

# ΙΟΝΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ  
ΚΑΙ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Τμήμα Πληροφορικής



Πτυχιακή Εργασία

Υλοποίηση Αλγορίθμου Εκτίμησης Κίνησης Οχημάτων  
με Ασύρματες Τεχνολογίες

Σπύρος Βέργης

Επιβλέπων: Αν. Καθηγητής Κωνσταντίνος Οικονόμου

13 Ιουνίου 2019



## Επιβλέπων Καθηγητής

Κωνσταντίνος Οικονόμου, Αναπληρωτής Καθηγητής,  
Ιόνιο Πανεπιστήμιο

## Τριμελής Επιτροπή

Κωνσταντίνος Οικονόμου, Αναπληρωτής Καθηγητής,  
Ιόνιο Πανεπιστήμιο

Δημήτριος Τσουμάκος, Αναπληρωτής Καθηγητής,  
Ιόνιο Πανεπιστήμιο

Μιχαήλ Στεφανιδάκης, Επίκουρος Καθηγητής,  
Ιόνιο Πανεπιστήμιο



Αφιέρωση . . .

Αφιερώνω την παρούσα πτυχιακή εργασία στην οικογένειά μου για την πολύτιμη οικονομική και ηθική υποστήριξη που μου παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια.



# Περίληψη

Στην σημερινή πραγματικότητα που χαρακτηρίζεται από πολυπλοκότητα και συνεχείς αλλαγές η ανάγκη για νέες τεχνολογίες που θα βελτιώσουν το βιοτικό επίπεδο των αστικών κοινωνιών γίνεται όλο και μεγαλύτερη. Με την πέμπτη γενιά της τεχνολογίας ευζωνικών κυψελοειδών δικτύων (5G) να πλησιάζει και την ιδέα των Smart Cities και του Internet Of Things να μετατρέπεται σε πραγματικότητα η μελέτη νέων βοηθητικών συστημάτων αυξάνεται συνεχώς. Στόχος αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι η δημιουργία ενός τέτοιου βοηθητικού συστήματος που επικεντρώνεται στην παρακολούθηση της κίνησης των οχημάτων στα κέντρα ιστορικών πόλεων χρησιμοποιώντας IoT συσκευές. Το σύστημα που σχεδιάστηκε τέθηκε σε λειτουργία στην πόλη της Κέρκυρας για την παρακολούθηση της κίνησης οχημάτων μαζικής μεταφοράς. Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκαν οι συσκευές της Arduino σε συνεργασία με την τεχνολογία GPS για την συλλογή συντεταγμένων των οχημάτων. Τα δεδομένα αποθηκεύονται στην συνέχεια σε σημεία εκφόρτωσης δεδομένων. Από εκεί τα δεδομένα συλλέγονται από fog devices τα οποία επεξεργάζονται τα δεδομένα και εξάγουν συμπεράσματα για την κίνηση των οχημάτων. Η συλλογή των δεδομένων πραγματοποιήθηκε υπό συνθήκες ελαφριάς και βαριάς κίνησης με στόχο την σύγκριση των δύο καταστάσεων από το σύστημα και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Η απομακρυσμένη πρόσβαση στα δεδομένα και την πληροφορία που αποθηκεύουν τα fog devices πραγματοποιήθηκε με την χρήση της πλατφόρμας ownCloud. Κατά την εξαγωγή των αποτελεσμάτων το σύστημα σύγκρινε την κινητική κατάσταση των οχημάτων με το σετ εκπαίδευσης που θα διέθετε. Το σετ εκπαίδευσης αποτελείται από τις μετρήσεις που σύλλεξε το σύστημα στην περίοδο όπου η κίνηση ήταν αραιή. Το σύστημα εντόπισε με επιτυχία τα σημεία όπου η ταχύτητα των οχημάτων ήταν μικρότερη από εκείνη του σετ εκπαίδευσης. Ο στόχος αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι η δημιουργία ενός οικονομικού και ανεξάρτητου συστήματος παρακολούθησης της κίνησης των οχημάτων με την χρήση IoT συσκευών.

# Abstract

A challenging problem has arisen the last couple of decades in the domain of traffic control in cities. Broadly speaking the problem can be addressed by monitoring the movement of various vehicles driving around cities. Specific solutions could be tailored by understanding the pattern of the traffic movement. Vehicle tracking systems have the potential to assist to resolve these matters. This work's purpose is to present a low-cost road traffic monitoring system using IoT devices. These devices are designed to support the Smart Cities vision. A GPS system attached to vehicles to monitor their movement sends the data to information-gathering-hotspots. The data is processed and distributed with the use of fog devices. The testing undergone in this work took place in the historic town of Corfu during periods of both heavy and light traffic conditions. The system was able to compare the readings and spot the difference between the vehicle's movement behavior during heavy and light traffic. The results could be accessed remotely with the help of the fog devices that uploaded the data on a server. In this context, the proposed low-cost system can be utilized to monitor traffic using its own independent data without violating the driver's privacy.

# Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου σε όλους τους ανθρώπους που συνέβαλλαν στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέπων καθηγητή Δρ. Κωνσταντίνο Οικονόμου για την ανέλπιστα και πολύ σημαντική βοήθεια που μου παρείχε στη εκπόνηση της πτυχιακής μου εργασίας καθώς και τον Δρ. Βασίλειο Κομιανό για τον πολύτιμο χρόνο που αφιέρωσε για την καθοδήγηση μου στην συγγραφή της εργασίας. Οι ιδέες και οι σημαντικές παρατηρήσεις τους με στήριζαν και ώθησαν την εργασία να φτάσει στην τελική αυτή μορφή.

Ευχαριστώ πολύ τον Δρ. Γεώργιο Τσουμάνη που με χαρά και υπομονή με βοήθησε στην εξοικείωση με τον εξοπλισμό που χρησιμοποιήθηκε για την πτυχιακή εργασία.

Επιπρόσθετα θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους του συμφοιτητές και τις συμφοιτήτριες μου που με βοήθησαν στην εξαγωγή των πειραμάτων. Είμαι ευγνώμον για την στήριξη τους και τον χρόνο που διέθεσαν.

Ευχαριστώ επίσης τους αυτοκινητιστές της πόλης της Κέρκυρας που βοήθησαν στην εξαγωγή των πειραμάτων.

Η πτυχιακή εργασία στηρίχθηκε επίσης από το Έργο "Πιλοτικό Σύστημα Ασύρματου Δικτύου Αισθητήρων Συγχρονισμένης Παρακολούθησης Κλιματολογικών και Εδαφικών Παραμέτρων σε Ελαιώνες".

Θα ήθελα επιπλέον να απευθύνω ιδιαίτερες ευχαριστίες στα μέλη της Τριμελούς Επιτροπής, Δρ. Κωνσταντίνο Οικονόμου, Δρ. Δημήτριο Τσουμάκο και Δρ. Μιχαήλ Στεφανιδάκη, που διέθεσαν τον χρόνο να αξιολογήσουν την πτυχιακή εργασία μου.

Ακόμη θα επιθυμούσα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές που αυτά τα τέσσερα χρόνια μου παρέδωσαν όλα τα απαραίτητα εφόδια για να ολοκληρώσω με επιτυχία την εργασία αυτή και να πετύχω τους στόχους μου.

Τέλος ευχαριστώ θερμά την οικογένεια μου, που ήταν και είναι πάντα πυλώνας στήριξης σε όλες τις αποφάσεις μου, αλλά και ορισμένους αξιόλογους ανθρώπους που

γνώρισα κατά την διάρκεια της εκπαίδευσής μου. Είναι οι λόγοι που όλα όσα επιθυμύσα και έχω καταφέρει έχουν γίνει πραγματικότητα.

# Περιεχόμενα

|        |                                                                         |    |
|--------|-------------------------------------------------------------------------|----|
| A'     | Εισαγωγή                                                                | 1  |
| B'     | Περιγραφή προβλήματος<br>και ανασκόπηση<br>της σχετικής βιβλιογραφίας   | 5  |
| B'.1   | Τα αστικά θέματα των μεγαλουπόλεων . . . . .                            | 5  |
| B'.2   | Η ιδέα των Έξυπνων Πόλεων<br>και του Διαδικτύου των Πραγμάτων . . . . . | 6  |
| B'.3   | Τεχνικές και Μέθοδοι Παρακολούθησης της Κίνησης των Οχημάτων .          | 7  |
| Γ'     | Αρχιτεκτονική συστήματος                                                | 10 |
| Γ'.1   | Γενική Περιγραφή Συστήματος . . . . .                                   | 10 |
| Γ'.2   | Κινητό Σύστημα Καταγραφής Δεδομένων . . . . .                           | 12 |
| Γ'.3   | Σημεία Εκφόρτωσης Δεδομένων . . . . .                                   | 14 |
| Γ'.4   | Συσκευές Ομίχλης(Fog Devices) . . . . .                                 | 16 |
| Γ'.5   | Διακομιστής . . . . .                                                   | 18 |
| Δ'     | Λειτουργικότητα Συστήματος                                              | 20 |
| Δ'.1   | Γενική Περιγραφή Λειτουργικότητας . . . . .                             | 20 |
| Δ'.2   | Κινητό Σύστημα Καταγραφής Δεδομένων . . . . .                           | 21 |
| Δ'.2.1 | Αλγόριθμος Μείωσης Δεδομένων 1 . . . . .                                | 22 |
| Δ'.2.2 | Αλγόριθμος Μείωσης Δεδομένων 2 . . . . .                                | 24 |
| Δ'.3   | Σημεία Εκφόρτωσης Δεδομένων . . . . .                                   | 27 |
| Δ'.4   | Συσκευές Ομίχλης(Fog Devices) . . . . .                                 | 27 |

|        |                                           |    |
|--------|-------------------------------------------|----|
| Δ'.4.1 | Αλγόριθμος Εξαγωγής Πληροφορίας . . . . . | 28 |
| Δ'.4.2 | OwnCloud Διακομιστής . . . . .            | 29 |
| Ε'     | Διεξαγωγή Έρευνας και Αποτελέσματα        | 31 |
| Ε'.1   | Συλλογή δεδομένων . . . . .               | 31 |
| Ε'.1.1 | Πρώτο Στάδιο . . . . .                    | 32 |
| Ε'.1.2 | Δεύτερο Στάδιο . . . . .                  | 33 |
| Ε'.2   | Αποτελέσματα . . . . .                    | 35 |
| Γ'     | Σύνοψη και Συμπεράσματα                   | 39 |
| Ζ'     | Μελλοντική Δουλειά                        | 41 |
|        | Βιβλιογραφία                              | 41 |
|        | Παραρτήματα                               | 46 |
| I      | Επιμέρους εικόνες                         | 47 |
| II     | Κώδικας MTS                               | 50 |
| III    | Κώδικας IGS                               | 54 |
| IV     | Κώδικας εξαγωγής πληροφορίας              | 59 |
|        | Πίνακας Δημοσιεύσεων                      | 62 |
|        | Γλωσσάρι Ξενικών Όρων                     | 64 |
|        | Συντομογραφίες                            | 65 |

## Κατάλογος Σχημάτων

- Γ'.1 Στο σχεδιάγραμμα αυτό απεικονίζεται η γενική αρχιτεκτονική του συστήματος που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή την εργασία. Τα MTSs στέλνουν τα δεδομένα που καταγράφουν στα IGSs. Εκείνα με την σειρά τους τα στέλνουν στα fog devices τα οποία επεξεργάζονται τα δεδομένα αυτά και τα ανεβάζουν σε ένα server. . . . . 11
- Γ'.2 Εδώ απεικονίζεται η συσκευή MTS όπου τοποθετήθηκε στα οχήματα για να συλλέγει δεδομένα. Στο αριστερό τμήμα φαίνεται η μητρική πλακέτα Arduino Mega 2556 με την μονάδα Xbee τοποθετημένη από πάνω της. Η πλακέτα με την υποδοχή κάρτας μνήμης είναι τοποθετημένη πάνω στο Arduino Mega 2556 και πάνω της κουμπώνει η μονάδα ραδιοεπικοινωνίας Xbee. Στο δεξί μέρος της συσκευής βρίσκεται η μονάδα FONA 808 της Adafruit. Αυτή η μονάδα καταγράφει τις συντεταγμένες μέσω της GPS κεραίας που διαθέτει. Τα jumper wires που χρησιμοποιήθηκαν παρέχουν στην μονάδα αυτή ρεύμα και χρησιμοποιούνται σαν δίαυλος επικοινωνίας μεταξύ της μητρικής πλακέτας και την μονάδας αυτής. . . . 15
- Γ'.3 Αυτή η συσκευή λειτουργεί σαν IGS στην εργασία αυτή. Παρόμοιο στην όψη με το MTS αποτελείται από μία μητρική πλακέτα Arduino Uno πάνω στην οποία είναι τοποθετημένη η μονάδα με την υποδοχή της κάρτας μνήμης. Πάνω στην μονάδα αυτή είναι τοποθετημένη μία μονάδα Xbee με την οποία το IGS επικοινωνεί με τα MTSs. . . . . 17
- Γ'.4 Η τελευταία συσκευή του συστήματος είναι τα fog devices όπου επεξεργάζονται τα δεδομένα και επιτρέπουν την απομακρυσμένη πρόσβαση σε αυτά. Η συσκευή αποτελεί προϊόν της Raspberry pi foundation. Επικοινωνεί απευθείας με το IGS μέσω σειριακής θύρας και συλλέγει τα δεδομένα που λαμβάνει το κάθε IGS από τα MTSs για ανάλυση. . . . 18

- Δ'.1 Το σχήμα αυτό αποτελεί αναπαράσταση της λειτουργίας του πρώτου αλγορίθμου μείωσης δεδομένων που χρησιμοποιούν τα MTSs. Όταν το όχημα είναι στάσιμο δεν συλλέγει δεδομένα μέχρι να αρχίσει να κινείται. 23
- Δ'.2 Το σχήμα αυτό αναπαριστά την λειτουργία του δεύτερου αλγορίθμου μείωσης δεδομένων. Σε αυτό τον αλγόριθμο όταν το όχημα κινείται σε ευθεία πορεία το σύστημα αποθηκεύει μόνο την πρώτη και την τελευταία μέτρηση της ευθείας πορείας που διέγραψε το όχημα. Όπως και ο προηγούμενος αλγόριθμος μείωσης δεδομένων, η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται στα MTSs για την μείωση των δεδομένων που αποθηκεύουν. 25
- Δ'.3 Για αποκτήσει ο κάθε χρήστης απομακρυσμένη πρόσβαση στα δεδομένα μέσω την πλατφόρμας του OwnCloud πρέπει να πληκτρολογήσει την IP διεύθυνση της συσκευής ομίχλης. Η πλατφόρμα ζητά όνομα χρήστη και κωδικό για να αποτρέψει την πρόσβαση σε μη εξουσιοδοτημένα άτομα. . 30
- Ε'.1 Οι μετρήσεις που απεικονίζονται στο σχήμα αυτό, παρουσιάζονται αναλυτικά στον πίνακα Ε'.1. Τα πράσινα βέλη αναπαριστούν την κατεύθυνση στην οποία κινούταν το όχημα σε εκείνο το χρονικό διάστημα και το μήκος του βέλους υποδηλώνει την ταχύτητα με την οποία το όχημα κινούταν. Τα δεδομένα αυτά συλλέχθηκαν στα μπουράγια τρεις εβδομάδες πριν την περίοδο του Πάσχα. . . . . 34
- Ε'.2 Οι μετρήσεις που απεικονίζονται στο σχήμα αυτό, παρουσιάζονται αναλυτικά στον πίνακα Ε'.2. Τα κόκκινα βέλη αναπαριστούν την κατεύθυνση στην οποία κινούταν το όχημα σε εκείνο το χρονικό διάστημα και το μήκος του βέλους υποδηλώνει την ταχύτητα με την οποία το όχημα κινούταν. Τα δεδομένα αυτά συλλέχθηκαν στην περιοχή Μουράγια κατά την περίοδο των εορτών του Πάσχα με αυξημένη κίνηση. . . . . 37
- Ε'.3 Στην εικόνα αυτή παρουσιάζονται τα δύο διανύσματα των μετρήσεων του πρώτου και του δεύτερου σταδίου. Τα πράσινα βέλη υποδηλώνουν το διάνυσμα των μετρήσεων με αραιή κίνηση. Τα κόκκινα αντίστοιχα απεικονίζουν το διάνυσμα των μετρήσεων με πυκνή κίνηση. . . . . 38
- I.1 Το κάθε σύστημα MTS τοποθετήθηκε σε ένα όχημα για να συλλέγει μετρήσεις. Εδώ παρουσιάζεται μία συσκευή MTS η οποία τροφοδοτείται με ρεύμα από ένα Power Bank. . . . . 48

