

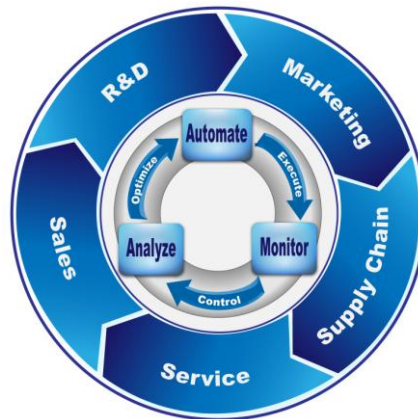


**ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΧΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ  
ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ (WSN) ΣΤΙΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΤΟΥ  
ΑΝΘΡΩΠΟΥ**

**ΜΑΥΡΑΚΗ ΑΘΑΝΑΣΙΑ**

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών:

**Αυτοματισμός Παραγωγής και Υπηρεσιών**

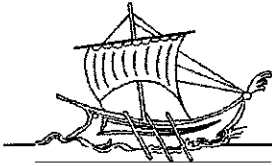


**ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**Πειραιάς, Δεκέμβριος 2017**



**Μεταπτυχιακή Διατριβή που υποβάλλεται στο καθηγητικό σώμα για την μερική εκπλήρωση των υποχρεώσεων απόκτησης του μεταπτυχιακού τίτλου του Μεταπτυχιακού Προγράμματος «Αυτοματισμός Παραγωγής και Υπηρεσιών» του Τμήματος Μηχανικών Αυτοματισμού του Ανωτάτου Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πειραιώς Τεχνολογικού Τομέα.**



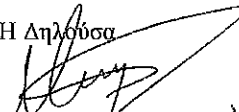
## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Μαυράκη Αθανασία, του Κωνσταντίνου, με αριθμό μητρώου 32 φοιτήτρια του Τμήματος **Μηχανικών Αυτοματισμού Τ.Ε.** του Α.Ε.Ι. Πειραιά Τ.Τ. πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε.) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε., ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονείμει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφασης της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση της Π.Ε. με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε. πρέπει να ολοκληρωθεί εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού βμήνου από την ημερομηνία ανάθεσης της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18, παρ. 5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού.»

Η Δηλούσα  
  
ΜΑΥΡΑΚΗ ΑΘΑΝΑΣΙΑ

Ημερομηνία

ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2017



### Περίληψη

Η τεράστια ανάπτυξης της τεχνολογίας, έχει ως στόχο την εξυπηρέτηση του ανθρώπου στην καθημερινότητα του. Ιδιαίτερη πρόοδο έχει σημειωθεί στις ασύρματες επικοινωνίες και στα ψηφιακά ηλεκτρονικά, δίνοντας μας την δυνατότητα ανάπτυξης κόμβων αισθητήρων, οι οποίοι έχουν μικρό μέγεθος και παρέχουν επικοινωνία μεταξύ τους, χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση. Ένα δίκτυο αισθητήρων αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό κόμβων αισθητήρων, οι οποίοι προλαμβάνουν τις καταστροφές σε πλήθος εφαρμογών. Στην παρούσα διατριβή, θα παρουσιαστεί η μελέτη των ασύρματων δικτύων αισθητήρων, οι οποίοι εφαρμόζονται στην καθημερινότητα των ανθρώπων. Συγκεκριμένα, θα πραγματοποιηθεί η καταγραφή, η επεξήγηση των λειτουργικών μερών και το σενάριο λειτουργίας των ασύρματων δικτύων αισθητήρων, οι οποίοι εφαρμόζονται σε οικιακό περιβάλλον, σε γραμμή παραγωγής βιομηχανικού περιβάλλοντος και στην παρακολούθηση του φυσικού περιβάλλοντος. Επιπροσθέτως, θα περιλαμβάνει παραδείγματα εφαρμογών ασύρματων δικτύων αισθητήρων από τις προαναφερθείσες κατηγορίες. Το αντικείμενο της μελέτης αυτής, είναι συναφές με το Π.Μ.Σ καθώς συμπεριλαμβάνει εφαρμογές τεχνολογιών αυτοματισμού. Η μελέτη θα καλύψει το κενό το οποίο υπάρχει στην βιβλιογραφία της σύγκρισης και της εξαγωγής συμπερασμάτων, της χρήσης των ασύρματων δικτύων αισθητήρων και κυρίως προτάσεων βελτιστοποίησης των WSN στην καθημερινότητα. Τα αποτελέσματα της χρήσης των ασύρματων δικτύων αισθητήρων αποτελούν το σκοπό της διατριβής αυτής. Τέλος, η εργασία θα ολοκληρωθεί με την καταγραφή των αποτελεσμάτων της σύγκρισης των εφαρμογών των ασύρματων δικτύων αισθητήρων και τη καταγραφή των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων αυτών.

**Λέξεις-Κλειδιά:** Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, Smart home, Βιομηχανία, Περιβάλλον, WSN



## **Abstract**

The tremendous growth of technology, is aimed at the service of man in his everyday life. Particular progress has been made in wireless communications and in digital electronics, giving us the opportunity to develop sensor nodes, which have small size and provide communication among them, without human intervention. A sensor network consists of a large number of sensor nodes, which prevent disasters in numerous applications. This dissertation will present a study on wireless sensor networks which are used in everyday life. Specifically, a recording and explanation of the working parts will be made as well as the use case of wireless sensor networks applied in the home environment, in assembly line industrial environment and monitoring of the natural environment. In addition, it includes examples of applications of wireless sensor networks from the above-mentioned categories. The object of this study, is associated with Master Program plus it includes of applications automation technologies. The study will cover the gap that exists in the literature of comparison and inference, the use of wireless sensor networks and in chiefly the proposals of optimization WSN in everyday life. The results of the use of wireless sensor networks constitute the purpose of this dissertation. Finally, the work will be completed with the recording of the results after comparing the applications of wireless sensor networks and recording their advantages and disadvantages.

**Keywords:** Wireless sensor networks, Smart home, Industry, Environment, WSN



### Ευχαριστίες

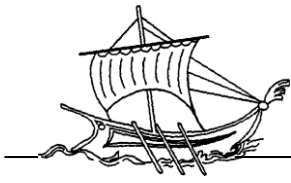
Θα ήθελα αρχικά να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Μιχάλη Παπουτσιδάκη που με εμπιστεύτηκε και μου ανέθεσε την παρούσα διατριβή, επιπλέον τον ευχαριστώ για την καθοδήγηση και την υποστήριξή του σε όλη την εκπόνηση της.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την στήριξη τους και την βοήθεια τους για τον ολοκλήρωση των σπουδών μου. Τέλος, ευχαριστώ το Βαγγέλη για το ενδιαφέρον του και την υπομονή του.



## Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη.....	1
Abstract.....	2
Πίνακας Περιεχομένων.....	4
Κατάλογος Πινάκων .....	6
Κατάλογος Σχημάτων.....	6
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγή.....</b>	<b>8</b>
1.1 Ιστορική αναδρομή.....	8
1.2 Δομή των WSN .....	13
1.3 Τεχνολογία WSN.....	15
1.3.1 Το πρότυπο EnOcean .....	16
1.3.2 Το πρότυπο DASH7 .....	16
1.3.3 Το πρότυπο ZigBee .....	17
1.3.4 Το πρότυπο Bluetooth Low Energy (LE) ή BLE .....	19
1.3.5 Το πρότυπο ISA100.11a.....	20
1.4 Εφαρμογές WSN .....	21
1.4.1 Γεωργικές Εφαρμογές .....	22
1.4.2 Οικιακές Εφαρμογές.....	23
1.4.3 Εφαρμογές Υγείας .....	24
1.4.4 Περιβαλλοντικές Εφαρμογές.....	25
1.4.5 Βιομηχανικές Εφαρμογές .....	26
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Παράμετροι Σχεδίασης και Αρχιτεκτονικής WSN .....</b>	<b>27</b>
2.1 Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων σε Βιομηχανικό Περιβάλλον .....	27



2.1.1	Παράδειγμα χρήσης ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων στο Βιομηχανικό περιβάλλον.....	32
2.2	Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων σε “Smart Home” .....	33
2.2.1	Παραδείγματα χρήσης WSN σε «Smart home» .....	36
2.3	Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων σε «Περιβαλλοντικές Εφαρμογές».....	37
2.3.1	Παραδείγματα χρήσης ασύρματων δικτύων αισθητήρων σε «Περιβαλλοντικές εφαρμογές» .....	38
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Σύγκριση των WSN.....</b>		<b>41</b>
3.1.	Σύγκριση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων στο βιομηχανικό περιβάλλον	41
3.2.	Σύγκριση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων σε «Smart home» .....	43
3.3.	Σύγκριση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων στις Περιβαλλοντικές εφαρμογές .....	45
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Συμπεράσματα &amp; Μελλοντικές προτάσεις.....</b>		<b>47</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>		<b>50</b>





## Κατάλογος Πινάκων

<b>Πίνακας 1:</b> Χαρακτηριστικά του προτύπου EnOcean .....	16
<b>Πίνακας 2:</b> Χαρακτηριστικά του προτύπου DASH7 .....	17
<b>Πίνακας 3:</b> Χαρακτηριστικά του προτύπου ZigBee .....	19
<b>Πίνακας 4:</b> Τεχνικές προδιαγραφές κλασικού Bluetooth και Bluetooth LE .....	20
<b>Πίνακας 5:</b> Χαρακτηριστικά του προτύπου ISA100.11a .....	21
<b>Πίνακας 6:</b> Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα χρήσης WSN στο βιομηχανικό περιβάλλον .....	43
<b>Πίνακας 7:</b> Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα χρήσης WSN σε «Smart home» .	45
<b>Πίνακας 8:</b> Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα χρήσης WSN σε περιβαλλοντικές εφαρμογές .....	46

## Κατάλογος Σχημάτων

<b>Σχ. 1:</b> Σύστημα Παρακολούθησης Ήχου (SOSUS) .....	8
<b>Σχ. 2:</b> Η εξέλιξη των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων στο χρόνο .....	12
<b>Σχ. 3:</b> Πεδίο παρακολούθησης ασύρματων κόμβων .....	13
<b>Σχ. 4:</b> Στοίβα πρωτοκόλλου ενός Ασύρματου Δικτύου Αισθητήρα .....	14
<b>Σχ. 5:</b> Τοπολογίες του προτύπου ZigBee .....	18
<b>Σχ. 6:</b> Εφαρμογές του προτύπου ZigBee .....	18
<b>Σχ. 7:</b> Κατηγορίες των εφαρμογών των WSN .....	22
<b>Σχ. 8:</b> Εφαρμογή WSN στην γεωργία, αυτόματο πότισμα φυτού .....	23
<b>Σχ. 9:</b> Smart home .....	24
<b>Σχ. 10:</b> Εφαρμογή WSN στην υγεία .....	24
<b>Σχ. 11:</b> Το πρόγραμμα του Great Duck Island .....	25
<b>Σχ. 12:</b> Η έννοια του Timeliness και του Jitter .....	29
<b>Σχ. 13:</b> Επίθεση παρεμβολής ενός δικτύου (jamming) .....	30
<b>Σχ. 14:</b> Παράδειγμα ατμολέβητα .....	32
<b>Σχ. 15:</b> Το WSN και οι αισθητήρες που εφαρμόζονται για την παρακολούθηση των θερμοκρασιών και της πίεσης του λέβητα ατμού .....	33
<b>Σχ. 16:</b> Αρχιτεκτονική WSN σε περιβαλλοντικές εφαρμογές .....	37



Σχ. 17: Η δομή του WSN και η δομή του εξοπλισμού για τον έλεγχο του λιπάσματος και του νερού για την καλλιέργεια της πατάτας.....	38
Σχ. 18: Εφαρμογή WSN σε ζώο.....	39
Σχ. 19: Εφαρμογή WSN σε αμπελώνες.....	40

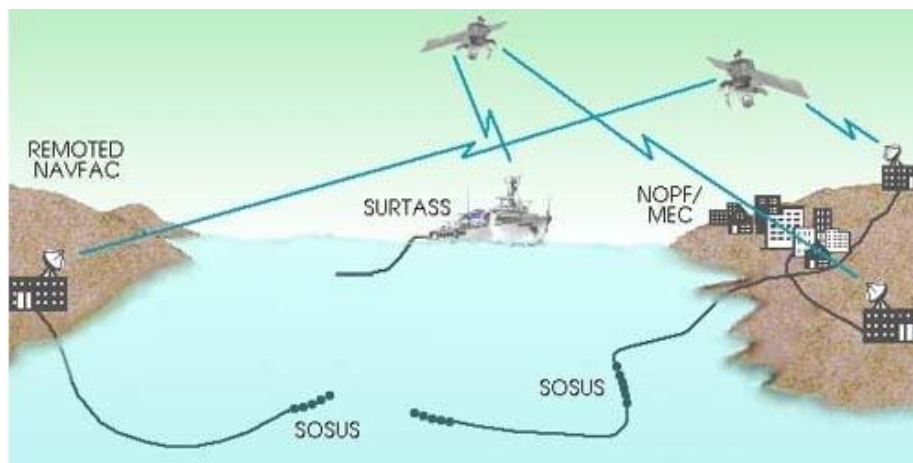


## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγή

### 1.1 Ιστορική αναδρομή

Η έρευνα των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων (Wireless Sensors Network- WSN) ξεκίνησε στα μέσα του 20<sup>ου</sup> αιώνα και εντοπίζεται κυρίως, σε στρατιωτικές και βιομηχανικές εφαρμογές. Στην δεκαετία του 1950, παρουσιάστηκε το πρώτο ασύρματο δίκτυο, το οποίο υπήρξε διαφορετικό από τα σύγχρονα WSN, ήταν ένα ηχητικό σύστημα παρακολούθησης για τις ένοπλες δυνάμεις των ΗΠΑ, για τον εντοπισμό των Σοβιετικών υποβρυχίων (βλέπε [1]).

Συγκεκριμένα, στην διάρκεια του ψυχρού πολέμου αναπτύχθηκε το Sound Surveillance System (SOSUS), το οποίο, περιέχει ένα σύστημα με ανίχνευση ήχου, διεσπαρμένο στον Ειρηνικό και Ατλαντικό ωκεανό, για την παρακολούθηση και εντοπισμό των υποβρυχίων. Ένα τέτοιο σύστημα παρακολούθησης ήχου φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



*Σχ. 1: Σύστημα Παρακολούθησης Ήχου (SOSUS)*

Το συγκεκριμένο σύστημα χρησιμοποιείται από την National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA), ακόμη και σήμερα για την παρακολούθηση της υποθαλάσσιας χλωρίδας και για τον εντοπισμό σεισμικών δραστηριοτήτων. Επιπλέον, εξέλιξη παρουσιάστηκε στα εναέρια δίκτυα παρακολούθησης για σκοπούς άμυνας. Στα χρόνια που ακολούθησαν, τα εναέρια δίκτυα αναπτύχθηκαν με αισθητήρες στα Airborne Warning and Control System (AWACS) αεροπλάνα. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται και στην σημερινή εποχή στην αστυνομία.



Η επεξεργασία της πληροφορίας αυτών των συστημάτων, πραγματοποιούνταν σε διαδοχικά επίπεδα μέχρι να φτάσει στο χρήστη, υπήρχε δηλαδή μια ιεραρχική δομή. Σημαντικό ρόλο έπαιζε στο σύστημα, ο ανθρώπινος παράγοντας τις περισσότερες φορές. Η έρευνα αυτών των συστημάτων, παρόλο που είχε επικεντρωθεί στις εκάστοτε ανάγκες, όπως στην ερμηνεία ή επεξεργασία του ακουστικού σήματος, οδήγησε σε τεχνικές ανάπτυξης των δικτύων αισθητήρων όπως τα γνωρίζουμε σήμερα.

Στα δίκτυα αισθητήρων πραγματοποιήθηκε μια πιο σύγχρονη έρευνα το 1980 με το πρόγραμμα Distributed Sensor Networks (DSN) από τη Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA). Τα δίκτυα αισθητήρων, μέχρι εκείνη την στιγμή, περιλάμβαναν ένα μεγάλο αριθμό διαμελισμένων αισθητήρων, οι οποίοι ενώ μπορούσαν να συνεργαστούν μεταξύ τους, λειτουργούσαν μεμονωμένα, πηγαίνοντας την πληροφορία στον κόμβο που θα μπορούσε εκείνη την χρονική στιγμή να την διαχειριστεί. Το Arpanet, το οποίο ήταν η εξέλιξη του internet, ώθησε την ιδέα της επέκτασης των πρωτοκόλλων και την εφαρμογή τους στην επικοινωνία των δικτύων αισθητήρων. Να σημειωθεί ότι το Arpanet χρησιμοποιείτο για μερικά χρόνια ήδη σε ερευνητικά κέντρα και σε πανεπιστήμια. Δεδομένου ότι την εποχή εκείνη, οι συνθήκες ήταν αρκετά διαφορετικές από την τωρινή, καθώς δεν υπήρχαν προσωπικοί υπολογιστές και workstations, το Ethernet δεν είχε ιδιαίτερη εφαρμογή και τα Modem ήταν αργά, η καινοτόμα αυτή ιδέα αποτελούσε μεγάλη φιλοδοξία.

