

Πανεπιστήμιο Μακεδονίας
ΔΠΜΣ Πληροφοριακά Συστήματα
Μάθημα: Δίκτυα Υπολογιστών
Καθηγητής: Α.Α. Οικονομίδης

University of Macedonia
Master in Information Systems
Course: Computer Networks
Professor: A.A. Economides

ΘΕΜΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:

«ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ
ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ»

TITLE:

“REAL CASES OF SENSOR NETWORKS FOR ENVIRONMENTAL
POLLUTION MONITORING”

Όνοματεπώνυμο φοιτητών:

Δίγκογλου Παναγιώτα (mis16029)

Θεολόγου Στέλλα(mis16050)

Λώλα Ζωή(mis16024)

Θεσσαλονίκη 2016

Πίνακας Περιεχομένων

| | |
|---|----|
| 1. Περίληψη | 3 |
| 2. Εισαγωγή..... | 4 |
| 3. Ανάλυση Θέματος..... | 5 |
| 3.1 Ατμοσφαιρική ρύπανση | 5 |
| Εισαγωγή..... | 5 |
| Case1: Παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με δίκτυα αισθητήρων στο Πακιστάν | 5 |
| Case 2: Παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με δίκτυα αισθητήρων στη Ζυρίχη της Ελβετίας | 6 |
| Case3: COST Action TD1105 EuNetAir | 7 |
| Case 4: Παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με δίκτυα αισθητήρων στο Cambridge της Αγγλίας..... | 8 |
| 3.2.Ηχορύπανση Εισαγωγή..... | 10 |
| Case1: Noise annoyance survey Vught- έρευνα για την ενόχληση του θορύβου στη Vught | 12 |
| Case2: Firework detection and localization-πυροτεχνήματα ανίχνευσης και εντοπισμού.. | 12 |
| Case3: Bridge monitoring-παρακολούθηση γέφυρας | 13 |
| Case4: Οδικός Κυκλοφοριακός Θόρυβος | 13 |
| 3.3.Ρύπανση Υδάτων Εισαγωγή..... | 15 |
| Case 1: Αυτόνομος οπτικός αισθητήρας χαμηλού κόστους για την παρακολούθηση της ποιότητας του νερού..... | 15 |
| Case2: Σχεδιασμός και αξιολόγηση της παρακολούθησης του συστήματος υδρόβιας ρύπανσης μέσω πλωτού δικτύου αισθητήρων | 17 |
| 4. Συμπεράσματα | 20 |
| 5. Βιβλιογραφία..... | 21 |

1. Περίληψη

Αναμφισβήτητα η περιβαλλοντική ρύπανση εξαιτίας της μεγάλης τεχνολογικής προόδου και της ραγδαίας βιομηχανικής ανάπτυξης έχει πάρει επικίνδυνες διαστάσεις. Για τον έλεγχο και την παρακολούθηση της ρύπανσης του περιβάλλοντος εγκαταστάθηκαν ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Στην παρακάτω εργασία θα γίνει παρουσίαση τριών κύριων προβλημάτων ρύπανσης τα οποία είναι η ατμοσφαιρική ρύπανση, η ηχορύπανση και η ρύπανση των υδάτων. Μέσα από πραγματικές περιπτώσεις εγκατάστασης ασύρματων δικτύων αισθητήρων σε διάφορες πόλεις του κόσμου θα αναλυθεί ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η παρακολούθηση της ρύπανσης των τριών παραπάνω μορφών και ο τρόπος εξαγωγής των δεδομένων.

Abstract:

Without a doubt environmental pollution due to technological advances and rapid industrial growth has taken dangerous proportions. To check and monitor environmental pollution wireless networks of sensors have been setup. In the following paper there will be a presentation of the three main problems, atmospheric, noise and water pollution. By examining three cases of installed wireless network sensors, in different cities of the world, there will be an analysis of the methodology used to monitor the three aforementioned types of pollution and how data is extracted.

2. Εισαγωγή

Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (ΑΔΑ / Wireless Sensor Network – WSN) αποτελείται από διασκορπισμένους αυτόνομους αισθητήρες για την παρακολούθηση φυσικών ή περιβαλλοντολογικών συνθηκών, όπως η θερμοκρασία, ο ήχος, η ατμοσφαιρική πίεση και μέσω συνεργασίας μεταφέρει τα δεδομένα μέσω του δικτύου σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία. Το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων αποτελείται από κόμβους - από μερικές σε αρκετές εκατοντάδες ή ακόμα και χιλιάδες- όπου κάθε κόμβος συνδέεται σε έναν (ή κάποιες φορές σε αρκετούς) αισθητήρες.

Κάθε τέτοιος κόμβος του δικτύου αισθητήρων έχει χαρακτηριστικά μερικά κομμάτια: ένα ραδιοπομποδέκτη με μια εσωτερική κεραία ή μια σύνδεση με μια εξωτερική κεραία, ένα μικροελεγκτή, ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα για τη διασύνδεση με τους αισθητήρες και μια πηγή ενέργειας, συνήθως μια μπαταρία ή μια ενσωματωμένη μορφή συγκομιδής ενέργειας. [1]

Ορισμένοι από τους κύριους τομείς αναφέρονται παρακάτω.

1. **Παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα**
2. **Παρακολούθηση της ρύπανσης του αέρα**
3. **Παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων**
4. **Παρακολούθηση νερού/αποβλήτων υδάτων**

Κόμβοι αισθητήρων μπορούν να χαρακτηριστούν ως μικροί υπολογιστές, πολύ βασικό όσον αφορά τις διεπαφές τους και τα συστατικά τους. Συνήθως αποτελούνται από μια μονάδα επεξεργασίας με περιορισμένη υπολογιστική ισχύ και περιορισμένη μνήμη, αισθητήρες ή MEMS - Microelectromechanical systems(συμπεριλαμβανομένων ειδικών κυκλωμάτων κλιματισμού), μια συσκευή επικοινωνίας (συνήθως ράδιο πομποδέκτες ή εναλλακτική οπτική), και μια πηγή ενέργειας συνήθως με τη μορφή μιας μπαταρίας.

Οι βασικοί σταθμοί είναι ένα ή περισσότερα συστατικά του WSN με πολύ μεγαλύτερη υπολογιστική δύναμη, ενέργεια και επικοινωνία μεταξύ των πόρων. Ενεργούν ως πύλη μεταξύ των κόμβων αισθητήρων και του τελικού χρήστη, καθώς προωθούν συνήθως τα δεδομένα από το WSN σε ένα διακομιστή. Άλλες ειδικές συνιστώσες στη δρομολόγηση δικτύων είναι οι δρομολογητές, οι οποίοι έχουν σχεδιαστεί για τον υπολογισμό, και τη διανομή των πινάκων δρομολόγησης. [1]

3. Ανάλυση Θέματος

3.1 Ατμοσφαιρική ρύπανση

Εισαγωγή

Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι η παρουσία ρύπων με τη μορφή διαφόρων επικίνδυνων αερίων, χημικών ουσιών και σωματιδίων σκόνης στον αέρα που είναι επιβλαβείς στην ανθρώπινη υγεία. Οι μολυσμένες αυτές ουσίες προκύπτουν κυρίως από οχήματα, βιομηχανικές εκπομπές και οργανικές ενώσεις. Η ρύπανση του αέρα αποτελεί μία μείζων περιβαλλοντική αλλαγή και είναι αναγκαίο να ελεγχθεί με διάφορα μέσα. Συνεπώς, έχουν αναπτυχθεί κόμβοι ασύρματων δικτύων αισθητήρων για τη συνεχή της παρακολούθηση. Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων(Wireless Sensor Networks-WSN) αποτελούνται από sink κόμβους, κόμβους αισθητήρων και τη συνδεσιμότητα επικοινωνίας μεταξύ των συσκευών που είναι εγκατεστημένες στο έδαφος, σε κτίρια και σε οχήματα.