- I.2 Η κάθε συσκευή MTS τοποθετήθηκε σε ένα μικρό κουτί. Έτσι το σύστημα μπορεί να τοποθετηθεί στο όχημα διακριτικά και προστατευμένο μέσα στο κουτί αυτό. Έτσι το σύστημα δεν είναι ευάλωτο κατά την διάρκεια της κίνησης του οχήματος αλλά δεν προκαλεί και στόχο για τον οδηγό και τους επιβάτες. . . . . 49

## Κατάλογος Πινάκων

|                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| <i>Δ'.1 Raw Data . . . . .</i>                 | 26 |
| <i>Δ'.2 Processed Information . . . . .</i>    | 26 |
| <i>E'.1 Light Traffic Data . . . . .</i>       | 33 |
| <i>E'.2 Heavy Traffic Data . . . . .</i>       | 36 |
| <i>E'.3 Table with Average Speed . . . . .</i> | 38 |

# Κατάλογος Αλγορίθμων

|   |                                        |    |
|---|----------------------------------------|----|
| 1 | Data compression Algorithm 1 . . . . . | 24 |
| 2 | Data compression Algorithm 2 . . . . . | 26 |



# Κεφάλαιο Α΄

## Εισαγωγή

Ο κύριος στόχος της εργασίας αυτής είναι η δημιουργία ενός οικονομικού συστήματος για την παρακολούθηση της κίνησης των οχημάτων. Το σύστημα που δημιουργήθηκε για την υλοποίηση αυτής της ιδέας χρησιμοποιεί μικρές, οικονομικές και αυτόνομες συσκευές που επικοινωνούν μεταξύ τους σε συνδυασμό με την τεχνολογία GPS για την συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων που συλλέγονται. Τα δεδομένα που συλλέγονται από το σύστημα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της κίνησης στο οδικό σύστημα. Λόγω της τεχνολογίας του GPS το σύστημα δεν χρειάζεται να βασιστεί σε κάποια άλλη πλατφόρμα για την λήψη δεδομένων. Επίσης τα δεδομένα που συλλέγονται δεν περιέχουν προσωπικά δεδομένα των οδηγών και των οχημάτων τους. Όλες οι συσκευές ανταλλάσσουν αυτά τα δεδομένα τα οποία συγκεντρώνονται και επεξεργάζονται για να μετατραπούν σε πληροφορίες και αποτελέσματα.

Ο βασικός παράγοντας που οδήγησε στην υλοποίηση ενός τέτοιου συστήματος είναι το πρόβλημα της κυκλοφοριακής συμφόρησης που δημιουργείται στα αστικά κέντρα. Με το κόστος αγοράς των οχημάτων να πέφτει συνεχώς και την ετήσια παραγωγή των οχημάτων να φτάνει τα 70 εκατομμύρια, το πρόβλημα αυτό αυξάνεται συνεχώς. Το ζήτημα αυτό αφορά κάθε αστικό κέντρο, ανεξάρτητου του μεγέθους του, και είναι αρκετά έντονο σε περιοχές όπου το οδικό τους σύστημα δεν είναι εκσυγχρονισμένο. Έτσι η ανάγκη για νέες μεθόδους παρακολούθησης και ρύθμισης της κίνησης των οχημάτων είναι πιο έντονη από ποτέ.

Αν και το ζήτημα της κυκλοφοριακής συμφόρησης δεν παρουσιάζει άμεσα κάποια οικονομική ζημιά, ο οργανισμός παρακολούθησης της παγκόσμιας κυκλοφοριακής συμ-

φόρησης INRIX υποστηρίζει ότι το ζήτημα αυτό κοστίζει σε κάθε οδηγό ένα μεγάλο χρηματικό ποσό το κυμαίνεται στα 350 και 2.500 ευρώ ανά οδηγό. Το μεγαλύτερο πρόβλημα κατά τον οργανισμό αυτό είναι τα μπουτιλιαρίσματα που δημιουργούνται στα σημεία όπου οι δρόμοι στενεύουν. Σε έρευνες που έχουν διεξαχθεί σε προηγούμενα έτη παρατηρήθηκε ότι οι βασικοί παράγοντες που οδηγούν στην κυκλοφοριακή συμφόρηση είναι το ίδιο το οδικό δίκτυο και οι κυκλοφοριακές συνήθειες των οδηγών(οδική συμπεριφορά) στο σύστημα αυτό.

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες έχουν διεξαχθεί αρκετές έρευνες που μελετούν νέες μεθόδους παρακολούθησης της κίνησης. Με την πάροδο του χρόνου και την ανάπτυξη της τεχνολογίας εμφανίζονται συνεχώς νεότερες πιο σύγχρονες τεχνικές. Οι τεχνικές αυτές αξιοποιούν διάφορους πόρους είτε από το ίδιο το όχημα είτε από συσκευές τοποθετημένες μέσα στα οχήματα. Τα περισσότερα οχήματα σήμερα διαθέτουν παρόμοιες συσκευές κάνοντας έτσι ευκολότερη την διαδικασία[1]. Σε πολλές εργασίες αναφέρεται η χρήση των IoT συσκευών για την παρακολούθηση των οχημάτων. Οι συσκευές αυτές έχουν γίνει αρκετά γνώστες τα τελευταία χρόνια για την χαμηλή κατανάλωση ενέργειας τους και το χαμηλό κόστος αγοράς τους. Αποτελούν έτσι το αντικείμενο έρευνας πολλών εργασιών. Συγκεκριμένα σε έρευνα που αφορούσε την υλοποίηση ενός συστήματος παρακολούθησης του στόλου χρησιμοποιήθηκε παρόμοια μέθοδος [2, 3]. Οι συσκευές που περιγράφονται στις παραπάνω έρευνες χρησιμοποιούν τα δεδομένα από άλλες πλατφόρμες όπως η Google για να αποκτήσουν τα δεδομένα που χρειάζονται σε πραγματικό χρόνο και τις διανέμουν με την χρήση GSM κεραίας.

Στην εργασία αυτή χρησιμοποιείται παρόμοιο σύστημα με την διαφορά ότι χρησιμοποιούνται ανεξάρτητα δεδομένα που συλλέγει το ίδιο το σύστημα. Τα δεδομένα επίσης δεν ανταλλάσσονται σε πραγματικό χρόνο(η ώρα της μέτρησης διαφέρει από την ώρα επεξεργασίας τους) διότι δεν βασίζονται σε κάποιον εξωτερικό φορέα για την μεταφορά των δεδομένων. Τα μέρη όπου απαρτίζουν το σύστημα είναι τα κινητά συστήματα καταγραφής δεδομένων(Mobile Tracking Systems(MTSs)),τα σημεία εκφόρτωσης δεδομένων(Information Gathering Systems(IGSs)) και οι συσκευές επεξεργασίας και διανομής της πληροφορίας(Fog Devices).Τα MTSs είναι τοποθετημένα στα οχήματα και καταγράφουν μετρήσεις. Τα IGSs συλλέγουν αυτές τις μετρήσεις και τις μεταφέρουν στα Fog Devices τα οποία με την σειρά τους επεξεργάζονται τα δεδομένα αυτά. Η κάθε συσκευή του συστήματος διαθέτει μία κεραία ραδιοεπικοινωνίας με την οποία επικοινωνεί με τις υπόλοιπες.

Οι κεραίες που διαθέτει η κάθε συσκευή για την ανταλλαγή δεδομένων έχουν μία

συγκεκριμένη εμβέλεια σήματος. Ένα από τα δυσκολότερα ζητήματα της εργασίας ήταν η επικοινωνία των σταθερών κόμβων που συλλέγουν τα δεδομένα για επεξεργασία με τους κινητούς κόμβους που βρίσκονται τοποθετημένοι στα οχήματα και συλλέγουν δεδομένα για την κίνηση. Η πιθανότητα να χαθεί η επικοινωνία μεταξύ δύο κόμβων ενώ δεν έχουν τελειώσει την ανταλλαγή μηνυμάτων είναι αρκετά μεγάλη. Επομένως ένα μεγάλο τμήμα του κώδικα που τρέχει σε κάθε συσκευή είναι υπεύθυνο για την διαχείριση αυτής της περίπτωσης. Στα παραρτήματα βρίσκεται το τμήμα του κώδικα που είναι υπεύθυνο για αυτό ακριβώς το θέμα.

Οι συσκευές που είναι τοποθετημένες σε κάθε όχημα συλλέγουν μετρήσεις κάθε 1 δευτερόλεπτο. Επομένως ο συνολικός αριθμός των μετρήσεων που συλλέγονται είναι αρκετά μεγάλος. Για αυτό το λόγο δημιουργήθηκαν δύο μέθοδοι μείωσης των δεδομένων όπου αφαιρούν τις μετρήσεις που δεν παρέχουν ουσιώδεις πληροφορίες. Οι μέθοδοι αυτοί εφαρμόζονται όταν το όχημα σταματά για ένα χρονικό διάστημα και όταν διαγράφει μία ευθεία πορεία, αντίστοιχα.

Με τα δεδομένα συγκεντρωμένα από τα IGSs και τα Fog Devices, ξεκινά η επεξεργασία τους. Για την διευκόλυνση της κατανόησης των αποτελεσμάτων, το σύστημα εξάγει τα αποτελέσματα σε ένα .csv αρχείο. Για κάθε σετ μετρήσεων το σύστημα εξάγει κάποια αποτελέσματα. Στα αποτελέσματα αυτά καταγράφεται η ταχύτητα του οχήματος εκείνη την χρονική περίοδο, η ευρύτερη τοποθεσία του οχήματος και ένα συμπέρασμα για την κίνηση του. Το κάθε Fog Device με την βοήθεια μίας πλατφόρμας μπορεί να λειτουργήσει επίσης ως Server. Έτσι επιτρέπεται και η απομακρυσμένη πρόσβαση στο αρχείο με τα αποτελέσματα αλλά και στο αρχείο με τις μετρήσεις στην αρχική τους μορφή.

Το σύστημα τέθηκε σε λειτουργία στο ιστορικό κέντρο της πόλης της Κέρκυρας. Η διαδικασία συλλογής χωρίστηκε σε δύο στάδια. Κατά το πρώτο στάδιο το σύστημα σύλλεξε δεδομένα σε συνθήκες αραιής κίνησης. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιήθηκαν από το σύστημα ως σετ εκπαίδευσης έτσι ώστε να μπορεί να εξάγει συμπεράσματα για τις μελλοντικές μετρήσεις. Κατά το δεύτερο στάδιο το σύστημα σύλλεξε δεδομένα σε συνθήκες πυκνής κίνησης. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν κατά την εβδομάδα του Πάσχα όπου η κίνηση στο κέντρο είναι αρκετά αυξημένη. Για την εξαγωγή συμπερασμάτων από αυτές τις μετρήσεις το σύστημα βασίστηκε στο σετ εκπαίδευσης του.

Σε περιοχές με αυξημένη κίνηση οχημάτων το σύστημα εντόπισε με επιτυχία την διαφορά. Ο υπολογισμός της ταχύτητας του οχήματος με τα δεδομένα σε σχέση με την πραγματική ταχύτητα του οχήματος είχε μία μικρή απόκλιση η οποία όμως ευθύνεται

στην ανακρίβεια της κεραίας του GPS.

Με βάση τα αποτελέσματα του συστήματος, η παρουσίαση κίνησης στους δρόμους της Κέρκυρας είναι εντονότερη στις περιοχές Κανόνι και Μουράγια. Το συμπέρασμα αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το οδικό δίκτυο αυτών των περιοχών αποτελείται από στενούς δρόμους μονής κατεύθυνσης. Επομένως η διέλευσης οχημάτων μαζικής μεταφοράς όπως λεωφορεία αποτελεί αρκετά δύσκολη.

Το σύστημα χρησιμοποίησε τις μετρήσεις που είχε συλλέξει σε συνθήκες αραιής κίνησης για να εξάγει αποτελέσματα για όλες τις μελλοντικές μετρήσεις που έλαβε. Συγκεκριμένα βασίστηκε στην μέση ταχύτητα του οχήματος σε κάθε οδό ή περιοχή για την εξαγωγή αυτών των συμπερασμάτων.

Η δομή που ακολουθεί η μορφή της εργασίας αυτής είναι η εξής: Στο κεφάλαιο Β΄ περιγράφεται το πρόβλημα όπου η εργασία αυτή μελετά και η ανασκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας. Στην συνέχεια ακολουθεί το κεφάλαιο Γ΄ που περιγράφει την αρχιτεκτονική του συστήματος που χρησιμοποιήθηκε καθώς και τα μέρη των επιμέρους συσκευών. Το κεφάλαιο αυτό χωρίζεται στα επιμέρους υπό-κεφάλαια Γ΄.1, Γ΄.2, Γ΄.3, Γ΄.5 και Γ΄.4 όπου περιγράφουν το κάθε μέρος του συστήματος ξεχωριστά. Το κεφάλαιο Δ΄ εξηγεί την προσέγγιση που χρησιμοποιήθηκε για την λειτουργικότητα του συστήματος. Αναλύει τις δύο τεχνικές μείωσης δεδομένων στα υπο-κεφάλαια Δ΄.2.1 και Δ΄.2.2 και τον αλγόριθμο εξαγωγή δεδομένων στο υπο-κεφάλαιο Δ΄.4.1. Ακολουθεί το κεφάλαιο Ε΄ όπου αναλύει το πείραμα που διεξήχθη στην πόλη της Κέρκυρας κατά την διάρκεια συγγραφής της εργασίας αυτής μαζί με τα αποτελέσματα. Τέλος, στο κεφάλαιο Φ΄ γίνεται μία σύντομη σύνοψη της εργασίας αυτής και στο κεφάλαιο Ζ΄ αναφέρονται οι πιθανές βελτιώσεις που μπορούν να εφαρμοστούν.

## Κεφάλαιο Β΄

### Περιγραφή προβλήματος και ανασκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας

**Ε**να από τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι σύγχρονες αστικές περιοχές είναι το ζήτημα της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Με τον αριθμό των οχημάτων να αυξάνεται κάθε χρόνο ραγδαία η ανάγκη για νέες τεχνολογίες που βοηθούν στον συντονισμό της κίνησης αυξάνεται ανάλογα. Στο παρελθόν, έχουν προταθεί πολλές μέθοδοι παρακολούθησης και συντονισμού της κίνησης των οχημάτων. Πολλές από αυτές όμως απαιτούν πολλούς πόρους και χρόνο για την εφαρμογή τους. Με την εμφάνιση των IoT συσκευών στην επιστημονική κοινότητα, άνοιξε ένας νέος τομέας με προοπτικές για νέες εφαρμογές. Το σύστημα που παρουσιάζεται στην εργασία αυτή χρησιμοποιεί τέτοιες IoT συσκευές για την παρακολούθηση της κίνησης των οχημάτων.

#### Β΄.1 Τα αστικά θέματα των μεγαλουπόλεων

**Μ**ε τον αριθμό των κατοίκων των μεγαλουπόλεων να αυξάνεται συνεχώς δημιουργούνται νέα προβλήματα που κάνουν τις συνθήκες διαβίωσης στην πόλη αρκετά δύσκολες. Το θέμα του υπερπληθυσμού, η κατανάλωση ενέργειας, η μόλυνση του περιβάλλοντος και η αυξημένη κίνηση στους δρόμους είναι μερικά από τα πολλά ζητήματα που απασχολούν τις σύγχρονες αστικές περιοχές.[4, 5, 6]

Επιπρόσθετα το φαινόμενο της αστικοποίησης έχει αποφέρει προβλήματα και σε γραφειοκρατικά ζητήματα αφού τα συστήματα πολλές φορές δεν είναι αρκετά ανεπτυγμένα για να αντεπεξέλθουν στον μεγάλο πληθυσμό των κατοίκων. Έτσι η ανάγκη για ανάπτυξη διογκώνεται όλο ένα και περισσότερο. Την λύση σε αυτά τα ζητήματα μπορούν να παρέχουν νέες μέθοδοι διαχείρισης και με την αρωγή της εξελισσόμενης τεχνολογίας να γίνουν αρκετά γρηγορότερα.