Το έτος του 1978 πραγματοποιήθηκε η καταγραφή και διατύπωση όλων των δομικών στοιχείων που απαρτίζουν ένα DSN. Τα δομικά στοιχεία αυτά, αποτελούνται από αισθητήρες (ακουστικοί), μονάδες επικοινωνίας και επεξεργασίας και καταναμημένο υλικό. Η DARPA πρότεινε να γίνει χρήση εφαρμογών τεχνικής νοημοσύνης, ώστε να υπάρχει καλύτερη κατανόηση των σημάτων για την σωστή αξιολόγηση των καταστάσεων, αλλά λόγω της μη επαρκή τεχνολογία, περιορίστηκε η έρευνα σε τεχνικές καταναμημένων προβλημάτων, επεξεργασία σημάτων και υπολογιστικής υποστήριξης (βλέπε [2]).

Το πανεπιστήμιο Carnegie Mellon (CMU) των ΗΠΑ, έκανε τα επόμενα βήματα για την ανάπτυξη των δικτύων αισθητήρων, με την ανάπτυξη ενός λειτουργικού επικοινωνιακού συστήματος δικτύου Accent, όπου θα του επέτρεπε να έχει



πρόσβαση σε επιμέρους τμήματα του ώστε το σύστημα να είναι ανθεκτικό σε λάθη. Μια τέτοια εφαρμογή ήταν το σύστημα παρακολούθησης της τροχιάς του ελικοπτερου, στην οποία γινόταν χρήση της διαμόρφωσης των σημάτων και τεχνικών ταιριάσματος, όπου έγινε ανάπτυξη στο Τεχνολογικό Ινστιτούτο της Μασαχουσέτης (MIT). Πανεπιστήμια και κυβερνήσεις, την ίδια χρονική περίοδο, άρχισαν να κάνουν χρήση των WSN σε διάφορες εφαρμογές, όπως σε περιβαλλοντικές, στον έλεγχο της ποιότητας του αέρα, στην ανίχνευση των πυρκαγιών σε δάση, στην πρόσληψη των φυσικών καταστροφών και στην παρακολούθηση των καιρικών φαινομένων. Στην συνέχεια, η IBM και η Bell Labs, άρχισαν να χρησιμοποιούν τα ασύρματα δίκτυα αισθητών στην βαριά βιομηχανία για την διανομή ενέργειας, στην εξοικονόμηση του νερού και στην βιομηχανικό αυτοματισμό (βλέπε [1]).

Το 1980 η Advanced Decision Systems (ADS) ανέπτυξε έναν αλγόριθμο παρακολούθησης πολλαπλών υποθέσεων, στον οποίο γινόταν η διαχείριση ταυτόχρονων δύσκολων καταστάσεων, στις οποίες περιλαμβανόταν η υψηλή πυκνότητα στόχων, η ελλιπείς ανιχνεύσεις και τα σφάλματα κόμβων. Το πανεπιστήμιο του MIT εφάρμοσε τον παραπάνω αλγόριθμο παρακολούθησης σε αεροσκάφη, ενώ το πανεπιστήμιο του Amherst το εφάρμοσε σε οχήματα, στον οποίο ενσωμάτωσε μια νέα γενιά κόμβων το Hearsay-II.

Παρόλο που η τεχνολογία των ασύρματων δικτύων αισθητήρων αναπτύχθηκε, λόγω του μεγέθους των κόμβων έμεινε απαγορευτική σε πολλές εφαρμογές, οι οποίες είχαν προταθεί για έρευνα. Μέχρι την δεκαετία του '90, σε στρατιωτικές εφαρμογές οι κόμβοι, λόγω του μεγάλο μεγέθους τους αποτελούσαν μέρη από πλατφόρμες, τεθωρακισμένα οχήματα, αεροπλάνα ή βαριά όπλα. Το 1995 έγινε η προσέγγιση του “network-based warfare” από το Αμερικάνικο Ναυτικό με το Cooperative Engagement Capability (CEC). Στο σύστημα αυτό, περιλαμβανόταν μεγάλος αριθμός ραντάρ, οι οποίοι συνέλλεγαν δεδομένα εναέριων στόχων, σχεδιασμένα ώστε να μπορούν να ανταλλάζουν πληροφορίες μεταξύ τους και με έναν κεντρικό κόμβο επεξεργασίας και αναφοράς να δίνουν μια ολοκληρωμένη εποπτική εικόνας μιας περιοχής (βλέπε [3]).



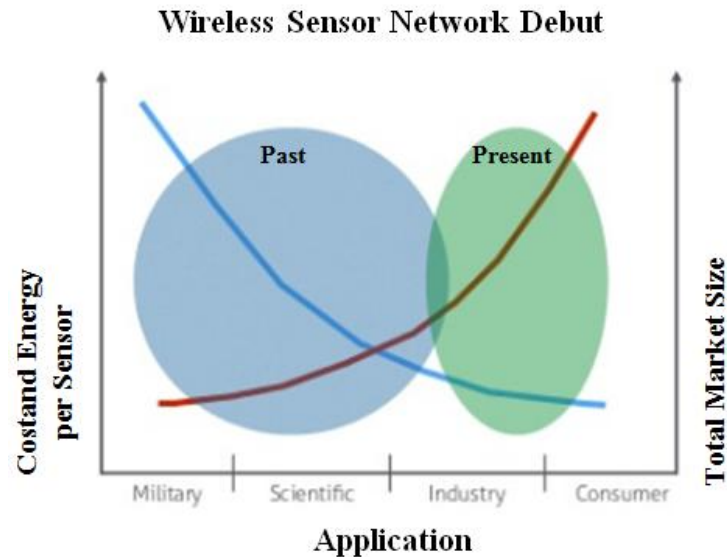
Με το πρόγραμμα Low Power Wireless Integrated Micro sensors (LWIMs), επιδοτούμενο της DARPA, το 1995, χρησιμοποιώντας κατασκευές CMOS, έδειξε ότι μπορούσε να γίνει η ενσωμάτωση πολλών αισθητήρων, ηλεκτρονικών διεπαφών, ασύρματης επικοινωνίας και μονάδων ελέγχου σε μια συσκευή. Το 1998, από την ίδια ομάδα κατασκευάστηκε ένας αισθητήρας νέας γενιάς ο Wireless Integrated Network Sensors (WINS). Κάθε κόμβος αυτού του αισθητήρα νέας γενιάς περιέχει έναν επεξεργαστή bit και έναν πομποδέκτη, ο οποίος έχει ταχύτητα μετάδοσης μέχρι 100Kbps, ενσωματώνοντας πολλούς αισθητήρες, οι οποίοι έχουν την δυνατότητα σύνδεσης στο Internet. Επιπροσθέτως, αναπτύχθηκε και μια πλατφόρμα κόμβων πολλαπλών εφαρμογών με όνομα AWAIRS I. Πλεονέκτημα της πλατφόρμας αυτής είναι ο μεγαλύτερος αριθμός και χρόνος ζωής των αισθητήρων που την αποτελούσαν καθώς και ο χρόνος εκκίνησης του συστήματος.

Οι κόμβοι WINS δεν μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε πολλές εφαρμογές παρόλο τις αυξημένες επικοινωνιακές και επεξεργαστικές ικανότητες, λόγω του μεγέθους του και την μεγάλη κατανάλωση ενέργειας που απαιτούσαν. Για το λόγο αυτό το πανεπιστήμιο του Berkeley, στα πλαίσια του Smart Dust Project, δημιουργήθηκε ο κόμβος WeC, όπου περιείχε ένα μικροελεγκτή με χαμηλή κατανάλωση ισχύος (βλέπε [1]).

Το 2001 η DARPA, μέσω του προγράμματος SensIT, επέκτεινε τις δυνατότητες των υπάρχοντων δικτύων αισθητήρων, όπως πολλαπλή και δυναμική λειτουργία, δικτύωση και δυνατότητα επαναπροσδιορισμού.

Το ινστιτούτο ηλεκτρολόγων και ηλεκτρονικών μηχανικών (IEEE) καθόρισε το πρότυπο IEEE 802.15.4 για τα προσωπικά ασύρματα δίκτυων, τα οποία είχαν χαμηλή μετάδοση δεδομένων (Wireless Personal Area Networks- WPAN). Με βάση αυτό το πρότυπο, ο συνασπισμός εταιριών ZigBee Alliance, δημοσίευσε το πρότυπο ZigBee, στο οποίο καθορίζεται ένα σύνολο πρωτοκόλλων με υψηλό επίπεδο επικοινωνίας, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων.

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται η εξέλιξη των ασύρματων δικτύων αισθητήρων στο χρόνο.



*Σχ. 2: Η εξέλιξη των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων στο χρόνο*

Οι δύο καμπύλες του σχήματος αποτελούν το κόστος και την ενέργεια ανά αισθητήρα και το μέρος της αγοράς που καταλαμβάνουν τα WSN, ενώ το μπλε και το πράσινο σχήμα αφορούν το εύρος που εφαρμόζονται τα WSN στο παρελθόν και στο παρόν. Από αυτή την απεικόνιση παρατηρούμε, ότι το κόστος και η κατανάλωση της ενέργειας ανά αισθητήρα επέρχεται σε μείωση και ο συνδυασμός αυτός με την ευκολότερη ανάπτυξη και συντήρηση τους οδήγησε την χρήση των WSN στην ελαφριά βιομηχανία και σε εμπορικές εφαρμογές.

Το 2009 ο αριθμός των ενσωματωμένων αισθητήρων σε κινητές, ηλεκτρικές συσκευές έφτανε τα 40 δισεκατομμύρια ενώ ο αριθμός των προσωπικών υπολογιστών έφτανε το 1,1 δις και οι συσκευές κινητής τηλεφωνίας 4 δις.

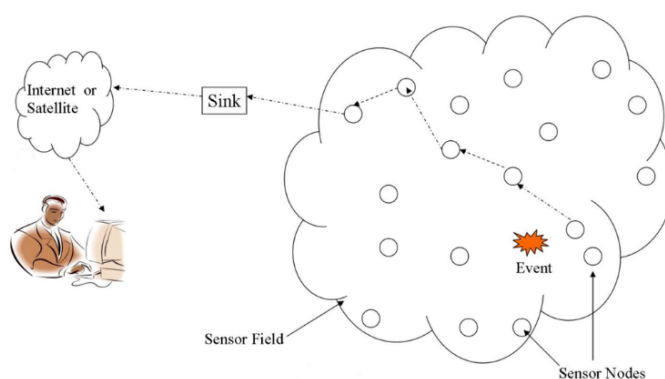
Τα WSN συμπεριλαμβάνονται το 21<sup>ο</sup> αιώνα στις σημαντικότερες τεχνολογίες. Χώρες, όπως η Κίνα χρησιμοποιούν τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων σε εθνικά στρατηγικά ερευνητικά προγράμματα (βλέπε [1]).

Τα τελευταία χρόνια, τα WSN αποτελούν ένα πεδίο μεγάλων ερευνητικών δραστηριοτήτων. Η μελέτη αυτών των δικτύων αποτελεί ξεχωριστή, από την ήδη υπάρχουσα τεχνολογία άλλων ασύρματων δικτύων (όπως IEEE 802.11 ή Ad-Hoc). Αποτελείται από μικρούς κόμβους, οι οποίοι έχουν μικρή αυτονομία και υπολογιστικές δυνατότητες. Επιπλέον, λειτουργούν χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση σε όλη την διάρκεια της ζωής τους (βλέπε [4]).



## 1.2 Δομή των WSN

Οι κόμβοι των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων είναι διασπαρμένοι σε ένα πεδίο. Ο κάθε ένας κόμβος μπορεί να συλλέξει διάφορα δεδομένα, να τα επεξεργαστεί και τα στέλνει πίσω στον κόμβο συλλέκτη (sink node) και αυτός με την σειρά του τα στέλνει στους ενδιαφερόμενους χρήστες. Αυτά τα δεδομένα στέλνονται μέσω του κεντρικού κόμβου (sink node), στους τελικούς χρήστες χρησιμοποιώντας μια πολυαλματική (multihop), η οποία δεν έχει αρχιτεκτονική υποδομή. Στην συνέχεια, επικοινωνεί ο κεντρικός κόμβος συλλέκτη με το internet ή το δορυφόρο. Ακολουθεί η σχηματική απεικόνιση (Σχ. 3) σε ένα πεδίο παρακολούθησης ασύρματων κόμβων (βλέπε [5], [6]).



Σχ. 3: Πεδίο παρακολούθησης ασύρματων κόμβων

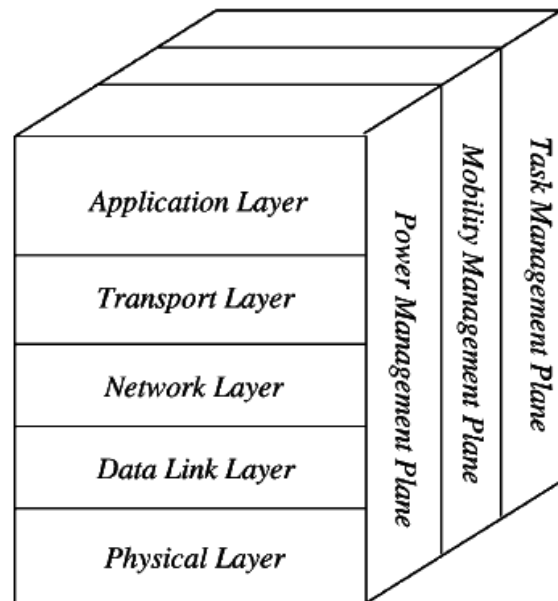
Στο κεντρικό σημείο γίνεται χρήση μιας στοίβας πρωτοκόλλου, η οποία περιέχει:

- Επίπεδο εφαρμογών (application layer)
- Επίπεδο μεταφοράς (transport layer)
- Επίπεδο δικτύου (network layer)
- Επίπεδο σύνδεσης στοιχείων (data link layer)
- Φυσικό επίπεδο (physical layer)
- Πεδίο διαχείρισης ενέργειας (power management plane)
- Πεδίο διαχείρισης κινητικότητας (mobility management plane)
- Πεδίο διαχείρισης στόχου (task management plane) (βλέπε [5], [7]).





Στην επόμενη σχηματική απεικόνιση (Σχ. 4) παρουσιάζεται η στοίβα πρωτοκόλλου του Ασύρματου Δικτύου Αισθητήρα (βλέπε [8]).



*Σχ. 4: Στοίβα πρωτοκόλλου ενός Ασύρματου Δικτύου Αισθητήρα.*

Στο επίπεδο εφαρμογών γίνεται χρήση και κατασκευή διαφορετικών ειδών λογισμικών εφαρμογών, ανάλογα με τις μετρήσεις των αισθητήρων. Η διασφάλιση της ροής των δεδομένων πραγματοποιείται με την βοήθεια του επιπέδου μεταφοράς ενώ το επίπεδο δικτύου είναι υπεύθυνο για την δρομολόγηση αυτών των δεδομένων. Εάν το περιβάλλον το οποίο βρίσκονται οι αισθητήρες είναι θορυβώδης και αυτοί είναι κινητοί, το πρωτόκολλο ελέγχου πρόσβασης μέσου θα πρέπει να είναι συνεχώς ενημερωμένο ώστε να μειωθούν οι συγκρούσεις αναμετάδοσης γειτονικών κόμβων. Οι ανάγκες του μοντέλου διαμόρφωσης, μετάδοσης και λήψης τεχνικής γίνονται στο φυσικό επίπεδο. Επιπροσθέτως, στο πεδίο διαχείρισης της ενέργειας πραγματοποιείται ο έλεγχος της ενέργειας, της κίνησης και του στόχου μεταξύ των κόμβων. Με αυτά τα πεδία, οι κόμβοι των αισθητήρων μπορούν να κάνουν διαχείριση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων και να μειωθεί η συνολική κατανάλωση ενέργειας (βλέπε [5], [7]).

