πλήρη ψηφιοποίηση του συστήματος. Οι επιλογές στα τεχνολογικά μέρη που μπορούν να ενσωματωθούν στο σύστημα, όπως αισθητήρες και μονάδες καταγραφής δεδομένων προσφέρονται σε πληθώρα. Οι υπηρεσίες τεχνητής νοημοσύνης και απομακρυσμένης αποθήκευσης δεδομένων υπόσχονται αυτοματοποιημένη ανάλυση των δεδομένων που θα ήταν αδύνατο να πραγματοποιηθεί από ανθρώπινη εργασία σε μικρό χρόνο. Η ανάγκη για οικονομία στην ενέργεια προκειμένου να εξυπηρετηθούν τα συστήματα που λειτουργούν με περιορισμένους ενεργειακούς πόρους έχει οδηγήσει στη δημιουργία δικτύων επικοινωνιών χαμηλής κατανάλωσης που μπορούν να διασυνδέσουν εκατοντάδες χιλιάδες συσκευές ανά μονάδα δικτύου. Η υλοποίηση ενός συστήματος επιτήρησης χαμηλής κατανάλωσης μπορεί πλέον να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας μέρη που είναι άμεσα διαθέσιμα στο εμπόριο, με χαμηλό κόστος και βασικές γνώσεις προγραμματισμού. Η εκτόξευση της χρήσης των συστημάτων επιτήρησης δημιουργεί πλέον την ανάγκη διαμόρφωσης κώδικα ηθικής που διασφαλίζει το ωφέλιμο του χαρακτήρα τους σε παγκόσμια έκταση.

Οι λεπτομέρειες για την εξέλιξη όσων αναφέρονται παραπάνω είναι απαραίτητες για τη διαμόρφωση σφαιρικής άποψης πάνω στα συστήματα επιτήρησης. Θα αναλυθούν ανά κατηγορία και ένα μέρος αυτών θα μελετηθεί στη συνέχεια πάνω σε ένα πρωτότυπο σύστημα επιτήρησης απομακρυσμένων περιοχών σε πραγματικό χρόνο.

Abstract

Surveillance systems are the solution to a variety of today's needs, such as security, production automation, and the orchestration of routine issues like traffic manipulation.

Cost, energy consumption rates, data transmission rates, and scenario analysis are critical while implementing a surveillance system. The technology of surveillance systems goes through its third generation, distinguished by the decentralization, spatial distribution, and incorporation of technology into the parts of the systems, along with the full digitization of the produced data. Sensors, recording units, and other technological parts ready to be embodied in a surveillance system are available in great numbers and variety. Artificial intelligence and remote storage services provide analytical processes impossible to be completed by human resources in reasonable time intervals. The necessity of energy-efficient systems has led to the development of low-power data networks capable of managing hundreds of thousands of connected devices per network unit. Basic programming skills and low-cost parts commercially available in excess make a convenient recipe for implementing a surveillance system that serves a variety of scenarios. A rapidly increasing usage of surveillance systems urges the need to shape the ethical code that will secure the beneficial profile of such technology on a global scale.

All the above, described in detail, constitutes a necessary set of knowledge in order to form a spherical perspective on the surveillance systems industry. A categorized analysis follows, accompanied by the implementation of a prototype real-time surveillance system.

1

Εισαγωγή

1.1 Συστήματα απομακρυσμένης επιτήρησης

Οι σύγχρονες κοινωνικές συνθήκες έχουν διαμορφώσει την ανάγκη προστασίας της προσωπικής περιουσίας ενάντια σε κακόβουλες προθέσεις και πράξεις. Οι τεχνολογίες παρακολούθησης έχουν εξελιχθεί έως το επίπεδο της τρίτης γενιάς συστημάτων παρακολούθησης προσφέροντας επιλογές για πληθώρα σεναρίων. Ακολουθώντας την εξέλιξη των δικτύων επικοινωνιών, μία από τις σημαντικότερες δυνατότητες που προσφέρουν είναι η απομακρυσμένη πρόσβαση στην παρακολουθούμενη περιοχή σε πραγματικό χρόνο, είτε αυτή αφορά σε πληροφορίες κατάστασης όπως είναι η θερμοκρασία ή η ύπαρξη καπνού, είτε σε απομακρυσμένη εποπτεία μέσω εικόνας και ήχου. Παρ' όλα αυτά, η δικτύωση της πλευράς παρακολούθησης στηρίζεται κατά πλειοψηφία σε υπηρεσίες δικτύου που αφορούν μία συγκεκριμένη τοποθεσία, όπως είναι ένα σπίτι ή ένα κτίριο. Η παρακολούθηση μίας περιοχής της οποίας η θέση αλλάζει εγείρει ανάγκες οι οποίες δε μπορούν να εξυπηρετηθούν από τα συμβατικά συστήματα παρακολούθησης. Η πρόσβαση στο δίκτυο πρέπει να εξασφαλίζεται ακόμα και κατά την αλλαγή θέσης. Η ενεργειακή τροφοδοσία του συστήματος και ο χώρος αποθήκευσης των δεδομένων παρακολούθησης είναι επίσης ζητήματα τα οποία μπορεί να χρειαστεί να εξυπηρετηθούν εναλλακτικά, χωρίς να θεωρούνται δεδομένες η απρόσκοπτη παροχή ενέργειας από το συμβατικό δίκτυο και η ύπαρξη άφθονου τοπικού αποθηκευτικού χώρου.

Ένα επίγειο σύστημα για την επιτήρηση απομακρυσμένων περιοχών σε πραγματικό χρόνο είναι το μέσο το οποίο εξασφαλίζει στο χρήστη του πληροφορίες για την κατάσταση μίας περιοχής κατά το χρόνο που δε βρίσκεται εκεί παρών. Οι πληροφορίες αφορούν στις ανάγκες της επιτήρησης. Μπορεί να είναι δείκτες του μέτρου ενός μεγέθους όπως η θερμοκρασία μίας μηχανής ή πιο πολύπλοκα σύνολα πληροφοριών όπως εικόνες, ήχος και δεδομένα θέσης.

Η δομή του συστήματος περιλαμβάνει το φυσικό και το μη φυσικό του μέρος. Το φυσικό μέρος περιλαμβάνει τα κομμάτια τεχνολογίας που λαμβάνουν, επεξεργάζονται, αποθηκεύουν και στέλνουν την πληροφορία (αισθητήρες μέτρησης και λήψης δεδομένων, υπολογιστής, μνήμη, κεραίες) και αυτά που εξασφαλίζουν τη λειτουργία του συστήματος (καλώδια, τροφοδοσία ενέργειας, θήκες). Το μη φυσικό μέρος περιλαμβάνει τα δεδομένα που αποτελούν την πληροφορία, τις υπηρεσίες αποθήκευσης και ανάλυσης αυτής, όπως είναι μία cloud υπηρεσία αποθήκευσης δεδομένων, το λογισμικό του συστήματος και το λογισμικό αλληλεπίδρασης με το χρήστη.

Η διαδικασία της παρακολούθησης μπορεί να διακριθεί σε τρία βασικά μέρη: Τη λήψη δεδομένων, την ανάλυση της πληροφορίας και τις διεργασίες που μπορούν να εκτελεστούν στο χώρο παρακολούθησης προκειμένου να εξασφαλιστεί μία κατάσταση η οποία θεωρείται κανονική.

Όλα τα μέρη ενός συστήματος απομακρυσμένης επιτήρησης συνεργάζονται για να εξυπηρετηθεί ο στόχος του συστήματος. Στόχος είναι η πρόσβαση του χρήστη στις επιθυμητές πληροφορίες που αφορούν στην περιοχή που επιτηρείται. Αυτό μπορεί να γίνει είτε με την πρωτοβουλία του χρήστη, ο οποίος πρέπει να έχει τη δυνατότητα να ζητήσει από το σύστημα να του παρέχει πρόσβαση σε πληροφορίες στο χρόνο που εκείνος επιθυμεί, είτε αυτόματα, μέσω προκαθορισμένων σεναρίων και ειδοποιήσεων. Το σύστημα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να επικοινωνεί με το χρήστη όταν ικανοποιούνται συγκεκριμένες προϋποθέσεις που έχουν καθοριστεί από τον ίδιο. Όταν η μέτρηση ενός αισθητήρα βρίσκεται μέσα σε ένα επιθυμητό ή ανεπιθύμητο εύρος τιμών, όταν αλλάζει η θέση του συστήματος, όταν υπάρχει παρουσία στον χώρο κλπ. Τότε μέσω ειδοποιήσεων ενημερώνει το χρήστη ότι πρέπει να ζητήσει πρόσβαση στις πληροφορίες, ή αυτόματα στέλνει τις πληροφορίες που χρειάζεται [1].

1.2 Σενάρια που μπορεί να εξυπηρετήσει ένα σύστημα απομακρυσμένης επιτήρησης

Ένα επίγειο σύστημα επιτήρησης παρέχει στο χρήστη

- Εποπτεία της κατάστασης του χώρου που παρακολουθείται με εικόνα, ήχο και μετρήσεις από αισθητήρες
- Ενημέρωση για γεγονότα για τα οποία επιθυμεί να γνωρίζει ότι συνέβησαν.

Μεταξύ άλλων:

- Επιτήρηση του χώρου με τη μετάδοση εικόνας και ήχου.
- Ανίχνευση κίνησης στο χώρο που παρακολουθείται.
- Αναγνώριση προσώπων στο χώρο.
- Καταγραφή προσώπων.
- Ταυτοποίηση προσώπων για πρόσβαση στο χώρο.
- Ανίχνευση συγκεκριμένης συμπεριφοράς, όπως βίαιες κινήσεις, βανδαλισμός, κλοπή αντικειμένων από το χώρο, πτώση ενός ατόμου.
- Θορυβώδη περιστατικά.
- Αλλαγή παραμέτρων του χώρου όπως θερμοκρασία, φωτισμός, ένταση ήχου, υγρασία, πίεση και οτιδήποτε μπορεί να μετρήσει ένας αισθητήρας.
- Αλλαγή της θέσης ενός αντικειμένου.
- Καταγραφή οχημάτων.
- Καταγραφή αριθμού κυκλοφορίας οχημάτων.

- Άνοιγμα εισόδων / εξόδων του χώρου (πόρτες, παράθυρα, αεραγωγοί, περάσματα.
- Παρουσία καπνού και φωτιάς.

Σε κάθε σενάριο ο χρήστης μπορεί να καθορίσει τις προϋποθέσεις κάτω από τις οποίες θα εκτελεστεί από το σύστημα κάποια ενέργεια.

Παραδείγματα:

- Όταν ανιχνευθεί κίνηση στο χώρο.
- Όταν ταυτοποιηθούν συγκεκριμένα πρόσωπα στο χώρο.
- Όταν ανιχνευθεί συγκεκριμένη συμπεριφορά, όπως η οδήγηση στο αντίθετο ρεύμα ενός δρόμου ή όταν ένα αντικείμενο αλλάζει θέση.
- Όταν ή τιμή ενός μεγέθους ξεπεράσει κάποιο άνω ή κάτω όριο, για παράδειγμα η άνοδος της θερμοκρασίας πάνω ή κάτω από μία καθορισμένη τιμή.

Τα σενάρια ειδοποίησης καθορίζονται είτε μέσω προκαθορισμένων επιλογών που δίνει το πρόγραμμα του συστήματος παρακολούθησης είτε μέσω εξατομικευμένου προγραμματισμού (custom software) που εξυπηρετεί τις ανάγκες του χρήστη.

1.3 Αντικείμενο διπλωματικής

Η υλοποίηση ενός συστήματος απομακρυσμένης επιτήρησης απαιτεί γνώση των διαθέσιμων τεχνολογιών και των περιορισμών που ορίζουν, μελέτη της ενεργειακής επάρκειας και του οικονομικού κόστους.

Θα ακολουθήσει ανάλυση της εξέλιξης των συστημάτων παρακολούθησης και εμβάθυνση στα συστήματα τελευταίας γενιάς προκειμένου να γίνουν κατανοητές οι δυνατότητες της τρέχουσας τεχνολογίας.

- Ιδιαίτερη αναφορά θα γίνει στους αισθητήρες που μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα σύστημα και στις δυνατότητες που προσφέρει η χρήση της Τεχνητής Νοημοσύνης.
- Η απομακρυσμένη επιτήρηση προϋποθέτει κάποιο δίκτυο επικοινωνίας. Θα αναλυθούν τα διαθέσιμα δίκτυα, ειδικά όσα προορίζονται για συσκευές χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης.
- Θα αποτυπωθεί μία εικόνα για την ενεργειακή κατανάλωση των συστημάτων απομακρυσμένης επιτήρησης μέσω της σύγκρισης της κατανάλωσης διαφόρων συστημάτων.
- Θα αναλυθούν σενάρια που μπορεί να εξυπηρετήσει η ύπαρξη ενός συστήματος απομακρυσμένης επιτήρησης.
- Θα τονιστεί η ανάγκη διαμόρφωσης κώδικα ηθικής πάνω στη χρήση των συστημάτων επιτήρησης.

Με την ανάλυση όσων αναφέρθηκαν παραπάνω, συντίθεται μία σφαιρική εικόνα για τα σύγχρονα συστήματα απομακρυσμένης επιτήρησης, τις δυνατότητες που έχουν και τις παραμέτρους που πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν προκειμένου να προχωρήσει η υλοποίησή τους.

Τέλος, θα υλοποιηθεί ένα πρωτότυπο σύστημα απομακρυσμένης επιτήρησης προσαρμοσμένο σε συγκεκριμένο σενάριο που έχει στόχο την απομακρυσμένη επιτήρηση ενός μετακινούμενου χώρου. Θα μελετηθεί και θα μετρηθεί η ενεργειακή του κατανάλωση, θα περιγραφούν τα μέρη του και θα μετρηθούν οι χρόνοι ειδοποίησης του χρήστη. Τέλος θα παρουσιαστεί η λειτουργία του.

1.4 Δομή της διπλωματικής

Η θεωρητική προσέγγιση που σχετίζεται με το αντικείμενο της διπλωματικής παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 2. Το Κεφάλαιο 3 συζητά θέματα μοντελοποίησης και αναλύει την υλοποίηση ενός πρωτότυπου συστήματος επιτήρησης απομακρυσμένων περιοχών μεταβαλλόμενης θέσης σε πραγματικό χρόνο μαζί με τις μετρήσεις ενεργειακής κατανάλωσης και του χρόνου ειδοποίησης του χρήστη. Το κεφάλαιο 4 ασχολείται με την ανάγκη ηθικής προσέγγισης της ολοένα και μεγαλύτερης παρουσίας των συστημάτων επιτήρησης στην καθημερινότητα. Στο Παράρτημα βρίσκονται τα κείμενα προγραμματισμού σε γλώσσα python που αναπτύχθηκαν για τον έλεγχο του συστήματος που υλοποιήθηκε.

2

Αρχιτεκτονική του συστήματος επιτήρησης

2.1 Αναδρομή στα συστήματα παρακολούθησης 1^{ης}, 2^{ης} και 3^{ης} γενιάς

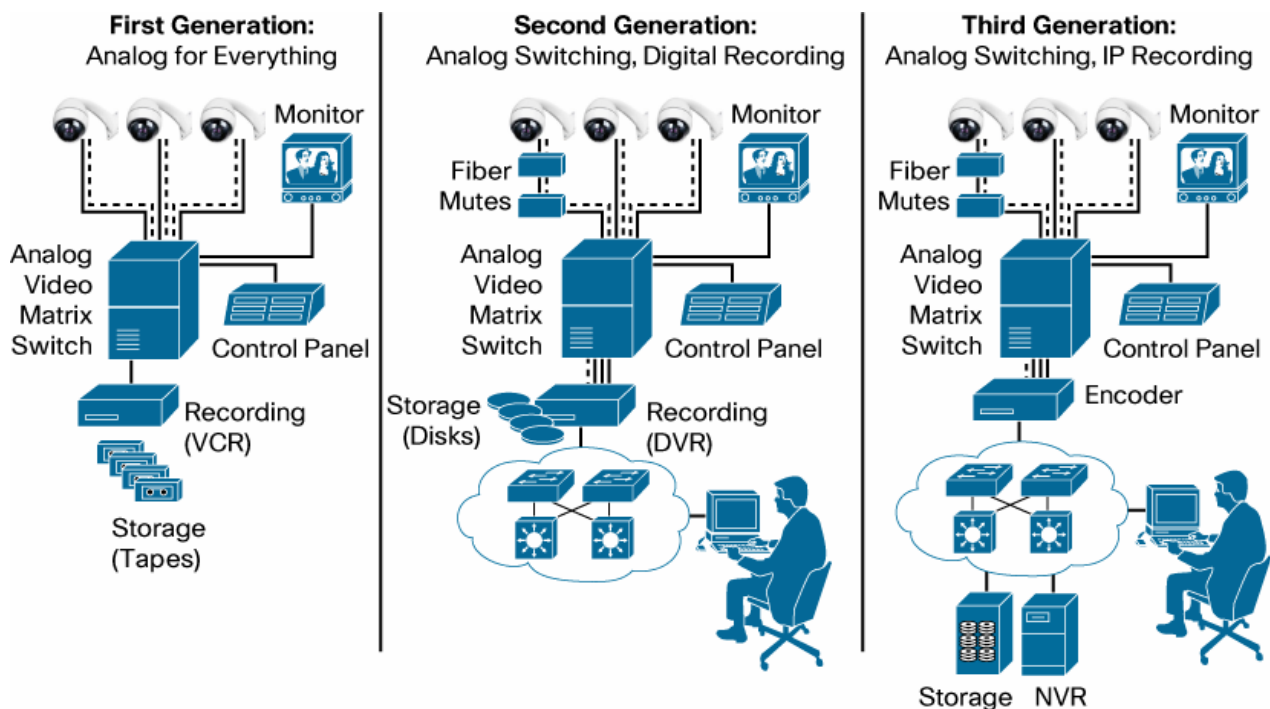
Η σύγχρονη δομή των συστημάτων επιτήρησης προέκυψε μέσα από την εξέλιξη της τεχνολογίας από τα πρώτα συστήματα που δημιουργήθηκαν μέχρι και σήμερα. Οι δυνατότητες που προσφέρονται σήμερα δεν ήταν πάντα δεδομένες. Η αναδρομή στην πορεία της εξέλιξης των συστημάτων επιτήρησης βοηθάει στην κατανόηση των προκλήσεων που ικανοποιήθηκαν με την πάροδο του χρόνου αλλά και όσων προέκυψαν και εκκρεμούν σήμερα.

Η εκκίνηση της εξέλιξης των συστημάτων παρακολούθησης μπορεί να τοποθετηθεί στη δεκαετία του 1960 με τη δημιουργία των συστημάτων παρακολούθησης κλειστού κυκλώματος (CCTVs, Closed Circuit Television systems). Από τότε μπορούμε να διακρίνουμε τρεις γενιές συστημάτων παρακολούθησης, τα όρια των οποίων καθορίστηκαν από τη μετάβαση από τα αναλογικά συστήματα (πρώτη γενιά) έως τα σημερινά που είναι πλήρως ψηφιακά (τρίτη γενιά).

Η πρώτη γενιά συστημάτων παρακολούθησης περιλάμβανε αναλογικό εξοπλισμό στο σύνολο του συστήματος. Αναλογικές κάμερες κατέγραφαν εικόνα και ήχο τα οποία μετέδιδαν μέσω αναλογικού σήματος στο κεντρικό τμήμα του συστήματος, όπου μπορούσαν να προβληθούν και να γίνει η καταγραφή τους. Τα κυριότερα μειονεκτήματα των συστημάτων πρώτης γενιάς οφείλονταν κυρίως στην αναλογική τεχνολογία η οποία έχει υψηλές απαιτήσεις σε bandwidth και μικρή ευελιξία στη διανομή του σήματος.

Η δεύτερη γενιά διέφερε από την πρώτη ως προς τη δομή των κυρίων μερών τους τα οποία ήταν πλέον ψηφιακά. Αυτό οδήγησε στη δυνατότητα εξελιγμένης ανάλυσης των σημάτων που δεχόταν το σύστημα σε πραγματικό χρόνο. Ήταν δυνατόν πλέον να ενεργοποιηθούν ειδοποιήσεις που προέκυπταν από γεγονότα που είχαν προκαθοριστεί ως κρίσιμα από το χρήστη του συστήματος. Χρησιμοποιήθηκε ψηφιακή συμπίεση του σήματος, επιτεύχθηκε μείωση της απαιτούμενης bandwidth, όμως η χρήση απαιτητικών αλγορίθμων δεν ήταν ακόμη δυνατή.

Τα συστήματα τρίτης γενιάς ολοκλήρωσαν τη ψηφιοποίηση όλων των μερών του κάθε συστήματος. Πλέον το σήμα που λαμβάνεται μετατρέπεται επί τόπου σε ψηφιακό, για παράδειγμα σε μία κάμερα. Το ψηφιακό σήμα εκπέμπεται μέσω δικτύου στο κυρίως μέρος του συστήματος όπου γίνεται η επεξεργασία του [1].



Εικόνα 1. Εξέλιξη των συστημάτων επιτήρησης Copyright © 1992–2007 Cisco Systems, Inc. [15]

2.2 Επιπλέον εμβάθυνση στα συστήματα 3^{ης} γενιάς

Ο στόχος των συστημάτων παρακολούθησης τρίτης γενιάς είναι η όσο το δυνατόν καλύτερη αντίληψη του χώρου που παρακολουθείται, η ροή πληροφοριών από ποικιλία αισθητήρων σε πραγματικό χρόνο και η χρήση συστατικών μερών χαμηλού κόστους.

Τα κύρια χαρακτηριστικά τους είναι:

- Περιβάλλον με πληθώρα αισθητήρων κατανεμημένων στο χώρο. Τα δεδομένα από κάθε αισθητήρα συνδυάζονται σε πραγματικό χρόνο για να αποδώσουν την καλύτερη δυνατή αποτύπωση του χώρου και των γεγονότων που λαμβάνουν χώρα σε αυτόν.
- Παρακολούθηση βίντεο με δυνατότητα αυτοματοποιημένης ερμηνείας της πληροφορίας. Η ψηφιοποίηση του σήματος εικόνας γίνεται πλέον στις ίδιες τις κάμερες που διαθέτουν εξειδικευμένο hardware και software για να εκπέμπουν δεδομένα σε ψηφιακή μορφή. Συνδυάζοντας την πληροφορία του βίντεο με τις πληροφορίες από τους αισθητήρες το σύστημα μπορεί να κάνει αυτόματα ερμηνεία της κατάστασης του χώρου, εργασία η οποία προηγουμένως απαιτούσε ανθρώπινο δυναμικό για να την εκτελέσει. Η ερμηνεία μπορεί να περιλαμβάνει μεταξύ άλλων εντοπισμό κίνησης, αναγνώριση αντικειμένων, παρακολούθηση αντικειμένων, και ανάλυση συμπεριφοράς.

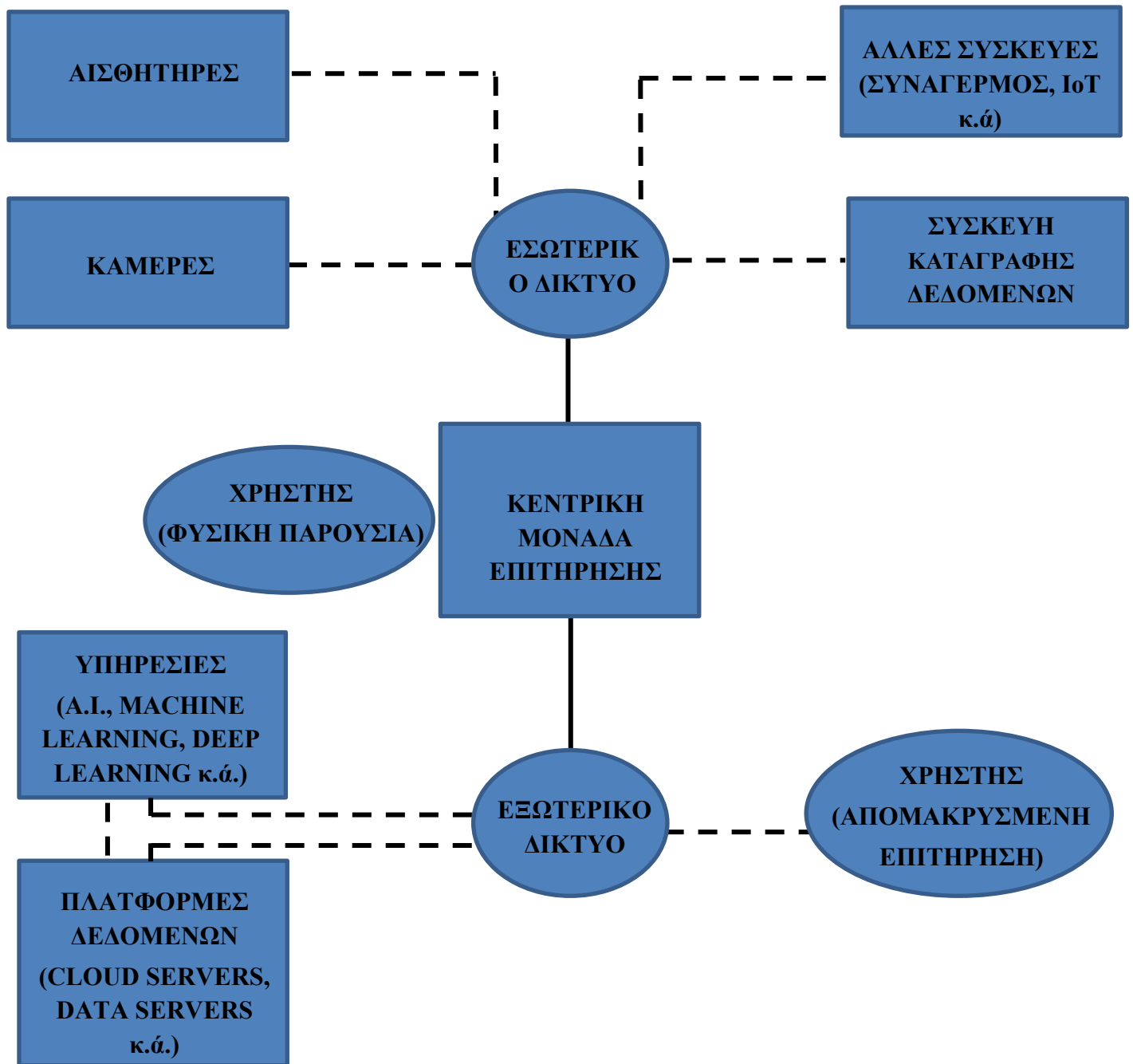
- Παρακολούθηση ήχου. Η ερμηνεία ηχητικών μοτίβων που λαμβάνονται από πολλά κανάλια αισθητήρων ήχου μπορεί επίσης να γίνει αυτοματοποιημένα ώστε να εντοπιστούν γεγονότα που θεωρούνται κρίσιμα. Η διαδικασία περιλαμβάνει τον εντοπισμό και την ταξινόμηση των ηχητικών σημάτων.
- Κατανομή της τεχνολογίας στα διάφορα μέρη του συστήματος. Η επεξεργασία των δεδομένων δε γίνεται μόνο στην κεντρική μονάδα του συστήματος. Επεξεργαστική ισχύ μπορεί να έχουν οι ίδιες οι κάμερες και οι αισθητήρες. Επίσης τα δεδομένα αποθηκεύονται σε τοποθεσίες που δε βρίσκονται απαραίτητα κοντά στην κεντρική μονάδα του συστήματος.
- Τα συστήματα παρακολούθησης τρίτης γενιάς πρέπει να είναι έξυπνα. Για αυτό χρησιμοποιούν τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης [1].

2.3 Δομή ενός σύγχρονου συστήματος επιτήρησης

Η πολυπλοκότητα της δομής ενός συστήματος παρακολούθησης μπορεί να ποικίλει. Οι συσκευές που μπορούν να ενσωματωθούν στο σύστημα και οι υπηρεσίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι ακόλουθες με την πληθώρα των σύγχρονων τεχνολογιών.

Τα κριτήρια για τα επιμέρους τμήματα, φυσικά (συσκευές) ή μη φυσικά (υπηρεσίες) που θα ενσωματωθούν στο σύστημα είναι οι ανάγκες που πρέπει να εξυπηρετηθούν, το κόστος και οι διαθέσιμοι πόροι. Ένα σύστημα επιτήρησης μίας γραμμής παραγωγής απαιτεί όσο το δυνατόν μεγαλύτερη πληρότητα, ενώ ένα σύστημα Internet of Things (IoT) προϋποθέτει κατά κανόνα πιο λιτή δομή για να εξυπηρετήσει την οικονομία στο κόστος και την κατανάλωση ενέργειας.

Στο παρακάτω διάγραμμα δίνεται η πιο διευρυμένη μορφή που μπορεί να έχει ένα σύστημα επιτήρησης.