Case1: Παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με δίκτυα αισθητήρων στο Πακιστάν

Προτείνεται μοντέλο που δεν απαιτεί περίπλοκο αλγόριθμο δρομολόγησης. Επικεντρώθηκαν στην παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης γύρω από μητροπολιτικές και βιομηχανικές πόλεις στο Πακιστάν. Ανέπτυξαν λοιπόν κινητούς κόμβους αισθητήρων στα Δημόσια μέσα μεταφοράς. Αυτά τα δημόσια οχήματα διέρχονται από διαφορετικές περιοχές στις οποίες η συγκέντρωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι διαφορετική από περιοχή σε περιοχή. Οι κινητοί κόμβοι συλλέγουν δεδομένα όταν πηγαίνουν στην περιοχή του κόμβου-συντονιστή ο οποίος συνδέεται και με τις άλλες στάσεις κόμβους σε κοντινή απόσταση και συνεχίζεται η ανίχνευση της συγκέντρωσης. Κατά μήκος όλης της οδού απ' όπου περνά το δημόσιο μέσο μεταφοράς εγκαταστάθηκε κόμβος με τέτοιο τρόπο που να σχηματίζεται σύμπλεγμα πάνω σε συγκεκριμένες περιοχές. Αυτές οι συστάδες-σμπλέγματα έχουν αναπτυχθεί για να μετρούν τη συγκέντρωση της ρύπανσης του αέρα σε συγκεκριμένες περιοχές ώστε να αποτελεί απαραίτητη ενέργεια η λήψη μέτρων σε περιοχές όπου η ρύπανση του αέρα έχει μεγαλύτερη συγκέντρωση. Πρέπει να αποφεύγονται οι ενδιάμεσοι κόμβοι διότι οδηγούν σε απώλεια της σύνδεσης και τα δρομολόγια μέσω αυτών των κόμβων κολλάνε σε ένα κανονικό δίκτυο που οδηγεί στη δημιουργία προβλήματος διότι υπάρχει άμεση σχέση μεταξύ του κόμβου αισθητήρα και του συμπλέγματος.[2] Για τη συλλογή των δεδομένων πρότειναν τεχνολογία που βασίζεται στο LTE-M. Αυτή η τεχνολογία θα

υπάρχει στα κινούμενα λεωφορεία. Όταν τα λεωφορεία θα σταματούν στους σταθμούς όπου οι Zigbee ασύρματοι αισθητήρες θα έχουν αναπτυχθεί ως ένα σταθερό δίκτυο, τότε οι μονάδες της LTE-M θα συλλέγουν τα δεδομένα από τους Zigbee ασύρματους αισθητήρες και θα τα στέλνουν στο cloud όπου θα αναλύονται αναλόγως.

Case 2: Παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με δίκτυα αισθητήρων στη Ζυρίχη της Ελβετίας

Τα υπέρλεπτα σωματίδια (UFP) είναι ευρέως διαδεδομένα στα αστικά περιβάλλοντα και μπορεί να έχουν σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων. Τα UFP σωματίδια δεν είναι επικίνδυνα από μόνα τους αλλά από το πόσα είναι σε ποσότητα συγκεντρωμένα. Για αυτό το λόγο είναι σημαντικό να ελέγχουμε τις μετρήσεις συγκέντρωσης UFP. Στην περίπτωση αυτή προτείνεται η χρήση ενός κινητού συστήματος μέτρησης στη Ζυρίχη της Ελβετίας το οποίο αποτελείται από 10 κόμβους αισθητήρων στο πάνω μέρος των μέσων μαζικής μεταφοράς που καλύπτουν μία μεγάλη αστική περιοχή σε τακτικό-καθημερινό πρόγραμμα. Οι 10 κινητοί κόμβοι αισθητήρων έχουν συλλέξει ένα ευρύ φάσμα των μετρήσεων της ρύπανσης κατά τη διάρκεια των 2 ετών. [3]

The ten mobile sensor nodes collected a wide range of pollution measurements over the course of two years.

| Air pollutant | Number of measurements (in millions) | Sampling interval (s) | Time period |
|-------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|---------------------|
| Ultrafine particles (UFPs) | 52 | 5 | 2 years (ongoing) |
| Surface ozone (O ₃) | 9 | 20-60 | 2 years (ongoing) |
| Temperature/Humidity | 9 | 20-60 | 2 years (ongoing) |
| Carbon monoxide (CO) | 2 | 10 | 2 months (ongoing) |
| Nitrogen dioxide (NO ₂) | 2 | 10 | 2 months (ongoing) |
| RF electromagnetic fields | 4 | 15-30 | 4 months (finished) |

ενώ οι μεταβλητές που εξετάζονται για την κατασκευή των μοντέλων της ποιότητας του αέρα για τους χάρτες της ρύπανσης UFP είναι [3]

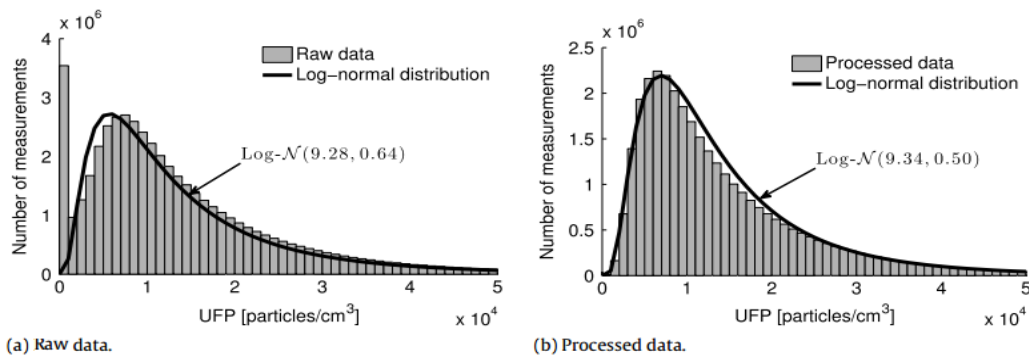
| Variable (unit) | Variable (unit) |
|--------------------------------------|---|
| Population (inhabitants/ha) | Industry (industry buildings/ha) |
| Building height (floor levels/ha) | Heating (oil and gas heatings/ha) |
| Terrain elevation (average m/ha) | Road type (busiest road type/ha) ^a |
| Distance to next road (m) | Distance to next large road (m) ^b |
| Terrain slope (average degree/ha) | Terrain aspect (average degree/ha) |
| Traffic volume (vehicles per day/ha) | Distance to next traffic signal (m) |

^a Five road types: residential, tertiary, secondary, primary, and freeway.

^b Road types classified as large: secondary, primary, and freeway.

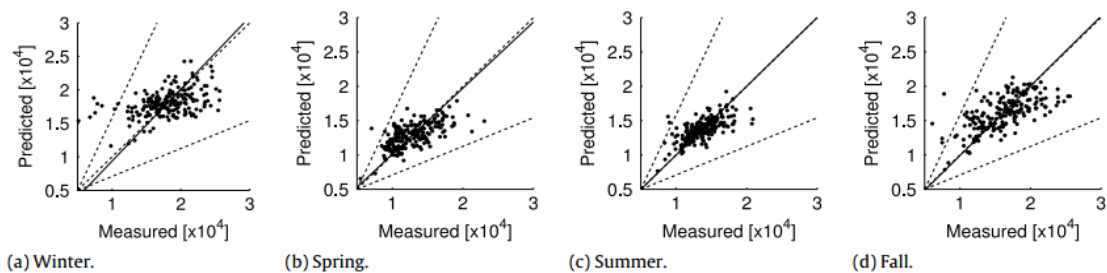
Οι κόμβοι αισθητήρων είναι εξοπλισμένοι με μία καινότομη συσκευή μέτρησης, τα MiniDiSCs για να παρακολουθούν τις συγκεντρώσεις των UFP. Είναι σημαντικό το φίλτράρισμα των UFP για την υψηλή ποιότητα των δεδομένων. Μετά από 2 χρόνια περίπου πραγματοποιήθηκε συλλογή περισσότερων από 50 εκατομμυρίων μετρήσεων UFP. Με βάση αυτά τα δεδομένα, αναπτύχθηκαν μοντέλα παλινδρόμησης land-use

regression (LUR). Τα μοντέλα LUR θέτουν επεξηγηματικές μεταβλητές για σημεία που δεν καλύπτονται από τους αισθητήρες, αξιολογούν τις μεταβλητές με μετρήσεις, προβλέπουν τα επίπεδα μόλυνσης και καταλήγουν στους χάρτες ρύπων και στην προτροπή των κατοίκων να διαλέξουν δρόμο που ίσως να είναι μακρύτερος αλλά πιο υγιεινός. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ότι μια καλή χωρική κάλυψη των μετρήσεων είναι απαραίτητη για να εκτιμηθεί με ακρίβεια η κατανομή των UFP σε αστικά περιβάλλοντα. Συγκεκριμένα, στο σχήμα απεικονίζεται η λογαριθμική κανονική κατανομή (μαύρο) με μέση τιμή και τυπική απόκλιση των UFP δεδομένων (γκρι). Μετά τη βαθμονόμηση και το φιλτράρισμα (επεξεργασία δεδομένων), η log-κανονική κατανομή ταιριάζει με ακρίβεια στην κατανομή των μετρήσεων.