Τα power, task και mobility management planes ευθύνονται για την ενέργεια, την κίνηση και την διάδοση πληροφορίας μεταξύ των κόμβων αισθητήρων. Αυτά βοηθούν τους κόμβους να συνεργάζονται μεταξύ τους όταν γίνεται λήψη πληροφοριών και να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας. Επιπλέον, όταν ένας



κόμβος έχει χαμηλή ενέργεια, τότε αναμεταδίδει στους γειτονικούς κόμβους το γεγονός αυτό και ότι δεν μπορεί να πάρει μέρος στην δρομολόγηση μηνυμάτων, κρατώντας την υπολειπόμενη ενέργεια για την λήψη μετρήσεων από την περιβάλλον.

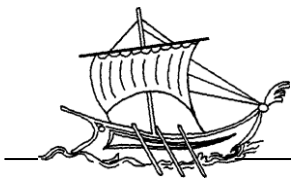
Το πεδίο διαχείρισης ενέργειας (power management plane) χρησιμοποιείται για την διαχείριση της ενέργειας ενός κόμβου αισθητήρα. Το πεδίο διαχείρισης κινητικότητας (mobility management plane) είναι υπεύθυνο για την ενίσχυση και την καταγραφή της κίνησης των αισθητήρων ώστε πάντα τα δεδομένα να επιστρέφουν στον χρήστη και οι γειτονικοί κόμβοι να γνωρίζονται μεταξύ τους, για να υπάρχει ισορροπία στην κατανάλωση ενέργειας. Με αυτόν τον τρόπο, το δίκτυο των κόμβων έχει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Το πεδίο διαχείρισης στόχου (task management plane) μπορεί να προγραμματίζει και να ισορροπεί τις μετρήσεις που γίνεται σε μια περιοχή από τους κόμβους των αισθητήρων, οι οποίες δεν χρειάζεται να είναι την ίδια στιγμή. Ως συνέπεια, ανάλογα την ενέργεια που περιέχει ένας κόμβος μπορεί να εκτελέσει ευκολότερα έναν στόχο (βλέπε [9]).

### 1.3 Τεχνολογία WSN

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα πρότυπα των ασύρματων δικτύων, τα οποία εφαρμόζονται στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων σε τοπική και ευρύτερη περιοχή. Ένα κύριο χαρακτηριστικό που λαμβάνεται υπόψη για την επιλογή της κατάλληλης ασύρματης δικτύωσης είναι η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Υπάρχουν βέβαια εφαρμογές, οι οποίες υλοποιούνται με πρότυπα όπου έχουν υψηλή κατανάλωση ενέργειας, που τις καθιστούν μη αποτελεσματικές. Η επιλογή του κατάλληλου πρότυπου δικτύωσης είναι απόφαση του κατασκευαστή της εφαρμογής, με βάση τα χαρακτηριστικά της.

Οι ασύρματες τεχνολογίες χωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με τα παρακάτω κριτήρια:

- Την χρήση του πρωτοκόλλου
- Το είδος της σύνδεσης
- Την συχνότητα λειτουργίας του



Τα τελευταία χρόνια έχουν δημιουργηθεί πολλά πρότυπα από διάφορες εταιρίες, παρακάτω αναφέρονται μερικά από αυτά (βλέπε [10]).

### 1.3.1 Το πρότυπο EnOcean

Το πρότυπο EnOcean αποτελεί μια ασύρματη τεχνολογία, η οποία χρησιμοποιείται κυρίως για την κατασκευή συστημάτων αυτοματισμού αλλά και σε τομείς όπως τις μεταφορές, την βιομηχανία, στα «smart home» και στα logistics. Τα χαρακτηριστικά αυτού του προτύπου είναι η συνύπαρξη μικρομετατροπέων ενέργειας και η ασύρματη επικοινωνία με αισθητήρες, πύλες, ελεγκτές και διακόπτες. Η τεχνολογία EnOcean στηρίζεται στην ενεργειακή απόδοση από το περιβάλλον.

Τα προϊόντα αυτής της τεχνολογίας δεν χρειάζονται συντήρηση και μπαταρία, η παροχή ενέργειας γίνεται με την μετατροπή αιολικής, πιεζοηλεκτρικής, ηλιακής ενέργειας κ.α. Τα σήματα αυτών των αισθητήρων και διακοπών φτάνουν στα 300 μέτρα, με μικρά πακέτα δεδομένων (14 bytes το κάθε πακέτο) και ταχύτητα μεταφοράς 120 Kbit/sec. Η εκπομπή των μηνυμάτων γίνεται με ραδιοκύματα μέσα σε ένα δευτερόλεπτο, ώστε να υπάρχει χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Για την αποφυγή τυχών συγκρούσεων μεταξύ των μηνυμάτων, η εκπομπή τους πραγματοποιείται σε πακέτα τριών ψευδοτυχαίων διαστημάτων. Οι ζώνες, στις οποίες γίνεται η μετάδοση των δεδομένων είναι 868,3 MHz και 315 MHz. Παρακάτω παραθέεται ο Πίνακας 1 με τα χαρακτηριστικά του EnOcean (βλέπε [11],[12],[13]).

Ρεύμα κόμβων (σε ηρεμία)	Συχνότητα Λειτουργίας	Ρυθμός Δεδομένων	Εμβέλεια σήματος	Ιδιαίτερα Χαρακτηριστικά Λειτουργίας
0,8 $\mu$ A	865/315 MHz	125 kbps	300 meters	<ul style="list-style-type: none"><li>Χωρίς καλώδια και μπαταρία</li><li>Διαλειτουργικότητα</li><li>Δεν υπάρχει κόστος συντήρησης</li><li>Λίγες παρεμβολές.</li></ul>

*Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά του προτύπου EnOcean*

### 1.3.2 Το πρότυπο DASH7

Το πρότυπο DASH7 αποτελεί έναν ανοιχτού κώδικα δίκτυο αισθητήρων, από μια μη κερδοσκοπική κοινοπραξία, την DASH7 Alliance. Αυτό το πρότυπο ακολουθεί το



ISO/IEC 18000-7 με συχνότητα λειτουργίας στις ασύρματες επικοινωνίες 433MHz. Στην αρχή, η τεχνολογία αυτή δημιουργήθηκε για να χρησιμοποιηθεί στον στρατό αλλά λαμβάνει μέρος και σε πολλές εμπορικές εφαρμογές.

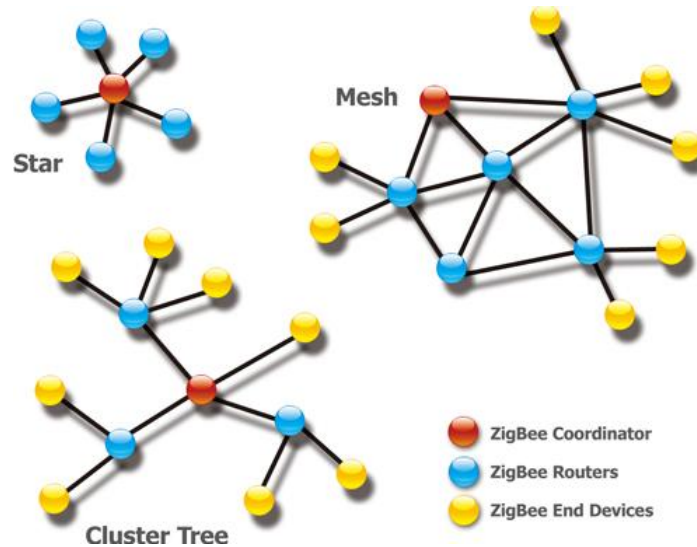
Το DASH7 χαρακτηρίζεται από πολλά χρόνια ζωής μπαταρίας (περίπου 10 χρόνια), η εμβέλεια του προτύπου φτάνει μέχρι 2 Km, κατά την σύνδεση έχει μικρό χρόνο αναμονής, ο ρυθμός μεταφοράς των δεδομένων αγγίζει τα 200 Kbps και υποστηρίζει κλειδί κρυπτογράφησης AES 128-bit. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ότι το σήμα μπορεί να ταξιδεύει σε μεγάλη απόσταση χωρίς να καταναλώσει μεγάλη ενέργεια και να εμποδίζεται από το νερό και το σκυρόδεμα. Ακολουθεί ο Πίνακας 2 με τα χαρακτηριστικά του προτύπου DASH7 (βλέπε [14]).

Συχνότητα Λειτουργίας	Ρυθμός Δεδομένων	Εμβέλεια σήματος	Ασφάλεια	Ιδιαίτερα Χαρακτηριστικά Λειτουργίας
433 MHz	200 kbit/s	2 meters	AES 128-bit	<ul style="list-style-type: none"><li>• Διαπεραστικότητα σε νερό και σκυρόδεμα</li><li>• Μεγάλη εμβέλεια</li><li>• Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας</li><li>• Λίγες παρεμβολές.</li></ul>

*Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά του προτύπου DASH7*

### 1.3.3 Το πρότυπο ZigBee

Το πρότυπο ZigBee δημιουργήθηκε το 2003 από την IEEE που παρουσίασε το πρότυπο 802.15.4. Χαρακτηριστικό του προτύπου είναι η χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση και η μεταφορά δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις, δημιουργώντας δίκτυα πλέγματος. Παρακάτω στο Σχήμα 5 απεικονίζονται οι τοπολογίες του ZigBee, οι οποίες μπορεί να είναι αστέρι, πλέγμα και δέντρο. Κάθε μια από τις τοπολογίες αποτελείται από έναν συντονιστή, δηλαδή μια συσκευή η οποία είναι υπεύθυνη για την βασική συντήρηση και παραμετροποίηση του δικτύου.



Σχ. 5: Τοπολογίες του προτύπου ZigBee

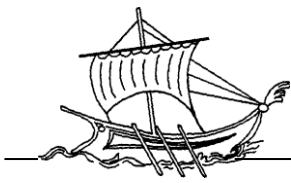
Οι εφαρμογές του ZigBee δεν έχουν μεγάλο ρυθμό δεδομένων (έως 250kbps), η μπαταρία τους διαρκεί πολύ και έχουν ασφαλή δικτύωση. Το χαμηλό κόστος του προτύπου είναι ο λόγος που η τεχνολογία του χρησιμοποιείται σε εφαρμογές παρακολούθησης και ελέγχου. Στο Σχήμα 6 φαίνεται η γκάμα εφαρμογών του ZigBee.



Σχ. 6: Εφαρμογές του προτύπου ZigBee

Μερικές από τις εφαρμογές του προτύπου ZigBee είναι οι εξής:

- Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων
- Ιατρική, για την συλλογή δεδομένων



- Έλεγχος σε βιομηχανία
- Έλεγχος θερμοκρασίας
- Σε ταινίες και μουσική
- Αυτοματισμός σπιτιού.

Οι ραδιοσυχνότητες του προτύπου διαφέρουν ανά ήπειρο, στην Ευρώπη είναι 868MHz, στην Αυστραλία 2,4GHz και στις ΗΠΑ 915MHz. Η ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων είναι 20kilobits/s με ζώνη συχνότητας 868MHz και 250kilobits/s με ζώνη συχνότητας 2,4GHz. Ακολουθεί ο Πίνακας 3 με τα χαρακτηριστικά του προτύπου ZigBee (βλέπε [10],[15],[16]).

Συχνότητα Λειτουργίας	Ρυθμός Δεδομένων	Ιδιαίτερα Χαρακτηριστικά Λειτουργίας
868 MHz	20 kbit/s	<ul style="list-style-type: none"><li>• Μεγάλη εμβέλεια</li><li>• Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας</li><li>• Χαμηλό κόστος</li><li>• Χαμηλό ρυθμό δεδομένων</li><li>• Μεγάλη διάρκεια ζωής.</li></ul>
2.4 GHz	250 kbit/s	

*Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά του προτύπου ZigBee*

### 1.3.4 Το πρότυπο Bluetooth Low Energy (LE) ή BLE

Το πρότυπο Bluetooth χαμηλής ενέργειας σχεδιάστηκε με στόχο την χρήση του σε βιομηχανίες, ασφάλεια, νοσοκομεία και οικιακή ψυχαγωγία. Τα χαρακτηριστικά του είναι το μικρό μέγεθος, η χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση, συμβατό με κινητά τηλέφωνα και ηλεκτρονικούς υπολογιστές και το χαμηλό του κόστος, χωρίς να υπάρχει περιορισμός στο εύρος επικοινωνίας του. Οι ραδιοσυχνότητες που χρησιμοποιεί είναι ίδιες με αυτές ενός κλασικού Bluetooth, δηλαδή 2,4GHz, με τον τρόπο αυτό μοιράζονται μια ενιαία κεραία ενός ραδιοφώνου. Μερικές από τις εφαρμογές που χρησιμοποιείται το πρότυπο Bluetooth LE είναι οι παρακάτω:

- Αθλητισμός
- Αυτοκίνητα
- Αυτοματισμοί



- Ρολόγια
- Οικιακές συσκευές
- Παιχνίδια
- Ηλεκτρονικοί υπολογιστές
- Βιομηχανία.

Παρακάτω ακολουθεί ο συγκριτικός Πίνακας 4 των τεχνικών προδιαγραφών ενός κλασικού Bluetooth και ενός Bluetooth LE (Βλέπε [14],[15])

Τεχνικές προδιαγραφές	Κλασικό Bluetooth	Bluetooth LE
Εύρος	100 meters	> 100 meters
Ρυθμός δεδομένων στον αέρα	1-3Mbit/s	1Mbit/s
Ασφάλεια	56/128-bit	128-bit
Latency	100ms	6ms
Χρόνος αποστολής δεδομένων	100ms	Περίπου 3ms
Κατανάλωση ενέργειας	1W	0,01W-0,5W
Ονομαστική κατανάλωση ρεύματος	30Ma	15mA

*Πίνακας 4: Τεχνικές προδιαγραφές κλασικού Bluetooth και Bluetooth LE*

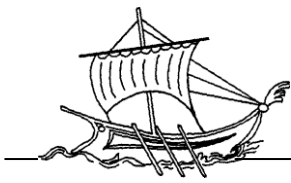
### 1.3.5 Το πρότυπο ISA100.11a

Το πρότυπο ISA100.11a δημιουργήθηκε το 2005 από την International Society of Automation (ISA), αποτελεί πρότυπο ανοιχτού κώδικα και χρησιμοποιείται σε βιομηχανικά ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, ενώ μπορεί να έχει επικοινωνία με άλλα υπάρχοντα ενσύρματα και ασύρματα δίκτυα. Η ελεύθερη ζώνη συχνοτήτων του είναι 2,4GHz για την αποστολή των μηνυμάτων και έχει ρυθμό δεδομένων 250kbps σε τοπολογία δέντρου και πλέγματος. Το πρότυπο αυτό υποστηρίζει κρυπτογράφηση AES 128-bit και είναι ανθεκτικό σε θόρυβο όταν πρόκειται για βιομηχανικό περιβάλλον.

Το πρότυπο ISA100.11a αποτελείται από τα εξής επίπεδα:

- Εφαρμογής (APL): καθορίζει τα αντικείμενα και τις υπηρεσίες τους ώστε να μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους.
- Μεταφοράς: Υποστηρίζει την ασφάλεια και την αυθεντικοποίηση του και αποκρυπτογράφηση του πρωτοκόλλου IPv6.





- Δικτύου (NTW): Χρησιμοποιεί κεφαλίδες συμβατές με το πρότυπο 6LoWPAN.
- Σύνδεσης δεδομένων (DLL)
- Φυσικό (PHY)
- Ελέγχου πρόσβασης μέσου (MAC)

Παρακάτω, παραθέεται ο Πίνακας 5 με τα χαρακτηριστικά του προτύπου ISA100.11a (βλέπε [17],[18]).

Συχνότητα Λειτουργίας	Ρυθμός Δεδομένων	Εμβέλεια σήματος	Ασφάλεια	Ιδιαίτερα Χαρακτηριστικά Λειτουργίας
2,4GHz	250 kbit/s	100 meters	AES 128-bit	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ανθεκτικό σε θόρυβο</li><li>• Επικοινωνεί με ασύρματα και ενσύρματα δίκτυα.</li></ul>

*Πίνακας 5: Χαρακτηριστικά του προτύπου ISA100.11a*

### 1.4 Εφαρμογές WSN

Οι εφαρμογές που χρησιμοποιούν ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι πολυάριθμες. Τα WSN παρέχουν εποπτεία και έλεγχο στον περιβάλλοντα χώρο καλύτερα από άλλους μεθόδους. Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων έχουν την δυνατότητα δειγματοληψίας με μεγάλη συχνότητα, σε περιβάλλον όπου η ανθρώπινη παρέμβαση είναι δύσκολη.

