



Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών
& Μηχανικών Υπολογιστών

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Χρήση ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων για την έγκαιρη προειδοποίηση
και πρόληψη μιας πυρκαγιάς. Πεδίο εφαρμογής Μάτι Αττικής»**

ΚΑΓΙΟΥΛΗΣ ΠΕΤΡΟΣ

A.M.: 2820

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣ ΜΙΧΑΗΛ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

Πάτρα, 30/06/2022

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Παρασκευάς Μιχαήλ
2. Αντωνόπουλος Χρήστος
3. Πολίτη Χριστίνα





Περιεχόμενα

Λίστα εικόνων / Πινάκων.....	6
Περίληψη	7
Κεφάλαιο 1	8
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
1.1.1 Τι είναι ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων.....	8
1.1.2 Ιστορική αναδρομή	8
1.2 Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων	9
1.2.1 Αισθητήρες.....	9
1.2.2 Χαρακτηριστικά	11
1.3 Εφαρμογές.....	12
1.3.1 Στον χώρο της υγείας.....	12
1.3.2 Περιβαλλοντικές εφαρμογές.....	13
1.3.3 Οικιακές εφαρμογές	14
1.3.4 Ασφάλεια και παρακολούθηση	14
1.3.5 Δίκτυα οχημάτων	14
1.3.6 Στρατιωτικές εφαρμογές	15
1.4 Τύποι ασύρματων δικτύων αισθητήρων.....	15
1.4.1 Επίγεια	16
1.4.2 Υπόγεια.....	16
1.4.3 Υποβρύχια	17
1.4.4 Πολυμεσικά	17
1.4.5 Δίκτυα με κινητούς κόμβους.....	18
1.5 Τοπολογίες ασύρματων δικτύων αισθητήρων	18
1.5.1 Peer to peer (Ίσος προς ίσο)	18
1.5.2 Star (Αστέρα).....	19
1.5.3 Tree (Δέντρο).....	20
1.5.4 Mesh (πλέγμα).....	20
1.5.5 Hybrid Technology (Υβριδική Τεχνολογία)	21
1.6 Γιατί ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και όχι Ad-Hoc δίκτυα;.....	22
1.6.1 Διαφορές WSN – Ad-Hoc	22

Κεφάλαιο 2	23
Αρχιτεκτονική Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων	23
2.1 Στοιβα πρωτοκόλλων αισθητήριου κόμβου	23
2.1.1 Φυσικό επίπεδο	24
2.1.2 Επίπεδο ζεύξης δεδομένων	25
2.1.3 Επίπεδο δικτύου.....	27
2.1.3.1 Πρωτόκολλα δρομολόγησης	29
2.1.4 Επίπεδο μεταφοράς.....	38
2.1.5 Επίπεδο εφαρμογής.....	39
2.1.6 Επίπεδο διατήρησης της ισχύος.....	40
2.1.7 Επίπεδο διαχείρισης της κινητικότητας.....	40
2.1.8 Επίπεδο διαχείρισης των εργασιών.....	40
2.2 Πρότυπα ασύρματης επικοινωνίας	41
Κεφάλαιο 3	44
3.1 Συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης.....	44
3.2 Συστήματα και πρωτόκολλα επικοινωνίας ενός συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης.....	47
3.3 Αντιμετώπιση απειλών ενός συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης.....	50
3.4 Cyber Physical Systems.....	51
Κεφάλαιο 4	55
4.1 Δάσος και πυρκαγιές	55
4.2 Αίτια των δασικών πυρκαγιών.....	56
4.3 Συνέπειες των δασικών πυρκαγιών.....	57
4.4 Παράγοντες που επιδρούν στην έναρξη και εξάπλωση μιας δασικής πυρκαγιάς.....	58
4.5 Τύποι των δασικών πυρκαγιών	60
Κεφάλαιο 5	61
5.1 Μάτι Αττικής.....	61
5.2 Πυρκαγιά 2018	62
5.3 Μελέτη χωροθέτησης ενός συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης στο Μάτι Αττικής.....	69
5.3.1 Δομή	70

5.3.2	Πρότυπο ασύρματης επικοινωνίας.....	71
5.3.3	Λειτουργία	71
5.3.4	Επικοινωνία.....	72
5.3.5	Αρχιτεκτονική και τοπολογία.....	74
5.3.6	Σενάριο εφαρμογής του συστήματος για μια περιοχή	75
5.3.7	Αισθητήριος κόμβος και σταθμός συλλογής δεδομένων	77
	Βιβλιογραφία	82



Λίστα εικόνων / Πινάκων

Εικόνα 1.1 Αισθητήριος Κόμβος	10
Εικόνα 1.2 Δίκτυο Αισθητήρων.....	10
Εικόνα 1.3 Δίκτυο Αισθητήρων σε έναν άνθρωπο	12
Εικόνα 1.4 Εφαρμογές Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων.....	15
Εικόνα 1.5 Επίγειο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων	16
Εικόνα 1.6 Υπόγειο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων	16
Εικόνα 1.7 Υποβρύχιο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων	17
Εικόνα 1.8 Πολυμεσικό ασύρματο δίκτυο αισθητήρων	17
Εικόνα 1.9 Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων με κινητούς κόμβους.....	18
Εικόνα 1.10 Peer to Peer Τοπολογία	19
Εικόνα 1.11 Star Τοπολογία.....	20
Εικόνα 1.12 Tree Τοπολογία.....	20
Εικόνα 1.13 Mesh Τοπολογία	21
Εικόνα 2. 1 Στοίβα πρωτοκόλλων ασύρματων αισθητήρων.....	24
Εικόνα 2. 2 Επίπεδη δρομολόγηση.....	29
Εικόνα 2. 3 Ιεραρχική δρομολόγηση	31
Εικόνα 2. 4 Ταξινόμηση πρωτοκόλλων δρομολόγησης	35
Εικόνα 2. 5 Οι εφαρμογές του προτύπου ZigBee.....	42
Εικόνα 2. 6 Bluetooth LE.	44
Πίνακας 2. 1 Σύγκριση ιεραρχικής και ομοιόμορφης - επίπεδης δρομολόγησης	32
Πίνακας 2. 2 Σύγκριση πρωτοκόλλων δρομολόγησης	36
Εικόνα 3. 1 Η αρχιτεκτονική δομή ενός CPS.....	53
Εικόνα 5. 1 Χάρτης Μάτι Αττικής.....	62
Εικόνα 5. 2 Αρχή και κατάληξη πυρκαγιάς.....	63
Εικόνα 5. 3 Κατεύθυνση πυρκαγιάς	64
Εικόνα 5. 4 Συνολική έκταση πυρκαγιάς (1).....	65
Εικόνα 5. 5 Χάρτης εγκλωβισμού κατοίκων	65
Εικόνα 5. 6 Συνολική έκταση πυρκαγιάς (2).....	66
Εικόνα 5. 7 Υλικές ζημιές	66
Εικόνα 5. 8 Κάτοικοι καταφεύγουν στην θάλασσα για να σωθούν.....	67
Εικόνα 5. 9 Το Μάτι απο ψηλά (1).....	68
Εικόνα 5. 10 Το Μάτι απο ψηλά (2).....	69
Εικόνα 5. 11 Γενικευμένη μορφή του συστήματος	71
Εικόνα 5. 12 Συνολική γεωγραφική έκταση πυρκαγιάς	75
Εικόνα 5. 13 Δορυφορική κάτοψη Μάτι Αττικής	76
Εικόνα 5. 14 Χωροθέτηση συντονιστή και αισθητήριων κόμβων συστήματος.....	77
Εικόνα 5. 15 Πλακέτα Arduino Uno Rev 3	80
Πίνακας 5. 1 Διαφορές μικροελεγκτή και μικροεπεξεργαστή	79

Περίληψη

Σε αυτήν την εργασία σκοπός μου είναι να αναλύσω πως ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (WSN) μπορεί έγκαιρα να προειδοποιήσει κρατικές υπηρεσίες και πολίτες, για την προφανή εξάπλωση μιας πυρκαγιάς μέσω ενός Cyber Physical System (CPS). Θα γίνει μια αναφορά σε κατηγορίες αισθητήρων, πως αυτοί αποτελούν ένα WSN καθώς και πως μπορούν να υποστηρίξουν ένα σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης. Επιπλέον, θα πραγματοποιηθεί μελέτη χωροθέτησης του συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης με δυνατότητες και καινοτομίες που μέχρι τώρα είχαν περιορισμένη εφαρμογή στον τομέα της διαχείρισης καταστροφών. Τέλος, πεδίο εφαρμογής αυτού του συστήματος θα είναι η περιοχή Μάτι Αττικής καθώς και οι γύρω οικισμοί, που πλήχθηκαν από την πυρκαγιά τον Ιούλιο του 2018 έχοντας ως αποτέλεσμα να κοστίσει την ζωή σε 102 άτομα, αρκετούς τραυματίες και πολλές υλικές και φυσικές ζημιές.



Κεφάλαιο 1

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1.1 Τι είναι ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων

Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (Wireless Sensor Network - WSN) αποτελείται από διασκορπισμένους αυτόνομους αισθητήρες που έχουν σκοπό την συλλογή δεδομένων από την παρακολούθηση φυσικών ή περιβαλλοντολογικών συνθηκών, όπως η θερμοκρασία, ο ήχος, η ατμοσφαιρική πίεση κτλ. και την αποστολή αυτών, μέσω συνεργασίας, σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία που ονομάζεται κόμβος συλλογής ή καταβόθρα (sink).

1.1.2 Ιστορική αναδρομή

Η χρήση των αισθητήρων με δυνατότητες δικτύωσης ξεκινάει από την δεκαετία του 70. Ωστόσο τα εμπλεκόμενα δίκτυα χρησιμοποιούσαν ενσύρματη επικοινωνία, ή έστω λίγους ισχυρούς ασύρματους κόμβους. Μία από τις πρώτες εφαρμογές που χρησιμοποιούσαν διάταξη αισθητήρων αφορούσε μια συστοιχία από radar. Το κίνητρο για την ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων με αισθητήρες ήταν οι στρατιωτικές εφαρμογές, όπως η παρακολούθηση των πεδίων μάχης. Σήμερα τέτοια δίκτυα χρησιμοποιούνται σε πολλές καταναλωτικές και βιομηχανικές εφαρμογές, όπως η παρακολούθηση και ο έλεγχος της βιομηχανικής παραγωγής, η παρακολούθηση των μηχανημάτων υγείας και πολλά άλλα.

Σε άρθρο με τίτλο “21 ιδέες για τον 21ο αιώνα” που δημοσιεύτηκε στο Business Week, ο βραβευμένος με Νόμπελ Horst Stormer έγραψε:

“Οι αισθητήρες μικροϋπολογιστών θα πάνε οπουδήποτε και θα μετρήσουν οτιδήποτε- κυκλοφοριακή ροή, στάθμη ύδατος, αριθμό ανθρώπων που περπατούν, θερμοκρασία-. Αυτό είναι κάτι σαν να αναπτύσσεται ένα νευρικό σύστημα, ένα δέρμα για τη Γη.”

Πράγματι, η χρήση των ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων στην εποχή μας έχει εκτοξευτεί στα ύψη, έχοντας ένα πολύ μεγάλο εύρος εφαρμογών σε αρκετούς τομείς της σύγχρονης κοινωνίας, με στόχο την βελτιστοποίηση της καθημερινότητας του ανθρώπου.

1.2 Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων

1.2.1 Αισθητήρες

Όπως ήδη αναφέρθηκε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων, είναι ασύρματο δίκτυο το οποίο αποτελείται από δεκάδες ή χιλιάδες κόμβους αισθητήρες όπου κάθε ένας από αυτούς είναι μια ηλεκτρονική συσκευή μικρού μεγέθους έχοντας δυνατότητες μέτρησης (θερμοκρασίας, πίεσης, έντασης μαγνητικού πεδίου, επιτάχυνσης κ.α.) αλλά και επεξεργασίας, από την συλλογή, των δεδομένων. Κάθε τέτοιος κόμβος του δικτύου, έχει χαρακτηριστικά μερικά κομμάτια:

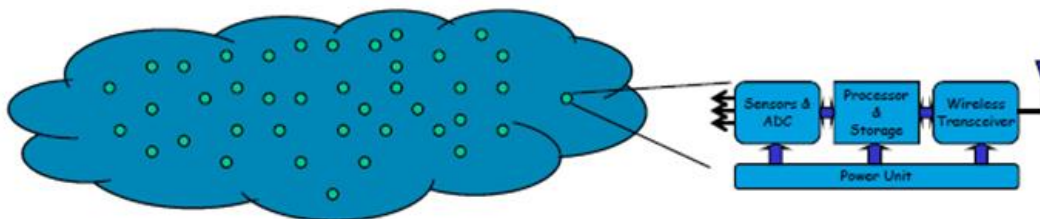
- ένα **ραδιοπομποδέκτη** με μια εσωτερική **κεραία** (ή μια σύνδεση με μια εξωτερική κεραία), για να επικοινωνούν οι κόμβοι μεταξύ τους ή με άλλες συσκευές ασύρματα.
- μια **επεξεργαστική μονάδα**, είναι υπεύθυνη για τον συγχρονισμό και την εκτέλεση όλων των λειτουργιών του συστήματος.
- μια **μνήμη**, συνήθως είναι FLASH memory σε συνδυασμό με την μνήμη που είναι στο chip της επεξεργαστικής μονάδας λόγω χαμηλής κατανάλωσης.
- ένα **ηλεκτρονικό κύκλωμα**, για τη διασύνδεση με τους αισθητήρες
- **αναλογικές – ψηφιακές είσοδοι, αισθητήρες**, παρέχουν την δυνατότητα στους κόμβους να μπορούν να συλλέξουν πληροφορίες από το περιβάλλον.
- μια **πηγή ενέργειας**, συνήθως μια μπαταρία η μια ενσωματωμένη μορφή συγκομιδής ενέργειας.



Εικόνα 1.1 Αισθητήριος Κόμβος

Τα δεδομένα που ανιχνεύονται μεταδίδονται μέσω των κόμβων σε ειδικά σημεία που ονομάζονται καταβόθρες (sinks). Οι καταβόθρες είναι κόμβοι με δύο ή περισσότερες διεπαφές δικτύων που λειτουργούν ως πύλες μεταξύ του ασύρματου δικτύου αισθητήρων και του δικτύου του χρήστη. Η καταβόθρα συνήθως συλλέγει και επεξεργάζεται τα δεδομένα από το δίκτυο και στέλνει μόνο τις αναγκαίες πληροφορίες στο χρήστη.

Ένας κόμβος μπορεί να επικοινωνήσει άμεσα με τη καταβόθρα, κάτι το οποίο συνεπάγεται την υψηλή κατανάλωση ενέργειας λόγω της μεταφοράς των δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις, ή μέσω πολλαπλών αλμάτων περνώντας την πληροφορία μέσω των γειτονικών του κόμβων, μειώνοντας έτσι την απόσταση μετάδοσης και αυξάνοντας ενεργειακά τη διάρκεια ζωής του δικτύου. Η επικοινωνία των κόμβων είναι αμφίδρομη, δηλαδή όπως μεταδίδουν πληροφορίες στο σταθμό βάσης μπορούν να δεχτούν πληροφορίες και από αυτόν.



Εικόνα 1.2 Δίκτυο Αισθητήρων

1.2.2 Χαρακτηριστικά

- **Χαμηλή Κατανάλωση:** η συνήθης πηγή ενέργειας ενός κόμβου είναι μια μικρή μπαταρία με χαμηλή διάρκεια ζωής. Αυτό οδηγεί στην δημιουργία δικτύων με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, υλοποιώντας συγκεκριμένους αλγόριθμους και τεχνικές, για την επίτευξη της μεγάλης διάρκειας ζωής του δικτύου. Επίσης, σε αρκετά δίκτυα αξιοποιούνται και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή ενέργεια. Μια τέτοια υλοποίηση όμως εξαρτάται από τις απαιτήσεις και την θέση του δικτύου.
- **Αυτόνομη Λειτουργία:** κάθε κόμβος έχει την ικανότητα να λειτουργεί αυτόνομα, δηλαδή να ξέρει τι να κάνει και πότε. Αυτό τους δίνει την δυνατότητα να αναλαμβάνουν πολλαπλούς ρόλους και ευθύνες καθώς και να αυτό-διορθώνονται.
- **Μικρό μέγεθος:** έχει ως αποτέλεσμα την γρήγορη εγκατάστασή τους στον χώρο με διάφορες τεχνικές, είτε με πυκνή τυχαία τοποθέτηση ρίχνοντάς τους από κάποιο ύψος, είτε σε συγκεκριμένες μελετημένες θέσεις της περιοχής που θέλουμε να συλλέξουμε δεδομένα.
- **Χαμηλό κόστος:** εκτός από το μικρό μέγεθος οι αισθητήρες έχουν και χαμηλό κόστος, πράγμα που συνεπάγεται ότι και ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων θα έχει χαμηλό κόστος αφού απουσιάζουν και οι καλωδιώσεις. Οι περιορισμοί όμως σε μέγεθος και κόστος έχουν ως αποτέλεσμα αντίστοιχους περιορισμούς σε πόρους όπως ενέργεια, μνήμη, υπολογιστική ταχύτητα και στο εύρος ζώνης των επικοινωνιών.
- **Γρήγορη δημιουργία δικτύων:** ανάλογα με το μέγεθος του δικτύου αλλά και το λογισμικό το οποίο υλοποιούν καθώς και από το υλικό το οποίο αποτελούνται μπορούν πολύ εύκολα και γρήγορα να χαρτογραφήσουν την περιοχή την οποία βρίσκονται και να ξεκινήσουν την προγραμματισμένη λειτουργία τους.
- **Προσαρμοστικότητα:** έχουν την ικανότητα να προσαρμόζονται στα νέα δεδομένα του δικτύου χάρη στην δυναμική τοπολογία τους, σε περίπτωση κάποιας αστοχίας υλικού (π.χ. κάποιος αισθητήρας τεθεί εκτός λειτουργίας) μπορεί άμεσα να αναδιαμορφωθεί το δίκτυο χωρίς να καταρρεύσει.
- **Απλότητα:** οι περιορισμοί για την εξοικονόμηση ενεργειακών και υπολογιστικών πόρων οδήγησαν στον σχεδιασμό απλών,

αποδοτικών αλγορίθμων για την διεκπεραίωση των προγραμματισμένων λειτουργιών του δικτύου.

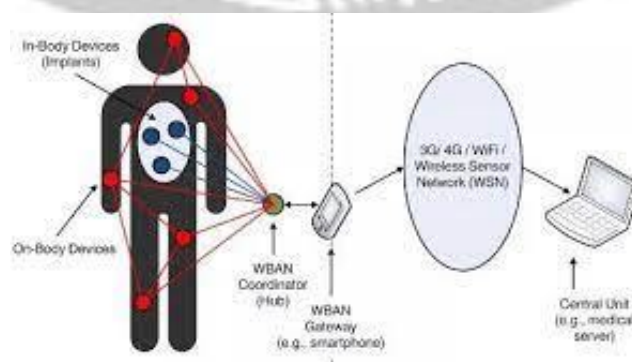
- **Αντοχή σε σφάλματα:** είναι η δυνατότητα του δικτύου αισθητήρων να διατηρεί τη λειτουργικότητά του χωρίς διακοπές που να οφείλονται στις αποτυχίες των κόμβων του.
- **Ποικιλία αισθητήρων:** χάρη στην ύπαρξη διαφορετικών τύπων αισθητήρων όπως σεισμικών, μαγνητικών χαμηλού ρυθμού δειγματοληψίας, θερμικών, οπτικών, υπερύθρων, ακουστικών και ραντάρ, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων έχουν απήχηση σε πολλές εφαρμογές της σύγχρονης κοινωνίας, όπως περιβαλλοντικές, οικιακές στρατιωτικές, βιομηχανικές καθώς και στον χώρο της υγείας.

1.3 Εφαρμογές

Οι αισθητήριοι κόμβοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για συνεχή ανίχνευση, ανίχνευση συμβάντων, ανίχνευση ταυτοτήτων γεγονότων, ανίχνευση θέσης και τοπικό έλεγχο μηχανισμών κίνησης. Επίσης, μπορούν να πραγματοποιήσουν λειτουργίες όπως εντοπισμός στόχου, λήψη μεγάλου πλήθους σημάτων καθώς και βιολογικές μετρήσεις. Κατά συνέπεια όλων των προαναφερομένων έχουμε ένα πολύ μεγάλο εύρος των πιθανών εφαρμογών.

1.3.1 Στον χώρο της υγείας

Με την χρήση τους μπορούμε να παρέχουμε μέσα αλληλεπίδρασης για άτομα με ειδικές ανάγκες, απομακρυσμένη παρακολούθηση κατοίκων ασθενών, διάγνωση, διαχείριση φαρμάκων καθώς και εντοπισμός και παρακολούθηση των γιατρών και ασθενών σε ένα νοσοκομείο.



Εικόνα 1.3 Δίκτυο Αισθητήρων σε έναν άνθρωπο

1.3.2 Περιβαλλοντικές εφαρμογές

Τα δίκτυα αισθητήρων δεν θα μπορούσαν παρά να έχουν εξέχουσα θέση και στις περιβαλλοντολογικές εφαρμογές. Μερικές περιβαλλοντικές εφαρμογές των δικτύων αισθητήρων περιλαμβάνουν την παρακολούθηση των κινήσεων των ζώων, πουλιών και εντόμων, την παρακολούθηση των περιβαλλοντικών συνθηκών που επηρεάζουν την πανίδα και χλωρίδα, την άρδευση, την γεωργία ακριβείας, την χημική και βιολογική ανίχνευση, την βιολογική και περιβαλλοντική παρακολούθηση της θάλασσας, του εδάφους και του αέρα, την παρακολούθηση για φωτιές στα δάση, τη μετεωρολογική και γεωφυσική έρευνα, την ανίχνευση πλημμυρών, την ανίχνευση σύνθετων ζωντανών οργανισμών του περιβάλλοντος, καθώς και τη μελέτη μολύνσεων.

Παρακολούθηση της ρύπανσης του αέρα και των υδάτων. Ο βαθμός ρύπανσης του αέρα και των υδάτων πρέπει να μετράται συχνά προκειμένου να προστατευθεί ο άνθρωπος και το περιβάλλον από κάθε είδους ζημιά που οφείλεται στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Γι αυτόν τον λόγο χρειάζεται η χρήση ακριβών ασύρματων αισθητήρων, ανθεκτικά στην βροχή και στον άνεμο, καθώς και μέθοδοι εξοικονόμησης ενέργειας για να βεβαιωθεί η επάρκεια ενέργειας στο μηχάνημα που θα έχει πιθανόν δύσκολη πρόσβαση.

Παρακολούθηση σύνθετων βιολογικών οργανισμών του περιβάλλοντος. Οι αισθητήριοι κόμβοι έχουν την δυνατότητα να συνδέονται με το διαδίκτυο, το οποίο επιτρέπει σε απομακρυσμένους χρήστες να ελέγχουν, να παρακολουθούν και να παρατηρούν την βιοσυνθετικότητα του περιβάλλοντος. Μολονότι οι δορυφορικοί και αεροπορικοί αισθητήρες παίζουν σημαντικό ρόλο στη μεγάλη κλίμακα βιοδιαφορών, υστερούν στο διαχωρισμό των μικρών βιοδιαφορών οι οποίες είναι και οι περισσότερες σε ένα οικοσύστημα. Σύμφωνα με τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι, απαιτείται η εγκατάσταση ενός δικτύου ασύρματων αισθητήρων στο έδαφος για την παρακολούθηση της βιοσυνθετικότητας.

Πρόληψη φυσικών καταστροφών. Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να ενεργήσουν αποτελεσματικά για να αποτραπούν οι συνέπειες των φυσικών καταστροφών, όπως οι πλημμύρες, μια δασική πυρκαγιά, μια κατολίσθηση, μέσω της παρακολούθησης, σε κάθε περίπτωση, των ανάλογων παραμέτρων εμφάνισης μιας φυσικής καταστροφής.

Γεωργία. Η χρήση ενός ασύρματου δικτύου απελευθερώνει τον αγρότη από τη διατήρηση της καλωδίωσης σε ένα δύσκολο περιβάλλον. Συστήματα νερού, τροφοδοσίας, βαρύτητας, μπορούν να παρακολουθούνται χρησιμοποιώντας πομπούς πίεσης για να παρακολουθούν τα επίπεδα στάθμης νερού και ύστερα τα δεδομένα να μεταφέρονται ασύρματα σε έναν κεντρικό σημείο ελέγχου για επεξεργασία. Εκτός αυτού σημαντικός αρωγός έχει φανεί και στην ακριβή γεωργία, παρέχοντας στους αγρότες ακριβή στοιχεία για τις καλλιέργειες του για την λήψη σημαντικών αποφάσεων, στην διαχείριση της άρδευσης καθώς και τα θερμοκήπια.

1.3.3 Οικιακές εφαρμογές

Το γνωστό έξυπνο σπίτι δεν θα μπορούσε να υφίσταται χωρίς την ύπαρξη των ασύρματων δικτύων αισθητήρων αφού με βάση αυτά και κάποιων μηχανισμών κίνησης που εγκαθίστανται σε αντικείμενα καθημερινής χρήσης, συσκευές και συστήματα, παρέχεται η δυνατότητα του πλήρη απομακρυσμένου ελέγχου μιας κατοικίας. Μειώνεται η σπατάλη ενέργειας και βελτιώνεται η ποιότητα ζωής του ανθρώπου.