Για να έχουμε καλή ποιότητα δεδομένων (χάρτες ρύπων) από τους αισθητήρες πρέπει να ακολουθήσουμε 3 στάδια: Statistical distribution-στατιστική διανομή, Baseline signal-σήμα της baseline και Comparison to high-quality data sets-σύγκριση με σετ υψηλής ποιότητας δεδομένων. Τα παραπάνω είναι διαγράμματα διασποράς. Το μοντέλο

D. Hasenfratz et al. / Pervasive and Mobile Computing 16 (2015) 268–285



προέβλεψε τις μετρούμενες συγκεντρώσεις UFP για εποχικούς χάρτες ρύπων. Όλες οι ευθείες παλινδρόμησης είναι πολύ κοντά στις γραμμές ένα προς ένα.

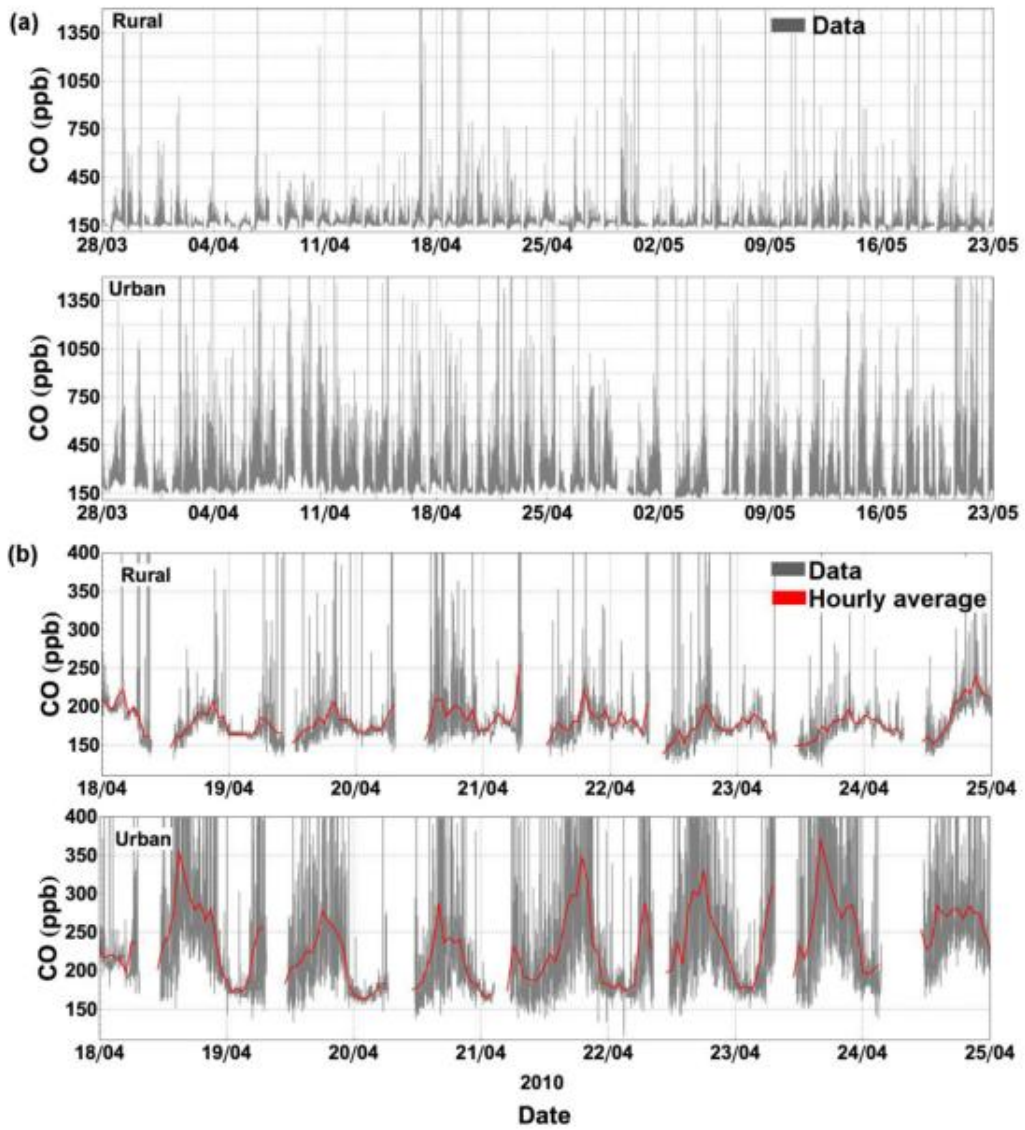
Case3: COST Action TD1105 EuNetAir

Το COST Action TD1105 EuNetAir είναι ένα Ευρωπαϊκό Δίκτυο για νέες τεχνολογίες αισθητήρων για τον έλεγχο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Το COST Action TD1105 βασίζεται σε τεχνολογίες αισθητήρων χαμηλού κόστους ενώ όσον αφορά την περιβαλλοντική βιωσιμότητα έχουν φτιάξει ένα

πολύπλοκο υψηλού επιπέδου δίκτυο που καθορίζει νέες προσεγγίσεις στις συσχετιζόμενες συσκευές όπως στους αισθητήρες αερίου, στα πρωτόκολλα και στη χρήση υπολογιστή. Σκοπός της δράσης αυτής είναι να επεκταθεί το δίκτυο των συνεργατών τους για να δημιουργήσουν νέες τεχνολογίες αισθητήρων. Αυτό θα επιτευχθεί με εκπαίδευση και κατάρτιση νέων επιστημόνων πάνω σε διάφορα θέματα με τις ομάδες εργασίας-Working Groups(WG)[4]: WG1: υλικά για τους αισθητήρες και νανοτεχνολογία, WG2: αισθητήρες, συσκευές και συστήματα αισθητήρων για τον έλεγχο της ρύπανσης του αέρα, WG3: περιβαλλοντικές μετρήσεις και μοντελοποίηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και WG4: πρωτόκολλα και μέθοδοι τυποποίησης. Παράλληλα υπάρχουν και οι ειδικές ομάδες ενδιαφέροντος-Special Interest Groups [4]οι οποίες απεικονίζονται ως εξής: SIG1: δίκτυο για τις Spin-Offs, SIG2: έξυπνοι αισθητήρες για παρακολούθηση του αστικού αέρα στις πόλεις, SIG3: οδηγίες για το καλύτερο ταίριασμα των μετατροπών που ρυπαίνουν τον αέρα και SIG4: ειδικά σχόλια για την αναθεώρηση των οδηγιών για την ποιότητα του αέρα στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Η δράση αυτή προτείνεται για να λυθούν προβλήματα με τη χρήση της στο μέλλον σε θέματα που αφορούν τον έλεγχο ποιότητας του αέρα με δίκτυο αισθητήρων, την περιβαλλοντική βιωσιμότητα, την απόδοση ενέργειας εσωτερικά και εξωτερικά, την παρακολούθηση στην αλλαγή κλίματος και τον τρόπο που η μόλυνση του αέρα επηρεάζει την υγεία του ανθρώπου. Το COST Action TD1105 έχει βραβευτεί από την Cost Association ως επιτυχημένη δράση.

Case 4: Παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με δίκτυα αισθητήρων στο Cambridge της Αγγλίας.