Εικόνα 2. Διάγραμμα των επιμέρους τμημάτων ενός πλήρους συστήματος επιτήρησης

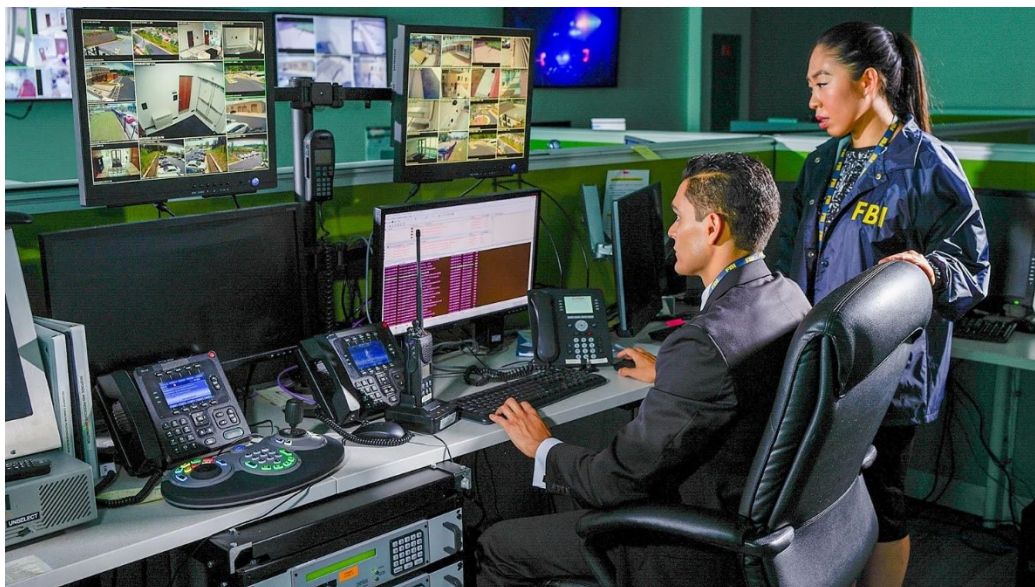
2.3.1 Κεντρική μονάδα επιτήρησης

Η μονάδα η οποία αναλαμβάνει τη διασύνδεση όλων των μερών του συστήματος και τη συνεργασία μεταξύ τους, αλλά και με τις υπηρεσίες που χρησιμοποιούνται βρίσκεται συνήθως κοντά στο χώρο ο οποίος επιτηρείται. Μπορεί να είναι ένας desktop υπολογιστής, ένα laptop, ένα custom made σύστημα με λειτουργικό σύστημα προσαρμοσμένο στις ανάγκες κάθε υλοποίησης ή ένας single board υπολογιστής. Διαθέτει τη δυνατότητα σύνδεσης με το εσωτερικό δίκτυο στο οποίο είναι συνδεδεμένα όλα τα άλλα μέρη που βρίσκονται στο χώρο και με το εξωτερικό δίκτυο με το οποίο είναι συνδεδεμένα όλα τα μέρη του συστήματος που βρίσκονται εκτός του χώρου επιτήρησης. Μέσω του εξωτερικού δικτύου συνδέονται επίσης οι απομακρυσμένες υπηρεσίες που θα χρησιμοποιηθούν και οι χρήστες που επιτηρούν το χώρο.



Εικόνα 3. Κεντρική μονάδα οικιακού συστήματος επιτήρησης

© 2023 Hangzhou Hikvision Digital Technology Co., Ltd.



Εικόνα 4. Απεικόνιση επαγγελματικής κεντρικής μονάδα επιτήρησης

FBIJobs.gov, Dept. of Justice, U.S. Government

Η κεντρική μονάδα συνήθως συνδέεται με σύστημα χειρισμού (πληκτρολόγιο, ποντίκι, οθόνη αφής κ.ά.) και με συσκευή απεικόνισης (οθόνη, προβολέας).

Σημαντική παράμετρος από την οποία εξαρτάται η επιλογή της κεντρικής μονάδας είναι η ενεργειακή της κατανάλωση. Η κεντρική μονάδα σε συστήματα με προφίλ χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης, ειδικά όσα προορίζονται να λειτουργήσουν ανεξάρτητα από το ενσύρματο δίκτυο ηλεκτροδότησης, είναι απαραίτητο να μη διαθέτει κινούμενα μέρη όπως ανεμιστήρες και σκληρούς δίσκους τύπου HDD και να έχει χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις.

2.3.2 *Εσωτερικό δίκτυο*

Τα μέρη του συστήματος που βρίσκονται στο χώρο επιτήρησης συνδέονται με την κεντρική μονάδα μέσω του εσωτερικού δικτύου. Αυτό μπορεί να είναι ενσύρματο και να τροφοδοτεί με δεδομένα την κεντρική μονάδα μέσω καλωδίων που καταλήγουν σε αυτή ή ασύρματο. Συνηθισμένος τρόπος ασύρματης σύνδεσης των μερών ενός συστήματος είναι μέσω Wi-Fi (IEEE 802.11).

2.3.3 *Εξωτερικό δίκτυο*

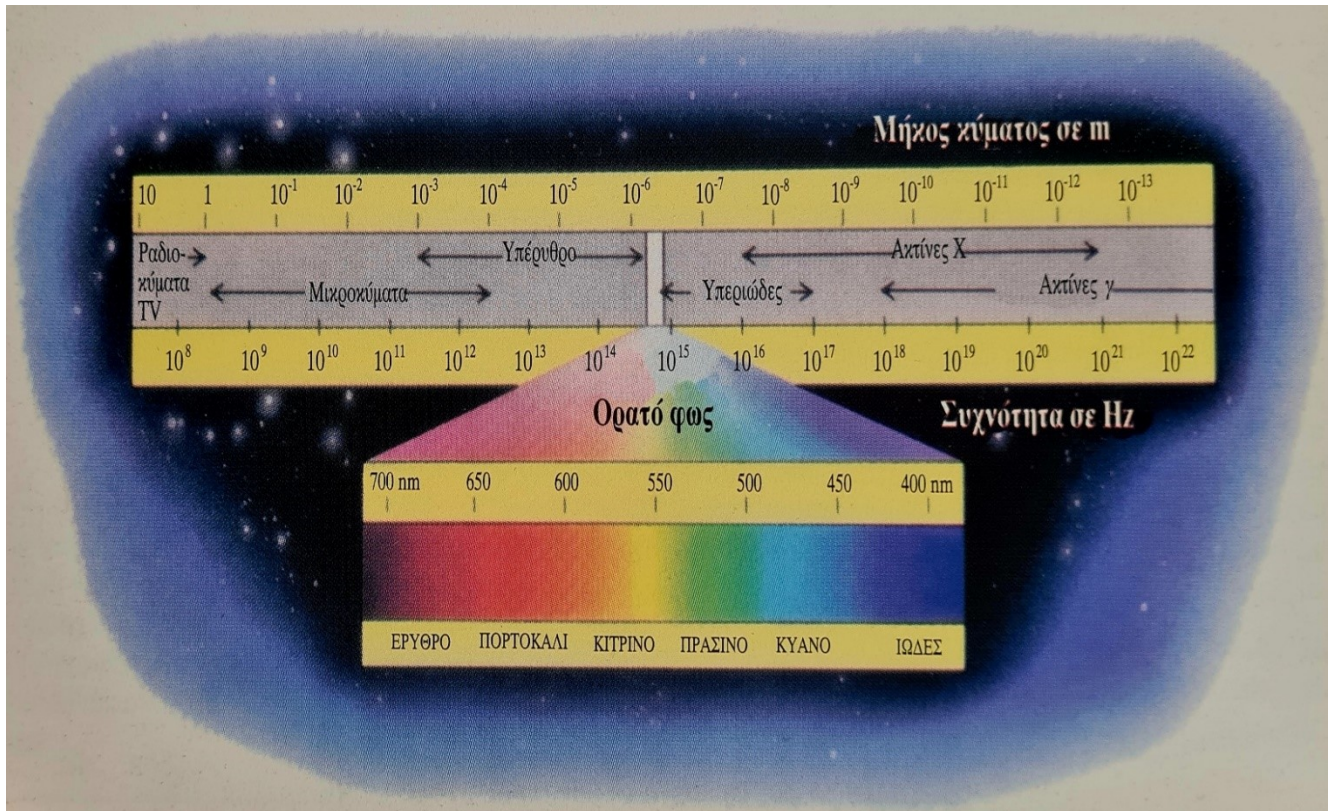
Τα συστήματα απομακρυσμένης επιτήρησης δίνουν στο χρήστη τη δυνατότητα να επιβλέπει το χώρο χωρίς τη φυσική του παρουσία. Η σύνδεση του χρήστη με το σύστημα επιτήρησης γίνεται μέσω του εξωτερικού δικτύου με το οποίο συνδέεται η κεντρική μονάδα του συστήματος. Όταν το σύστημα επιτήρησης πρέπει να μπορεί να αποθηκεύσει δεδομένα σε απομακρυσμένο χώρο (data servers ή cloud servers) είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί το εξωτερικό δίκτυο.

Επίσης όταν πρέπει να χρησιμοποιηθούν υπηρεσίες όπως Τεχνητή Νοημοσύνη (A.I.), Deep Learning κ.ά. οι οποίες δεν περιλαμβάνονται στην κεντρική μονάδα του συστήματος, η ανταλλαγή δεδομένων πραγματοποιείται μέσω του εξωτερικού δικτύου. Η επιλογή του εξωτερικού δικτύου πρέπει να εξυπηρετεί τις ανάγκες της επιτήρησης και τους περιορισμούς του συστήματος. Διαθέσιμες επιλογές είναι:

- Τα ήδη υπάρχοντα ενσύρματα δίκτυα με καλώδια χαλκού ή οπτικές ίνες
- Τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας GSM, 3G, 4G (LTE) και 5G
- Τα δίκτυα Low Power Wide Area Networks (LPWAN) ειδικά βελτιστοποιημένα για χρήση από υλοποιήσεις με χαμηλό ενεργειακό προφίλ

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας που υποστηρίζει το IoT οδήγησε στη δημιουργία νέων ασύρματων δικτύων που στοχεύουν στις συσκευές χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας και αποτελούν ιδανική επιλογή για συγκεκριμένα σενάρια, ειδικά όταν δεν υπάρχουν υψηλές απαιτήσεις σε ότι αφορά στην ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων.

Κάθε δίκτυο λειτουργεί σε ένα εύρος συχνοτήτων του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα και τα τμήματά του καταναμεμένα κατά μήκος της συχνότητας και του μήκους κύματος.



Εικόνα 5. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα (Hugh D. Young, Πανεπιστημιακή Φυσική, Addison – Wesley Publishing Company, Εκδόσεις Παπαζήση)

Παρακάτω γίνεται αναλυτική περιγραφή των δικτύων που μπορούν να εξυπηρετήσουν τα συστήματα επιτήρησης.

2.3.3.1 Low Power Wide Area Networks (LPWAN)

Πρόκειται για δίκτυα που καλύπτουν τις ανάγκες συσκευών που στοχεύουν σε ασφαλή διασύνδεση με χαμηλό κόστος και οικονομία στην κατανάλωση ενέργειας. Πρέπει να προσφέρουν τη δυνατότητα να διαχειριστούν μεγάλο αριθμό συνδεδεμένων συσκευών ταυτόχρονα, της τάξεως ακόμα και των εκατοντάδων χιλιάδων.

- **Δίκτυα που δεν απαιτούν αδειοδότηση (licensing) για τη χρήση του φάσματος λειτουργίας**
 - **Δίκτυο LoRa (Long Range network)**



Εικόνα 6. Δίκτυο LoRa (Long Range network)

Λειτουργεί στις συχνότητες 868 MHz στην Ευρώπη, 928 MHz στη Βόρεια Αμερική και 2.4 GHz διεθνώς. Οι ρυθμοί εκπομπής δεδομένων κυμαίνονται γύρω στα 250 kbit/s και η εμβέλειά του από δεκάδες μέτρα έως 1000 μέτρα όταν δεν υπάρχουν ενδιάμεσα εμπόδια [3].

- **Δίκτυο SIGFOX**



Εικόνα 7. Δίκτυο Sigfox

Πρόκειται για δίκτυο Ultra Narrow Band (UNB), που λειτουργεί στο εύρος συχνοτήτων 862 – 928 MHz. Επιτρέπει χαμηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, συγκεκριμένα 100 bps ή 600 bps, ανάλογα με την περιοχή. Κύριο χαρακτηριστικό του είναι ότι δεν επηρεάζεται εύκολα από παρεμβολές, χρησιμοποιώντας τεχνικές diversity στο φάσμα του χρόνου και της συχνότητας [4].

- **Εμπορικά δίκτυα που απαιτούν αδειοδότηση (licensing) για τη χρήση του φάσματος λειτουργίας**
 - **Δίκτυο NARROWBAND IoT (NB-IoT)**



Εικόνα 8. Δίκτυο NARROWBAND IoT (NB-IoT)

Είναι δίκτυο cellular – based δομής. Λειτουργεί στις συχνότητες 700/800/900 MHz και μπορεί να λειτουργήσει στην ήδη υπάρχουσα δομή που διαθέτουν τα εμπορικά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Κύρια χαρακτηριστικά του εκτός από τη χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και το χαμηλό κόστος είναι ο υψηλός βαθμός κάλυψης στο εσωτερικό των κτιρίων και ο χαμηλός δείκτης latency. Η τεχνολογία του συνδέεται με τις τεχνολογίες 2G (GSM/GPRS) και 4G (LTE) [5].

- **Δίκτυο LTE-M**



Εικόνα 9. Δίκτυο LTE-M

Είναι επίσης δίκτυο cellular – based δομής. Μία αναβάθμιση στον ήδη υπάρχοντα LTE εξοπλισμό επιτρέπει τη λειτουργία του χωρίς την ανάγκη οποιασδήποτε άλλης προσθήκης. Λειτουργεί στα 1,4 MHz. Μπορεί να εξυπηρετήσει επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων και δοκιμές έχουν οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι μπορεί να καλύψει τις ανάγκες για το 99,9% των συσκευών που βρίσκονται εκτός κτιρίων, για το 99% των συσκευών που βρίσκονται εντός κτιρίων, ή το 95% των συσκευών αν λειτουργήσει σε κατάσταση Narrow Band προκειμένου να καλύψει αυτές που βρίσκονται σε deep – indoor θέση. Ένα μεγάλο πλεονέκτημα είναι ότι μπορεί να επιτύχει πολύ υψηλότερες ταχύτητες σε σχέση με τα παραπάνω δίκτυα, της τάξης του 1 Mbps [6], [7].

ο **Δίκτυο Extended Coverage GSM - IoT (ECGSM - IoT)**

Πρόκειται για δίκτυο Ultra Narrow Band (UNB), που λειτουργεί στη συχνότητα των 2,4 GHz. Η μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων είναι τα 240 kbps. Η υλοποίησή του γίνεται πάνω στα υπάρχοντα GSM δίκτυα ύστερα από αναβάθμιση του software. Αυτό καθιστά εύκολη την υλοποίησή του και εξασφαλίζει το επίπεδο ασφάλειας που προσφέρει το προϋπάρχον δίκτυο. Μπορεί να εξυπηρετήσει συσκευές IoT με ενεργειακή αυτονομία της τάξης άνω των 5 ετών από τη μπαταρία της συσκευής, χρησιμοποιώντας κατάλληλους αλγόριθμους που εξασφαλίζουν ενεργειακή απόδοση [18].

2.3.3.2 *Δίκτυα κινητής τηλεφωνίας*

Εναλλακτικά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα υπάρχοντα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας στα οποία δεν έχει προηγηθεί βελτιστοποίηση προκειμένου να εξασφαλίσουν χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.

- Το **δίκτυο GSM**, το οποίο αν δεν αναβαθμιστεί ώστε να επιτρέπει την υλοποίηση ECGSM – IoT μπορεί να εξυπηρετήσει με την αποστολή ειδοποιήσεων μέσω SMS. Η τεχνολογία αυτή όμως θεωρείται πλέον πεπαλαιωμένη.
- Τα **δίκτυα LTE (4G)** παρέχουν μεγάλη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων, αξιοπιστία και ασφάλεια που έχει δοκιμαστεί κατά την υλοποίησή τους τα τελευταία χρόνια.
- Τα **δίκτυα 5G** ήδη χρησιμοποιούνται και προσφέρουν τις μεγαλύτερες ταχύτητες που διατίθενται.

Τα παραπάνω δίκτυα προορίζονται για επικοινωνίες γενικότερης χρήσης που δεν είναι απαραίτητα βελτιστοποιημένες για συσκευές IoT και αποτελούν επιλογή για υλοποιήσεις που δε στοχεύουν σε μεγάλη οικονομία ενέργειας.

Ο πίνακας της επόμενης σελίδας συνοψίζει τα κύρια χαρακτηριστικά των ασύρματων δικτύων, συμπεριλαμβανομένων των παραπάνω LPWAN δικτύων.

Διπλωματική εργασία: Μελέτη ενός Επίγειου Συστήματος για την Επιτήρηση Απομακρυσμένων Περιοχών σε Πραγματικό Χρόνο

Technology	Wireless Technologies (Short Range) (operates in License Exempted Band)				LPWAN Technologies (Long Range)						
	ZigBee	Wi-Fi	BLE	Z-Wave	Non 3GPP Unlicensed			3GPP licensed			
					LoRa	SIGFOX	INGENU	Weightless- P	LTE-M	ECGSM-IoT	NB-IoT
Range	75-100 m	70-250 meters (802.11n) (outdoor)	>100m (class 1)	~100 m	2-5 km (URBAN), 15 km (suburban)	3-10 km (URBAN), 30-50 km (RURAL)	15 Km (urban)	2km (urban)	~11kms	~15km	10-15km
Bandwidth	2 MHz	22 MHz	2.4GHz ISM band Each channel has 1MHz	-	< 500 kHz(channel bandwidth of 125kHz)	100 Hz	1MHz	12.5 kHz	1.08 MHz (1.4MHz carrier bandwidth)	200 kHz	180 kHz (200kHz carrier bandwidth)
Frequency Band	868 MHz, 915Mhz,2.4 GHz	2.4 GHz/5GHz	2.4GHz ISM band Each channel has 1MHz	908.42 MHz	868MHz and 915MHz Sub 1Ghz	915-928 MHz Sub 1Ghz band	2.4 GHz	sub GHz ISM bands	Cellular Band	2.4 GHz	700,800,900MHz
Data Rate	250 kbps	600Mbps (802.11n)	1Mbps	40kbs-100kbs	50kbs with FSK	Less than 100bps	624kbs – DL 156 kbps UL	0.625kbs to 100kbp	300/375 kbps Variable	~350bpsto70kbs	200kbs
Latency	~15ms	Less than 20 ms	~3ms less than 10ms	1s(wake up)	1-10 ms	High, 1-30ms	~10s		10s-15ms	10 seconds	<10s
Throughput	250kbs	802.11n 600Mbps	0.27 Mbps	40 kbps	~50kbs	Ultra-low ~100 bps	30Mbps		<1Mbps	10kbs	~150kbs
Modulation scheme	O-QPSK	QPSK	GFSK	GFSK	FSK techniques	GFSK (DL), DBPSK (UL)	Patent RPMA	GMSK, offset-QPSK	QPSK,QAM	GSM-based	BPSK, QPSK
Requirement	Require ZigBee kit to operate	An access point to connect	BLE station (available in smart phone)	Continuous internet connection and Z-Wave appliance module to operate	Require gateway for connectivity	SIGFOX modem and SIGFOX Network	Private Network	Require kit to and Access point to operate	Uses Existing LTE network Software upgradation	Software upgradation	Software upgradation and a sim to operate.
Battery lifetime	For years	-	-	Claim 10 year life of a coined size battery	>10 years	10 years if 1 message is sent <10 years if 6 message is sent	10-20+ years (target to achieve by ingenu)	3-8 years	>10years	~10years	>10years with a battery capacity of 5Wh
Cost	Low	Moderate	Less cost	Low cost	Low Cost	Low Cost	Low cost	Moderate	Low	Low	Low
Application	Smart home, Healthcare, Smart lightning, retail	Use to connect to network	Car access, smart watches, smart phones	Smart Home	Air Pollution Monitoring, Fire Detection	smart meter, pet tracking, smoke detector, agriculture	oil and gas field automation		Fleet tracking, Smart home, telematics, Wearables	Water and gas meter application, machinery control, smart grid	street lightning, Pulse meter, Agriculture , Trach canes
Mobility	Yes , but low	Yes	Limited mobility	Yes	Yes	Yes	No	Yes	Yes	Nomadic	Nomadic
Advantages	Highly Reliable and Scalable.	Easy to deploy and access	Provide more privacy Optimal for sending small chunks of data	Low cost , less vulnerable, signal remain strong up to 100 feet (claimed by Z-Wave)	Highly immune to interference Adaptive data rate ,longer battery life	High Reliability, Device Complexity is Low as , it can opt random frequency to transmit the channel	High Reliability, extreme coverage, Transmit power control to extend battery lifetime, High Capacity	Offer High Reliability, Supports high number of devices.	Provide support for multicasting Positioning, Higher data rates, Support VoLTE	Improved GSM/EDGE security, Low complexity device, all the key mobile equipment, chipset supports EC-GSM-IoT	Use PSM, cdtx (almost upto 3 hrs), Obsolete the requirement of Gateway Better range and coverage
Limitations	Short range communication Security is vulnerable as keys are exchanged over air.	Limited range, Vulnerable, Speed is much slower	Not very flexible, eavesdropping is possible, No accepted std. for generic gateway	Interference, Signal cant propagate over long distance due large wavelength of signals, Four hops are essential for transmission of signal to device	Supports limited size data packets Longer latency time , not acknowledges all packets	low security, No Forward Error Correction, BS could not support multiple sectors, Suffer from Interference	-No analytic study available to specify this	Scarcity of hardware and infrequent update specification	Coupling Losses occur due to indoor environment, Repetitions slowdowns the transmission		a)No Handoff support, b)Interference immunity is low, c)Lacks in acknowledging
Standard body	ZigBee Alliance	IEEE	IEEE	Z wave	LoRa Alliance	SIGFOX	INGENU	WEIGHTLESS SIG	3GPP	3GPP	3GPP

Πίνακας 1. Συγκεντρωτικά χαρακτηριστικά των ασύρματων δικτύων [5]

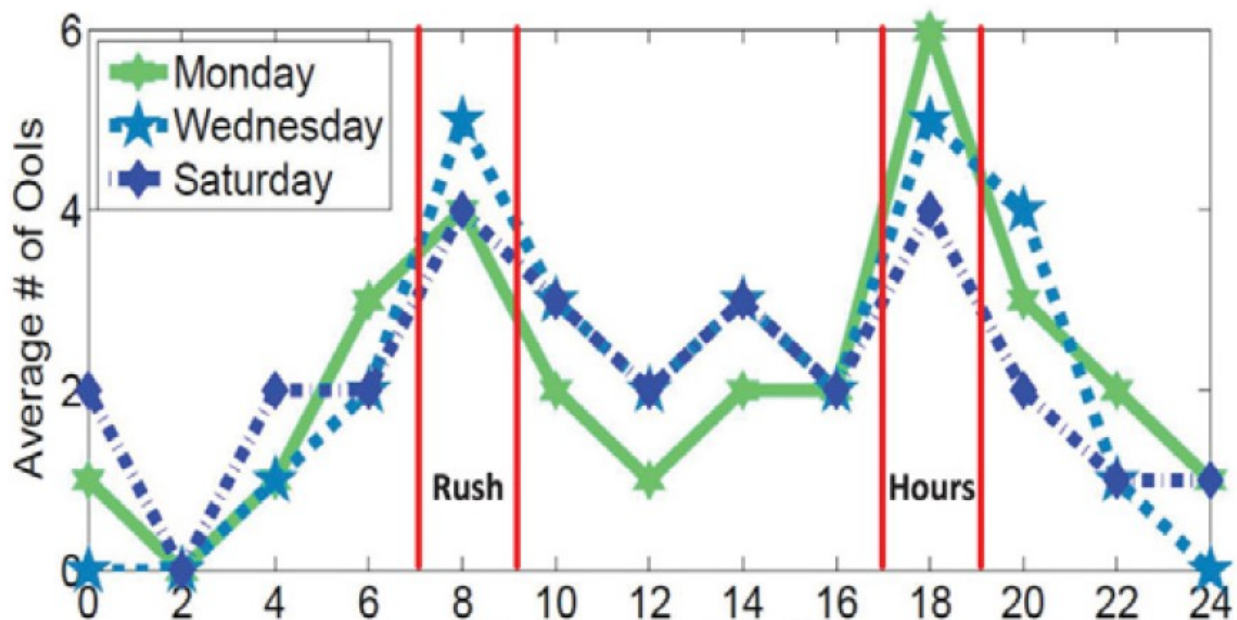
2.3.4 Υπηρεσίες Τεχνητής Νοημοσύνης, *Machine Learning*, *Deep Learning*.

Η ανάλυση των δεδομένων ενός συστήματος παρακολούθησης δεν πραγματοποιείται πλέον μόνο από το χρήστη. Μπορεί να γίνει σε συνδυασμό, ή ακόμα και να αντικατασταθεί από υπηρεσίες ανάλυσης δεδομένων που χρησιμοποιούν σύγχρονες τεχνολογικές μεθόδους.

2.3.4.1 Φιλτράρισμα καταγεγραμμένου βίντεο από ασύρματες κάμερες

Ένα σύστημα επιτήρησης αποθηκεύει τα καταγεγραμμένα δεδομένα για να πραγματοποιηθεί περεταίρω επεξεργασία για την εξαγωγή πληροφοριών.

Σε ένα σύστημα που καταγράφει βίντεο η πλειονοψηφία των καρτέ που έχουν καταγραφεί δεν εμπεριέχουν κάποιο γεγονός ενδιαφέροντος (Objects of Interest – OoIs). Το μέγεθος των δεδομένων που πρέπει να στείλουν οι ασύρματες κάμερες θα μειωθεί σημαντικά αν ένα σύστημα AI περάσει από φίλτρο και απορρίψει αυτά τα καρτέ πριν από την αποστολή τους.



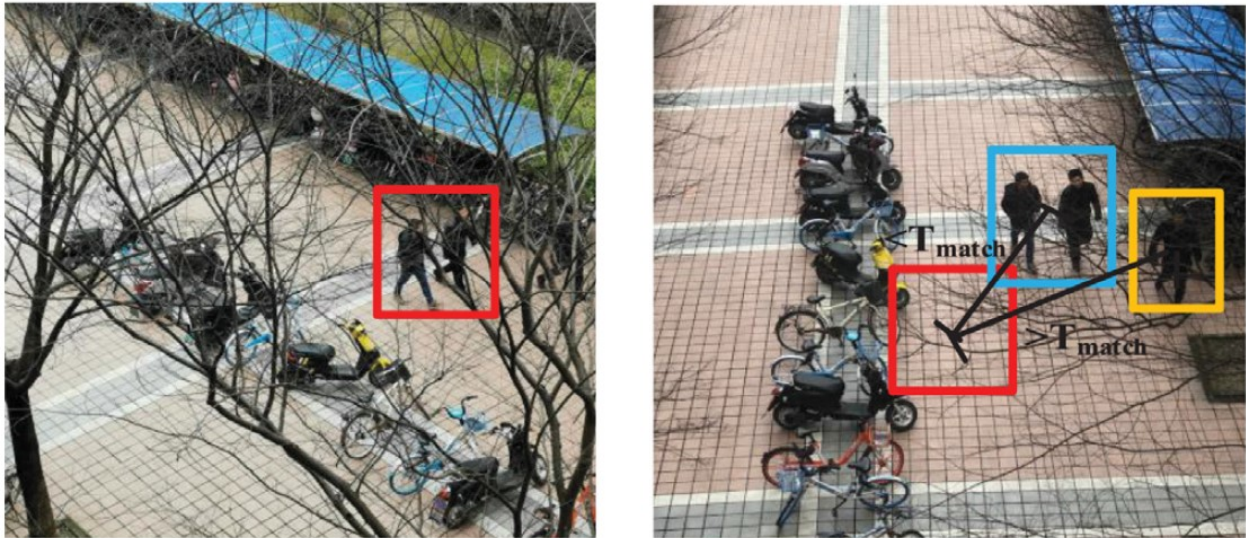
Εικόνα 10. Μέσος όρος γεγονότων ενδιαφέροντος που καταγράφηκαν από σύστημα επιτήρησης κατά τη διάρκεια τριών διαφορετικών ημερών [16]

Μοντέλα deep learning όπως τα SSD, YOLO, R-CNN και άλλα μπορούν να παραμετροποιηθούν ώστε να μπορούν να εξυπηρετηθούν από τις περιορισμένες δυνατότητες μίας ασύρματης κάμερας [16].