1.3.4 Ασφάλεια και παρακολούθηση

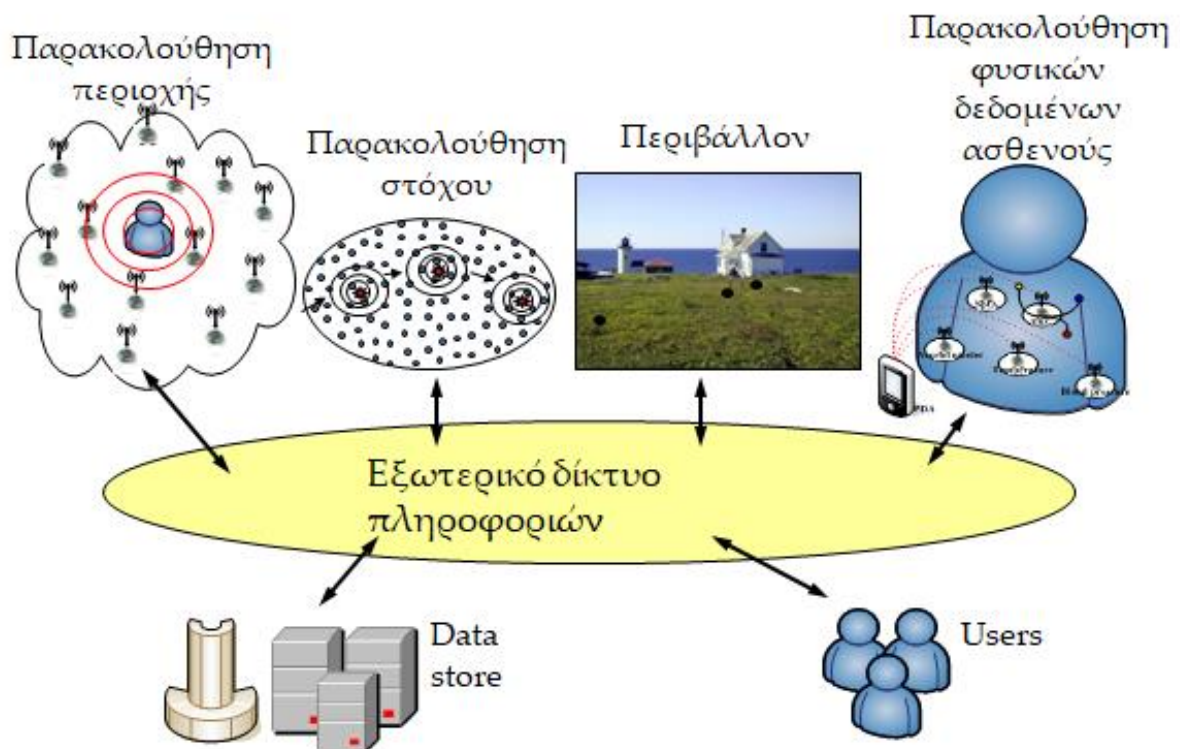
Προηγμένα συστήματα παρακολούθησης για τον εντοπισμό εισβολών σε εγκαταστάσεις καθώς και επικίνδυνων διαρροών ή επικίνδυνων φαινομένων γενικότερα.

1.3.5 Δίκτυα οχημάτων

Παρέχεται η δυνατότητα ελέγχου της κατάστασης των οχημάτων με βάση συγκεκριμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Η παρακολούθηση και η έγκαιρη προειδοποίηση των κυκλοφοριακών συνθηκών στο οδικό δίκτυο καθώς και η προειδοποίηση για απρόβλεπτα συμβάντα.

1.3.6 Στρατιωτικές εφαρμογές

Τα χαρακτηριστικά των δικτύων αισθητήρων, όπως η ταχεία εγκατάσταση, η αυτό-οργάνωση και η αντοχή σε λάθη, τους κατατάσσουν σε ένα πολύ υποσχόμενο αισθητήριο μέσο για πολλά στρατιωτικά συστήματα. Κάποιες από τις στρατιωτικές εφαρμογές των δικτύων αισθητήρων είναι η παρακολούθηση των φιλικών δυνάμεων, του εξοπλισμού και των πυρομαχικών τους, η παρακολούθηση του πεδίου της μάχης, η αναγνώριση των εχθρικών δυνάμεων και του εδάφους, η στόχευση, η αποτίμηση των ζημιών της μάχης, καθώς και η ανίχνευση και αναγνώριση μιας ΡαδιοΒιολογικής/Χημικής και Πυρηνικής (ΡΒΧΠ) απειλής.



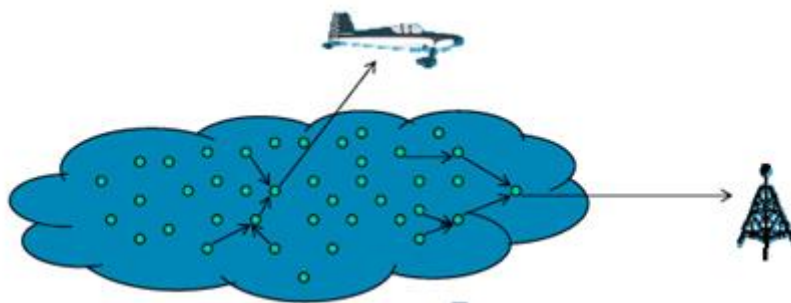
Εικόνα 1.4 Εφαρμογές Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων

1.4 Τύποι ασύρματων δικτύων αισθητήρων

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τα δεδομένα τα οποία πρέπει να συλλέξουν αλλά και με τον χώρο τον οποίο θα τοποθετηθούν – παρακολουθούν.

1.4.1 Επίγεια

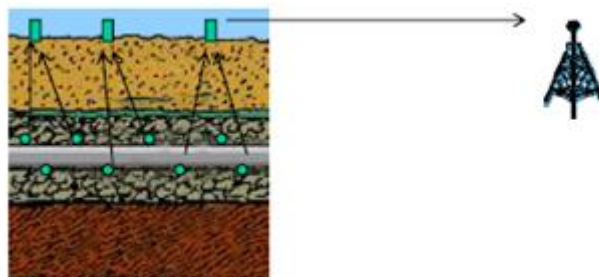
Αποτελούνται από ένα μεγάλο πλήθος κόμβων, συνήθως σε τυχαίες θέσεις, για παράδειγμα τους αναπτύσσουμε πετώντας τους από ένα αεροπλάνο. Οι αισθητήρες αυτοί αποστέλλουν τις μετρήσεις στους στον κόμβο συλλογής, που είτε είναι σταθερός είτε περιοδικά επισκέπτεται το δίκτυο.



Εικόνα 1.5 Επίγριο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων

1.4.2 Υπόγεια

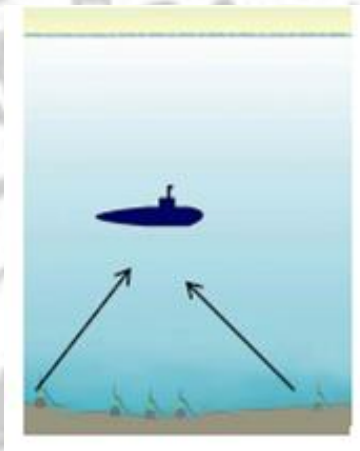
Ένα πλήθος κόμβων τοποθετούνται με ιδιαίτερη προσοχή υπόγεια ή σε κάποιο σπήλαιο. Ενδιάμεσοι κόμβοι τοποθετούνται στην επιφάνεια προκειμένου να προωθούν τις μετρήσεις στον κόμβο συλλογής. Σε αυτήν την κατηγορία των δικτύων έχουμε αυξημένο κόστος, λόγω εγκατάστασης.



Εικόνα 1.6 Υπόγριο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων

1.4.3 Υποβρύχια

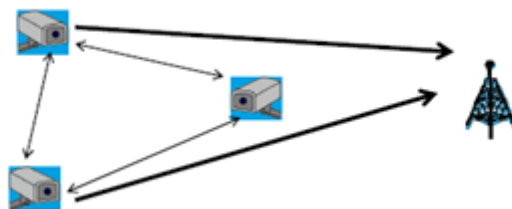
Σε αυτήν την κατηγορία ένα μικρό πλήθος αισθητήρων τοποθετούνται κάτω από το νερό και η ασύρματη επικοινωνία γίνεται με ακουστικά σήματα. Γίνεται αντιληπτό πως η αντοχή των ηλεκτρικών στις αντίξοες συνθήκες που συναντώνται κάτω από το νερό παίζει πολύ μεγάλο ρόλο την διάρκεια ζωής του δικτύου. Τέλος, σε αυτή την περίπτωση η συλλογή των πληροφοριών από τους κόμβους γίνεται από κινητό κόμβο συλλογής.



Εικόνα 1.7 Υποβρύχιο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων

1.4.4 Πολυμεσικά

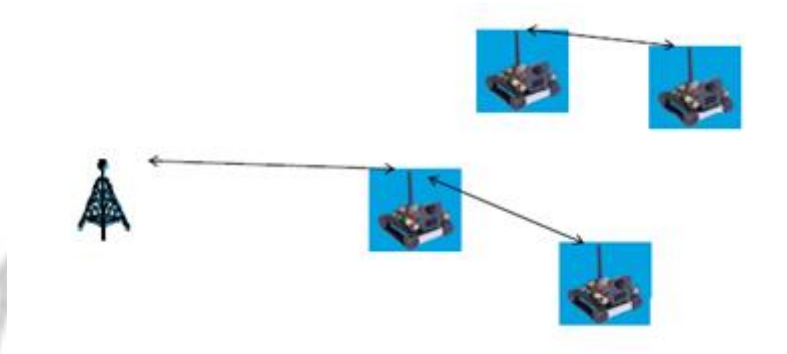
Αποτελούνται από κόμβους αισθητήρες με κάμερες και μικρόφωνα για την συλλογή οπτικοακουστικών δεδομένων. Απαιτείται προσεκτική τοποθέτηση στον χώρο για την πλήρη κάλυψη του τομέα παρακολούθησης.



Εικόνα 1.8 Πολυμεσικό ασύρματο δίκτυο αισθητήρων

1.4.5 Δίκτυα με κινητούς κόμβους

Αποτελούνται από κινητούς αισθητήριους κόμβους που κινούνται αυτόνομα. Προφανώς η τοπολογία του δικτύου είναι χρονικά μεταβαλλόμενη και αφετέρου χρειάζεται ένα δυναμικό αλγόριθμο δρομολόγησης των δεδομένων.



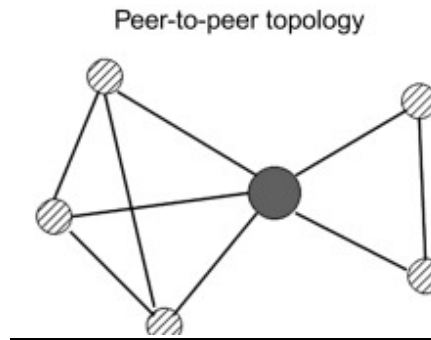
Εικόνα 1.9 Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων με κινητούς κόμβους

1.5 Τοπολογίες ασύρματων δικτύων αισθητήρων

Ανάλογα με τον τρόπο τον οποίο διασυνδέονται και επικοινωνούν οι κόμβοι-πηγές, που παράγουν την πληροφορία, με τους κόμβους-αποδέκτες (sink), που συλλέγουν την πληροφορία από το δίκτυο, καθορίζουν την τοπολογία του. Υπάρχουν τέσσερις δημοφιλής τοπολογίες:

1.5.1 Peer to peer (Ίσος προς ίσο)

Οι κόμβοι μεταξύ τους είναι ίσος προς ίσο, έχουν δηλαδή τα ίδια δικαιώματα στο δίκτυο και ο κάθε κόμβος έχει πρόσβαση στους υπόλοιπους κόμβους. Το δίκτυο επιτρέπει στους κόμβους να μοιράζονται ισοδύναμα τους πόρους του και ταυτόχρονα μπορεί να αξιοποιήσει την συνολική επεξεργαστική ισχύ, τον αποθηκευτικό χώρο καθώς και το bandwidth για υλοποίηση μια εφαρμογής.



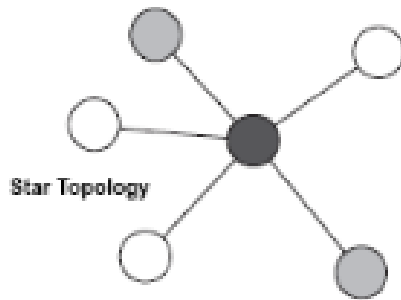
Εικόνα 1.10 Peer to Peer Τοπολογία

Τα peer to peer δίκτυα χωρίζονται σε 3 κατηγορίες:

- Συγκεντρωτικά, υπάρχει ένας κεντρικός κόμβος ο οποίος κρατάει κατάσταση τι έχει κάθε κόμβος.
- Αποκεντρικά, κάθε κόμβος είναι ταυτόχρονα και client και server, έτσι μπορεί ταυτόχρονα και να εξυπηρετήσει και να εξυπηρετηθεί.
- 3^{ης} γενιάς, έχουν κυρίως αποκεντρικό χαρακτήρα, η φιλοσοφία τους είναι η ανωνυμία, υψηλή βιωσιμότητα, στο συνεχή διαμοιρασμό πληροφορίας και στην κωδικοποίηση της έτσι ώστε να μην μπορεί ο κόμβος να αποκτήσει έλεγχο σε αυτήν αν δεν παραχωρηθούν δικαιώματα.

1.5.2 Star (Αστέρα)

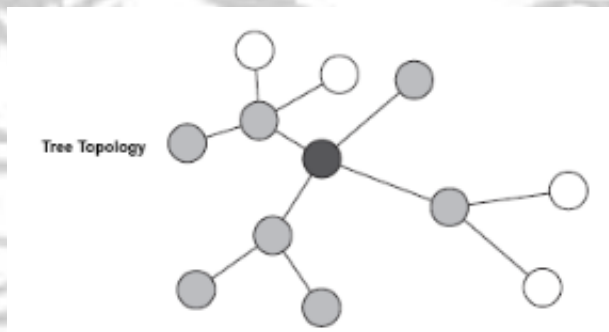
Υπάρχει ένας κεντρικός κόμβος που λειτουργεί σαν μεσολαβητής και μεταφέρει μηνύματα στους κόμβους που βρίσκονται γύρω του. Ο κεντρικός κόμβος πραγματοποιεί αποστολή σε όλους τους κόμβους αυτό που λαμβάνει ή παράγει αφήνοντας έτσι τον κάθε κόμβο να αποφασίσει εάν είναι δικό του το πακέτο που έλαβε και πώς θα το αξιοποιήσει. Η ένωση όλων των κόμβων με το κεντρικό μειώνει την πιθανότητα σφάλματος, αλλά στην περίπτωση που ο κεντρικός κόμβος τεθεί εκτός λειτουργίας το δίκτυο καταρρέει, ενώ αν κάποιος άλλος κόμβος υποστεί κάτι ανάλογο, τότε απλά αυτός απομονώνεται.



Εικόνα 1.11 Star Τοπολογία

1.5.3 Tree (Δέντρο)

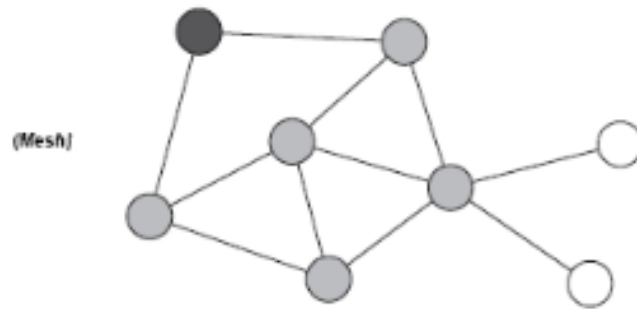
Σε αυτήν την τοπολογία υπάρχει ένας κεντρικός κόμβος και κάτω από αυτόν οι υπόλοιποι κόμβοι όπου ο καθένας ξεχωριστά δημιουργεί την δική του τοπολογία αστέρα.



Εικόνα 1.12 Tree Τοπολογία

1.5.4 Mesh (πλέγμα)

Οι κόμβοι σε αυτήν την περίπτωση εκτός από την παραλαβή και την διάδοση των δικών τους πακέτων, πρέπει να συνεργαστούν με τους γειτονικούς τους κόμβους έτσι ώστε να υπάρξει συνολική μεταφορά δεδομένων σε όλο το δίκτυο.



Εικόνα 1.13 Mesh Τοπολογία

Ο σχεδιασμός τέτοιου είδους δικτύου μπορεί να γίνει με δύο τρόπους:

- Με **καθορισμένη δρομολόγηση**: τα δεδομένα – πακέτα ξέρουν εκ των προτέρων την διαδρομή που θα ακολουθήσουν για να φτάσουν στον τελικό προορισμό.
- Με την **τεχνική «πλυμμήρα» (flooding)**: ο κάθε κόμβος κάνει γενική μετάδοση μηνυμάτων χωρίς συγκεκριμένο παραλήπτη (broadcast) και κάθε παραλήπτης αναμεταδίδει αυτά, έτσι ώστε το δίκτυο να γεμίσει με πληροφορία και κάποια στιγμή να φτάσει στον επιθυμητό κόμβο.

1.5.5 Hybrid Technology (Υβριδική Τεχνολογία)

Σε αυτήν την τοπολογία οι αισθητήρες κόμβοι είναι διατεταγμένοι σε τοπολογία αστέρα μαζί με τους δρομολογητές, οι οποίοι υλοποιούν τοπολογία πλέγματος. Ουσιαστικά η τοπολογία αυτή είναι μια μίξη από διάφορες τοπολογίες μαζί με τα πλεονεκτήματα τους αλλά και τα μειονεκτήματα τους. Τα πλεονεκτήματα χρήσης διαφόρων τοπολογιών είναι η αξιοπιστία που παρέχουν στο δίκτυο αφού δεν υπάρχει κεντρικός κόμβος επικοινωνίας, η μειωμένη κατανάλωση ενέργειας, σε σύγκριση με την τοπολογία πλέγματος καθώς και το ότι υπάρχουν πολλές εναλλακτικές διαδρομές επικοινωνίας μεταξύ των κόμβων. Από την άλλη όμως η διασύνδεση διάφορων τύπων τοπολογιών είναι αρκετά περίπλοκη και ταυτόχρονα η επεκτασιμότητα αυτού του μοντέλου δικτύων δυσχεραίνεται όταν υπερβεί κάποιο όριο.

1.6 Γιατί ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και όχι Ad-Hoc δίκτυα;

Ένα Ad-Hoc δίκτυο θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι είναι ένα απλό τοπικό δίκτυο (LAN). Υπάρχει μια ομάδα κόμβων που επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω ενός ασύρματου καναλιού, χωρίς να στηρίζονται σε μια κεντρική οντότητα για να συντονίσουν την ροή των μηνυμάτων σε κάθε κόμβο του δικτύου, αλλά σε επιμέρους κόμβους οι οποίοι έχουν την ικανότητα να διαβιβάζουν τα πακέτα στους υπόλοιπους κόμβους, έτσι ο καθορισμός του ποιοι κόμβοι προωθούν δεδομένα γίνεται δυναμικά με βάση τη συνδεσιμότητα του δικτύου. Ένα ασύρματο ad hoc δίκτυο αποτελεί έναν αποκεντρωμένο τύπο ασύρματου δικτύου το οποίο δε βασίζεται σε κάποια προϋπάρχουσα υποδομή. Πέρα από την κλασσική δρομολόγηση, τα ad hoc δίκτυα μπορούν να χρησιμοποιήσουν την τεχνική της πλημμύρας για να προωθήσουν τα δεδομένα.

1.6.1 Διαφορές WSN – Ad-Hoc

Ενώ τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων παρουσιάζουν αρκετές ομοιότητες με τα ad-hoc δίκτυα παρόλ' αυτά έχουν κάποιες διαφορές. Οι κυριότερες διαφορές αναφέρονται παρακάτω:

- **Το πλήθος κόμβων:** Ο αριθμός των κόμβων σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων είναι συνήθως πολύ μεγαλύτερος από ότι σε ένα ad-hoc δίκτυο.
- **Η τοπολογία:** Τα δίκτυα αισθητήρων χαρακτηρίζονται από στατικότητα, κάτι που δεν παρατηρούμε στα ad hoc δίκτυα.
- **Η Μεθοδολογία εκπομπής:** Στα ad-hoc δίκτυα η μεθοδολογία είναι point-to-point, ενώ στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι mesh networking, δηλαδή δίκτυα πλέγματος.
- **Οι Δυνατότητες κόμβου:** Στα δίκτυα αισθητήρων οι κόμβοι έχουν πολλούς περιορισμούς σε τομείς της ενέργειας, της υπολογιστικής ισχύος, της μνήμης, της κατασκευής τους.
- **Ο Τρόπος χρησιμοποίησης:** Οι κόμβοι στα δίκτυα αισθητήρων χρησιμοποιούνται για τη συλλογή δεδομένων σε μια περιοχή παρατήρησης, ενώ στα ad-hoc δίκτυα εκτελούν διάφορες υπολογιστικές εργασίες.
- **Η Απουσία μοναδικού χαρακτηριστικού:** Οι κόμβοι σε ένα δίκτυο αισθητήρων είναι πιθανό να μην έχουν κάποιο αναγνωριστικό (MAC/IP διεύθυνση), κάτι που ασφαλώς δεν ισχύει με τους κόμβους σε ένα ad-hoc δίκτυο.
- **Η Κινητικότητα:** Στα ad-hoc δίκτυα οι κόμβοι μετακινούνται πολύ συχνά, ενώ οι κόμβοι ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων παραμένουν σταθεροί.

- **Η Αναπλήρωση ενέργειας:** Στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, οι κόμβοι δεν έχουν συνήθως τη δυνατότητα αναπλήρωσης της ενέργειας που καταναλώνουν σε αντίθεση με τους κόμβους στα adhoc δίκτυα.
- **Η πυκνότητα ανάπτυξης:** Οι κόμβοι στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων αναπτύσσονται στην περιοχή παρατήρησης με μεγαλύτερη πυκνότητα.

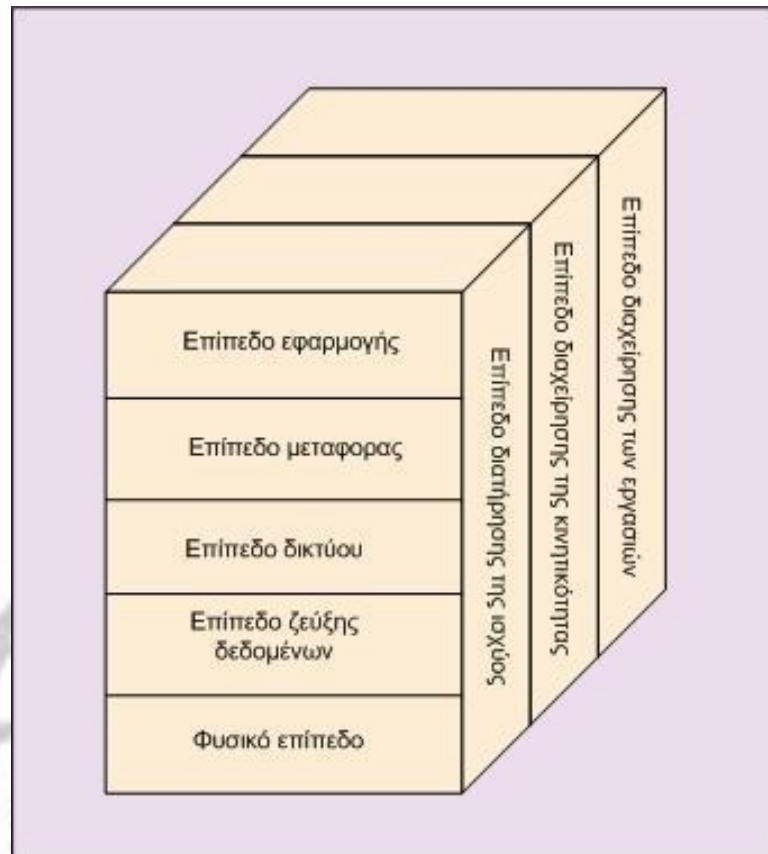
Κεφάλαιο 2

Αρχιτεκτονική Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων

2.1 Στοίβα πρωτοκόλλων αισθητήριου κόμβου

Οι κόμβοι σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων, όπως οποιαδήποτε άλλη συσκευή τηλεπικοινωνιών, χρησιμοποιούν μια συγκεκριμένη στοίβα πρωτοκόλλων (protocol stack). Αυτή χρησιμοποιείται από το σταθμό βάσης (sink) και από τους αισθητήρες, έχοντας τα εξής χαρακτηριστικά:

- Γνωρίζει τα πάντα σε θέματα που αφορούν την ισχύ και την δρομολόγηση δεδομένων.
- Μεταβιβάζει τα δεδομένα στα πρωτόκολλα δικτύων.
- Επικοινωνεί με τους γειτονικούς κόμβους του δικτύου μέσω του ασύρματου μέσου μετάδοσης.
- Είναι αρωγός στην προσπάθεια συνεργασίας των κόμβων του δικτύου.



Εικόνα 2. 1 Στοιβά πρωτοκόλλων ασύρματων αισθητήρων

2.1.1 Φυσικό επίπεδο

Το φυσικό επίπεδο επικεντρώνεται κυρίως σε θέματα διάδοσης του σήματος (επιλογή της συχνότητας, την δημιουργία του φέροντος, την ανίχνευση του σήματος), στον έλεγχο ισχύος, με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας αλλά και στα σχήματα διαμόρφωσης (διαμόρφωση και κρυπτογράφηση των δεδομένων).

Βασικός παράγοντας στον σχεδιασμό του παραμένει η ενέργεια που καταναλώνεται στην επικοινωνία. Η ασύρματη επικοινωνία σε μεγάλες αποστάσεις είναι πολύ πιθανόν να κοστίζει σε πολυπλοκότητα ενέργειας και υλοποίησης. Γι αυτό λοιπόν, η εξοικονόμηση ενέργειας είναι ένα σημαντικό θέμα που θα πρέπει να λαμβάνεται πάντα υπόψη. Επιπλέον, επειδή το περιβάλλον ενός δικτύου αισθητήρων είναι συνήθως θορυβώδες, και επειδή οι κόμβοι είναι δυνατόν να μετακινούνται μέσα στο εν λόγω πεδίο, το πρωτόκολλο ελέγχου μέσης πρόσβασης – MAC(Medium Access

Control) protocol – πρέπει να γνωρίζει τη διαθέσιμη ενέργεια των κόμβων και να είναι σε θέση να ελαχιστοποιεί τις συγκρούσεις οι οποίες προκαλούνται από τις ταυτόχρονες μεταδόσεις γειτονικών κόμβων.

2.1.2 Επίπεδο ζεύξης δεδομένων

Το επίπεδο ζεύξης δεδομένων ασχολείται με την πολύπλεξη των ροών δεδομένων, την ανίχνευση των πλαισίων δεδομένων, την πρόσβαση στο μέσο και τον έλεγχο λαθών. Εξασφαλίζει την αξιόπιστη και αποδοτική επικοινωνία μεταξύ δύο γειτονικών κόμβων (από σημείο σε σημείο – point-to-point) σε ένα δίκτυο, αλλά και την επικοινωνία μεταξύ ενός κόμβου και ενός πολυκομβικού δικτύου (από σημείο σε πολλαπλό σημείο – point-to-multipoint).