Στην περίπτωση αυτή γίνεται διάκριση μεταξύ των ρύπων που προκύπτουν από τοπικές εκπομπές και εκείνων που οφείλονται σε μη τοπικές ή περιφερειακές εκπομπές. Αποδεικνύεται ότι η υψηλή χωρική πυκνότητα και η γρήγορη απόκριση των μετρήσεων από δίκτυα αισθητήρων χαμηλού κόστους μπορούν να διευκολύνουν αυτό τον διαχωρισμό[5]. Μέτρησαν το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) χρησιμοποιώντας 32 ηλεκτρομαγνητικούς κόμβους αισθητήρων που χρησιμοποιήθηκαν σε πυκνό δίκτυο στο Cambridge και τα δεδομένα συγκεντρώθηκαν περίπου σε 2 μήνες την άνοιξη του 2010. Πιο συγκεκριμένα, αναπτύχθηκαν 2 κόμβοι αισθητήρων, ένας σε αγροτικό και ένας σε αστικό περιβάλλον για να γίνουν αντιληπτές οι διαφορές όσον αφορά τη συχνότητα και και τα επίπεδα υψηλής ρύπανσης σε αυτά τα διαφορετικά περιβάλλοντα όπως απεικονίζονται στα παρακάτω διαγράμματα για όλη την περίοδο ανάλυσης στο a διάγραμμα και για 1 εβδομάδα στο b διάγραμμα:



3.2. Ηχορύπανση

Εισαγωγή

Η ηχορύπανση αποτελεί στις μέρες μας μία από τις πιο σοβαρές μορφές ρύπανσης, παρ' όλο που δεν δίνεται η απαραίτητη προσοχή για την αντιμετώπιση αυτής. Ορίζεται ως ο υπερβολικός και ενοχλητικός θόρυβος που προκαλείται από τον άνθρωπο, τα ζώα ή από μηχανές και διαταράσσει την ισορροπία και τη παραγωγικότητα ή ακόμη και την υγεία του ανθρώπου και την ομαλή διαβίωση των ζώων [1]. Αυτό έχει οδηγήσει την Ευρωπαϊκή Επιτροπή στην απαίτηση της αποφυγής, της πρόληψης και της μείωσης της ηχορύπανσης από όλα τα κράτη-μέλη της. Μέσα από ένα πρόσφατο έγγραφο, η Επιτροπή διευκρινίζει ότι "η πιο λεπτομερής μοντελοποίηση/χαρτογράφηση του θορύβου και η αξιολόγηση της έκθεσης σε αυτόν ίσως να πρέπει να αναληφθεί ώστε να καταρτιστούν σχέδια τοπικής δράσης". Πιο εξειδικευμένα η Ευρωπαϊκή Οδηγία 2002/49/EC απαιτεί πράγματι τα κράτη-μέλη να παρέχουν τακτικά ακριβείς απεικονίσεις των επιπέδων θορύβου σε όλα τα πολεοδομικά συγκροτήματα άνω των 250.000 κατοίκων και να καθιστούν τις πληροφορίες διαθέσιμες στο κοινό μέσω κατάλληλων διαδικτυακών διεπαφών. Ωστόσο, μόνο λίγοι πρωτοποριακοί διαχειριστές παρέχουν εύκολα προσβάσιμες και πλήρεις πληροφορίες [6].

Η λύση στο πρόβλημα αυτό μπορεί να έρθει μέσω των ασύρματων δικτύων με αισθητήρες, παρέχοντας χρήσιμες πληροφορίες και εύκολες στην επεξεργασία. Καθώς η τεχνολογία προχωρά με ιλιγγιώδη ταχύτητα, οι αισθητήρες που είναι διαθέσιμοι σήμερα για τη παρακολούθηση της ηχορύπανσης αποτελούνται από όλο και φθηνότερα και μικρότερα υλικά. Τα δίκτυα αισθητήρων αυτά μπορούμε να τα χωρίσουμε σε 4 κατηγορίες.[6]

Κατηγορία 1: Δίκτυα που βασίζονται σε ειδικό εξοπλισμό παρακολούθησης, που χτίστηκε για την αξιοπιστία (π.χ. αντοχή στις καιρικές συνθήκες και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας) και την ακρίβεια (π.χ. χαμηλό δάπεδο θορύβου, που είναι εξοπλισμένα με το πρότυπο IEC κατηγορίας 1 μικρόφωνα). Τα συστήματα παρακολούθησης που χρησιμοποιούνται για το αεροδρόμιο της διαχείρισης του περιβαλλοντικού θορύβου ανήκουν συχνά σε αυτή την κατηγορία. Οι αισθητήρες αυτής της κατηγορίας έχουν αρκετά υψηλό κόστος και είναι δύσκολη η προσαρμογή τους για ποικίλες εφαρμογές.

Κατηγορία 2: Ακουστικά δίκτυα αισθητήρων με στόχο την επεκτασιμότητα, ευελιξία, ακρίβεια και αξιοπιστία με εξαρτήματα χαμηλότερου κόστους από τη 1η κατηγορία. Χρησιμοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές, όπως ο κυκλοφοριακός και ο βιομηχανικός θόρυβος.

Κατηγορία 3: Έχουν σχεδιαστεί για να είναι φθηνά, χαμηλής ισχύος και αυτόνομα, έτσι ώστε να μπορούν να αναπτυχθούν διάχυτα. Επομένως είναι δυνατή η παραγωγή και εφαρμογή τους σε πολύ μεγάλη κλίμακα, επιτρέποντας την παρακολούθηση σε μια ευρεία περιοχή. Σε γενικές γραμμές, τα συστήματα αυτά έχουν χαμηλή μνήμη και χαμηλή ικανότητα επεξεργασίας, το οποίο δεν είναι πρόβλημα όταν οι αισθητήρες είναι σχεδιασμένοι για να εκτελούν μόνο μία εργασία, δηλαδή την ηχητική μέτρηση επί ένα χρονικό διάστημα και την αποστολή των δεδομένων σε μια κεντρική βάση δεδομένων.

Κατηγορία 4: Η τελευταία κατηγορία βασίζεται στη χρήση των smartphones. Η σημερινή γενιά των smartphones έχει αισθητήρες (μικρόφωνο, GPS, επιταχυνσιόμετρο), ένα προγραμματιζόμενο επεξεργαστή, μνήμη και δυνατότητες επικοινωνίας που καθιστά δυνατή την εκτέλεση των μετρήσεων του θορύβου. Με τη διανομή λογισμικού εφαρμογών που οι χρήστες των smartphones μπορούν να εγκαταστήσουν στο κινητό τους τηλέφωνο, ένα δίκτυο πολλών αισθητήρων μπορεί να δημιουργηθεί. Βέβαια προκύπτουν προβλήματα ως προς την ερμηνεία των δεδομένων, λόγω της θέσης για παράδειγμα του smartphone δηλαδή αν είναι μέσα ή έξω από μία τσέπη ή ένα κτίριο.

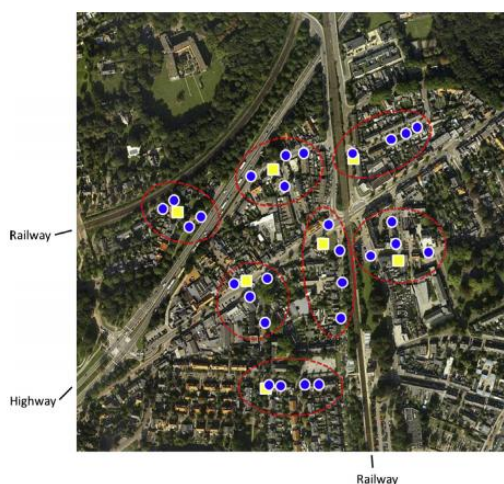
Σύγκριση

Αρχικά το κόστος των υλικών μειώνεται από την κατηγορία 1 προς την κατηγορία 4. Παράλληλα, προς την αντίθετη κατεύθυνση αυξάνεται η επεκτασιμότητα, καθώς η δυνατότητα να προσθέτουμε κόμβους στις κατηγορίες 3 και 4 είναι αυξημένη. Όσον αφορά την ευκαμψία, δηλαδή η χρήση των αισθητήρων σε πολλαπλές εφαρμογές, διαφέρει ανάμεσα στις κατηγορίες. Σημαντικό ρόλο εδώ παίζει και ο τρόπος παροχής ηλεκτρικού ρεύματος (π.χ. μπαταρία) που επηρεάζει την ευελιξία ενός δικτύου αισθητήρων. Οι δύο ίσως πιο σημαντικές πτυχές είναι η ακρίβεια και η αξιοπιστία, όπου η πρώτη σχετίζεται με το μικρόφωνο και τον μετατροπέα A/D που καθορίζει το δυναμικό εύρος και οι κατηγορίες 1 και 2 είναι πιο εξειδικευμένες, όπως επίσης και το ίδιο ισχύει και για την αξιοπιστία όπου η ποιότητα των συστημάτων είναι υψηλή. Στον παρακάτω πίνακα[6] φαίνεται η σύγκριση των κατηγοριών με βαθμούς(++ , +, +/-, -, --),