## Β'.2 Η ιδέα των Έξυπνων Πόλεων και του Διαδικτύου των Πραγμάτων

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες αναφέρεται συχνά η ορολογία των έξυπνων πόλεων(*Smart Cities*). Αν και η ιδέα των *Smart Cities* αναφέρεται αυτό το διάστημα σε πολλά επιστημονικά άρθρα δεν είναι ακόμα ξεκάθαρη η ερμηνεία τους. Αποτελεί ένα νέο επιστημονικό πεδίο που δεν είναι αρκετά ώριμο για να αποδειχτεί ότι έχει έναν ενιαίο ορισμό. Στο επιστημονικό άρθρο του Garcia [7] αναφέρεται πως ο ορισμός των *Smart Cities* χαρακτηρίζεται από τα επιστημονικά άρθρα που τις περιγράφουν. Επομένως μπορεί να δημιουργηθεί μία άτυπη ορολογία των *Smart Cities* διαβάζοντας άρθρα που απευθύνονται σε αυτές. Ο Hall αναφέρει πως μία πόλη όπου καταγράφει τις καταστάσεις από όλες τις βασικές της υποδομές(δρόμοι, γέφυρες, κτήρια, ενέργεια, νερό, κ.τ.λ.) μπορεί να διαχειριστεί τους πόρους της και την συντήρησή της καλύτερα, να βελτιωθεί σε θέματα ασφαλείας και να παρέχει καλύτερες υπηρεσίες στους κατοίκους της. Παρομοίως ο Rios μιλάει για μία πόλη που αποτελεί πηγή έμπνευσης για τους πολίτες της και τους δίνει την ελευθερία να εξελιχθούν σε αυτή. Σε αυτά τα άρθρα δεν αναφέρεται ακόμα η έννοια της τεχνολογίας και του Internet of Things(IoT). Στο άρθρο του Toppeeta[8] όμως αναφέρει ότι η Επιστήμη της Πληροφορικής σε συνδυασμό με τον Διαδίκτυο αλλά και με νέες μεθόδους και διαδικασίες μπορούν να απλοποιήσουν τις γραφειοκρατικές διαδικασίες, να δημιουργήσουν νέες λύσεις στην διαχείριση της πόλης και να βελτιώσουν τις συνθήκες διαβίωσης στην μεγάλα αστικά κέντρα. Επομένως σε μεταγενέστερα άρθρα η ιδέα της χρήσης της τεχνολογίας συνδυάστηκε με την ιδέα των *Smart Cities*. [9, 10]. Με την νέα γενιά των δικτύων 5G η ιδέα της χρήσης συσκευών που επικοινωνούν μεταξύ τους για την καλύτερη λειτουργία των αστικών κοινωνιών εξελίχθηκε ακόμα περισσότερο. Έτσι δημιουργήθηκε το πρωτότυπο του διαδικτύου των πραγμάτων (Internet

### *B'.3. Τεχνικές και Μέθοδοι Παρακολούθησης της Κίνησης των Οχημάτων*

of Things). Το πρωτότυπο αυτό υποστηρίζει την χρήση πολλών μικροσυσκευών με διάφορους αισθητήρες όπου επικοινωνούν μεταξύ τους και ανταλλάσσουν δεδομένα για την βελτίωση του βιοτικού επιπέδου των μελών μίας κοινωνίας. Οι συσκευές αυτές είναι ανεξάρτητες, συνήθων μικρές σε μέγεθος και χαρακτηρίζονται από τα χαμηλή κατανάλωση ενέργειας που έχουν. Διαθέτουν μικρή αποθηκευτική μνήμη και υπολογιστική ισχύ και είναι διασκορπισμένα για την συλλογή και επεξεργασία δεδομένων. [10]

### **B'.3 Τεχνικές και Μέθοδοι Παρακολούθησης της Κίνησης των Οχημάτων**

Στο παρελθόν έχουν διεξαχθεί αρκετές έρευνες για την μελέτη της κίνησης των οχημάτων και την ανάλυση της οδικής συμπεριφοράς των οδηγών. Προηγούμενες έρευνες δείχνουν πως οι βασικοί λόγοι όπου οδηγούν σε κυκλοφοριακή συμφόρηση είναι οι οδικές υποδομές μίας αστικής περιοχής και η οδική συμπεριφορά των οδηγών [11, 12]. Σύμφωνα με τον INRIX, έναν οργανισμό που μελετά την κίνηση των οχημάτων σε παγκόσμιο επίπεδο, το περασμένο έτος το ποσό των χρημάτων που χάνεται στην κυκλοφοριακή συμφόρηση κυμαίνεται στα 350 με 2.500 ευρώ(ανά οδηγό). Αναφέρει επίσης πως ο μεγαλύτερος παράγοντας στο πρόβλημα αυτό είναι τα σημεία στα οποία οι δρόμοι στενεύουν και δημιουργείται μπουτιλιάρισμα(bottleneck) [13]. Οι μέθοδοι που έχουν παρουσιαστεί σε παρόμοιες έρευνες αναφέρουν πολλές και διαφορετικές προσεγγίσεις. Στο άρθρο του ο K. Robert αναφέρει πως η βιντεοκάμερα έχει πολλές προοπτικές σαν αισθητήρας παρακολούθησης της κίνησης [14]. Σε άλλο ερευνητικό άρθρο αναφέρεται πως μια συσκευή πλοήγησης μπορεί να αποτελεί αισθητήρας κίνησης. Η συσκευή θα καταγράφει συνεχώς την κίνηση του οχήματος με στόχο να ανακαλύψει κάποιο μοτίβο στην κίνηση των οχημάτων και να προβλέψει την κυκλοφοριακή συμφόρηση [15]. Σε επιστημονικό άρθρο αναφέρεται ακόμα η τοποθέτηση αισθητήρων πίεσης μέσα στο οδόστρωμα [16]. Ο αισθητήρας ουσιαστικά ενεργοποιείται με το βάρος του οχήματος την στιγμή που περνάει πάνω από το οδόστρωμα. Η μέθοδος αυτή, αν και αποτελεσματική, απαιτεί χρόνο και πόρους για να υλοποιηθεί. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας όμως παρουσιάστηκαν νέες, πιο πρακτικές μέθοδοι. Τα σύγχρονα οχήματα διαθέτουν συσκευές που τους επιτρέπουν την ανταλλαγή πληροφορίας με άλλα οχήματα. Η τεχνολογία Vehicle-to-Vehicle, όπως αναφέρεται στο άρθρο του Bauza [1], μπορεί να

## 8Κεφάλαιο Β'. Περιγραφή προβλήματοςκαι ανασκόπησητης σχετικής βιβλιογραφίας

χρησιμοποιηθεί για την αποφυγή της κυκλοφοριακής συμφόρησης καθώς κάθε όχημα μπορεί να γνωστοποιήσει δεδομένα όπως η ταχύτητα με την οποία κινείται σε όλα τα οχήματα εντός της εμβέλειας του. Με την άνθιση των σελίδων και εφαρμογών κοινωνικής δικτύωσης μία ακόμα προσέγγιση που προτάθηκε ήταν εκείνη του Ribeiro [17] όπου αναφέρει ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν αισθητήρες κοινωνικής δικτύωσης όπου θα μπορούν να προβλέψουν την κυκλοφοριακή συμφόρηση χρησιμοποιώντας τις αναρτήσεις των χρηστών. Στο άρθρο αναφέρονται χαρακτηριστικά το Instagram και το Foursquare. Με την άνθιση της ιδέας των Smart Cities και των IoT συσκευών πολλοί συγγραφείς επιστημονικών άρθρων επικεντρώθηκαν στην χρήση τους για την παρακολούθηση της κίνησης και των οχημάτων. Σε αυτές τις έρευνες οι συγγραφείς αναφέρουν πως μικρές συσκευές, που μπορούν να τοποθετηθούν πάνω στο όχημα ή στον δρόμο και να παρακολουθούν την κίνηση των οχημάτων, μπορούν να παρέχουν κάποια μορφή παρακολούθησης της κίνησης στις αστικές περιοχές. [18, 19, 20, 21] Σε μία από τις έρευνες αυτές αναφέρεται πως με την συναίνεση των οδηγών, τα απαραίτητα δεδομένα μπορούν να συλλεχθούν από τα κινητά τους(Smartphones) δίνοντας ευκαιρία σε περισσότερα άτομα να συμμετάσχουν στην διαδικασία συλλογής των δεδομένων. Η Google για παράδειγμα συλλέγει δεδομένα από τις συσκευές που χρησιμοποιούν το Google Maps. Οι συσκευές που χρησιμοποιούν την εφαρμογή στέλνουν πληροφορίες, όπως η τοποθεσία του οχήματος, στην εταιρία. Η εφαρμογή επεξεργάζεται αυτές τις πληροφορίες και τις χρησιμοποιεί για να προσδιορίσει την κίνηση των οχημάτων. Τα σημεία που η κίνηση είναι πολύ βαριά επισημαίνονται με κόκκινη γραμμή στην εφαρμογή. Η Google κρατάει επίσης αρχείο των ημερών όπου η κίνηση είναι αυξημένη,όπως μέρες εορτών έτσι ενημερώνει το σύστημά της για πιθανά μποτιλιαρίσματα.

Συστήματα παρόμοια με αυτό που παρουσιάζεται στην πτυχιακή εργασία αυτή έχουν χρησιμοποιηθεί σε προηγούμενες έρευνες. Οι περισσότερες από αυτές εστιάζουν στην παρακολούθηση των οχημάτων σε πραγματικό χρόνο για εφαρμογές όπως την παρακολούθηση του οχήματος σε περίπτωση κλοπής ή την παρακολούθηση του στόλου μία εταιρίας [2, 3]. Την ίδια προσέγγιση χρησιμοποίησε ο Tarapiah στην έρευνα του για να δημιουργήσει ένα σύστημα όπου παρακολουθεί τα οχήματα για τυχόν παραβάσεις, όπως αυξημένη ταχύτητα, και ενημερώνει την αρμόζουσα υπηρεσία στην περίπτωση ατυχήματος [22]. Στην έρευνα του ο D'Este παρουσιάζει δύο συστήματα παρακολούθησης της κίνησης των οχημάτων βασισμένα στην τεχνολογία GPS[23]. Ο D'Este αναφέρει πως τα συστήματα αυτά αποτελούν έναν οικονομικό και ακριβής τρόπο παρακολούθησης της κίνησης των οχημάτων. Στην έρευνα του συγκρίνει την ταχύτητα κίνησης

### *B'.3. Τεχνικές και Μέθοδοι Παρακολούθησης της Κίνησης των Οχημάτων<sup>9</sup>*

του οχήματος που υπολόγισε το σύστημα με την πραγματική ταχύτητα για να δείξει την ακρίβεια που παρέχουν οι GPS κεραίες. Τα συστήματα όμως που παρουσιάζει απαιτούσαν την χρήση υπολογιστή για την λειτουργία της κεραίας και η συσκευή ήταν τοποθετημένη στον ουρανό του αυτοκινήτου. Επομένως καμία ερευνητική εργασία στο παρελθόν δεν έχει χρησιμοποιήσει ένα τέτοιο οικονομικό, διακριτικό και με ανεξάρτητα δεδομένα σύστημα.

## Κεφάλαιο Γ΄

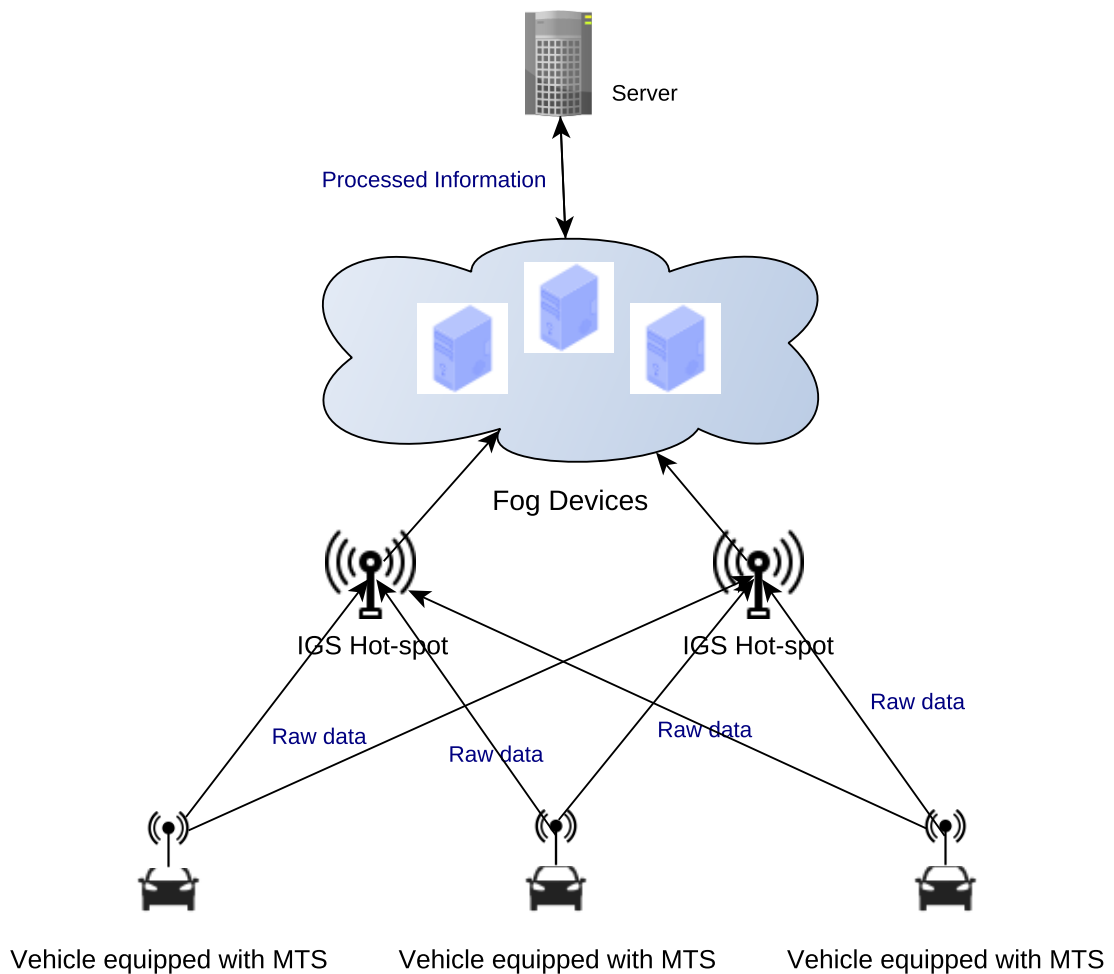
### Αρχιτεκτονική συστήματος

**Τ**ο σύστημα της εργασίας απαρτίζεται από τρία μέρη. Όπως οι περισσότερες ερευνητικές εργασίες που μελετούν την κίνηση των οχημάτων, χρησιμοποιήθηκε ένα σύστημα συλλογής συντεταγμένων προκειμένου να γίνει η καταγραφή της κίνησης των οχημάτων. Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται αναλυτικά μέρη (hardware) από τα οποία απαρτίζεται το σύστημα.