Έλεγχος πρόσβασης στο μέσο

Τα ασύρματα δίκτυα είναι μια κατηγορία δικτύων στα οποία ο δίαυλος επικοινωνίας (ο ασύρματος ραδιοδίαυλος) είναι κοινός, δηλαδή τον μοιράζονται πολλοί κόμβοι. Το πρωτόκολλο MAC (Medium Access Control – Έλεγχος Πρόσβασης στο Μέσο) είναι μια πολύ σημαντική τεχνική που επιτρέπει την επιτυχή λειτουργία ενός τέτοιου δικτύου. Υπάρχουν αρκετά πρωτόκολλα MAC που έχουν αναπτυχθεί για ασύρματα δίκτυα φωνής και δεδομένων, όπως το TDMA (time division multiple access) , το CDMA (code division multiple access) και πρωτόκολλα βασισμένα στον ανταγωνισμό, όπως το πολύ επιτυχημένο IEEE 802.11.

Τα δίκτυα αισθητήρων είναι μια ιδιαίτερη κατηγορία ασυρμάτων δικτύων, κλασικά πρωτόκολλα MAC δεν έχουν τα αποτελέσματα που θα περιμέναμε. Αντίθετα το πρωτόκολλο S-MAC (Sensor MAC) είναι ειδικά κατασκευασμένο για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων.

Το S-MAC παρουσιάστηκε το 2001 και θεωρείται πια ένα κλασικό πρωτόκολλο αισθητήρων. Η έμφαση είναι στην εξοικονόμηση ενέργειας, αλλά ταυτόχρονα προσπαθεί να διασφαλίσει χαμηλές καθυστερήσεις στην μετάδοση από άκρη σε άκρη, που είναι το δεύτερο πιο σημαντικό ζήτημα στα δίκτυα

αισθητήρων. Βασίζεται στις παρακάτω τρεις λειτουργίες, εκ των οποίων η σημαντικότερη είναι η πρώτη:

1. Κατάσταση «ύπνου» (sleep mode): Στο S-MAC ένας αισθητήρας μεταβαίνει διαδοχικά σε κατάσταση listening («αφουγκράζεται» το μέσο) και σε κατάσταση sleep («κοιμάται»). Ο χρόνος που διαρκεί μια φάση listening συν τον χρόνο που διαρκεί μια φάση sleep ονομάζονται frame (πλαίσιο). Δηλαδή ένα πλαίσιο είναι ένας πλήρης κύκλος του πρωτοκόλλου. Η κεντρική ιδέα πίσω από αυτό είναι ότι αφού τα δεδομένα σε δίκτυα αισθητήρων προκύπτουν αραιά, δεν χρειάζεται να κρατάμε τους κόμβους σε κατάσταση listening όλη την ώρα, αλλά μπορούμε να τους βάζουμε περιοδικά σε κατάσταση «ύπνου» για να εξοικονομούμε ενέργεια. Όταν όμως έχουμε μετάδοση πακέτων οι κόμβοι θα μείνουν ανοιχτοί για όσο χρόνο απαιτεί η μετάδοση, και αφού αυτή ολοκληρωθεί θα μεταβούν πάλι σε κατάσταση «ύπνου». Αυτή η λειτουργία του πρωτοκόλλου S-MAC έχει μια ανεπιθύμητη συνέπεια, κάθε κόμβος που θέλει να μεταδώσει ένα πακέτο πρέπει να περιμένει πρώτα τον γείτονα του να «ξυπνήσει» γιατί αλλιώς η μετάδοση θα πάει χαμένη.

2. Αποφυγή συγκρούσεων και «κρυφακούσματος»: Το S-MAC υιοθετεί την μέθοδο ανταγωνισμού για τις ταυτόχρονες μεταδόσεις. Συγκεκριμένα ακολουθεί ακριβώς τον ίδιο μηχανισμό με το 802.11. Κάθε κόμβος που θέλει να στείλει ένα πακέτο, αφουγκράζεται πρώτα το μέσο για ένα τυχαίο χρονικό διάστημα (για να μην συμπέσουν οι μεταδόσεις των κόμβων που αποφάσισαν να στείλουν την ίδια στιγμή) και στην συνέχεια αν ανιχνεύσει ότι τα ασύρματα μέσο είναι ελεύθερο αρχίζει την μετάδοση.

3. Πέρασμα πακέτων: Η τεχνική του message passing («πέραςμα» πακέτων) χρησιμοποιείται για να μειώσει τις καθυστερήσεις και την ενέργεια στην μετάδοση μεγάλων μηνυμάτων πληροφορίας. Συγκριμένα κάθε μεγάλο μήνυμα τεμαχίζεται σε μικρά πακέτα τα οποία μεταδίδονται όλα μαζί σε μια ριπή. Για κάθε πακέτο στέλνεται ξεχωριστά ένα πακέτο επιβεβαίωσης έτσι ώστε να μην χρειάζεται η επανεκπομπή όλου του μηνύματος κάθε φορά που χάνετε μόνο ένα πακετάκι. Με αυτό τον τρόπο εξοικονομείται ενέργεια αλλά ταυτόχρονα μειώνονται και οι καθυστερήσεις στην μετάδοση των μεγάλων μηνυμάτων.

2.1.3 Επίπεδο δικτύου

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, λόγω της θέσης των αισθητήρων σε μια περιοχή, απαιτούνται ειδικά multihop ασύρματα πρωτόκολλα δρομολόγησης (wireless routing protocols) προκειμένου να φτάσουν τα δεδομένα από τους αισθητήριους κόμβους στο σταθμό βάσης (sink). Το επίπεδο δικτύου είναι υπεύθυνο για την δρομολόγηση και τη συνάθροιση των δεδομένων μέσα σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων. Μπορεί να παρουσιάζει ομοιότητες με το αντίστοιχο επίπεδο στα κλασικά ασύρματα δίκτυα αλλά έχει μεγαλύτερες απαιτήσεις όσον αφορά στην επεκτασιμότητα, την ενεργειακή απόδοση και την εστίαση στα δεδομένα. Γι αυτόν τον λόγο, στην σχεδίαση του επιπέδου αυτού πρέπει να ληφθούν υπόψη τα εξής: α) η αποτελεσματική χρήση της ενέργειας β) ότι έχουμε δεδομένο-κεντρικά δίκτυα στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων γ) η συνάθροιση των δεδομένων είναι χρήσιμη μόνο όταν δεν δημιουργεί πρόβλημα στην επικοινωνία των κόμβων και δ) ότι ένα ιδανικό δίκτυο αισθητήρων οι κόμβοι δεν έχουν τη δική τους μοναδική διεύθυνση αλλά αναγνωρίζονται με βάση την εκάστοτε θέση τους σε αυτό και από τις ιδιότητες του φαινομένου που παρατηρούν.

A) Δρομολόγηση με βάση την ενέργεια

Ενεργειακά αποδοτικές διαδρομές μπορούν να υπολογιστούν είτε με βάση την διαθέσιμη ενέργεια των αισθητήριων κόμβων, είτε από την ενέργεια που απαιτείται για την μετάδοση δεδομένων από τον έναν κόμβο στον άλλον. Μία ενεργειακά αποδοτική διαδρομή, για δρομολόγηση πακέτων, επιλέγεται με βάση μία από τις παρακάτω μεθόδους:

- Διαδρομή Μέγιστης Διαθέσιμης Ενέργειας: Προτιμάται η διαδρομή εκείνη που έχει τη μέγιστη συνολική διαθέσιμη ενέργεια.
- Διαδρομή Ελάχιστης Ενέργειας: Η διαδρομή ελάχιστης ενέργειας είναι εκείνη που καταναλώνει την ελάχιστη δυνατή ενέργεια για τη μετάδοση πακέτων δεδομένων από τον πηγαίο κόμβο προς το σταθμό βάσης.
- Διαδρομή με τον Ελάχιστο Αριθμό Βημάτων: Επιλέγεται ως η καλύτερη διαδρομή εκείνη που χρησιμοποιεί τα λιγότερα βήματα ή τμήματα διαδρομών (hops) για να φτάσει στο σταθμό βάσης.

- Διαδρομή Μέγιστης Διαθέσιμης Ελάχιστης Ενέργειας Κόμβου:
Προτιμάται η διαδρομή της οποίας η ελάχιστη διαθέσιμη ενέργεια είναι μεγαλύτερη από τις ελάχιστες διαθέσιμες ενέργειες των υπόλοιπων διαδρομών.

Β) Δεδομένο-κεντρικά δίκτυα

Η δεδομένο-κεντρική δρομολόγηση βασίζεται στο ενδιαφέρον που εκδηλώνει ο σταθμός βάσης, ή κάποιοι κόμβοι, για κάποια συγκεκριμένα δεδομένα, και μπορεί να γίνει με δύο διαφορετικούς τρόπους:

1. Οι σταθμοί βάσης μεταδίδουν πακέτα σε όλους τους κόμβους ενημερώνοντας αυτούς για το είδος των δεδομένων που επιθυμούν να λάβουν.
2. Οι αισθητήριοι κόμβοι διαφημίζουν τα δεδομένα που διαθέτουν και αναμένουν αιτήσεις (requests) από τους υπόλοιπους ενδιαφερόμενους κόμβους.

Γ) Συνάθροιση δεδομένων

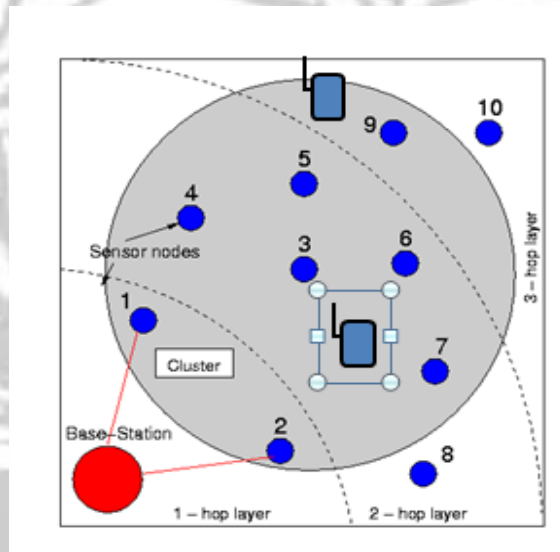
Η συνάθροιση των δεδομένων είναι μία τεχνική η οποία χρησιμοποιείται για την επίλυση προβλημάτων πλήρωσης κενών (implosion) και επικάλυψης (overlap) που υπάρχουν στη δεδομένο-κεντρική δρομολόγηση. Ονομάζεται αλλιώς και συγχώνευση δεδομένων και θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως ένα σύνολο από αυτοματοποιημένες μεθόδους οι οποίες συνδυάζουν τα δεδομένα που προέρχονται από πολλούς διαφορετικούς κόμβους σε ένα σύνολο πληροφοριών που έχουν κάποιο νόημα.

2.1.3.1 Πρωτόκολλα δρομολόγησης

1) Δρομολόγηση με βάση την δομή του δικτύου

- Επίπεδη Δρομολόγηση (Flat ή Layerd)

Συνήθως ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων αποτελείται από τους κόμβους αισθητήρες και τον απομακρυσμένο σταθμό παρακολούθησης. Το δίκτυο είναι οργανωμένο σε ομόκεντρα επίπεδα. Όταν ένας κόμβος πρέπει να στείλει τα δεδομένα, υπολογίζει αρχικά τη συντομότερη διαδρομή από τη θέση του έως τον σταθμό και στη συνέχεια αποστέλλει τα δεδομένα στο σταθμό μέσω ενδιάμεσων (γειτονικών) κόμβων.



Εικόνα 2. 2 Επίπεδη δρομολόγηση

Ένα από τα πρωτόκολλα αυτού του τύπου δρομολόγησης είναι το **SPIN (Sensor Protocols for Information via Negotiation – Πρωτόκολλα Αισθητήρων για Πληροφορίες μέσω Διαπραγμάτευσης)**.

Το SPIN βασίζεται στην εξής ιδέα: Οι κόμβοι λειτουργούν πιο αποτελεσματικά και εξοικονομούν περισσότερη ενέργεια με το να στέλνουν μετά-δεδομένα, δηλαδή, πληροφορίες οι οποίες

περιγράφουν τα διαθέσιμα δεδομένα αντί να στέλνουν τα ίδια τα δεδομένα.

Στο SPIN υπάρχουν τρία είδη μηνυμάτων, το ADV, το REQ και το DATA. Ο κάθε αισθητήριος κόμβος, πριν από την αποστολή ενός μηνύματος DATA, μεταδίδει ένα μήνυμα ADV το οποίο περιέχει έναν περιγραφητή (descriptor), π.χ. μετά-δεδομένα, του μηνύματος DATA. Εάν κάποιος γείτονας ενδιαφέρεται για τα δεδομένα, τότε στέλνει ένα μήνυμα REQ για τα DATA, και στη συνέχεια τα δεδομένα στέλνονται σε αυτόν το γειτονικό αισθητήριο κόμβο. Κατόπιν, ο αισθητήριος κόμβος επαναλαμβάνει την ίδια διαδικασία. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να στέλνονται πακέτα με δεδομένα μόνο σε όσους κόμβους ενδιαφέρονται για αυτά.

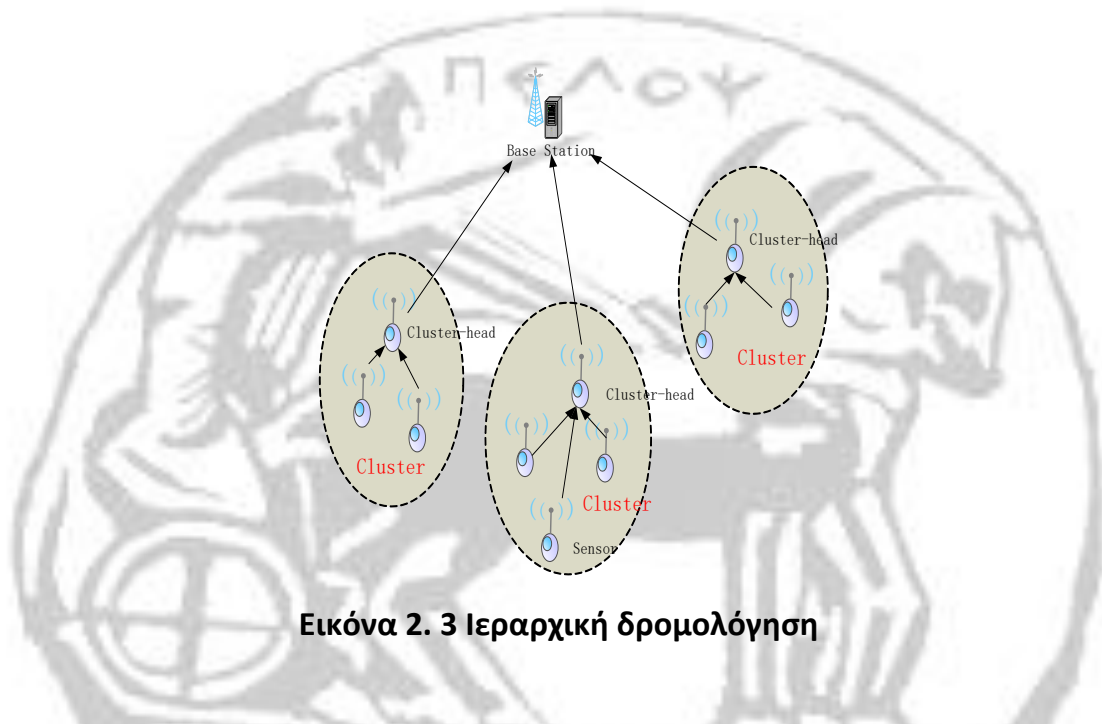
Επίσης, το πρωτόκολλο **Directed Diffusion (κατευθυνόμενη διάχυση)** ανήκει στην επίπεδη δρομολόγηση.

Σε αυτό το πρωτόκολλο ο σταθμός βάσης εκπέμπει ένα μήνυμα ενδιαφέροντος, προς όλους τους κόμβους του δικτύου αισθητήρων. Το μήνυμα ενδιαφέροντος περιέχει διάφορα πεδία, όπως είναι το πεδίο χρονοσφραγίδας (timestamp) και τα πεδία βαθμωτών ανυσμάτων (gradients), τα οποία χρησιμοποιούνται για την εύρεση της διαδρομής που οδηγεί πίσω στο σταθμό βάσης. Στη συνέχεια, ο κάθε κόμβος αποθηκεύει αυτό το μήνυμα ενδιαφέροντος στη μνήμη του, παράλληλα εγκαθίσταται και η διαδρομή που οδηγεί πίσω στο σταθμό βάσης. Όταν οι κόμβοι έχουν να στείλουν δεδομένα στο σταθμό βάσης χρησιμοποιούν την ήδη εγκατεστημένη διαδρομή.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι υπάρχουν πάρα πολλά πρωτόκολλα δρομολόγησης που αφορούν την επίπεδη δρομολόγηση, αλλά επειδή δεν είναι αυτός ο σκοπός της εργασίας, επιγραμματικά θα αναφέρω και τα εξής: **Rumor Routing (δρομολόγηση διάδοσης)**, **Minimum Cost Forwarding Algorithm (MCFA)**, **Information-Driven Sensor Querying (IDSQ)**, **Strained Anisotropic Diffusion Routing (CADR)**, **COUGAR** (κωδική ονομασία του HTML), **Active Query Forwarding in Sensor Networks (ACQUIRE)**.

- **Ιεραρχική δρομολόγηση (Hierarchical ή Cluster)**

Οι κόμβοι αυτόματα και αυτόνομα δημιουργούν ομάδες ή πλέγματα που ονομάζονται clusters. Η διαδικασία αυτή εκτελείται επαναληπτικά δημιουργώντας επίπεδα από ομάδες clusters. Τα δεδομένα από αυτό το σύνολο των κόμβων αποστέλλονται στον επικεφαλής του πλέγματος (cluster head) μέσω πολλαπλών αλμάτων. Ο επικεφαλής του πλέγματος συγκεντρώνει τα δεδομένα και τα αποστέλλει στο σταθμό κάνοντας μόνο ένα άλμα.



Εικόνα 2. 3 Ιεραρχική δρομολόγηση

Το σημαντικότερο πρωτόκολλο δρομολόγησης αυτής της κατηγορίας είναι το **LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy protocol)**. Είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης το οποίο επικεντρώνεται στα πρωτόκολλα επικοινωνίας τα οποία είναι πιθανόν να ασκούν σημαντική επιρροή στην ενέργεια που καταναλώνεται συνολικά στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Οι κόμβοι χωρίζονται σε ομάδες (clusters). Σε κάθε cluster ορίζεται ένας αρχηγικός κόμβος (cluster-head). Κάθε κόμβος επικοινωνεί μόνο με τον cluster-head του cluster του. Ο cluster-head κόμβος συγκεντρώνει-επεξεργάζεται τα δεδομένα και τα στέλνει απευθείας στο επόμενο επίπεδο (σταθμό βάσης).

Το πρωτόκολλο **PEGASIS (Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems)** είναι κι αυτό εξίσου σημαντικό όπως το

προηγούμενο πρωτόκολλο. Αποτελεί βελτίωση του πρωτοκόλλου LEACH. Οι Κόμβοι επικοινωνούν με τους κοντινότερους γείτονες και οι γείτονες παίρνουν σειρά για να επικοινωνήσουν με το σταθμό βάσης. Μετά την ολοκλήρωση ενός κύκλου επικοινωνίας με το σταθμό βάσης ολοκληρωθεί ένας νέος κύκλος ξεκινά.

Επίσης αξιοσημείωτα πρωτόκολλα είναι και τα ακόλουθα:
Threshold-Sensitive Energy Efficient Sensor Network Protocols (TEEN), Adaptive Periodic TEEN (APTEEN), Minimum Energy Communication Network (MECN), SMECN (Small MECN), Self-Organizing Protocol (SOP), Sensor Aggregates Routing (SAR), Virtual Grid Architecture Routing , Two-Tier Data Dissemination (TTDD).

Ιεραρχική Δρομολόγηση	Ομοιόμορφη Δρομολόγηση
Χρονοδιάγραμμα βασισμένο στην εξασφάλιση	Χρονοδιάγραμμα βασισμένο στο συναγωνισμό
Αποφυγή συγκρούσεων	Υπάρχει επιβάρυνση από συγκρούσεις
Μειωμένος κύκλος δέσμευσης οφειλόμενος στην περιοδική κατάσταση ύπνου	Μεταβλητός κύκλος δέσμευσης μέσα από τον έλεγχο του χρόνου ύπνου των κόμβων
Συσσώρευση δεδομένων από τον επικεφαλής της συστοιχίας	Ο κόμβος στο multihop μονοπάτι αθροίζει τα εισερχόμενα δεδομένα από τους γειτονικούς κόμβους
Απλή αλλά όχι βέλτιστη δρομολόγηση	Η δρομολόγηση μπορεί να γίνει βέλτιστη αλλά με μία πρόσθετη πολυπλοκότητα
Απαιτεί καθολικό και τοπικό συγχρονισμό	Οι ζεύξεις σχηματίζονται χωρίς συγχρονισμό
Επιβάρυνση από το σχηματισμό της συστοιχίας σε ολόκληρο το δίκτυο	Οι διαδρομές σχηματίζονται μόνο σε εκείνες τις περιοχές που έχουν να στείλουν δεδομένα
Μικρότερη χρονική καθυστέρηση καθώς το δίκτυο πολλαπλών βημάτων που έχει σχηματιστεί από τους επικεφαλής της συστοιχίας είναι πάντοτε διαθέσιμο	Χρονική καθυστέρηση κατά την αφύπνιση των ενδιαμέσων κόμβων και κατά την εγκατάσταση του πολλαπλού μονοπατιού
Η απώλεια της ενέργειας είναι ομοιόμορφη	Η απώλεια της ενέργειας εξαρτάται από τα σχέδια κίνησης
Η απώλεια της ενέργειας δεν μπορεί να ελεγχθεί	Η απώλεια της ενέργειας προσαρμόζεται προς τα σχέδια κίνησης
Δίκαιη εκχώρηση του καναλιού	Δεν εγγυάται την αμεροληψία

Πίνακας 2. 1 Σύγκριση ιεραρχικής και ομοιόμορφης - επίπεδης δρομολόγησης

- **Θεσική δρομολόγηση (Location)**

Στη Θεσική Δρομολόγηση γίνεται εκμετάλλευση της θέσης των αισθητήριων κόμβων προκειμένου να δρομολογηθούν τα δεδομένα στο δίκτυο.

Τα σημαντικότερα πρωτόκολλα θεσικής δρομολόγησης, είναι το Geographic Adaptive Fidelity (GAF) και το SPAN.

Το **Geographic Adaptive Fidelity (GAF)** είναι ένα πρωτόκολλο το οποίο διαλέγει τους κόμβους που παραμένουν ενεργοί με βάση την γεωγραφική τους θέση χρησιμοποιώντας GPS, παρά με βάση την σχετική θέση που έχουν. Χωρίζει το δίκτυο σε τμήματα με βάση ενός γεωγραφικού πλέγματος. Το μέγεθος των τετραγώνων κελιών του πλέγματος είναι τέτοιο ώστε κάθε κόμβος σε ένα κελί, να είναι σε εμβέλεια κάθε άλλου κόμβου που ανήκει σε γειτονικό κελί.

Τρεις είναι σύμφωνα με το πρωτόκολλο οι καταστάσεις που μπορούν να βρίσκονται οι κόμβοι:

1. Ανακάλυψης (discovery): όπου κάθε κόμβος εντοπίζει τους γείτονες που βρίσκονται στο πλέγμα,
2. Ενεργή (active): όπου ο κόμβος μπορεί να στέλνει δικά του δεδομένα ή χρησιμοποιείται για την δρομολόγηση δεδομένων άλλων κόμβων, και
3. Μη ενεργή (sleep): όπου το υποσύστημα επικοινωνίας του είναι εκτός λειτουργίας.

Οι κόμβοι περιοδικά περνούν από την μη ενεργή κατάσταση σε κατάσταση ανακάλυψης, όπου ακούν ανακοινώσεις από άλλους κόμβους και ανακοινώνουν την θέση τους και την ενέργεια που τους απομένει. Αν ένας κόμβος δεν ακούσει κάποιον με περισσότερη ενέργεια στο κελί, τότε περνάει αυτός σε κατάσταση ενεργή και διατηρεί την συνδεσιμότητα με τα διπλανά κελιά. Όταν περάσει ένα χρονικό διάστημα επανέρχεται σε κατάσταση ανακάλυψης και επιτρέπει και σε άλλους κόμβους να μεταβούν σε ενεργή κατάσταση. Τα χρονικά διαστήματα από μη ενεργή κατάσταση, σε κατάσταση ανακάλυψης υπολογίζονται ώστε να αντικαθίστανται έγκαιρα ο

ενεργός κόμβος από κάποιον άλλον, γεγονός που δηλώνει ότι το πρωτόκολλο απαιτεί συγχρονισμό.

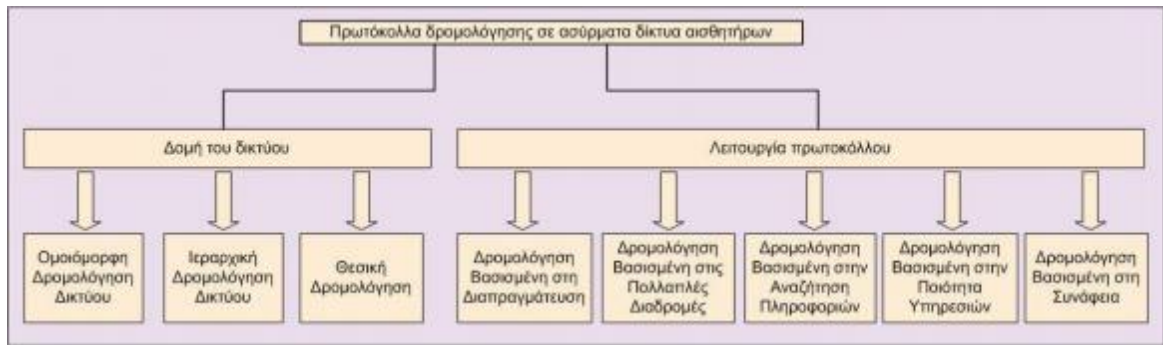
Το πρωτόκολλο **SPAN** βασίζεται σε ένα σύνολο κόμβων που αποτελούν ένα κυρίαρχο σύνολο του δικτύου και ονομάζονται συντονιστές. Οι συντονιστές παραμένουν συνεχώς ενεργοί ενώ οι υπόλοιποι κόμβοι ενεργοποιούνται περιοδικά για να ανταλλάξουν πληροφορίες με τους συντονιστές και να συμμετάσχουν στην εκλογή συντονιστή.