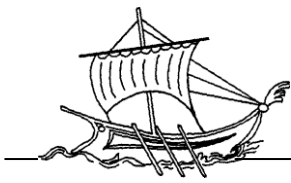
Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Επίβλεψης (monitoring)
- Ανίχνευσης (tracking)

Οι υποκατηγορίες αυτών των ομάδων είναι οι εξής:

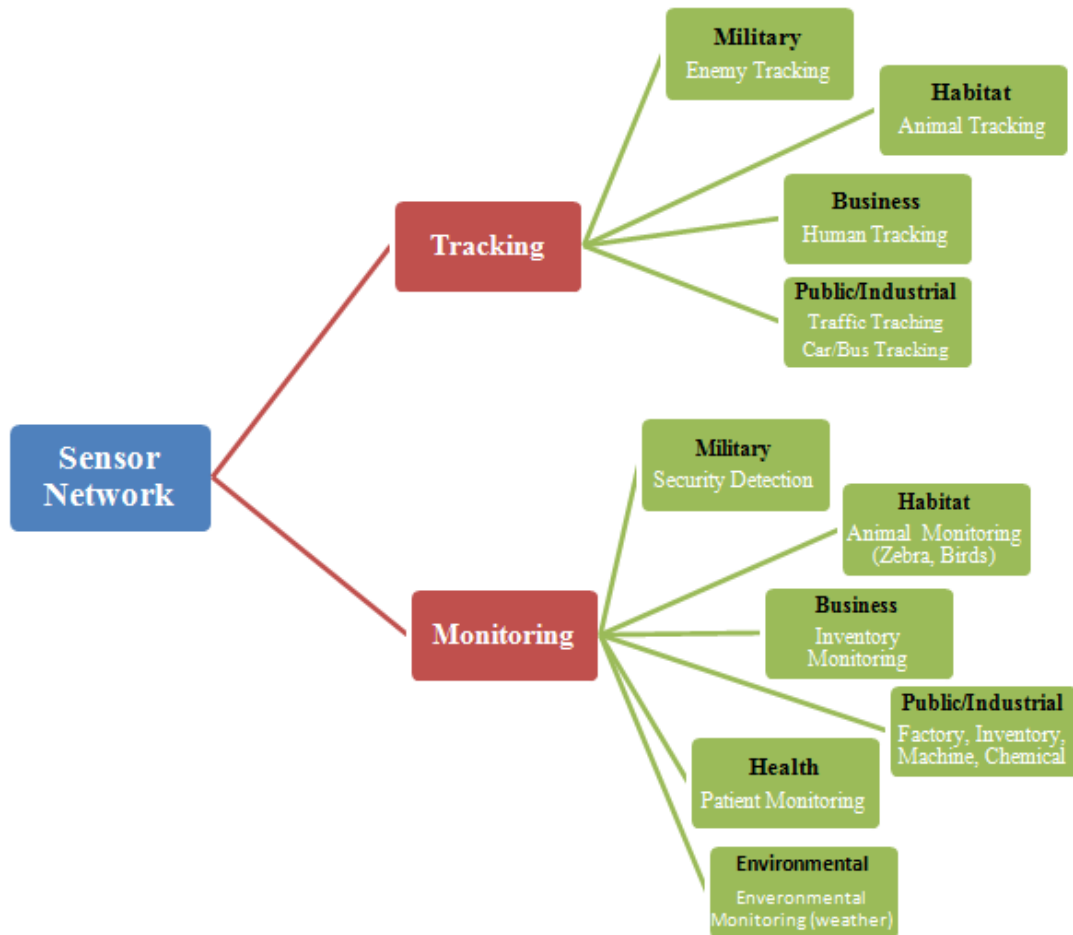
- Παρακολούθηση χώρου, αντικειμένων
- Παρατήρηση στην αλληλεπίδραση αντικειμένων στο χώρο
- Περιβαλλοντικές, γεωργικές εφαρμογές
- Εφαρμογές παροχής βοήθειας και πρόσληψη καταστροφών
- Επιτήρηση αντικειμένων, ασφάλειας, μηχανών και βιομηχανικών εφαρμογών





- Στρατιωτικές και ιατρικές εφαρμογές
- Άλλες εμπορικές εφαρμογές.

Ακολουθεί το Σχήμα 7 με τις κατηγορίες των εφαρμογών των ασύρματων δικτύων αισθητήρων (βλέπε [19],[20],[21]).



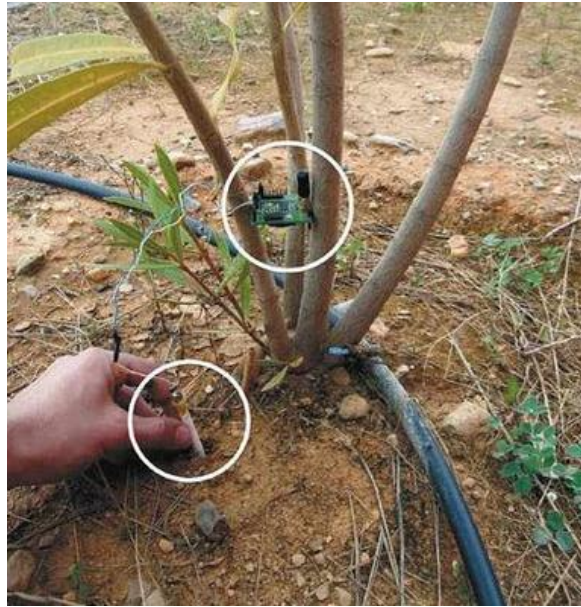
Σχ. 7: Κατηγορίες των εφαρμογών των WSN

## 1.4.1 Γεωργικές Εφαρμογές

Οι εφαρμογές που χρησιμοποιούν ασύρματα δίκτυα αισθητήρων στην γεωργία είναι για την ποσοτική και ποιοτική αγροτική παραγωγή. Χρησιμοποιούνται αισθητήρια με τα οποία μετρείται το επίπεδο του πόσιμου νερού, η θερμοκρασία, η υγρασία, η διάβρωση του εδάφους και η μόλυνση του αέρα που συμβαίνει σε πραγματικό χρόνο. Παίρνοντας αυτές τις μετρήσεις, οι γεωργοί μπορούν να κάνουν ρίψη την σωστή ποσότητα λιπασμάτων, εντομοκτόνων και νερού (βλέπε [19]).



Μια τέτοια εφαρμογή ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων είναι αυτό του αυτόματου ποτίσματος φυτών με το robot RFID. Όπως φαίνεται στο επόμενο Σχήμα 8, μέσω κόμβων αισθητήρων ο πομπός (φυτό) ανακλά σήματα στον δέκτη (υπολογιστή), μεταδίδοντας την πληροφορία για την ποσότητα του νερού που χρειάζεται (βλέπε [22]).



Σχ. 8: Εφαρμογή WSN στην γεωργία, αυτόματο πότισμα φυτού

### 1.4.2 Οικιακές Εφαρμογές

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων λαμβάνουν χώρα και στις οικιακές εφαρμογές. Στόχος τους είναι η μείωση της ενέργειας που καταναλώνεται στην οικία και ο έλεγχος του εσωτερικού χώρου μιας οικίας όπως η υγρασία, ο κλιματισμός και ο εξαερισμός. Ως αποτέλεσμα της χρήσης των ασύρματων δικτύων αισθητήρων είναι η βελτίωση του βιοτικού επιπέδου των κατοίκων (βλέπε [19]).

Ένα παράδειγμα εφαρμογής κόμβων αισθητηρίων είναι αυτή του «έξυπνου σπιτιού», Σχήμα 9. Το περιβάλλον του σπιτιού προσαρμόζεται στις ανάγκες των χρηστών του. Οι αισθητήριοι κόμβοι τοποθετούνται σε έπιπλα και οικιακές συσκευές, με την δυνατότητα να μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους και αυτοί με της σειρά τους με τον εξυπηρετητή του δωματίου. Ο εξυπηρετητής κάθε δωματίου επικοινωνεί με τα άλλα δωμάτια και μαθαίνει πληροφορίες (βλέπε [23]).

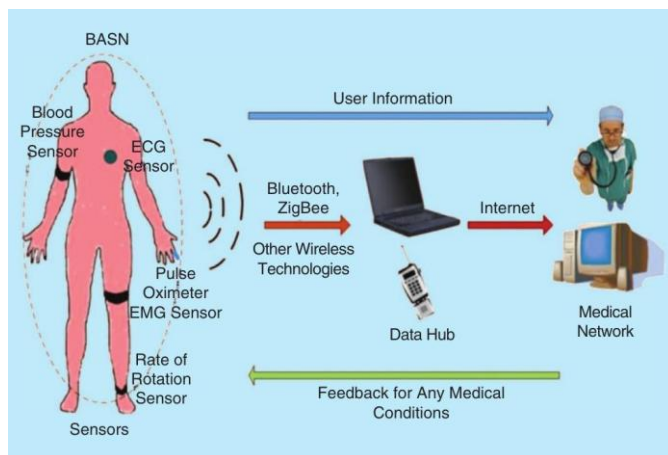


Σχ. 9: Smart home

### 1.4.3 Εφαρμογές Υγείας

Συνήθως τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων που συναντάμε στις εφαρμογές υγείας είναι τα Body Sensor Network (BSN), Σχήμα 10. Η ανάπτυξη του τομέα αυτού είναι αρκετά αργή, καθώς η πρόληψη και αποφυγή κάποιου λάθους είναι αναγκαία. Η χρήση τέτοιου αισθητηρίων γίνεται για την παρακολούθηση κάποιου ασθενούς που βρίσκεται στην εντατική ή έχει κάποια χρόνια πάθηση (βλέπε [24],[25]).

Ένα παράδειγμα χρήσης WSN είναι ο εντοπισμός των γιατρών μέσα στο νοσοκομείο, τοποθετώντας πάνω τους έναν αισθητήρα. Επίσης, μια ακόμη εφαρμογή είναι να προσκολληθούν πάνω σε ασθενείς μικροί κόμβοι αισθητήρων, οι οποίοι, ο ένας να μετράει τους καρδιακούς παλμούς και ο άλλος κόμβος να μετράει την πίεση του αίματος (βλέπε [26]).



Σχ. 10: Εφαρμογή WSN στην υγεία



### 1.4.4 Περιβαλλοντικές Εφαρμογές

Στις περιβαλλοντικές εφαρμογές η χρήση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων είναι ιδιαίτερα διαδεδομένοι για την καταγραφή της εξέλιξης ενός οικοσυστήματος. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι βροχόπτωσης, καιρού για μετεωρολογική και γεωφυσική έρευνα, ρύπανσης και στάθμης νερού. Επιπλέον, αισθητήρες χρησιμοποιούνται και σε μεγάλα κτήρια για την ρύθμιση του κλίματος σε αυτά, με σκοπό την διασφάλιση ενός ευχάριστου περιβάλλοντος εργασίας. Επίσης, υπάρχουν περιβαλλοντικές εφαρμογές που παρατηρούν και καταγράφουν το ζωικό βασίλειο (βλέπε [20],[27]).

Μια περιβαλλοντική εφαρμογή είναι το πρόγραμμα Great Duck Island, στο οποίο οι επιστήμονες μελέτησαν μέσω ενός δικτύου αισθητήρων, το μικροκλίμα στο δυσπρόσιτο δίκτυο υπογείων φωλιών των θαλασσοπουλιών. Οι αισθητήρες που τοποθετήθηκαν, μέτρησαν τη θερμοκρασία, την φωτεινότητα και τη βαρομετρική πίεση, παίρνοντας σημαντικές πληροφορίες που χρειαζόντουσαν για την παρατήρηση αυτών των πουλιών. Στο Σχήμα 11 φαίνεται η τοποθέτηση των αισθητήρων κόμβων. Στο 1 και 2 είναι οι τοποθετημένοι οι κόμβοι μέσα και έξω από τα λαγούμια αντίστοιχα, στο 3 γίνεται η καταγραφή των δεδομένα τα οποία μεταδίδονται στο σταθμό-έρευνα μέσω φορητού υπολογιστή στο 4 και τέλος στο 5 ένας δορυφόρος τα στέλνει τις πληροφορίες σε ένα εργαστήριο στην Καλιφορνία (βλέπε [28]).



Σχ. 11: Το πρόγραμμα του Great Duck Island



### 1.4.5 Βιομηχανικές Εφαρμογές

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων μαζί με τα συστήματα ελέγχου μπορούν να εμποτεύσουν όλη την παραγωγική διαδικασία και να φροντίσουν για την ασφάλεια των υπαλλήλων. Υπάρχουν αρκετά παραδείγματα εφαρμογών ασύρματων δικτύων αισθητήρων στην βιομηχανία, κυρίως σε μέρη δυσπρόσιτα στον άνθρωπο.

Ένα παράδειγμα χρήσης των WSN είναι τα διυλιστήρια, στα οποία χρησιμοποιούνται σε πολλά στάδια της διεργασίας, καταγράφοντας μετρήσεις. Η παραγωγή ελέγχεται μέσω ειδικών σημάτων συναγερμού, οι οποίοι ειδοποιούν τους τεχνικούς όταν η πίεση ή η θερμοκρασία ξεπεράσει το όριο. Ένα ακόμη παράδειγμα χρήσης ασύρματων δικτύων αισθητήρων είναι ο έλεγχος υπόγειων αγωγών όπως αγωγούς αποχέτευσης, ύδρευσης ή φυσικού αερίου (βλέπε [29]).

Τα παραπάνω παραδείγματα εφαρμογών των ασύρματων δικτύων αισθητήρων, αποτελούν ένα μικρό δείγμα των συνολικών τους εφαρμογών.



### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Παράμετροι Σχεδίασης και Αρχιτεκτονικής WSN

#### 2.1 Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων σε Βιομηχανικό Περιβάλλον

Για την ανάπτυξη ενός WSN στις βιομηχανικές εφαρμογές απαιτείται ένας συνδυασμός γνώσεων από διάφορους επιστημονικούς τομείς. Οι κύριες γνώσεις που χρειάζονται είναι οι εξής:

- Βιομηχανική τεχνογνωσία.
- Απαραίτητη τεχνογνωσία είναι αυτή των αισθητήρων, για την κατανόηση της βαθμονόμησης, την μεταβολή χαρακτηριστικών, την πάροδο του χρόνου, την ψηφιοποίηση, την δειγματοληψία και τις διατάξεις μετατροπής.
- Η τεχνογνωσία του περιβάλλοντος RF καθώς και των ασύρματων συσκευών, ώστε να αντιμετωπίζονται ζητήματα που αφορούν την καταλληλότητα της τεχνολογίας, της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας και των ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών που υπάρχουν σε ένα βιομηχανικό περιβάλλον.
- Τέλος, απαραίτητη αποτελεί η γνώση της τεχνολογίας των δικτύων για την κατανόηση ιεραρχικών αρχιτεκτονικών σε βιομηχανικά ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (βλέπε [30]).

Ακολουθούν οι βασικότερες παραμέτρους για την σχεδίαση ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων σε βιομηχανικές εφαρμογές:

#### 1. Απόδοση και ποιότητα παροχής υπηρεσιών.

Η απόδοση και η ποιότητα παροχής υπηρεσιών σε βιομηχανικά ασύρματα δίκτυα αισθητήρων εξετάζονται ως προς την αξιοπιστία, την συνύπαρξη των WSN με άλλα συστήματα, την χρονική καθυστέρηση, την χρονική προθεσμία και το χρονικό περιθώριο, την ασφάλεια, την παροχέτευση δεδομένων, την προσαρμοστικότητα τους σε νέες ρυθμίσεις και αποστολές και την ανταγωνιστικότητα κόστους.



### Αξιοπιστία

Στις βιομηχανικές εφαρμογές η αξιοπιστία του δικτύου σχετίζεται με την ικανότητά του να μεταδίδει όλες τις πληροφορίες, σε όλα τα πλάτη και μήκη του δικτύου, σε μεγάλο εύρος φάσματος λειτουργικών συνθηκών. Το σύστημα θα πρέπει να είναι ικανό να αντιμετωπίσει διάφορες καταστάσεις όπως, παρεμβολές στην επικοινωνία, εναλλαγές στο περιβάλλον λειτουργίας και σε μη προβλέψιμες διακυμάνσεις στον ρυθμό διάδοσης των δεδομένων. Για την αντιμετώπιση τέτοιων καταστάσεων, το σύστημα οφείλει να αντιδράσει σε ένα μηχανισμό ο οποίος αναφέρεται στις περισσότερες καταστάσεις ως «ανθεκτικότητα του σχεδιασμού» (robustness of design). Επιπλέον, στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων πολλές φορές συναντάμε ενεργειακούς περιορισμούς, στους οποίους το δίκτυο θα πρέπει να διατηρήσει την αξιοπιστία του. Για παράδειγμα, η περίπτωση χρήσης ενέργειας από εξωτερικές πηγές (π.χ. μπαταρία) ή ενέργειας εκτός προδιαγραφών τροφοδοσίας, όπως διακύμανση τάσης ή συχνότητας.