#### Γ΄.1 Γενική Περιγραφή Συστήματος

Με αφορμή την προσοχή που έχουν προσκομίσει τα τελευταία χρόνια οι έξυπνες συσκευές (Smart Devices) χρησιμοποιήθηκαν μικροσυσκευές για την έρευνα αυτή. Εφόσον το σύστημα καταγράφει συντεταγμένες ήταν αναγκαία η ύπαρξη μία κεραίας GPS. Επιπλέον κάθε κεραία GPS πρέπει να είναι συνδεδεμένη με μία μονάδα επεξεργασία η οποία θα συλλέγει τα δεδομένα που παρέχει η κεραία και θα τα διαχειρίζεται. Κάθε κεραία GPS μαζί με μία μονάδα επεξεργασίας τοποθετήθηκε σε οχήματα μαζικής μεταφοράς. Το σύστημα που τοποθετήθηκε στα οχήματα ονομάστηκε κινητό σύστημα καταγραφής-Mobile Tracking System (MTS) . Αφού οι συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν στο MTS έχουν μικρό αποθηκευτικό χώρο δημιουργήθηκαν στάσιμα σημεία εκφόρτωσης Information Gathering Systems (IGS) των δεδομένων. Τα σημεία αυτά αποτελούνται από μία μονάδα επεξεργασίας και βρίσκονται σκορπισμένα για την συλλογή και αποθήκευση των δεδομένων. Επομένως κάθε MTS πρέπει να μπορεί να επικοινωνήσει με τα σημεία αυτά. Για την επικοινωνία των IGS και των MTS χρησιμοποιήθηκαν μονάδες ραδιοεπικοινωνίας. Κάθε IGS επικοινωνεί σειριακά με μία

υπολογιστική μονάδα Fog Device όπου συλλέγει τα δεδομένα, εξάγει πληροφορίες από αυτά και τις αποθηκεύει μαζί με τα δεδομένα σε έναν server όπου μπορούν να έχουν πρόσβαση τα άτομα που επιθυμούν να δουν τα αποτελέσματα.



Σχήμα Γ'.1: Στο σχεδιάγραμμα αυτό απεικονίζεται η γενική αρχιτεκτονική του συστήματος που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή την εργασία. Τα MTSs στέλνουν τα δεδομένα που καταγράφουν στα IGSs. Εκείνα με την σειρά τους τα στέλνουν στα fog devices τα οποία επεξεργάζονται τα δεδομένα αυτά και τα ανεβάζουν σε ένα server.

## Γ'.2 Κινητό Σύστημα Καταγραφής Δεδομένων

Όπως προαναφέρθηκε περιληπτικά και στην προηγούμενη ενότητα τα κινητά συστήματα καταγραφής των δεδομένων αποτελούνται από μία μονάδα συλλογής δεδομένων, μία μονάδα επεξεργασίας και μια μονάδα ραδιοεπικοινωνίας.

Το κύριο μέρος του MTS είναι η μονάδα επεξεργασίας η οποία είναι υπεύθυνη για την λειτουργία όλου του συστήματος. Για την λειτουργία αυτή χρησιμοποιήθηκε μία μητρίκη πλακέτα ανοικτού κώδικα της Arduino. Συγκεκριμένα ο πυρήνας της λειτουργίας κάθε MTS είναι η συσκευή Arduino Mega 2560 η οποία συνδέεται με όλες τις εξωτερικές μονάδες και τις διαχειρίζεται. Η κατανάλωση ενέργειας της πλακέτας αυτής είναι αρκετά χαμηλή κάτι που την κάνει αρκετά εύχρηστη για τέτοια συστήματα. Η πλακέτα αυτή διαθέτει έναν μικροελεγκτή με τον οποίο εξάγει όλες τις λειτουργίες της και ένα πλήθος από εισόδους και εξόδους. Με αυτές τις εισόδους/εξόδους μπορεί και επικοινωνεί με τις υπόλοιπες μονάδες. Για τον προγραμματισμό της διαθέτει υποδοχή USB και μια μονάδα μετατροπής USB-to-Serial. Έτσι η πλακέτα μπορεί να συνδεθεί στον υπολογιστή μέσω καλωδίου και να προγραμματιστεί με την χρήση ενός βοηθητικού προγράμματος όπως το Arduino IDE. Το Arduino Mega 2560 διαθέτει 8 υποδοχές για την παροχή ρεύματος, 16 εισόδους αναλογικού σήματος και 54 εισόδους/εξόδους ψηφιακού σήματος. Με την χρήση αυτών των υποδοχών η πλακέτα μπορεί και παρέχει ρεύμα αλλά και ανταλλάσσει δεδομένα με την μονάδα GPS/GSM και την μονάδα ραδιοεπικοινωνίας. Οι λόγοι που οδήγησαν στην επιλογή μίας τέτοιας συσκευής είναι το μικρό της μέγεθος, η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και το γεγονός ότι πρόκειται για μία πλατφόρμα ανοικτού κώδικα. Από το πλήθος των διαφόρων συσκευών της Arduino επιλέχθηκε το Arduino Mega 2560 για τον μεγάλο αριθμό υποδοχών αλλά και το μέγεθος της μνήμης που διαθέτει. Έτσι γίνεται ευκολότερη η διαδικασία του προγραμματισμού αφού παρέχει περισσότερους διαθέσιμους πόρους. Για την παροχή ρεύματος του Arduino Mega χρησιμοποιήθηκε ένα Power Bank. Ο χρόνος λειτουργίας του συστήματος βασίζεται στο μέγεθος του Power Bank.

Για την συλλογή δεδομένων χρησιμοποιήθηκε η μονάδα FONA 808 της Adafruit. Η μονάδα αυτή διαθέτει μία GSM μονάδα για την χρήση δικτύου τηλεφωνίας. Επιπρόσθετα η μονάδα Fona 808 διαθέτει υποδοχή για μία κεραία GSM και μία κεραία GPS. Διαθέτει όλες τις λειτουργίες που έρχονται με οποιοδήποτε συμβατικό κινητό τηλέφωνο. Μπορεί να συνδεθεί απευθείας πάνω στις περισσότερες μονάδες επεξεργασίας της Arduino όπως στο Uno ή στο Mega 2556. Με την χρήση της βιβλιοθήκης

που παρέχει η Adafruit στην ιστοσελίδα της ο χρήστης μπορεί να εξάγει και να λάβει κλήσεις και να επικοινωνήσει μέσω μικροφώνου, να στείλει ή να λάβει μηνύματα και δεδομένα GPRS αλλά και να ακούσει τα μηνύματα του τηλεφωνητή. Η μονάδα διαθέτει επίσης υποδοχή παροχής ρεύματος για να μπορεί να λειτουργεί με μπαταρία. Μπορεί όμως να λειτουργήσει και με το ρεύμα των συσκευών της Arduino με τις υποδοχές σύνδεσης της (Power Pins). Η μονάδα μπορεί και χρησιμοποιεί τις υποδοχές αυτές για να φορτίσει και την μπαταρία όταν είναι απαραίτητο. Αξιοσημείωτο είναι επιπλέον το γεγονός πως η ακρίβεια της κεραίας GPS επηρεάζεται από την παροχή ρεύματος. Με την χρήση της μπαταρίας το εύρος απόκλισης της κεραίας είναι στα 2,5 μέτρα και αυξάνεται καθώς η ενέργεια της μπαταρίας μειώνεται. Η απόκλιση της κεραίας με την χρήση του ρεύματος μίας συσκευής της Arduino φτάνει τα 5 μέτρα κάνοντας τις μετρήσεις περισσότερο ανακριβείς αλλά παραμένει σταθερή εφόσον η συσκευή Arduino είναι συνδεδεμένη σε πηγή σταθερής παροχής ενέργειας. Για την υλοποίηση του συστήματος της εργασίας χρησιμοποιήθηκε η κεραία GPS για την συλλογή των συντεταγμένων. Η κεραία GPS χρειάζεται ένα μικρό χρονικό διάστημα για να επικοινωνήσει με τους δορυφόρους. Κατά την διάρκεια αναζήτησης δορυφόρων για επικοινωνία η κεραία περνά από τέσσερα στάδια. Κατά την διάρκεια του πρώτου σταδίου η κεραία δεν επικοινωνεί με κανένα δορυφόρο. Με αυτό το στάδιο ξεκινούν συνήθως οι κεραίες που μπαίνουν σε λειτουργία για πρώτη φορά ή βρίσκονται καιρό σε αδράνεια. Στο δεύτερο στάδιο η κεραία έχει αρχίσει την επικοινωνία με τουλάχιστον ένα δορυφόρο. Σε αυτό το στάδιο μπορεί να λάβει την ημερομηνία και την ώρα σε πραγματικό χρόνο αλλά οι δορυφόροι δεν έχουν ακόμα ακριβή τοποθεσία της κεραίας. Στο τρίτο στάδιο οι δορυφόροι έχουν εντοπίσει την δισδιάστατη τοποθεσία της κεραίας και μπορούν να στείλουν στην κεραία τις συντεταγμένες longitude και latitude. Στο τελευταίο στάδιο η κεραία επικοινωνεί με τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους. Μπορεί πλέον να λάβει πληροφορίες και για το υψόμετρο που βρίσκεται αφού οι δορυφόροι τώρα μπορούν να εντοπίσουν την τοποθεσία της σε τρεις άξονες. Σε αυτό το στάδιο η κεραία μπορεί να εκμαιεύσει και άλλες πληροφορίες όπως την ταχύτητα με την οποία κινείται ή την κατεύθυνση κατά την οποία κινείται. Το σύστημα MTS αρχίζει να συλλέγει δεδομένα όταν η κεραία βρίσκεται στο τέταρτο στάδιο. Η μονάδα με την κεραία GPS είναι συνδεδεμένη με καλώδια στην συσκευή της Arduino για να τροφοδοτείται με ρεύμα αλλά και να μεταφέρει τα δεδομένα που συλλέγει στην συσκευή αυτή. Η ισχύς της GPS κεραίας δεν επαρκεί για να την συλλογή δεδομένων όταν το MTS βρίσκεται εντός οικοδομικών κατασκευών όπως τούνελ. Επιπρόσθετα απαιτείται κάποιο χρονικό διάστημα για να

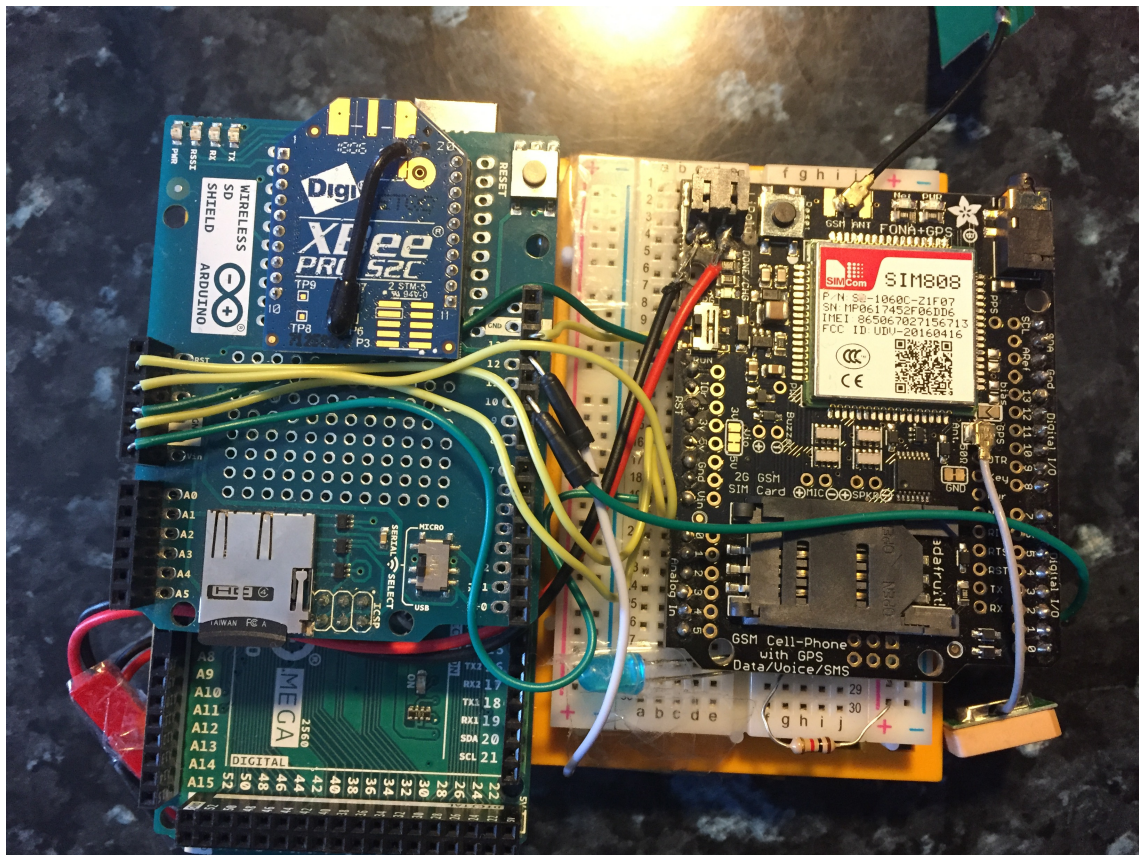
την εδραίωση καναλιού επικοινωνίας μεταξύ της κεραίας και των δορυφόρων. Για αυτό τον λόγο τοποθετήθηκε και μία λάμπα LED η οποία λειτουργεί σαν φωτεινή σήμανση της επικοινωνίας της κεραίας με τους δορυφόρους με επιτυχία.

Η μονάδα που χρησιμοποιήθηκε για την ραδιοεπικοινωνία των MTSs με τα IGSs είναι κατασκεύασμα της εταιρίας Digi International. Η μονάδα ονομάζεται Xbee και πρόκειται για μία μονάδα ραδιοεπικοινωνίας βασισμένη στο πρωτόκολλο επικοινωνίας Zigbee. Το πρωτόκολλο αυτό είναι αρκετά χρήσιμο για την δημιουργία μικρών τοπικών δικτύων και για την χαμηλή κατανάλωση ενέργειας που απαιτεί. Τα Xbee μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους με μέγιστο όριο απόστασης τα 140 μέτρα. Αυτό το όριο επηρεάζεται αρκετά από τα υλικά που βρίσκονται μεταξύ δύο κεραίων Xbee όπως τοίχοι, παράθυρα, αυτοκίνητα. Δεδομένου ότι το Xbee δεν μπορεί να συνδεθεί απευθείας πάνω στην πλακέτα της Arduino χρησιμοποιήθηκε μία πλακέτα της ίδιας εταιρίας όπου επιτρέπει την τοποθέτηση του πάνω στο Arduino Mega. Αυτή η πλακέτα διαθέτει επιπρόσθετα και μία υποδοχή για κάρτες μνήμης (SD-Cards). Το σύστημα χρησιμοποιεί το χαρακτηριστικό αυτό για να αποθηκεύει τα δεδομένα που έχει συλλέξει το Arduino από την κεραία GPS σε μία τέτοια κάρτα ώσπου να τα μεταφέρει σε ένα IGS. Το Arduino Mega 2560 επικοινωνεί με το Xbee σειριακά χρησιμοποιώντας τις δύο υποδοχές αποστολής TX και λήψης RX σημάτων που διαθέτει. Για τον προγραμματισμό της κεραίας η εταιρία διαθέτει ένα πρόγραμμα με το όνομα XCTU από όπου ο χρήστης μπορεί να αλλάξει διάφορες παραμέτρους όπως την ισχύ του σήματος. Με την χρήση όμως μίας βιβλιοθήκης οι αλλαγές αυτές μπορούν να γίνουν από το Arduino Mega 2560 απευθείας. Τα Xbee διαθέτουν ξεχωριστή προσωρινή μνήμη αποθήκευσης των πακέτων που θα στείλουν και που έχουν λάβει. Για την αποφυγή σύγκρουσης μηνυμάτων τα Xbee χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο CSMA/CA. Το Xbee τροφοδοτείται από το Arduino Mega μέσω των υποδοχών ρεύματος που διαθέτει η πλακέτα.

Το σύστημα απεικονίζεται ολοκληρωμένο στην εικόνα Γ'.2.