Μερικά ακόμα πρωτόκολλα για την θεσική δρομολόγηση είναι: **Geographic and Energy-Aware Routing (GEAR), Most Forward within Radius (MFR), Geographic Distance Routing (GEDIR), Compass routing method (DIR), Greedy Other Adaptive Face Routing (GOAFR).**

2) Δρομολόγηση ανάλογα με τη λειτουργικότητα

Ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης θεωρείται “Προσαρμόσιμο” (adaptive) εφόσον υπάρχει δυνατότητα ελέγχου κάποιων παραμέτρων του συστήματος προκειμένου αυτό να προσαρμόζεται προς τις τρέχουσες συνθήκες του δικτύου και προς τα διαθέσιμα ενεργειακά αποθέματα. Επιπρόσθετα, αυτά τα πρωτόκολλα, ανάλογα με τις λειτουργίες που εκτελούν, μπορούν να ταξινομηθούν στις εξής “Τεχνικές Δρομολόγησης”:

- Πολλαπλών Διαδρομών (Multipath-based), ενδεικτικά πρωτόκολλα **Maximum Lifetime Routing (MLF)** και **Energy-Aware Routing (EAR)**
- Αναζήτησης Πληροφοριών (Query-based), ενδεικτικά πρωτόκολλα **Directed Diffusion** και **Rumor Routing**
- Διαπραγμάτευσης (Negotiation-based), βασικότερο πρωτόκολλο **SPIN** και
- Ποιότητας Υπηρεσιών (QoS-based), ή Συνάφειας (Coherent-based) ενδεικτικά πρωτόκολλα **Sequential Assignment Routing (SAR)** και **SPEED (Stateless Protocol for Real-time Communication)**



Εικόνα 2. 4 Ταξινόμηση πρωτοκόλλων δρομολόγησης



Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

Πρωτόκολλα	Τξινόμηση	Κινητικότητα	Ενημερότητα Θέσης	Χρήση Ισχύος	Βασισμένο στη Διαπραγματεύση	Συσσωρευση Δεδομένων	Εντοπισμός	Ποιότητα Υπηρεσιών	Πολυπλοκότητα Κατάστασης	Επεκτασιμότητα	Πολυπλό Μονοπάτι	Βασισμένο στο Ερώτημα
SPIN	flat	Πιθανή	Όχι	Περιορ.	Ναι	Ναι	Όχι	Όχι	Χαμ.	Περιορ.	Ναι	Ναι
Direct diffusion	flat	Περιορ.	Όχι	Περιορ.	Ναι	Ναι	Ναι	Όχι	Χαμ.	Περιορ.	Ναι	Ναι
Rumor routing	flat	Πολύ Περιορ.	Όχι	Μη Διαθ.	Όχι	Ναι	Όχι	Όχι	Χαμ.	Καλή	Όχι	Ναι
GBR	flat	Περιορ.	Όχι	Μη Διαθ.	Όχι	Ναι	Όχι	Όχι	Χαμ.	Περιορ.	Όχι	Ναι
MCFA	flat	Όχι	Όχι	Μη Διαθ.	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Χαμ.	Καλή	Όχι	Όχι
CADR	flat	Όχι	Όχι	Περιορ.	Όχι	Ναι	Όχι	Όχι	Χαμ.	Περιορ.	Όχι	Όχι
COUGAR	flat	Όχι	Όχι	Περιορ.	Όχι	Ναι	Όχι	Όχι	Χαμ.	Περιορ.	Όχι	Ναι
ACQUIRE	flat	Περιορ.	Όχι	Μη Διαθ.	Όχι	Ναι	Όχι	Όχι	Χαμ.	Περιορ.	Όχι	Ναι
EAR	flat	Περιορ.	Όχι	Μη Διαθ.	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Χαμ.	Περιορ.	Όχι	Ναι
LEACH	Hierarchical	Σταθερό BS	Όχι	Μέγιστη	Όχι	Ναι	Ναι	Όχι	CHs	Καλή	Όχι	Όχι
TEEN & APTEEN	Hierarchical	Σταθερό BS	Όχι	Μέγιστη	Όχι	Ναι	Ναι	Όχι	CHs	Καλή	Όχι	Όχι
PEGASIS	Hierarchical	Σταθερό BS	Όχι	Μέγιστη	Όχι	Όχι	Ναι	Όχι	Χαμ.	Καλή	Όχι	Όχι
MECN & SMECN	Hierarchical	Όχι	Όχι	Μέγιστη	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Χαμ.	Χαμηλ.	Όχι	Όχι
OP	Hierarchical	Όχι	Όχι	Μη Διαθ.	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Χαμ.	Χαμηλ.	Όχι	Όχι
HPAR	Hierarchical	Όχι	Όχι	Μη Διαθ.	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Χαμ.	Καλή	Όχι	Όχι
VGA	Hierarchical	Όχι	Όχι	Μη Διαθ.	Όχι	Ναι	Ναι	Όχι	CHs	Καλή	Ναι	Όχι
Sensor aggregate	Hierarchical	Περιορ.	Όχι	Μη Διαθ.	Όχι	Ναι	Όχι	Όχι	Χαμ.	Καλή	Όχι	Πιθ.
TTDD	Hierarchical	Ναι	Ναι	Περιορ.	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Μέτρ.	Χαμηλ.	Πιθ.	Πιθ.
GAF	Location	Περιορ.	Όχι	Περιορ.	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Χαμ.	Καλή	Όχι	Όχι
GEAR	Location	Περιορ.	Όχι	Περιορ.	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Χαμ.	Περιορ.	Όχι	Όχι
SPAN	Location	Περιορ.	Όχι	Μη Διαθ.	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Χαμ.	Περιορ.	Όχι	Όχι
MFR, GEDIR	Location	Όχι	Όχι	Μη Διαθ.	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Χαμ.	Περιορ.	Όχι	Όχι
GOAFR	Location	Όχι	Όχι	Μη Διαθ.	Όχι	Όχι	Όχι	Χαμ	Καλή	Όχι	Όχι	Όχι
SAR	Location	Όχι	Όχι	Μη Διαθ.	Ναι	Ναι	Όχι	ναι	Μέτρ.	Περιορ.	Όχι	Ναι
SPEED	QoS	Όχι	Όχι	Μη Διαθ.	Όχι	Όχι	Όχι	Ναι	Μέτρ.	Περιορ.	Όχι	Ναι

Πίνακας 2. 2 Σύγκριση πρωτοκόλλων δρομολόγησης

3) Δρομολόγηση ανάλογα με τον τρόπο που η πηγή εντοπίζει τη διαδρομή προς τον προορισμό

Εκτός από τις ήδη αναφερθείσες ταξινομήσεις, τα πρωτόκολλα δρομολόγησης μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις επιπλέον κατηγορίες, ανάλογα με τον τρόπο που η πηγή ή αφετηρία εντοπίζει τη διαδρομή προς τον προορισμό.

1. **Proactive protocols:** σαν proactive πρωτόκολλα χαρακτηρίζονται αυτά που ανακαλύπτουν την πλήρη τοπολογία του δικτύου και διαδρομές προς όλους τους σταθμούς ανεξαρτήτως της κίνησης του δικτύου.
 - **DSDV (Destination Sequence Distance Vector):** Ένα από τα πιο γνωστά proactive πρωτόκολλα δρομολόγησης. Υλοποιεί δρομολόγηση βήμα-βήμα, διατηρώντας πίνακες ανά σταθμό που περιέχουν το επόμενο σημείο δρομολόγησης πακέτου από τον σταθμό αυτό προς οποιοδήποτε άλλο. Προβάλλει την απαίτηση στον κάθε κόμβο να προωθεί περιοδικά σε ολόκληρο το δίκτυο πληροφορίες σχετικές με την ενημέρωση των πινάκων δρομολόγησης. Έτσι ο κάθε κόμβος εκπέμπει περιοδικά τον πίνακα δρομολόγησης προς όλο το δίκτυο, ώστε με αυτόν τον τρόπο να διατηρηθεί η συνέπεια των πινάκων.
2. **Reactive protocols:** πρωτόκολλα που ανακαλύπτουν διαδρομές προς όλους τους σταθμούς, μόνο όταν υπάρχει κάποιο πακέτο προς μετάδοση.
 - **DSR (Dynamic Source Routing):** Σε αυτό το πρωτόκολλο κάθε πακέτο δεδομένων που πρόκειται να μεταδοθεί περιλαμβάνει όλους τους αισθητήριους κόμβους από τους οποίους θα πρέπει να περάσει προκειμένου να φθάσει στον προορισμό. Αυτή η ιδιότητα είναι γνωστή ως δρομολόγηση πηγής και απαιτεί να γνωρίζει ο αποστολέας την πλήρη διαδρομή προς τον προορισμό.
 - **AODV (Ad Hoc On Demand Distance Vector):** Το πρωτόκολλο αυτό συνδυάζει τις τεχνικές των πρωτοκόλλων DSR & DSDV. Χρησιμοποιεί το μηχανισμό κατ' απαίτηση του DSR για την ανακάλυψη και διατήρηση της διαδρομής και τη βήμα-προς-βήμα δρομολόγηση καθώς και τον αριθμό ακολουθίας του DSDV.

3. **Hybrid protocols:** πρωτόκολλα που συνδυάζουν τις ιδιότητες και τις λειτουργίες των δύο παραπάνω κατηγοριών. Συνήθως επιλέγεται proactive πρωτόκολλο για το εσωτερικό των δικτύων και reactive πρωτόκολλο για την δρομολόγηση μεταξύ των δικτύων.

- **Landmark:** Σε αυτό το πρωτόκολλο υποτίθεται πως υπάρχουν ομάδες κόμβων που έχουν παρόμοια συμπεριφορά κυρίως όσον αφορά στην κίνηση τους. Κάθε ομάδα κόμβων που έχει παρόμοια συμπεριφορά κίνησης ανακηρύσσει ένα σταθμό σαν αρχηγό και μέσω αυτού γίνεται κάθε δρομολόγηση προς και από την ομάδα. Κάθε σταθμός πρέπει να αποκτά πληροφορίες δρομολόγησης μόνο για τον σταθμό αρχηγό που έχει ανακηρύξει η ομάδα που ανήκει, μέσω κάποιου διανυσματικού πρωτοκόλλου. Μεταξύ των σταθμών αρχηγών χρησιμοποιείται οποιοδήποτε πρωτόκολλο όπως AODV, DSR, DSVD.

4) Δρομολόγηση με συνεργάσιμα πρωτόκολλα

Στη δρομολόγηση με συνεργάσιμα πρωτόκολλα, οι κόμβοι αποστέλλουν δεδομένα προς έναν κεντρικό κόμβο, όπου εκεί μπορούν να συγκεντρωθούν και να υποστούν ίσως μία περαιτέρω επεξεργασία, μειώνοντας έτσι ακόμη περισσότερο το κόστος δρομολόγησης σε όρους κατανάλωσης ενέργειας.

2.1.4 Επίπεδο μεταφοράς

Το επίπεδο αυτό είναι ιδιαίτερα απαραίτητο σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων όταν επιθυμούμε η πρόσβαση σε αυτό να γίνεται μέσα από το διαδίκτυο ή άλλα εξωτερικά δίκτυα. Εφόσον τα δίκτυα αισθητήρων εγκαθίστανται προκειμένου να παρακολουθήσουν γεγονότα και να μεταδώσουν πληροφορίες, η ανάγκη σύνδεσης ενός δικτύου ασύρματων αισθητήρων με άλλα δίκτυα είναι απαραίτητη. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία δεν έχουν αναπτυχθεί ακόμα συγκεκριμένοι μηχανισμοί για την λειτουργία του επιπέδου, όμως το πρωτόκολλο TCP με τους μηχανισμούς παραθύρου εκπομπής καθώς και η κατάτμηση του στο κόμβο συλλογής (sink), αποτελούν μια κατάλληλη λύση δίχως ακόμα να έχουν καθιερωθεί.

2.1.5 Επίπεδο εφαρμογής

Το επίπεδο εφαρμογής έχει ως λειτουργία να παρουσιάζει στην εφαρμογή τις απαραίτητες πληροφορίες και να δηλώνει τα αιτήματα της στα κατώτερα επίπεδα στην στοίβα. Ωστόσο το επίπεδο αυτό παραμένει ακόμα ως ένας υπό εξερεύνηση τομέας για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Ενδεικτικά κάποια από τα πρωτόκολλα αυτού του επιπέδου είναι:

- **SMP (Sensor Management Protocol – πρωτόκολλο διαχείρισης αισθητήρων):** Το πρωτόκολλο SMP είναι ένα πρωτόκολλο διαχείρισης που προσφέρει το αναγκαίο λογισμικό προκειμένου να εκτελεστούν κάποιοι διαχειριστικοί στόχοι. Οι διαχειριστές συστημάτων αλληλεπιδρούν με τα δίκτυα αισθητήρων κάνοντας χρήση αυτού του πρωτοκόλλου. Το SMP πρέπει να επικοινωνεί με τους κόμβους κάνοντας χρήση της ονοματοδοσίας βάσει ιδιοτήτων, αλλά και της τοποθεσίας βάσει διευθυνσιοδότησης, προκειμένου να μπορεί να πραγματοποιεί τις παρακάτω λειτουργίες:
 - Να εισάγει στους αισθητήριους κόμβους κανόνες που να έχουν σχέση με τη συγκέντρωση δεδομένων (data aggregation), την ονοματοδοσία βάσει ιδιοτήτων, και τη δημιουργία συστοιχιών (clustering).
 - Να ανταλλάσσει δεδομένα που να έχουν σχέση με τους αλγόριθμους εύρεσης θέσης.
 - Να φροντίζει για το συγχρονισμό των αισθητήριων κόμβων.
 - Να μετακινεί τους αισθητήριους κόμβους.
 - Να θέτει τους αισθητήριους κόμβους ΕΝΤΟΣ/ΕΚΤΟΣ λειτουργίας.
 - Να αναζητά πληροφορίες (querying) σχετικές με την κατάσταση των κόμβων αισθητήρων, καθώς και με τη διάρθρωση και την αναδιάρθρωση του δικτύου.
 - Να παρέχει πιστοποίηση (authentication), διανομή κλειδιών, και ασφάλεια στα δίκτυα επικοινωνίας δεδομένων

- **TADAP (Task Assignment and Data Advertisement protocol – πρωτόκολλο προσδιορισμού έργου και διαφήμισης δεδομένων):** Το TADAP είναι ένα πρωτόκολλο το οποίο παρέχει στο χρήστη λογισμικό με αποδοτικές μονάδες διασύνδεσης για διασπορά ενδιαφέροντος,

μια σημαντική λειτουργία όπου οι χρήστες στέλνουν το ενδιαφέρον τους, που μπορεί να αφορά είτε κάποιο συγκεκριμένο χαρακτηριστικό του φαινομένου, είτε κάποιο ερέθισμα, σε κάποιον αισθητήριο κόμβο ή σύνολο κόμβων ή και σε ολόκληρο το δίκτυο, καθώς και για την διαφήμιση των διαθέσιμων δεδομένων από τους κόμβους στους χρήστες. Σύμφωνα με αυτήν, οι αισθητήριοι κόμβοι διαφημίζουν στους χρήστες τα δεδομένα που διαθέτουν, και στη συνέχεια οι χρήστες αναζητούν τα δεδομένα που τους ενδιαφέρουν.

- **Το SQDDP (Sensor Query and Data Dissemination Protocol – πρωτόκολλο αναζήτησης και διασποράς δεδομένων):** Το πρωτόκολλο SQDDP παρέχει στους χρήστες εφαρμογές με διεπαφές για να μπορούν να θέτουν ερωτήματα, απαντήσεις στα ερωτήματα και συλλογή των απαντήσεων. Τα ερωτήματα αυτά δεν τίθενται σε συγκεκριμένους κόμβους αλλά χρησιμοποιείται διευθυνσιοδότηση βασισμένη σε χαρακτηριστικά ή στην θέση των κόμβων.

2.1.6 Επίπεδο διατήρησης της ισχύος

Το επίπεδο αυτό παρέχει την δυνατότητα στον κόμβο να διαχειριστεί με τον καλύτερο δυνατό τρόπο την ενέργεια που διαθέτει. Επιτρέπει τις λειτουργίες άνοιγμα και κλείσιμο του δέκτη του, όταν ο κόμβος λάβει ένα μήνυμα από τον γειτονικό του κόμβο, με τον τρόπο αυτό αποφεύγει να λαμβάνει διπλά μηνύματα. Ακόμα, όταν το επίπεδο ενέργειας του είναι αρκετά χαμηλό, μπορεί να ενημερώσει τους γειτονικούς του κόμβους ότι δεν θα συμμετάσχει στην δρομολόγηση αλλά με την εναπομείνασα ενέργεια εκτελεί απλά συγκέντρωση δεδομένων.

2.1.7 Επίπεδο διαχείρισης της κινητικότητας

Σε αυτό το επίπεδο εκτελούνται εργασίες όπως ανίχνευση και αποθήκευση της κίνησης των κόμβων αισθητήρων μέσα στο δίκτυο. Αυτό αποσκοπεί στο να διατηρείται πάντα μια διαδρομή προς τον χρήστη και να γνωρίζουν οι κόμβοι τους γειτονικούς τους κόμβους. Γνωρίζοντας οι κόμβοι τους γείτονες τους μπορούν να κάνουν ρυθμίσεις στην ενέργεια και τα καθήκοντα τους.

2.1.8 Επίπεδο διαχείρισης των εργασιών

Το επίπεδο διαχείρισης των εργασιών ρυθμίζει και σχεδιάζει τα καθήκοντα συγκέντρωσης δεδομένων του κάθε κόμβου για μια συγκεκριμένη περιοχή. Δε χρειάζεται όλοι οι κόμβοι σε μια περιοχή να

συγκεντρώνουν δεδομένα ταυτόχρονα, αλλά κάποιοι από αυτούς μπορούν να πραγματοποιούν πιο συχνά τη συγκεκριμένη διαδικασία ανάλογα με τα επίπεδα ενέργειάς τους. Έτσι, οι κόμβοι μπορούν να συνεργάζονται εξοικονομώντας ενέργεια, να δρομολογούν δεδομένα στο δίκτυο αισθητήρων και να μοιράζονται πληροφορίες και πόρους. Χωρίς το επίπεδο αυτό κάθε κόμβος θα δούλευε μεμονωμένα και έτσι ο χρόνος ζωής του δικτύου θα ήταν μικρότερος λόγω της μεγαλύτερης κατανάλωσης ενέργειας.

2.2 Πρότυπα ασύρματης επικοινωνίας

Η διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφόρων εξοπλισμών σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων επιτυγχάνεται με την χρήση συγκεκριμένων προτύπων ασύρματης επικοινωνίας. Με αυτόν τον τρόπο, διαφορετικοί αισθητήρες οι οποίοι παράγονται από διαφορετικούς κατασκευαστές μπορούν να επικοινωνούν και να επιτυγχάνουν έναν κοινό στόχο μέσα στο δίκτυο.

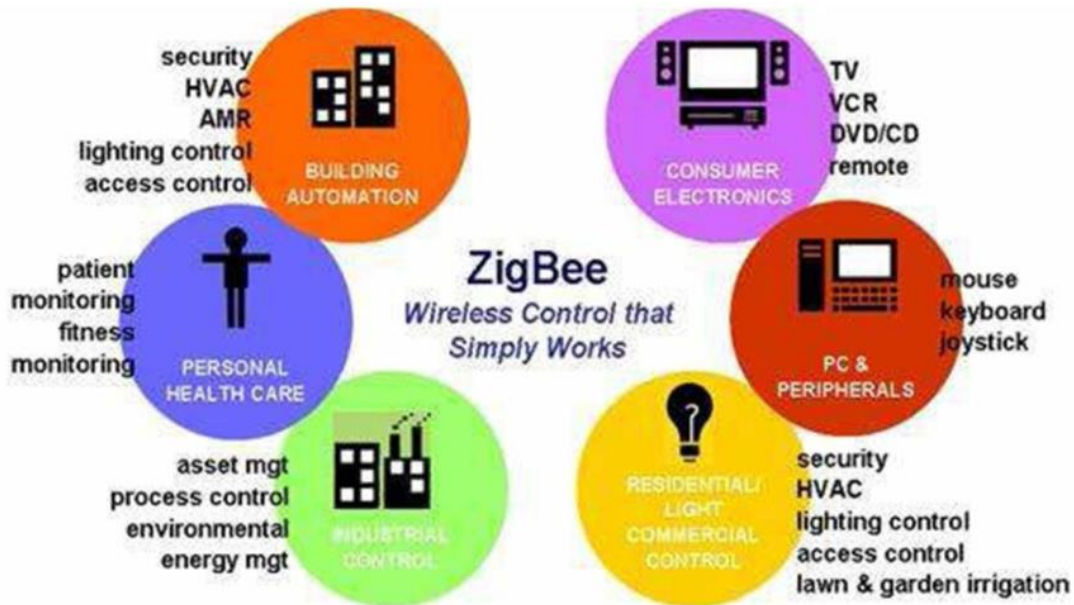
2.2.1 Πρότυπο IEEE 802.15.4

Αποτελεί ηγετικό πρότυπο για τις περισσότερες από τις ασύρματες τεχνολογίες ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Πρόκειται για ένα χαμηλού κόστους, χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας και χαμηλού ποσοστού δεδομένων ασύρματο πρότυπο που αντικαθιστά όλο και περισσότερο την ενσύρματη τεχνολογία στις υπάρχουσες εφαρμογές. Προσδιορίζει το φυσικό επίπεδο και τον έλεγχο πρόσβασης στο μέσο δια του επιπέδου ζεύξης δεδομένων. Επίσης αποτελεί την βάση για πρότυπα όπως το ZigBee, το ISA 100.11a, το WirelessHART και το 6LoWPAN που θα αναφερθούν παρακάτω. Το πρότυπο αυτό παρέχει αρκετή ευελιξία όσον αφορά στην απόσταση και στις θέσεις των συσκευών στο δίκτυο, με σκοπό να ανταποκρίνεται κατάλληλα στις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής.

2.2.2 Πρότυπο ZigBee

Το πρότυπο ZigBee αποτελεί μια σουίτα πρωτοκόλλων επικοινωνίας υψηλού επιπέδου αξιόπιστη, ασφαλής, χαμηλού κόστος και ισχύος και εύκολη στην χρήση η οποία βασίζεται στο πρότυπο IEEE 802.15.4. Χαρακτηριστικό των συσκευών του προτύπου ZigBee αποτελεί η μετάδοση δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις με την βοήθεια ενδιάμεσων συσκευών δημιουργώντας έτσι δίκτυο πλέγματος. Οι εφαρμογές του παραπάνω προτύπου διακρίνονται για το χαμηλό ρυθμό δεδομένων, την μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, και την ασφαλή δικτύωση. Το χαμηλό κόστος επιτρέπει στην τεχνολογία να αναπτυχθεί ευρέως σε ασύρματες εφαρμογές ελέγχου και παρακολούθησης, ενώ η χαμηλή κατανάλωση ισχύος της

επιτρέπει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής με μικρότερες μπαταρίες. Δύο επιλογές που προσφέρει το ZigBee είναι το απλό ZigBee το οποίο είναι σχεδιασμένο για μικρότερα δίκτυα και το ZigBee Pro το οποίο βελτιώνει τις δυνατότητες του απλού ZigBee με σκοπό την υποστήριξη μεγαλύτερων δικτύων, παρέχοντας την ίδια αξιοπιστία και σταθερότητα.



Εικόνα 2. 5 Οι εφαρμογές του προτύπου ZigBee

2.2.3 Πρότυπο 6LoWPAN

Γενικά τα LoWPAN αποτελούν ασύρματα δίκτυα χαμηλής ισχύος κατάλληλα για εφαρμογές που απαιτούν χαμηλή κατανάλωση ισχύος, αρκετούς κόμβους με χαμηλό κόστος και χαμηλές υπολογιστικές δυνατότητες. Το γεγονός ότι τα LoWPAN ενδέχεται να μην πληρούν πάντα τις απαιτήσεις για ασφάλεια και αξιοπιστία, λόγω της μικρής τους εμβέλειας και της χαμηλής κατανάλωσης ισχύος, ώθησε την ομάδα εργασίας του Internet Engineering Task Force (IETF), στην δημιουργία του 6LoWPAN ενσωματώνοντας την IPv6, ενός στρώματος υιοθέτησης, μιας νέας μορφής πακέτων και διαχείρισης διευθύνσεων. Η ιδέα της παροχής ασύρματης σύνδεσης στο Internet σε χαμηλούς ρυθμούς δεδομένων με χαμηλό duty cycle για συσκευές χαμηλών ικανοτήτων ήταν πολύ ελπιδοφόρα για να αναβαθμιστούν τα ασύρματα δίκτυα και να εγγραφούν στη σωστή επικοινωνία από τη μια άκρη τους στην άλλη. Το 6LoWPAN βασίζεται και αυτό στο φυσικό και το στρώμα ζεύξης δεδομένων του IEEE 802.15.4 προτύπου. Υποστηρίζει τοπολογίες τόσο αστέρα όσο και πλέγματος και αποτελείται από πολλά χαμηλής ισχύος ασύρματα δίκτυα

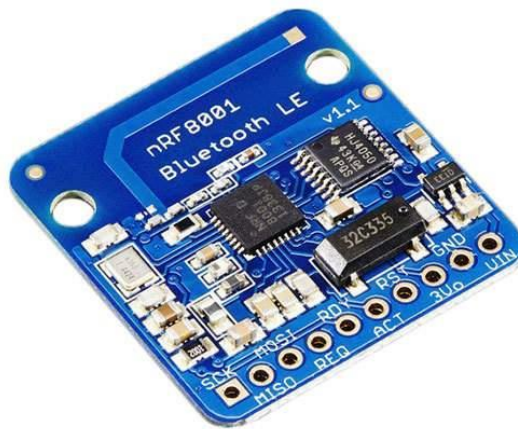
(LoWPAN), τα οποία είναι υπεύθυνα για την αποστολή και λήψη πακέτων IP.