2.3.4.2 Συνεργασία πολλαπλών καμερών για την επιβεβαίωση της σημαντικότητας καταγεγραμμένων καρτέ

Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα από μία μόνο κάμερα προκύπτουν καρτέ για τα οποία υπάρχει αβεβαιότητα σε ό,τι αφορά στην ύπαρξη γεγονότος ενδιαφέροντος. Συνδυάζοντας τα AI εργαλεία από περισσότερες κάμερες είναι δυνατή η επιβεβαίωση ύπαρξης γεγονότος. Στην περίπτωση αυτή

το συγκεκριμένο καρέ αποστέλλεται ως σημαντικό, ενώ στην αντίθετη περίπτωση απορρίπτεται για να μειώσει τον όγκο των δεδομένων που πρέπει να αποσταλούν.



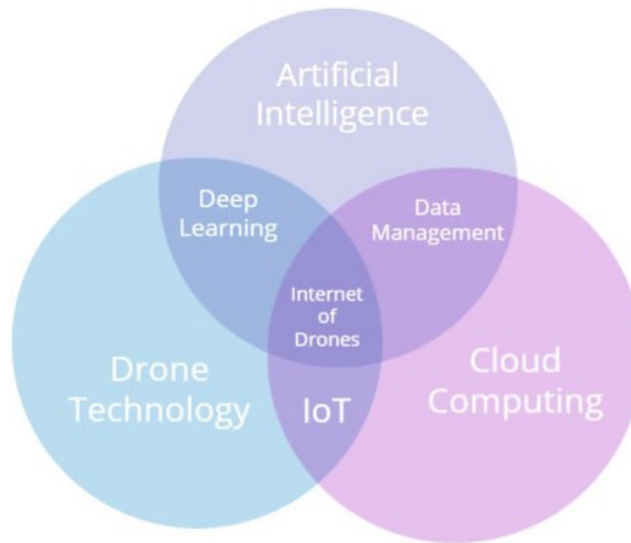
Εικόνα 11. Η αβεβαιότητα για την πληροφορία της πρώτης φωτογραφίας ελέγχεται από μία δεύτερη κάμερα που απεικονίζει το ίδιο γεγονός από άλλη γωνία [16]

Η παραπάνω μέθοδος, συνδυαζόμενη με τη μέθοδο που περιγράφεται στην ενότητα 2.3.4.1 διαπιστώθηκε ότι μπορεί να επιτύχει μείωση της μεταφοράς δεδομένων από τις κάμερες της τάξης του 60% [16].

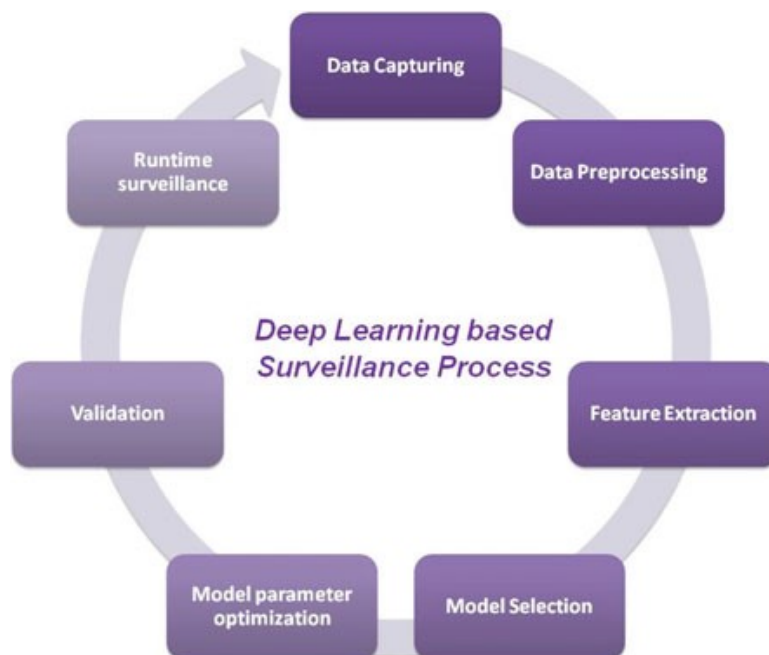
2.3.4.3 Τεχνικές AI για την επιτήρηση σε έξυπνες πόλεις με τη χρήση UAVs (Unmanned Aerial Vehicles – Μη επανδρωμένα ιπτάμενα οχήματα)

Η ομαλή λειτουργία μίας έξυπνης πόλης στηρίζεται στην αδιάκοπη συνδεσιμότητα των συσκευών που χρησιμοποιούνται, μέρος των οποίων είναι και τα συστήματα επιτήρησης που έχουν προορισμό να εξασφαλίσουν, μεταξύ άλλων, ασφάλεια στους κατοίκους της. Η εγκατάσταση καμερών σε UAVs προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα. Ο όγκος των δεδομένων που παράγονται όμως είναι τεράστιος και η ανάλυσή τους είναι κρίσιμο να γίνεται σε πραγματικό χρόνο. AI τεχνικές που χρησιμοποιούν Deep Learning μεθόδους προσφέρουν εξαιρετικά αποτελέσματα στην ανάλυση των δεδομένων που προέρχονται από τα UAVs.

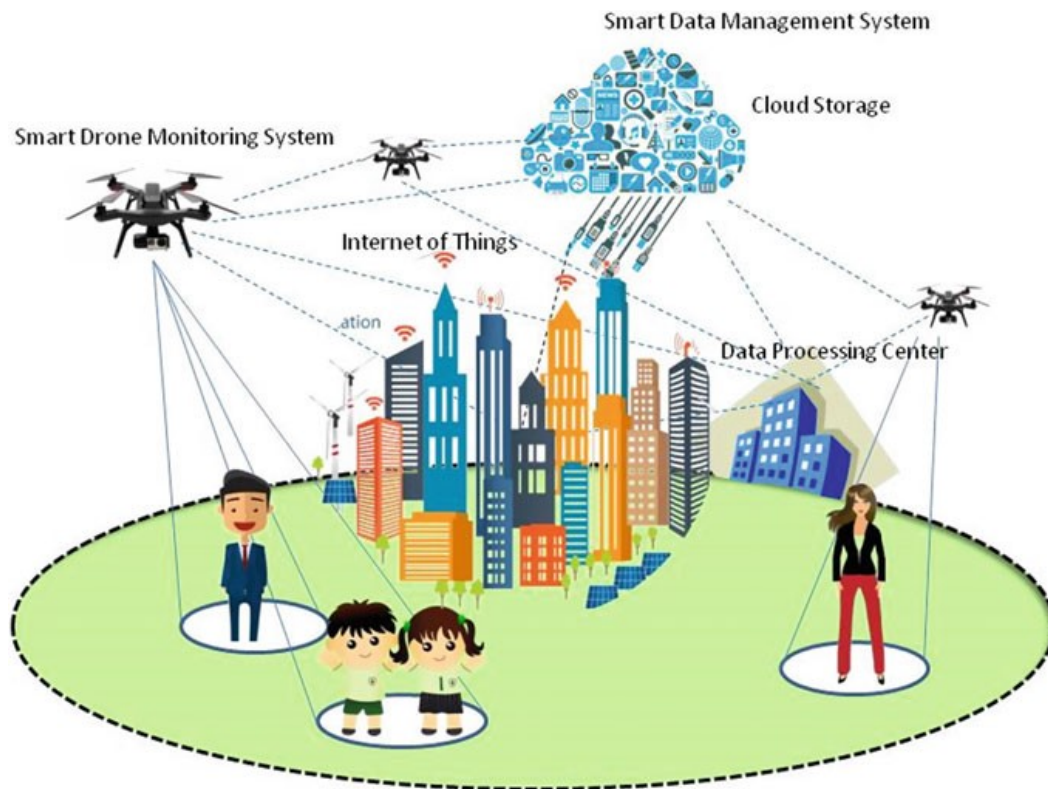
Οι προβλέψεις για τη αύξηση του πληθυσμού των πόλεων από τα 3.3 δισεκατομμύρια (2014) στα 5 δισεκατομμύρια (2050) οδηγεί στο συμπέρασμα ότι είναι αναγκαία η επένδυση σε καινοτομίες που θα επιτρέψουν τη λειτουργικότητά τους. Οι έξυπνες πόλεις θα αποτελούν κανονικότητα για τα μεγαλύτερα μέρη των μητροπολιτικών περιοχών και η βιομηχανία της επιτήρησης μέσω βίντεο θα αυξηθεί κατά 30 δισεκατομμύρια δολλάρια.



Εικόνα 12. Οι τεχνολογίες που συνδυάζονται για να αποδώσουν το Internet of Drones υποσύστημα του IoT [17]



Εικόνα 13. Η ακολουθία διαδικασιών Deep Learning στον τομέα της επιτήρησης [17]



Εικόνα 14. Η αρχιτεκτονική της επιτήρησης μέσω UAVs στις έξυπνες πόλεις [17]

Οι προκλήσεις για την εξέλιξη της επιτήρησης μέσω UAVs αφορούν στη διαχείρισή των UAVs, την τεχνολογία στις κάμερες, το θέμα της ιδιωτικότητας, τη διαχείριση των δεδομένων και το θέμα της προστασίας του περιβάλλοντος [17].

Ένα σύστημα επιτήρησης μπορεί να ενσωματώνει τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης ανάλογα με τις ανάγκες παρακολούθησης:

- **Αναγνώριση συμπεριφοράς** των ατόμων που βρίσκονται στον χώρο παρακολούθησης. Το σύστημα μπορεί να αναγνωρίζει ενέργειες που είναι πιθανό να είναι ανεπιθύμητες ή να προβλέπει ενδεχόμενες ενέργειες αυτού του τύπου.
- **Ηχητική αναγνώριση** ανεπιθύμητων συμβάντων.
- **Εντοπισμός ανεπιθύμητου προσώπου** στο χώρο.

Η καταγραφή κατά την παρακολούθηση παρέχει πολύ μεγάλο όγκο δεδομένων τα οποία η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να ταξινομήσει αξιολογώντας ως σημαντικά μόνο όσα περιέχουν ανεπιθύμητα γεγονότα για το χρήστη.

Οι τεχνικές Artificial Intelligence (AI), Machine Learning algorithms (ML) και deep learning μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το σκοπό αυτό, ακόμα και για πιο εξειδικευμένους στόχους παρακολούθησης όπως την αναγνώριση της πτώσης ενός ατόμου [8].

AI συστήματα όπως το Hawk-Eye μπορούν να χρησιμοποιήσουν μία κάμερα για να εντοπίσουν άτομα που ενδεχομένως αποτελούν απειλή για το χώρο, αναγνωρίζοντας αν διαθέτουν όπλα, αν κρύβουν το πρόσωπό τους με μάσκα ή αν κινούνται ύποπτα. Δοκιμή πάνω σε ένα χαμηλού κόστους single board υπολογιστή Raspberry Pi έδωσε αποτελέσματα της τάξης του 94% στην αναγνώριση ύποπτων αντικειμένων [9].

Σε συστήματα με μεγαλύτερη ισχύ όπως κινητά τηλέφωνα τελευταίας γενιάς που μπορούν να εκτελέσουν το σύστημα Apple Bionic A11 εκτιμήθηκε αριθμός ανώτερος των 11000 φωτογραφιών από κάμερα και ταξινομήθηκαν στις 30 σημαντικότερες κατηγορίες σκηνής με επιτυχία 98% [10].

Αποτελέσματα όμως μπορούν να δώσουν και συστήματα με πολύ χαμηλές προδιαγραφές. Εκπαιδύοντας ένα πολύ μικρό νευρωνικό δίκτυο στην αναγνώριση προσώπων (face recognition), ο αλγόριθμος αναγνώρισης σε ένα σύστημα με πέμπτης γενιάς RISC (RISC-V) μικροελεγκτή (microcontroller unit - MCU) με μόλις 512 kilobytes μνήμης RAM τροφοδοτούμενο από μπαταρία έδωσε αποτελέσματα που θεωρούνται αποδεκτά στην παραγωγή σε όρους ποιότητας αναγνώρισης και ταχύτητας [11].

2.3.5 Πλατφόρμες δεδομένων

Τα δεδομένα που καταγράφει ένα σύστημα επιτήρησης είναι πιθανό να πρέπει να αποθηκευτούν προκειμένου:

- Να είναι διαθέσιμα για προσπέλαση
- Να γίνει επεξεργασία και εξαγωγή πληροφοριών

Έτσι είναι απαραίτητος ένας χώρος αποθήκευσης.

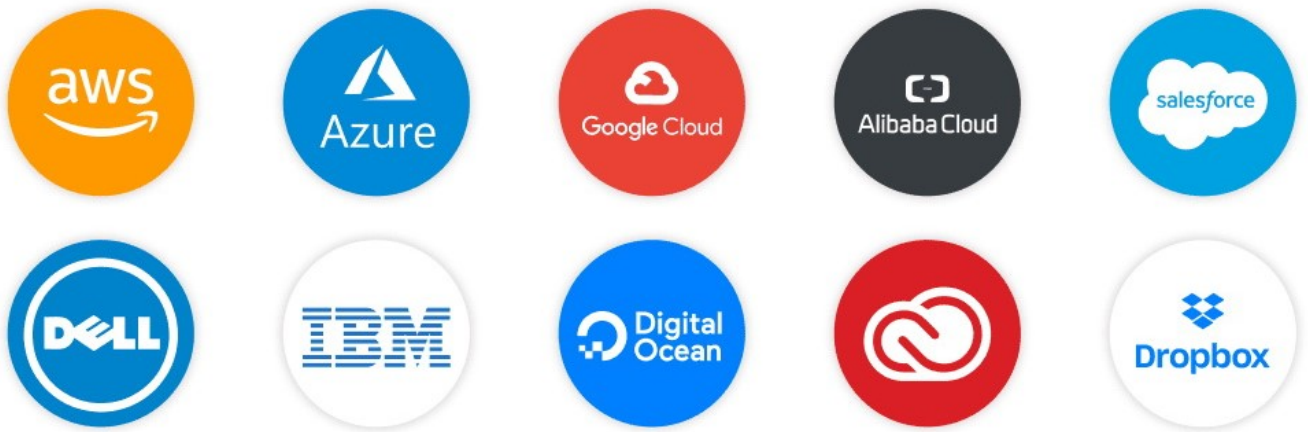
Η πρώτη δυνατή επιλογή είναι η τοπική αποθήκευση των δεδομένων:

Η κεντρική μονάδα του συστήματος περιλαμβάνει εσωτερική μνήμη μέσα στην οποία είναι αποθηκευμένο το λειτουργικό της σύστημα. Μπορεί όμως να διαθέτει και μνήμη που είναι διαθέσιμη για τοπική αποθήκευση των δεδομένων. Αυτή μπορεί να βρίσκεται ενσωματωμένη στην κεντρική μονάδα του συστήματος. Μπορεί όμως να είναι ξεχωριστή μονάδα, συνδεδεμένη με την κεντρική μονάδα μέσω του εσωτερικού δικτύου.

Η δεύτερη δυνατή επιλογή είναι η χρήση απομακρυσμένου χώρου αποθήκευσης στον οποίο η πρόσβαση πραγματοποιείται μέσω δικτύου. Η αύξηση των διαθέσιμων ταχυτήτων των δικτύων οδήγησαν στην ανάπτυξη αξιόπιστων επιλογών Remote Storage.

- Οι Remote Servers προσφέρουν αποθηκευτικό χώρο που βρίσκεται σε εξοπλισμό εγκατεστημένο σε συγκεκριμένη τοποθεσία που είναι στη διάθεση του παρόχου της υπηρεσίας.

- Οι Cloud Servers προσφέρουν σε γενικές γραμμές την ίδια υπηρεσία με τη διαφορά ότι οι πληροφορίες αποθηκεύονται κατακερματισμένες σε διάφορες τοποθεσίες ανά τον κόσμο, σε εξοπλισμό που μπορεί να μην είναι διαθέσιμος στον πάροχο της υπηρεσίας. Αυτό το γεγονός εγείρει την εξάρτηση της λειτουργίας της υπηρεσίας από περισσότερους παράγοντες, όμως η τεχνολογία αυτή είναι αξιόπιστη σε μεγάλο βαθμό.



Εικόνα 15. 10 γνωστοί Cloud Services πάροχοι για το 2023, <https://allcode.com>

Η εξέλιξη της αρχιτεκτονικής που ακολουθούν οι πλατφόρμες δεδομένων προκειμένου να εξυπηρετήσει το μεγάλο όγκο δεδομένων που παράγονται και τις υψηλές απαιτήσεις στην ανάλυσή τους έχει οδηγήσει στη μορφή του Fog Computing, του Edge Computing και του Multi-Access Edge Computing.

2.3.5.1 Fog Computing (FC)

Ο αριθμός των συνδεδεμένων συσκευών έχει ξεπεράσει τα 50 δισεκατομμύρια και η ημερήσια παραγωγή δεδομένων έχει μέγεθος της τάξης των exabytes. Η διαχείριση του τεράστιου όγκου δεδομένων συναντά εμπόδια, όπως είναι οι περιορισμοί σε bandwidth. Επίσης η αύξηση του όγκου των παραγόμενων δεδομένων έχει επίδραση αντίθετη στην απαίτηση πολλών συσκευών για χαμηλούς latency χρόνους. Η αρχιτεκτονική του fog computing μεταφέρει τις διαδικασίες της επεξεργασίας, της αποθήκευσης, της δικτύωσης και της διαχείρισης των δεδομένων στις συσκευές που είναι κοντινές σε εκείνες που παράγουν τα δεδομένα. Έτσι όλες οι παραπάνω διαδικασίες πραγματοποιούνται κατά τη διαδρομή των δεδομένων από τις συσκευές που τις παράγουν προς το Cloud, με προτίμηση στις συσκευές που βρίσκονται κοντά σε αυτές που παράγουν τα δεδομένα.

2.3.5.2 Edge Computing (EC)

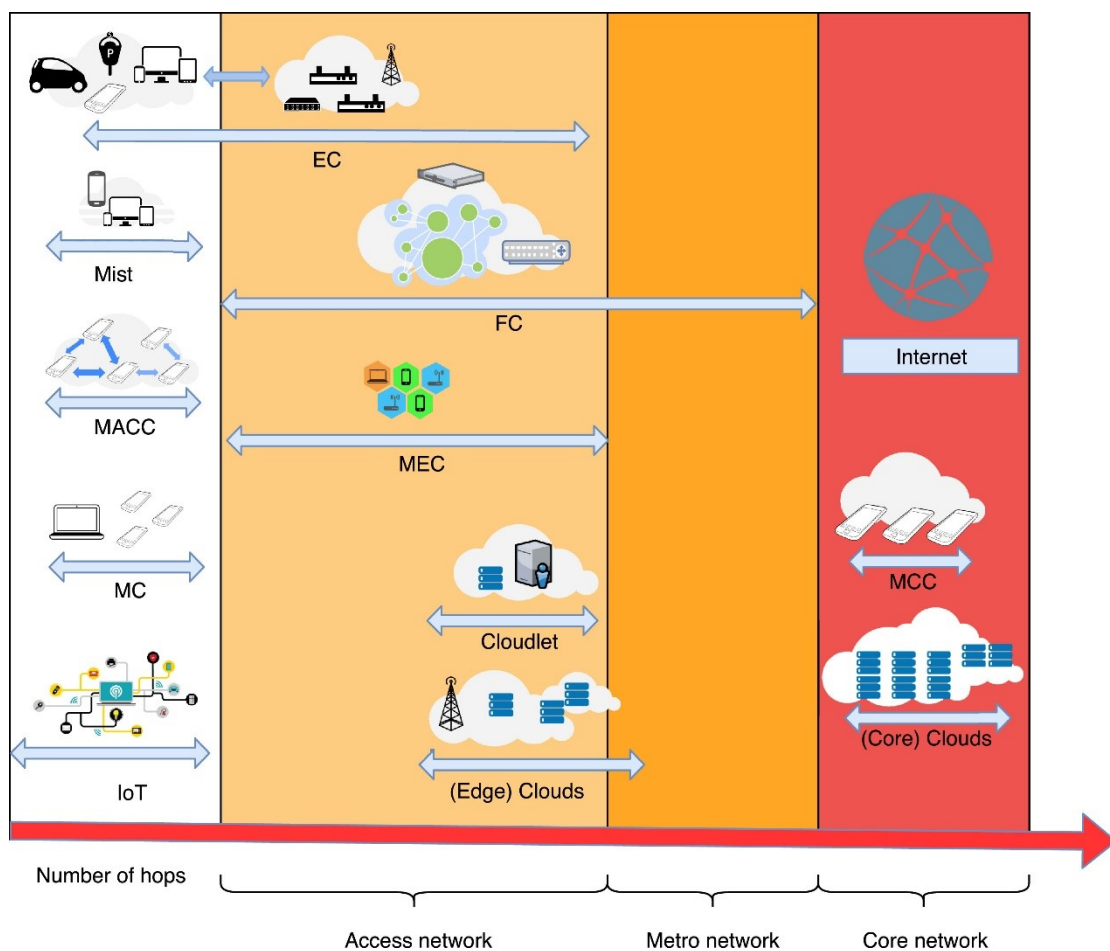
Βασισμένη σε λογική παρόμοια με αυτή της αρχιτεκτονικής του Fog Computing, η αρχιτεκτονική στο Edge Computing μεταφέρει τις παραπάνω διεργασίες στην άκρη του δικτύου (Edge) στην οποία

είναι συνδεδεμένη η συσκευή που παράγει τα δεδομένα. Οι συσκευές αυτές πρέπει να βρίσκονται σε απόσταση ενός βήματος (hop) από τη συσκευή που παράγει τα δεδομένα ή ενός βήματος από το τοπικό δίκτυο της συσκευής που παράγει τα δεδομένα.

2.3.5.3 Multi-Access Edge Computing (MEC)

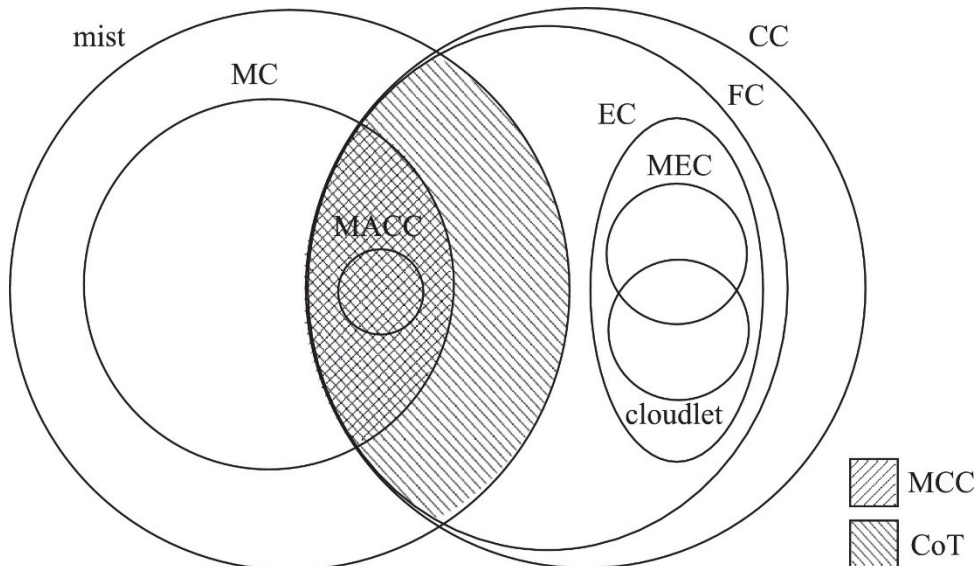
Η αρχιτεκτονική του MEC διευρύνει το Edge Computing μεταφέροντας τις διεργασίες στην άκρη του δικτύου που βρίσκεται στο κοντινό εύρος του 4G και 5G δικτύου στο οποίο είναι συνδεδεμένες οι συσκευές που παράγουν τα δεδομένα.

Τα όρια ανάμεσα στις παραπάνω αρχιτεκτονικές μπορούν να γίνουν δυσδιάκριτα. Παρακάτω διακρίνονται τα όρια για τις αρχιτεκτονικές Edge Computing (EC) Fog Computing (FC) και Multi-Access Edge Computing (MEC) σε όρους τοποθεσίας και απόστασης από τον πυρήνα του Cloud.



Εικόνα 16. Σύγκριση των αρχιτεκτονικών Edge Computing (EC) Fog Computing (FC) και Multi-Access Edge Computing (MEC) σε όρους τοποθεσίας και απόστασης από τον πυρήνα του Cloud [25]

Παρακάτω φαίνονται οι σχέσεις των διαφόρων αρχιτεκτονικών, συμπεριλαμβανομένων και των αρχιτεκτονικών Edge Computing (EC) Fog Computing (FC) και Multi-Access Edge Computing (MEC) σε μορφή συνόλων και υποσυνόλων.

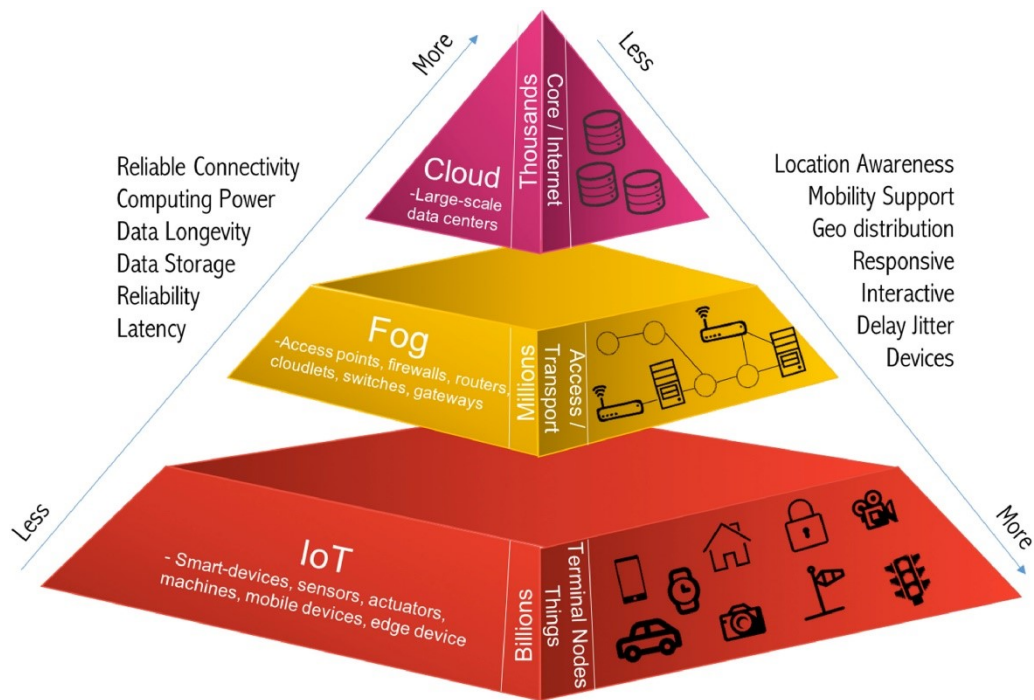


Εικόνα 17. Οι σχέσεις των διαφόρων αρχιτεκτονικών σε μορφή συνόλων και υποσυνόλων [25]

Ο στόχος σε όλες τις παραπάνω αρχιτεκτονικές είναι να υπερκεραστούν τα εμπόδια που θέτουν οι περιορισμοί της τεχνολογίας λόγω της παραγωγής τεράστιου όγκου δεδομένων και να επιτευχθούν χαμηλοί χρόνοι latency, πρακτικά κάτω από το όριο του 1 ms. Οι χαμηλοί χρόνοι latency είναι απαραίτητοι σε πληθώρα εφαρμογών όπως είναι

- Ιατρική παρακολούθηση
- Παραγωγή σε πραγματικό χρόνο
- Αυτοοδηγούμενα οχήματα
- Χειρισμός και συντονισμός μη επανδρωμένων ιπτάμενων οχημάτων (UAVs)
- Εφαρμογές cognitive assistance, γνωστικής βοήθειας για την πραγματοποίηση εργασιών

Συνδυάζοντας το σύνολο των συνδεδεμένων συσκευών με την αρχιτεκτονική Fog Computing να παρεμβάλλεται ανάμεσα σε αυτές και στο χώρο του Cloud διαμορφώνεται το παρακάτω οικοσύστημα που αποτελείται από τρία διαδοχικά στρώματα [25].