όπου ένας υψηλός βαθμός (++) σημαίνει χαμηλό κόστος, υψηλή επεκτασιμότητα, υψηλή ευκαμψία, υψηλή αξιοπιστία και υψηλή ακρίβεια αντίστοιχα.

| | Category 1 | Category 2 | Category 3 | Category 4 |
|----------------|------------|------------|------------|------------|
| Hardware costs | -- | +/- | + | ++ |
| Scalability | -- | + | ++ | ++ |
| Flexibility | - | + | +/- | + |
| Reliability | ++ | + | +/- | - |
| Accuracy | ++ | + | +/- | -- |

Case1: Noise annoyance survey Vught- έρευνα για την ενόχληση του θορύβου στη Vught



Ο συγκεκριμένος έλεγχος της ηχορύπανσης πραγματοποιήθηκε στη πόλη της Vught, στις Κάτω Χώρες.[6] Ο στόχος ήταν να παρουσιαστεί η συσχέτιση μεταξύ των επιπέδων ήχου που προκαλούνται από τη κυκλοφορία και τα επίπεδα ενόχλησης λόγω αυτής. Η περιοχή αποτελείται από κεντρικές οδούς, έναν αυτοκινητόδρομο και δύο σιδηροδρομικές γραμμές. Χρησιμοποιήθηκε ένα δίκτυο 35 κόμβων για να καταγράψουν τα επίπεδα

θορύβου. Έτσι κατασκευάστηκε ένα ακουστικό μοντέλο της περιοχής με τα επίπεδα ήχου σε όλες τις προσεγγίσεις. Οι βασικές πτυχές στην περίπτωση αυτή ήταν η ευελιξία, η επεκτασιμότητα και το χαμηλό κόστος, όπου οδήγησε σε εγκατάσταση του δικτύου σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα (6 ώρες και 4 άτομα) και σε αρκετούς κόμβους (35 κόμβοι).

Case2: Firework detection and localization-πυροτεχνήματα ανίχνευσης και εντοπισμού



Στην Ολλανδία η χρήση πυροτεχνημάτων εκτός της ημέρας της πρωτοχρονιάς είναι παράνομη.[6] Όμως, η χρήση αυτών δεν περιορίζεται μόνο στις συγκεκριμένες ώρες που επιτρέπεται και εκτός από τον εκκωφαντικό θόρυβο είναι δυνατόν να προκαλέσουν και σοβαρότερες ζημιές. Επομένως, ένα δίκτυο

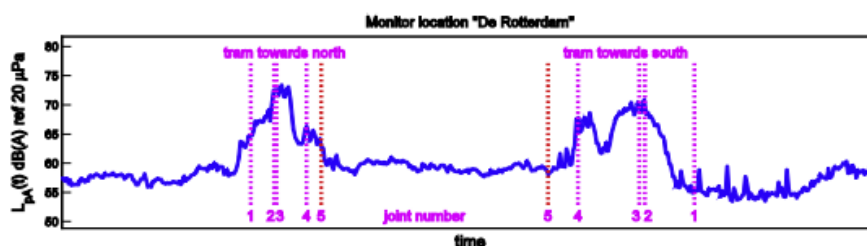
τριών σύνθετων κόμβων χρησιμοποιήθηκε για να βοηθήσει την αστυνομία σε αυτό το θέμα στη πόλη Voorschoten, εξοπλισμένο με λογισμικό που εντοπίζει τις εκρήξεις.

Κατά τη διάρκεια 6 εβδομάδων πάνω από 400 εκρήξεις είχαν ανιχνευτεί. Βασικές πτυχές εδώ ήταν η ευελιξία και η αξιοπιστία.

Case3: Bridge monitoring-παρακολούθηση γέφυρας

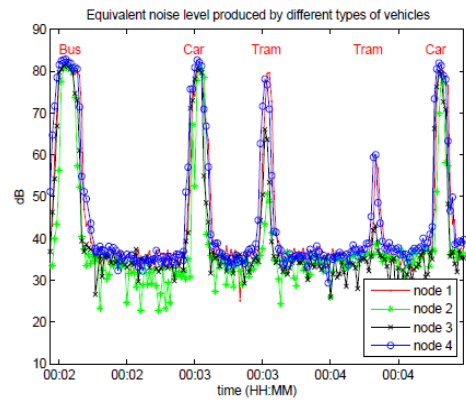
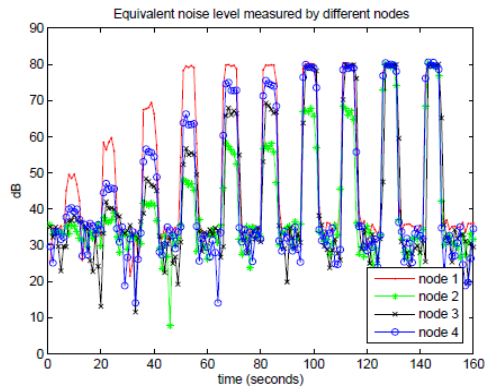
Ένα δίκτυο 6 κόμβων χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση των επιπέδων θορύβου που προκαλείται από τα τραμ στο Ρότερνταμ της Ολλανδίας.[6] Στη γέφυρα, τα τραμ περνούν από αρκετές αρθρώσεις και είναι η αιτία για πολλές καταγγελίες ηχορύπανσης. Οι πέντε από τους έξι κόμβους εξοπλίστηκαν με μπαταρίες, λόγω της δύσκολης τοποθέτησής τους. Οι βασικές πτυχές ήταν η ακρίβεια και η ευελιξία του δικτύου για τη γρήγορη εγκατάσταση του δικτύου και για την αξιοπιστία του.

Στο παρακάτω διάγραμμα[6] διακρίνονται δύο τραμ, το αριστερό ταξιδεύει βόρεια και το δεξί νότια, όπου οι κατακόρυφες γραμμές δείχνουν την συνεισφορά αυτών στη δημιουργία θορύβου.



Case4: Οδικός Κυκλοφοριακός Θόρυβος

Για να αναδειχθεί η σημαντικότητα της διαφορετικότητας των τύπων των οχημάτων, αναπτύχθηκε στη Ζυρίχη [7] ένα δίκτυο με κόμβους αισθητήρων κοντά σε ένα αστικό δρόμο. Στο παρακάτω δεξί διάγραμμα[7] φαίνονται οι ακουστικές αποκρίσεις από τέσσερις διαφορετικούς κόμβους με μια αλυσίδα παλμών θορύβου με αυξανόμενο πλάτος και στο αριστερό διάγραμμα φαίνεται ένα τμήμα των δεδομένων που έχουν συλλεχθεί με τις αυξήσεις του θορύβου που προκύπτουν από τις διελεύσεις των οχημάτων. Έχει γίνει αντιστοίχιση των αυξήσεων με τον συγκεκριμένο τύπο οχήματος και επομένως, οι μεγάλες αυξήσεις σημειώνονται στη διέλευση λεωφορείων. Για να δημιουργηθεί όμως ένας ρεαλιστικός χάρτης θορύβου σε μία πόλη, το κόστος, η ακρίβεια των δεδομένων, η διαθεσιμότητα και η ακριβής απόσταση από τις πηγές θορύβου είναι ζητήματα που πρέπει να δοθεί η μέγιστη προσοχή.