2.2.4 Πρότυπο RuBee

Πρόκειται για ένα πρότυπο σχεδιασμένο για περιβάλλον υψηλής ασφάλειας εφαρμογών. Διακρίνεται για την χρήση μαγνητικών σημάτων με βασικό σκοπό τόσο την λήψη όσο και την αποστολή πακέτων δεδομένων σε ένα περιφερειακό δίκτυο. Η χαμηλή συχνότητα (131 KHz) του RuBee μπορεί να παρουσιάζει καθυστέρηση σε σύγκριση με άλλα πρότυπα αλλά πλεονεκτεί για την αρκετά χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και την ορθή λειτουργία κοντά στον χάλυβα και το νερό. Το πρότυπο RuBee είναι η μόνη ασύρματη τεχνολογία που έχει εγκριθεί για ασφαλείς εγκαταστάσεις. Η κύρια διαφορά μεταξύ RuBee και WiFi ή Zigbee είναι ότι το RuBee λειτουργεί χρησιμοποιώντας το μαγνητικό πεδίο, ενώ το WiFi, το Bluetooth, και το Zigbee λειτουργούν σε ζώνες VHF, UHF ή SHF με το ηλεκτρικό πεδίο. Η χρήση μαγνητικής ενέργειας προσφέρει μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, υψηλή ασφάλεια και προστασία, ελεγχόμενο ογκομετρικό φάσμα και λιγότερο θόρυβο.

2.2.5 Πρότυπο Bluetooth LE

Το Bluetooth LE ή BLE (αρχική ονομασία Wibree) είναι μια τεχνολογία χαμηλής ενέργειας με στόχο να παρέχει όσο το δυνατόν χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας και χαμηλό κόστος χωρίς όμως να επιφέρει επιπτώσεις στο εύρος της επικοινωνίας. Ιδανικό για εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης, τις βιομηχανίες, την ασφάλεια και την οικιακή ψυχαγωγία. Χρησιμοποιεί τις ίδιες συχνότητες (2,4Ghz) με το κανονικό Bluetooth ώστε οι συσκευές dual-mode να μπορούν να μοιραστούν μια ενιαία κεραία ραδιοφώνου. Κύριο πλεονέκτημα του αποτελεί το μικρό μέγεθος και το χαμηλό κόστος του, ενώ ταυτόχρονα είναι και συμβατό με μια μεγάλη εγκατεστημένη βάση των κινητών τηλεφώνων και τους υπολογιστές.



Εικόνα 2. 6 BLuetooth LE.

Κεφάλαιο 3

3.1 Συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης

Τα τελευταία χρόνια έχει αυξηθεί ο αριθμός των εκδηλωμένων δασικών πυρκαγιών με αποτέλεσμα τη συνεχή συρρίκνωση των περιοχών πρασίνου αλλά, σε αρκετές περιπτώσεις, και την απώλεια ανθρωπίνων ζώων. Η ανίχνευση και η διαχείριση των δασικών πυρκαγιών, αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα στον τομέα των καταστροφών. Σύμμαχο στην έγκαιρη ανίχνευση και πρόληψη του συγκεκριμένου προβλήματος αποτελούν τα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης δασικών περιοχών.

Η έκφραση «έγκαιρη προειδοποίηση» χρησιμοποιείται σε πολλούς τομείς για την παροχή πληροφοριών σχετικά με μια αναδυόμενη επικίνδυνη κατάσταση, ειδικά όταν αυτές οι πληροφορίες μπορούν να επιτρέψουν την εκ των προτέρων τη λήψη μέτρων για τη μείωση των σχετικών κινδύνων. Σύμφωνα με την τρέχουσα ορολογία ως έγκαιρη προειδοποίηση ορίζεται «η παροχή έγκαιρης και αποτελεσματικής πληροφόρησης, μέσω αναγνωρισμένων οργανισμών, που επιτρέπει σε άτομα που εκτίθενται σε κίνδυνο να αναλάβουν δράση για να αποφύγουν ή να μειώσουν τον κίνδυνο τους και να προετοιμαστούν για αποτελεσματική απάντηση» (Basher, 2006).

Μία από τις καινοτόμες δραστηριότητες στον τομέα της διαχείρισης των δασικών πυρκαγιών, σε παγκόσμιο επίπεδο, αποτελεί η ανάπτυξη έγκαιρης προειδοποίησης συστημάτων που λειτουργούν με αυτόματο και άμεσο τρόπο, με σκοπό την ανίχνευση και παρακολούθηση των πυρκαγιών. Ένα σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης ορίζεται ως μια συστηματική διαδικασία για την έγκαιρη αξιολόγηση και μέτρηση των κινδύνων προκειμένου να ληφθούν προληπτικά μέτρα (π.χ. εκκένωση μιας περιοχής) για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων ενός φαινομένου. Περιλαμβάνει αισθητήρες για την ανίχνευση συμβάντων καθώς και υποσυστήματα υπεύθυνα για την λήψη σημαντικών αποφάσεων. Κύριο μέλημα του είναι να προλαμβάνει την απώλεια ζωών καθώς την μείωση υλικών και οικονομικών επιπτώσεων των καταστροφών.

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί αρκετά συστήματα επιτήρησης και ανίχνευσης δασικών πυρκαγιών από το έδαφος ή από δορυφόρους. Τα δορυφορικά συστήματα για παρακολούθηση της πυρκαγιάς και μοντελοποίηση φαίνεται να είναι πιο αποτελεσματικά στην παρακολούθηση μεγάλων δασικών περιοχών.

Για να αξιοποιηθούν σωστά τέτοια συστήματα θα πρέπει να εφαρμοστούν στις κοινότητες που βρίσκονται σε κίνδυνο, να έχουν την δυνατότητα να μεταδίδουν αποτελεσματικά τις προειδοποιήσεις και να εξασφαλίζουν μια κατάσταση ετοιμότητας στους κατοίκους της εκάστοτε περιοχής ανίχνευσης.

Ένα ολοκληρωμένο σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης βασίζεται σε τέσσερις λειτουργίες:

- **Ανάλυση κινδύνου:** περιλαμβάνει τη συστηματική συλλογή δεδομένων και τη διεξαγωγή εκτιμήσεων κινδύνου για προκαθορισμένους κινδύνους και τρωτά σημεία.
- **Παρακολούθηση και προειδοποίηση κινδύνου:** συνεπάγεται τη μελέτη των παραγόντων που υποδεικνύουν μια καταστροφή, καθώς και τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση αυτών των παραγόντων.
- **Διάδοση και επικοινωνία:** αφορούν την κοινοποίηση των πληροφοριών σχετικά με τον κίνδυνο των προειδοποιήσεων για την προσέγγιση των ατόμων που απειλούνται με τρόπο σαφή και κατανοητό.
- **Ικανότητα απόκρισης:** απαιτεί τη δημιουργία εθνικού και κοινοτικού σχεδίου αντιμετώπισης, τον έλεγχο του σχεδίου και την προαγωγή της

ετοιμότητας για να εξασφαλιστεί ότι οι άνθρωποι θα γνωρίζουν πώς να ανταποκρίνονται στις προειδοποιήσεις.

Η συνηθέστερη μορφή ενός συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης περιλαμβάνει μια «αλυσίδα προειδοποιήσεων», ένα γραμμικό στην ουσία σύνολο συνδέσεων ξεκινώντας από τις παρατηρήσεις έως και την προειδοποίηση και μετάδοση στους χρήστες. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να τονιστεί η ανάγκη να υπάρχουν όλες οι ενδιάμεσες συνδέσεις στην αλυσίδα έγκαιρης προειδοποίησης οι οποίες θα αλληλεπιδρούν συστηματικά έτσι ώστε το σύστημα να μπορεί να λειτουργήσει.

Στο επίκεντρο όλων των συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης υπάρχει ένα μοντέλο που περιγράφει τα σχετικά χαρακτηριστικά του κινδύνου και τις επιπτώσεις του, ιδιαίτερα το πώς εξελίσσονται στο χρόνο. Το μοντέλο παρέχει τα μέσα για την προβολή του τι θα μπορούσε να συμβεί στο μέλλον και συνεπώς ποιες ενέργειες θα ήταν επιθυμητές ως αποτέλεσμα.

Όλα τα μοντέλα βασίζονται στην περιγραφή μιας αρχικής κατάστασης, η οποία πρέπει να λαμβάνεται με παρατηρήσεις από το πεδίο. Οι προειδοποιήσεις είναι εγγενώς πιθανολογικές, ακόμα και αν βασίζονται στην φυσική και παρουσιάζονται σε κατηγοριοποιημένη μορφή. Αξιοσημείωτες είναι οι προβλέψεις των εποχικών ανωμαλιών του κλίματος, οι οποίες επηρεάζονται έντονα την αβεβαιότητα του συστήματος και πρέπει να αφεθεί στον τελικό χρήστη να κρίνει τις πιθανές επιπτώσεις των προβλεπόμενων πιθανών κλιματικών αποτελεσμάτων.

Μέσω των εγκατεστημένων συστημάτων, δύναται οι πυρκαγιές να προβλεφθούν νωρίτερα και να παρθούν οι κατάλληλες αποφάσεις και τα μέτρα για την έγκαιρη αντιμετώπισή τους και την αποφυγή των καταστροφικών ζημιών που ελλοχεύουν.

Η τοποθέτηση αισθητήριων κόμβων σε ένα δάσος γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να εμποδίζουν την πυρκαγιά να εξαπλωθεί ανεξέλεγκτα. Σε πολύ κοντινές αποστάσεις εγκαθίστανται εκατομμύρια αισθητήριων κόμβων και δημιουργούν ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα χρησιμοποιώντας ασύρματες συχνότητες και οπτικά συστήματα. Οι παραπάνω κόμβοι μπορούν να εξοπλιστούν με ηλιακές κυψέλες, ώστε να λειτουργούν σωστά και όχι άσκοπα ακόμη και για μήνες ή χρόνια. Επίσης έχουν την ιδιότητα να συνεργάζονται ώστε να εκτελούν κατανεμημένη ανίχνευση και να υπερπηδούν εμπόδια όπως βράχια και δέντρα, που παρεμποδίζουν το

πεδίο ανίχνευσης. Τα δίκτυα όντας εφοδιασμένα με κόμβους εξοπλισμένους με αισθητήρες μπορούν να ανιχνεύσουν τυχόν υψηλές θερμοκρασίες, τα επίπεδα υγρασίας της δασικής έκτασης όπως επίσης και τα πιθανά αέρια σωματίδια που προέρχονται από την καύση δέντρων ή ποών. Διττή είναι η σημασία της γρήγορης αντίληψης εκδήλωσης πυρκαγιάς. Αφενός ο βαθμός επιτυχίας του πυροσβεστικού σώματος αυξάνεται, αφετέρου μεγιστοποιείται η γνώση του ιδίου για την αρχή και εξάπλωση των πυρκαγιών.

3.2 Συστήματα και πρωτόκολλα επικοινωνίας ενός συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης

Τα συστήματα επικοινωνίας έγκαιρης προειδοποίησης αποτελούνται από δυο βασικές συνιστώσες:

- Υλικό υποδομής επικοινωνίας: πρέπει να είναι αξιόπιστο και ανθεκτικό, ιδιαίτερα κατά την διάρκεια των φυσικών καταστροφών
- Κατάλληλες και αποτελεσματικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των κυρίων φορέων της διαδικασίας έγκαιρης προειδοποίησης, όπως είναι η επιστημονική κοινότητα, τα ενδιαφερόμενα μέλη, οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων, το κοινό και τα μέσα ενημέρωσης.

Ο πλεονασμός των συστημάτων επικοινωνίας είναι απαραίτητος για την διαχείριση καταστροφών, ενώ τα συστήματα τροφοδοσίας και αποθήκευσης έκτακτης ανάγκης είναι κρίσιμα για την αποφυγή της κατάρρευσης της επικοινωνίας μετά από καταστροφές. Επιπλέον, προκειμένου να διασφαλιστεί η αξιόπιστη και αποτελεσματική λειτουργία των συστημάτων επικοινωνίας κατά την διάρκεια και μετά την εμφάνιση καταστροφών και παράλληλα προκειμένου να αποφευχθεί η κυκλοφοριακή συμφόρηση του δικτύου, πρέπει οι συχνότητες και τα κανάλια να είναι αποκλειστικά αφιερωμένα στις επιχειρήσεις αντιμετώπισης καταστροφών.

Επιπρόσθετα, οι δορυφόροι ανίχνευσης παρέχουν πλέον μια συνεχόμενη ροή δεδομένων και είναι ικανοί για ταχεία και αποτελεσματική ανίχνευση κίνδυνων όπως οι διασυνοριακοί ατμοσφαιρικοί ρύποι, οι πυρκαγιές, η αποψίλωση των δασών, οι μεταβολές στα επίπεδα των υδάτων και οι φυσικοί κίνδυνοι.

Οι πληροφορίες είναι πλέον διαθέσιμες από διαφορετικές πηγές σε πραγματικό χρόνο τόσο σε παγκόσμιο όσο και σε τοπικό επίπεδο.

Η διάδοση των προειδοποιήσεων συχνά ακολουθεί μια διαδοχική διαδικασία η οποία αρχίζει σε διεθνές η εθνικό επίπεδο και στην συνέχεια κινείται προς τα κάτω, φτάνοντας σε κοινοτικό και περιφερειακό επίπεδο. Οι έγκαιρες προειδοποιήσεις ενδέχεται να ενεργοποιήσουν άλλες έγκαιρες προειδοποιήσεις σε διαφορετικά επίπεδα που απορρέουν από τους ρόλους ευθύνης των ατόμων εκείνων που εμπλέκονται στην συγκεκριμένη διαδικασία.

Τα παρακάτω πρωτόκολλα διαδραματίζουν θεμελιώδη ρόλο στην αντιμετώπιση της πρόκλησης του αποτελεσματικού συντονισμού και της ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ των παραγόντων της διαδικασίας έγκαιρης προειδοποίησης.

- Το Κοινό Πρωτόκολλο Προειδοποίησης (CAP – Common Alerting Protocol): ορίζει μια ενιαία τυποποιημένη μορφή μηνύματος για όλους τους κινδύνους, οι οποίοι μπορούν να ενεργοποιήσουν ταυτόχρονα πολλαπλά συστήματα προειδοποίησης και με μια μόνο είσοδο. Είναι συμβατό με όλα τα συστήματα πληροφοριών καθώς και με τα συστήματα δημοσίας ειδοποίησης και επίσης με τα δίκτυα δημοσίων και ιδιωτικών δεδομένων.
- Το Πρωτόκολλο ροής δεδομένων RSS (Really Simple Syndication)
- Η γλώσσα XML

Το πλεονέκτημα των παραπάνω τυποποιημένων μορφοποιήσεων των πρωτοκόλλων είναι ότι είναι συμβατά με όλα τα συστήματα πληροφοριών, τα συστήματα προειδοποίησης, τα μέσα ενημέρωσης και τις υπηρεσίες του παγκόσμιου ιστού.

Η ανάπτυξη και η εφαρμογή ενός αποτελεσματικού συστήματος προειδοποίησης απαιτεί τη συμβολή και το συντονισμό ενός ποικίλου φάσματος οργανώσεων, ομάδων και ατόμων.

Περαιτέρω παρέχεται μια σύντομη περιγραφή των τύπων των οργανώσεων, ομάδων και ατόμων που πρέπει να συμμετέχουν στα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης, το ρόλο τους και τις ευθύνες τους.

- Οι Εθνικές Κυβερνήσεις είναι υπεύθυνες για στρατηγικού επιπέδου πολιτικές στα πλαίσια που διευκολύνουν την έγκαιρη ειδοποίηση, για την

πρόβλεψη κατάλληλων τεχνικών συστημάτων και για την έκδοση εθνικών προειδοποιήσεων κινδύνου. Πρέπει να αλληλεπιδρούν με περιφερειακές και διεθνείς αρχές και οργανισμούς για την ενίσχυση των δυνατοτήτων της έγκαιρης προειδοποίησης προκειμένου να διασφαλιστεί ότι οι προειδοποιήσεις και η σχετική απόκριση σε αυτές απευθύνονται σε όσο το δυνατόν περισσότερους ευάλωτους πληθυσμούς .

- Οι περιφερειακές αρχές, ιδρύματα και οργανώσεις παίζουν ένα ρόλο στην παροχή εξειδικευμένων γνώσεων και πληροφοριών καθώς και συμβουλών που στηρίζουν τις εθνικές προσπάθειες να αναπτύξουν και να υποστηρίξουν τις δυνατότητες έγκαιρης προειδοποίησης. Επιπλέον, ενθαρρύνουν διασυνδέσεις με διεθνείς οργανισμούς και διευκολύνουν αποτελεσματικές πρακτικές σε θέματα έγκαιρης προειδοποίησης μεταξύ γειτονικών χωρών.
- Οι διεθνείς οργανισμοί μπορούν να παρέχουν διεθνείς υπηρεσίες στο συντονισμό, την τυποποίηση και την υποστήριξη των εθνικών δράσεων και την ενίσχυση της ανταλλαγής δεδομένων και γνώσεων μεταξύ μεμονωμένων χωρών. Η υποστήριξη μπορεί να περιλαμβάνει την παροχή συμβουλευτικών πληροφοριών, τεχνική βοήθεια, κατάλληλες πολιτικές και οργανωτική υποστήριξη που είναι απαραίτητη για την ενίσχυση της ανάπτυξης και των επιχειρησιακών δυνατοτήτων των εθνικών αρχών και οργανισμών.
- Οι τοπικές αρχές βρίσκονται στο επίκεντρο των αποτελεσματικών συστημάτων προειδοποίησης. Θα πρέπει να έχουν εξουσιοδότηση από τις εθνικές κυβερνήσεις, σημαντική γνώση των κινδύνων στους οποίους εκτίθενται και να συμμετέχουν ενεργά στη συντήρηση των συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης. Πρέπει να είναι σε θέση να κατανοούν τις συμβουλευτικές πληροφορίες που λαμβάνονται και να είναι σε θέση να καθοδηγούν και να ενθαρρύνουν τον τοπικό πληθυσμό με τέτοιο τρόπο που βελτιώνει τη δημόσια ασφάλεια και μειώνει την πιθανή απώλεια πόρων οι οποίοι σε μια κατάσταση έκτακτης ανάγκης είναι ήδη ανεπαρκείς. Χωρίς τη συμμετοχή των τοπικών αρχών οι κυβερνητικές και θεσμικές παρεμβάσεις και αποκρίσεις σε συμβάντα κινδύνου είναι πιθανό να είναι ανεπαρκείς.
- Οι μη κυβερνητικές οργανώσεις διαδραματίζουν και αυτές βασικό ρόλο στην ευαισθητοποίηση των πολιτών, των κοινοτήτων και των οργανώσεων που συμμετέχουν στην έγκαιρη προειδοποίηση ιδιαίτερα στο τοπικό επίπεδο. Μπορούν επίσης να βοηθήσουν στην εφαρμογή των συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης και στην προετοιμασία των κοινοτήτων στις καταστροφές. Επιπλέον, μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό

υπερασπιστικό ρόλο προκειμένου να διασφαλισθεί ότι η έγκαιρη προειδοποίηση παραμένει στην πολιτική ατζέντα των κυβερνητικών ιθυνόντων.

- Ο ιδιωτικός τομέας μπορεί να διαδραματίσει διαφορετικό ρόλο σε προειδοποίηση, συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης δυνατοτήτων έγκαιρης προειδοποίησης στις δικές του οργανώσεις. Τα μέσα ενημέρωσης διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στη βελτίωση της συνειδητοποίησης του γενικού πληθυσμού και της διάδοσης των έγκαιρων προειδοποιήσεων. Ο ιδιωτικός τομέας έχει επίσης μεγάλο ανεκμετάλλευτο δυναμικό για να βοηθήσει εξειδικευμένες υπηρεσίες υπό μορφή τεχνικού ανθρώπινου δυναμικού, τεχνογνωσίας ή δωρεάς (σε είδος και μετρητά) αγαθών ή υπηρεσιών.
- Η επιστήμη και η ακαδημαϊκή κοινότητα διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην παροχή εξειδικευμένων επιστημονικών και τεχνικών συμβουλών για να βοηθήσουν τις κυβερνήσεις και τις κοινότητες να αναπτύξουν συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης. Η εμπειρογνωμοσύνη τους έχει κεντρική σημασία για την ανάλυση των φυσικών κινδύνων κινδύνου που αντιμετωπίζουν οι κοινότητες, για τη στήριξη του σχεδιασμού επιστημονικών και συστηματικών υπηρεσιών παρακολούθησης και προειδοποίησης, την υποστήριξη της ανταλλαγής δεδομένων, τη μετάφραση επιστημονικών ή τεχνικών πληροφοριών σε κατανοητά μηνύματα και τη διάδοση προειδοποιήσεων για τους κινδύνους.

3.3 Αντιμετώπιση απειλών ενός συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης

Οι περιβαλλοντικές απειλές για πυρκαγιές μπορούν να συσχετιστούν με δυο τύπους συμβάντων:

- Συνεχιζόμενες και ταχείες/ξαφνικές απειλές: Αυτές περιλαμβάνουν κινδύνους όπως τυχαίες διαρροές πετρελαίου από αυτοκίνητα ή κτιριακές εγκαταστάσεις, κάψιμο χόρτων κοντά σε περιοχές με χαμηλή βλάστηση και δασικές περιοχές, υπερβολικά υψηλές θερμοκρασίες ιδιαίτερα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, άνεμοι μεγάλης έντασης που αλλάζουν συνεχώς κατευθύνσεις κ.λ.π.
- Απειλές που εξελίσσονται με αργό ρυθμό: Αυτές περιλαμβάνουν μακροπρόθεσμες και συσσωρευτικές περιβαλλοντικές αλλαγές που συνήθως δεν λαμβάνουν μεγάλη προσοχή στις πρώτες φάσεις τους, αλλά

με την πάροδο του χρόνου μπορεί να προκαλέσουν σοβαρές κρίσεις. Τέτοιου είδους κίνδυνοι αποτελούν η συσσώρευση μεγάλου όγκου απορριμμάτων κοντά σε δασικές περιοχές, η μη αποψίλωση των δασικών εκτάσεων από περιττά χόρτα κ.λ.π. Τέτοιες μεταβολές είναι συχνά ασαφείς και εν κατακλείδι όταν διογκωθούν μπορεί να μετατραπούν σε επείγουσες κρίσεις που είναι αρκετά δαπανηρές για την αντιμετώπιση.

Συμπερασματικά η πρώτη κατηγορία απειλών χρειάζεται λιγότερο χρόνο προκειμένου να αντιμετωπιστεί και θα πρέπει τα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης να χρειαστεί να παρέχουν προειδοποιήσεις σε χρονικό διάστημα που κυμαίνεται από μερικά δευτερόλεπτα έως και μήνες.

Λαμβάνοντας υπόψη τους παραπάνω κινδύνους αλλά και περιπτώσεις στις οποίες ένα σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης μπορεί να συμβάλει, πρέπει να τονιστεί ότι ο ανθρώπινος παράγοντας στα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης είναι πολύ σημαντικός (Hoff, 2003).

3.4 Cyber Physical Systems

Ένα CPS (Cyber Physical System) είναι πρακτικά η ενσωμάτωση αφηρημένων υπολογισμών και φυσικών διεργασιών, όπου με την χρήση αισθητήρων, ενεργοποιητών και ενσωματωμένων συσκευών που συνδέονται σε δίκτυο, έχουν ως στόχο την ανίχνευση, παρακολούθηση και τον έλεγχο του φυσικού κόσμου. Λειτουργώντας σε πραγματικό χρόνο παρέχουν κατανεμημένη ανίχνευση, υπολογισμό και έλεγχο πάνω σε ενσύρματα ή ασύρματα δίκτυα επικοινωνίας, ενώ κάνουν χρήση αλγορίθμων λήψης αποφάσεων υψηλού επιπέδου. Τα συστατικά του φυσικού και του λογισμικού είναι βαθιά συνυφασμένα, ικανά να λειτουργούν σε διαφορετικές χωρικές και χρονικές κλίμακες, να παρουσιάζουν πολλαπλές και διακριτές λεπτομέρειες και να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους με τρόπους που αλλάζουν ανάλογα με την εκάστοτε περίπτωση.

Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά ενσωματωμένα συστήματα, το CPS είναι ένα δίκτυο αλληλοεπιδρώντων συσκευών με φυσικές εισόδους και εξόδους αντί για αυτόνομες συσκευές.

Ένα CPS είναι επίσης παρόμοιο με το διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things, IoT), με την ίδια βασική αρχιτεκτονική. Ωστόσο, το CPS παρουσιάζει

υψηλότερο συνδυασμό και συντονισμό μεταξύ φυσικών και υπολογιστικών στοιχείων.

Τα τελευταία χρόνια, το CPS έχει αναδειχθεί ως μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία που μπορεί να υποστηρίξει τις αλληλεπιδράσεις ανθρώπου-ανθρώπου, ανθρώπου-αντικειμένου και αντικειμένου-αντικειμένου στον φυσικό και τον εικονικό κόσμο.

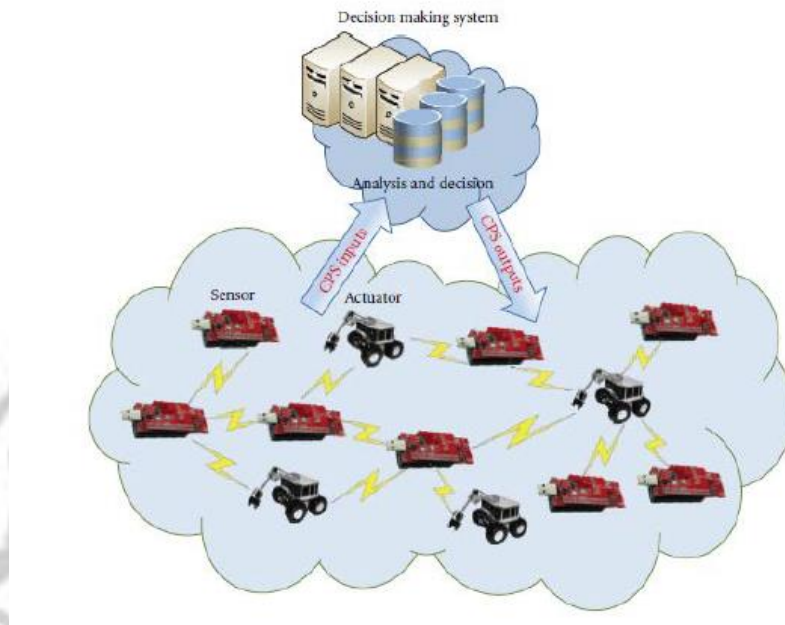
3.4.1 Αρχιτεκτονική ενός CPS

Η βασική αρχιτεκτονική δομή ενός CPS αποτελείται κυρίως από ένα φυσικό επίπεδο και ένα εικονικό επίπεδο.