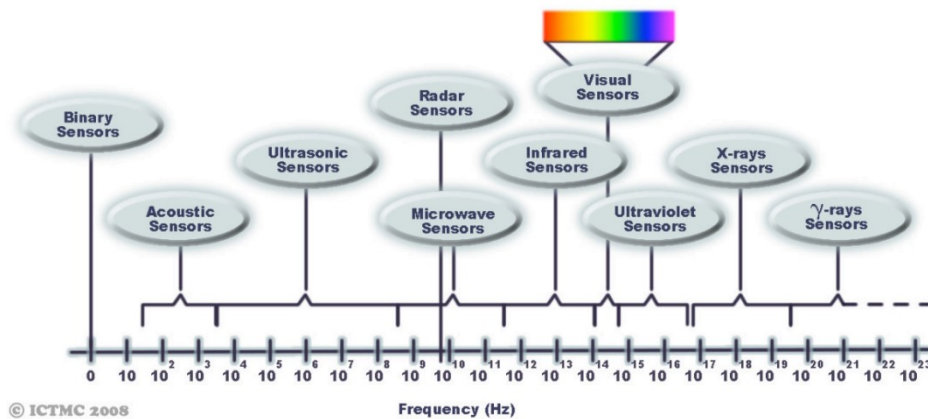


Εικόνα 18. Η αρχιτεκτονική τριών στρωμάτων του οικοσυστήματος Internet of Things – Fog Computing – Cloud [25]

2.3.6 Αισθητήρες

Η επιτήρηση ενός χώρου τεκμηριώνεται πολύ πιο αποτελεσματικά με τη χρήση αισθητήρων που συνοδεύουν τους οπτικούς αισθητήρες (κάμερες) στους τομείς της ασφάλειας, της κλιμάκωσης σε μέγεθος και της απόδοσης. Όταν το κόστος των αισθητήρων είναι χαμηλό, είναι εφικτή η χρήση συνδυασμού μεγάλου αριθμού αισθητήρων. Αυτοί παρέχουν στο σύστημα μεγάλο όγκο πληροφορίας, η διαχείριση της οποίας ανατίθεται στο ίδιο το σύστημα για να δημιουργήσει μία τεκμηριωμένη αντίληψη του χώρου και να πραγματοποιήσει ενέργειες όταν συμβαίνουν προκαθορισμένα από το χρήστη γεγονότα.

Ένα κριτήριο για να κατηγοριοποιηθούν οι διαθέσιμοι αισθητήρες είναι το εύρος συχνοτήτων στο οποίο ανταποκρίνονται.



Εικόνα 19. Είδη αισθητήρων ανά κατηγορία συχνότητας [2]

- **20Hz – 200 MHz , ακουστικοί αισθητήρες**

Οι αισθητήρες αυτοί ανιχνεύουν μηχανικά σήματα (και όχι ηλεκτρομαγνητικά) που διαδίδονται σε στερεά, υγρά και αέρια υλικά μέσα. Περιλαμβάνουν όλο το ακουστικό φάσμα που αισθάνεται ο άνθρωπος (20Hz – 20kHz) και όπως υπερήχους, έως όπως συχνότητες των 200MHz. Τροφοδοτούν το σύστημα με δεδομένα για τη θέση αντικειμένων, για την ύπαρξη δονήσεων που αλλοιώνουν τη ζητούμενη πληροφορία, μπορούν να πραγματοποιήσουν μέτρηση συγκεκριμένων γεγονότων όπως η διέλευση αντικειμένων, δεδομένα ομιλίας κ.α. Έχουν ευρεία εφαρμογή σε υποβρύχιες συνθήκες.

ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ

- **20kHz – 300GHz**

Ονομάζονται RFID αισθητήρες (Radio Frequency Identification sensors). Διαδεδομένη μορφή RFID αισθητήρων είναι οι χαμηλού κόστους ετικέτες (tags) που περιέχουν μικροτσίπ και μπορούν να ενσωματωθούν εύκολα σε αντικείμενα, ανθρώπους και ζώα. Αυτές ανταποκρίνονται στο σήμα των RFID Reader συσκευών και χρησιμοποιούνται συνήθως για τον εντοπισμό και την ταυτοποίησή τους.

- **Αισθητήρες Radar, 400 MHz to 36 GHz**

Ανιχνεύουν τα σήματα που εκπέμπουν πομποί radar. Αυτά διαδίδονται στο χώρο, ανακλώνται της στόχους του χώρου και επιστρέφουν για να ανιχνευθούν από της αισθητήρες. Χρησιμοποιούνται σε στρατιωτικές εφαρμογές για τον εντοπισμό αντικειμένων αλλά και στην παρακολούθηση χώρου για τον εντοπισμό προσώπων. Η ποιότητα της απεικόνισης που προκύπτει από την πληροφορία που παρέχουν εξαρτάται από το είδος της επιφάνειας στην οποία θα ανακλαστούν πριν να επιστρέψουν στον αισθητήρα.

- **Αισθητήρες υπέρυθρης ακτινοβολίας , 300Ghz και πάνω**

Κάθε υλικό σώμα εκπέμπει από την επιφάνειά του υπέρυθρη ακτινοβολία που εξαρτάται από τη θερμοκρασία του. Σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού από ορατό φως, μπορούν να

ανιχνεύσουν την εκπεμπόμενη ακτινοβολία και να απεικονίσουν το χώρο με τον ίδιο τρόπο που λειτουργεί μία κάμερα, χωρίς μάλιστα να επηρεάζονται από τις καιρικές συνθήκες. Ανιχνεύουν επίσης αποτελεσματικά την κίνηση ζωντανών οργανισμών πραγματοποιώντας σύγκριση διαδοχικών σημάτων.

- **Αισθητήρες μικροκυμάτων, 0,5GHz – 12GHz για τις περισσότερες εφαρμογές αισθητήρων.**

Η χρήση της μικροκυματικής ακτινοβολίας μπορεί να εξυπηρετήσει διάφορα σενάρια λόγω της ιδιότητας της να απορροφάται εύκολα. Για παράδειγμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αυξήσει την ασφάλεια ενός σήματος σε ένα εσωτερικό χώρο ενάντια σε παρακολούθηση λόγω της αδυναμίας της ακτινοβολίας να διαπεράσει τη δομή του.

- **Οπτικοί αισθητήρες, 400 – 790THz**

Χρησιμοποιούνται στις κάμερες για την εγγραφή οπτικής εικόνας του χώρου.

Εκτός από τους αισθητήρες που ανιχνεύουν μηχανικά ή ηλεκτρομαγνητικά σήματα σε συγκεκριμένο εύρος φάσματος, υπάρχουν και οι παρακάτω ειδικές περιπτώσεις αισθητήρων που ανήκουν στην κατηγορία των δυαδικών αισθητήρων, οι οποίοι τροφοδοτούν το σύστημα μόνο με δύο πιθανές τιμές 0 ή 1 ανάλογα με την κατάσταση στην οποία βρίσκονται.

- **Αισθητήρες πίεσης (pressure mats)**

Παρέχουν την πληροφορία αν ένας χώρος είναι κατειλημμένος ή όχι

- **Αισθητήρες διακοπής διέλευσης δέσμης (break beam sensors)**

Αποτελούνται από ένα πομπό που εκπέμπει συνεχώς ένα μία δέσμη ακτινοβολίας, π.χ. laser και ένα πομπό που το ανιχνεύει. Όταν κάποιο αδιαφανές αντικείμενο διακόψει τη δέσμη, ο δέκτης παύει να την ανιχνεύει και τότε γίνεται η αλλαγή του σήματος από 0 σε 1 ή το αντίστροφο. Μπορούν να ανιχνεύσουν την παρουσία κάποιου στο χώρο παρακολούθησης ή να ελέγξουν την τήρηση των επιτρεπόμενων αποστάσεων από κάποιο αντικείμενο, π.χ. από ένα έκθεμα σε ένα μουσείο.

- **Αισθητήρες επαφής (contact switches)**

Αποτελούνται από δυο μέρη τα οποία βρίσκονται σε επαφή. Όταν διαχωριστούν γίνεται η αλλαγή του σήματος από 0 σε 1 ή το αντίστροφο. Μία συνηθισμένη εφαρμογή τους είναι η τοποθέτησή τους σε πόρτες ή παράθυρα τα οποία όταν ανοίξουν διαχωρίζουν τα δύο μέρη του αισθητήρα.

- **Αισθητήρες GPS**

Άλλο είδος ειδικής περίπτωσης αισθητήρων είναι οι αισθητήρες που ανιχνεύουν το σήμα GPS (Global Positioning System) που εκπέμπεται από δορυφόρους που καλύπτουν με την ακτινοβολία τους την επιφάνεια όλου του πλανήτη. Μεταφράζοντας τα δεδομένα παρέχουν στο σύστημα με μεγάλη ακρίβεια την πληροφορία της θέσης τους [2].

3

Υλοποίηση ενός συστήματος επιτήρησης απομακρυσμένης περιοχής

3.1 Εισαγωγή

Ακολουθώντας τη δομή του πρώτου μέρους θα πραγματοποιηθεί υλοποίηση ενός επίγειου συστήματος επιτήρησης σε πραγματικό χρόνο. Το σενάριο που θα εξυπηρετεί το σύστημα αφορά σε ένα χώρο ο οποίος

- δεν έχει σταθερή διεύθυνση και
- δε διαθέτει σύνδεση με το ενσύρματο σύστημα ηλεκτροδότησης

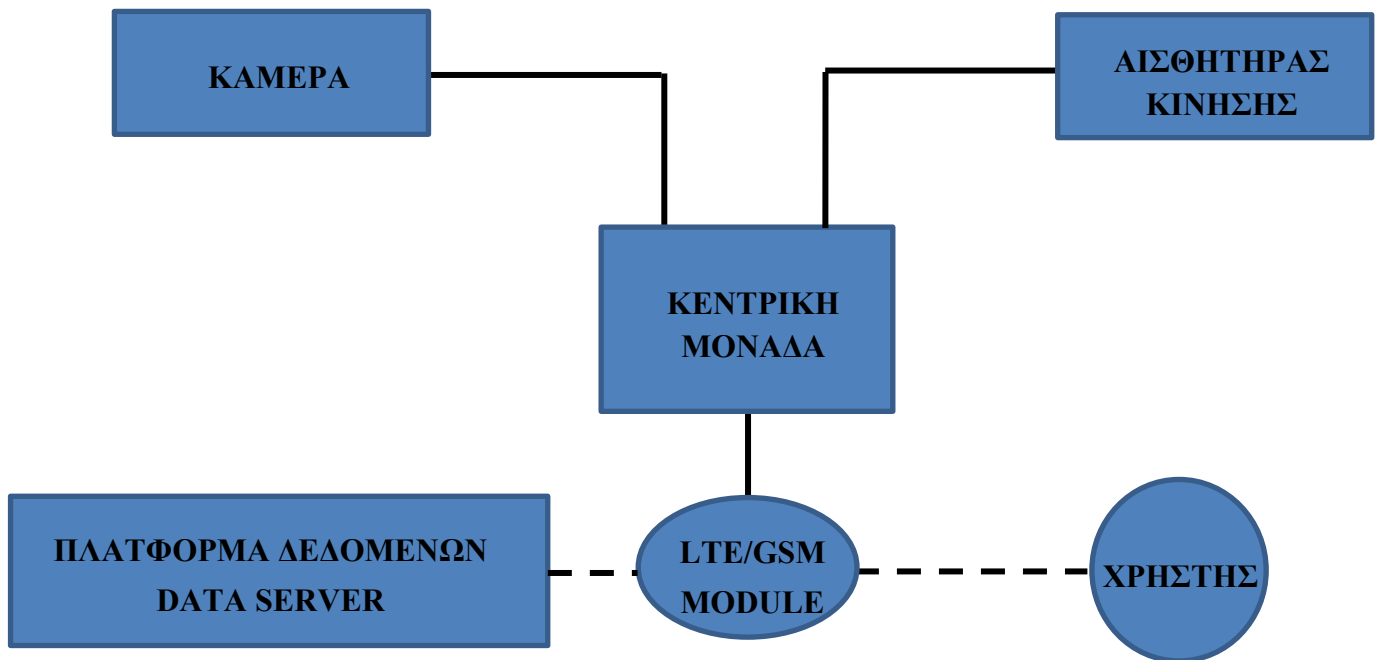
Ο στόχος του συστήματος είναι η προστασία του χώρου.

Το σύστημα πρέπει:

- να ενημερώνει απομακρυσμένα το χρήστη όταν κάποιος εισέρχεται στο χώρο και στη συνέχεια
- να καταγράφει και να αποθηκεύει την εικόνα του χώρου
- να στέλνει τη φωτογραφία του χώρου στο χρήστη

Χαρακτηριστική εφαρμογή του παραπάνω σεναρίου είναι η εγκατάστασή του σε σταθμευμένο όχημα. Όταν εισέρχεται στο όχημα κάποιο άτομο εκτός από το χρήστη τότε το σύστημα ανιχνεύει την παρουσία του και στέλνει στο χρήστη ειδοποίηση για το συμβάν συνοδευόμενη από μία φωτογραφία από το εσωτερικό του οχήματος.

3.2 Σχηματική απεικόνιση



Εικόνα 20. Σύστημα επιτήρησης απομακρυσμένης περιοχής με αισθητήρα κίνησης, κάμερα και LTE/GSM module

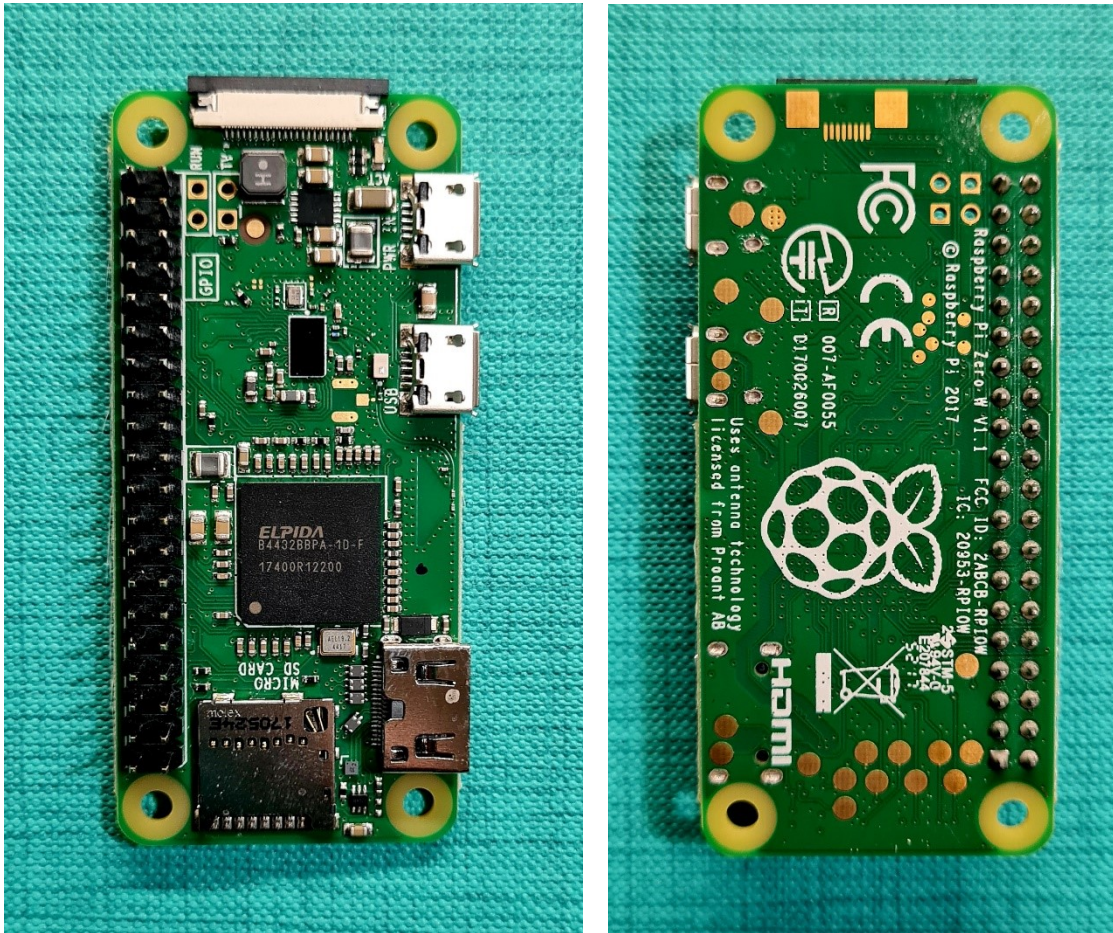
3.3 Δομή του συστήματος

Η δομή του συστήματος επιτήρησης διαμορφώθηκε με κύρια κριτήρια την ενεργειακή του επάρκεια και τις ανάγκες σε ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων.

Το σύστημα κατατάσσεται στην κατηγορία των συσκευών με χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση. Οι ενεργειακές ανάγκες του συστήματος πρέπει να καλύπτονται από την περιορισμένη χωρητικότητα της μπαταρίας του οχήματος. Έτσι η κεντρική μονάδα επιλέχθηκε ώστε να έχει χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις. Επίσης τα μέρη του συστήματος που βρίσκονται στο χώρο επιτήρησης είναι συνδεδεμένα πάνω στην κεντρική μονάδα χωρίς να παρεμβάλλεται εσωτερικό δίκτυο το οποίο θα αύξανε την ενεργειακή κατανάλωση.

Η απομακρυσμένη επικοινωνία του συστήματος με το χρήστη γίνεται μέσω δικτύου LTE. Τα LTE δίκτυα δεν ανήκουν στα δίκτυα χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης. Όμως η ανάγκη αποστολής φωτογραφιών του χώρου και μάλιστα σε μικρό χρόνο δεν επιτρέπει τη χρήση των συγκεκριμένων δικτύων (LoRa, NBIoT, LTE-M κ.ά.).

3.3.1 Κεντρική μονάδα



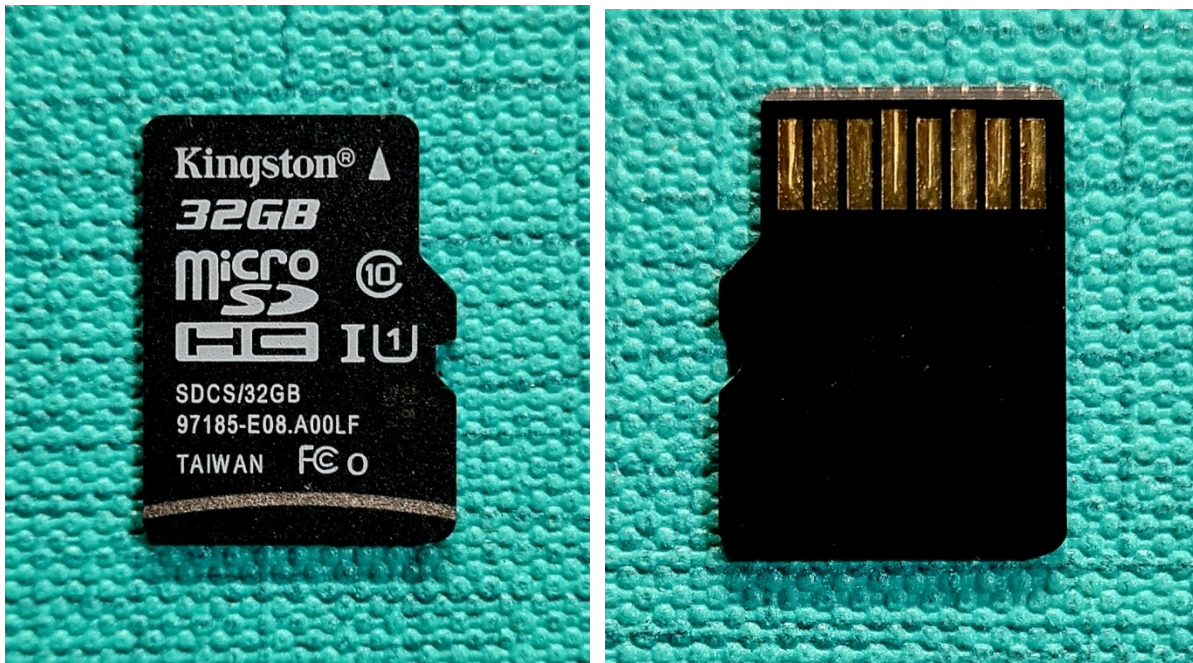
Εικόνες 21, 22. Η κεντρική μονάδα του συστήματος επιτήρησης

Raspberry Pi Zero W v1.1	
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΗΣ	1GHz, single-core CPU
ΜΝΗΜΗ RAM	512MB RAM
ΣΥΝΔΕΣΙΜΟΤΗΤΑ	802.11 b/g/n wireless LAN Bluetooth 4.1 Bluetooth Low Energy (BLE)
ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΜΕΝΕΣ ΕΙΣΟΔΟΙ - ΕΞΟΔΟΙ	HAT-compatible 40-pin header CSI camera connector
ΕΞΟΔΟΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΚΑΙ ΗΧΟΥ	Mini HDMI port and micro USB On-The-Go (OTG) port
ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ	Micro USB power (5V)

Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά της κεντρικής μονάδας

Η κεντρική μονάδα του συστήματος είναι ένας single board υπολογιστής Raspberry Pi Zero W v1.1. Πρόκειται για το δεύτερο μικρότερο σε μέγεθος και υπολογιστική ισχύ μοντέλο της σειράς υπολογιστών Raspberry Pi μετά από το μοντέλο Raspberry Pico. Επιλέχθηκε για να εξυπηρετήσει την ανάγκη για οικονομία στην κατανάλωση ενέργειας. Διαθέτει ειδική on board υποδοχή για κάμερα συμβατή με τους υπολογιστές Raspberry Pi και θύρα για κάρτα μνήμης microSD. Η προέκταση W στο όνομά του δηλώνει ότι διαθέτει ελεγκτή ασύρματου δικτύου WiFi και Bluetooth Low Energy / BLE. Επίσης διαθέτει 40 ακροδέκτες General Purpose Input / Output Headers (GPIO).

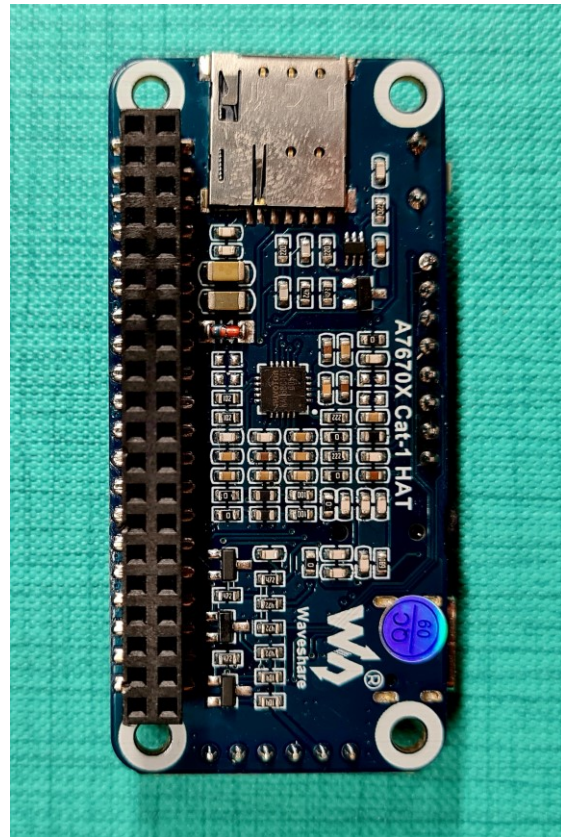
3.3.2 Εσωτερική μνήμη



Εικόνες 23, 24. Η κάρτα με την εσωτερική μνήμη του συστήματος επιτήρησης

Η εσωτερική μνήμη του συστήματος είναι τύπου microSD μάρκας Kingston και κλάσης Class 10 – HC1 χωρητικότητας 32GB.

3.3.3 *LTE module*



Εικόνες 25, 26. Η LTE μονάδα του συστήματος

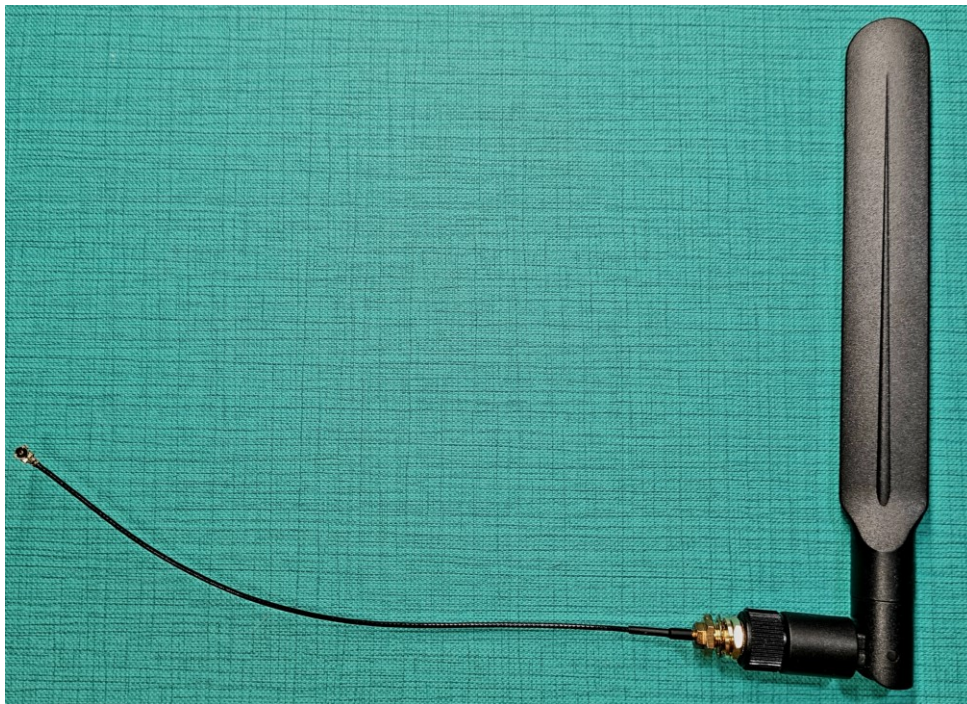
Waveshare LTE Cat-1 HAT - A7670E	
SPECIFICATIONS	
FREQUENCY BAND	
LTE Cat-1	LTE-FDD: B1, B3, B5, B7, B8, B20
2G	GSM/GPRS/EDGE: 900/1800 MHz
SMS and Audio	
SMS	Storage: USIM card (CB couldn't be stored on SIM card)
Audio feature	Standard 3.5mm audio jack for audio input/output
OTHER	
Power supply	5V

Operating voltage	5V / 3.3V (configured via jumper)
Operating temperature	-30°C ~ 80°C
Storage temperature	-45°C ~ 90°C
Dimensions	65 × 30.5mm

Πίνακας 3. Χαρακτηριστικά της μονάδας LTE

Η μονάδα LTE του συστήματος δίνει τη δυνατότητα ανίχνευσης της θέσης του συστήματος μέσω της μεθόδου LBS Positioning (Location Based Service Positioning) που πραγματοποιεί τριγωνοποίηση της θέσης εκτιμώντας την απόσταση από τις κεραίες κινητής τηλεφωνίας της περιοχής.

3.3.4 *Κεραία LTE*



Εικόνα 27. Η κεραία LTE του συστήματος

Εικόνα 14. Η κεραία του συστήματος συνδέεται στην είσοδο που βρίσκεται πάνω στην πλακέτα του LTE module

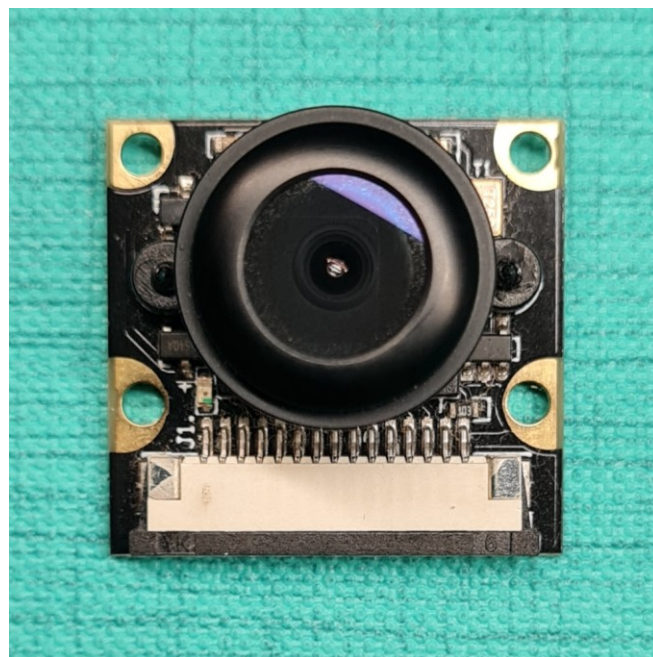
3.3.5 *Κάρτα SIM*



Εικόνα 28. Η Κάρτα SIM του συστήματος

Η κάρτα SIM εγκαθίσταται στη θύρα του LTE module. Χρησιμοποιήθηκε κάρτα ενός από τα εθνικά εμπορικά δίκτυα τηλεπικοινωνιών.