### Γ'.3 Σημεία Εκφόρτωσης Δεδομένων

Όπως τα κινητά συστήματα καταγραφή των δεδομένων έτσι και τα σημεία εκφόρτωσης έχουν σαν βάση μία μονάδα επεξεργασίας. Τα σημεία εκφόρτωσης επομένως αποτελούνται από μία μονάδα επεξεργασίας των δεδομένων και μία μονάδα ραδιοεπικοινωνίας με την οποία επικοινωνούν με τα MTSs. Τα IGSs είναι τοποθετημένα σε διάφορα σημεία στο κέντρο της πόλης για να συλλέγουν τα δεδομένα που έχουν αποθηκεύσει τα



Σχήμα Γ'.2: Εδώ απεικονίζεται η συσκευή MTS όπου τοποθετήθηκε στα οχήματα για να συλλέγει δεδομένα. Στο αριστερό τμήμα φαίνεται η μητρική πλακέτα Arduino Mega 2556 με την μονάδα Xbee τοποθετημένη από πάνω της. Η πλακέτα με την υποδοχή κάρτας μνήμης είναι τοποθετημένη πάνω στο Arduino Mega 2556 και πάνω της κουμπώνει η μονάδα ραδιοεπικοινωνίας Xbee. Στο δεξί μέρος της συσκευής βρίσκεται η μονάδα FONA 808 της Adafruit. Αυτή η μονάδα καταγράφει τις συντεταγμένες μέσω της GPS κεραίας που διαθέτει. Τα jumper wires που χρησιμοποιήθηκαν παρέχουν στην μονάδα αυτή ρεύμα και χρησιμοποιούνται σαν διάυλος επικοινωνίας μεταξύ της μητρικής πλακέτας και την μονάδας αυτής.

MTSs.

Τα σημεία εκφόρτωσης δεδομένων (IGSS) χρησιμοποιούν μία μητρική πλακέτα της Arduino σαν κεντρική μονάδα επεξεργασίας. Εφόσον οι διεργασίες που εκτελεί το σημείο εκφόρτωσης έχουν να κάνουν μόνο με την συλλογή δεδομένων, δεν απαιτείται

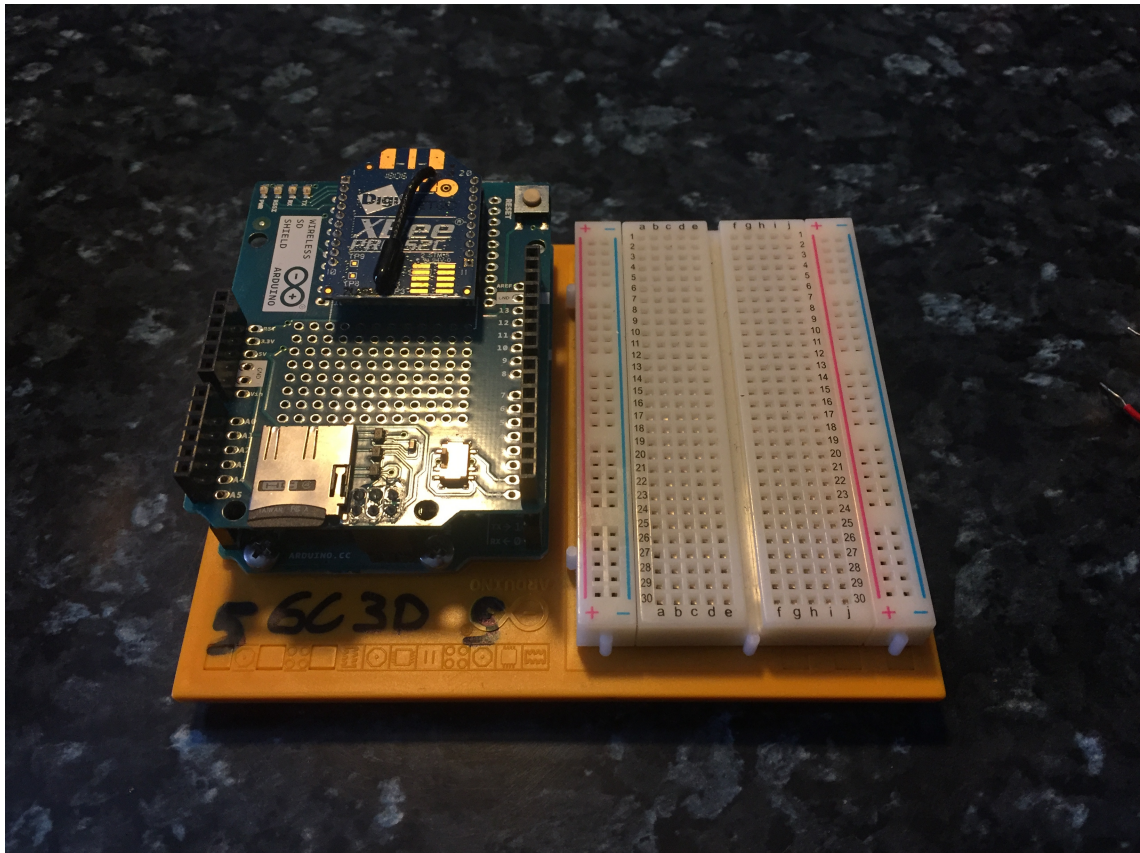
μεγάλο πλήθος πόρων από την πλακέτα. Έτσι χρησιμοποιήθηκε η συσκευή Arduino Uno η οποία είναι παρόμοια με το Arduino Mega 2560 που χρησιμοποιούν τα MTSs αλλά διαθέτει λιγότερες εισόδους/εξόδους και μνήμη. Το Arduino Uno διαθέτει 6 υποδοχές για παροχή ρεύματος, 6 αναλογικές υποδοχές εισόδου και 14 ψηφιακές υποδοχές εισόδου/εξόδου. Το Arduino Uno τροφοδοτείται από μία συσκευή με την οποία ανταλλάσσει δεδομένα σειριακά μέσω USB.

Το τελευταίο τμήμα του συστήματος αυτού είναι η μονάδα ραδιοεπικοινωνίας. Το μοντέλο Xbee της Digi International χρησιμοποιήθηκε για αυτό το κομμάτι του συστήματος. Όπως προαναφέρθηκε και στο MTS για να συνδεθεί το Xbee με το Arduino Uno χρησιμοποιήθηκε μία πλακέτα (SD-Shield) πάνω στην οποία τοποθετείται το Xbee. Η πλακέτα αυτή φέρει και υποδοχή για κάρτες μνήμης (SD cards). Τα δεδομένα που συλλέγονται από τα IGSs αποθηκεύονται σε αυτές τις κάρτες μνήμης για να μεταφερθούν αργότερα στα fog devices.

Στην εικόνα Γ'.3 παρουσιάζεται μία συσκευή IGS όπου χρησιμοποιήθηκε για την εκφόρτωση των δεδομένων.

## Γ'.4 Συσκευές Ομίχλης (Fog Devices)

Εφόσον η ιδέα των IoT devices και των Smart Cities είναι η επεξεργασία πόρων και μετρήσεων που έχουν συλλεχθεί για την εξαγωγή αποτελεσμάτων, ήταν απαραίτητη η χρήση κάποιων συσκευών όπου θα επεξεργάζονται τα δεδομένα αυτά. Έτσι σε κάθε σημείο εκφόρτωσης δεδομένων τοποθετήθηκε και μία μονάδα επεξεργασίας των δεδομένων. Αυτή η μονάδα είναι υπεύθυνη για την επεξεργασία των δεδομένων που συλλέγει το κάθε IGS. Ένας μικροϋπολογιστής κατασκευασμένος από την εταιρία Raspberry Pi Foundation χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία των δεδομένων. Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε είναι το Raspberry pi 3 το οποίο δεν ξεπερνάει το μέγεθος μίας πιστωτικής κάρτας σε διαστάσεις. Το Raspberry pi 3 διαθέτει τετραπύρηνο επεξεργαστή και 1GB RAM. Διαθέτει 4 υποδοχές USB μία από τις οποίες χρησιμοποιείται από το Arduino Uno και υποδοχή καλωδίου HDMI αφού δεν διαθέτει οθόνη. Το μοντέλο αυτό είναι εξοπλισμένο με υποδοχή καλωδίου Ethernet αλλά διαθέτει και Wifi Antenna για να μπορεί να συνδεθεί ασύρματα σε δίκτυο. Για την λειτουργία του το Raspberry pi 3 χρειάζεται μία κάρτα μνήμης με το λογισμικό του σύστημα εγκατεστημένο. Καθώς δεν διαθέτει περιφερειακά όπως οθόνη, πληκτρολόγιο και ποντίκι, είναι απαραίτητη η σύνδεση αυτών των αντικειμένων για την χρήση του. Με την χρή-



Σχήμα Γ'.3: Αυτή η συσκευή λειτουργεί σαν IGS στην εργασία αυτή. Παρόμοιο στην όψη με το MTS αποτελείται από μία μητρική πλακέτα Arduino Uno πάνω στην οποία είναι τοποθετημένη η μονάδα με την υποδοχή της κάρτας μνήμης. Πάνω στην μονάδα αυτή είναι τοποθετημένη μία μονάδα Xbee με την οποία το IGS επικοινωνεί με τα MTSs.

ση όμως του δικτυακού πρωτοκόλλου SSH, όπου επιτρέπει την μεταφορά δεδομένων μεταξύ δύο υπολογιστών, είναι δυνατή η απομακρυσμένη διαχείριση του Raspberry pi 3 από άλλον υπολογιστή. Για την εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκε και το πρόγραμμα MobaXterm το οποίο επιτρέπει την διαχείριση απομακρυσμένης συσκευής Unix μέσω SSH και μπορεί να δημιουργήσει γραφική απεικόνιση του απομακρυσμένου συστήματος επιτρέποντας στον χρήστη να χειρίζεται το απομακρυσμένο σύστημα σαν να το χειριζόταν απευθείας. Το Raspberry pi 3 αποθηκεύει τα δεδομένα που λαμβάνει από το κάθε σημείο εκφόρτωσης δεδομένων και στην συνέχεια εξάγει τα αντίστοιχα αποτελέσματα τα οποία αποθηκεύει τοπικά σε φάκελο. Με την χρήση της Wifi Antenna,

το Raspberry pi 3 συνδέεται ασύρματα στο δίκτυο και στην συνέχεια αποθηκεύει όλη αυτή την πληροφορία σε έναν server. Τα fog devices είναι συνδεδεμένα με τα IGSs όπως εμφανίζεται στην εικόνα Γ'.4.



Σχήμα Γ'.4: Η τελευταία συσκευή του συστήματος είναι τα fog devices όπου επεξεργάζονται τα δεδομένα και επιτρέπουν την απομακρυσμένη πρόσβαση σε αυτά. Η συσκευή αποτελεί προϊόν της Raspberry pi foundation. Επικοινωνεί απευθείας με το IGS μέσω σειριακής θύρας και συλλέγει τα δεδομένα που λαμβάνει το κάθε IGS από τα ΜΤΣs για ανάλυση.

## Γ'.5 Διακομιστής

Το τελευταίο τμήμα την αρχιτεκτονικής του συστήματος αποτελεί ο διακομιστής(server). Τα δεδομένα που συλλέγει το κάθε fog device δεν μπορούν να αξιοποιηθούν εάν δεν

είναι προσβάσιμα. Έτσι όλη αυτή η πληροφορία ανεβαίνει σε έναν server στον οποίο μπορεί να αποκτήσει πρόσβαση ο καθένας με την προϋπόθεση ότι διαθέτει την διεύθυνση που πρέπει να επισκεφθεί. Το λογισμικό ownCloud επιτρέπει στο Raspberry pi 3 να λειτουργεί σαν server δίνοντας έτσι την δυνατότητα προσπέλασης των δεδομένων του ασύρματα.

## Κεφάλαιο Δ΄

### Λειτουργικότητα Συστήματος

**Κ**άθε ένα από τα τμήματα που προαναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο διαθέτει και το αντίστοιχο λογισμικό με το οποίο εκτελεί όλες τις απαιτούμενες λειτουργίες. Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει η ανάλυση του λογισμικού και των αλγορίθμων που χρησιμοποιήθηκαν. Η ανάλυση του λογισμικού θα ακολουθήσει την σειρά που ακολουθείται και στην αρχιτεκτονική του συστήματος ξεκινώντας με τα MTSs.

Εφαρμόστηκαν πολλά πειράματα για την εξοικείωση με τα μέρη των συστημάτων. Για την χρήση της κεραίας Xbee χρησιμοποιήθηκε αρχικά το πρόγραμμα XCTU που αποτελεί ένα αρκετά απλό και εύχρηστο εργαλείο για την χρήση της κεραίας αυτής. Στην συνέχεια οι αλλαγές της κεραίας γινόντουσαν μέσω του προγράμματος Arduino IDE και της αντίστοιχης βιβλιοθήκης. Το πρόγραμμα αυτό διαθέτει επίσης πολλά παραδείγματα κώδικα για το κάθε μοντέλο της Ardiono έτσι η εξοικείωση με αυτά ήταν αρκετά γρήγορη. Το ίδιο ισχύει και για την μονάδα GPS, καθώς στην ιστοσελίδα της εταιρίας υπάρχει αρκετό υλικό για την χρήση του. Τα Raspberry Pi 3 διαθέτουν το δικό τους λογισμικό, Raspbian, το οποίο βασίζεται αρκετά στα UNIX-Based λειτουργικά συστήματα. Η διαδικασία αυτή ήταν απαραίτητη για την δημιουργία του κώδικα των συστημάτων.

#### Δ΄.1 Γενική Περιγραφή Λειτουργικότητας

Σκοπός της εργασίας αυτής αλλά και του συστήματος όπου δημιουργήθηκε είναι η παρακολούθηση των ροών της κίνησης των οχημάτων. Η αναπαράσταση της κίνησης

των οχημάτων στην εργασία δεν είναι σε πραγματικό χρόνο διότι η εργασία εστιάζει στον εντοπισμό της κυκλοφοριακής συμφόρησης και των αδυναμιών του οδικού συστήματος. Για κάθε μέρος του συστήματος χρησιμοποιήθηκε διαφορετικός κώδικας και λειτουργίες.

Το σύστημα ξεκινά με τα MTSs όπου είναι τοποθετημένα σε διάφορα οχήματα στην πόλη της Κέρκυρας και συλλέγουν τις συντεταγμένες της τοποθεσίας των οχημάτων κάθε δευτερόλεπτο (1 sec). Το κάθε MTS είναι τοποθετημένο στο πίσω μέρος του οχήματος σε σημείο όπου η επικοινωνία του με τους δορυφόρους δεν εμποδίζεται από τα μεταλλικά μέρη του οχήματος. Όταν η κεραία αρχίζει να συλλέγει δεδομένα το Arduino Mega τα αποθηκεύει στην κάρτα μνήμης του. Τα IGSs ωστόσο ψάχνουν για MTSs όπου βρίσκονται εντός της εμβέλειάς τους. Όταν ένα MTS λάβει μήνυμα από ένα IGS σταματά την συλλογή των δεδομένων και στέλνει μήνυμα στο σημείο εκφόρτωσης δεδομένων ότι είναι έτοιμο να ξεκινήσει την ανταλλαγή δεδομένων. Το IGS λαμβάνει τα δεδομένα από το κάθε MTS και τα αποθηκεύει στην κάρτα μνήμης του. Μόλις το MTS τελειώσει την επικοινωνία του με το IGS τότε ξεκινά και πάλι την συλλογή των δεδομένων. Τα δεδομένα που αποθηκεύει το κάθε IGS χρησιμοποιούνται από τα fog devices στην συνέχεια για να μετατραπούν σε χρήσιμη πληροφορία. Τα fog devices έπειτα ανεβάζουν τα δεδομένα σε έναν server με την χρήση της πλατφόρμας OwnCloud έτσι ώστε να είναι προσβάσιμα από απομακρυσμένα σημεία από οποιονδήποτε επιθυμεί να τα μελετήσει.