### Συνύπαρξη

Η συνύπαρξη των ασύρματων δικτύων αισθητήρων με άλλα συστήματα είναι αναγκαία καθώς διαφορετικά θα υπάρξουν δαπανηρές συνέπειες σε οικονομικό επίπεδο και σε επίπεδο ανθρώπινου δυναμικού. Για το λόγο αυτό, θα πρέπει να εξεταστεί από και προς την πλευρά του συστήματος.

### Χρονική καθυστέρηση, την χρονική προθεσμία και το χρονικό περιθώριο

Οι επιδόσεις ενός δικτύου επηρεάζονται άμεσα από την χρονική καθυστέρηση, την χρονική προθεσμία και το χρονικό περιθώριο, σε πραγματικό χρόνο.

Το χρονικό διάστημα που χρειάζονται τα δεδομένα να μεταφερθούν από έναν κόμβο σε ένα σταθμό βάσης καλείται χρονική καθυστέρηση. Η χρονική καθυστέρηση επηρεάζεται από την κίνηση της επικοινωνίας. Με άλλα λόγια, επηρεάζεται από την πυκνότητα των αισθητήρων που υπάρχουν σε έναν κόμβο, από την τοπολογία του δικτύου και από το πλήθος των ενεργειών και αιτήσεων που εκτελούνται ταυτόχρονα. Για παράδειγμα, οι αισθητήρες ενός

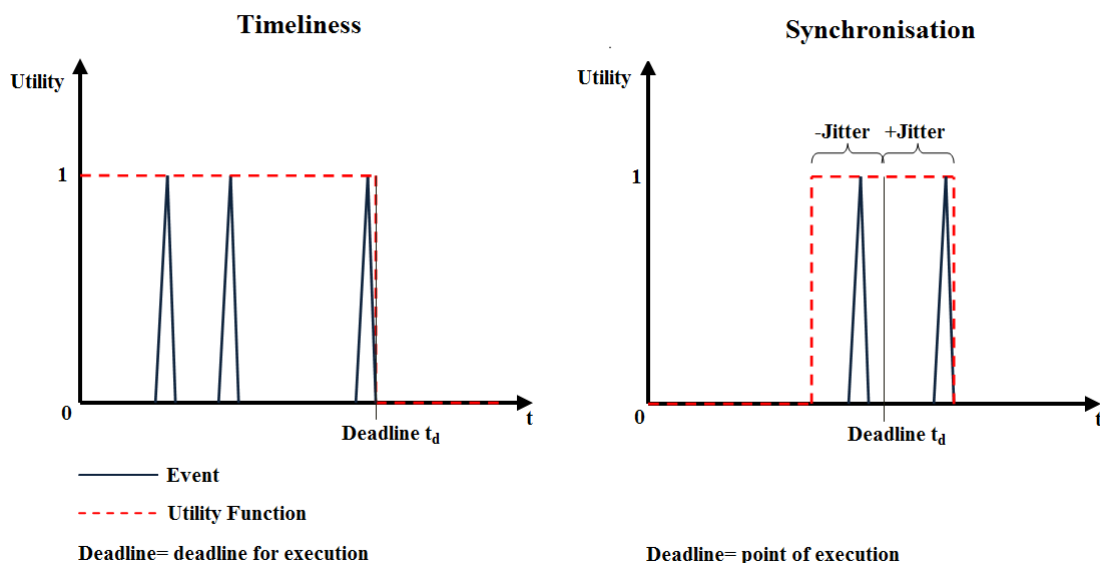




ιμάντα μεταφοράς υλικών έχουν πιο ελαστικά κριτήρια από ότι οι αισθητήρες που υποστηρίζουν έναν σερβοκινητήρα.

Η προθεσμία για την εκτέλεση και την ολοκλήρωση μιας ενέργειας καθορίζεται από το χρονικό περιθώριο του δικτύου. Ενώ η χρονική προθεσμία καθορίζει τον ακριβή χρόνο που θα πρέπει να εκτελεστούν κάποιες ενέργειας. Αν μια ενέργεια ολοκληρωθεί νωρίτερα τότε θα εμφανιστεί σφάλμα, εξυπηρετώντας το δίκτυο να καθορίσει το κατάλληλο συγχρονισμό. Στο παρακάτω σχήμα 12 παρουσιάζεται η συνάρτηση του χρόνου και της λειτουργίας του δικτύου (βλέπε [31]).

### Time/ Utility Function with Demand for:

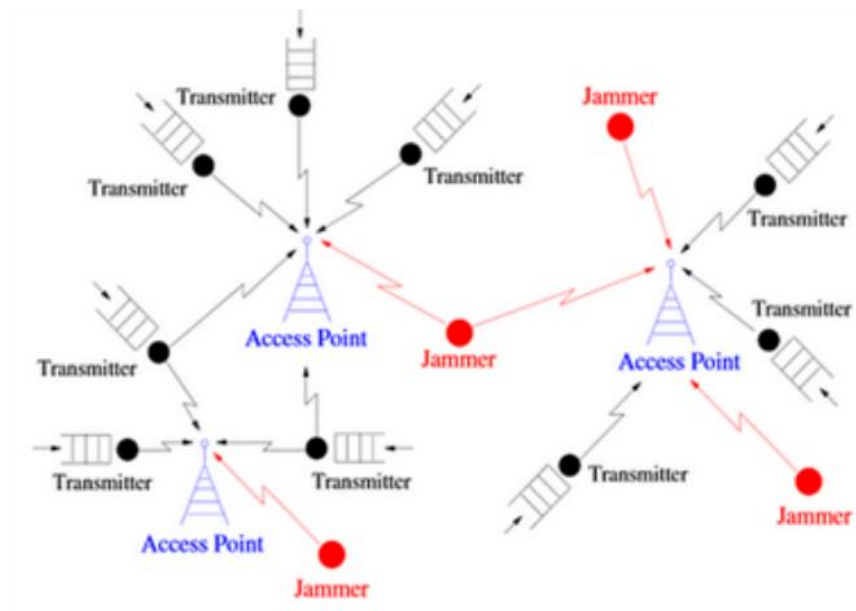


Σχ. 12: Η έννοια του Timeliness και του Jitter

### Ασφάλεια

Η ασφάλεια στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων αποτελούν σημαντική παράμετρο των δικτύων καθώς αντιμετωπίζουν ριζοκίνδυνες καταστάσεις όπως την παρεμβολές κ υποκλοπές των πληροφοριών που μεταδίδονται, την μετάδοση ψευδών μηνυμάτων πληροφορίας κ.α.. Το σχήμα 13 απεικονίζει μια επίθεση παρεμβολής ενός δικτύου (jamming). Η αντιμετώπιση μιας τέτοιας επίθεσης γίνεται με την χρήση μηχανισμών προστασίας, με την δημιουργία μικρών σε μέγεθος κόμβων και την απόκρυψη τους (βλέπε [32]).





Σχ. 13: Επίθεση παρεμβολής ενός δικτύου (jamming)

### Παροχέτευση

Η ικανότητα ενός δικτύου να διακινεί τα δεδομένα από βιομηχανικές εφαρμογές, ορίζεται από την παροχέτευση. Συνήθως, σε ένα δίκτυο αισθητήρων το εύρος ζώνης που χρειάζονται για τα δεδομένα είναι χαμηλό. Η παροχέτευση επηρεάζεται άμεσα από το περιβάλλον που γίνεται η επικοινωνία.

### Προσαρμοστικότητα

Η ικανότητα των ασύρματων δικτύων αισθητήρων να προσαρμόζονται σε νέες ρυθμίσεις και αποστολές, αποτελεί ένα μεγάλο πλεονέκτημα αυτών. Σε ένα βιομηχανικό περιβάλλον, η προσαρμοστικότητα ενός WSN είναι απαραίτητη, καθώς μπορεί με την πάροδο του χρόνου να μεταποιηθεί το φυσικό βιομηχανικό περιβάλλον και να υπάρξουν αλλαγές στο ηλεκτρομαγνητικό περιβάλλον. Επιπλέον, μπορεί να χρειαστεί η αλλαγή θέσης ενός αισθητήρα, γεγονός που θα προκαλούσε αλλαγές στην ροή των δεδομένων (βλέπε [31]).

## 2. Ισχύς Λειτουργίας

Αποτελεί κύριο σχεδιαστικό περιορισμό για ασύρματα αισθητήρια που τροφοδοτούνται από μπαταρία.



### 3. Μεταβλητότητα και Επεκτασιμότητα

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων θα πρέπει να έχουν την δυνατότητα να υποστηρίξουν μικρό ή μεγάλο πλήθος αισθητήρων και επενεργητών χωρίς να επηρεάζεται η απόδοση του συστήματος. Επιπλέον, ένας σημαντικός παράγοντας είναι η δυνατότητα επέκτασης της λύσης, σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων, όσον αφορά την ασφάλεια του.

### 4. Τοπολογία

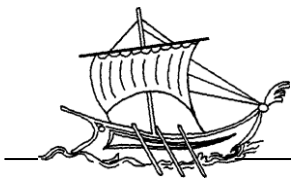
Τα δίκτυα πλέγματος χαρακτηρίζονται από πιο πολλές δυνατότητες επέκτασης, προσφέροντας ενεργειακή απόδοση από τα ισοδύναμα δίκτυα μονού άλματος και ποιότητα υπηρεσιών. Επιπρόσθετα, προσφέρουν εφεδρεία σε κατάσταση αποτυχίας λήξης ή αποστολής σε κόμβο, δρομολογώντας το μήνυμα από εναλλακτικές διαδρομές. Ενώ σε τοπολογία αστέρα αν υπάρχει εμπλοκή στο σήμα, δεν μπορεί να ανακαμφθεί μέχρι να πραγματοποιηθεί αφαίρεση της παρεμβολής του.

### 5. Ασύρματη Εκπομπή

Με τις κατάλληλες τεχνολογίες ραδιοσυχνοτήτων μπορεί να επιτευχθεί μείωση της επίδρασης των παρεμβολών σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων.

### 6. Σύστημα και Λογισμικό (Software)

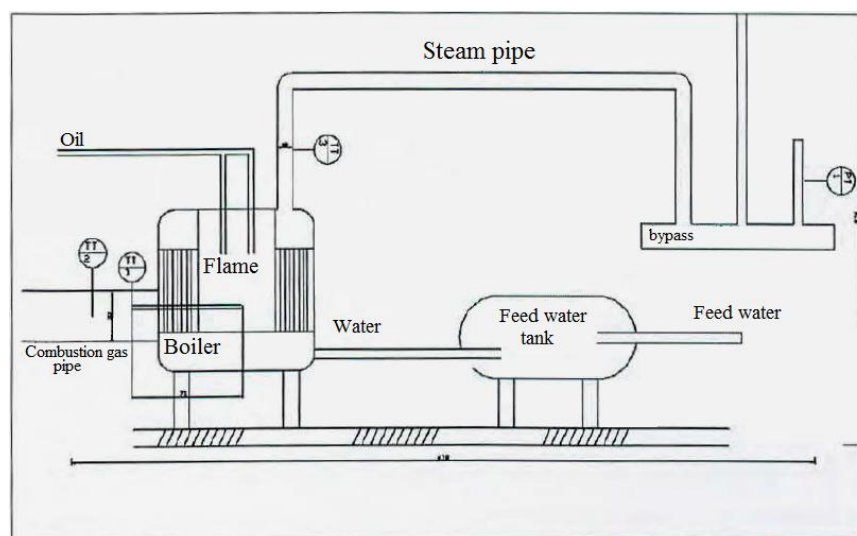
Ένα σύστημα θα πρέπει να έχει όσον το δυνατόν λιγότερο παρεμβάσεις από τον χρήστη. Αυτή η προϋπόθεση οδηγεί ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων σε δυνατότητας αυτό-οργάνωσης, αυτό-ρύθμιση και αυτό-ανάκαμψης. Στο λογισμικό των εφαρμογών, η πρόσβαση θα πρέπει να πραγματοποιείται μέσω απλής διασύνδεσης προγραμματισμού εφαρμογών (Application Programming Interface- API) και να μπορεί να προσαρμοστεί στις απαιτήσεις των προτύπων και πελατών, για την γρηγορότερη ανάπτυξη και εγκατάσταση του δικτύου (βλέπε [31]).



### 2.1.1 Παράδειγμα χρήσης ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων στο Βιομηχανικό περιβάλλον.

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων εφαρμόζονται σε πολλές εφαρμογές στο βιομηχανικό αυτοματισμό όπως, σε αντλίες πετρελαίου, σε κινητήρες και σε ρουλεμάν μηχανών. Παρακάτω παρουσιάζεται ένα παράδειγμα ασύρματου δικτύου αισθητήρων στο βιομηχανικό περιβάλλον.

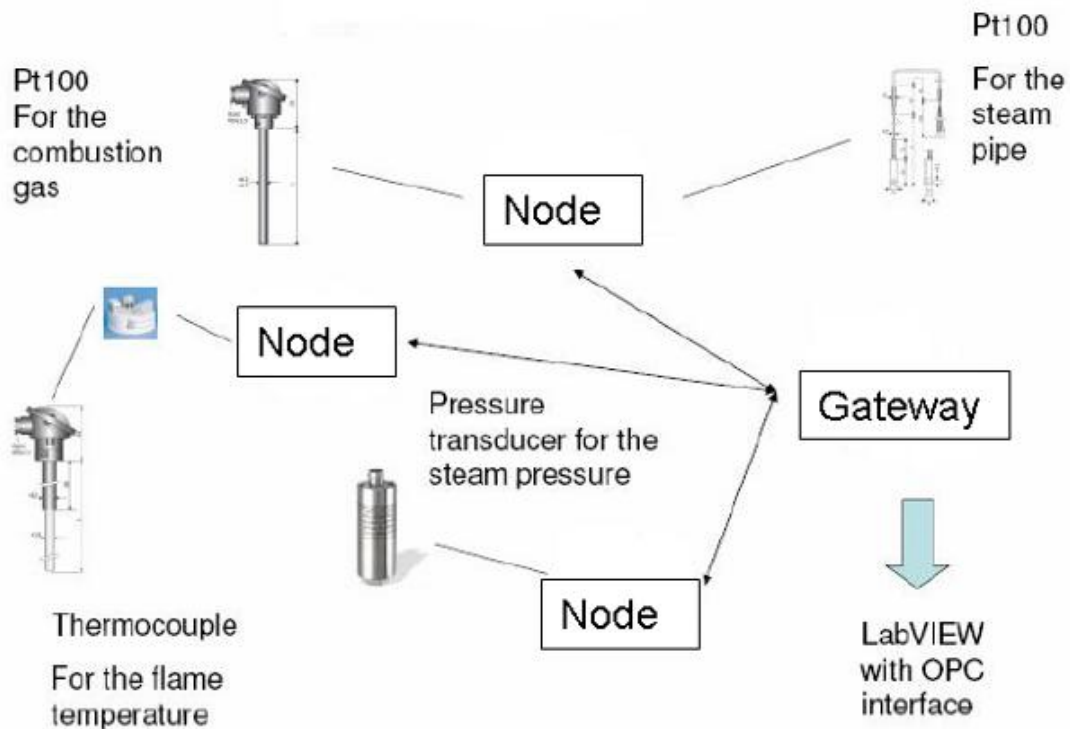
Στο πανεπιστήμιο του Ουίλ, έγιναν δοκιμές στις επιδόσεις ενός ασύρματου δικτύου σε βιομηχανικό περιβάλλον, σε ένα σύστημα demo στο εργαστήριο μηχανικού ελέγχου. Για την χημική διεργασία πολτοποίησης, παράγεται ατμός από λέβητα ατμού. Για την διεκπεραίωση του πειράματος γίνεται χρήση μαζούτ, ένας λέβητας, αγωγοί και μια δεξαμενή για την αποθήκευση του νερού. Αρχικά, η θερμοκρασία που έχει το νερό είναι στους 20°C και με το πέρασμα του στον λέβητα αποκτά θερμοκρασία 200°C, μετατρέποντας το νερό σε ατμό. Για χάρη του πειράματος πάρθηκαν τέσσερις μετρήσεις, μία για την πίεση του ατμού και τρεις για την θερμοκρασία. Η λήψη μετρήσεων για την θερμοκρασία, πραγματοποιούνταν από στο θάλαμο καύσης (περίπου 1500°C), την επιφάνεια του σωλήνα (περίπου 300°C) και το σωλήνα παροχής του φυσικού αερίου (περίπου 300°C), ενώ η μέτρηση της πίεσης του ατμού πραγματοποιήθηκε από την παράκαμψη του δρομέα (περίπου 13 bar).