3.3.6 *Κάμερα*



Εικόνα 29. Η κάμερα του συστήματος επιτήρησης

Η κάμερα του συστήματος είναι συμβατή με τη Raspberry Pi Camera Rev 1.3. Είναι διαμορφωμένη χωρίς φίλτρο υπέρυθρης ακτινοβολίας (NOIR Filter). Αυτό επιτρέπει τη λήψη φωτογραφιών σε

συνθήκες πολύ χαμηλού φωτισμού στο φάσμα της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Καταγράφει φωτογραφίες και βίντεο σε γωνία ευρείας λήψης.

Η σύνδεση της κάμερας γίνεται με καλωδιωταινία τύπου ribbon cable στην ειδική θύρα της κεντρικής μονάδας. Ο αισθητήρας της κάμερας έχει μέγεθος 5 MPixels και μπορεί να καταγράφει εικόνες μέγιστης ανάλυσης 2592X1944 και βίντεο σε ανάλυση 1080p (1920X1080) με συχνότητα 30 καρέ το δευτερόλεπτο, σε ανάλυση 720p (1280X720) με συχνότητα 60 καρέ το δευτερόλεπτο και σε ανάλυση 480p (640X480) με συχνότητα 90 καρέ το δευτερόλεπτο, μεταξύ άλλων.

3.3.7 Αισθητήρας κίνησης



Εικόνες 30, 31, 32. Ο αισθητήρας κίνησης PIR Sensor

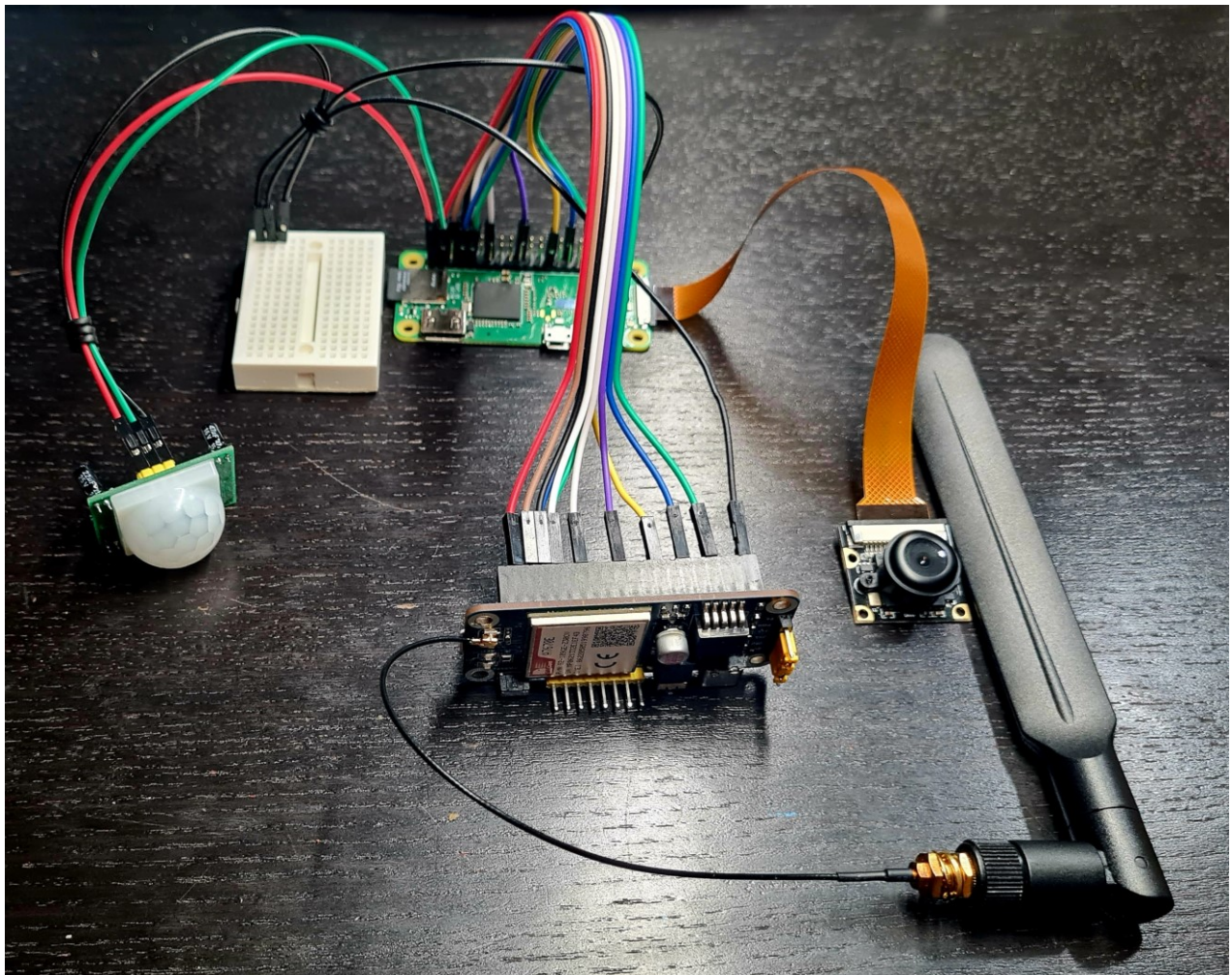
Ο αισθητήρας κίνησης του συστήματος είναι τύπου Passive Infrared Sensor (PIR). Συνδέεται στην κεντρική μονάδα του συστήματος. Χρησιμοποιεί τρεις ακροδέκτες GPIO :

- Μία είσοδο ηλεκτρικής τάσης (VCC),
- μία σύνδεση γείωσης (GND) και

- μία έξοδο (OUT).

Ο αισθητήρας καταγράφει μία εικόνα της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τα αντικείμενα στο χώρο και συγκρίνει κάθε εικόνα που καταγράφει με την προηγούμενη. Αν ανιχνευθεί αλλαγή στην εικόνα ακτινοβολίας τότε εκπέμπει μέσω της εξόδου σήμα στην κεντρική μονάδα. Η ευαισθησία στις αλλαγές και η συχνότητα λήψης μπορούν να ρυθμιστούν χειροκίνητα πάνω στην πλακέτα του αισθητήρα.

3.3.8 Πλήρες σύστημα



Εικόνα 33. Η πλήρης διάταξη του συστήματος επιτήρησης

3.4 Software

Στο σύστημα εγκαταστάθηκε το λογισμικό Raspberry Pi OS. Πρόκειται για δωρεάν λειτουργικό σύστημα, ειδικά διαμορφωμένο από την κατασκευάστρια εταιρία των υπολογιστών Raspberry Pi. Βασίζεται στη διανομή Debian του λογισμικού ανοιχτού κώδικα Linux.

Ο χειρισμός του συστήματος πραγματοποιήθηκε μέσω Secure Shell (SSH) σύνδεσης χρησιμοποιώντας το λογισμικό PuTTY σε περιβάλλον Microsoft Windows.

Οι ενέργειες του συστήματος καθορίστηκαν μέσω προγραμματισμού σε γλώσσα python. Οι εντολές είναι αποθηκευμένες στο πρόγραμμα surveillance.py στην εσωτερική μνήμη του συστήματος. Ο κώδικας είναι διαθέσιμος στο παράρτημα 1.

Η επικοινωνία του LTE module με την κεντρική μονάδα του συστήματος πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το λογισμικό minicom.

Το αρχείο surveillance.py εκτελείται κατά την εκκίνηση του συστήματος και τρέχει καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας του. Το σύστημα πραγματοποιεί συνεχώς έλεγχο της εξόδου του αισθητήρα κίνησης.

Όταν ανιχνευθεί κίνηση στο εσωτερικό του αυτοκινήτου τότε

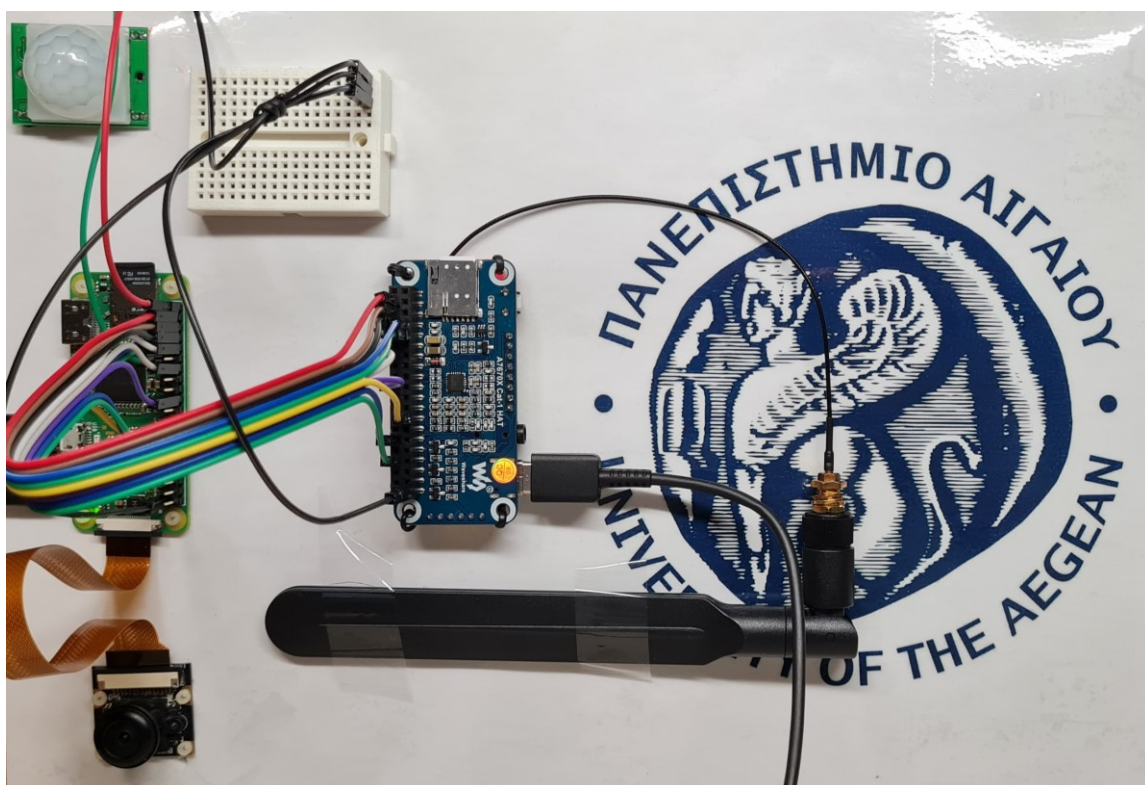
- η κάμερα του συστήματος αποθηκεύει μία φωτογραφία του χώρου στην εσωτερική μνήμη
- το σύστημα στέλνει μήνυμα ειδοποίησης στο χρήστη ενημερώνοντάς τον για την ανίχνευση κίνησης μέσω ειδοποίησης τύπου PUSH
- Το μήνυμα ειδοποίησης συνοδεύεται με συνημμένη τη φωτογραφία του χώρου που λήφθηκε και αποθηκεύτηκε κατά την ανίχνευση κίνησης

Η επικοινωνία του συστήματος με το χρήστη πραγματοποιείται μέσω ειδοποιήσεων PUSH. Για την αποστολή τους εγκαταστάθηκε στο σύστημα το λογισμικό Pushover. Ειδοποιήσεις μπορεί να λαμβάνει οποιαδήποτε συσκευή έχει εγκατεστημένη την εφαρμογή Pushover η οποία είναι διαθέσιμη στις πλατφόρμες εφαρμογών των περισσότερων λειτουργικών συστημάτων.

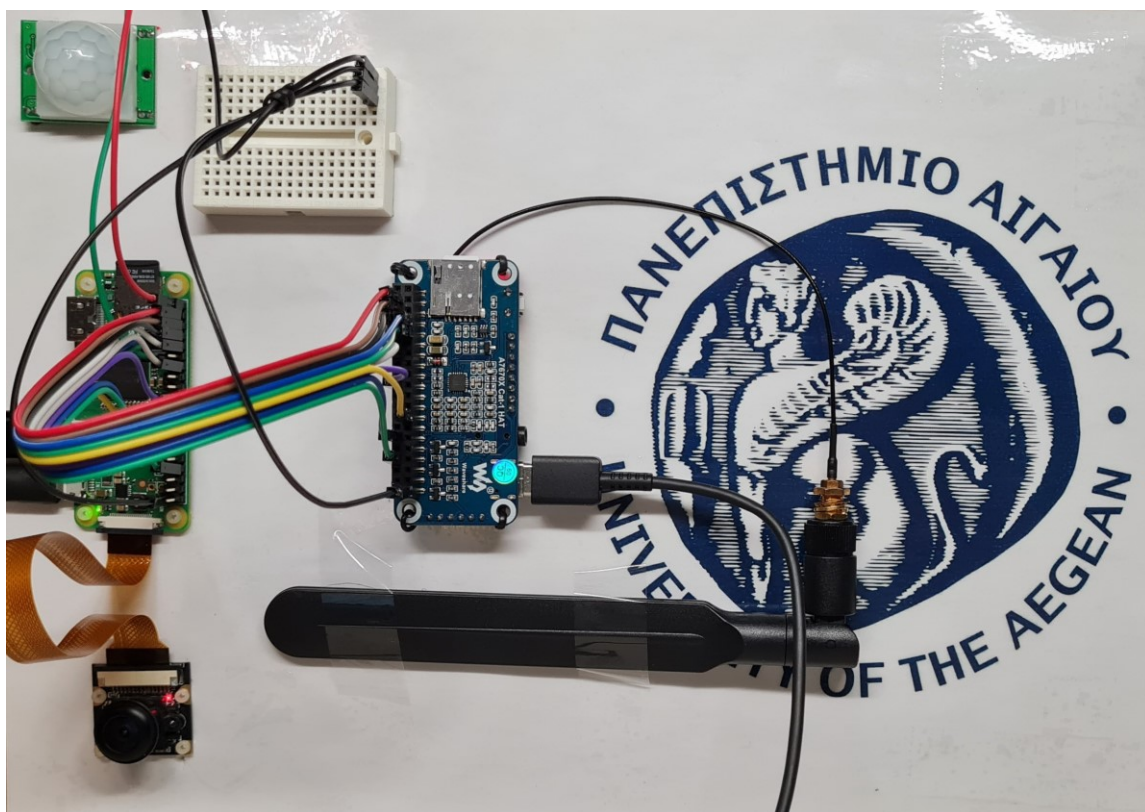
3.5 Λειτουργία του συστήματος

Το σύστημα συνδέεται με την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος. Μόλις ολοκληρωθεί η εκκίνηση της κεντρικής μονάδας, το λογισμικό minicom πραγματοποιεί σύνδεση του συστήματος με το LTE δίκτυο. Κατά την ολοκλήρωση της σύνδεσης στέλνει μία ειδοποίηση στο χρήστη ότι το σύστημα λειτουργεί επιτυχώς.

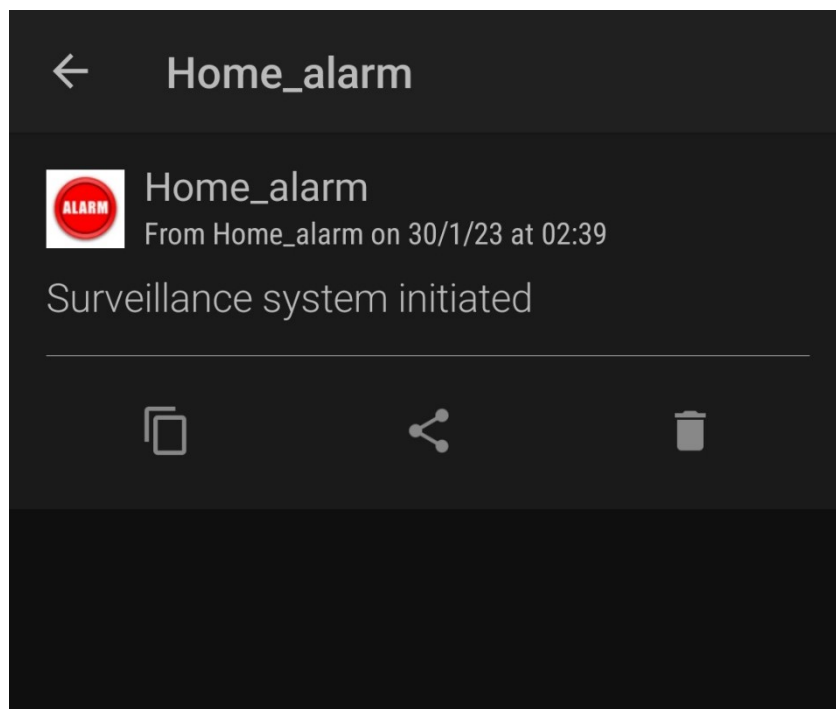
Κατά τη λειτουργία του συστήματος γίνεται έλεγχος για την ύπαρξη κίνησης στον επιτηρούμενο χώρο. Πραγματοποιώντας μία γρήγορη κίνηση μπροστά από τον αισθητήρα κίνησης ανάβει το ενδεικτικό LED της κάμερας του συστήματος υποδεικνύοντας ότι καταγράφεται φωτογραφία του χώρου. Στη συνέχεια αποστέλλεται μία ειδοποίηση στην τηλεφωνική συσκευή του χρήστη, στην οποία έχει εγκατασταθεί και παραμετροποιηθεί το λογισμικό Pushover. Μαζί με την ειδοποίηση ανίχνευσης κίνησης είναι συνημμένη και μία φωτογραφία του χώρου επιτήρησης. Στο μήνυμα αναγράφονται η ημερομηνία και η ώρα.



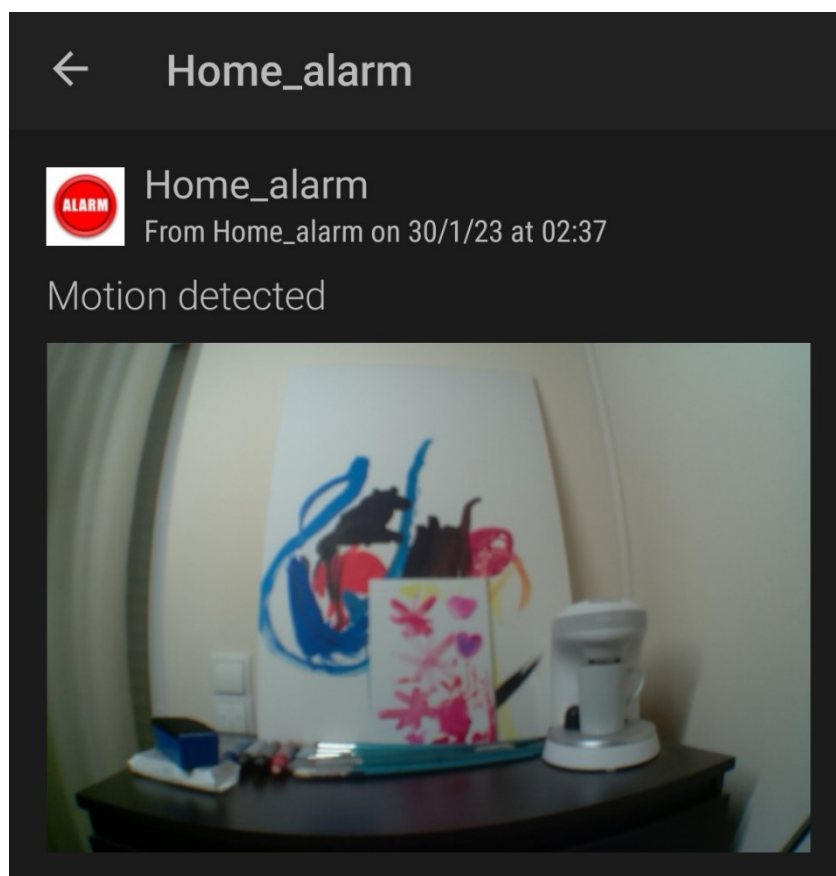
Εικόνα 34. Λειτουργία του συστήματος σε αδράνεια



Εικόνα 35. Λειτουργία του συστήματος κατά την ανίχνευση κίνησης. Διακρίνεται η λειτουργία της κάμερας



Εικόνα 36. Ειδοποίηση εκκίνησης του συστήματος επιτήρησης



Εικόνα 37. Ειδοποίηση ανίχνευσης κίνησης στο χώρο επιτήρησης, συνοδευόμενη από φωτογραφία του χώρου

3.6 Διαχείριση δεδομένων

Ένα σύστημα επιτήρησης του οποίου η χρήση στοχεύει στην ασφάλεια ενός χώρου πρέπει να έχει τη δυνατότητα

- **έγκαιρης ειδοποίησης** του χρήστη στην περίπτωση παραβίασης του χώρου.
- **αποστολής δεδομένων** της κατάστασης του χώρου

Το σύστημα που υλοποιήθηκε έχει ως στόχο την ανίχνευση κίνησης στο χώρο και

- την αποστολή **μηνύματος ενημέρωσης** στο χρήστη για το συμβάν
- την **αποστολή φωτογραφίας** του χώρου σε πραγματικό χρόνο

Οι παράμετροι που λήφθηκαν υπόψιν για τη βελτιστοποίηση του συστήματος ήταν

- **ο χρόνος αποστολής των δεδομένων**

η καταγραφή της εικόνας του χώρου και η αποστολή της ειδοποίησης και του οπτικού υλικού στο χρήστη είναι κρίσιμο να πραγματοποιηθούν γρήγορα αφενός προκειμένου να προβεί στις απαραίτητες ενέργειες και αφετέρου για να ολοκληρωθούν πριν να εντοπιστούν τα μέρη του συστήματος και προκληθεί κακόβουλη φθορά.

- **η ποιότητα του οπτικού υλικού**

Κάθε λεπτομέρεια στην καταγραφή του χώρου μπορεί να αποδώσει πολύτιμες πληροφορίες για την προστασία του χώρου. Η ποιότητα της φωτογραφίας αυξάνεται όσο αυξάνεται η οπτική της ανάλυση.

Οι παραπάνω παράμετροι έρχονται έχουν αντίστροφη μεταξύ τους επίδραση. Όσο αυξάνεται η ποιότητα της φωτογραφίας που λαμβάνεται, τόσο αυξάνεται το μέγεθος του αρχείου που πρόκειται να μεταδοθεί. Κατά συνέπεια αυξάνεται και ο χρόνος που μεσολαβεί ανάμεσα στο συμβάν και τη λήψη των δεδομένων από το χρήστη.

3.6.1 Λήψη φωτογραφιών με διαφορετική οπτική ανάλυση

Πραγματοποιήθηκε λήψη φωτογραφίας σε διαφορετικές αναλύσεις, οι οποίες παρήγαγαν αρχεία διαφορετικών μεγεθών. Χρησιμοποιήθηκαν η υψηλότερη δυνατή ανάλυση στην οποία μπορεί να πραγματοποιήσει λήψη η κάμερα του συστήματος, ανάλυση Full HD και δύο χαμηλότερες αναλύσεις, SVGA και QVGA.

Στον παρακάτω πίνακα δίνεται το μέγεθος του αρχείου που παράχθηκε σε αντιστοίχιση με την ανάλυση που επιλέχθηκε.

A/A	ΑΝΑΛΥΣΗ (ονομασία)	ΑΝΑΛΥΣΗ (αριθμός εικονοστοιχείων, οριζόντια x κατακόρυφα)	Μέγεθος Αρχείου (kB)
1	Μέγιστη	2592X1944	2314
2	Full HD	1920X1080	1065
3	SVGA	800X600	240
4	QVGA	320X240	67

Πίνακας 4. Αντιστοίχιση της οπτικής ανάλυσης των φωτογραφιών δοκιμής με το μέγεθος του αρχείου που παράχθηκε

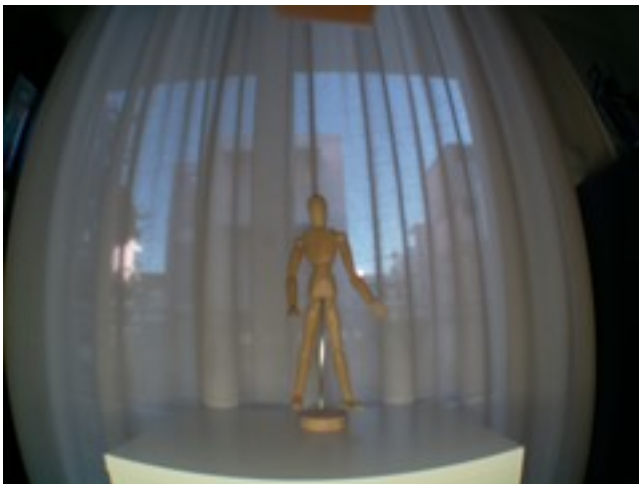
Παρακάτω δίνονται οι φωτογραφίες που λήφθηκαν κατά τη δοκιμή του συστήματος, μειωμένες σε μέγεθος κατά 70% (30% του αρχικού μεγέθους). Η αναλογία του μεγέθους ανάμεσα στις φωτογραφίες έχει διατηρηθεί.



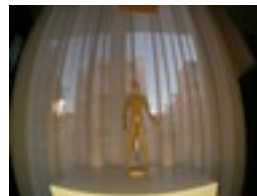
Εικόνα 38. Μέγιστη ανάλυση, 2592X1944, μέγεθος αρχείου 2314 kB



Εικόνα 39. Ανάλυση Full HD, 1920X1080, μέγεθος αρχείου 1065 kB



Εικόνα 40. Ανάλυση SVGA, 800X600, μέγεθος αρχείου 240 kB



Εικόνα 41. Ανάλυση QVGA, 320X240, μέγεθος αρχείου 67 kB

3.6.2 Μελέτη του χρόνου αποστολής δεδομένων

Πραγματοποιήθηκε δοκιμαστική εκτέλεση του σεναρίου αποστολής δεδομένων στο χρήστη. Η διαδικασία επαναλήφθηκε για κάθε τύπο ανάλυσης που έχει περιγραφεί στην προηγούμενη ενότητα. Σε κάθε δοκιμή μετρήθηκε ο χρόνος από τη χρονική στιγμή της εκτέλεσης της κίνησης μέσα στο πεδίο του αισθητήρα ανίχνευσης κίνησης έως τη στιγμή που λήφθηκαν τα δεδομένα στο κινητό τηλέφωνο του χρήστη.

Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε αρχικά για σύνδεση τύπου LTE με το δίκτυο και στη συνέχεια για σύνδεση GSM.

Α/Α	ΑΝΑΛΥΣΗ (αριθμός εικονοστοιχείων, οριζόντια X κατακόρυφα)	Μέγεθος Αρχείου (kB)	Συνολικός χρόνος καταγραφής – αποστολής – λήψης δεδομένων (seconds)	
			LTE	GSM
1	2592X1944	2314	26	333
2	1920X1080	1065	21	165
3	800X600	240	19	48
4	320X240	67	16	22

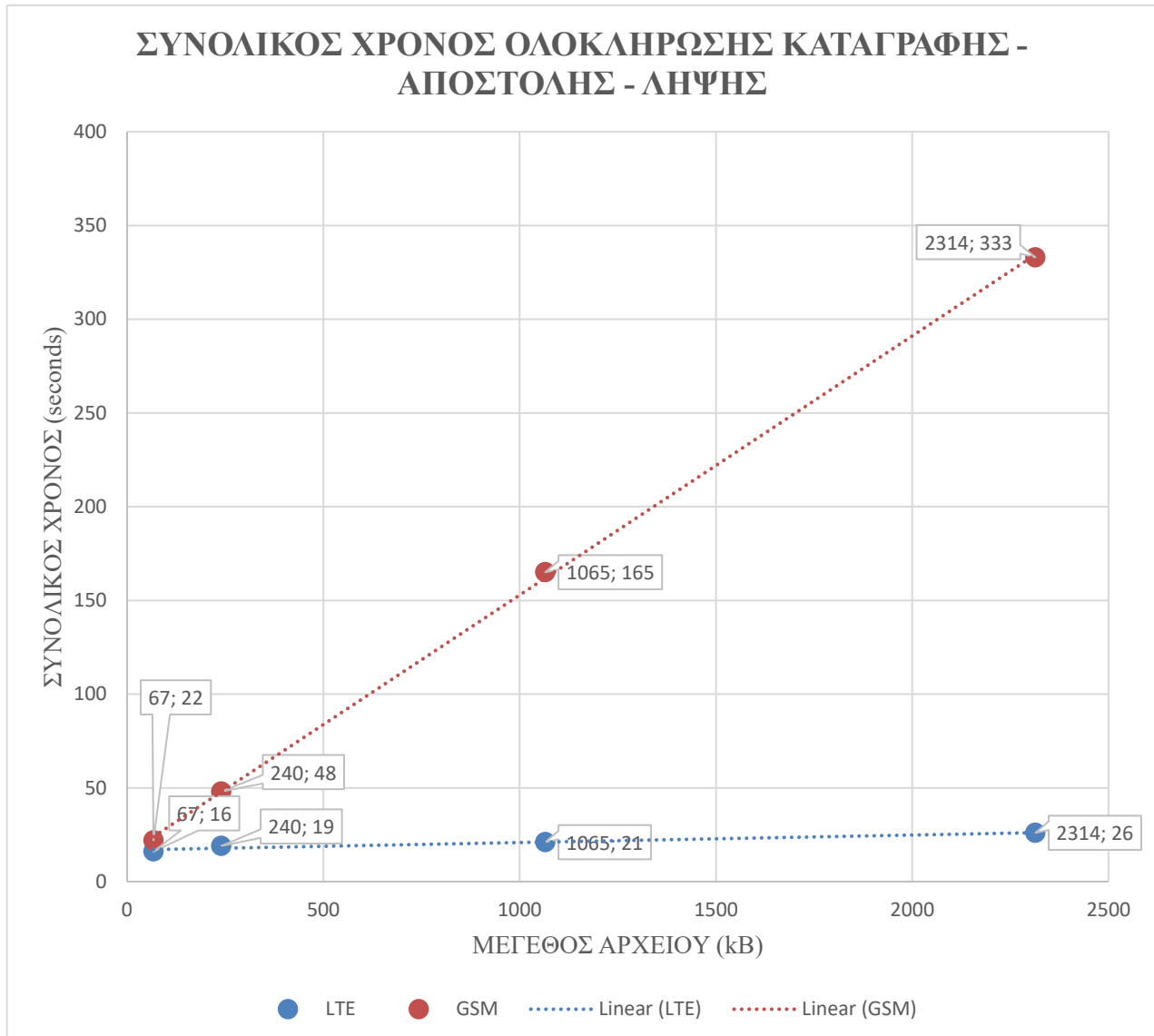
Πίνακας 5. Συνολικός χρόνος καταγραφής – αποστολής – λήψης δεδομένων

Σύμφωνα με τις παραπάνω μετρήσεις η ποσοστιαία διαφορά ανάμεσα στο μέγιστο και τον ελάχιστο χρόνο ολοκλήρωσης της διαδικασίας στο δίκτυο LTE είναι της τάξης του 62,5% του ελάχιστου χρόνου και έχει τιμή 10 δευτερολέπτων.