## Δ'.2 Κινητό Σύστημα Καταγραφής Δεδομένων

Όπως αναφέρθηκε και στην σύντομη περιγραφή της λειτουργικότητας του συστήματος τα MTSs συλλέγουν δεδομένα κάθε ένα δευτερόλεπτο. Τα MTSs διαθέτουν φωτεινή ένδειξη όπου υποδηλώνει πότε συλλέγουν δεδομένα. Καθώς το κάθε MTS συλλέγει δεδομένα, τα αποθηκεύει προσωρινά στην κάρτα μνήμης του για να τα μεταφέρει αργότερα στα IGSs. Τα δεδομένα που αποθηκεύει από κάθε μέτρηση είναι οι συντεταγμένες Longitude, Latitude και η χρονοσφραγίδα της μέτρησης αυτής. Η μορφή των δεδομένων απεικονίζεται στον πίνακα Δ'.1. Τα δεδομένα αυτά είναι αποθηκευμένα σε ένα .csv αρχείο. Επειδή η διαδικασία ανοίγματος και κλεισίματος του .csv αρχείου που αποθηκεύονται τα δεδομένα είναι χρονοβόρα, το σύστημα συλλέγει ένα πλήθος των 350 μετρήσεων και τις αποθηκεύει όλες μαζί. Αυτό είναι το πλήθος των μετρήσεων που μπορεί να συγκρατήσει στην προσωρινή του μνήμη το Arduino. Όταν ένα MTS λάβει

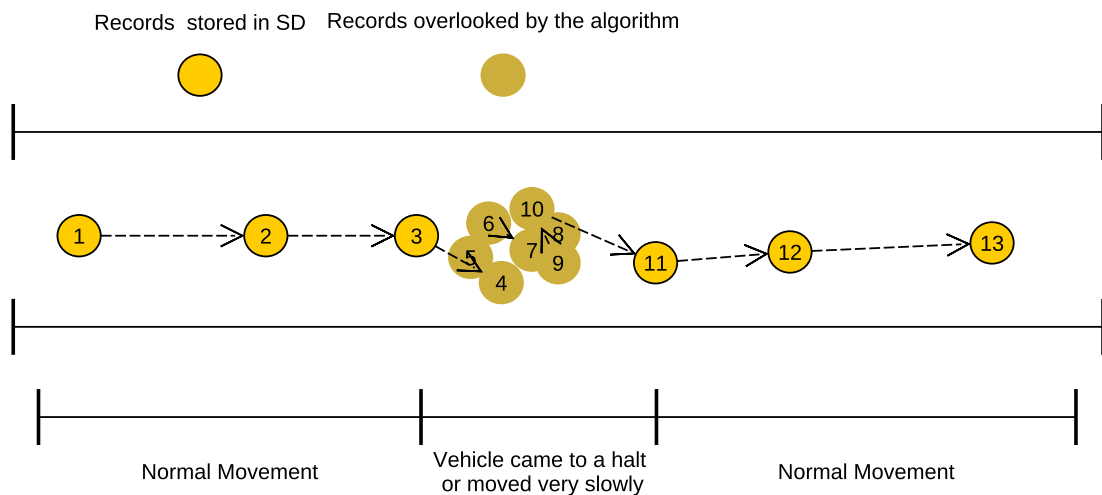
μήνυμα από ένα IGS για να στείλει δεδομένα, σταματά την καταγραφή δεδομένων και στέλνει μήνυμα ότι είναι έτοιμο να ξεκινήσει την μεταφορά. Όταν λάβει πάλι μήνυμα τύπου REQUEST ξεκινάει την αποστολή δεδομένων διαβάζοντας τα αποθηκευμένα δεδομένα και στέλνοντας τα. Επειδή το μέγεθος του μηνύματος δεν είναι αρκετό για να στείλει όλα δεδομένα, τα MTSs στέλνουν πολλά μηνύματα με λίγα δεδομένα το καθένα. Για να μην γεμίσει η μνήμη προσωρινής αποθήκευσης των εισερχόμενων μηνυμάτων του IGS, το κάθε MTS στέλνει ένα μήνυμα και περιμένει να λάβει ένα μήνυμα από το IGS ότι τα δεδομένα του μηνύματος αποθηκεύτηκαν με επιτυχία. Τότε στέλνει το επόμενο μήνυμα και επαναλαμβάνει την όλη διαδικασία. Επειδή αυτή η διαδικασία είναι χρονοβόρα και ο χρόνος όπου το MTS βρίσκεται εντός εμβέλειας του IGS μπορεί να μην είναι αρκετός για να σταλθούν όλα τα δεδομένα, το κάθε MTS διαθέτει μία μεταβλητή που δείχνει στην επόμενη σειρά δεδομένων που πρέπει να σταλθούν. Έτσι ακόμα και αν χαθεί η επικοινωνία, το MTS θα συνεχίσει από εκείνο το σημείο στην επόμενη επικοινωνία με ένα IGS. Όταν όλα τα δεδομένα έχουν σταλθεί με επιτυχία τότε το MTS διαγράφει ότι δεδομένα είχε αποθηκεύσει στην κάρτα μνήμης. Μόλις ολοκληρωθεί αυτή η διαδικασία ή όταν η επικοινωνία με το IGS χαθεί, το MTS συνεχίζει την συλλογή δεδομένων.

Η κεραία συλλέγει συντεταγμένες κάθε ένα δευτερόλεπτο. Τα δεδομένα που αποθηκεύονται αποτελούνται από τις συντεταγμένες Longitude και Latitude και ένα timestamp όπου υποδηλώνει την χρονική στιγμή που η κεραία πήρε τα δεδομένα. Επομένως το πλήθος των δεδομένων που καταλήγουν στην κάρτα μνήμης είναι αρκετά μεγάλο (1 ημέρα = 86.400 δευτερόλεπτα). Για αυτό τον λόγο σχεδιάστηκαν δύο αλγόριθμοι όπου μειώνουν τα δεδομένα που αποθηκεύονται αλλά δεν χάνονται χρήσιμες πληροφορίες.

### Δ'.2.1 Αλγόριθμος Μείωσης Δεδομένων 1

Λαμβάνοντας υπόψιν το μεγάλο πλήθος των δεδομένων που συλλέγει το Arduino Mega 2560 σχεδιάστηκε ένας αλγόριθμος όπου μειώνει τα δεδομένα όταν το όχημα είναι στάσιμο. Όταν το όχημα βρίσκεται στο ίδιο σημείο και δεν κινείται, δεν είναι αναγκαία η καταγραφή των συντεταγμένων. Αν είναι γνωστή η στιγμή που σταμάτησε το όχημα και η στιγμή που ξεκίνησε να κινείται πάλι τότε όλα τα δεδομένα που συλλέχθηκαν ενδιάμεσα δεν είναι απαραίτητα. Αυτή την ιδέα υλοποιεί ο πρώτος αλγόριθμος μείωσης των δεδομένων. Ο αλγόριθμος ουσιαστικά υπολογίζει την απόσταση κάθε μέτρησης

με την προηγούμενη. Εάν η απόσταση είναι μικρότερη από ένα κατώφλι που έχει οριστεί τότε το όχημα βρίσκεται σε στάση και ο αλγόριθμος δεν αποθηκεύει δεδομένα μέχρι η απόσταση να γίνει μεγαλύτερη του κατωφλίου. Το κατώφλι υπολογίστηκε μετά από πειραματισμό της απόκλισης της κεραίας GPS (όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο η απόκλιση μπορεί να φτάσει και τα 5 μέτρα). Επομένως το σύστημα αποθηκεύει την πρώτη μέτρηση που πήρε ενώ το όχημα ήταν στάσιμο και την πρώτη μέτρηση που πήρε από την στιγμή που ξεκίνησε να κινείται. Η αναπαράσταση της λειτουργίας του συστήματος αυτού εμφανίζεται στο σχήμα Δ'.1.



Σχήμα Δ'.1: Το σχήμα αυτό αποτελεί αναπαράσταση της λειτουργίας του πρώτου αλγορίθμου μείωσης δεδομένων που χρησιμοποιούν τα MTSs. Όταν το όχημα είναι στάσιμο δεν συλλέγει δεδομένα μέχρι να αρχίσει να κινείται.

**Algorithm 1:** Data compression Algorithm 1

---

```

1  Result: Check whether the vehicle is stationary initialization;
2  while GPSisWorking == true do
3      |   currentReading = GPSdata;
4      |   distance = calculateDistance(currentReading, lastReadingStored);
5      |   if distance ≤ 2.5 meters then
6      |       |   replaceLastReadingStoredWith(currentReading);
7      |   else
8      |       |   storeAfterLastReadingStored(currentReading);
9      |   end
10 end

```

---

**Δ'.2.2 Αλγόριθμος Μείωσης Δεδομένων 2**

Ο δεύτερος αλγόριθμος μείωσης των αποθηκευμένων δεδομένων εφαρμόζεται όταν το όχημα κινείται σε ευθεία πορεία. Παρομοίως με τον προηγούμενο αλγόριθμο κάποια δεδομένα μπορούν να αφαιρεθούν εφόσον είναι γνωστή η κατάσταση κίνησης του οχήματος. Σε αυτή την περίπτωση η πρώτη και η τελευταία μέτρηση του οχήματος στην ευθεία είναι αρκετές για το σύστημα. Έτσι η πληροφορία της κίνησης του οχήματος δεν χάνεται. Αυτή η προσέγγιση όμως αφαιρεί την πληροφορία της ταχύτητας του οχήματος καθώς δεν είναι γνωστές οι αυξομειώσεις της ταχύτητας του κατά το μήκος αυτής της ευθείας. Μπορεί να υπολογιστεί όμως η μέση ταχύτητα του οχήματος στο τμήμα αυτό. Επομένως ο αλγόριθμος αποθηκεύει την πρώτη και την τελευταία μέτρηση του οχήματος σε ευθεία πορεία. Για την υλοποίηση αυτή ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί ομάδες των τριών μετρήσεων. Υπολογίζει τα δύο διανύσματα που δημιουργούνται από τα τρία αυτά σημεία και στην συνέχεια υπολογίζει την γωνία απόκλισης του ενός διανύσματος από το άλλο. Εάν η γωνία είναι μικρότερη από ένα κατώφλι τότε το όχημα διαγράφει ευθεία πορεία και αλγόριθμος κρατά μόνο το πρώτο και το τελευταίο σημείο. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται συνεχώς. Για τον υπολογισμό της γωνίας αυτής χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση:

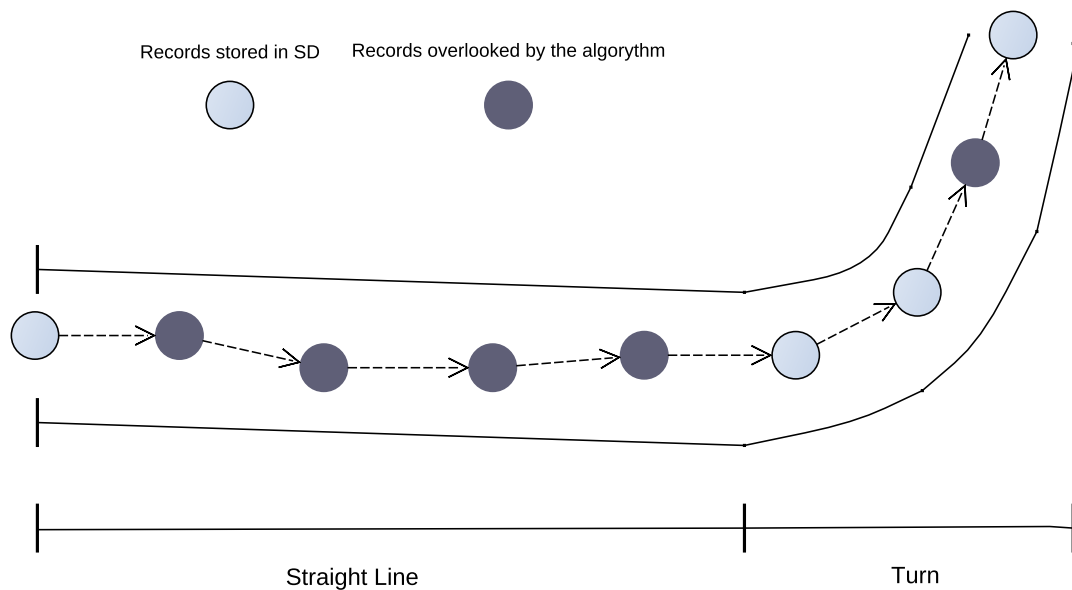
$$\cos a = \frac{\vec{a} * \vec{b}}{|\vec{a}| * |\vec{b}|}$$

όπου  $a$  είναι η γωνία μεταξύ των δύο διανυσμάτων και

$$\vec{a} \text{ και } \vec{b}$$

τα δύο διανύσματα που δημιουργούνται. Η γωνία απόκλισης προκύπτει από της αφαίρεση  $180^\circ$  από την γωνία  $a$ .

Μετά από πολλές δοκιμές και πειράματα αποφασίστηκε πως το κατώφλι αυτό είναι οι  $20^\circ$ . Το κατώφλι αυτό είναι αποτέλεσμα της απόκλισης της κεραίας GPS που πρέπει να ληφθεί σαν παράγοντας για τον υπολογισμό σε συνδυασμό με τον τρόπο οδήγησης του οχήματος (αποφυγή εμποδίων, κακό οδόστρωμα). Όσο η απόκλιση είναι μικρότερη του κατωφλίου ο αλγόριθμος κρατά μόνο την τελευταία μέτρηση και αφαιρεί την ενδιάμεση. Στο σχήμα Δ'.3 απεικονίζεται η αναπαράσταση της λειτουργίας του αλγορίθμου.



Σχήμα Δ'.2: Το σχήμα αυτό αναπαριστά την λειτουργία του δεύτερου αλγορίθμου μείωσης δεδομένων. Σε αυτό τον αλγόριθμο όταν το όχημα κινείται σε ευθεία πορεία το σύστημα αποθηκεύει μόνο την πρώτη και την τελευταία μέτρηση της ευθείας πορείας που διέγραψε το όχημα. Όπως και ο προηγούμενος αλγόριθμος μείωσης δεδομένων, η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται στα MTSs για την μείωση των δεδομένων που αποθηκεύουν.

Πίνακας Δ'.1: Raw Data

| Longitude | Latitude  | Timestamp(M/DD/HH:MM:SS:mS) | MTS-ID   |
|-----------|-----------|-----------------------------|----------|
| 19.825371 | 39.597099 | 319213749                   | 41826c8e |
| 19.825361 | 39.597111 | 319213750                   | 41826c8e |
| 19.825241 | 39.597149 | 319213758                   | 41826c8e |

Πίνακας Δ'.2: Processed Information

| Current Location | Moving Condition | Speed         | Time needed/Average Time          | Time of Record | Node     |
|------------------|------------------|---------------|-----------------------------------|----------------|----------|
| Central Corfu    | Car not moving   | 0.89196412485 | Car stopped for 5.0 seconds       | 11:45:41       | 41826c8e |
| Central Corfu    | Normal movement  | 15.440207252  | Straight movement for 2.0 seconds | 11:47:23       | 41826c8e |
| Central Corfu    | Normal movement  | 20.8139376382 | normal time                       | 11:47:38       | 41826c8e |

---

**Algorithm 2:** Data compression Algorithm 2

---

```

1  Result:Check whether the vehicle is moving on a straight course.
   initialization;
2  while GPSisWorking == true do
3      currentReading = GPSdata;
4      angleOfCourse = findAngleBetweenThreeLastReadings();
5      if angle ≤ 20 then
6          replaceLastReadingStoredWith(currentReading);
7      else
8          storeAfterLastReadingStored(currentReading);
9      end
10 end

```

---

### Δ'.3 Σημεία Εκφόρτωσης Δεδομένων

Το σημείο εκφόρτωσης δεδομένων ξεκινά την λειτουργία του με την αναζήτηση MTSs στην εμβέλειά του. Συνεχίζει την αναζήτηση ώσπου να εντοπίσει τουλάχιστον ένα MTS. Αποθηκεύει τις διευθύνσεις τους σε έναν πίνακα για να επικοινωνήσει με όλα. Εστιάζοντας σε ένα MTS την φορά στέλνει το πρώτο αίτημα για να ξεκινήσει την λήψη των δεδομένων. Το IGS στέλνει το μήνυμα με το αίτημα στο MTS μέχρι να απαντήσει. Αν το MTS δεν απαντήσει μετά από 7 δευτερόλεπτα ή αν το μήνυμα με το αίτημα δεν φτάσει ποτέ με επιτυχία, τότε το IGS προχωρά στην επόμενη διεύθυνση MTS που έχει αποθηκεύσει. Το IGS περιμένει 7 δευτερόλεπτα διότι το μέγιστο χρονικό διάστημα που χρειάζεται κάθε MTS κατά την αποθήκευση των δεδομένων στην SD-Card είναι τρία με τέσσερα δευτερόλεπτα. Σε αυτό το χρονικό διάστημα το MTS δεν ελέγχει αν έχει λάβει μηνύματα, έτσι το IGS πρέπει να περιμένει να τελειώσει αυτή η διαδικασία. Όταν το MTS απαντήσει στο αίτημα του IGS στέλνοντας το πρώτο πακέτο με δεδομένα τότε το IGS διαβάζει το πακέτο και αποθηκεύει τα δεδομένα του στην κάρτα μνήμης που έχει. Όταν αποθηκεύσει όλα τα δεδομένα με επιτυχία στέλνει πάλι αίτημα στο MTS για να του στείλει το επόμενο πακέτο. Επειδή τα MTSs κινούνται είναι πολύ πιθανό κατά την αποστολή των δεδομένων η επικοινωνία να χαθεί. Τότε το IGS αποθηκεύει τα δεδομένα που έλαβε μέχρι την στιγμή εκείνη και προχωρά στην επόμενη αποθηκευμένη διεύθυνση. Τα δεδομένα αποθηκεύονται στην SD-Card στην μορφή που απεικονίζεται στον πίνακα Δ'.1 Όταν το IGS προσπελάσει όλο τον πίνακα με τις διευθύνσεις τότε τον αδειάζει και ξεκινάει πάλι την αναζήτηση για MTSs στην εμβέλειά του. Ο λόγος όπου τα IGSs είναι εκείνα που κάνουν την αναζήτηση των γειτόνων είναι το γεγονός ότι η διαδικασία αυτή είναι αρκετά χρονοβόρα και απαιτεί αρκετή ενέργεια για να εκτελείται από τα MTSs τα οποία είναι υπεύθυνα και για την συλλογή των μετρήσεων. Επιπρόσθετα λόγω της αρχιτεκτονικής του δικτύου, ένα IGS μπορεί να περιβάλλεται από περισσότερα από ένα MTSs ενώ ένα MTS δεν μπορεί να βρίσκεται εντός εμβέλειας δύο IGSs ταυτοχρόνως. Έτσι είναι πιο πρακτικό όταν η αναζήτηση εξάγεται από τα IGSs.