Συμπερασματικά από τα παραπάνω, η ανάγκη για παρακολούθηση του θορύβου αυξάνεται συνεχώς και τα δίκτυα αισθητήρων θα γίνονται όλο και περισσότερο μέρος της καθημερινότητας για να ικανοποιήσουν την ανάγκη της δημιουργίας των έξυπνων πόλεων. Η αυτονομία των αισθητήρων πρέπει να αυξηθεί δραματικά ώστε να ανταποκρίνονται σε ποικίλες εφαρμογές. Για την επίτευξη αυτών, όχι μόνο τεχνικές προκλήσεις πρέπει να ξεπεραστούν, αλλά και η ερμηνεία των μετρήσεων και η ανάλυση τους πρέπει να βελτιωθεί.

3.3.Ρύπανση Υδάτων

Εισαγωγή

Η παρακολούθηση της ποιότητας και του επιπέδου του νερού περιλαμβάνει πολλές δραστηριότητες, όπως τον έλεγχο της ποιότητας των υπόγειων ή επιφανειακών υδάτων και την εξασφάλιση υποδομών ύδρευσης της χώρας, προς όφελος ανθρώπων και ζώων. Η περιοχή της παρακολούθησης της ποιότητας του νερού χρησιμοποιεί ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και πολλοί κατασκευαστές έχουν ξεκινήσει νέες και προηγμένες εφαρμογές για το σκοπό αυτό.[1]

- **Παρατήρηση της ποιότητας των υδάτων**

Η όλη διαδικασία περιλαμβάνει την εξέταση των ιδιοτήτων του νερού σε φράγματα, ποτάμια, ωκεανούς, λίμνες και στους υπόγειους υδάτινους πόρους. Ασύρματοι αισθητήρες που διαχέονται στο νερό επιτρέπουν στους χρήστες να κάνουν έναν ακριβή χάρτη της κατάστασης των υδάτων καθώς και τη μόνιμη κατανομή των σταθμών παρατήρησης σε περιοχές με δύσκολη πρόσβαση χωρίς χειρωνακτική ανάκτηση των δεδομένων.

- **Διαχείριση του δικτύου διανομής των υδάτων**

Οι κατασκευαστές των αισθητήρων του δικτύου διανομής νερού επικεντρώνονται στην παρατήρηση των δομών διαχείρισης των υδάτων, όπως βαλβίδες και σωληνώσεις, αλλά και να τους επιτρέπεται η απομακρυσμένη πρόσβαση σε μετρητές νερού.

- **Πρόληψη των φυσικών καταστροφών**

Οι συνέπειες των φυσικών κινδύνων, όπως οι πλημμύρες μπορεί να προληφθούν αποτελεσματικά με τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Οι ασύρματοι κόμβοι κατανέμονται σε ποτάμια, έτσι ώστε οι αλλαγές της στάθμης του νερού μπορεί να ελέγχονται αποτελεσματικά.[1]

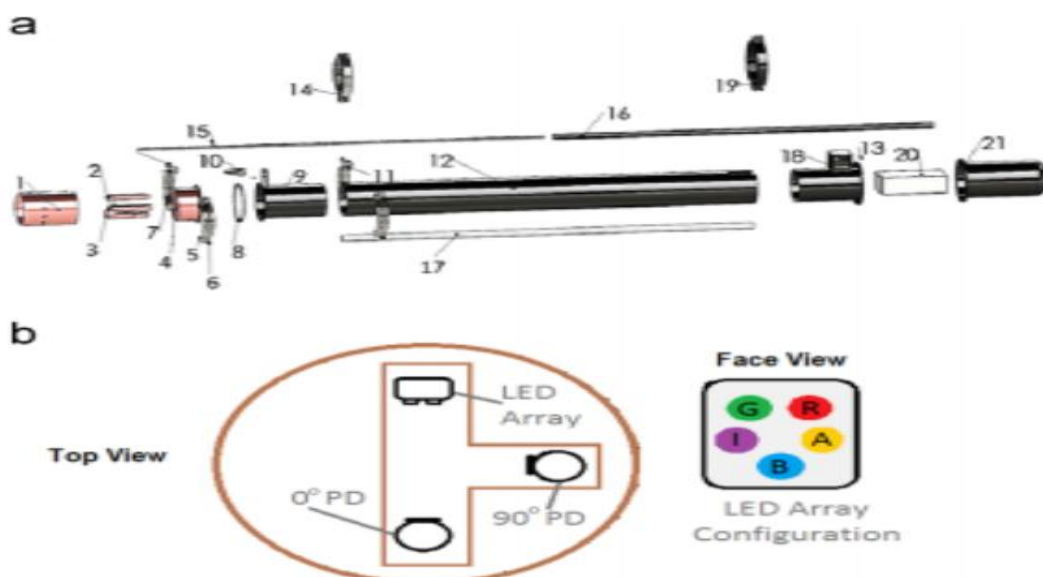
Case 1: Αυτόνομος οπτικός αισθητήρας χαμηλού κόστους για την παρακολούθηση της ποιότητας του νερού

Παρακάτω παρουσιάζεται ένας οπτικός αισθητήρας χαμηλού κόστους για την επιτήρηση του υδάτινου περιβάλλοντος ο οποίος αποτελείται από μία πηγή φωτός πολλαπλού μήκους κύματος με δύο ανιχνευτές φωτοδίοδων που μπορούν να μετρήσουν τη μετάδοση και την πλευρά σκέδασης του φωτός στην κεφαλή του ανιχνευτή. Αυτό επιτρέπει τον αισθητήρα να δώσει ποιοτικά δεδομένα σχετικά με τις αλλαγές στην

οπτική αδιαφάνεια του νερού. Πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακές δοκιμές για να επιβεβαιωθεί το χρώμα και οι απαντήσεις της θολότητας που σχετίζονται με την ρύπανση του ύδατος.

Ο αυτόνομος αισθητήρας υποβλήθηκε σε αναπτύξεις τομέα σε ένα περιβάλλον εκβολών ποταμών και τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται εδώ δείχνουν την ικανότητα των αισθητήρων για την ανίχνευση μεταβολών στην αδιαφάνεια και το χρώμα που αφορούν πιθανά επεισόδια ρύπανσης. [8]

Το πλήρες σύστημα αισθητήρων, που απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα, έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: μία LED πηγή φωτός array χαμηλού κόστους, ευέλικτο ηλεκτρονικό έλεγχο χτισμένο σε αντιρρυπαντικά μέτρα, προαιρετική επικοινωνία GSM, έναν αισθητήρα με προαιρετική ενσωματωμένη θερμοκρασία και ένα ενσωματωμένο καταγραφέα δεδομένων.



Η εικόνα παρουσιάζει την κατανομή των στοιχείων του κόστους κατά τη στιγμή της κατασκευής.[8]

Λειτουργικό σύστημα: Το σύστημα OCS ελέγχεται από ένα CC2511F32 Texas Instruments μικρο-ελεγκτή. Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας ένα Wixel, μια προγραμματιζόμενη μονάδα γενικής χρήσης, τοποθετημένη σε ένα πίνακα με πρόσθετες εισόδους και εξόδους. Στην τρέχουσα διαμόρφωση ο αισθητήρας είναι προγραμματισμένος να διαβάζει τα σήματα από τις δύο φωτοδιόδους για κάθε LED και το επίπεδο φωτισμού του περιβάλλοντος (δηλαδή το σήμα επίπεδο για τις φωτοδιόδους με όλες τις λυχνίες LED off) κάθε 10s.

Το σύστημα μπορεί να επαναπρογραμματιστεί και να χρησιμοποιήσει USB, οι επικοινωνίες GSM ή RF χαμηλής ισχύος για την μεταβολή του ρυθμού οπτικής δειγματοληψίας.[8]

Καταγραφέας δεδομένων: Το Wi-Fi σημείο πρόσβασης USB (AP) επιτρέπει στο χειριστή να κατεβάσει δεδομένα σε μια φορητή συσκευή, όπως ένα έξυπνο τηλέφωνο ή φορητό ασύρματο μέσο σε ένα εύρος έως 45 m, μέσω του πρωτοκόλλου HTTP.