Η αντίστοιχη διαφορά στο GSM δίκτυο είναι ποσοστιαία 1181% και έχει τιμή 307 δευτερολέπτων. Καθυστέρηση της μετάδοσης της τάξης των 10 δευτερολέπτων μπορεί να θεωρηθεί αποδεκτή, προκειμένου να ληφθεί το αρχείο εικόνας με τη μεγαλύτερη ανάλυση.

Η καθυστέρηση των 307 δευτερολέπτων δε μπορεί να γίνει αποδεκτή χάριν της επίτευξης λήψης φωτογραφίας στη μέγιστη ανάλυση. Ακόμα και για τη λήψη Full HD φωτογραφίας (1920X1080), ο επιπλέον χρόνος που απαιτείται είναι 143 δευτερόλεπτα.

Παρακάτω δίνεται γραφικά η εξάρτηση του χρόνου ολοκλήρωσης της διαδικασίας σε συνάρτηση με το μέγεθος του αρχείου που δημιουργείται.



Διάγραμμα 1. Συνολικός χρόνος ολοκλήρωσης καταγραφής – αποστολής – λήψης ανά μέγεθος παραγόμενου αρχείου

3.6.3 Συμπεράσματα

Ο τρόπος λειτουργίας του συστήματος πρέπει να αλλάζει κατά την αλλαγή του τύπου δικτύου στο οποίο έχει πρόσβαση. Όσο είναι δυνατή η πρόσβαση σε δίκτυο τύπου LTE, η ανάλυση των φωτογραφιών που λαμβάνονται μπορεί να είναι ορισμένη στη μέγιστη επιλογή. Όταν όμως δεν υπάρχει πρόσβαση σε LTE δίκτυο, αλλά μόνο σε GSM, τότε η ανάλυση πρέπει να αλλάζει σε τύπους χαμηλής ανάλυσης οι οποίοι παράγουν αρχεία που μεταδίδονται μέσα στα επιθυμητά χρονικά όρια.

3.7 Ενεργειακή κατανάλωση

3.7.1 Σύγκριση τριών τύπων συστημάτων επιτήρησης ως προς την ενεργειακή κατανάλωση.

Η κατανάλωση ενέργειας ενός συστήματος παρακολούθησης εξαρτάται από τον τύπο του.

Μία συνηθισμένη μορφή είναι ο συνδυασμός μίας συσκευής καταγραφής (Digital Video Recorder – DVR ή Network Video Recorder - NVR) με ένα αριθμό συνδεδεμένων καμερών ενσύρματα ή ασύρματα αντίστοιχα.

Ένα σύστημα που αποτελείται από

- ένα σύστημα καταγραφής εικόνας Hikvision DS-7104HQHIK1
- 4 συνδεδεμένες βιντεοκάμερες Hikvision DS-2CE16D0T-IT3, με φακό 2.8mm, ανάλυσης 2-megapixel, και φωτισμό υπέρυθρης ακτινοβολίας με εμβέλεια 40 μέτρων
- Σκληρό HDD δίσκο Western Digital WD10PURX 1TB

καταναλώνει ισχύ της τάξης των 18W (Watt). Για να καλύψει τις παραπάνω ανάγκες χρησιμοποιεί μετασχηματιστή τροφοδοσίας ρεύματος 12V/10A ο οποίος συνδέεται με το οικιακό δίκτυο [12].

Ο παρακάτω πίνακας απεικονίζει τις τιμές ηλεκτρικής τάσης / έντασης ηλεκτρικού ρεύματος / ισχύος που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετράωρου.

CCTV System				
No	Time [HH:MM:SS]	Current [A]	Voltage [V]	Power consumption for the CCTV System [W]
1	09:00:08	0.083	222	18.426
2	09:02:08 09:04:08	0.083	222	18.426
3		0.083	222	18.426
4	09:06:08	0.084	219	18.396
5	09:08:08	0.086	216	18.576
6	09:10:08	0.083	215	17.845
....				
714	08:46:08	0.081	235	19.035

715	08:48:08	0.081	231	18.711
716	08:50:08	0.084	225	18.900
717	08:52:08	0.083	224	18.592
718	08:54:08	0.083	224	18.592
719	08:56:08	0.083	224	18.592
720	08:58:08	0.083	224	18.592

Πίνακας 6. Κατανάλωση ενέργειας από ένα σύστημα επιτήρησης [12]

Το παραπάνω σύστημα δε στοχεύει στην εξοικονόμηση ενέργειας ούτε στη δυνατότητα απρόσκοπτης λειτουργίας με μπαταρία, που απαιτεί πολύ χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας.

Αλλα συστήματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση ενός χώρου είναι ένας σταθερός Desktop υπολογιστής, ένας φορητός Laptop υπολογιστής, ένα κινητό Smartphone τηλέφωνο ή ένας single board υπολογιστής όπως είναι το Raspberry Pi.

Κάνοντας χρήση του ηλεκτρονικού μετρητή καταναλισκόμενης ισχύος (βατόμετρο) Eco-Worthy πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για τη μέση κατανάλωση των παραπάνω συστημάτων.

Κατά τη χρήση τους σε μία διαδικασία που περιλαμβάνει χρήση επεξεργαστικής ισχύος ταυτόχρονα με συνδεσιμότητα στο διαδίκτυο καταγράφηκαν οι παρακάτω μέσες τιμές:

Average Power Consumption (W)				
Desktop	Laptop	Smartphone	Tablet	RPI
49.30	29.00	0.67	0.66	3.80

Πίνακας 7. Μέση κατανάλωση ενέργειας από διάφορα συστήματα επιτήρησης [12]

Τα δύο πρώτα συστήματα (Desktop και Laptop) έχουν σημαντικά μεγαλύτερες απαιτήσεις σε ενέργεια από τα υπόλοιπα και απαιτούν σύνδεση με το οικιακό δίκτυο. Ακόμα και το Laptop το οποίο είναι κατασκευασμένο για να λειτουργεί με τροφοδοσία από μπαταρία, ο χρόνος ανάμεσα σε δύο διαδοχικές επαναφορτίσεις της μπαταρίας είναι μερικές ώρες. Ένα smartphone, ένα tablet και ένα Raspberry Pi μπορούν να λειτουργήσουν για μεγάλο χρονικό διάστημα τροφοδοτούμενα από μπαταρία [13].

Παρακάτω δίνονται τα χαρακτηριστικά των συσκευών που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη μελέτη:

Component	Specifications
CPU	3.30GHz Intel(R) Core(TM) i3-2120 CPU

RAM	4GB
Network Adapter	Realtek PCIe RTL8111F - 10/100/1000 Controller
3D Graphics	Intel(R) HD Graphics 2000

Πίνακας 8. Χαρακτηριστικά του Desktop υπολογιστή που χρησιμοποιήθηκε στη σύγκριση κατανάλωσης ενέργειας

Component	Specifications
CPU	2.30GHz Intel(R) Core(TM) i5- 2410M CPU
RAM	8GB
Webcam	Integrated
Network Adapter	Qualcomm Atheros AR9285
3D Graphics	Mobile Intel(R) HD Graphics and Radeon HD6490M

Πίνακας 9. Χαρακτηριστικά του Laptop που χρησιμοποιήθηκε στη σύγκριση κατανάλωσης ενέργειας

Component	Specifications
CPU	Quad-core 1.5 GHz Cortex-A53
RAM	3 GB RAM
Display	Super AMOLED capacitive touchscreen

Πίνακας 10. Χαρακτηριστικά του Smartphone που χρησιμοποιήθηκε στη σύγκριση κατανάλωσης ενέργειας

Component	Specifications
CPU	Exynos® 5 Octa (1.9GHz Quadcore + 1.3 GHz Quadcore)
RAM	3GB
Display	Super clear LCD capacitive touchscreen

Πίνακας 11. Χαρακτηριστικά του Tablet που χρησιμοποιήθηκε στη σύγκριση κατανάλωσης ενέργειας

Component	Specifications
CPU	900MHz quad-core ARM Cortex-A7
RAM	1GB
Wi-Fi	via Wi-Fi dongle
3D Graphics	VideoCore IV 3D graphics core
Other Interfaces	Camera interface (CSI), Display interface (DSI)

Πίνακας 12. Χαρακτηριστικά του Raspberry Pi 2 Model B που χρησιμοποιήθηκε στη σύγκριση κατανάλωσης ενέργειας

3.7.2 Κατανάλωση και επάρκεια του συστήματος που υλοποιήθηκε

3.7.2.1 Μετρήσεις κατανάλωσης ενέργειας του συστήματος

Το σύστημα που υλοποιήθηκε συνδέθηκε με συστοιχία μπαταριών τύπου powerbank. Το συνολικό αποθηκευμένο φορτίο της συσκευής σε κατάσταση πλήρους φόρτισης είναι 20000 mAh.

Λήφθηκαν μετρήσεις του ποσοστιαίου εναπομείναντος φορτίου

- για **συνολικό χρονικό διάστημα επτάμισι ωρών**. Στο χρονικό αυτό διάστημα το σύστημα βρισκόταν σε κατάσταση αναμονής και δεν πραγματοποιήθηκε ανίχνευση κίνησης και αποστολή ειδοποίησης και φωτογραφιών.
- για **χρονικό διάστημα πεντέμισι ωρών** με βήμα τριάντα λεπτών ανά μέτρηση. Στο χρονικό αυτό διάστημα πραγματοποιούνταν μία κίνηση μέσα στο πεδίο του αισθητήρα κίνησης κάθε τριάντα λεπτά με αποτέλεσμα να αποστέλλεται κάθε φορά ειδοποίηση και φωτογραφία του χώρου στο κινητό τηλέφωνο του χρήστη.

Παρακάτω δίνονται οι μετρήσεις που λήφθηκαν.

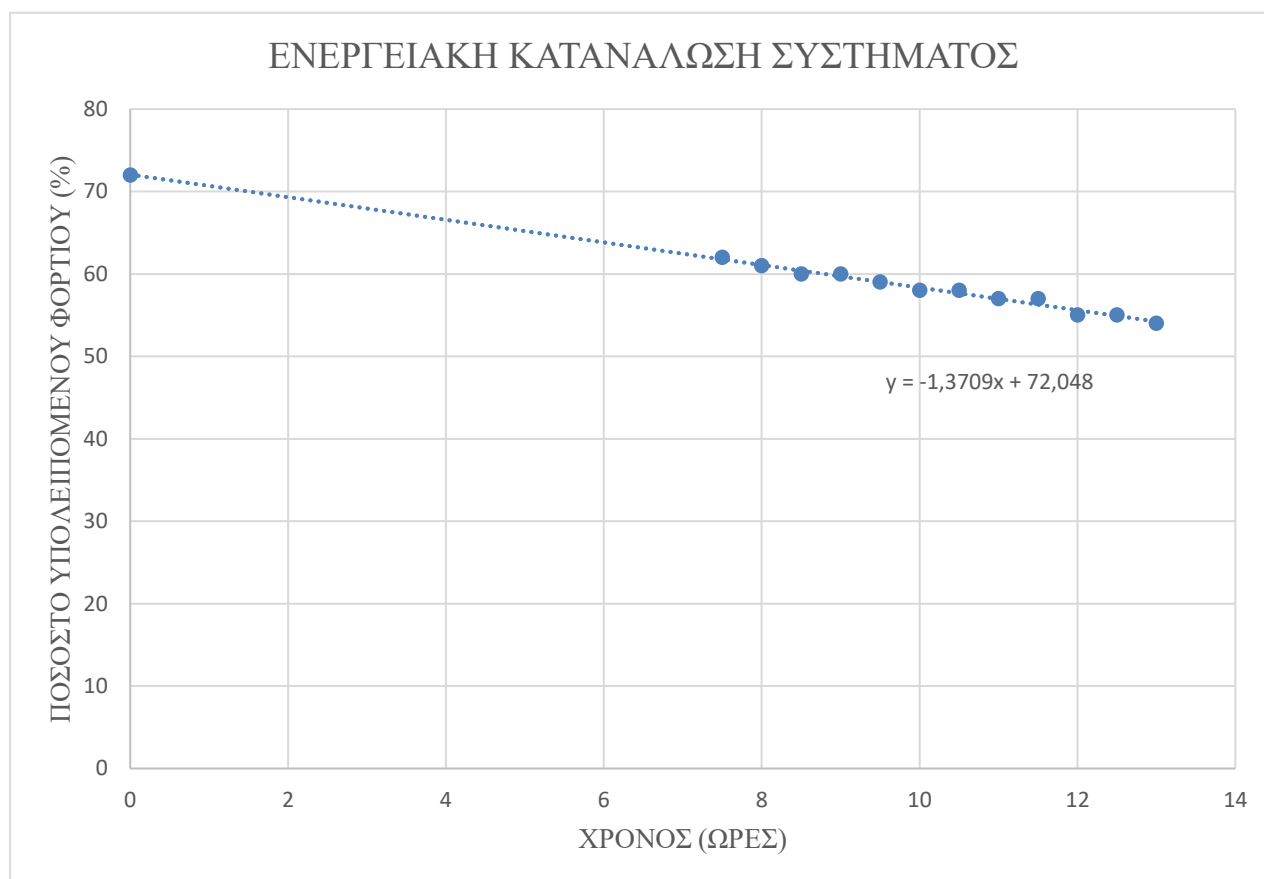
α/α	Ωρα	% ποσοστό υπολοίπου μπαταρίας
1	04:00	72
2	11:30	62
3	12:00	61
4	12:30	60
5	13:00	60
6	13:30	59

7	14:00	58
8	14:30	58
9	15:00	57
10	15:30	57
11	16:00	55
12	16:30	55
13	17:00	54

Πίνακας 13. Ένδειξη μπαταρίας του συστήματος ανά χρόνο λήψης μέτρησης

3.7.2.2 Ανάλυση μετρήσεων

Παρακάτω παριστάνεται η εκφόρτιση της μπαταρίας σε συνάρτηση με τον χρόνο λειτουργίας του συστήματος



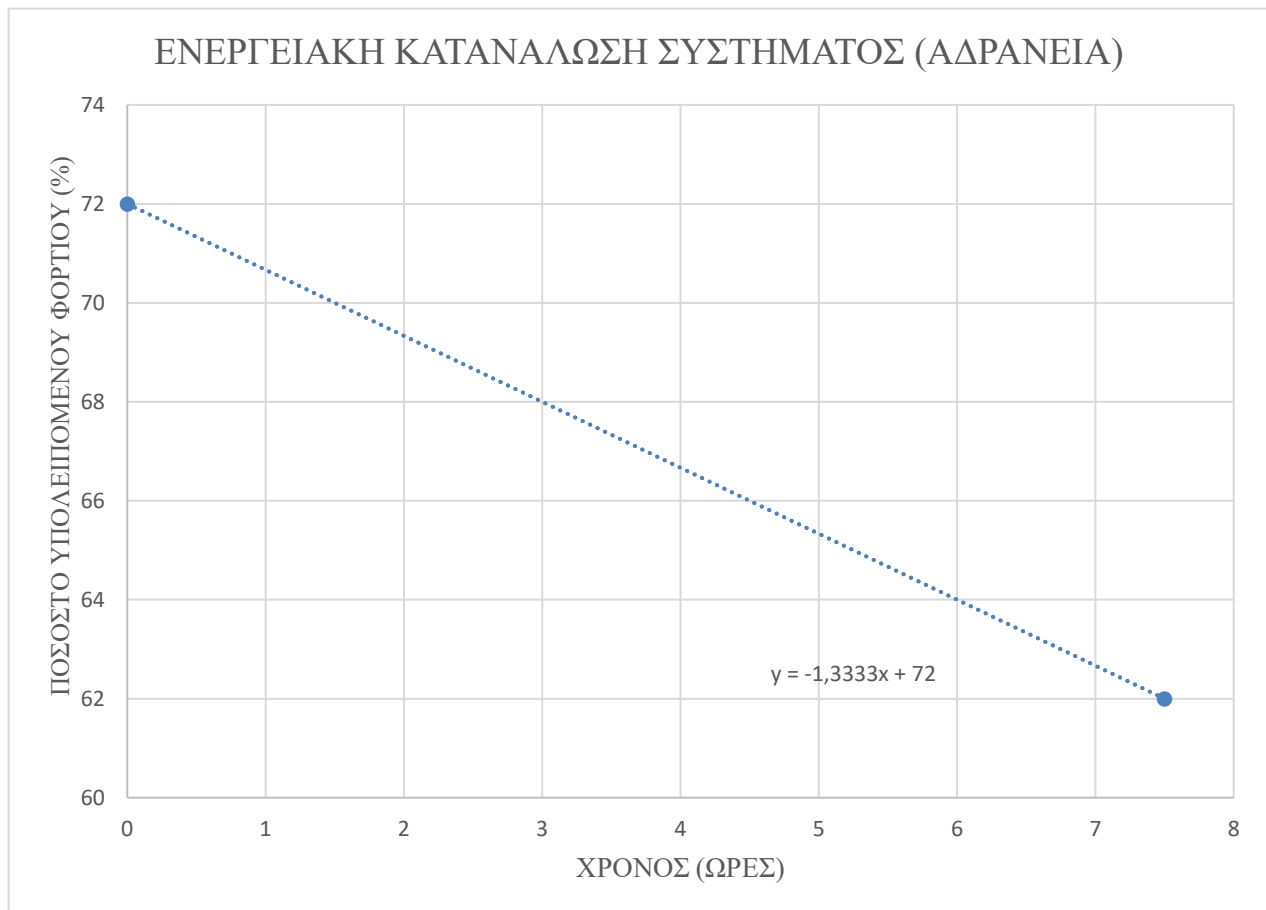
Διάγραμμα 2. Ενεργειακή κατανάλωση του συστήματος

Η εξέλιξη των τιμών ενέργειας προσεγγίστηκε γραμμικά. Η κλίση της ευθείας δίνει ρυθμό κατανάλωσης ενέργειας από τη μπαταρία 1,37% ανά ώρα σε μία μπαταρία αποθηκευμένου φορτίου 20000 mAh. Επομένως:

- Το σύστημα καταναλώνει το αποθηκευμένο φορτίο της μπαταρίας με ρυθμό 274,18 mAh ανά ώρα.
- Δεδομένου ότι το σύστημα λειτουργεί στα 5V, η καταναλισκόμενη μέση ισχύς του συστήματος είναι

$$P = V \cdot I \cdot t = V \cdot Q = 5V \cdot 274,18 \text{ mAh} = 5V \cdot 0,27418 \text{ Ah} = 1,37 \text{ W}$$

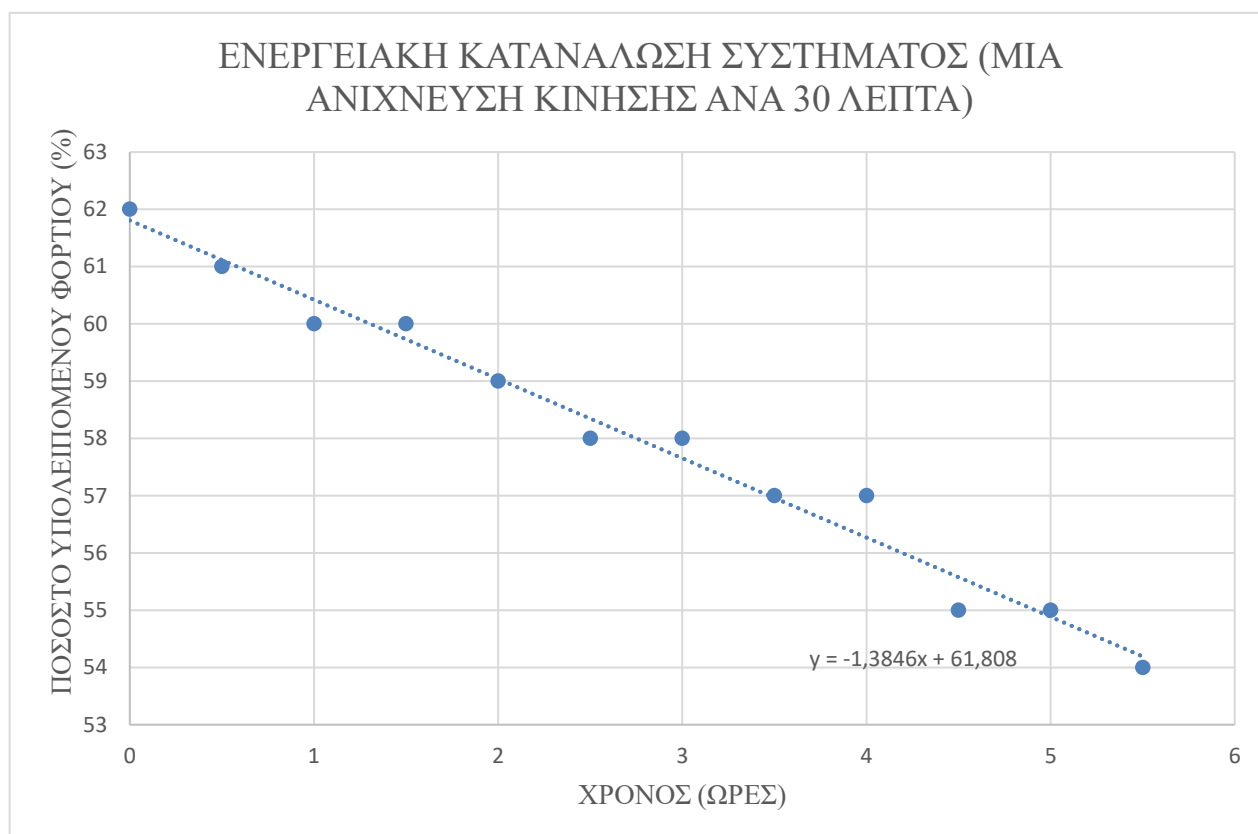
Οι παραπάνω τιμές αφορούν στο μέσο όρο της κατανάλωσης ενέργειας για τις 13 ώρες μετρήσεων. Χωρίζοντας τις μετρήσεις σε όσες λήφθηκαν κατά την αναμονή και σε όσες λήφθηκαν κατά τη λειτουργία με συχνότητα ενός γεγονότος ανά 30 λεπτά πήραμε τα παρακάτω αποτελέσματα.



Διάγραμμα 3. Ενεργειακή κατανάλωση του συστήματος σε αδράνεια

Ρυθμός κατανάλωσης φορτίου : 1,33% ανά ώρα, 267 mAh ανά ώρα

Καταναλισκόμενη μέση ισχύς: 1,33 W



Διάγραμμα 4. Ενεργειακή κατανάλωση του συστήματος (μία ανίχνευση κίνησης ανά 30 λεπτά)

Ρυθμός κατανάλωσης φορτίου : 1,38% ανά ώρα, 277 mAh ανά ώρα

Καταναλισκόμενη μέση ισχύς: 1,38 W

Συγκεντρωτικά, έχουμε τα παρακάτω αποτελέσματα για την κατανάλωση ενέργειας του συστήματος:

ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΝΑ ΩΡΑ	ΚΑΤΑΝΑΛΙΣΚΟΜΕΝΗ ΜΕΣΗ ΙΣΧΥΣ
Αδράνεια	274 mAh	1,33 W
1 συμβάν ανά 30 λεπτά	267 mAh	1,38 W
Συνολικά	277 mAh	1,37 W

Πίνακας 14. Κατανάλωση ενέργειας και ισχύος του συστήματος

3.7.2.3 Ενεργειακή επάρκεια σε σύνδεση με μπαταρία αυτοκινήτου

Το σύστημα που υλοποιήθηκε λειτουργεί με μέση ισχύ ηλεκτρικής κατανάλωσης 1,37 W και ρυθμό κατανάλωσης φορτίου 277 mAh ανά ώρα λειτουργίας.

Η αποθηκευμένη ενέργεια μίας τυπικής μπαταρίας αυτοκινήτου ονομαστικής τάσης 12V κυμαίνεται στις 1000 Wh.

Η μπαταρία ενός αυτοκινήτου πρέπει να είναι φορτισμένη τουλάχιστον κατά το ήμισυ για να μπορεί να δώσει τη δυνατότητα στο όχημα να ξεκινήσει τη λειτουργία του. Έτσι μία πλήρως φορτισμένη μπαταρία μπορεί να διαθέσει στο σύστημά μας συνολική ενέργεια ίση με 500 Wh.

Ο χρόνος που μπορεί να λειτουργήσει το σύστημα που υλοποιήθηκε είναι

$$t = 500 \text{ Wh} / 1,37 \text{ W} = 365 \text{ h}$$

Από τους παραπάνω υπολογισμούς συμπεραίνουμε ότι μία μπαταρία αυτού του τύπου μπορεί να εξυπηρετήσει το σύστημα για περίπου 15 ημέρες. Πρόκειται όμως για θεωρητικούς υπολογισμούς και πρακτικά πρέπει να ληφθούν επιπλέον υπόψιν, μεταξύ άλλων, οι παρακάτω παράμετροι:

- Τα παραπάνω αποτελέσματα υπολογίστηκαν για μία πλήρως φορτισμένη και υγιή μπαταρία με συνολική αποθηκευμένη ενέργεια 1000 Wh. Οι τιμές του χρόνου λειτουργίας του συστήματος θα είναι χαμηλότερες όσο ο χρόνος λειτουργίας της μπαταρίας αυξάνεται. Το ίδιο θα συμβαίνει όταν δεν θα είναι πλήρως φορτισμένη η μπαταρία.
- Η μπαταρία του αυτοκινήτου αποδίδει ηλεκτρική τάση 12 V και η πτώση της τάσης στα 5 V θα οδηγήσει σε θερμικές απώλειες, ανάλογα με το σύστημα μετατροπής τάσης, κατ' επέκταση και σε χαμηλότερες τιμές χρόνου λειτουργίας του συστήματος.

Συμπεραίνουμε όμως ότι το σύστημα που υλοποιήθηκε μπορεί να εξυπηρετηθεί ακόμα και αν δεν κινήσουμε το όχημα για συνεχόμενες ημέρες.