- Στο φυσικό επίπεδο, οι αισθητήρες και οι ενεργοποιητές είναι υπεύθυνοι για τη συλλογή πληροφοριών και τον έλεγχο του φυσικού κόσμου, αντίστοιχα. Επιπλέον, οι διάφοροι τύποι συλλεγόμενων πληροφοριών από τους αισθητήρες μετατρέπονται επίσης από αναλογική μορφή σε ψηφιακή μορφή σε αυτό το επίπεδο και στη συνέχεια αποστέλλονται στο εικονικό επίπεδο ως εισροές δεδομένων του συστήματος λήψης αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο.
- Στο εικονικό επίπεδο, κατά την παραλαβή των δεδομένων εισόδου, το σύστημα λήψης αποφάσεων εκτελεί τους αφηρημένους υπολογισμούς για να αναλύσει τα συλλεχθέντα δεδομένα και στη συνέχεια μεταδίδει την απόφασή του στους ενεργοποιητές στον φυσικό κόσμο μέσω μίας ακολουθίας διαδικασιών ελέγχου.

Οι κόμβοι αισθητήρων τοποθετούνται πάνω στην δεδομένη περιοχή παρακολούθησης με αποτελεσματικό τρόπο, ώστε να μπορούν να λάβουν το μέγιστο της πληροφορίας, μπορούν να εγκατασταθούν είτε στρατηγικά, είτε τυχαία και πυκνά στην δεδομένη περιοχή και να αναμεταδώσουν την ακριβή προέλευση της φωτιάς στους άμεσα ενδιαφερόμενους πριν την εξάπλωσή της. Επίσης, μπορούν να εξοπλιστούν με αποτελεσματικές μεθόδους εκμετάλλευσης της ενέργειας (π.χ. ηλιακές κυψέλες) προκειμένου να λειτουργούν απρόσκοπτα χωρίς ανθρώπινη παρακολούθηση για μεγάλο χρονικό διάστημα. Οι αισθητήριοι κόμβοι μπορούν να συνεργάζονται μεταξύ τους, προκειμένου να εκτελούν καταναμημένη ανίχνευση και να υπερπηδούν εμπόδια (π.χ. βράχους και δέντρα) που παρεμποδίζουν το πεδίο ανίχνευσης.

Ένα σύστημα συλλογής δεδομένων διασφαλίζει ότι οι συγκεντρωμένες πληροφορίες μπορούν να παραδοθούν με επιτυχία από τους αισθητήρες σε έναν κόμβο ο οποίος μπορεί να θεωρηθεί ως το σύστημα λήψης αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο.



Εικόνα 3. 1 Η αρχιτεκτονική δομή ενός CPS

3.4.2 Χαρακτηριστικά ενός CPS

Τα χαρακτηριστικά των CPS μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- Η ενσωμάτωση συσκευών σε ένα κοινό δίκτυο και η επικοινωνία μεταξύ τους.
- Η ενσωμάτωση συσκευών με διαφορετικά πρωτόκολλα επικοινωνίας. Οι συσκευές στον φυσικό κόσμο ενδέχεται να υιοθετούν διαφορετικά πρωτόκολλα επικοινωνίας όπως WiFi, Bluetooth, Zigbee, RF, υπέρυθρες και ούτω καθεξής.
- Η ταχεία αλλαγή της τοπολογίας του δικτύου. Κάποιοι φορητοί αισθητήρες μπορεί να φορεθούν και από τους ανθρώπους. Ως αποτέλεσμα, η τοπολογία του δικτύου αλλάζει δυναμικά με τις κινήσεις των ανθρώπων.
- Η απομακρυσμένη πρόσβαση στο Internet. Κάθε συσκευή που βασίζεται σε ένα CPS πρέπει να έχει τη δυνατότητα πρόσβασης στο Internet. Βάση αυτής της δυνατότητας, το σύστημα λήψης αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο, το οποίο είναι μέρος του CPS, θα μπορούσε να λάβει με επιτυχία τις διαθέσιμες εισροές δεδομένων από τις συσκευές και στη

συνέχεια να λάβει αποφάσεις για τον έλεγχο του φυσικού κόσμου.

- Ο περιορισμός σε πραγματικό χρόνο για ορισμένες εφαρμογές ευαίσθητες σε καθυστέρηση, όπως εφαρμογές συστημάτων υγειονομικής περίθαλψης και έκτακτης ανάγκης σε πραγματικό χρόνο. Εάν δεν επιτευχθεί αυτός ο περιορισμός, τέτοιες εφαρμογές που είναι ευαίσθητες σε καθυστέρηση ενδέχεται να καταστούν αναξιόπιστες και μη χρηστικές.

3.4.3 Εφαρμογές

Σε γενικές γραμμές, τα CPS θεωρούνται η επόμενη γενιά μηχανικών συστημάτων που απαιτούν ενσωμάτωση τεχνολογιών πληροφορικής, επικοινωνίας και ελέγχου για την επίτευξη σταθερότητας, απόδοσης, αξιοπιστίας, ευρωστίας και αποτελεσματικότητας στην αντιμετώπιση φυσικών συστημάτων σε διάφορους τομείς εφαρμογής.

Τέτοιου είδους συστήματα έχουν εφαρμογή σε πολλούς τομείς της κοινωνίας όπως στην ενέργεια, και στην ιατρική αλλά και σε πολλούς άλλους τομείς όπως η αεροδιαστημική, η αυτοκινητοβιομηχανία, οι χημικές διαδικασίες, οι αστικές υποδομές, η υγειονομική περίθαλψη, οι μεταφορές, η ψυχαγωγία και οι καταναλωτικές συσκευές καθώς έχουν τη δυνατότητα να σχεδιαστούν και να αναπτυχθούν έτσι ώστε να είναι πολύ πιο έξυπνα, αξιόπιστα, ασφαλή, αποτελεσματικά και ανθεκτικά.

Οι κοινές εφαρμογές των CPS συνήθως εμπίπτουν σε αυτόνομα συστήματα που βασίζονται σε αισθητήρες επικοινωνίας. Για παράδειγμα, πολλά ασύρματα δίκτυα αισθητήρων παρακολουθούν κάποια πτυχή του περιβάλλοντος και μεταφέρουν τις επεξεργασμένες πληροφορίες σε έναν κεντρικό κόμβο. Άλλοι τύποι CPS περιλαμβάνουν έξυπνο δίκτυο, αυτόνομα συστήματα αυτοκινήτων, ιατρική παρακολούθηση, συστήματα ελέγχου διαδικασίας, κατανεμημένη ρομποτική και αυτόματη πιλοτική αεροηλεκτρονική.

Ένα πραγματικό παράδειγμα ενός τέτοιου συστήματος είναι το Distributed Robot Garden στο MIT στο οποίο μια ομάδα ρομπότ φροντίζει έναν κήπο με φυτά ντομάτας. Αυτό το σύστημα συνδυάζει κατανεμημένη ανίχνευση (κάθε εγκατάσταση είναι εξοπλισμένη με έναν κόμβο αισθητήρα που παρακολουθεί την κατάστασή της), πλοήγηση, χειρισμό και ασύρματη δικτύωση.

Μια εστίαση στις πτυχές του συστήματος ελέγχου του CPS που διαπερνούν κρίσιμη υποδομή μπορεί να βρεθεί στις προσπάθειες του Εθνικού Εργαστηρίου του Αϊντάχο και των συνεργατών που ερευνούν ανθεκτικά συστήματα ελέγχου. Αυτή η προσπάθεια υιοθετεί μια ολιστική προσέγγιση στο σχεδιασμό επόμενης γενιάς και λαμβάνει υπόψη τις πτυχές της ανθεκτικότητας που δεν είναι καλά ποσοτικοποιημένες, όπως η ασφάλεια στον κυβερνοχώρο, η ανθρώπινη αλληλεπίδραση και οι περίπλοκες αλληλεξαρτήσεις.

Ένα άλλο παράδειγμα είναι το έργο CarTel του MIT όπου ένας στόλος ταξί εργάζεται συλλέγοντας πληροφορίες κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο στην περιοχή της Βοστώνης. Μαζί με τα ιστορικά δεδομένα, αυτές οι πληροφορίες χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για τον υπολογισμό των ταχύτερων διαδρομών για μια δεδομένη ώρα της ημέρας.

Το CPS χρησιμοποιείται επίσης σε ηλεκτρικά δίκτυα για την εκτέλεση προηγμένου ελέγχου, ειδικά στο πλαίσιο των έξυπνων δικτύων για την ενίσχυση της ενσωμάτωσης της κατανεμημένης ανανεώσιμης παραγωγής. Απαιτείται ειδικό πρόγραμμα διορθωτικών ενεργειών για τον περιορισμό των ροών ρεύματος στο δίκτυο όταν η παραγωγή αιολικών πάρκων είναι πολύ υψηλή. Το κατανεμημένο CPS είναι μια βασική λύση για τέτοιου είδους ζητήματα.

Κεφάλαιο 4

4.1 Δάσος και πυρκαγιές

Το δάσος αποτελεί ένα από τα πολυπλοκότερα οικοσυστήματα στην φύση. Από την αρχαιότητα ως τις μέρες μας, τα δασικά οικοσυστήματα διαδραματίζουν ουσιαστικό και καθοριστικό ρόλο στην διαφύλαξη της παγκόσμιας οικολογικής ισορροπίας και κατ' επέκταση της ίδιας της ζωής. Η σημασία του δάσους είναι αυταπόδεικτη. Είναι ο κύριος ρυθμιστής του κλίματος του πλανήτη, παράγει οξυγόνο και συμβάλει στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, κατακρατώντας σημαντικές ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα. Συνιστά βιολογικό εργαστήριο που παράγει προϊόντα και υπηρεσίες πολύπλευρης σημασίας και ανυπολόγιστης αξίας για τον άνθρωπο, με οφέλη τόσο άμεσα (πρώτες ύλες, δασικά προϊόντα, ξυλεία) αλλά και έμμεσα (αποτροπή πλημμύρων, τουριστική,

πολιτιστική αξία). Η σημαντικότερη, όμως, προσφορά του δάσους στον σύγχρονο άνθρωπο είναι η ευεργετική επίδραση που ασκεί στην υγιεινή, την αισθητική και πνευματική κατάσταση του, παρέχοντας δυνατότητες αναψυχής και επαφή με την φύση.

Οι πυρκαγιές αποτελούν φαινόμενο που είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με την διαταραχή των χερσαίων οικοσυστημάτων και συνεπώς των δασών. Ως πυρκαγιά νοείται οποιοδήποτε είδος ανεξέλεγκτης φωτιάς και μπορεί να έχει ανεπιθύμητες και καταστροφικές επιπτώσεις.

4.2 Αίτια των δασικών πυρκαγιών

Οι δασικές πυρκαγιές είναι από τους σπουδαιότερους εχθρούς της διατήρησης και της παραγωγικότητας των δασών. Κανένας άλλος παράγοντας δεν προκαλεί τόσο γρήγορες και εκτεταμένες καταστροφές στο δασικό οικοσύστημα όσο οι φωτιές στα δάση. Αυτό που φαίνεται σίγουρο είναι ότι οι πυρκαγιές, με την δύναμη που διαθέτουν, δημιουργούν ριζικές αλλαγές στα δάση. Το αν οι αλλαγές συντελούν στην οριστική καταστροφή τους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό και από τον τρόπο μεταπυρικής διαχείρισής τους από τον άνθρωπο.

Τα αίτια στα οποία οφείλονται οι δασικές πυρκαγιές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

- **Φυσικά αίτια:** κυρίως οι φωτιές που προκαλούνται από κεραυνούς. Όταν δεν σβήνονται από την βροχή, συχνά προκαλούν καταστροφές, επειδή οι κεραυνοί πέφτουν κυρίως σε απόκρημνες περιοχές που είναι απρόσιτες ή τόσο δύσβατες με αποτέλεσμα να μεσολαβεί χρόνος μέχρι την κατάσβεση τους ή τον περιορισμό τους. Επίσης, αξίζει να αναφερθεί ότι στα φυσικά αίτια ανήκουν και οι φωτιές που δημιουργούνται από ηφαίστεια αλλά είναι ανύπαρκτες στην χώρα μας.
- **Εμπρησμοί από αμέλεια:** οι πυρκαγιές από αμέλεια αποτελούν την βασική αιτία των δασικών πυρκαγιών με ποσοστό βεβαιωμένων περιπτώσεων πάνω από 50% (π.χ. απόρριψη αναμμένου τσιγάρου, σπινθήρες από ηλεκτροκόλληση / οξυγονοκόλληση, σπινθήρες από υπαίθριο ψήσιμο

φαγητού, κάψιμο κλαδιών, σκουπιδιών, χόρτων, βολές των Ενόπλων Δυνάμεων).

- **Εμπρησμοί από πρόθεση:** αποτελεί το 30% των δασικών περιπτώσεων και προκαλεί τις μεγαλύτερες καταστροφές καθώς οι εμπρηστές λαμβάνουν μέτρα και επιλέγουν την τοποθεσία και τις κατάλληλες μέρες που ευνοούν την γρήγορη και μεγάλη εξάπλωση της φωτιάς.
- **Άγνωστα αίτια:** αφορούν τις περιπτώσεις όπου μια δασική πυρκαγιά δεν μπορούν να εξηγηθούν λογικά ή να αποδειχθούν.

Αποτελεί γεγονός ότι το συντριπτικό ποσοστό των πυρκαγιών προέρχονται από τον άνθρωπο και ειδικότερα την ανθρώπινη βούληση και αδιαφορία.

4.3 Συνέπειες των δασικών πυρκαγιών

Οι ζημίες που προκαλούνται από μια δασική πυρκαγιά φέρουν και την στέρωση πολλών και σημαντικών ωφελειών από τον άνθρωπο. Θα μπορούσαν να χωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τις άμεσες και τις έμμεσες.

- Οι **άμεσες** είναι εκείνες που προκαλούνται από την μερική ή ολική καταστροφή της ξυλείας, των δασικών προϊόντων (π.χ. ρητίνη) αλλά και της βλάστησης. Ακόμα, περιλαμβάνονται οι ζημίες που προκαλούνται σε γεωργικές καλλιέργειες, κτηνοτροφικές – μελισσοκομικές εγκαταστάσεις, κατοικίες, βιομηχανικές – βιοτεχνικές εγκαταστάσεις ή άλλες μονάδες.
- Οι **έμμεσες** αφορούν ζημίες που προκαλούνται στις έμμεσες ωφέλειες του δάσους. Μπορούν να διακριθούν στις ακόλουθες κατηγορίες:
 - **Οικολογικές:** μετά από μία δασική πυρκαγιά οι οικολογικές καταστροφές αγγίζουν τα ύψη. Παρατηρείται σοβαρή διαταραχή του δασικού οικοσυστήματος, καθώς αλλοιώνεται το επίπεδο ισορροπίας στο οποίο η βιοκοινότητα αυτοδιατηρείται και βρίσκεται σε άριστη εναρμόνιση με τον βιότοπο.
 - **Υδρολογικές:** λόγω καταστροφής της οργανικής ύλης του εδάφους ελαττώνεται η διαπερατότητα του. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, το περισσότερο νερό να απορρέει επί του εδάφους, παρασύροντας το

και προκαλώντας πλημμύρες και αποθέσεις φερτών υλικών σε κατοικημένες περιοχές.

- **Απώλεια θέσεων εργασίας:** με την καταστροφή μια δασικής έκτασης παράλληλα προκαλείται και απώλεια θέσεων εργασίας σε αυτούς που δούλευαν σε αυτήν, όπως των δασεργατών ή των ρυτινοσυλλεκτών.
- **Υπερβόσκηση:** η καταστροφή των βοσκοτόπων από μια δασική πυρκαγιά έχει σαν αποτέλεσμα τον συνωστισμό των κοπαδιών σε άλλους βοσκότοπους ή περιοχές με βλάστηση προκαλώντας έτσι το φαινόμενο της υπερβόσκησης και την πρόκληση ζημιών, υποβαθμισμού και καταστροφής των νέων βοσκοτόπων.
- **Τουριστικές:** η αισθητική, τουριστική και πολιτιστική αξία του δάσους χάνεται, με δυσμενείς συνέπειες στην ψυχική υγεία του ανθρώπου, που αναζητά όλο ένα και περισσότερο την αναζωογόνησή του κοντά στην φύση. Καθώς ακόμα μειώνονται και οι πόλοι έλξης όπου πολλοί τουρίστες επιθυμούν να επισκεφτούν κατά την διάρκεια παραμονής στην χώρα μας.
- **Υγειονομικές:** δεν μπορεί κανένας να αμφισβητήσει την άποψη ότι τι δάσος αποτελεί ένα «εργοστάσιο οξυγόνου» του πλανήτη. Με την καταστροφή του, από μία δασική πυρκαγιά, πλέον δεν μπορεί να εκτελέσει τις λειτουργίες φιλτραρίσματος του μολυσμένου αέρα και κατακράτησης των ρύπων, δημιουργώντας έτσι μεγάλες επιπτώσεις στην υγεία του πληθυσμού μιας περιοχής. Και όχι μόνο, αλλά και στην δημοσία υγεία μέσω των καπνών που μολύνουν την ατμόσφαιρα.
- **Οικονομικές:** δημιουργείται κοινωνικό οικονομικό κόστος λόγω της ανάγκης να διατίθενται οικονομικοί πόροι για την καταστολή και την διατήρηση αξιόμαχων δυνάμεων αντιμετώπισης.

4.4 Παράγοντες που επιδρούν στην έναρξη και εξάπλωση μιας δασικής πυρκαγιάς

Εκτός από τα αίτια τα οποία μια δασική πυρκαγιά οφείλεται υπάρχουν και κάποιοι παράγοντες οι οποίοι συνδυαστικά συντελούν στην έναρξη και εξάπλωση της, κάνοντας έτσι την διαδικασία καταστολής της ακόμη πιο δύσκολη. Ενδεικτικά οι κυριότεροι κατηγοριοποιούνται ως εξής:

- **Μετεωρολογικοί παράγοντες:**
 - Ηλιακή ακτινοβολία
 - Ατμοσφαιρική πίεση

- Θερμοκρασία του αέρα (ασκεί επίδραση στην ταχύτητα του ανέμου και στην ξήρανση της καύσιμης ύλης)
 - Θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους
 - Η εξάτμιση (ο κυριότερος τρόπος με τον οποίο μειώνεται η περιεχόμενη υγρασία στην καύσιμη ύλη)
 - Η σταθερότητα ή η αστάθεια της ατμόσφαιρας (σχετίζεται με τις κινήσεις των ρευμάτων των αέριων μαζών και επομένως και με την ταχύτητα εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς)
 - Υγρασία του αέρα (επιδρά αντιστρόφως ανάλογα στην έναυση και επέκταση μιας πυρκαγιάς)
 - Βροχή (η διάρκεια των βροχών και η κατανομή των βροχοπτώσεων κατά την διάρκεια του έτους επιδρούν στην μεταφορά των υδρατμών της ατμόσφαιρας στο έδαφος και την αύξηση της περιεχόμενης, στα καύσιμα υλικά, υγρασίας)
 - Άνεμος (προσδιορίζει την διεύθυνση διάδοσης μιας δασικής πυρκαγιάς αλλά και την ταχύτητα εξάπλωσης της)
- **Τοπογραφικοί παράγοντες:**
- Υψόμετρο (επιδρά στην ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και στην σχετική υγρασία και θερμοκρασία του αέρα)
 - Ο προσανατολισμός της περιοχής (επιδρά στην περιεχόμενη στα καύσιμα υλικά υγρασία)
 - Τοπογραφική διαμόρφωση – ανάγλυφο (κυρίως στις ορεινές περιοχές)
 - Η κλίση του εδάφους (επιδρά στην ταχύτητα εξάπλωσης μιας δασικής πυρκαγιάς - αντίστοιχη με αυτήν του ανέμου, καθώς τα ανερχόμενα θερμά αέρια μιας πυρκαγιάς που βαίνουν ανοδικά σε μια πλαγιά, προθερμαίνουν την βλάστηση που θα συναντήσει η πυρκαγιά)
- **Βλάστηση:**
- Περιεκτικότητα σε υγρασία της καύσιμης ύλης
 - Ρυθμός αποβολής υγρασίας της καύσιμης ύλης
 - Συνθήκες βλάστησης
 - Είδος της βλάστησης (επιδρά και κατά την διάρκεια της πυρκαγιάς αλλά και στον σχεδιασμό πρόληψης, όσον αφορά την επιλογή που γίνεται για τα καταλληλότερα προς αναδάσωση είδη

4.5 Τύποι των δασικών πυρκαγιών

Για την μεθοδολογική διάκριση των τύπων των δασικών πυρκαγιών και γενικά των δασικών εκτάσεων έγιναν στο παρελθόν αρκετές συζητήσεις και προτάσεις. Υποστηρίχθηκε η άποψη ότι η διάκριση αυτή θα πρέπει να σχετίζεται με το είδος της καιόμενης βλάστησης και την μορφή της ή τη συσχέτιση της με τη επελθούσα ζημία ή την ένταση της πυρκαγιάς.

Είναι φανερό ότι πλέον έχει επικρατήσει η διάκριση ανάλογα με την κατηγορία της καύσιμης ύλης, και η θέση των πυρκαγιών σε σχέση με την επιφάνεια του εδάφους. Οι τέσσερις κατηγορίες που διακρίνονται είναι οι εξής:

- **Πυρκαγιές εδάφους (υπόγειες):** οι πυρκαγιές στις οποίες καίγεται η οργανική ύλη κάτω από την επιφάνεια του φυλλοστρώματος του δάσους. Οι πυρκαγιές αυτές έχουν σαν χαρακτηριστικό την βραδεία καύση και είναι δυνατόν να μην υπάρχει παραγωγή καπνού και είναι δύσκολο να αντιληφθούν. Νεκρώνουν τα φυτά που συναντούν διότι καταστρέφουν το ριζικό τους σύστημα ή προκαλούν τις επιφανειακές πυρκαγιές καθώς υπάρχει εύφλεκτη βλάστηση. Εξαπλώνονται αργά και είναι από τις πιο δύσκολες σε κατάσβεση πυρκαγιές.
- **Πυρκαγιές επιφάνειας (έρπουσες):** σε αυτές τις πυρκαγιές καίγεται η ξερή οργανική ύλη και η βλάστηση έως 2 μέτρα. Από αυτού του είδους τις πυρκαγιές εξελίσσεται συνήθως μια πυρκαγιά κόμης. Έχουν μεγάλη ταχύτητα διάδοσης και θερμότητα. Ο καπνός τους εξαπλώνεται σε μικρό σχετικά ύψος, και αποτελούν το πιο συχνό είδος δασικής πυρκαγιάς.
- **Πυρκαγιές κόμης (επικόρυφες):** οι πυρκαγιές κόμης καίνε την εναέρια καύσιμη ύλη που βρίσκεται σε ύψος μεγαλύτερο των 2 μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους και καταστρέφουν την κόμη των δέντρων. Τις περισσότερες φορές προέρχονται από τις έρπουσες πυρκαγιές όπου μέσω των χαμηλών κλαδιών, των λειχήνων του κορμού, των τομών για την συλλογή ρητίνης, η φωτιά μεταφέρεται στα κλαδιά και στα φύλλα των δέντρων. Έχουν πολύ μεγάλη ταχύτητα διάδοσης και προκαλούν την μεγάλη καταστροφή των δασών.
- **Μικτές πυρκαγιές (σαρωτικές):** Ο συνδυασμός όλων των παραπάνω ειδών δασικών πυρκαγιών. Όταν συνδυάζεται μια επικόρυφη με μια έρπουσα δασική πυρκαγιά, δημιουργείται ένα μέτωπο φλογών που επεκτείνεται από το έδαφος έως μερικά μέτρα πάνω από τις κορυφές των δένδρων, που κινείται σαρώνοντας την υπάρχουσα βλάστηση. Έχουν μεγάλη ένταση φωτιάς, δημιουργείται σε μεγάλο ύψος μια θερμική στήλη πάνω από τις

φλόγες και τέλος δεν μπορεί να προβλεφθεί η διάδοση και συμπεριφορά της.

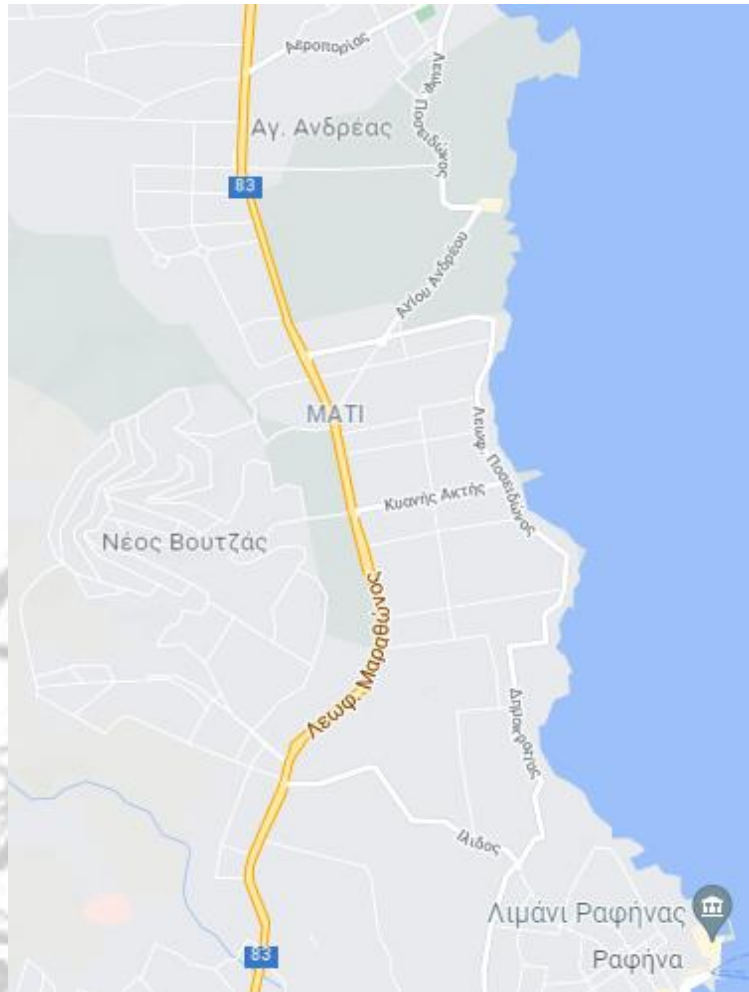
Η αντιμετώπιση των δασικών πυρκαγιών είναι ένα θέμα ζωτικής σημασίας, καθώς αποτελούν μια μόνιμη πηγή καταστροφής, όχι μόνο των δασών της χώρας αλλά και των γεωργικών καλλιεργειών, κατοικημένων περιοχών και υποδομών. Οι δασικές πυρκαγιές, μαζί με την υπερβόσκηση, αποτελούν το κύριο αίτιο των γυμνών βουνών της χώρας. Μετά την πυρκαγιά δημιουργείται απόπλυση του εδάφους από τις βροχές, οπότε η αναδημιουργία των δασών φαντάζει αδύνατη.