Η μονάδα είναι επίσης συμβατή με dongle GSM / 3G, το οποίο μπορεί να στείλει δεδομένα πίσω σε ένα κέντρο δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον τα δεδομένα αποθηκεύονται στην SD κάρτα επί του σκάφους του καταγραφικού. Το R-Pi τροφοδοτείται από ένα 5V εξωτερικής πηγής ενέργειας. Η μονάδα AP (Edimax EW-7711uan) τροφοδοτείται άμεσα από την παροχή ρεύματος για την αύξηση της σταθερότητας του συστήματος.[8]

Αποτελέσματα: Κατά τη διάρκεια των περιόδων ανάπτυξης του αισθητήρα στον τομέα αυτό διαπιστώθηκε ότι το σύστημα πραγματοποιήθηκε με επιτυχία από την άποψη της μετρήσεως, την απόκτηση και την καταγραφή των δεδομένων. Ο καταγραφέας δεδομένων κατέγραψε όλα τα δεδομένα στην κάρτα SD ενώ του επέτρεψε να είναι προσβάσιμα και μέσω Wi-Fi. Αν και υπάρχουν και άλλα ενσωματωμένα συστήματα, όπως το Arduinos, που χρησιμοποιείται ευρέως σε δίκτυα αισθητήρων θαλάσσια, η R-Pi παρέχει πολύ περισσότερες λειτουργίες από ό, τι αυτά τα παραδοσιακά ενσωματωμένα συστήματα.

Ο σχεδιασμός, η κατασκευή και λειτουργία ενός χαμηλού κόστους, πολλαπλού μήκους κύματος οπτικό σύστημα για την παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων έχει απεικονιστεί και περιγραφεί. Το OCS είναι ικανό να μετρά την αλλαγή στην οπτική σήμα κατά μήκος δύο διαφορετικών οπτικών διαδρομών (που μεταδίδεται και sidescattered).

Τα αποτελέσματα από τις δοκιμές πεδίου τονίζουν ότι το σύστημα έχει τη δυνατότητα να ανιχνεύει ξαφνικές και σημαντικές αλλαγές στην αδιαφάνεια του νερού που απορρέουν από τα περιβαλλοντικά γεγονότα.[8]

Case2: Σχεδιασμός και αξιολόγηση της παρακολούθησης του συστήματος υδρόβιας ρύπανσης μέσω πλωτού δικτύου αισθητήρων

Η μελέτη αυτή αναπτύσσει ένα σύστημα ανίχνευσης και εντοπισμού, που ορίζεται ως AquaView και βασίζεται σε ένα δίκτυο ασύρματων αισθητήρων όπου έχει αναπτυχθεί

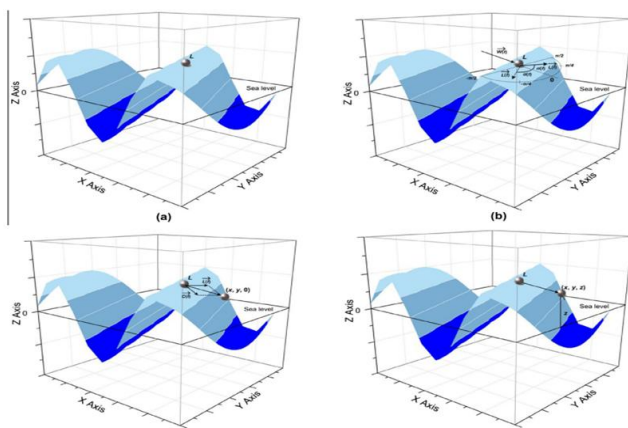
πάνω από μια υπεράκτια περιοχή (δηλαδή, ένα Πλωτό ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (WWSN)) για να παρακολουθείται το κινούμενο όριο της διαρροής ρύπανσης ώστε η λειτουργία καθαρισμού μπορεί να παρακολουθείται αποτελεσματικά και ελεγχόμενα.[9]

Λειτουργία: Κατά την αξιολόγηση της απόδοσης του ορίου ανίχνευσης της AquaView, ένα πλωτό Μοντέλο Κινητικότητας 3D (3D FMM) χρησιμοποιείται για την προσομοίωση της κίνησης των κόμβων αισθητήρων που επιπλέουν στην επιφάνεια του ωκεανού. Τα αριθμητικά αποτελέσματα επιβεβαιώνουν ότι το μοντέλο 3D FMM αναπαράγει με ακρίβεια τα στατιστικά χαρακτηριστικά του τρέχοντος ωκεανού, του ανέμου και των επιπτώσεων της επιφάνειας κύματος στις 3D τροχιές των κόμβων αισθητήρων.

Η AquaView μειώνει την εναέρια επικοινωνία πραγματοποιώντας, για την εκτίμηση του ορίου του κινούμενου ACO, ανά MB σε κάθε σύμπλεγμα εντός της WWSN να γίνει σύντηξη του ορίου πληροφοριών που σχετίζονται με το αντίστοιχο σύμπλεγμα πριν από τη διαβίβαση των πληροφοριών.

Σε γενικές γραμμές, η κίνηση ενός κόμβου πλωτού αισθητήρα προσδιορίζεται από το σχήμα και πλευστότητα του κόμβου αισθητήρα και το καθαρό αποτέλεσμα των φυσικών δυνάμεων που ασκούνται σ'αυτήν από τον άνεμο, το ωκεάνιο ρεύμα και τα επιφανειακά κύματα, αντίστοιχα.[9]

Το ακόλουθο σχήμα δείχνει ένα πλωτό αισθητήρα κόμβου L να παρασύρεται σε 3D



τριδιάστατο χώρο στην επιφάνεια του ωκεανού. Το μοτίβο - κίνηση του κόμβου αισθητήρα μπορεί να αναλυθεί σε δύο κατευθύνσεις, δηλαδή οριζόντια και κάθετη.

Οι τροχιές των πλωτών αισθητήρων του Sns προσομοιώθηκαν χρησιμοποιώντας το μοντέλο 3D

FMM. Το πεδίο ανίχνευσης περιείχε δύο ACO διαρροές, δηλαδή μια ορθογώνια διαρροή με πλάτος και μήκος 200 m και 100 m, αντίστοιχα, και μια κυκλική διαρροή με ακτίνα 50μ.

Κατά την εκτέλεση των προσομοιώσεων, η διαδικασία ανακάλυψης της διαδρομής που εκτελούνταν από τους αισθητήρες όρια, στην αποστολή και στον συντονισμό των πληροφοριών με το αντίστοιχο MB επιτεύχθηκε χρησιμοποιώντας το σύστημα AODV.

Μια υπόθεση έγινε ότι το πλάτος και το μήκος της ορθογώνιας ACO διαρροής και η ακτίνα της κυκλικής διαρροής ACO αυξήθηκε κατά 2m σε κάθε γύρο AquaView. Σαν αποτέλεσμα, μετά από εξήντα γύρους, οι διαρροές ACO αυξήθηκαν σε τέτοιο βαθμό ώστε να επικαλύπτονται το ένα το άλλο και να σχηματίζεται μια ενιαία διαρροή. Επιπλέον, το Sns εκτελεί μια διαδικασία αυτο-εντοπισμού χρησιμοποιώντας ένα απλό SL-TdOA σύστημα και στέλνει τις πληροφορίες στο αντίστοιχα συντονισμένο MB μόνο αν οι ίδιοι τα αντιλαμβάνονται ως αισθητήρες όρια. Τελικά, οι πληροφορίες συντεταγμένων προωθούνται στην MB χρησιμοποιώντας έναν υψηλής απόδοσης αλγόριθμο CDFA, στον οποίο οι πληροφορίες συντεταγμένων των μεμονωμένων αισθητήρων ορίων προοδευτικά συγκεντρώνονται καθώς μεταδίδονται προς το MB.[9]

Ένα μοντέλο κινητικότητας 3D Floating (FMM) έχει προταθεί για να αναπαράγει την κίνηση 3D ενός αντικειμένου που επιπλέει στην επιφάνεια του ωκεανού. Στο προτεινόμενο μοντέλο, η κίνηση του αντικειμένου κατά την κατακόρυφη κατεύθυνση περιγράφεται με τη χρήση ενός εύρους μοντέλο / τυχαίας φάσης, ενώ εκείνη στην οριζόντια κατεύθυνση επιτυγχάνεται με την ενσωμάτωση των τροχιών κίνησης που προκαλείται από τον άνεμο και τα ωκεάνια ρεύματα, αντίστοιχα.