Εικόνα 42. Μία συνηθισμένη μπαταρία αυτοκινήτου

3.7.3 Συστήματα συλλογής ενέργειας (*Energy harvesting*)

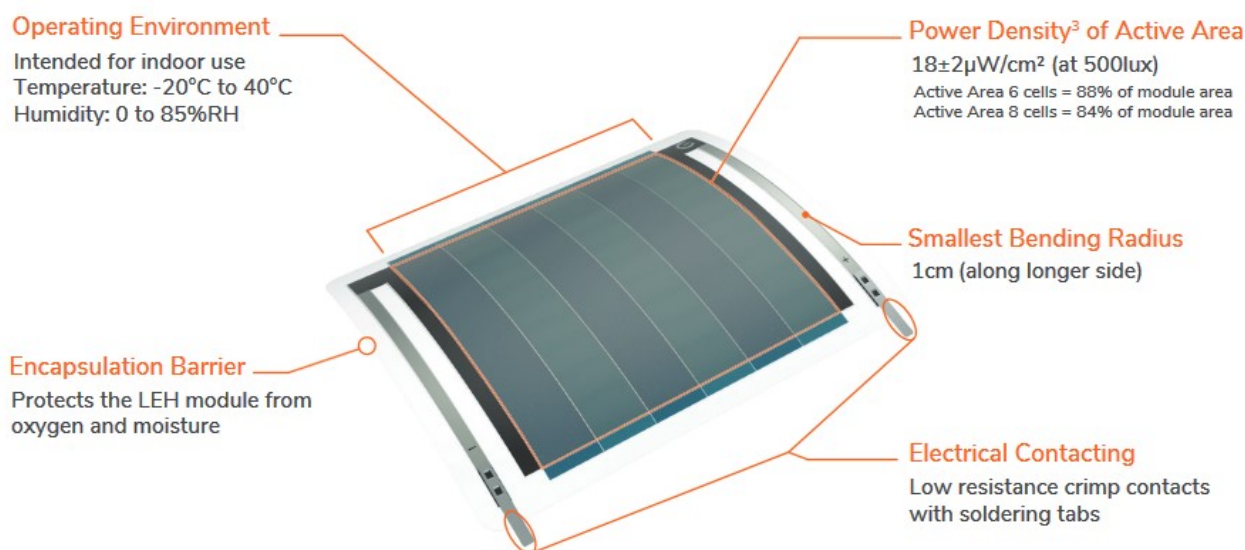
Η κυρίαρχη μονάδα ενέργειας για τις φορητές συσκευές είναι η μπαταρία. Τα τελευταία δεκαπέντε χρόνια η χωρητικότητα στις μπαταρίες έχει αυξηθεί τρεις φορές. Όμως η μπαταρία ενός συστήματος έχει επίδραση στο κόστος του, στο μέγεθος και στο βάρος του. Μία λύση για να υποστηριχθεί η

ενεργειακή επάρκεια ενός συστήματος είναι να αντληθεί ενέργεια από το περιβάλλον του συστήματος (energy harvesting). Την τελευταία δεκαετία έρευνες πάνω σε μεθόδους άντλησης ενέργειας σε διάφορες μορφές όπως θερμική, κινητική, ενέργεια ταλάντωσης και ενέργεια ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας έχει αποδώσει υλοποιήσεις που γίνονται όλο πιο μικρές σε μέγεθος και έχουν όλο και μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση.

Ο στόχος των energy harvesting μονάδων είναι να αποδώσουν παραγόμενη ισχύ της τάξης των 10 μW έως 1 mW, δεδομένου ότι η μέση ισχύς κατανάλωσης μιας μονάδας που συλλέγει δεδομένα με ένα αισθητήρα, τα μετατρέπει σε ψηφιακό σήμα και τα μεταδίδει ασύρματα είναι της τάξης των 1 έως 20 μW .

Μέθοδοι energy harvesting που μπορούν να υλοποιηθούν είναι οι παρακάτω:

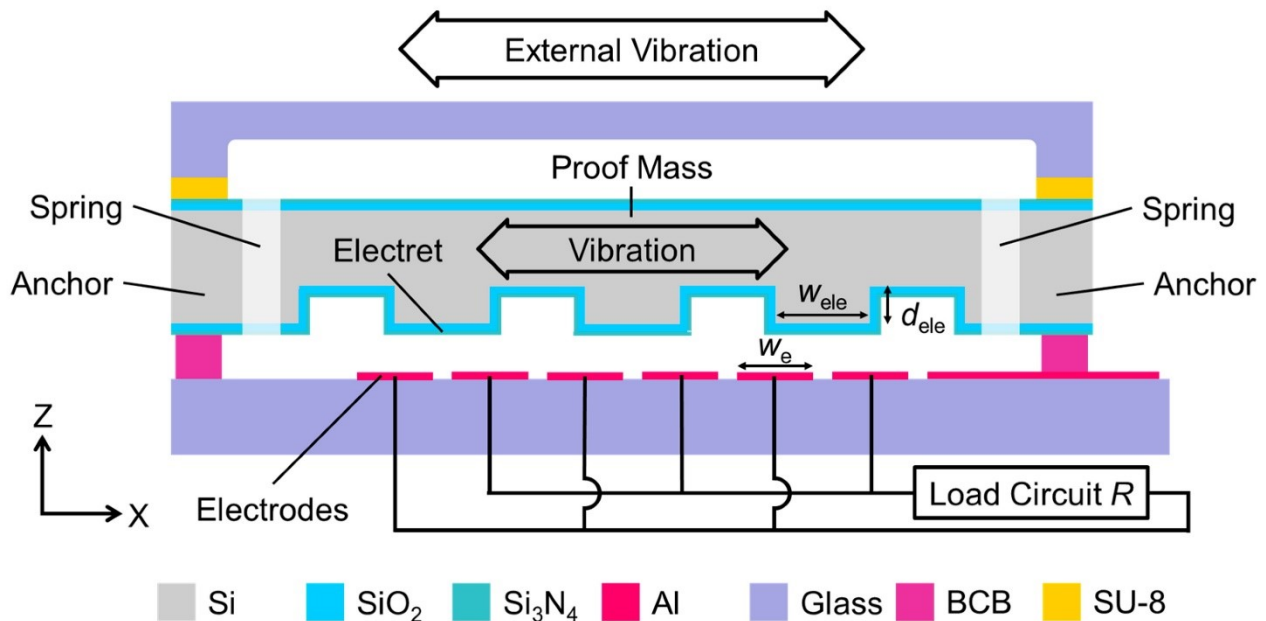
- Συλλογή φωτός (ambient light harvesting)



Εικόνα 43. Εύκαμπτο φωτοβολταϊκό στοιχείο προορισμένο για συλλογή ενέργειας από τη φωτεινή ακτινοβολία σε συσκευές IoT, Epishine – LEH3, www.epishine.com

Χρησιμοποιώντας φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι δυνατόν να συλλεχθεί ενέργεια ισχύος $100 \text{ mW}/\text{cm}^2$ και να αποδοθεί ισχύς $10 \text{ mW}/\text{cm}^2$ σε εξωτερικό χώρο με τις αντίστοιχες τιμές σε εσωτερικό χώρο να είναι $10 \text{ mW}/\text{cm}^2$ και $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$.

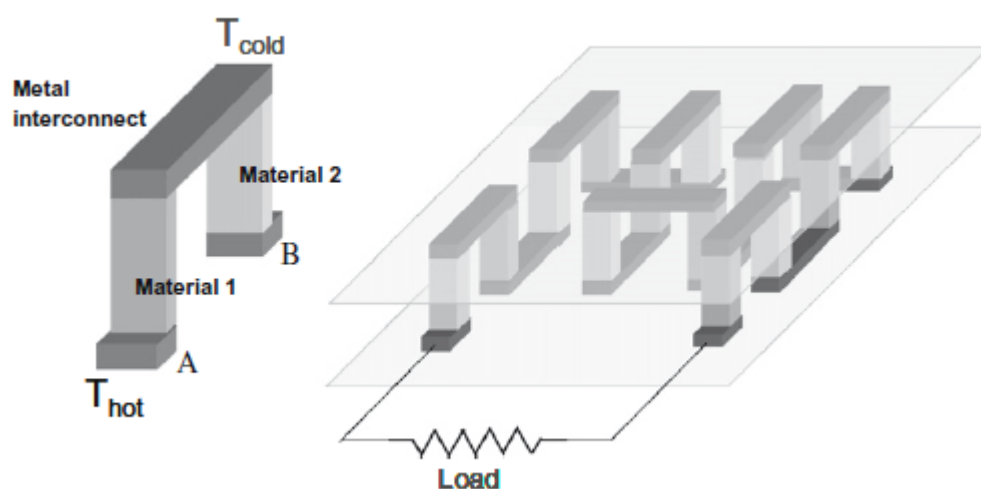
- Ενέργεια από κίνηση ή δόνηση



Εικόνα 44. Ένα στοιχείο συλλογής ενέργειας από κινήσεις ή δονήσεις [28]

Χρησιμοποιώντας της αρχές του πιεζοηλεκτρισμού (piezoelectricity) όπου κάποιοι κρύσταλλοι αναπτύσσουν επιφανειακό ηλεκτρικό φορτίο κατά την κίνησή τους ένας συλλέκτης μπορεί να αποδίδει $4 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ από την κίνηση ενός ανθρώπου ο οποίος αποδίδει μία δόνηση ανά δευτερόλεπτο.

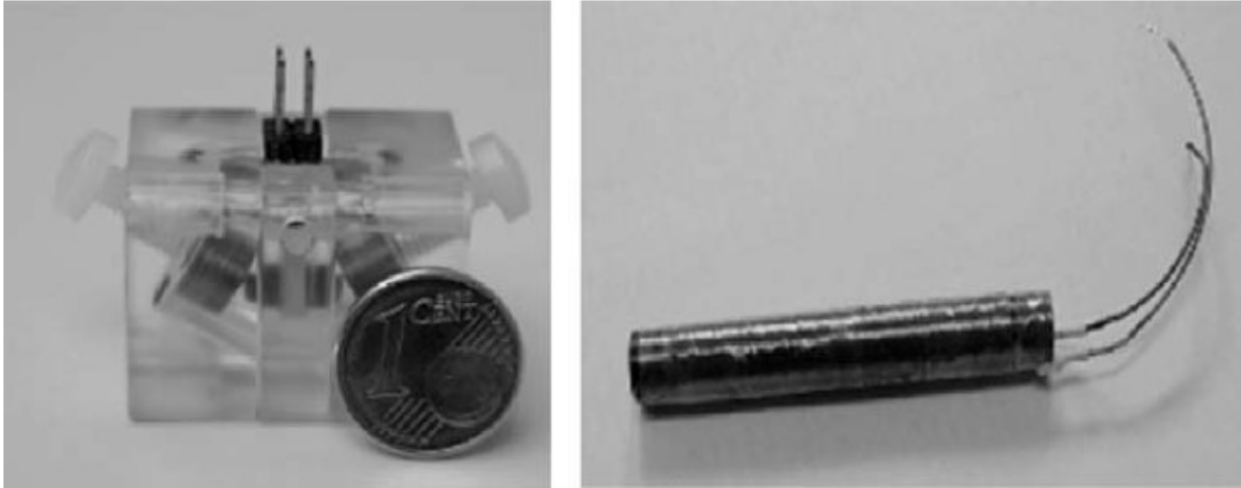
- Συλλογή θερμικής ενέργειας



Εικόνα 45. Θερμοστοιχείο συλλογής θερμικής ενέργειας [22]

Ένα θερμοστοιχείο μπορεί να συλλέξει ενέργεια ισχύος 20 mW/cm^2 αποδίδοντας $30 \text{ }\mu\text{W/cm}^2$ από την παραγόμενη θερμική ενέργεια του σώματος ενός ανθρώπου. Συλλογή θερμικής ενέργειας μπορεί να γίνει και από αντικείμενα αποδίδοντας $1\text{-}10 \text{ mW/cm}^2$.

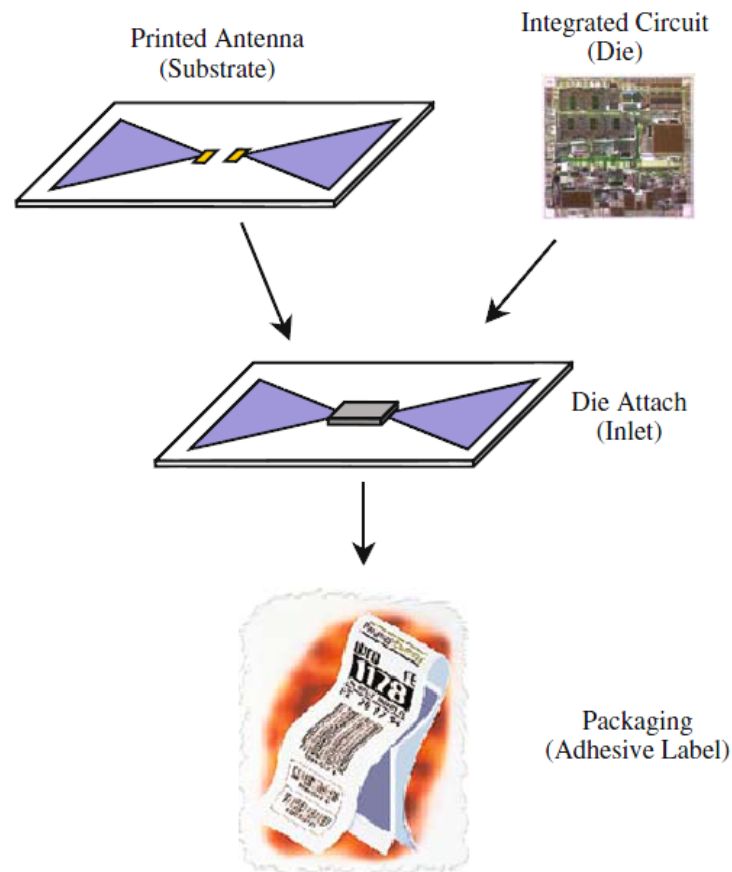
- Συλλογή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας



Εικόνα 46. Συλλέκτης ενέργειας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας [22]

Ένα στοιχείο συλλογής και μετατροπής της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική μπορεί να συλλέξει $0,3 \text{ }\mu\text{W/cm}^2$ από την ακτινοβολία ενός κινητού τηλεφώνου και να αποδώσει $0,1 \text{ }\mu\text{W/cm}^2$.

Συλλογή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας γίνεται επίσης στις εφαρμογές των RFID tags (Radio Frequency Identification tags) με τη διαφορά ότι η εκπεμπόμενη ενέργεια προέρχεται από συστήματα με πομπούς που εκπέμπουν για να εξυπηρετήσουν τη συγκεκριμένη τεχνολογία. Πρόκειται για αξιόπιστη εφαρμογή διαδεδομένη σε μεγάλο βαθμό και δοκιμασμένη σε μεγάλη διάρκεια χρόνου.

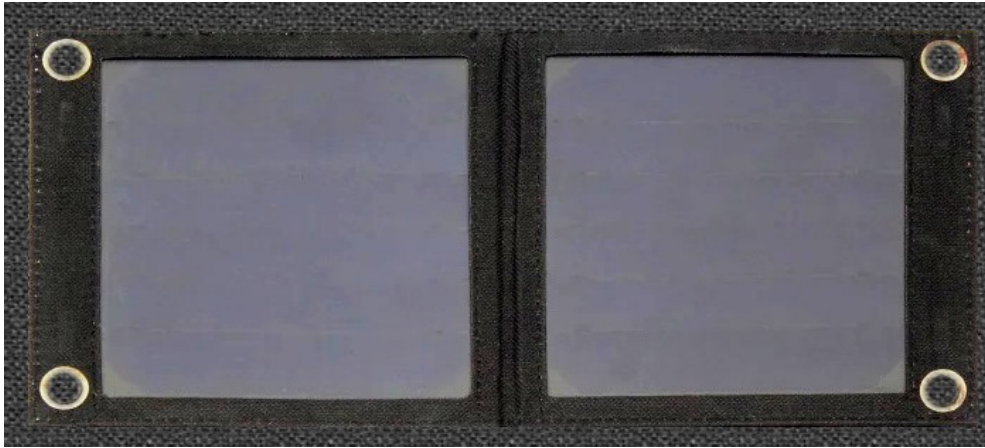


Εικόνα 47. Η δομή ενός RFID tag [24]

Η ενσωμάτωση των energy harvesting τεχνικών μπορεί να λειτουργήσει υποστηρικτικά στην ενεργειακή παροχή μίας μπαταρίας, ή ακόμα και να την αντικαταστήσει, όπως γίνεται στην περίπτωση των RFID tags [21] [22] [23].

3.7.3.1 Ενεργειακή επάρκεια με την προσθήκη φωτοβολταϊκού συστήματος

Από τα παραπάνω συστήματα συλλογής ενέργειας εξετάσαμε περαιτέρω την βελτίωση που μπορεί να προκύψει στην αυτονομία του συστήματος με την προσθήκη ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου.



Εικόνα 48. Φωτοβολταϊκό στοιχείο ηλεκτρικής ισχύος 6W / 5.5V – piJuice
<https://uk.pi-supply.com>

Το φωτοβολταϊκό στοιχείο συνδέεται με το σύστημα προσφέροντας την ισχύ του στη μπαταρία.

Η αναγραφόμενη ισχύς ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου είναι η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς που μπορεί να αποδώσει. Η στιγμιαία τιμή της ισχύος εξαρτάται από:

- Την ηλιοφάνεια (ένταση φωτεινής ακτινοβολίας)
- Τον προσανατολισμό του στοιχείου σε σχέση με τις προσπίπτουσες ακτίνες φωτός στην ενεργή του επιφάνεια
- Τη θερμοκρασία του στοιχείου
- Το μήκος της διαδρομής μέσα στην ατμόσφαιρα που διαγράφουν οι ακτίνες του ηλιακού φωτός (δείκτης αέριας μάζας) και σχετίζεται με την εποχή και την ώρα της ημέρας

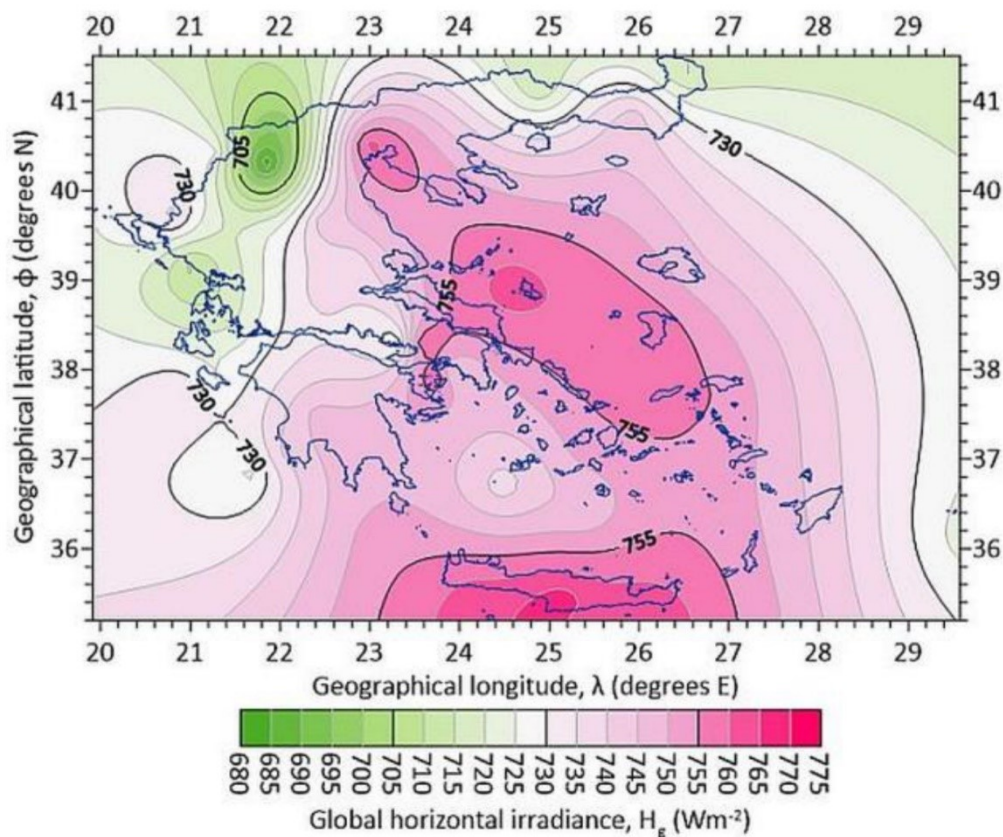
Οι αναγραφόμενες τιμές ισχύος για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία καθορίζονται ακολουθώντας το πρωτόκολλο IEC 61215 [26].

Η τιμή ισχύος που αναγράφεται στις προδιαγραφές κάθε φωτοβολταϊκού στοιχείου είναι η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς που μπορεί να αποδώσει το στοιχείο όταν επικρατούν οι παρακάτω συνθήκες:

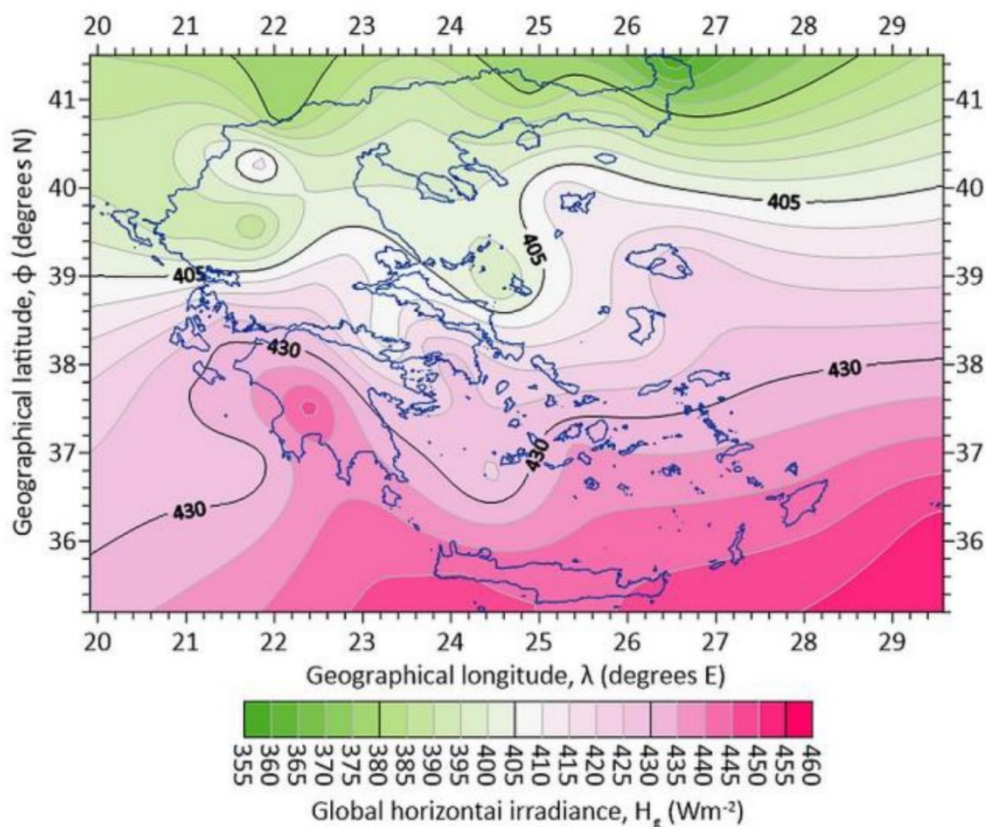
- Ισχύς φωτεινής ακτινοβολίας ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας 1000 W/m^2 (Watts ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας)
- Θερμοκρασία φωτοβολταϊκού στοιχείου 25°C
- Δείκτης αέριας μάζας 1.5

Η μέση ετήσια ισχύς φωτεινής ακτινοβολίας για την περιοχή μας (Ρόδος) κυμαίνεται στα παρακάτω όρια [27]:

- $745\text{-}750 \text{ W/m}^2$ για καθαρό ουρανό
- $445\text{-}450 \text{ W/m}^2$ για όλες τις καιρικές συνθήκες



Εικόνα 49. Μέση ετήσια ισχύς φωτεινής ακτινοβολίας (καθαρός ουρανός) [27]



Εικόνα 50. Μέση ετήσια ισχύς φωτεινής ακτινοβολίας (όλες οι καιρικές συνθήκες) [27]

Μία γραμμική εξάρτηση ανάμεσα στην παρεχόμενη ηλεκτρική ισχύ και την ισχύ φωτεινής ακτινοβολίας ανά τετραγωνικό μέτρο οδηγεί στις παρακάτω τιμές ισχύος για το στοιχείο που χρησιμοποιήθηκε:

ΚΑΙΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	ΠΑΡΕΧΟΜΕΝΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΙΣΧΥΣ
Καθαρός ουρανός	3,7W
Όλες	2,2W

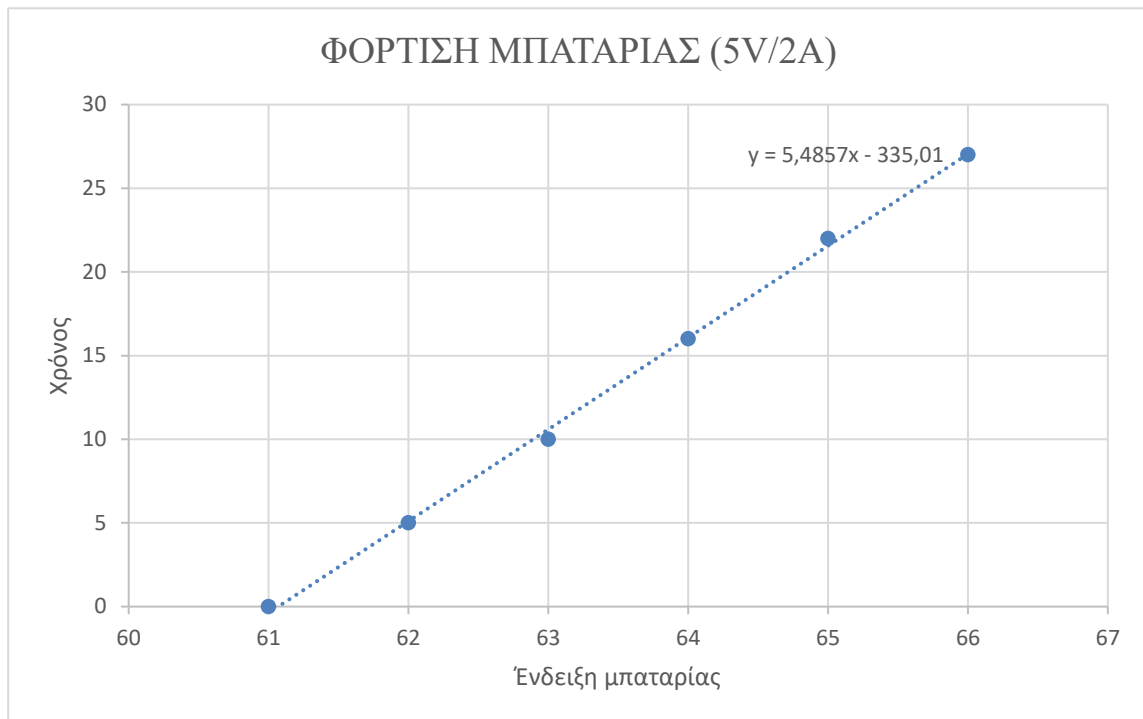
Πίνακας 15. Παρεχόμενη ηλεκτρική ισχύς από το φωτοβολταϊκό στοιχείο ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες

Στα παραπάνω λάβαμε υπόψιν ότι στο σύστημα περιλαμβάνεται ελεγκτής φορτίου που αναλαμβάνει να σταθεροποιήσει την ηλεκτρική τάση εξόδου στα 5V. Έτσι, η μέγιστη παρεχόμενη ισχύς του στοιχείου ορίζεται από τον κατασκευαστή στα 5W.

Πραγματοποιήθηκε φόρτιση της μπαταρίας της διάταξης που υλοποιήθηκε σε σταθερή ηλεκτρική τάση 5V και ένταση 2A και καταγράφηκαν οι ενδείξεις ποσοστού του υπολειπόμενου φορτίου ανά το χρόνο στον παρακάτω πίνακα.

α/α	% ποσοστό υπολοίπου μπαταρίας	Χρόνος (min)
1	61	0
2	62	5
3	63	10
4	64	16
5	65	22
6	66	27

Πίνακας 16. Ένδειξη μπαταρίας του συστήματος συναρτήσει του χρόνου φόρτισης



Διάγραμμα 5. Ένδειξη μπαταρίας του συστήματος συναρτήσει του χρόνου φόρτισης

Από την κλίση της ευθείας συμπεραίνουμε ότι ο μέσος χρόνος για την αύξηση της ένδειξης της μπαταρίας κατά 1% είναι 5,5 min κατά τη φόρτιση της μπαταρίας με ισχύ $5V \cdot 2A = 10W$.