Σχ. 14: Παράδειγμα ατμολέβητα



Οι θερμοκρασίες από τα σωλήνα παροχής φυσικού αερίου και ατμό πραγματοποιούνται με αισθητήρες Pt-100. Οι αισθητήρες συνδέονται με έναν κόμβο, οποίος παίζει το ρόλο ασύρματου δικάναλου πομποδέκτη. Η θερμοκρασία στο θάλαμο καύσης πραγματοποιείται με το θερμοστοιχείο τύπου -S, το οποίο παίζει το ρόλο του ασύρματου πομποδέκτη. Επιπλέον, δικό του κόμβο διαθέτει και ο αισθητήρας πίεσης, ο οποίος για την τροφοδοσία του χρειάζεται εξωτερική πηγή. Στο παρακάτω σχήμα 15, παρουσιάζεται το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων και οι αισθητήρες που εφαρμόζονται για να καταγραφούν οι θερμοκρασίες και η πίεση του ατμολέβητα (βλέπε [31]).



*Σχ. 15: Το WSN και οι αισθητήρες που εφαρμόζονται για την παρακολούθηση των θερμοκρασιών και της πίεσης του λέβητα ατμού.*

### 2.2 Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων σε “Smart Home”

Το “smart home” αποτελεί ένα μεγάλο συγκρότημα με πολλές λειτουργικές δυνατότητες αυτοματοποίησης. Ιδανικά μπορούμε να το διακρίνουμε σε 5 λειτουργικά επίπεδα:



- *Επίπεδο 1:* Διαθέτει βασικές δυνατότητες επικοινωνίας και σύνδεσης (π.χ. internet).
- *Επίπεδο 2:* Παρέχει απλές εντολές ελέγχου λειτουργίας εντός ή εκτός σπιτιού, όπως το άνοιγμα ή το κλείσιμο παραθύρων ή πορτών και τον έλεγχο φωτισμό. Το λειτουργικό επίπεδο αυτό εξαρτάται από τον χρήστη.
- *Επίπεδο 3:* Ανταποκρίνεται σε αυτοματοποιημένες λειτουργίες, όπως το ανοιγοκλείσιμο του φωτισμού σε προκαθορισμένο χρόνο ή τον έλεγχο της λειτουργίας της θέρμανσης.
- *Επίπεδο 4:* Το σύστημα λειτουργεί στηριζόμενο στην ανθρώπινη παρουσία στο χώρο, βελτιώνοντας την ποιότητα ζωής.
- *Επίπεδο 5:* Το σύστημα μπορεί να προσφέρει πληροφορίες κατάστασης και κατανάλωσης στον χρήστη, να δημιουργεί reports και να πραγματοποιεί αλλαγές σε προδιαγεγραμμένες λειτουργίες, με στόχο την βελτίωση της λειτουργίας του.

Γενικότερα, ένα σύστημα έξυπνου σπιτιού μπορεί να παρέχει:

- Εποπτεία της λειτουργίας του
- Εξοικονόμηση ενέργειας και του συνολικού κόστους, μέσω της διαχείρισης του φορτίου της κατοικία.
- Συνδεσιμότητα του κεντρικού παρόχου υπηρεσιών με τον οικιακό χρήστη.
- Ευφυή συστήματα διαχείρισης των ηλεκτρικών φορτίων της κατοικίας (βλέπε [33]).

Σε ένα «Smart home» ένα κινητό τηλέφωνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την συλλογή όλων πληροφοριών, με έναν μηχανισμό «multy-hop», ώστε να συνδεθεί το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων με την πύλη. Για να σχεδιαστεί ένα δίκτυο ικανό να εξυπηρετήσει τις υπάρχουσες ανάγκες θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ο παράγοντας της ενέργειας. Εάν η διάχυση της ενέργειας του αισθητήρα γίνεται σταδιακά τότε η μετρούμενη τιμή τείνει στο άπειρο και ο συγκεκριμένος κόμβος δεν επιλέγεται για την μεταφορά των δεδομένων. Η σχέση που μας δίνει το άλμα μεταξύ της πύλης και του αισθητήρα είναι:



$$h = \frac{2E}{e}$$

Όπου  $e$  είναι το ποσοστό και  $E$  η ενέργεια.

Για την εξοικονόμηση της ενέργειας ενός αισθητήρα, κατά την μετάδοση δεδομένων, γίνεται χρήση κάποιου πρωτοκόλλου όπως αυτό των πληροφοριών δρομολόγησης (RIP) [βλέπε (34)].

Οι πληροφορίες που μεταδίδει ένας αισθητήρας προς τους κόμβους, περιέχουν το πλήθος των μετακινήσεως ως προς την πύλη και το υπόλοιπο τις ενέργειας του (βλέπε [33]).

Υπάρχουν πληθώρα ασύρματων δικτύων αισθητήρων που μπορούν να τοποθετηθούν στον περιβάλλοντα χώρο ενός «Smart home», οι κυριότεροι είναι αισθητήρες που μετράνε τις περιβαλλοντικές αλλαγές, οι αισθητήρες θέσης και αισθητήρες αφής. Οι περιβαλλοντικοί αισθητήρες, προσδιορίζουν την ποιότητα του αέρα, τον φωτισμό του χώρου, την υγρασία, ενώ οι αισθητήρες θέσης την οποιαδήποτε κίνηση που συμβαίνει στο εύρος της ακτίνας των αισθητήριων κόμβων. Οι αισθητήρες αφής, έχουν μια τρύπα στην μέση, η οποία τους επιτρέπει μια κατασκευή ώστε να «νιώθουν» τα αντικείμενα.

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας οι αισθητήριοι κόμβοι έχουν την δυνατότητα να τοποθετηθούν όχι μόνο σε οικιακές ηλεκτρικές συσκευές, όπως ηλεκτρικές σκούπες, ψυγεία αλλά και σε έπιπλα. Οι κόμβοι μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους αλλά και με άλλους εξυπηρετητές, άλλων δωματίων. Με την εφαρμογή τους, δημιουργούν δύο διαφορετικές προοπτικές, αυτή της ανθρωποκεντρικής και της τεχνοκεντρικής. Με την ανθρωποκεντρική προσέγγιση, το έξυπνο οικιακό περιβάλλον προσαρμόζεται για να εξυπηρετήσει τις ανάγκες του χρήστη. Ενώ, στην τεχνοκεντρική προσέγγιση αναπτύσσονται δικτυακές επιλύσεις και νέες τεχνολογίες υλικών (βλέπε [35]).



### 2.2.1 Παραδείγματα χρήσης WSN σε «Smart home»

#### 1. Φωτισμός κτηριακής εγκατάστασης με την χρήση φωτοβολταϊκών

Σε εσωτερικούς κτηριακούς χώρους τα ηλιακά φωτιστικά ενδείκνυνται για την εξοικονόμηση ενέργεια σε συνδυασμό με τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τα φωτοβολταϊκά πάνελ τοποθετούνται εξωτερικά του κτηρίου και συνδέονται ασύρματα με ένα σύστημα WSN με όλους τους λαμπτήρες του κτηρίου. Ο συνδυασμός των φωτιστικών σωμάτων με τους αισθητήρες παρουσίας καθιστούν έναν έξυπνο φωτισμό για τον εσωτερικό και εξωτερικό χώρο μιας κατοικίας (βλέπε [33]).

#### 2. Ενεργειακό τζάκι

Η εξέλιξη στα σύγχρονα τζάκια είναι τεράστια. Ένα σύγχρονο ενεργειακό τζάκι διαθέτει ένα εξειδικευμένο σύστημα αισθητήρων, κατάλληλοι να ανιχνεύουν CO<sub>2</sub>. Σε περίπτωση ανάγκης οι αισθητήρες είναι σε θέση να κλείσουν το σύστημα ή να σημάνουν συναγερμό, παρέχοντας ασφάλεια στον χρήστη. Επιπλέον, είναι σε θέση να ρυθμίζουν την επιθυμητή θερμοκρασία καθώς και την ώρα που θα λειτουργήσει. Ο χρήστης ελέγχει τις ανωτέρω λειτουργίες μέσω από το smartphone του (βλέπε [36]).

#### 3. Σύστημα διαχείρισης κλιματισμού

Ένα σύστημα διαχείρισης κλιματισμού προσαρμόζεται σε κάθε τύπο κλιματιστικού απαιτώντας ελάχιστη καλωδίωση και λίγο χρόνο εγκατάστασης. Τα υλικά που απαιτούνται είναι τα εξής:

- Χειριστήρια για τον έλεγχο του φωτισμού του δωματίου
- Διακόπτες key card για την ρύθμιση της θερμοκρασίας του κλιματιστικού
- Αισθητήρες παρουσίας
- Θερμοστάτες χώρου
- Διακόπτες θέσης- αισθητήρια παραθύρων και πορτών, ώστε να κλείνει η κλιματιστική μονάδα όταν τα παράθυρα ή η πόρτα είναι ανοιχτά (βλέπε [37]).

#### 4. Σύστημα ανίχνευσης αερίου



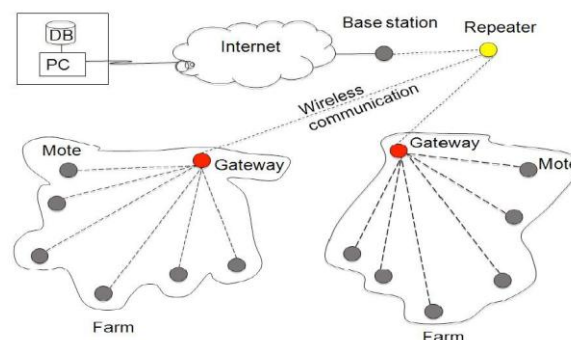
Στην κουζίνα ή στην τουαλέτα μέσω αισθητήρων ανίχνευσης καπνού ή διαρροής αερίου, προειδοποιούν, μέσω μετρήσεων, για την συγκέντρωση παραπάνω ποσότητας αερίου. Οι αισθητήρες συνδέονται με αυτούς των παραθύρων, ανοίγοντας τα, για να βοηθήσουν στο αερισμό του σπιτιού. Επιπλέον, τοποθετούνται αισθητήρες διαρροής νερού, οι οποίοι συνδέονται με έναν συναγερμό, σε περίπτωση που έχει ξεχαστεί βρύση ανοιχτή (βλέπε [38]).

### 2.3 Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων σε «Περιβαλλοντικές Εφαρμογές»

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων που χρησιμοποιούνται σε περιβαλλοντικές εφαρμογές, όπως την γεωργία και την κτηνοτροφία αποτελούνται από τα εξής υλικά:

- Αισθητήρες- Συλλέκτες: Συσκευές οι οποίες υπάρχουν στο χώρο σε μακρινές περιοχές μεταξύ τους και έχουν ως σκοπό την συλλογή και την αποστολή πληροφοριών.
- Βάση- Πύλη: Συσκευή όπου συγκεντρώνει την κάθε πληροφορία ενός αισθητήρα- συλλέκτη και την στέλνει με την σειρά του σε έναν υπολογιστή.
- Υπολογιστής: Στέλνει της πληροφορίες της πύλης σε έναν κεντρικό server.
- Modem: Συνδέεται με τον υπολογιστή και στέλνει τις συλλεγόμενες πληροφορίες στο server.
- Server: Αποθηκεύει όλες τις πληροφορίες και μπορεί να τις αξιοποιήσει με τις κατάλληλες εφαρμογές.

Στο Σχήμα 16 απεικονίζεται η αρχιτεκτονική δομή ενός τέτοιου ασύρματου δικτύου αισθητήρων.



*Σχ. 16: Αρχιτεκτονική WSN σε περιβαλλοντικές εφαρμογές*





Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων το οποίο εγκαθίστατε σε ένα χωράφι ή σε μια φάρμα διαφέρει στην λειτουργία του ανάλογα το σκοπό χρήσης του. Υπάρχουν πολύ αισθητήρες που χρησιμοποιούνται από κτηνοτρόφους ή γεωργούς, για να πραγματοποιούν μετρήσεις ή εργασίες, για να βελτιώσουν τον τρόπο εργασίας τους. Μερικοί από τους αισθητήρες που χρησιμοποιούνται είναι οι ακόλουθοι:

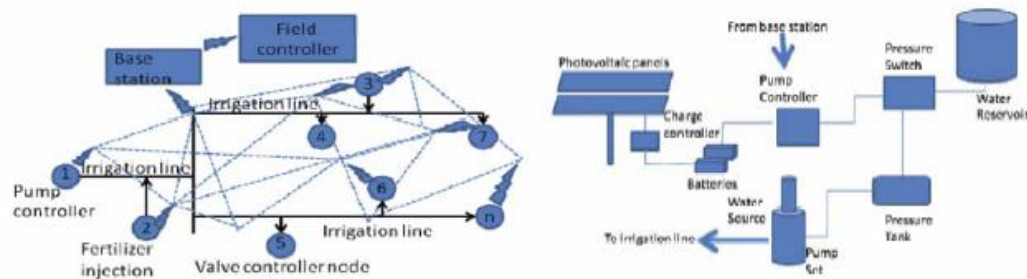
- Αισθητήρες για την μέτρηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος
- Αισθητήρες για τον έλεγχο των ζώων
- Αισθητήρες για την παρακολούθηση ασθενειών και υγρασίας των φυτών
- Αισθητήρες για την κατεύθυνση και την ταχύτητα του ανέμου.

Στην παρακάτω ενότητα αναλύονται παραδείγματα των ασύρματων δικτύων αισθητήρων στο περιβάλλον (βλέπε [39]).

### 2.3.1 Παραδείγματα χρήσης ασύρματων δικτύων αισθητήρων σε «Περιβαλλοντικές εφαρμογές»

#### 1. Εφαρμογή WSN για καλλιέργεια πατάτας

Σκοπός της χρήσης ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων στην καλλιέργεια της πατάτας είναι η βελτίωση της ποιότητάς της και ο καθορισμός του ποτίσματος της. Η δομή του ασύρματου δικτύου αισθητήρων και η δομή που έχει ο εξοπλισμός απεικονίζονται στο Σχήμα 17.



**Σχ. 17:** Η δομή του WSN και η δομή του εξοπλισμού για τον έλεγχο του λιπάσματος και του νερού για την καλλιέργεια της πατάτας.

Τα μεγέθη για την εφαρμογή του κόμβου των αισθητήρων είναι τα εξής:

- Η υγρασία του εδάφους και η ροή του νερού



- Η θερμοκρασία, η ταχύτητα, η υγρασία και ο προσανατολισμός του αέρα
- Η βαρομετρική πίεση

Η εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος για την καλλιέργεια της πατάτες βελτιώνει την ποιότητα της και προσφέρει οικονομία στο νερό (κατά την άρδευση της) και ρεύμα (βλέπε [40]).

### 2. Εφαρμογή WSN στα κολάρα ζώων

Η εφαρμογή ενός WSN γίνεται μέσω ενός κολάρου στο ζώο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 18.



*Σχ. 18: Εφαρμογή WSN σε ζώο*

Πάνω το κολάρο έχει τοποθετηθεί αισθητήρας παίρνοντας διάφορες μετρήσεις για τον κτηνοτρόφο. Αυτές οι πληροφορίες σχετίζονται με την θερμοκρασία που έχει το ζώο, τους χτύπους της καρδιάς του, την αναπνοή του και επιπλέον την τοποθεσία που βρίσκεται το ζώο ανά πάσα στιγμή.

Παίρνοντας τις τιμές των μετρήσεων, ο κτηνοτρόφος, μπορεί να ελέγξει ανά πάσα στιγμή την συμπεριφορά του ζώου σε οποιαδήποτε αλλαγή που επέρχεται το περιβάλλον π.χ. θερμοκρασία (βλέπε [39]).