### Δ'.4 Συσκευές Ομίχλης(Fog Devices)

Τα fog devices είναι υπεύθυνα για την συλλογή των δεδομένων που βρίσκονται στα IGSs, την επεξεργασία τους και την παροχή τους σε οποιονδήποτε επιθυμεί απομακρυ-

σμένη πρόσβαση σε αυτά. Στην εργασία αυτή τον ρόλων των fog devices εκτελούν τα Raspberry pi 3 που βρίσκονται σε κάθε IGS. Στα Raspberry pi 3 τρέχουν δύο διεργασίες. Η πρώτη παρακολουθεί συνέχεια την λειτουργία του Arduino Uno που βρίσκεται στο IGS μέσω την σειριακής επικοινωνίας. Μόλις η διεργασία αντιληφθεί ότι το IGS λαμβάνει δεδομένα τότε αποθηκεύει τα δεδομένα αυτά παράλληλα με το Arduino Uno σε ένα αρχείο τύπου .csv. Όλα τα δεδομένα αποθηκεύονται συνεχώς σε ένα αρχείο. Η δεύτερη διεργασία είναι υπεύθυνη για την εξαγωγή χρήσιμης πληροφορίας από τα δεδομένα που είναι αποθηκευμένα. Η κάθε συσκευή Raspberry pi 3 λειτουργεί παράλληλα και σαν server. Αυτό είναι εφικτό με την χρήση της πλατφόρμας ownCloud. Με την εγκατάσταση του λογισμικού της πλατφόρμας στην συσκευή, επιτυγχάνεται η απομακρυσμένη πρόσβαση στα δεδομένα αυτά.

#### Δ'.4.1 Αλγόριθμος Εξαγωγής Πληροφορίας

Ο αλγόριθμος στον οποίο βασίστηκε η δεύτερη διεργασία είναι υπεύθυνος για την ανάλυση της κίνησης του κάθε οχήματος και την εύρεση της τοποθεσίας του. Αρχικά η διεργασία εξετάζει εάν οι συντεταγμένες του οχήματος βρίσκονται εντός περιοχών ξεχωριστής σημαντικότητας. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν περιοχές και δρόμοι με ξεχωριστά χαρακτηριστικά που τα κάνουν κρίσιμα στην παρακολούθηση(μονόδρομοι, κεντρικά οδικά δίκτυα που χρησιμοποιούνται από πολλά οχήματα, περιοχές ιστορικής σημασίας). Επομένως εάν οι συντεταγμένες του οχήματος έπεφταν εντός ενός τέτοιου τμήματος η διεργασία δίνει σε αυτή την μέτρηση μία ετικέτα που επισημαίνει την τοποθεσία του οχήματος. Το επόμενο στάδιο της διεργασίας είναι η αναγνώριση της κίνησης του οχήματος. Η διεργασία αναλύει τις μετρήσεις σε ομάδες των δύο. Για κάθε ζεύγος μετρήσεων η διεργασία εξάγει πληροφορία όπου την αποθηκεύει σε ένα αρχείο .csv. Ο υπολογισμός της μέσης ταχύτητας του οχήματος μεταξύ των δύο αυτών μετρήσεων υπολογίζεται από τον γενικό τύπο της μέσης ταχύτητας

$$\text{μέση ταχύτητα} = \frac{\text{απόσταση μεταξύ των σημείων}}{\text{χρόνος μεταξύ μετρήσεων}}$$

Η ταχύτητα του οχήματος συγκρίνεται με ένα κατώφλι που έχει τοποθετηθεί για κάθε περιοχή βασισμένο σε προηγούμενα πειράματα. Αν το όχημα κινείται με μικρότερη ταχύτητα τότε η διεργασία αποθηκεύει το συμπέρασμα αυτό στο νέο αρχείο με τις υπόλοιπες πληροφορίες που συμπέρανε από τα δεδομένα των μετρήσεων. Το αντίστοιχο συμπέρασμα αποθηκεύεται και στην περίπτωση όπου το όχημα κινείται με τα ταχύτητα

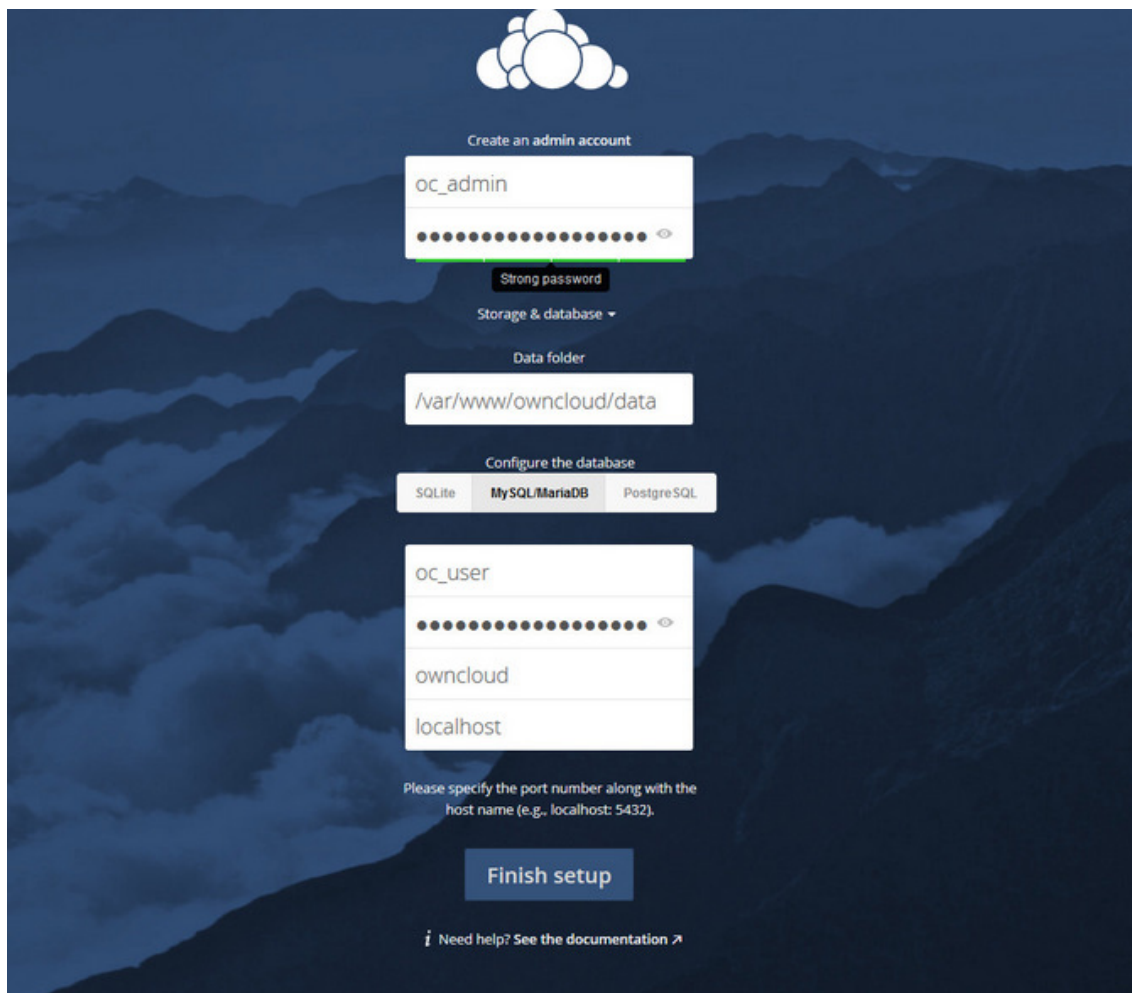
άνω του κατωφλίου. Η διεργασία στην συνέχεια συγκρίνει την χρονική και χωρική διαφορά μεταξύ του ζεύγους των μετρήσεων. Αν η απόσταση των μετρήσεων και η ταχύτητα του οχήματος είναι υπερβολικά μικρή τότε η πρώτη μέθοδος μείωσης δεδομένων εφαρμόστηκε σε αυτό το σημείο και το όχημα έμεινε στάσιμο για ένα χρονικό διάστημα μεγαλύτερο του ενός δευτερολέπτου. Έτσι ο αλγόριθμος αποθηκεύει αυτή την πληροφορία στο νέο αρχείο. Αν πάλι η απόσταση μεταξύ των μετρήσεων είναι μεγαλύτερη και η ταχύτητα του οχήματος είναι μεγαλύτερη του μηδενός τότε η δεύτερη μέθοδος μείωσης δεδομένων εφαρμόστηκε. Αυτό δείχνει ότι το όχημα διέγραψε ευθεία πορεία για ένα χρονικό διάστημα μεγαλύτερο του ενός δευτερολέπτου. Το αντίστοιχο αποτέλεσμα αποθηκεύεται στο νέο αρχείο. Κάθε φορά που η διεργασία εξάγει πληροφορίες από τα αποθηκευμένα δεδομένα μπαίνει σε αδράνεια για 2 ώρες. Ο λόγος για τον οποίο η διεργασία μπαίνει σε αδράνεια είναι για να δώσει αρκετό χρόνο στο IGS για να συλλέξει ξανά νέα δεδομένα για επεξεργασία.

Το νέο αρχείο .csv που δημιουργείται περιέχει 6 στήλες. Η πρώτη στήλη αναφέρει την τοποθεσία του οχήματος για να υπάρχει μία γενική εικόνα της κίνησής του. Στην δεύτερη στήλη περιγράφεται η κινητική κατάσταση του οχήματος το διάστημα εκείνο. Το όχημα μπορεί να μην κινείται καθόλου, να κινείται πολύ αργά ή να κινείται με κανονική ταχύτητα. Στην επόμενη στήλη αναγράφεται η μέση ταχύτητα του οχήματος εκείνο το χρονικό διάστημα. Η τέταρτη στήλη περιέχει μία μικρή περιγραφή για την κίνηση του οχήματος σε εκείνο το χρονικό διάστημα. Στην περίπτωση όπου το όχημα είχε μείνει στάσιμο αναγράφεται επίσης ο χρόνος για τον οποίο έμεινε στάσιμο. Παρομοίως στην περίπτωση της ευθείας πορείας του οχήματος αναγράφεται το χρονικό διάστημα για το οποίο το όχημα διέγραψε ευθεία πορεία. Τέλος στις δύο τελευταίες στήλες αναφέρονται ο χρόνος της δεύτερης μέτρησης από την οποία βγήκε το αποτέλεσμα και η διεύθυνση του MTS από το οποίο προήλθαν τα αποτελέσματα. Στον πίνακα Δ'.2 απεικονίζεται η μορφή στην οποία τα δεδομένα είναι αποθηκευμένα στο νέο αρχείο .csv.

#### Δ'.4.2 OwnCloud Διακομιστής

Όλη αυτή η πληροφορία μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον καθένα με την χρήση της πλατφόρμας OwnCloud όπου επιτρέπει στο Raspberry Pi 3 να λειτουργεί ως Server. Η πλατφόρμα αυτή ουσιαστικά κοινοποιεί ένα αποθετήριο που βρίσκεται στο Raspberry Pi 3. Μπαίνοντας στο κατάλληλο URL και πληκτρολογώντας τα σωστά στοιχεία (Username και Password) ο κάθε χρήστης μπορεί να δει τα αποτελέσματα. Τα δε-

δομένα ενημερώνονται κάθε φορά που η πλατφόρμα αντιλαμβάνεται ότι έγινε κάποια αλλαγή στα αρχεία.



The screenshot displays the OwnCloud installation wizard interface. At the top, there is a cloud icon and the text "Create an admin account". Below this, a form contains the following fields and options:

- A text input field with the value "oc\_admin".
- A password field with a strength indicator showing "Strong password".
- A dropdown menu labeled "Storage & database" with a downward arrow.
- A text input field labeled "Data folder" with the value "/var/www/owncloud/data".
- A section titled "Configure the database" with three radio button options: "SQLite", "MySQL/MariaDB" (which is selected), and "PostgreSQL".
- A text input field with the value "oc\_user".
- A text input field with the value "owncloud".
- A text input field with the value "localhost".

Below the database configuration fields, there is a note: "Please specify the port number along with the host name (e.g., localhost: 5432)." and a large blue button labeled "Finish setup". At the bottom, there is a link: "Need help? See the documentation".

Σχήμα Δ΄.3: Για αποκτήσει ο κάθε χρήστης απομακρυσμένη πρόσβαση στα δεδομένα μέσω την πλατφόρμας του OwnCloud πρέπει να πληκτρολογήσει την IP διεύθυνση της συσκευής ομίχλης. Η πλατφόρμα ζητά όνομα χρήστη και κωδικό για να αποτρέψει την πρόσβαση σε μη εξουσιοδοτημένα άτομα.

## Κεφάλαιο Ε΄

### Διεξαγωγή Έρευνας και Αποτελέσματα

Για τον πειραματισμό του συστήματος που προαναφέρθηκε, πραγματοποιήθηκε μία έρευνα στην πόλη της Κέρκυρας. Για την διεξαγωγή αυτού του πειράματος βοήθησαν οργανισμοί οχημάτων μαζικής μεταφοράς. Τα MTSs τοποθετήθηκαν σε οχήματα μαζικής μεταφοράς για την παρακολούθηση της οδικής τους συμπεριφοράς και την μελέτη του οδικού δικτύου της πόλης της Κέρκυρας. Χρησιμοποιήθηκαν δύο MTSs για την συλλογή δεδομένων. Τοποθετήθηκε ένα IGS κοντά σε ένα από τα κεντρικά σημεία στάθμευσης των οχημάτων αυτών. Σε περίπτωση δυσλειτουργίας του σημείου αυτού υπήρχε άλλο ένα IGS ανενεργό το οποίο θα έμπαινε σε λειτουργία για να μην χαθούν τα δεδομένα των MTSs και να συνεχιστεί ομαλά η έρευνα. Σε ένα από τα fog devices ήταν συνδεδεμένο ένα laptop για την παρακολούθηση της λειτουργίας του συστήματος. Μετά την συλλογή των δεδομένων έγινε η επεξεργασία τους για της δοκιμή του αλγορίθμου εξαγωγής πληροφορίας. Τα δεδομένα στην συνέχεια ήταν προσβάσιμα από οπουδήποτε αφού το fog device που βρισκόταν συνδεδεμένο με το IGS λειτουργούσε και σαν server.