Η αναγωγή για τις τιμές της παρεχόμενης ηλεκτρικής ισχύος από το φωτοβολταϊκό στοιχείο μας δίνει τους παρακάτω χρόνους φόρτισης για αύξηση της ένδειξης κατά 1% καθώς και τη μεταβολή του % ποσοστού υπολοίπου μπαταρίας ανά ώρα

	Παρεχόμενη ηλεκτρική ισχύς (W)	Χρόνος φόρτισης για τη μεταβολή του ποσοστού υπολοίπου μπαταρίας κατά 1% (min)	Μεταβολή του % ποσοστού υπολοίπου μπαταρίας ανά ώρα
ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ 10W (5V/2A)	10W	5,5 min	11%
Φωτοβολταϊκό στοιχείο (καθαρός ουρανός)	3,7W	15 min	4%
Φωτοβολταϊκό στοιχείο (όλες οι συνθήκες)	2,2W	25 min	2,4%

Πίνακας 17. Χρόνος φόρτισης για τη μεταβολή του ποσοστού υπολοίπου μπαταρίας κατά 1% (min) και μεταβολή του % ποσοστού υπολοίπου μπαταρίας ανά ώρα

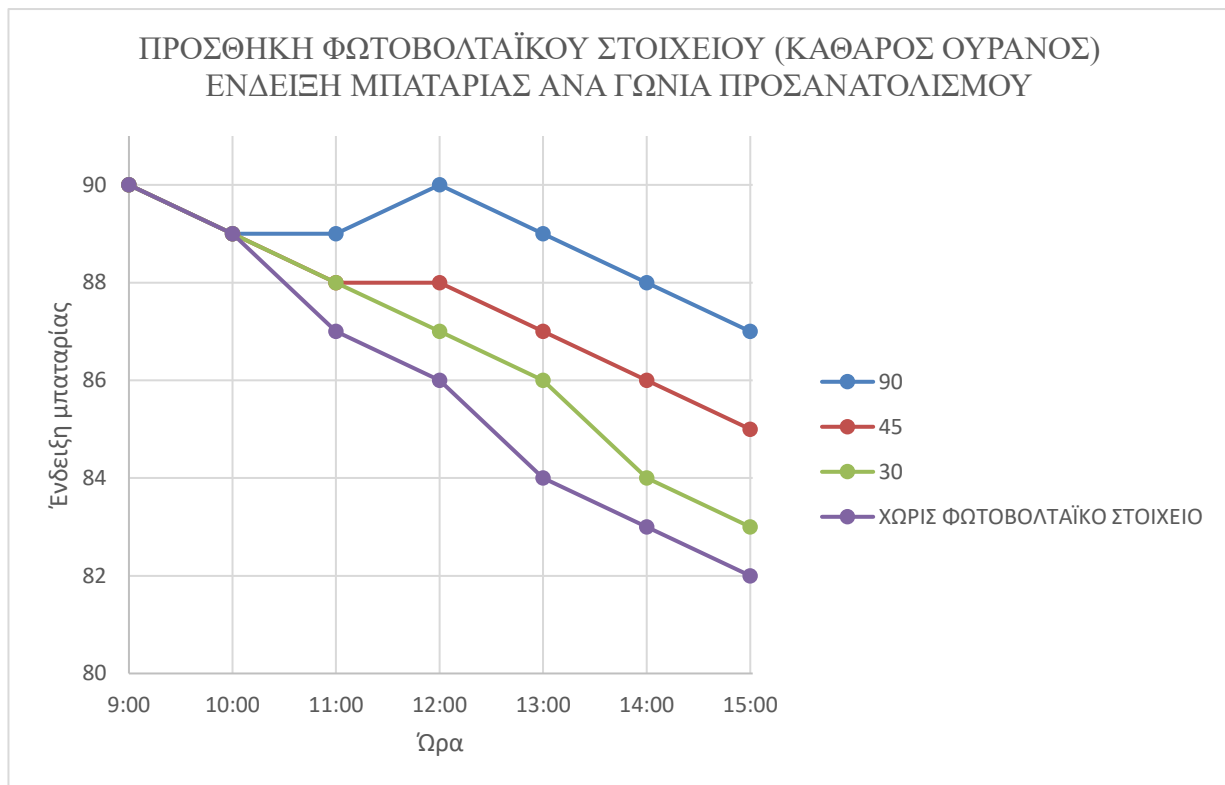
Στην προηγούμενη ενότητα ο ρυθμός κατανάλωσης του ποσοστού φορτίου της μπαταρίας ανά ώρα για λειτουργία του συστήματος με μία ανάχνευση κίνησης ανά 30 λεπτά μετρήθηκε και υπολογίστηκε ίσος με 1,38% ανά ώρα. Αυτό σημαίνει ότι η προσθήκη του φωτοβολταϊκού στοιχείου θα μπορούσε να εξασφαλίσει την απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύ για να αυτονομηθεί η διάταξη κατά τη διάρκεια της ημέρας, αν μπορούσαμε να εξασφαλίσουμε συνεχώς τον ιδανικό προσανατολισμό του στοιχείου ως προς τη διεύθυνση των ηλιακών ακτίνων.

Η παρεχόμενη ισχύς του φωτοβολταϊκού στοιχείου επιτυγχάνεται όταν ο προσανατολισμός του εξασφαλίζει ότι οι ηλιακές ακτίνες προσεγγίζουν κάθετα (90°) την ενεργή του επιφάνεια. Οποιαδήποτε απόκλιση οδηγεί σε μείωση της παρεχόμενης ηλεκτρικής ισχύος.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι ενδείξεις του ποσοστού της μπαταρίας για τις ώρες 09:00 – 15:00 σε ημέρα με καθαρό ουρανό για τρεις διαφορετικές γωνίες της επιφάνειας του φωτοβολταϊκού στοιχείου σε σχέση με τη διεύθυνση που έχουν οι ηλιακές ακτίνες το μεσημέρι (12:00).

Γωνία επιφάνειας φωτοβολταϊκού στοιχείου – διεύθυνσης ηλιακών ακτίνων (12:00)			
Ωρα	90°	45°	30°
Ποσοστό υπολειπόμενου φορτίου μπαταρίας (%)			
09:00	90	90	90
10:00	89	89	89
11:00	89	88	88
12:00	90	88	87
13:00	89	87	86
14:00	88	86	84
15:00	87	85	83

Πίνακας 18. Ένδειξη μπαταρίας του συστήματος ανά χρόνο λήψης για διαφορετικές γωνίες προσανατολισμού του φωτοβολταϊκού στοιχείου



Διάγραμμα 6. Ένδειξη μπαταρίας του συστήματος ανά χρόνο λήψης για διαφορετικές γωνίες προσανατολισμού του φωτοβολταϊκού στοιχείου (καθαρός ουρανός)

Παρατηρούμε ότι η προσθήκη του φωτοβολταϊκού στοιχείου βελτίωσε το χρόνο αυτονομίας του συστήματος σε κάθε περίπτωση. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η αύξηση του φορτίου της μπαταρίας στην ιδανική περίπτωση όπου ο ουρανός είναι καθαρός και το στοιχείο είναι προσανατολισμένο κάθετα στις ηλιακές ακτίνες.

Η επιλογή φωτοβολταϊκού στοιχείου μεγαλύτερης ενεργής επιφάνειας θα απέδιδε μεγαλύτερη προσφερόμενη ισχύ στο σύστημα, ακόμα και πλήρη αυτονομία, αν η επιπλέον ισχύς που προσφέρει μπορεί να αντισταθμίζει την ημερήσια κατανάλωση, συμπεριλαμβανομένης της κατανάλωσης που γίνεται τις ώρες που δεν υπάρχει ηλιοφάνεια. Αυτό θα απαιτούσε να δεσμευτεί μεγαλύτερη επιφάνεια στο παρμπρίζ του αυτοκινήτου ή σε άλλο χώρο για να φιλοξενηθεί το στοιχείο.

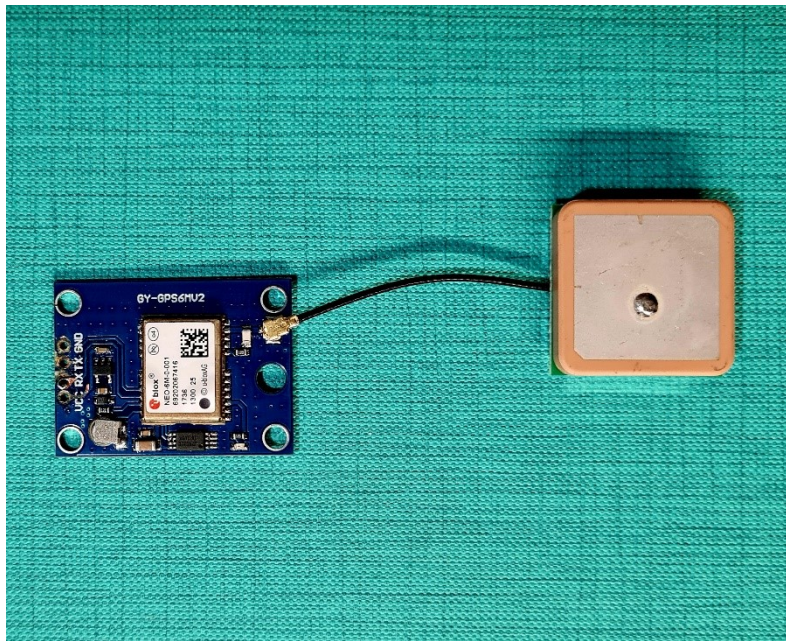
Ο σωστός προσανατολισμός του φωτοβολταϊκού στοιχείου θα μπορούσε να ρυθμίζεται από έναν αυτόματο μηχανισμό μετακίνησης. Αυτό όμως θα οδηγούσε σε αύξηση του κόστους της διάταξης και της πολυπλοκότητάς της.

3.8 Βελτίωση του συστήματος

3.8.1 Σύστημα εντοπισμού θέσης

Το σύστημα επιτήρησης μπορεί να βελτιωθεί ενσωματώνοντας ρουτίνες που θα επιστρέφουν τη θέση του οχήματος, οι οποίες στη συνέχεια να αποστέλλονται στο χρήστη. Η ανίχνευση της θέσης του οχήματος μπορεί να ενεργοποιήσει ένα επιπλέον σενάριο ειδοποιήσεων όταν ανιχνεύεται

αλλαγή θέσης του οχήματος. Αυτό μπορεί να υλοποιηθεί ενσωματώνοντας στο σύστημα έναν αισθητήρα GPS.



Εικόνα 51. GPS Module συμβατό με την υλοποίηση του συστήματος επιτήρησης

Θα ήταν επίσης δυνατό να πραγματοποιηθεί στην τρέχουσα υλοποίηση ανίχνευση της θέσης του συστήματος μέσω της μεθόδου LBS Positioning (Location Based Service Positioning) η οποία όμως είναι αδύνατη στο συνδυασμό της μονάδας LTE με την κάρτα SIM του εμπορικού δικτύου που προμηθευτήκαμε.

3.8.2 *Σύνδεση με μπαταρία αποκλειστικής χρήσης*

Αντικαθιστώντας τη σύνδεση με τη μπαταρία του οχήματος με μία σύνδεση σε μπαταρία που θα προορίζεται αποκλειστικά για το σύστημά μας, μπορούμε, αυξάνοντας το κόστος του, να αυξήσουμε και το χρόνο λειτουργίας του συστήματος, και να αποφύγουμε το ενδεχόμενο εξάντλησης της μπαταρίας του οχήματος.

3.8.3 *Χρήση energy harvesting*

Η σύνδεση της μπαταρίας του συστήματος με ένα σύστημα που πραγματοποιεί energy harvesting, όπως περιγράφηκε παραπάνω, μπορεί να αυξήσει την αυτονομία του συστήματος, ακόμα και να εξασφαλίσει την απρόσκοπτη λειτουργία του. Σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από μεγάλους δείκτες μέσης ηλιοφάνειας όπως είναι ή Ελλάδα, τα αποτελέσματα της σύνδεσης του συστήματος με φωτοβολταϊκά στοιχεία σχετικά μικρής ωφέλιμης επιφάνειας μπορεί να δώσουν μεγάλους χρόνους αυτονομίας.

4

Συστήματα επιτήρησης και ηθική

4.1 Εισαγωγή

Η εξέλιξη της τεχνολογίας και η ενσωμάτωσή της στην καθημερινότητα όλο και περισσότερο εγείρει ζητήματα ηθικής που αποτελούν αντικείμενο συζήτησης στον ακαδημαϊκό και μη χώρο. Τα ζητήματα ηθικής που προκύπτουν από τη χρησιμοποίηση των συστημάτων επιτήρησης αφορούν κυρίως στα δικαιώματα της ελευθερίας και της ιδιωτικότητας. Αυτά τα θέματα διευρύνονται ακόμη περισσότερο με τη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης στα συστήματα παρακολούθησης η οποία καλείται να λαμβάνει αποφάσεις αντικαθιστώντας σε μικρό ή μεγάλο βαθμό την ανθρώπινη πρωτοβουλία.

Η ηθική είναι ένα σύνολο κανόνων που καθορίζει το πλαίσιο των ενεργειών που θεωρούνται σωστές προκειμένου να λειτουργήσει μία κοινωνία. Οι κανόνες αυτοί έχουν διαφορές ανά τόπο και ανά κοινωνικές ομάδες. Αυτό καθιστά δύσκολο τον καθορισμό των ορίων στα οποία θεωρείται αποδεκτό να πραγματοποιείται επιτήρηση και συνδυασμός της επιτήρησης με την τεχνητή νοημοσύνη.

Η υλοποίηση των συστημάτων επιτήρησης πρέπει να συνοδεύεται από τη γνώση της σχέσης μιας κοινωνίας με την τεχνολογία. Με βάση τη γνώση αυτή πρέπει στη συνέχεια να δίνονται απαντήσεις σε κρίσιμα ερωτήματα όπως, μεταξύ άλλων:

- Ποιος αναπτύσσει την τεχνολογία επιτήρησης
- Ποιους σκοπούς εξυπηρετεί η τεχνολογία επιτήρησης
- Ποιος έχει δικαίωμα να χειρίζεται αυτή την τεχνολογία
- Ποιος έχει δικαίωμα πρόσβασης στην πληροφορία που παράγει η τεχνολογία επιτήρησης

Δεδομένου ότι η κουλτούρα της κάθε κοινωνίας είναι διαφορετική και με το πέρασμα του χρόνου αλλάζει, οι απαντήσεις στα παραπάνω ερωτήματα είναι θέμα ευρείας και συνεχούς συζήτησης.

4.2 Χαρακτηριστικές περιπτώσεις

4.2.1 Ινδία

Η χρήση των συστημάτων επιτήρησης χρησιμοποιείται πλέον σε εφαρμογές μεγάλης κλίμακας. Το 2018 πραγματοποιήθηκε έκδοση κάρτας βιομετρικών χαρακτηριστικών για το 92% του μόνιμου πληθυσμού της Ινδίας. Πρόκειται για ένα σύνολο 1,339 δισεκατομμυρίου ανθρώπων. Αν και τα συστήματα βιομετρικών χαρακτηριστικών έχουν πολύ χαμηλά ποσοστά σφαλμάτων, σφάλματα πάνω στη χρήση των συστημάτων βιομετρικής επιτήρησης ακόμα και της τάξης του 2% θα μπορούσαν να επηρεάσουν τη ζωή εκατοντάδων χιλιάδων ανθρώπων.

4.2.2 Σιγκαπούρη

Κατά την έξαρση της επιδημίας του ιού SARS το 2003, οι αρχές της Σιγκαπούρης έθεσαν σε υποχρεωτική καραντίνα κατ' οίκον 8000 άτομα κατόπιν ανάλυσης βίντεο που λήφθηκαν από κάμερες επιτήρησης. Άλλα 4300 άτομα τέθηκαν υπό τηλεφωνική επιτήρηση. Οι παραβάτες υποχρεώθηκαν να επιτηρούνται με την υποχρεωτική χρήση ηλεκτρονικών βραχιολιών (wrist tags). Η συζήτηση για την παραπάνω συγκυρία κινείται ανάμεσα στο θέμα της υποχρεωτικότητας της αποδοχής του συστήματος επιτήρησης και των μέτρων επιβολής και στο γεγονός του περιορισμού της επιδημίας στη Σιγκαπούρη μέσα σε μόλις 3 μήνες [18].



Εικόνα 52. Έλεγχος θερμοκρασίας σώματος και χρήσης μάσκας κατά την είσοδο στο αεροδρόμιο Changi της Σιγκαπούρης, ©Ore Huiying | Getty Images

4.2.3 Ευρώπη

Η πρόσφατη πανδημική κρίση του ιού SARS – COVID19 οδήγησε στην επιβολή μέτρων για τον έλεγχο της εξάπλωσής του. Ο παγκόσμιος οργανισμός υγείας (ΠΟΥ – WHO – World Health Organization) διεξήγαγε συσκέψεις σε κορυφαίο επίπεδο για τη διαμόρφωση πολιτικής απέναντι στο πρόβλημα στις οποίες συζητήθηκε και το θέμα της ηθικής στην υγειονομική επιτήρηση του πληθυσμού



Εικόνα 53. Σύσκεψη του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας με θεματολογία που περιλαμβάνει τα προβλήματα ηθικής κατά την πανδημία SARS – COVID19, <https://www.who.int>

Στην Πολωνία και στη Ρωσία χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές αναγνώρισης προσώπου για τον έλεγχο συμμόρφωσης με τα μέτρα κατά της πανδημίας [19].

Στην Ελλάδα δημοσιεύθηκε το 2020 προεδρικό διάταγμα για τη "Χρήση συστημάτων επιτήρησης με τη λήψη ή καταγραφή ήχου ή εικόνας σε δημόσιους χώρους" (Προεδρικό Διάταγμα 75/2020, ΦΕΚ Α' 173/10.09.2020).

4.3 Συμπεράσματα

Η διεύρυνση της υλοποίησης και χρήσης των συστημάτων επιτήρησης γεννά πολύπλοκα ηθικά ζητήματα. Η αρθρογραφία πάνω στο θέμα είναι ακόμα πρώιμη και περιορισμένη. Ειδικότερα είναι αρκετά περιορισμένη στις περιοχές εκτός των Ηνωμένων Πολιτειών και της Ευρώπης [18]. Αυτό οδηγεί σε συμπεράσματα προσανατολισμένα προς την κουλτούρα και το αξιακό σύστημα του δυτικού κόσμου. Δημιουργούνται έτσι ασυμβατότητες ανάμεσα στους κανόνες υλοποίησης και

λειτουργίας των συστημάτων επιτήρησης κατά την εφαρμογή της χρήσης τους σε άλλες περιοχές. Όσο η βιομηχανία των συστημάτων παρακολούθησης διογκώνεται, ο κίνδυνος εσφαλμένης χρήσης πολλαπλασιάζεται. Πρέπει να σημειώνεται ανάλογη πρόοδος στην παραγωγή γνώσης πάνω στη συμβατότητα των συστημάτων παρακολούθησης με τις διαφορετικές κοινωνίες ανά τον κόσμο προκειμένου να διασφαλιστεί ο ωφέλιμος χαρακτήρας τους σε κάθε περιοχή.

Βιβλιογραφία

- [1] Tomi D. Raty, "Survey on Contemporary Remote Surveillance Systems for Public Safety", *IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics—Part C: Applications and Reviews*, VOL. 40, NO. 5, SEPTEMBER 2010
- [2] S. Sutor and R. Reda, "Multi sensor technologies augmenting video surveillance: Security and data fusion aspects," *2008 23rd International Symposium on Computer and Information Sciences*, 2008, pp. 1-4
- [3] Augustin A, Yi J, Clausen T, Townsley WM. A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things. *Sensors*. 2016; 16(9):1466.
- [4] A. Lavric, A. I. Petrariu and V. Popa, "SigFox Communication Protocol: The New Era of IoT?," *2019 International Conference on Sensing and Instrumentation in IoT Era (ISSI)*, Lisbon, Portugal, 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/ISSI47111.2019.9043727.
- [5] S. Popli, R. K. Jha and S. Jain, "A Survey on Energy Efficient Narrowband Internet of Things (NB-IoT): Architecture, Application and Challenges," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 16739-16776, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2881533.
- [6] M. Lauridsen, I. Z. Kovacs, P. Mogensen, M. Sorensen and S. Holst, "Coverage and Capacity Analysis of LTE-M and NB-IoT in a Rural Area," *2016 IEEE 84th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall)*, Montreal, QC, Canada, 2016, pp. 1-5, doi: 10.1109/VTCFall.2016.7880946.
- [7] S. Dawaliby, A. Bradai and Y. Pousset, "In depth performance evaluation of LTE-M for M2M communications," *2016 IEEE 12th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*, New York, NY, USA, 2016, pp. 1-8, doi: 10.1109/WiMOB.2016.7763264.
- [8] E. Alajrami, H. Tabash, Y. Singer and M.. -T. E. Astal, "On using AI-Based Human Identification in Improving Surveillance System Efficiency," *2019 International Conference on Promising Electronic Technologies (ICPET)*, Gaza, Palestine, 2019, pp. 91-95, doi: 10.1109/ICPET.2019.00024.

- [9] A. A. Ahmed and M. Echi, "Hawk-Eye: An AI-Powered Threat Detector for Intelligent Surveillance Cameras," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 63283-63293, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3074319.
- [10] A. Ignatov *et al.*, "Fast and Accurate Quantized Camera Scene Detection on Smartphones, Mobile AI 2021 Challenge: Report," *2021 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, Nashville, TN, USA, 2021, pp. 2558-2568, doi: 10.1109/CVPRW53098.2021.00289.
- [11] M. Zemlyanikin, A. Smorkalov, T. Khanova, A. Petrovicheva and G. Serebryakov, "512KiB RAM Is Enough! Live Camera Face Recognition DNN on MCU," *2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshop (ICCVW)*, Seoul, Korea (South), 2019, pp. 2493-2500, doi: 10.1109/ICCVW.2019.00305
- [12] H. Andrei, V. Ion, E. Diaconu, A. Enescu and I. Udriou, "Energy Consumption Analysis of Security Systems for a Residential Consumer," *2019 11th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)*, Bucharest, Romania, 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/ATEE.2019.8725002.
- [13] G. Bekaroo and A. Santokhee, "Power consumption of the Raspberry Pi: A comparative analysis," *2016 IEEE International Conference on Emerging Technologies and Innovative Business Practices for the Transformation of Societies (EmergiTech)*, Balaclava, Mauritius, 2016, pp. 361-366, doi: 10.1109/EmergiTech.2016.7737367.
- [14] S. E. Küçükbay, M. Sert and A. Yazici, "Use of Acoustic and Vibration Sensor Data to Detect Objects in Surveillance Wireless Sensor Networks," *2017 21st International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS)*, Bucharest, Romania, 2017, pp. 207-212, doi: 10.1109/CSCS.2017.35.
- [15] CISCO White Paper, Cisco Systems IP Network-Centric Video Surveillance, C11-449363-00 12/07
- [16] Yutong Liu, Linghe Kong, Guihai Chen, Fangqin Xu, Zhanquan Wang, Light-weight AI and IoT collaboration for surveillance video pre-processing, *Journal of Systems Architecture*, Volume 114, 2021
- [17] Thakur, N., Nagrath, P., Jain, R., Saini, D., Sharma, N., Hemanth, D.J. (2021). Artificial Intelligence Techniques in Smart Cities Surveillance Using UAVs: A Survey. In: Ghosh, U., Maleh, Y., Alazab, M., Pathan, AS.K. (eds) *Machine Intelligence and Data Analytics*

- for Sustainable Future Smart Cities. *Studies in Computational Intelligence*, vol 971. Springer, Cham.
- [18] Hagerty A, Rubinov I. Global AI Ethics: A Review of the Social Impacts and
- [19] Ethical Implications of Artificial Intelligence, 18 Jul 2019, Cornell University, arXiv:1907.07892
- [20] Mello, Michelle M., Wang, C. Jason, Ethics and governance for digital disease surveillance, 2020, Science, p. 951-954
- [21] R. Saahithyan, S. K. Mishra and D. Das, "Efficient algorithm for less power consumption in Extended-Coverage-GSM for low Data-Rate IoT devices," *2016 IEEE Annual India Conference (INDICON)*, Bangalore, India, 2016, pp. 1-6
- [22] R.J.M. Vullers, R. van Schaijk, I. Doms, C. Van Hoof, R. Mertens, Micropower energy harvesting, *Solid-State Electronics*, Volume 53, Issue 7, 2009, Pages 684-693
- [23] Adnan Harb, Energy harvesting: State-of-the-art, *Renewable Energy*, Volume 36, Issue 10, 2011, Pages 2641-2654
- [24] Priya, Shashank, and Daniel J. Inman, eds. *Energy harvesting technologies*. Vol. 21. New York: Springer, 2009.
- [25] Ashkan Yousefpour, Caleb Fung, Tam Nguyen, Krishna Kadiyala, Fatemeh Jalali, Amirreza Niakanlahiji, Jian Kong, Jason P. Jue, All one needs to know about fog computing and related edge computing paradigms: A complete survey, *Journal of Systems Architecture*, Volume 98, 2019, Pages 289-330
- [26] IEC 61215-1:2021, International Electrotechnician Commission, <https://webstore.iec.ch/publication/61345>
- [27] Kambezidis, H.D. The Solar Radiation Climate of Greece. *Climate* 2021, 9, 183.
- [28] Naito, Y.; Uenishi, K. Electrostatic MEMS Vibration Energy Harvesters inside of Tire Treads. *Sensors* 2019, 19, 890.

Παράρτημα I,

Κώδικας προγραμματισμού για τον έλεγχο του συστήματος επιτήρησης σε γλώσσα προγραμματισμού python

Python Script surveillance.py

```
#-----  
#-----LIBRARIES-----  
#-----  
#Αρχικά εισάγονται στο πρόγραμμα οι απαραίτητες βιβλιοθήκες, είτε ολόκληρες, είτε  
#μεμονωμένα αντικείμενά τους.  
#Το αντικείμενο RPi.GPIO χρησιμοποιείται για τον έλεγχο των εισόδων – εξόδων GPIO  
#πάνω στην κεντρική μονάδα του συστήματος. Εκεί είναι συνδεδεμένος ο αισθητήρας  
#κίνησης και το LTE module.  
#Η βιβλιοθήκη time επιτρέπει την αναμονή του συστήματος για καθορισμένο χρόνο πριν  
#να εκτελέσει την επόμενη εντολή.  
#Η βιβλιοθήκη subprocess θα χρησιμοποιηθεί για να επιτρέψει στο python πρόγραμμά  
#που τρέχουμε να καλέσει ένα δεύτερο python πρόγραμμα που είναι αποθηκευμένο στη  
#μνήμη της κεντρικής μονάδας.  
#Το αντικείμενο PiCamera θα χρησιμοποιηθεί για να ελέγξει τις λειτουργίες της κάμερας  
#που χρησιμοποιεί το σύστημα και είναι συνδεδεμένη πάνω στην κεντρική μονάδα.  
  
import RPi.GPIO as GPIO  
import time  
import datetime  
import subprocess  
from picamera import PiCamera  
  
#-----  
#-----GPIO SETUP-----  
#-----  
#Η GPIO επαφή 17 ορίζεται ως είσοδος, με σκοπό να δέχεται το σήμα εξόδου του  
#αισθητήρα κίνησης.
```

```
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
```

```
GPIO.setup(17, GPIO.IN)
```

```
#-----
```

```
#-----SURVEILLANCE-----
```

```
#-----
```

```
while(True):
```

```
#Η μεταβλητή motion παίρνει την τιμή που δίνει ο αισθητήρας κίνησης. Οι πιθανές τιμές  
είναι 0 και 1, αν δεν υπάρχει κίνηση, ή αν ανιχνεύθηκε κίνηση αντίστοιχα.
```

```
motion=GPIO.input(17)
```

```
#Όταν ο αισθητήρας ανιχνεύσει κίνηση τότε ενεργοποιείται η κάμερα και πραγματοποιεί  
λήψη φωτογραφίας. Στη συνέχεια η κάμερα απενεργοποιείται και καλείται το  
πρόγραμμα pushoverimg.py, το οποίο αναλαμβάνει να στείλει την ειδοποίηση PUSH.  
Όσο η τιμή εξόδου του αισθητήρα κίνησης είναι ίση με μηδέν, δεν εκτελείται κάποια  
εντολή.
```

```
if(motion==1):
```

```
camera=PiCamera()
```

```
time.sleep(2)
```

```
camera.capture("/home/pi/Surveillance/python/images/securityimage.jpg")
```

```
time.sleep(2)
```

```
camera.close()
```

```
subprocess.call(["sudo","python3","/home/pi/Surveillance/python/pushoverimg.py"])
```

```
time.sleep(5)
```

```
else:
```

```
time.sleep(1)
```

Python Script pushoverimg.py

***#Το πρόγραμμα pushoverimg.py επικοινωνεί με την υπηρεσία PUSH “Pushover”, προκειμένου
#να σταλεί απομακρυσμένη ειδοποίηση στο χρήστη.***

***#Αρχικά εισάγεται η βιβλιοθήκη requests. Στη συνέχεια ορίζουμε τα στοιχεία #αυθεντικοποίησης
χρήστη (token και user) τα οποία μας δόθηκαν όταν πραγματοποιήσαμε τη #συνδρομή μας στην
υπηρεσία. Τέλος, ορίζεται το μήνυμα που θα παραδοθεί στο χρήστη #καθώς και το συνημμένο
αρχείο που θα σταλεί.***

```
import requests  
r = requests.post("https://api.pushover.net/1/messages.json",  
data={"token":"*****", "user":"*****"  
*}, "message": "Motion detected"},  
files={"attachment": open("/home/pi/Surveillance/python/images/securityimage.jpg", "rb")})
```