Κεφάλαιο 5

5.1 Μάτι Αττικής

Το Μάτι Αττικής είναι ένας οικισμός στο δήμο Μαραθώνος της Ανατολικής Αττικής, συνορεύει στα βόρεια με τον οικισμό Άγιος Ανδρέας Νέας Μάκρης, νότια με την Ραφήνα, δυτικά με τον Νέο Βουτζά Ραφήνας και ανατολικά βρέχεται από τον κόλπο των Πεταλίων στο Νότιο Ευβοϊκό. Το Μάτι υπαγόταν στον Δήμο Νέας Μάκρης, στη 10^η Πολεοδομική Ενότητα, ενώ από το 2011 αποτελεί τμήμα του ευρύτερου Καλλικρατικού δήμου Μαραθώνα.

Κατοικήθηκε την δεκαετία του 1960, ως αραιοκατοικημένος παραθεριστικός οικισμός στην αρχή με εξοχικές κατοικίες, ιδιαίτερα παραθεριστών από την Αθήνα. Από την δεκαετία του 2000 ο οικισμός σημείωσε μεγάλη ανάπτυξη, έγινε πολύ περισσότερο πυκνοκατοικημένος, αλλά δεν έχασε ποτέ τον παραθεριστικό του χαρακτήρα. Επίκεντρο του οικισμού αποτελεί ο Ναυτικός Όμιλος Μάτι Αττικής (ΝΑΟΜΑ), που ιδρύθηκε το 1965 με σκοπό την προώθηση της ιστιοπλοΐας καθώς και άλλων αθλημάτων, με το λιμανάκι με πλήθος από δραστηριότητες όλο τον χρόνο και τα πολυτελή ξενοδοχεία με τις παραλίες γύρω από αυτόν. Η περιοχή εξακολούθησε να είναι ελκυστική, επειδή δεν είχε πολυκαταστήματα και μεγάλη εμπορική κίνηση.



Εικόνα 5. 1 Χάρτης Μάτι Αττικής

5.2 Πυρκαγιά 2018

Η Πυρκαγιά που ξέσπασε στις 23 Ιουλίου 2018 και ώρα 16:41 στο Νταού Πεντέλης, όταν ένας 65χρονος αποφάσισε να κάψει κλαδιά έξω από το σπίτι του, επεκτάθηκε και πέρασε μέσα από τους οικισμούς Νέο Βουτζά και Μάτι, με αποτέλεσμα να χάσουν την ζωή τους 102 άτομα, 147 να τραυματιστούν, συνολικά 12759 στρέμματα να καούν, εκ των οποίων τα 6934 ήταν οικιστική περιοχή και τα 5825 δασική έκταση, περίπου 4000 σπίτια και πολλά οχήματα να υποστούν υλικές ζημιές ή και να καταστραφούν ολεσχερώς.

Στην αρχή η πυρκαγιά κατευθυνόταν με φυσιολογικούς ρυθμούς προς την περιοχή του Διονύσου, καίγοντας χαμηλή βλάστηση, με αποτέλεσμα να μην προβλεφθεί ο τεράστιος κίνδυνος που επερχόταν, αλλά γύρω στις 17:10 με

17:30 ο άνεμος ισχυροποιήθηκε απότομα και άλλαξε κατεύθυνση προς τα ανατολικά, με αποτέλεσμα η πυρκαγιά να βγει γρήγορα εκτός ελέγχου.



Εικόνα 5. 2 Αρχή και κατάληξη πυρκαγιάς

Καθοριστικό ρόλο στην ενίσχυση του ανέμου έπαιξε η τοπογραφία και το μικροκλίμα της περιοχής, τα οποία ευθύνονταν για τη δημιουργία ισχυρών καταβατικών ανέμων κατά μήκος του παραλιακού μετώπου από τη Ραφήνα μέχρι τη Νέα Μάκρη. Ως αποτέλεσμα, η πυρκαγιά κατέκαψε τη βόρεια πλευρά του χωριού του Νταού και κινήθηκε δια μέσου της Ιεράς Μονής Παντοκράτορος, προς την ευρύτερη περιοχή της Ραφήνας, στους οικισμούς Νέος Βουτζάς αρχικά και Κόκκινο Λιμανάκι και Μάτι μετέπειτα, μέσα σε λίγα λεπτά. Γύρω στις 18:15 η φωτιά έφτασε στην θάλασσα.

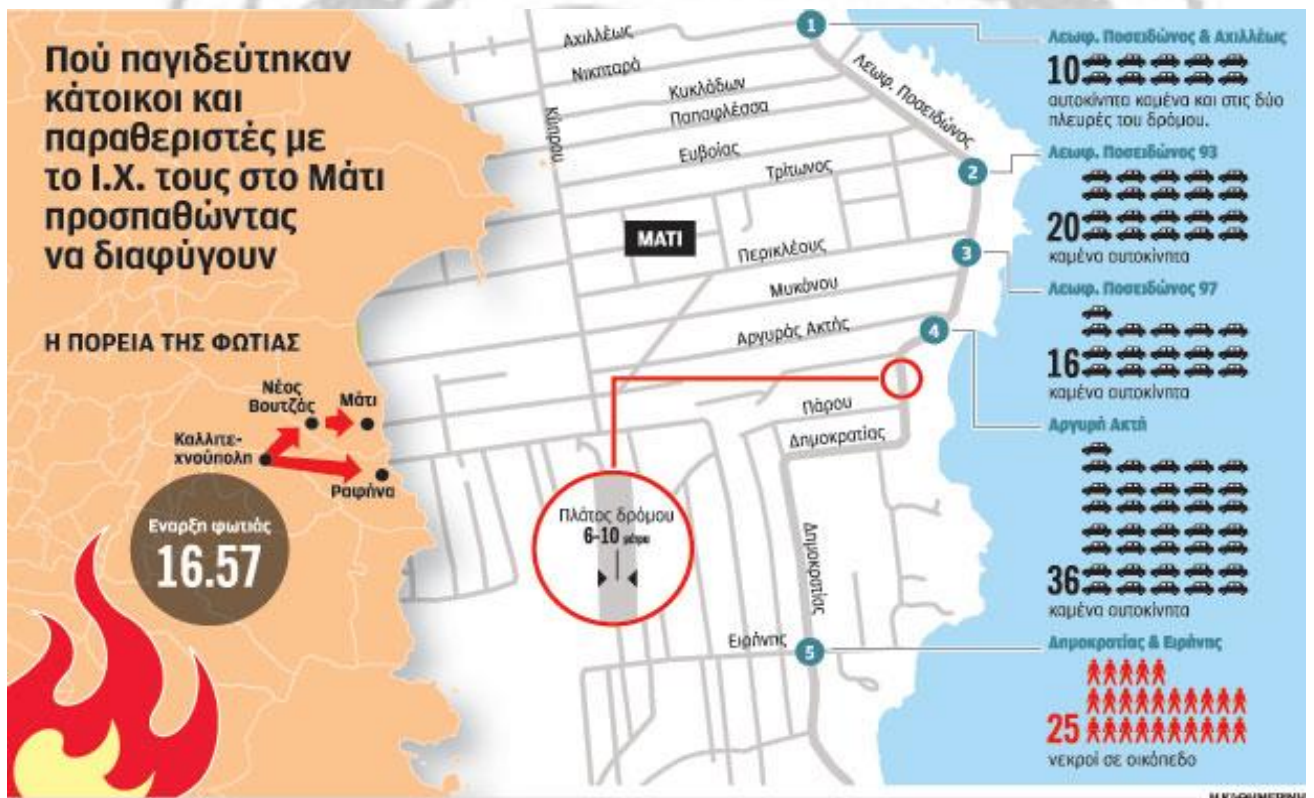


Εικόνα 5. 3 Κατεύθυνση πυρκαγιάς

Λόγω της γρήγορης εξάπλωσης, πολλοί κάτοικοι και παραθεριστές δεν πρόλαβαν να αντιδράσουν και είτε εγκλωβίστηκαν και κάηκαν στα σπίτια τους είτε έχασαν τη ζωή τους προσπαθώντας να διαφύγουν πεζοί ή με τα αυτοκίνητά τους, καθώς παγαιδεύτηκαν λόγω του μπουλιαρισματος που προκλήθηκε. Σε ένα οικόπεδο δίπλα στην θάλασσα βρέθηκαν 26 νεκροί, οι οποίοι δεν μπόρεσαν να βρουν την έξοδο για τη θάλασσα και εγκλωβίστηκαν εκεί. Επίσης υπήρξαν 9 άνθρωποι που πνίγηκαν στην θάλασσα στην προσπάθειά τους να γλυτώσουν από την πύρινη λαίλαπα.



Εικόνα 5. 4 Συνολική έκταση πυρκαγιάς (1)



Εικόνα 5. 5 Χάρτης εγκλωβισμού κατοίκων

Η πυρκαγιά στο Νέο Βουτζά και το Μάτι είναι η φονικότερη στην ιστορία του σύγχρονου ελληνικού κράτους και η δεύτερη πιο φονική πυρκαγιά παγκοσμίως κατά τον 21ο αιώνα, μετά τις πυρκαγιές στην Αυστραλία στις 7 Φεβρουαρίου 2009 που είχαν σκοτώσει 180 άτομα.



Εικόνα 5. 6 Συνολική έκταση πυρκαγιάς (2)



Εικόνα 5. 7 Υλικές ζημιές



Εικόνα 5. 8 Κάτοικοι καταφεύγουν στην θάλασσα για να σωθούν

Σκάφη του λιμενικού, του Πολεμικού Ναυτικού, πλοία της γραμμής, ψαράδες και ιδιωτικά σκάφη ανέλαβαν να περισυλλέξουν όσους ανθρώπους αναζήτησαν σωτηρία στη θάλασσα. Κατά την διάρκεια της εκκένωσης 45 ατόμων από ένα ξενοδοχείο στο Μάτι εκ θαλάσσης, ένα από τα πλοία που συμμετείχε στη διάσωση βυθίστηκε, με αποτέλεσμα και οι 10 επιβάτες, εκ των οποίων 2 Πολωνοί τουρίστες, να πνιγούν.



Εικόνα 5. 9 Το Μάτι απο ψηλά (1)

Εκτός από τις ανθρώπινες απώλειες, η πυρκαγιά είχε ως αποτέλεσμα και την αποτέφρωση τεράστιων εκτάσεων πευκοδάσους, καθώς και όλο το Μάτι και οι παρακείμενες περιοχές αποτεφρώθηκαν πλήρως. Οι πυρκαγιές επίσης προκάλεσαν σοβαρές ζημιές στο δίκτυο ηλεκτροδότησης, τηλεπικοινωνιών και ύδρευσης.



Εικόνα 5. 10 Το Μάτι απο ψηλά (2)

5.3 Μελέτη χωροθέτησης ενός συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης στο Μάτι Αττικής

Κάνοντας μία αναδρομή στη ιστορία παρατηρεί κανείς ότι η καταστροφή στην περιοχή της ανατολικής Αττικής δεν είναι ένα πρωτοφανές συμβάν. Το έτος 1995, η πυρκαγιά εκδηλώθηκε στην περιοχή του Άγιου Πέτρου και έφτασε έως τον Νέο Βουτζά, το 1998, μέτωπα που ξεκίνησαν από τον Νέο Βουτζά και από την Ανθούσα, συνέχισαν να καίνε τα παλιά καμένα και ότι είχε ξεκινήσει να φυτρώνει και το 2000, όπου για μια ολόκληρη νύχτα του Αυγούστου κατακάηκε ότι είχε ξεμείνει από τις προηγούμενες φωτιές, η περιοχή της ανατολικής Αττικής, λαμβάνοντας υπόψη την προϊστορία της περιοχής, είναι δυνατόν να θεωρηθεί ότι είναι κατάλληλη ως περιοχή μελέτης. Σκοπός της μελέτης είναι η χωροθέτηση ενός CPS το οποίο θα λειτουργεί ως σύστημα παρακολούθησης και έγκαιρης προειδοποίησης χαμηλής κατανάλωσης, από έξαρση δασικών πυρκαγιών που μπορεί να οδηγήσουν σε αντίστοιχα μήκη καταστροφών.

Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη είναι ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (WSN) το οποίο σε συνδυασμό με έναν κεντρικό υπολογιστή μπορεί να λαμβάνει πληροφορία σε πραγματικό χρόνο μέσω Internet, να την επεξεργάζεται και στη συνέχεια να αποφασίζει για της κατάλληλες ενέργειες. Παράλληλα το σύστημα παρέχει την δυνατότητα ενημέρωσης του κρατικού μηχανισμού και των αρχών ώστε να δράσουν εγκαίρως, καθώς και της άμεσης ενημέρωσης των πολιτών με σκοπό την αποφυγή θυμάτων και πανικού λόγω της καταστροφής παρέχοντας οδηγίες για να οδηγηθούν όλοι σε ασφαλές μέρος.

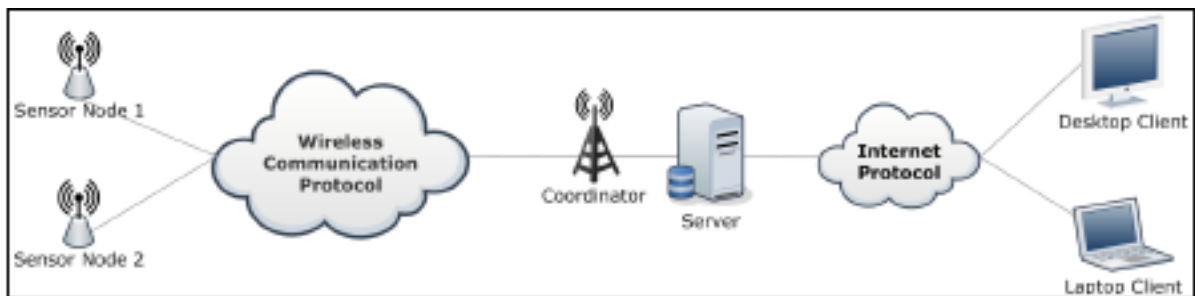
5.3.1 Δομή

Το σύστημα μπορεί να χωριστεί σε 3 στάδια.

- Το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει την περιοχή παρακολούθησης καθώς και τους ασύρματους αισθητήριους κόμβους, οι οποίοι έχουν εγκατασταθεί στην περιοχή αυτή και αποστέλλουν τις μετρήσεις τους στο σταθμό συλλογής δεδομένων.
- Το δεύτερο στάδιο περιλαμβάνει το σταθμό συλλογής δεδομένων ο οποίος απαρτίζεται από τον συντονιστή (coordinator) του δικτύου και έναν υπολογιστή-εξυπηρετητή (server). Ο ρόλος του συντονιστή είναι να συντονίζει και να ελέγχει την ροή δεδομένων μεταξύ των ασύρματων αισθητήρων και του εξυπηρετητή. Ο εξυπηρετητής από την άλλη μεριά περιλαμβάνει το λογισμικό εκείνο το οποίο δίνει εντολές μέσω του συντονιστή στους αισθητήριους κόμβους, καταγράφει και αποθηκεύει σε μια βάση δεδομένων τις μετρήσεις τις οποίες αποστέλλουν οι κόμβοι. Επιπλέον, απαντά στα αιτήματα των πελατών (clients), οι οποίοι αφού συνδεθούν σε αυτόν ζητούν δεδομένα από τη βάση δεδομένων του και, τέλος, τους ενημερώνει αυτόματα στέλνοντάς τους τις νέες μετρήσεις από τους αισθητήριους κόμβους.
- Το τρίτο στάδιο περιλαμβάνει τους υπολογιστές των πελατών οι οποίοι μέσω κατάλληλου λογισμικού συνδέονται στον εξυπηρετητή και ζητούν κομμάτια δεδομένων από την βάση δεδομένων του.

Η σύζευξη μεταξύ των τριών σταδίων επιτυγχάνεται με την χρήση διαφόρων πρωτοκόλλων επικοινωνίας. Η σύνδεση του πρώτου με του δεύτερου πραγματοποιείται με κάποιο πρωτόκολλο ασύρματης επικοινωνίας χαμηλής κατανάλωσης (π.χ. ZigBee, Bluetooth LE κ.α.), ενώ η σύνδεση του δεύτερου με το τρίτο γίνεται με το γνωστό πρωτόκολλο διαδικτύου (Internet Protocol), καθώς είναι το πιο συνηθισμένο για την απλή και γρήγορη μεταφορά μικρού όγκου δεδομένων, υποστηρίζοντας παράλληλα την διευθυνσιοδότηση των κόμβων και την δρομολόγηση των πακέτων από έναν υπολογιστή προς έναν τελικό προορισμό. Η απευθείας

σύνδεση και επικοινωνία μεταξύ πρώτου και τρίτου σταδίου είναι απαγορευμένη και αυτός είναι ο λόγος ύπαρξης του δεύτερου σταδίου.



Εικόνα 5. 11 Γενικευμένη μορφή του συστήματος

5.3.2 Πρότυπο ασύρματης επικοινωνίας

Το σύστημα το οποίο θα καλύψει της ανάγκες για την ανίχνευση και έγκαιρη προειδοποίηση μιας δασικής πυρκαγιάς απαιτεί την χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και χαμηλού ποσοστού δεδομένων. Δεδομένου αυτών των λόγων απαιτείται και η χρήση ενός πρότυπου ασύρματης επικοινωνίας με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της μελέτης είναι το ZigBee. Προσφέρει επικοινωνία κόμβων σε μεγάλες αποστάσεις και δίνει τη δυνατότητα υλοποίησης ενός πρωτότυπου δικτύου χωρίς την χρήση ακριβών ολοκληρωμένων hardware λύσεων που προσφέρουν τα υπόλοιπα πρότυπα επικοινωνίας.

5.3.3 Λειτουργία

Η λειτουργία του συστήματος υλοποιείται από το δεύτερο στάδιο, και συγκεκριμένα από τον συντονιστή με τον εξυπηρετητή. Συντονίζεται μέσω ενός λογισμικού το οποίο εκτελείται στον εξυπηρετητή, επικοινωνεί με τους κόμβους και ταυτόχρονα εξυπηρετεί τους πελάτες. Η επικοινωνία ανάμεσα στον εξυπηρετητή και τους κόμβους πραγματοποιείται με τον συντονιστή, δηλαδή μια κεραία μεγάλης εκπομπής ισχύος η οποία προωθεί τις εντολές του λογισμικού του εξυπηρετητή μέσω του πρωτοκόλλου σειριακής επικοινωνίας καθώς και του ασύρματου πρωτοκόλλου επικοινωνίας ZigBee, στους κόμβους και λαμβάνει τις αποκρίσεις αυτών. Οι εντολές αυτές στέλνονται είτε περιοδικά είτε ύστερα από εντολή του χειριστή του συστήματος, και στην συγκεκριμένη περίπτωση του χειριστή του λογισμικού του εξυπηρετητή.

Όσο αφορά τους αισθητήριους κόμβους, οι εντολές μπορούν να τους βρουν στις εξής καταστάσεις:

- **Αρχική κατάσταση (initial state)** - Οι κόμβοι αποστέλλουν επαναλαμβανόμενα το ID και τις γεωγραφικές τους συντεταγμένες τους στον εξυπηρετητή, προκειμένου να τους εντοπίσει και να συνδεθούν στο δίκτυο, μέχρι τη λήψη επιβεβαίωσης σύνδεσης από αυτόν.
- **Ενεργή κατάσταση (active state)** - Ο μικροελεγκτής και οι αισθητήρες έχουν ενεργοποιηθεί για τη λήψη μετρήσεων. Μετά την παρέλευση ορισμένου χρόνου και την ολοκλήρωση της διαδικασίας λήψης των μετρήσεων στους αισθητήρες γίνεται επαναλαμβανόμενα η αποστολή τους μέχρι την επιβεβαίωση λήψης από τον εξυπηρετητή.
- **Αδρανής κατάσταση (idle state)** - Ο μικροελεγκτής "κοιμάται" αφότου έχει απενεργοποιήσει τους αισθητήρες και "ξυπνά" κατά την επόμενη λήψη εντολής από τον εξυπηρετητή. Είναι η κατάσταση με την χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος.

Σε όλες τις παραπάνω καταστάσεις η κεραία του αισθητήριου κόμβου παραμένει μονίμως ενεργοποιημένη, προκειμένου να μη διακόπτεται η επικοινωνία του κόμβου με τον εξυπηρετητή.

5.3.4 Επικοινωνία

Αφού εγκατασταθούν οι κόμβοι στην περιοχή παρακολούθησης αποστέλλουν το ID και τις γεωγραφικές τους συντεταγμένες επαναλαμβανόμενα προκειμένου να τους εντοπίσει ο εξυπηρετητής. Μόλις ολοκληρωθεί η διαδικασία εντοπισμού, ο εξυπηρετητής αποθηκεύει τα δεδομένα του εκάστοτε κόμβου σε ένα XML αρχείο, το οποίο έχει ως όνομα τη τρέχουσα ημερομηνία. Επιπλέον αποστέλλει σε κάθε κόμβο ένα μήνυμα επιτυχούς σύνδεσης και ξεκινά η μεταξύ τους επικοινωνία. Τέλος οι κόμβοι μπαίνουν σε αδρανή κατάσταση.

Για να αλλάξει η κατάσταση των κόμβων από αδρανή σε ενεργή, ο εξυπηρετητής στέλνει μια εντολή για την προετοιμασία λήψης και αναμετάδοσης των μετρήσεων από αυτούς. Η εντολή αυτή αποτελείται από μια συμβολοσειρά η οποία μπορεί να απευθύνεται είτε σε όλους τους κόμβους είτε μεμονωμένα σε ένα κόμβο. Στην πρώτη περίπτωση η συμβολοσειρά περιέχει μόνο τον τύπο της εντολής, ενώ στη δεύτερη περιέχει επιπροσθέτως το ID του συγκεκριμένου κόμβου. Μόλις οι κόμβοι αναγνωρίσουν την εντολή, μεταβαίνουν από την αδρανή στην ενεργή κατάσταση και ξεκινά η λήψη των μετρήσεων από τους αισθητήρες. Με την

ολοκλήρωση της διαδικασίας αυτής, τα δεδομένα συμπύσσονται σε ένα ενιαίο πακέτο μέσω του μικροελεγκτή που εμπεριέχεται στον εκάστοτε κόμβο και αποστέλλονται επαναλαμβανόμενα στον εξυπηρετητή, μέσω αρχικά του πρωτοκόλλου σειριακής επικοινωνίας UART και έπειτα μέσω του ασύρματου πρωτοκόλλου ZigBee. Η αποστολή αυτή παύει μόλις στον κόμβο φτάσει μήνυμα επιβεβαίωσης λήψης από τον εξυπηρετητή, οπότε και ο κόμβος μεταβαίνει εκ νέου στην αδρανή κατάσταση, ενώ ο εξυπηρετητής ενημερώνει το XML αρχείο αποθηκεύοντας τις νέες τιμές των μετρήσεων από τους κόμβους.

Μια επιπλέον εντολή που στέλνει ο εξυπηρετητής είναι η εντολή επανέναρξης (reset command). Με την εντολή αυτή ο κόμβος μεταβαίνει στην αρχική κατάσταση, ανεξάρτητα από το αν βρίσκεται στην ενεργή ή αδρανή κατάσταση και ουσιαστικά επανεκκινεί το πρόγραμμα, το οποίο εκτελείται στον μικροελεγκτή. Τέλος, υπάρχει η εντολή αδρανοποίησης (idle command) με την οποία οι κόμβοι τίθενται στην αδρανή κατάσταση ανεξάρτητα από την εκάστοτε τρέχουσα κατάσταση.