### 3. Δίκτυο Παρακολούθησης Βιοτόπων και Υγροτόπων

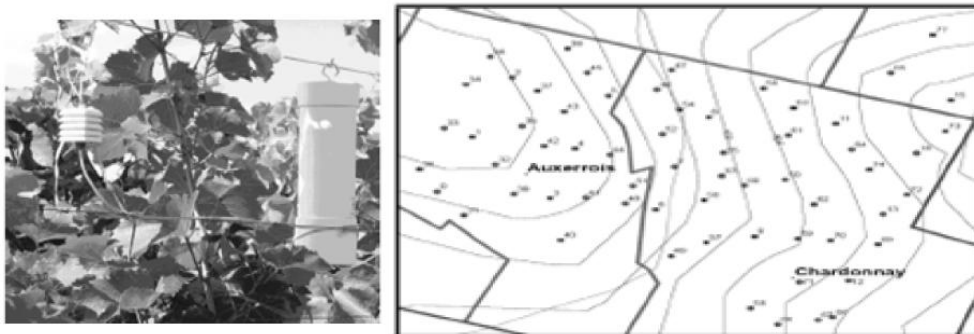
Για την παρακολούθηση των οικοσυστημάτων, ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων προσφέρει πολλά οφέλη καθώς παρέχουν άμεσα πληροφορίες για τις εκάστοτε συνθήκες που επικρατούν, όπως την συμπεριφορά ζωικών και φυτικών οργανισμών.



Στην Ελλάδα ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής, ενός τέτοιου δικτύου παρακολούθησης είναι αυτό του δάσους της Σταφυλίας και της λιμνοθάλασσας Κοτυχίου. Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκε πρόγραμμα δορυφορικής τηλεσκοπικής όλης της περιοχής για την καλύτερη περιβαλλοντική παρακολούθηση του (βλέπε [41]).

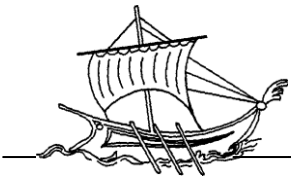
#### 4. Εφαρμογή WSN σε αμπελώνα

Ένα παράδειγμα εφαρμογής ασύρματου δικτύου αισθητήρων σε καλλιέργεια σταφυλιών ήταν αυτό που πραγματοποιήθηκε στις Η.Π.Α. Οι αισθητήρες τοποθετήθηκαν σε προστατευτικούς σωλήνες PVC και έπαιρναν μετρήσεις θερμοκρασίας του φυτού, όπως φαίνεται στο Σχήμα 19.



*Σχ. 19: Εφαρμογή WSN σε αμπελώνες*

Οι μετρήσεις πραγματοποιούνταν από 65 κόμβους αισθητήρων και ήταν σε πραγματικό χρόνο. Το αποτέλεσμα μιας τέτοιας εφαρμογής ήταν η καλύτερη αντιμετώπιση του ψύχους σε μεγαλύτερη οικονομία σε ανθρωποώρες και σε εξοπλισμό (βλέπε [40]).



### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Σύγκριση των WSN

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων τα τελευταία έχουν προκαλέσει το ενδιαφέρον πολλών ερευνητών. Τα αποτελέσματα των ερευνών έχουν οδηγήσει στην δημιουργία πληθώρα εφαρμογών που βελτιώθηκαν χρησιμοποιώντας τα συστήματα των WSN. Η χρήση τους σε εφαρμογές έχουν φέρει αρκετά πλεονεκτήματα σε αυτές. Σε αυτό το κεφάλαιο πραγματοποιείται σύγκριση της εφαρμογής των ασύρματων δικτύων αισθητήρων στο βιομηχανικό περιβάλλον, σε «smart home» και την περιβαλλοντική παρακολούθηση.

Αρχικά ένα WSN είναι εύκολο στην εγκατάσταση και στην συντήρηση του καθώς δεν χρίζει την τοποθέτηση καλωδίων και μπορεί να εγκατασταθεί και σε δύσκολα προσβάσιμους χώρους. Ως συνέπεια της μη χρήσης καλωδίων, μειώνεται το κόστος εγκατάστασης και επιπλέον δεν περιορίζεται η εμβέλεια εφαρμογής του. Αξίζει να σημειωθεί ότι, αν είναι απαραίτητο να μεγαλώσει το εύρος κάλυψης του αρκεί να αυξηθούν οι κόμβοι των αισθητήρων χωρίς να δημιουργηθεί προβλήματα στο ήδη υπάρχων δίκτυο. Επιπλέον, η σχεδίαση ενός δικτύου αισθητήρων είναι απλοποιημένη συγκριτικά με αλλά συστήματα, καθώς με την πληθώρα των πρωτοκόλλων που υποστηρίζει, καλύπτει οποιαδήποτε αλλαγή συνθηκών του συστήματος. Για παράδειγμα, την αλλαγή τοποθεσίας της συλλογής των δεδομένων. Τέλος, ο ρυθμός μεταφοράς των δεδομένων καθώς και η μεγάλη ανοχή σε σφάλμα καθιστά ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων ανταγωνιστικότερο σε σχέση με ένα ενσύρματο δίκτυο. Ο ρυθμός μεταφορών των δεδομένων οχταπλασιάζεται και σε περίπτωση σφάλματος ένας κόμβος αισθητήρων μπορεί να ανακτήσει τα χαμένα δεδομένα. Ενώ, σε ένα ενσύρματο δίκτυο τα δεδομένα μπορεί να μην ανακτηθούν ποτέ.

#### **3.1. Σύγκριση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων στο βιομηχανικό περιβάλλον**

Τα προηγούμενα χρόνια η χρήση ενσύρματων δικτύων ήταν συνηθέστερη από τα ασύρματα δίκτυα. Αυτό οφειλόταν στο μεγάλο οικονομικό κόστος που είχε η εγκατάσταση τους. Τα τελευταία χρόνια όμως, το κόστους τους έχει μειωθεί και η εγκατάσταση τους ολοένα αυξάνεται, διότι η εγκατάσταση καλωδίων επιφέρει



μεγαλύτερο κόστος. Το κόστος των καλωδίων γίνεται ιδιαίτερα αισθητό όταν πρόκειται να αλλάξει η χωροταξία της παραγωγικής μονάδας ή να αντικατασταθούν.

Ένα ασύρματο σύστημα θα πρέπει να είναι ικανό να αντιμετωπίζει όλες τις πιθανές παρεμβολές που παρουσιάζονται σε αυτό. Για παράδειγμα, στην επικοινωνία με τις μη αναμενόμενες διακυμάνσεις στο ρυθμό που μεταδίδονται τα δεδομένα. Ένα σύστημα WSN στο βιομηχανικό περιβάλλον, παρουσιάζει περιορισμούς ως προς την ενέργεια τροφοδοσίας του, έτσι για να την διατηρήσει μπορεί να χρησιμοποιηθούν εξωτερικές πηγές όπως μπαταρία. Σε μια βιομηχανία, οι παρεμβολές που προέρχονται από ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο είναι ικανές να αλλοιώσουν το σήμα του συστήματος. Για να διασφαλιστεί η σταθερότητα στο δίκτυο θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί φάσμα ραδιοσυχνότητας. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι, τα καλώδια με τα χρόνια υπάγονται σε φθορές και η αντικατάστασή τους είναι χρονοβόρες και δαπανηρές σε παράλληλη λειτουργία της βιομηχανικής παραγωγής.

Η ποιότητα των υπηρεσιών που προσφέρει ένα WSN είναι υψηλή, παρέχοντας μεγάλη ακρίβεια στα δεδομένα που παραδίδονται στον κεντρικό έλεγχο. Βασικός παράγοντας όμως για την εξασφάλιση της ακρίβειας των δεδομένων είναι ο χρονικός περιορισμός που υπάρχει για την μετάδοσή τους. Αν υπάρξει μεγάλη χρονική καθυστέρηση τότε μπορεί το σύστημα να πραγματοποιήσει λανθασμένες ενέργειες.

Η ασφάλεια που παρέχει ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων είναι περιορισμένη, αφού υπάρχουν πολλοί τρόποι υποκλοπής, παρεμβολών και κατάληψης των κόμβων, δημιουργώντας σοβαρά προβλήματα στο δίκτυο. Για την αποφυγή τέτοιων κακόβουλων ενεργειών θα πρέπει κατά τον σχεδιασμό του ασύρματου δικτύου αισθητήρων να ληφθεί υπόψη δύο επίπεδα ασφαλείας, χαμηλό και υψηλό. Σε περίπτωση μικρής εμβέλειας επικοινωνίας μεταξύ των κόμβων η υποκλοπή δεδομένων από το δίκτυο είναι δυσκολότερη.

Ένα ακόμη παράγοντας που καθιστά ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων ελκυστικό είναι ο μεγάλος βαθμός ευελιξίας του. Ένα σύστημα WSN έχει την δυνατότητα να μετακινηθεί οπουδήποτε, αρκεί να μην ξεπερνάει την ακτίνα του δικτύου και επιπλέον, μπορεί να επεκταθεί χωρίς να υπάρχει διακοπή στην υπόλοιπη παραγωγική διαδικασία. Ακολουθεί ο Πίνακας 6 με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της χρήσης ασύρματων δικτύων αισθητήρων στην βιομηχανική παραγωγή:



ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
✓ Χαμηλό κόστος τοποθέτησης και συντήρησης.	✓ Περιορισμός στην ενέργεια τροφοδοσίας.
✓ Μείωση ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών μέσω φάσματος ραδιοσυχνοτήτων.	✓ Πιθανότητα υποκλοπής δεδομένων.
✓ Προσδιορισμός ασφάλειας δικτύου στον αρχικό σχεδιασμό του.	✓ Δυνατότητα επέκτασης συστήματος εντός της ακτίνας του δικτύου.
✓ Ακρίβεια στα δεδομένα	✓ Χρονικό περιθώριο λήψης δεδομένων.
✓ Μεγάλη ευελιξία και επεκτασιμότητα.	✓ Απαιτείται υντονισμός μεταξύ των κόμβων.
✓ Βελτίωση παροχής υπηρεσιών.	
✓ Αύξηση των κόμβων χωρίς διακοπή της παραγωγικής διαδικασίας.	
✓ Εγκατάσταση σε δύσκολα προσβάσιμα σημεία της εγκατάστασης.	
✓ Συνύπαρξη με άλλα πρότυπα ασύρματων δικτύων.	
✓ Ποικιλία στα πρωτόκολλα δικτύωσης.	

*Πίνακας 6: Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα χρήσης WSN στο βιομηχανικό περιβάλλον*

### 3.2. Σύγκριση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων σε «Smart home»

Οι εφαρμογές που λαμβάνουν μέρος σε μια κατοικία, στηριζόμενες σε ένα σύστημα ασύρματων δικτύων αισθητήρων, έχουν ως στόχο την βελτιστοποίηση των ήδη



υπαρχόντων εφαρμογών που χρησιμοποιούνται σε αυτό, με την ανθρώπινη παρέμβαση.

Η εγκατάσταση ενός συστήματος κόμβων αισθητήρων σε μια κατοικία αποτελεί ένα μεγάλο κόστος για τον χρήστη. Οι λειτουργίες που μπορούν να προσφέρουν ασύρματοι αισθητήρες μπορούν να εκτελεστούν με την παρουσία του χρήστη στην κατοικία του και η εγκατάσταση ενός τέτοιου συστήματος αποτελεί επιπλέον κόστος για αυτόν. Με την πάροδο του χρόνου, στις παλιότερες τεχνολογίες το κόστος των υπηρεσιών του είναι πιο προσιτές στο ευρύ κοινό.

Το κύριο πλεονέκτημα τέτοιων εφαρμογών είναι η παρακολούθηση που πραγματοποιείται μακρόθεν, χωρίς την ανθρώπινη παρουσία στο χώρο. Ο χρήστης του συστήματος εξυπηρετεί τις ανάγκες του π.χ. την ενεργοποίηση του θερμοσίφωνα με μια απλή εντολή. Μπορεί να πραγματοποιεί έλεγχο εξ αποστάσεως με την χρήση του κινητού του τηλεφώνου ή μέσω του Internet. Με αυτό τον τρόπο ο χρήστης ενημερώνεται οποιαδήποτε στιγμή για την κατάσταση που επικρατεί στην οικία του και έχει την δυνατότητα να παρέμβει και να την διαχειριστεί.

Ένα «Smart home», έχει την δυνατότητα, με τον κατάλληλο προγραμματισμό να παίρνει πρωτοβουλίες και να εκτελεί ενέργειες αυτόματα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να βοηθάει τον κάτοικο του σπιτιού να εξοικονομεί χρόνο για δουλειές του σπιτιού. Για παράδειγμα, το τύλιγμα των τεντών όταν υπάρχει δυνατός αέρας.

Με την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση διάφορων εφαρμογών εντός σπιτιού κάνοντας χρήση των ασύρματων δίκτυο αισθητήρων, γίνεται μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας. Ο χρήστης μπορεί να διαχειριστεί τα ηλεκτρικά φορτία που καταναλώνονται.

Επιπρόσθετα, η ασφάλεια των ανθρώπων, οι οποίοι βρίσκονται μέσα στο οίκημα καθώς και του σπιτιού διασφαλίζεται σε μεγάλο βαθμό. Ένα WSN είναι ικανό έγκαιρα να αναγνωρίσει και να ειδοποιήσει κάποιο πρόβλημα που υπάρχει, σε πραγματικό χρόνο. Υπάρχουν πληθώρα παραδειγμάτων που μπορούμε να ονοματίσουμε, μερικά από αυτά είναι η περίπτωση πυρκαγιάς, ένα ανοιχτό παράθυρο ξεχασμένο ακόμη και η πτώση κάποιου ηλικιωμένου στο σπίτι.



Παρακάτω ακολουθεί ο συνοπτικός Πίνακας 7, με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της χρήσης των ασύρματων δικτύων αισθητήρων σε ένα «smart home»

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
✓ Παρακολούθηση εξ αποστάσεως	✓ Κόστος εγκατάστασης για τον χρήστη
✓ Αυτοματοποιημένες λειτουργίες	
✓ Εξοικονόμηση χρόνου	
✓ Εξοικονόμηση ενέργειας	
✓ Ασφάλεια ανθρώπων και κατοικίας	
✓ Βελτίωση βιοτικού επιπέδου	

*Πίνακας 7: Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα χρήσης WSN σε «Smart home»*

### 3.3. Σύγκριση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων στις Περιβαλλοντικές εφαρμογές

Οι δραστηριότητες του ανθρώπου έχουν επιπτώσεις στο περιβάλλον γύρω από αυτόν. Μέσω της τεχνολογίας των ασύρματων δικτύων αισθητήρων, του δίνεται η δυνατότητα να παρακολουθήσει την επίδραση που έχουν οι περιβαλλοντικές συνθήκες αλλά και οι δραστηριότητές του στο περιβάλλον και να παρέμβει άμεσα σε αυτές.

Για την σωστή παρακολούθηση ενός περιβάλλοντος απαιτείται μια ολοκληρωμένη μελέτη του χώρου, ώστε να εκτιμηθούν οι ανάγκες και οι συνθήκες στις οποίες θα τοποθετηθούν οι κόμβοι των αισθητήρων. Αν το περιβάλλον προς μελέτη είναι τεράστιο (π.χ. πολλά στρέμματα κτήμα), ο αριθμός των κόμβων αισθητήρων που θα τοποθετηθούν θα πρέπει να είναι μεγάλος, ώστε να καταγράφονται περισσότερες μετρήσεις. Αυτό φυσικά, έχει μεγάλο κόστος ως προς τον εργοδότη, αλλά με αυτόν τον τρόπο θα εξυπηρετηθούν σωστά οι ανάγκες του.





Από την άλλη μεριά, οι καταγραφές που θα σημειώσουν οι ασύρματοι αισθητήρες θα εξοικονομήσουν χρήματα στον χρήστη, καθώς θα είναι σε θέση να ξέρει ακριβώς τις περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν και να ενεργήσει αναλόγως, χωρίς περιττές σπατάλες. Για παράδειγμα, με την παρακολούθηση των επιπέδων υγρασίας, θα παροχετεύσει την σωστή ποσότητα νερού στα φυτά ή σε περίπτωση ασθένειας του φυτού το κατάλληλο λίπασμα, χωρίς να επιβαρύνει επιπλέον ο περιβάλλον. Επιπλέον, ο εργοδότης ρυθμίζει όλες τις ενέργειες του χωρίς την φυσική του παρουσία στο χώρο. Με αυτών τον τρόπο μειώνονται οι εργατοώρες.

Το κυριότερο πρόβλημα των ασύρματων αισθητήρων σε αυτή την κατηγορία εφαρμογής τους είναι η κατανάλωση της ενέργειας από τους κόμβους. Συγκεκριμένα, όταν η επέκταση προς μελέτη είναι μεγάλη η ενέργεια που καταναλώνεται από τους ασύρματους κόμβους είναι μελάλη

Παρακάτω απεικονίζεται ο Πίνακας 8 με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της εφαρμογής την ασύρματων δικτύων αισθητήρων στο περιβάλλον.