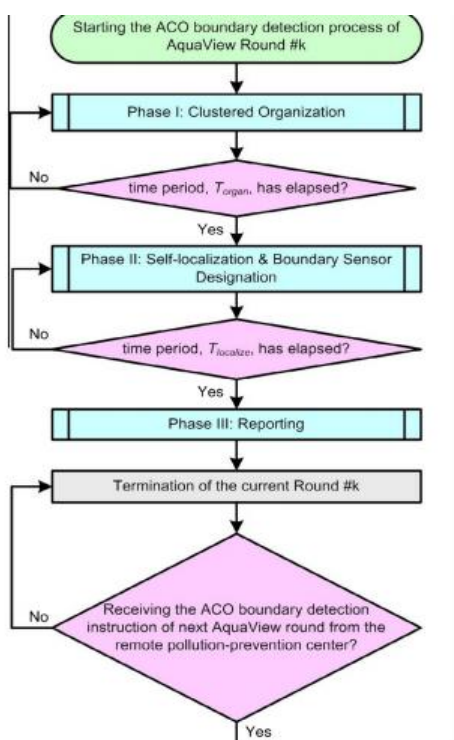


Fig. 2. Flowchart showing processing steps performed by each MB in each round of AquaView.

Έχει αποδειχθεί ότι το προτεινόμενο μοντέλο παρέχει μία πιο ρεαλιστική απεικόνιση της τροχιάς κίνησης ενός αντικειμένου που επιπλέουν στην επιφάνεια του ωκεανού από το μοντέλο κινητικότητας 3D RPGM.

Επιπλέον, τα αποτελέσματα της προσομοίωσης έδειξαν ότι η AquaView προσφέρει χαμηλό κόστος επικοινωνίας και ένα ικανοποιητικό όριο εκτίμησης με ακρίβεια. Ως αποτέλεσμα, η AquaView παρέχει μία υποσχόμενη λύση για την παρακολούθηση και τον εντοπισμό των ACOS πάνω από υπεράκτια περιβάλλοντα.[9]

4. Συμπεράσματα

Γίνεται αντιληπτό ότι τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων(WSN) αποτελούν μία από τις σημαντικότερες τεχνολογίες που έχει στη διάθεσή του ο άνθρωπος γιατί αποτελούν μία αξιόπιστη λύση για την παρακολούθηση και καταγραφή των αλλαγών που συμβαίνουν στο περιβάλλον. Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων έχουν χρησιμοποιηθεί σε ποικίλες εφαρμογές, αλλά εμείς στην εργασία μας εστίασαμε σε WSN για την παρακολούθηση της περιβαλλοντικής ρύπανσης και συγκεκριμένα για την ατμοσφαιρική ρύπανση, την ηχορύπανση και τη ρύπανση των υδάτων μέσα από ανάλυση πραγματικών περιπτώσεων.

Μερικά από τα χαρακτηριστικά των WSN μπορούν να συνοψιστούν στα ακόλουθα: ο χρόνος ζωής γιατί, όπως ειπώθηκε, τροφοδοτούνται από μπαταρίες, το κόστος παραγωγής, που επιδιώκεται να είναι το μικρότερο δυνατό, η περιοχή κάλυψης, η ευκολία ανάπτυξης, η αντοχή σε σφάλματα, ο χρόνος απόκρισης σε συμβάντα και σε αλλαγές που τυχόν προκύψουν, η δυνατότητα συγχρονισμού τους σε νέες τεχνολογίες και η ασφάλεια που παρέχουν στον τελικό χρήστη.

Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Είναι σίγουρο ότι τα συμπεράσματα που προέκυψαν δεν είναι εύκολο να γενικευτούν διότι στην εργασία έγινε περιγραφή των WSN σε συγκεκριμένες πόλεις σε ολόκληρο τον κόσμο και για τρεις συγκεκριμένες μορφές ρύπανσης. Συνεπώς προτείνουμε να γίνει έρευνα και εγκατάσταση ασύρματων δικτύων αισθητήρων σε περισσότερες πόλεις στις οποίες να συμπεριλαμβάνονται και πόλεις της Ελλάδας. Παράλληλα μία ακόμη πρόταση για μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να αποτελέσει η παρουσία των WSN για τη μέτρηση άλλων μορφών ρύπανσης όπως για παράδειγμα μέτρηση της ρύπανσης των εδαφών που δημιουργείται από την υπερβολική χρήση φυτοφαρμάκων.

5. Βιβλιογραφία

- [1] *Wikipedia*. (2016).
- [2] Jamila, M. S., Jamilb, M. A., Mazharc, A., Ikrama, A., Ahmed, A., & Munawarc, U. (2015). Smart Environment Monitoring System by employing Wireless Sensor Networks on Vehicles For Pollution Free Smart Cities. *Procedia Engineering*, 107, pp. 480 – 484.
- [3] Hasenfratz, D., Saukh, O., Walser, C., Hueglin, C., Fierz, M., Arn, T., et al. (2015, January). Deriving high-resolution urban air pollution maps using mobile sensor nodes. *Pervasive and Mobile Computing*, 16(Part B), pp. 268–285.
- [4] Penza, M. (2015). COST Action TD1105 - European Network on New Sensing Technologies for Air Pollution Control and Environmental Sustainability. Overview and Plans. *Procedia Engineering*, 120, pp. 476–479.
- [5] Heimann, I., Bright, V., McLeod, M., Mead, M., Popoola, O., Stewart, G., et al. (2015, July). Source attribution of air pollution by spatial scale separation using high spatial density networks of low cost air quality sensors. *Atmospheric Environment*, 113, pp. 10-19.
- [6] Wessels, P. W., & Basten, T. G. (2016, April 2). Design aspects of acoustic sensor networks for environmental noise monitoring. *Applied Acoustics*(110), pp. 227–234.
- [7] Santini, S., Ostermaier, B., & Vitaletti, A. (2008, April 1). First Experiences Using Wireless Sensor Networks for Noise Pollution Monitoring. *REALWSN*.
- [8] Murphy, K., Heery, B., Sullivan, T., Zhang, D., Paludetti, L., Lau, K., et al. (2015, January 15). A low-cost autonomous optical sensor for water quality monitoring. *Talanta*, 132, pp. 520–527.
- [9] Chen, M.-C., Chang, W.-R., Lin, H.-T., & Lee, H.-H. (2014, March 1). Design and performance evaluation of aquatic-pollution monitoring scheme over a Waterborne Wireless Sensor Network. *Computer Communications*, 40, pp. 51-64.
- [10] Bedri, Z., Corkery, A., O'Sullivan, J., Deering, L., Demeter, K., Meijer, W., et al. (2016, February) Evaluating a microbial water quality prediction model for beach management under the revised EU Bathing Water Directive. *Journal of Environmental Management*, 167, pp. 49-58.
- [11] Ferdoush, S., & Li, X. (2014). Wireless Sensor Network System Design Using Raspberry Pi and Arduino for Environmental Monitoring Applications. *Procedia Computer Science*, 34, pp. 103-110.
- [12] Lin, C., Gillespie, J., Schuder, M., Duberstein, W., Beverland, I., & Heal, M. (2015, January). Evaluation and calibration of Aeroqual series 500 portable gas sensors for accurate measurement of ambient ozone and nitrogen dioxide. *Atmospheric Environment*, 100, pp. 111–116.
- [13] Oikonomou, P., Botsialas, A., Olziersky, A., Stratakos, I., Katsikas, S., Dimas, D., et al. (2014, December 31). Wireless Sensor Network Based on a Chemocapacitive Sensor Array for the Real-time Monitoring of Industrial Pollutants. *Procedia Engineering*, 87, pp. 564–567.

- [14]Penza, M., & EuNetAir Consortium. (2014). COST Action TD1105: Overview of Sensor-systems for Air-quality Monitoring. *Procedia Engineering*, 87, pp. 1370–1377.
- [15]Posniecek, T., Kellner, K., & Brandl, M. (2014). Wireless Sensor Network for Environmental Monitoring with 3G Connectivity. *Procedia Engineering*, pp. 524 – 527.
- [16]Price Waterhouse Coopers EU Services. (2015). *Benchmark Study for Large Scale Pilots in the area of Internet of Things*. European Commission.