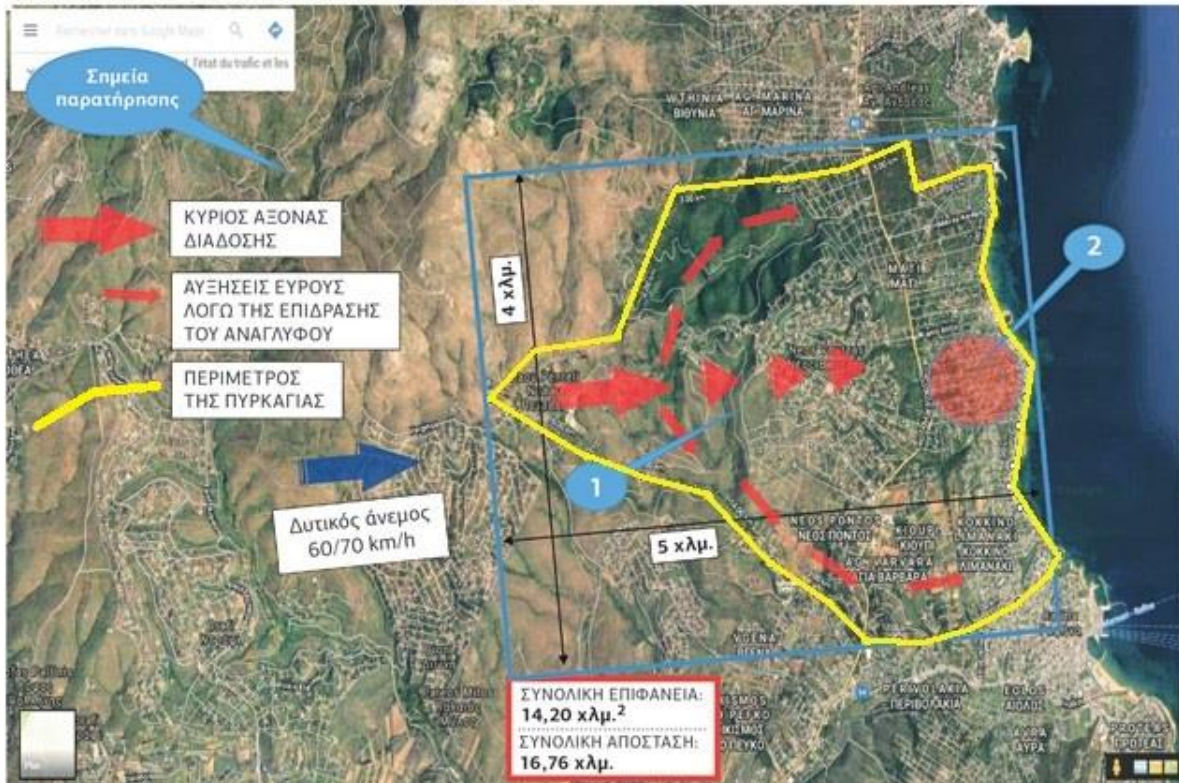
Η επικοινωνία μεταξύ των πελατών (clients) με τον εξυπηρετητή (server) πραγματοποιείται με τη χρήση του διαδικτύου και μέσω της ανταλλαγής TCP/IP πακέτων. Αρχικά, ο πελάτης αποστέλλει ένα αίτημα σύνδεσης στον εξυπηρετητή στο οποίο περιλαμβάνεται η IP του. Στη συνέχεια, ο εξυπηρετητής αποστέλλει σε όλους τους μέχρι στιγμής συνδεδεμένους πελάτες μία συμβολοσειρά, η οποία περιλαμβάνει το IP του πελάτη προς σύνδεση, τις ημερομηνίες που αντιστοιχούν στο αποθηκευμένο ιστορικό καταγραφής και, τέλος, την έως τότε καταγραφή της ημέρας. Όταν ένας πελάτης αναγνωρίσει την IP του στο εισερχόμενο πακέτο, ενημερώνεται η γραφική διεπαφή του λογισμικού του. Ο εξυπηρετητής, μετά από κάθε ολοκληρωμένη διαδικασία λήψεων μετρήσεων από τους κόμβους αποστέλλει την ενημερωμένη έκδοση της καταγραφής της τρέχουσας ημέρας σε όλους τους συνδεδεμένους πελάτες. Επίσης οι πελάτες, μπορούν να αξιοποιήσουν αυτήν την καταγραφή είτε για την γραφική απεικόνιση της ημέρας, είτε για να θέσει γενικές τιμές κατωφλίου σε οποιαδήποτε φυσική παράμετρο, προκειμένου να ειδοποιείται ηχητικά στη περίπτωση υπέρβασης των ορισθέντων τιμών.

5.3.5 Αρχιτεκτονική και τοπολογία

Σύμφωνα με το πρότυπο ασύρματης επικοινωνίας που επιλέχθηκε για την μελέτη (πρότυπο ZigBee), μπορούν να υποστηριχθούν και οι δύο τύποι δρομολόγησης (επίπεδη και ιεραρχική) αλλά και διαφορετικές τοπολογίες δικτύων όπως τοπολογία αστέρα, δέντρου και πλέγματος.

Στο σύστημα της παρούσας μελέτης εφαρμόζεται η ιεραρχική δρομολόγηση και η τοπολογία αστέρα. Η χρήση της συγκεκριμένης τοπολογίας προκύπτει από την λειτουργία των κόμβων της απευθείας αποστολής των δεδομένων τους στον συντονιστή χωρίς να δημιουργούν δίκτυο πλέγματος μεταξύ τους. Οι αισθητήριοι κόμβοι προορίζονται να βρίσκονται στην περιοχή παρακολούθησης, όπως αυτή απεικονίζεται παρακάτω, συνολικής έκτασης 14.000 στρεμμάτων (επιφάνεια που περικλείεται στο κίτρινο πλαίσιο). Όπως γίνεται αντιληπτό επειδή η έκταση είναι μεγάλη, στα πλαίσια της μελέτης προτείνεται κάθε περιοχή (Νταού Πεντέλης, Νέος Βουτζάς, Μάτι, Άγιος Ανδρέας, Ραφήνα κ.α) να απαρτίζεται από τον δικό της συντονιστή και εξυπηρετητή για την καλύτερη ακτίνα κάλυψης. Ουσιαστικά, κατακερματίζεται η μεγάλη επιφάνεια σε μικρά τμήματα υλοποιώντας και τα αντίστοιχα μικρά ασύρματα δίκτυα, μικρού μεγέθους και τοπολογίας με στόχο την αποφυγή τερματικών συσκευών αποστολής δεδομένων στον συντονιστή. Επίσης, είναι σωστό να αναφερθεί, ότι στην περίπτωση που επιθυμούμε την σύνδεση αυτών των μικρών ZigBee δικτύων μεταξύ τους, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί μία πύλη (Gateway) για την επιμέρους σύνδεση κάθε δικτύου.

ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΜΕΤΡΟΣ ΤΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ ΣΤΟ ΜΑΤΙ ΣΤΙΣ 23 ΙΟΥΛΙΟΥ 2018
Εκτιμώμενη έκταση άνω των 14.000 στρεμμάτων

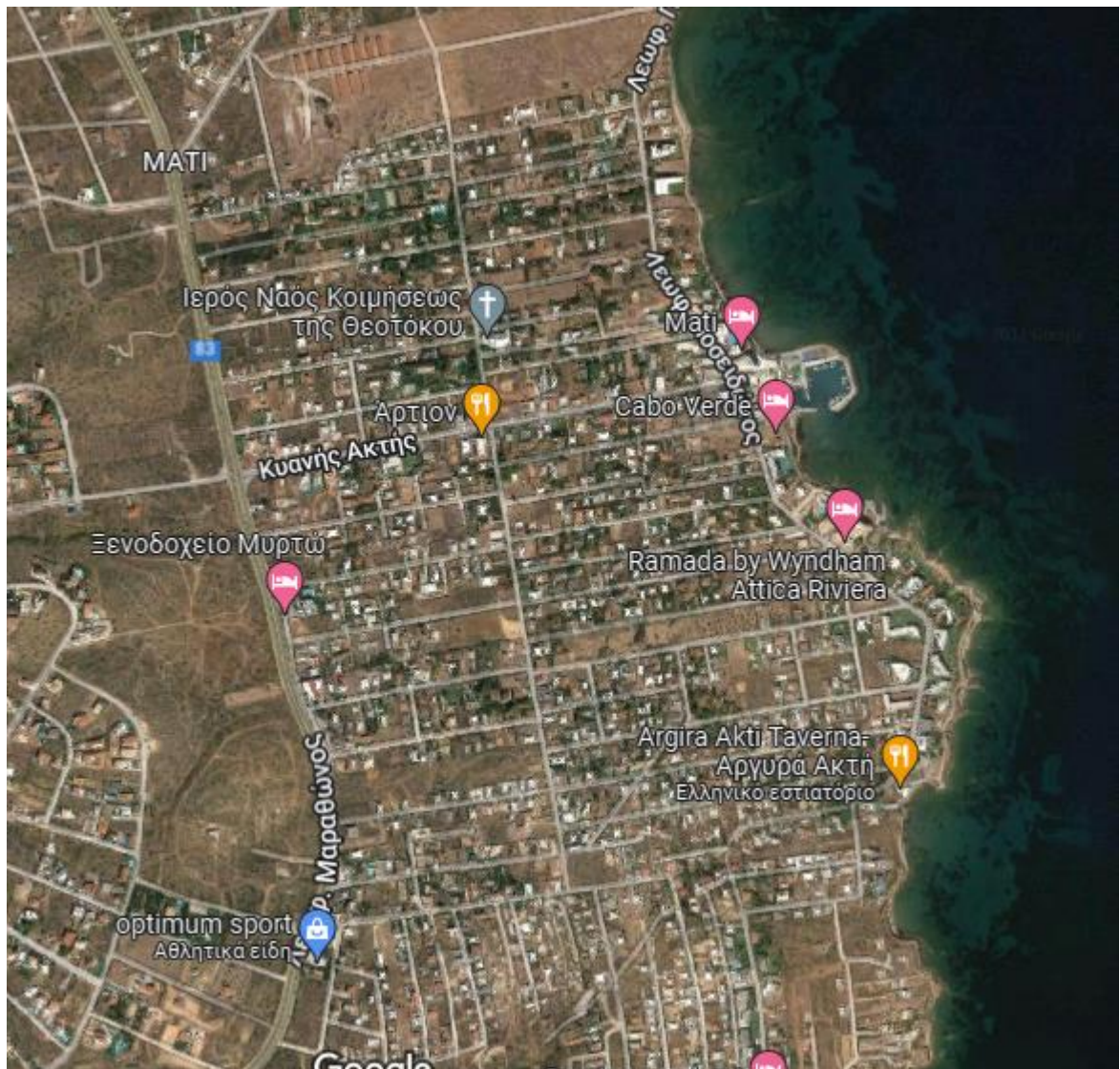


Εικόνα 5. 12 Συνολική γεωγραφική έκταση πυρκαγιάς

Εν γένει συνίσταται ο συντονιστής να βρίσκεται υψομετρικά υψηλότερα σε σχέση με τους κόμβους και κατά το δυνατόν να υπάρχει οπτική επαφή μεταξύ τους, διότι η ύπαρξη εμποδίων επηρεάζει αρνητικά τη μεταξύ τους επικοινωνία.

5.3.6 Σενάριο εφαρμογής του συστήματος για μια περιοχή

Όπως ήδη αναφέρθηκε, για την καλύτερη κάλυψη της έκτασης προτείνεται ο χωρισμός της σε επιμέρους τμήματα και υλοποίηση ενός συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης ασύρματου δικτύου αισθητήρων σε κάθε μία από αυτές. Στην παρούσα εργασία θα γίνει μελέτη για την κάλυψη της έκτασης του Μάτι Αττικής.



Εικόνα 5. 13 Δορυφορική κάτοψη Μάτι Αττικής

Το σύστημα το οποίο παρουσιάστηκε στις προηγούμενες παραγράφους χρησιμοποιεί τοπολογία αστέρα. Επομένως οι κόμβοι πρέπει να τοποθετηθούν σε διάφορες τοποθεσίες και ο συντονιστής σε ένα κεντρικό σημείο, με υψομετρική διαφορά για να λαμβάνει από όλους τους αισθητήριους κόμβους τις μετρήσεις.



Εικόνα 5. 14 Χωροθέτηση συντονιστή και αισθητήριων κόμβων συστήματος

Ο συντονιστής τοποθετήθηκε σε κεντρικό σημείο, και συγκεκριμένα στον τρούλο της εκκλησίας της περιοχής και οι κόμβοι σε απόσταση 300 με 400 μέτρα από τον αυτόν.

5.3.7 Αισθητήριος κόμβος και σταθμός συλλογής δεδομένων

Στο τελευταίο κομμάτι της παρούσας μελέτης χωροθέτησης τους συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης μιας δασικής πυρκαγιάς θα γίνει αναφορά για τα μέρη τα οποία πρέπει να αποτελείται ο αισθητήριος κόμβος καθώς και ο σταθμός συλλογής δεδομένων.

Αισθητήριος Κόμβος

Όπως ήδη έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 1, ένας αισθητήριος κόμβος αποτελείται από ένα πομποδέκτη, την επεξεργαστική μονάδα, μια μνήμη, αισθητήρες και ένα κύκλωμα τροφοδοσίας με μια πηγή ενέργειας.

- **Επεξεργαστική Μονάδα**

Η επεξεργαστική μονάδα αποτελεί την πρωταρχική συνιστώσα ενός αισθητήριου κόμβου. Για την ορθή της επιλογή πρέπει να ληφθούν αρκετές παράμετροι υπόψη όπως το κόστος, η κατανάλωση, η απλότητα στη

σύνδεση με τους αισθητήρες και στην επικοινωνία με τις περιφερειακές συσκευές.

Υπάρχουν δύο είδη επεξεργαστικής μονάδας. Οι μικροελέγκτες και οι μικροεπεξεργαστές. Έχουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά αλλά και σημαντικές διαφορές. Τόσο το ενσωματωμένο κύκλωμα ενός μικροεπεξεργαστή όσο και ενός μικροελεγκτή δεν μπορούν να διακριθούν από την εξωτερική τους εμφάνιση.

Ένας μικροελεγκτής ενσωματώνει σε ένα μόνο chip μια κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU), σταθερές ποσότητες μνήμης RAM, ROM καθώς και θύρες I/O μαζί με άλλα περιφερειακά. Στις μέρες μας, υπάρχουν πολλοί κατασκευαστές οι οποίοι παράγουν μικροελεγκτές με ένα ευρύ φάσμα δυνατοτήτων και είναι διαθέσιμοι σε διαφορετικές εκδόσεις. Ορισμένοι από τους πιο γνωστούς κατασκευαστές μικροελεγκτών είναι οι ATMEL, Microchip, TI, Freescale, Philips και Motorola.

Σε αντίθεση με τον μικροελεγκτή, ο μικροεπεξεργαστής είναι ένα ενσωματωμένο κύκλωμα το οποίο περιέχει μόνο τον επεξεργαστή στο εσωτερικό του, δηλαδή κατέχει μόνο επεξεργαστικές δυνατότητες. Δεν διαθέτει μνήμη RAM, ROM και άλλα περιφερειακά μέσα στο chip του, με συνέπεια ο σχεδιαστής του συστήματος να οφείλει να τα προσθέσει ο ίδιος εξωτερικά, ώστε να γίνει λειτουργικός. Η ταχύτητα ρολογιού του μικροεπεξεργαστή είναι αρκετά υψηλή σε σχέση με αυτή του μικροελεγκτή. Όταν δηλαδή οι μικροελεγκτές λειτουργούν σε συχνότητες από μερικά KHz έως και 50 MHz, οι σημερινοί μικροεπεξεργαστές λειτουργούν σε πάνω από 1GHz, δεδομένου ότι εκτελούν πολυπλοκότερες διεργασίες.

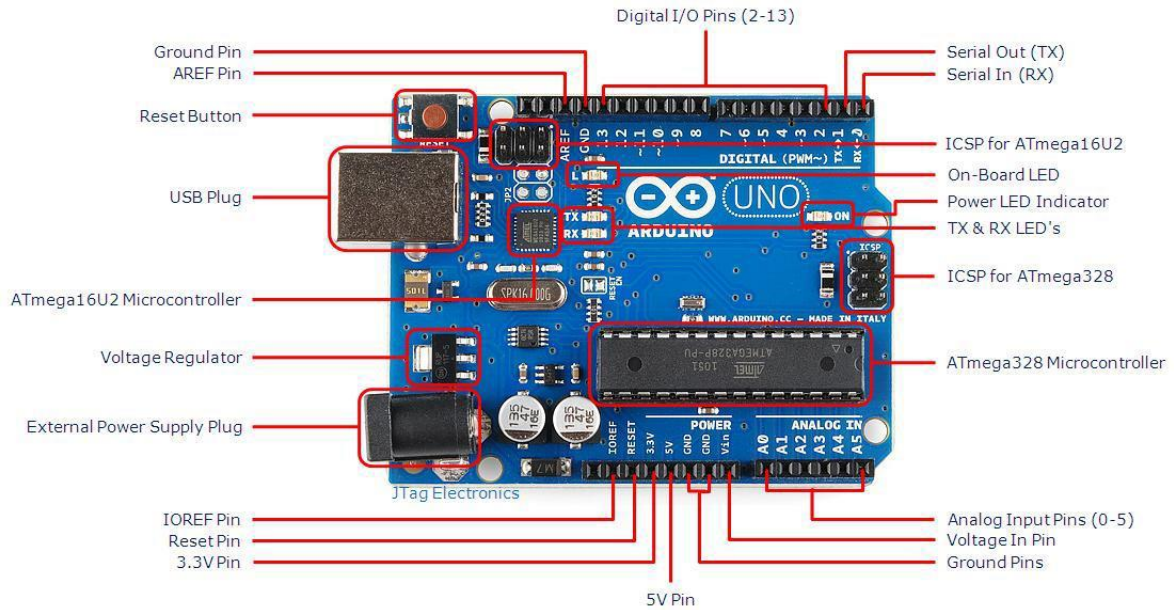
Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται οι κυριότερες διαφορές μεταξύ ενός μικροελεγκτή και ενός μικροεπεξεργαστή.

Μικροελεγκτής	Μικροεπεξεργαστής
Ο CPU βρίσκεται στο ίδιο chip με τις RAM, ROM, I/O και Timer	Ο CPU δεν βρίσκεται στο ίδιο chip με τις RAM, ROM, I/O και Timer
Συγκεκριμένη ποσότητα μνήμης RAM, ROM και I/O θυρών	Ο σχεδιαστής αποφασίζει για τα μεγέθη των μνημών RAM, ROM και I/O θυρών
Μη επεκτασιμότητα	Επεκτασιμότητα
Κατάλληλο για εφαρμογές πραγματικού χρόνου	Μικρότερη καταλληλότητα για εφαρμογές πραγματικού χρόνου
Για ειδικού σκοπού εφαρμογές	Για γενικού σκοπού εφαρμογές
Χαμηλό κόστος, ενεργειακή κατανάλωση και μικρές διαστάσεις	Υψηλό κόστος, ενεργειακή κατανάλωση και μεγάλες διαστάσεις
Χαμηλή επεξεργαστική ικανότητα	Υψηλή επεξεργαστική ικανότητα

Πίνακας 5. 1 Διαφορές μικροελεγκτή και μικροεπεξεργαστή

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα η καταλληλότερη επιλογή για υλοποίηση στην παρούσα μελέτη αποτελεί ο μικροελεγκτής. Αρχικά, διότι στην συγκεκριμένη εφαρμογή δεν απαιτείται υψηλή υπολογιστική ισχύς, άρα και υψηλή κατανάλωση, παρά μόνο διάβασμα των μετρήσεων από τους αισθητήρες, διαβίβασή τους μέσω του πομποδέκτη στον σταθμό συλλογής δεδομένων και, τέλος, μερικοί εσωτερικοί μικροέλεγκτοι στον κόμβο. Έπειτα, για λόγους εξοικονόμησης χώρου και κόστους επιλέγουμε τον μικροελεγκτή διότι μας δίνει την δυνατότητα ενσωμάτωσης του επεξεργαστή, των μετατροπέων αναλογικού σήματος σε ψηφιακό και της μνήμης σε ένα χαμηλού κόστους chip. Επιπλέον, διότι υποστηρίζει σειριακά πρωτόκολλα επικοινωνίας τα οποία διευκολύνουν την επικοινωνία του με τους αισθητήρες και τον πομποδέκτη. Και τέλος, διότι ικανοποιεί το κριτήριο της απλότητας καθώς χρησιμοποιείται μια γλώσσα υψηλού επιπέδου για τον προγραμματισμό του.

Η πλατφόρμα Arduino και συγκεκριμένα το Arduino Uno Rev3, το οποίο αποτελεί μια από τις επίσημες πλακέτες Arduino, είναι ένας single-board μικροελεγκτής, δηλαδή μια απλή μητρική πλακέτα ανοικτού κώδικα, με ενσωματωμένο τον μικροελεγκτή της Atmel ATmega328P ο οποίος ικανοποιεί όλες τις παραπάνω προϋποθέσεις που αναφέρθηκαν.



Εικόνα 5. 15 Πλακέτα Arduino Uno Rev 3

Έχοντας επιλεχθεί ένας μικροελεγκτής ως επεξεργαστική μονάδα, βλέπουμε ότι έχουν καλυφθεί οι ανάγκες για επεξεργαστή, μνήμη και μετατροπείς αναλογικού σήματος σε ψηφιακό.

- **Πομποδέκτης**

Η επιλογή του πομποδέκτη θα πρέπει να γίνει με βάση τα κριτήρια υποστήριξης του πρωτοκόλλου επικοινωνίας ZigBee, ώστε να είναι σε θέση να επικοινωνεί με τον μικροελεγκτή και να προωθεί τα μηνύματα μεταξύ αυτού και του σταθμού συλλογής δεδομένων αλλά και να είναι χαμηλής κατανάλωσης ισχύος.

- **Αισθητήρες**

Η επιλογή των αισθητήρων θα πρέπει να γίνει με βάση τις μετρούμενες περιβαλλοντικές φυσικές παραμέτρους, οι οποίες είναι υπεύθυνες για την ανίχνευση μιας πυρκαγιάς. Αυτές είναι:

1. Θερμοκρασία
2. Υγρασία
3. Συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα
4. Συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα

Εάν η τιμή μιας εκ των παραμέτρων υπερβεί ένα προκαθορισμένο όριο, τότε τα συστήματα αντιδρούν με την αποστολή συναγερμού στις πυροσβεστικές υπηρεσίες μέσω του λογισμικού του εξυπηρετητή.

- **Κύκλωμα Τροφοδοσίας – Πηγή ενέργειας**

Το τελευταίο βήμα και σημαντικότερο για την ολοκλήρωση του κυκλώματος του αισθητήριου κόμβου είναι η σωστή και σταθερή τροφοδότησή του. Η εξοικονόμηση ενέργειας όπου αυτό είναι εφικτό και η αποκατάσταση ενέργειας μέσω της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας προσφέρουν στη διάταξη αυτονομία και σταθερότητα.

Το κύκλωμα τροφοδοσίας θα αποτελείται από τρία μέρη. Αρχικά, θα περιλαμβάνει μια επαναφορτιζόμενη μπαταρία λιθίου, η οποία θα παρέχει την απαραίτητη ισχύ στον κόμβο με σκοπό την σταθερή του λειτουργία. Για την επίτευξη μιας ορθής και ασφαλούς φόρτισης της μπαταρίας απαραίτητη είναι η ύπαρξη ενός ενδιάμεσου κυκλώματος το οποίο διακόπτει τη διαδικασία της φόρτισης μόλις η μπαταρία αγγίξει το κρίσιμο όριο της τάσης της. Τέλος, ο φορτιστής μπορεί να παρέχει την δυνατότητα φόρτισης της μπαταρίας με δύο τρόπους, είτε μέσω των ακροδεκτών IN+ και IN- στους οποίους θα μπορούσε να συνδεθεί ένα ηλιακό πάνελ, είτε μέσω της ενσωματωμένης mini USB θύρας στην οποία είναι δυνατόν να συνδεθεί οποιοδήποτε συμβατικό τροφοδοτικό.

Σταθμός συλλογής δεδομένων

Όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 5.3.1, η δομή του σταθμού συλλογής δεδομένων αποτελείται από τον συντονιστή και τον εξυπηρετητή.

Η δομή του σταθμού είναι αρκετά απλή. Το λογισμικό του εξυπηρετητή είναι υπεύθυνο για την αποστολή εντολών, τη λήψη και την αποθήκευση μετρήσεων από τους κόμβους σε βάση δεδομένων καθώς και για την επικοινωνία και την ανταλλαγή δεδομένων με τους πελάτες (clients) οι οποίοι συνδέονται σε αυτόν. Για να μπορεί ο εξυπηρετητής να επικοινωνεί με τους αισθητήριους κόμβους χρειάζεται έναν πομποδέκτη που να συνεργάζεται με τον πομποδέκτη που έχει επιλεγεί για τον αισθητήριο κόμβο. Πρακτικά αυτός είναι ο συντονιστής. Είναι υπεύθυνος να προωθεί τα μηνύματα μεταξύ του εξυπηρετητή και των κόμβων. Για την κατάλληλη επιλογή του πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι δεν συντρέχει λόγος χαμηλής κατανάλωσης ισχύος διότι αυτός είναι σε μόνιμη τροφοδοσία.

Βιβλιογραφία

- Διαλέξεις μαθήματος Ασύρματα Δίκτυα, Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, τμήμα ΗΜΜΥ, Αντωνόπουλος Χρήστος.
- Διδακτορική διατριβή: «Έλεγχος ισχύος και εξοικονόμηση ενέργειας σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων», Πανεπιστήμιο Αιγαίου, τμήμα Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων, Νικόλαος Πανταζής.
- Διάλεξη: «Ενότητα 12: Δίκτυα Αισθητήρων και Περιβαλλοντική Παρακολούθηση» Εισαγωγή στην Δασική Πληροφορική, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, τμήμα Δασολογίας & Φυσικού Περιβάλλοντος, Ζαχαρούλα Ανδρεοπούλου.
- Οι Δασικές Πυρκαγιές στην Ελλάδα, Εθνικό Κέντρο Δημόσιας Διοίκησης & Αυτοδιοίκησης
- Διπλωματική εργασία: «Ολοκληρωμένο Σύστημα Παρακολούθησης Δασικών Περιοχών», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, τμήμα ΗΜΜΥ, Αριστείδης Οικονόμου.
- Μεταπτυχιακή διατριβή ειδίκευσης: « Η χρήση ενός CPS (Cyber Physical System) με σκοπό την παρακολούθηση και άμεση ενημέρωση για την διαχείριση κρίσεων – Περιοχή μελέτης: Μάνδρα Αττικής», Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος, Γεώργιος Σαρηγιάννης
- Πτυχιακή εργασία: «Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (Παράδειγμα δικτύου μικρής εμβέλειας)», ΤΕΙ Ηπείρου, τμήμα Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών, Γούσης Γεώργιος.
- Διπλωματική εργασία: «Συλλογή και Συνάθροιση Δεδομένων σε Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων με Χρήση Ενεργειακά Αποδοτικού Πρωτοκόλλου», Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών Τηλεπικοινωνιών & Δικτύων, Παπαβασιλείου Χριστίνα.
- Πτυχιακή εργασία: «Σύντηξη Δεδομένων σε Ασύρματα δίκτυα Αισθητήρων με χρήση Δικτύων Bayes: Εφαρμογή σε Ανίχνευση Πυρκαγιών», Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Μεταπτυχιακό Ηλεκτρονικού Αυτοματισμού, Κασκάνης Αλέξανδρος.
- Διπλωματική εργασία: «Τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας και ελέγχου ισχύος σε ad-hoc δίκτυα», Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στα Πληροφοριακά Συστήματα, Διαμαντόπουλος Φώτιος.

- Διπλωματική εργασία: «Έρευνα Δικτυακών Αισθητήρων», Πανεπιστήμιο Πατρών, τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Ανδρέου Χαράλαμπος.
- Μάτι Αττικής, Βικιπαίδεια
- Πυρκαγιές στην Αττική το 2018, Βικιπαίδεια