<i>ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ</i>	<i>ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ</i>
✓ <b>Ακριβής παρακολούθηση των περιβαλλοντικών συνθηκών</b>	✓ Μεγάλο κόστος εγκατάστασης, σε περιπτώσεις μελέτης μεγάλων εκτάσεων.
✓ <b>Εξοικονόμηση χρημάτων</b>	
✓ <b>Προστασία περιβάλλοντος από περιττές ενέργειες</b>	✓ Μεγάλη κατανάλωση ενέργειας
✓ <b>Παρακολούθηση από απόσταση</b>	
✓ <b>Λιγότερες εργατοώρες</b>	

*Πίνακας 8: Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα χρήσης WSN σε περιβαλλοντικές εφαρμογές.*



### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Συμπεράσματα & Μελλοντικές προτάσεις

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων αποτελούνται από κόμβους αισθητήρων, αυτόνομους, που έχουν ως σκοπό να παρακολουθούν και να καταγράφουν διάφορες συνθήκες. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, πραγματοποιήθηκε συγκριτική μελέτη βασισμένη στις εφαρμογές των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Συγκεκριμένα, εξετάστηκαν τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων που εφαρμόζονται σε βιομηχανίες, έξυπνα σπίτια και σε περιβαλλοντικές εφαρμογές τα οποία, δημιουργούν ένα έξυπνο περιβάλλον, το οποίο είναι ικανό να εξυπηρετεί τις ανθρώπινες ανάγκες.

Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων σε βιομηχανικό περιβάλλον είναι η καλύτερη επιλογή τεχνολογίας, ώστε να επιτευχθεί η αποτελεσματικότερη επικοινωνία στο δίκτυο δεδομένων του. Για την καλύτερη αξιοποίηση του θα πρέπει να πραγματοποιηθεί από την αρχή ο σωστός σχεδιασμός του. Κατά τον σχεδιασμό του δικτύου θα πρέπει να ληφθούν όλοι οι περιορισμοί που προσφέρει ένα βιομηχανικό περιβάλλον, καθώς και τις απαιτήσεις του. Η κάθε βιομηχανία παρουσιάζει διαφορετικές ανάγκες είτε βραχυπρόθεσμα είτε μακροπρόθεσμα και διαφορές στο σχεδιασμό του δικτύου, οι οποίες θα πρέπει να κατανοηθούν πλήρως πριν τον σχεδιασμό του ασύρματου δικτύου αισθητήρων. Υπάρχουν πληθώρα πρωτοκόλλων ασύρματης δικτύωσης που ικανοποιούν τις απαιτήσεις κάθε δικτύου.

Η επιλογή εγκατάστασης ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων σε ένα «Smart home» μπορεί να επιφέρει κατά κύριο λόγο σημαντικά πλεονεκτήματα στους ανθρώπους που ζουν σε αυτό. Η τοποθέτησή τους βοηθάει στην σωστή χρήση των συσκευών που βρίσκονται μέσα στην κατοικία, αλλά και στο ίδιο το οίκημα αφού διασφαλίζει σε μεγάλο βαθμό την ασφάλεια του. Η κατάλληλη επιλογή συστήματος κόμβων αισθητήρων προσδιορίζονται ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες και με τις ανάγκες του χρήστη. Για τον λόγο αυτόν, πριν την εγκατάστασή του θα πρέπει να πραγματοποιηθεί μια ολοκληρωμένη μελέτη, για την αναγνώριση των πραγματικών αναγκών του χρήστη.

Τα τελευταία χρόνια η χρήση ασύρματων δικτύων αισθητήρων σε περιβαλλοντικές εφαρμογές αυξάνεται. Μέσω αυτής της τεχνολογίας, η παρακολούθηση των



περιβαλλοντικών εφαρμογών έχει αισθητά βελτιωθεί. Παρά την μεγάλη ενέργεια που καταναλώνουν οι κόμβοι των ασύρματων δικτύων, τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν στον χρήστη είναι πολλά. Μεγάλο πλεονέκτημα τους είναι η παρακολούθηση εξ αποστάσεως, το οποίο κατά συνέπεια γλιτώνουν εργατοώρες και χρήματα στον χρήστη.

Η ολοένα αύξηση προηγμένων τεχνολογιών στην καθημερινότητα μας θα πρέπει να εξαφανίσει τις όποιες επιφυλάξεις υπάρχουν προς σε αυτές και να γίνουν μέρος της ζωής μας. Αποτέλεσμα αυτής της συγκριτικής μελέτης που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα διατριβή, η τεχνολογία των ασύρματων δικτύων αισθητήρων, φέρει μαζί της, πολλές προοπτικές για την βελτίωση της καθημερινότητας μας. Αντιμετωπίζει δυσκολίες, που ο μέχρι τώρα ο τρόπος προσέγγισής τους ήταν χρονοβόρος ή οικονομικά δαπανηρός. Αναμφισβήτητα το WSN αποτελεί μια επανάσταση στην επίδραση μεταξύ του ανθρώπου και της τεχνολογίας, έχοντας ένα λαμπρό μέλλον.

Στην συνέχεια διατυπώνονται κάποιες μελλοντικές επεκτάσεις των ασύρματων δικτύων αισθητήρων στις κατηγορίες που προηγήθηκαν, στην παρούσα συγκριτική μελέτη.

### **Μελλοντικές επεκτάσεις**

Τα βιομηχανικά ασύρματα δίκτυα αισθητήρων βρίσκονται στην αρχή της εξέλιξης τους. Ολοένα όμως λαμβάνουν χώρο στις βιομηχανικές μονάδες, βελτιστοποιώντας και αναπτύσσοντας τις λειτουργίες τους.

Με τις κατάλληλες τροποποιήσεις θα μπορούσε στο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων να τοποθετηθούν και κινητές συσκευές. Με την χρήση κινητών συσκευών θα αξιοποιόντουσαν περισσότερα δεδομένα και θα αυξανόντουσαν το πλήθος των εφαρμογών που θα συνεργάζονταν το δίκτυο.

Η τοποθέτηση ασύρματων αισθητήρων σε έξυπνες κατοικίες τα τελευταία χρόνια έχουν αυξηθεί ωστόσο, η εφαρμογή τους επέρχεται βελτιώσεις. Ειδικότερα, θα μπορούσαν να εξελιχθούν ώστε να βοηθάνε ανθρώπους με προβλήματα υγείας. Να δημιουργηθεί ένα σύστημα παρακολούθησης για ασθενείς με προβλήματα κινητικά ή όρασης, ώστε να μπορούν να αυτοεξυπηρετηθούν. Επιπλέον, θα μπορούσαν να



συλλεχθούν και να αναλυθούν δεδομένα των ασθενών ενώ βρίσκονται μέσα στο σπίτι και να ειδοποιείται ο ιατρός σε πραγματικό χρόνο.

Το κύριο ζήτημα ως προς μελέτη και βελτίωση σε ένα σύστημα ασύρματων δικτύων αισθητήρων, το οποίο παρακολουθεί ένα περιβάλλον είναι η μεγάλη δαπάνη της ενέργειας του. Θα πρέπει να γίνουν μελέτες για την εύρεση και δημιουργία πρωτοκόλλων κατάλληλων να εξισορροπούν την ενέργεια που καταναλώνει το σύστημα.



**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- [1] Διπλωματική εργασία με θέμα: Ανάπτυξη ασύρματου δικτύου αισθητήρων και ελεγκτών στο Εργαστήριο Γενικής Ηλεκτροτεχνίας, Κατσαούνη Γεωργίου, τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών της Πολυτεχνικής Σχολής, Πανεπιστήμιο Πατρών, Οκτώβριος 2013.
- [2] <http://www.globalsecurity.org/intell/systems/sosus.htm>
- [3] Διπλωματική εργασία με θέμα: Μικροκεραίες σε δίκτυα αισθητήρων για εφαρμογές υγείας, Τσιμπούκη Ναταλία, τμήμα Μεταπτυχιακών Σπουδών “Προηγμένα Συστήματα Υπολογιστών και Επικοινωνιών”, Θεσσαλονίκη, Ιούνιος 2009.
- [4] Διπλωματική εργασία με θέμα: Ασφάλεια στα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων, Αλέξανδρος, Κ. Καπετανάκης, τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ιούλιος 2005.
- [5] Διπλωματική εργασία με θέμα: Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων στην Περιβαλλοντική Παρακολούθηση, Βουραντώνης Σαράντος, τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Φεβρουάριος 2012
- [6] Andrew S. Tanenbaum, Δίκτυα Υπολογιστών, Εκδ. Παπασωτηρίου, 3<sup>η</sup> έκδοση, 2000.
- [7] Ian F. Akyldiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, Erdal Cayirci, “A survey on Sensor Networks”, IEEE Communications Magazine, August 2002.
- [8] <https://www.elprocus.com/architecture-of-wireless-sensor-network-and-applications/>
- [9] Karl H. and Willig A., Protocols and Architectures for Wireless Sensors Networks, 1<sup>st</sup> Ed. Wiley, 2006.
- [10] Εργασία: Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων, Τσατσαρώνης Μιχάλης, τμήμα Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών, ΤΕΙ Λάρισας.



- [11] “White Paper EnOcean: “Wireless sensor solution for home & building automation- the successful standard uses energy harvesting”, White Paper, EnOcean Alliance, August 2007.
- [12] “EnOcean, “Specification V 1.0: EnOcean Radio Protocol”, EnOcean, Germany, February 2011.
- [13] Wikipedia, “EnOcean”, 5 April 2017  
Διαθέσιμο Online στο: <https://en.wikipedia.org/wiki/EnOcean>
- [14] Διπλωματική εργασία με θέμα: Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων και Ζητήματα Ασφάλειας, Απόστολος Σπένδας, τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, Ιούλιος 2012.
- [15] Πτυχιακή εργασία με θέμα: Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (Παράδειγμα δικτύου μικρής εμβέλειας), Γεώργιος Γούσης, τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Ηπείρου, Μάιος 2014.
- [16] <https://www.elprocus.com/what-is-zigbee-technology-architecture-and-its-applications/>
- [17] International Society of Automation Std, ISA100.11a: An Update on the First Wireless Standard Emerging from Industry for the Industry, ISA 2007.  
Διαθέσιμο Online στο: [www.isa.org/isa100](http://www.isa.org/isa100)
- [18] International Society of Automation, “ISA100.11a-2009, wireless systems for industrial automation: process control and related applications”. Διαθέσιμο Online στο: [www.isa.org/isa100](http://www.isa.org/isa100)
- [19] Ian F. Akyldiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, Erdal Cayirci, «Wireless Sensor Networks: A survey», Computer Networks, 2002.
- [20] J. Yick, B. Mukherjee, D. Ghosal, «Wireless sensor network survey», Computer Network, 2008.
- [21] Διπλωματική εργασία με θέμα: Δίκτυο ασύρματων αισθητήρων για απομακρυσμένη παρακολούθηση, Αναστασίου Γ. Ζωγοπουλου, τμήμα Επικοινωνιών, Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Μάρτιος 2016.

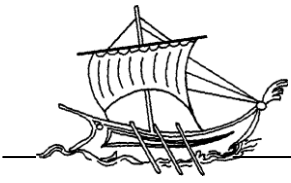


- [22] <https://agrotikes-eykairies.gr/ypostirixi/fytiki-paragwgi/item/120-agrotiki-technologiea-sthn-yphresia-tou-neou-agroth.html>
- [23] C. Herring, S. Kaplan, Component-based software systems for smart environments, IEEE Personal Communications, October 2000.
- [24] M. Ilyas, I. Mahgoub, «Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing Systems», CRC Press, 2004.
- [25] Tan Vu Ngoc, «Medical Applications of Wireless Networks: A survey paper written under guidance of Prof. Raj Jain»,  
Διαθέσιμο Online στο:  
<http://www.cse.wustl.edu/~jain/cse574-08/ftp/medical.pdf>
- [26] Διπλωματική εργασία με θέμα: Μελέτη Δικτύων Αισθητήρων: Πρωτόκολλα, Ενδιάμεσο Λογισμικό και Συστήματα Προσομοίωσης, Ευάγγελος Ανθής, τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Μάρτιος 2005.
- [27] Ian F. Akyildiz, M. C. Vuran, «Wireless Sensor Networks, Willey», 2010.
- [28] <https://www.wired.com/2003/12/network-2/>
- [29] Lakshman Krishnamurthy, Robert Adler, Phil Buonadonna, Jasmeet Chhabra, Mick Flanigan, Nandakishore Kushalnagar, Lama Nachman, Mark Yarvis, “Design and Deployment of Industrial Sensor Networks: Experiences from a Semiconductor Plant and the North Sea”, Proceedings of the Third International Conference on Embedded Networked Sensor Systems, San Diego, November 2005.  
Διαθέσιμο Online στο:  
[https://lasr.cs.ucla.edu/yarvis/Papers/f194-krishnamurthy\\_distro.pdf](https://lasr.cs.ucla.edu/yarvis/Papers/f194-krishnamurthy_distro.pdf)
- [30] Πτυχιακή εργασία με θέμα: Ασύρματα Δίκτυα στο Βιομηχανικό Αυτοματισμό, Αγγελόπουλος Ιωάννης, τμήμα Αυτοματισμού, Α.Τ.Ε.Ι ΠΕΙΡΑΙΑ, 2012.
- [31] Wireless Technologies in Process Automation- Review and an Example to Follow Marko Paavola and Kauko Leiviska, University of Oulu, Control Engineering Laboratory, Finland 2007.



- [32] Διπλωματική εργασία με θέμα: Ασφάλεια ασύρματων δικτύων αισθητήρων (WSN) σε εφαρμογές επιτήρησης και παρακολούθησης περιοχής, Βούρος Ανδρέας, τομέας Συστημάτων μετάδοσης πληροφορίας και τεχνολογίας υλικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Μάρτιος 2015.
- [33] Διπλωματική εργασία με θέμα: Έξυπνα Συστήματα Εξοικονόμησης Ενέργειας σε Κτίρια και Βιομηχανίες, Βασίλειος Χ. Καπετανίδης, τομέας Ηλεκτρικών Βιομηχανικών διατάξεων και συστημάτων αποφάσεων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Μάρτιος 2015.
- [34] Y. Xu, S. Wu, R. Tan, Z. Chen, M. Zha and T. Tsou, “Architecture and Routing Protocols for Smart Wireless Home Sensor Networks,” International Journal of Distributed Sensor Networks, 2013.
- [35] Πτυχιακή εργασία με θέμα: Έξυπνες κτιριακές εγκαταστάσεις, Τσώνης Φμπρίς-Ζόρτζ, τμήμα Ηλεκτρολογίας, ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ, Μάρτιος 2012.
- [36] M. Vucinic, B. Toutancheau, and A. Duda, “Performance Comparison of the RPL and LOADng Routing Protocols in a Home Automation Scenario”, Wireless Communications and Networking Conference, IEEE WCNC, 2013.
- [37] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας, <http://www.cres.gr/kape/index.htm>
- [38] Διπλωματική εργασία με θέμα: Διερεύνηση των Τεχνολογιών και των Εφαρμογών Smart Home στο Χώρο της Υγείας, Ν. Κατσιβέλης, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, τομέας Συστημάτων Μετάδοσης Πληροφορίας και Τεχνολογίας Υλικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Οκτώβριος 2016.
- [39] Διπλωματική εργασία με θέμα: Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων στην γεωργία και την κτηνοτροφία, Γκαντάκας- Σάββας Μιχαήλ, ΔΠΜΣ Πληροφοριακά Συστήματα Δίκτυα Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, Θεσσαλονίκη, Ιανουάριος 2013.
- [40] Πρόγραμμα Γ.Γ.Ν.Γ.: Επιστημονική Υποστήριξη Νέων Αγροτών, Ολοκληρωμένο Σύστημα Παρακολούθησης Μικροκλίματος Καλλιέργειας, Επιστημονική Ομάδα: Δ. Τσελές, Δ. Πυρομάλλης, Δ. Δημογιαννόπουλος, Δ.





Κατζός, Α. Σαρρή, Πρόγραμμα Γ.Γ.Ν.Γ.: Επιστημονική Υποστήριξη Νέων Αγροτών, Τ.Ε.Ι. Πειραιά, 2011.

- [41] Εργασία: Εφαρμογές Δικτύων στ Περιβάλλον, Ν. Χουλέβας, ΔΠΜΣ Πληροφοριακά Συστήματα Δίκτυα Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, Θεσσαλονίκη, Ιανουάριος 2013.