#### Ε΄.1 Συλλογή δεδομένων

Για την συλλογή δεδομένων χρησιμοποιήθηκε η εγκατάσταση που προαναφέρθηκε. Η έρευνα επικεντρώθηκε στην ιστορική πόλη της Κέρκυρας. Το κέντρο της πόλης αποτελείται από πολλές οδούς πάνω τις οποίες μπορούσε να μελετήσει το σύστημα λόγω

των ξεχωριστών χαρακτηριστικών τους. Έτσι επιλέχθηκαν μερικά σημεία στα οποία εστίασε αργότερα. Η περιοχή Κανόνι ξεχωρίζει αφού στο μεγαλύτερο τμήμα της το οδικό σύστημα είναι μονής κατεύθυνσης. Η περιοχή αυτή έχει μεγάλη ιστορική σημασία και διαθέτει πολλά ξενοδοχεία. Επομένως παρατηρείται αυξημένη κίνηση σε πολλά σημεία της. Το επόμενο σημείο είναι η παραθαλάσσια οδός στην περιοχή Μουράγια όπου είναι μονής κατεύθυνσης, βρίσκεται στο κέντρο της παλιάς πόλης και παρά το γεγονός ότι είναι αρκετά στενό το οδόστρωμα, χρησιμοποιείται καθημερινά από τα περισσότερα οχήματα. Συνεπώς τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν είναι από οχήματα που χρησιμοποιούσαν αυτές τις οδούς ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Η συλλογή των δεδομένων όμως διαχωρίστηκε σε δύο στάδια των οποίων η σύγκριση έφερε και τα αποτελέσματα της έρευνας.

### Ε'.1.1 Πρώτο Στάδιο

Κατά το πρώτο στάδιο τα οχήματα διέσχισαν την πόλη σε ώρες αραιής κίνησης. Η συλλογή έγινε την περίοδο χαμηλού τουρισμού όπου το πλήθος των οχημάτων που κινούνται στην πόλη είναι μειωμένο. Έτσι η κίνηση των οχημάτων αυτής της περιόδου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέτρο σύγκρισης για τις επόμενες μετρήσεις. Τα δεδομένα αυτά συλλέχθηκαν τρεις εβδομάδες πριν ξεκινήσει η τουριστική περίοδος του νησιού(η σεζόν ξεκινά με την Μεγάλη Εβδομάδα και το Πάσχα). Τμήματα του οδικού δικτύου που δεν είχαν διασχίσει τα οχήματα μαζικής μεταφοράς διασχίστηκαν από την ερευνητική ομάδα την ίδια περίοδο. Έτσι το σύστημα θα διέθετε μετρήσεις και δεδομένα από κάθε σημαντικό τμήμα της πόλης της Κέρκυρας. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν στο πρώτο στάδιο χρησιμοποιήθηκαν ως σετ εκπαίδευσης για την εξαγωγή πληροφορίας και αποτελεσμάτων από το σύστημα για τις μελλοντικές μετρήσεις. Για την συλλογή τοποθετήθηκε μία συσκευή MTS σε ένα όχημα το οποίο διέσχισε την πόλη και ειδικότερα τα σημεία στα οποία επικεντρώθηκε η έρευνα αυτή. Για κάθε περιοχή ιδιαίτερης σημαντικότητας χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα αυτά για να υπολογιστεί η μέση ταχύτητα κίνησης στην περιοχή αυτή. Στον πίνακα Ε'.1 παρουσιάζονται τα δεδομένα που συλλέχθηκαν στην περιοχή Μουράγια την περίοδο αραιής κίνησης. Η εικόνα Ε'.1 αποτελεί την απεικόνιση των δεδομένων που παρουσιάζονται στον πίνακα Ε'.1. Οι τιμές της ταχύτητας που παρουσιάζονται στον πίνακα αυτό, χρησιμοποιήθηκαν για να υπολογιστεί η μέση ταχύτητα που έχει ένα όχημα σε εκείνη την περιοχή.

Πίνακας Ε'.1: Light Traffic Data

| Reading Num | Current Location | Moving Condition | Speed    | Time needed/Average Time          | Time of Record | Node     |
|-------------|------------------|------------------|----------|-----------------------------------|----------------|----------|
| 1           | Mouragia         | Normal movement  | 26.02634 | Straight movement for 4.0 seconds | 11:54:42       | 41826df9 |
| 2           | Mouragia         | Normal movement  | 29.98715 | Straight movement for 4.0 seconds | 11:54:46       | 41826df9 |
| 3           | Mouragia         | Normal movement  | 28.87331 | Straight movement for 4.0 seconds | 11:54:50       | 41826df9 |
| 4           | Mouragia         | Normal movement  | 20.47251 | Straight movement for 7.0 seconds | 11:54:57       | 41826df9 |
| 5           | Mouragia         | Normal movement  | 20.88293 | Straight movement for 6.0 seconds | 11:55:03       | 41826df9 |
| 6           | Mouragia         | Normal movement  | 20.58069 | Straight movement for 6.0 seconds | 11:55:09       | 41826df9 |
| 7           | Mouragia         | Normal movement  | 22.8854  | Straight movement for 4.0 seconds | 11:55:13       | 41826df9 |
| 8           | Mouragia         | Normal movement  | 27.8309  | Straight movement for 4.0 seconds | 11:55:17       | 41826df9 |

### Ε'.1.2 Δεύτερο Στάδιο

Για το δεύτερο στάδιο της έρευνας τα οχήματα έπρεπε να διασχίσουν την πόλη κατά την διάρκεια βαριάς κίνησης. Για να επιτευχθεί αυτό το σύστημα μπήκε πάλι σε λειτουργία



Σχήμα Ε΄.1: Οι μετρήσεις που απεικονίζονται στο σχήμα αυτό, παρουσιάζονται αναλυτικά στον πίνακα Ε΄.1. Τα πράσινα βέλη αναπαριστούν την κατεύθυνση στην οποία κινούταν το όχημα σε εκείνο το χρονικό διάστημα και το μήκος του βέλους υποδηλώνει την ταχύτητα με την οποία το όχημα κινούταν. Τα δεδομένα αυτά συλλέχθηκαν στα μουράγια τρεις εβδομάδες πριν την περίοδο του Πάσχα.

κατά την διάρκεια των εορτών του Πάσχα. Την περίοδο εκείνη η κίνηση στην πόλη της Κέρκυρα είναι αρκετά πυκνή καθώς οι περισσότεροι επισκέπτες του νησιού έρχονται με το δικό τους όχημα. Παράλληλα η κυκλοφοριακή συμφόρηση που προκαλείται από τους εορτασμούς αποτελεί χρήσιμο δείγμα για την δοκιμή του αλγορίθμου εξαγωγής πληροφορίας. Τα οχήματα κυκλοφόρησαν στο κέντρο της πόλης κατά την διάρκεια της Μεγάλης Πέμπτης, Μεγάλης Παρασκευής και του Μεγάλου Σαββάτου. Σε αυτό το χρονικό διάστημα τα δύο MTSS διέσχισαν το μεγαλύτερο κομμάτι του οδικού δικτύου της πόλης. Τα MTSS τοποθετήθηκαν στον χώρο των αποσκευών του αυτοκινήτου. Τα δύο οχήματα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν δύο ταξί τα οποία βρισκόντουσαν σε υπηρεσία εκείνες τις μέρες. Για την εκφόρτωση των δεδομένων τοποθετήθηκε ένα IGS στον

κεντρικό σταθμό των ταξί. Τα ταξί σταματούν εκεί για ένα χρονικό διάστημα, πράγμα που σήμαινε ότι το σύστημα είχε αρκετό χρόνο να στείλει αρκετά δεδομένα στο IGS. Στην περίπτωση που το IGS παρουσίαζε κάποιο πρόβλημα κατά την λειτουργία του, υπήρχε και δεύτερο IGS συνδεδεμένο σε Laptop το οποίο θα έμπαινε γα να αντικαταστήσει το άλλο. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν εκείνη την περίοδο συγκεντρώθηκαν από το Raspberry pi 3 για την εξαγωγή αποτελεσμάτων. Τα νέα δεδομένα συγκρίθηκαν με εκείνα που συλλέχθηκαν την περίοδο της αραιής κίνησης. Ο αλγόριθμος σύγκρινε την μέση ταχύτητα στην περιοχή εκείνη με την ταχύτητα του οχήματος την χρονική περίοδο που βρέθηκε στην περιοχή αυτή. Τα σημεία στα οποία η ταχύτητα ήταν μικρότερη της μέσης ταχύτητας το όχημα κινούταν πιο αργά σε σχέση με τον πρώτο στάδιο. Τα αποτελέσματα που εμφανίζονται στον πίνακα Ε΄.2 δημιουργήθηκαν από την σύγκριση αυτών των τιμών. Η κίνηση του οχήματος κατά την περίοδο αυτή εμφανίζεται στο σχήμα Ε΄.2.

## Ε΄.2 Αποτελέσματα

Στο τέλος του πειράματος το σύστημα είχε συλλέξει περίπου 7000 μετρήσεις σε συνθήκες αραιής κίνησης και 11.000 σε συνθήκες πυκνής κίνησης. Το σύστημα χρησιμοποίησε τις μετρήσεις σε συνθήκες αραιής κίνησης για να υπολογίσει την μέση ταχύτητα κίνησης των οχημάτων σε κάθε περιοχή του κέντρου. Τα αποτελέσματα αυτά αποθηκεύτηκαν σε ένα αρχείο για την χρήση τους σε μελλοντικές συγκρίσεις. Ο πίνακας Ε΄.3 αποτελεί παράδειγμα των δεδομένων αυτών. Οι μετρήσεις σε συνθήκες πυκνής κίνησης συγκρίθηκαν με τα δεδομένα αυτά για να υπολογιστεί που παρατηρήθηκε κίνηση. Τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με την πραγματική κίνηση των οχημάτων. Ο αλγόριθμος εξαγωγή πληροφορίας ήταν ικανός να αναγνωρίσει την κατάσταση της κίνησης του κάθε οχήματος με μεγάλο ποσοστό επιτυχίας. Η διαφορά μεταξύ των μετρήσεων των δύο σταδίων εμφανίζεται πιο έντονα στα σημεία με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά όπως ήταν αναμενόμενο. Το fog device επεξεργάστηκε τα δεδομένα που συλλέχθηκαν εντός της Μεγάλης Εβδομάδας και τα σύγκρινε με τα δεδομένα που συλλέχθηκαν στο πρώτο στάδιο. Για την σύγκριση των δεδομένων το Raspberry pi 3 υπολόγισε την μέση ταχύτητα των οχημάτων για κάθε ξεχωριστό τμήμα της πόλης. Για τον υπολογισμό αυτό βασίστηκε μόνο στις μετρήσεις του πρώτου σταδίου όπου συλλέχθηκαν σε συνθήκες ελαφριάς κίνησης. Η μέση ταχύτητα μαζί την περιοχή όπου αντιπροσωπεύει αποθηκεύτηκαν για να χρησιμοποιηθούν για την σύγκριση. Ο αλγόριθμος στην συνέχεια

Πίνακας Ε'.2: Heavy Traffic Data

| Reading Num | Current Location | Moving Condition   | Speed   | Time needed/Average Time             | Time of Record | Node     |
|-------------|------------------|--------------------|---------|--------------------------------------|----------------|----------|
| 1           | Mouragia         | Slower than normal | 10.5948 | Car moved very slow for 4.0 seconds  | 11:28:55       | 41826df9 |
| 2           | Mouragia         | Slower than normal | 13.9845 | Car moved very slow for 10.0 seconds | 11:29:05       | 41826df9 |
| 3           | Mouragia         | Normal movement    | 21.5229 | Straight movement for 6.0 seconds    | 11:29:11       | 41826df9 |
| 4           | Mouragia         | Slower than normal | 15.3420 | Car moved very slow for 5.0 seconds  | 11:29:16       | 41826df9 |
| 5           | Mouragia         | Normal movement    | 22.2900 | Straight movement for 5.0 seconds    | 11:29:21       | 41826df9 |
| 6           | Mouragia         | Normal movement    | 25.1261 | Straight movement for 4.0 seconds    | 11:29:25       | 41826df9 |
| 7           | Mouragia         | Normal movement    | 18.1965 | Straight movement for 3.0 seconds    | 11:29:28       | 41826df9 |
| 8           | Mouragia         | Normal movement    | 32.1271 | Straight movement for 4.0 seconds    | 11:29:32       | 41826df9 |

έθεσε τις τιμές αυτές ως κατώφλια της ταχύτητας κάθε περιοχής. Στην συνέχεια ο αλγόριθμος αναλύει τα δεδομένα με βάση τις τιμές αυτές. Αν η ταχύτητα σε κάποια περιοχή βρίσκεται κάτω από την μέση ταχύτητα όπου είχε τεθεί ως κατώφλι τότε το όχημα κινείται με μικρότερη ταχύτητα από αυτή που θα κινούταν κανονικά. Στην περιο-



Σχήμα Ε΄.2: Οι μετρήσεις που απεικονίζονται στο σχήμα αυτό, παρουσιάζονται αναλυτικά στον πίνακα Ε΄.2. Τα κόκκινα βέλη αναπαριστούν την κατεύθυνση στην οποία κινούταν το όχημα σε εκείνο το χρονικό διάστημα και το μήκος του βέλους υποδηλώνει την ταχύτητα με την οποία το όχημα κινούταν. Τα δεδομένα αυτά συλλέχθηκαν στην περιοχή Μουράγια κατά την περίοδο των εορτών του Πάσχα με αυξημένη κίνηση.

χή του Κανονιού η διαφορά ήταν αρκετά ευδιάκριτη λόγω της αυξημένης κίνησης. Στα υπόλοιπα τμήματα της πόλης παρουσιάστηκε διαφορά σε μερικά χρονικά διαστήματα αλλά στην πλειοψηφία η κίνηση των οχημάτων ήταν αρκετά ομαλή. Η κάθε μέση τιμή μία περιοχής ανανεωνόταν συνεχώς με τα νέα δεδομένα που λάμβανε το σύστημα. Η παρακάτω εξίσωση χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της νέας μέσης τιμής κάθε φορά.

$$\text{νεα μέση ταχύτητα} = \frac{\text{μέση ταχύτητα} + \text{νέα μέτρηση}}{2}$$

Το αποτέλεσμα της διαφοράς των πρώτων μετρήσεων με των δεύτερων απεικονίζεται στο σχήμα Ε΄.3. Τα δεδομένα που απεικονίζονται στο σχήμα αυτό αποτελούν τον συνδυασμό των μετρήσεων στην περιοχή Μουράγια με πυκνή και αραιή κίνηση των

πινάκων Ε'.1 και Ε'.2.

Πίνακας Ε'.3: Table with Average Speed

| Area          | Average Speed |
|---------------|---------------|
| Central Corfu | 38.26137      |
| Corfu Town    | 45.72717      |
| Kanoni        | 25.59941      |
| Mouragia      | 17.95233      |



Σχήμα Ε'.3: Στην εικόνα αυτή παρουσιάζονται τα δύο διανύσματα των μετρήσεων του πρώτου και του δεύτερου σταδίου. Τα πράσινα βέλη υποδηλώνουν το διάνυσμα των μετρήσεων με αραιή κίνηση. Τα κόκκινα αντίστοιχα απεικονίζουν το διάνυσμα των μετρήσεων με πυκνή κίνηση.

## Κεφάλαιο Γ΄

### Σύνοψη και Συμπεράσματα

Το κύριο αντικείμενο ανάλυσης και επεξεργασίας αυτής της διατριβής υπήρξε η παρακολούθηση της κίνησης των οχημάτων με την χρήση ενός οικονομικού συστήματος με ανεξάρτητα δεδομένα. Ο πειραματισμός του συστήματος διεξήχθη στο ιστορικό κέντρο της Κέρκυρας. Για την συλλογή των δεδομένων, δύο συστήματα συλλογής συντεταγμένων GPS (MTSs) τοποθετήθηκαν σε οχήματα τα οποία στην συνέχεια διάσχισαν την πόλη. Τα MTSs ξεφόρτωναν όλες της μετρήσεις τους σε στάσιμα σημεία εκφόρτωσης δεδομένων τα οποία τοποθετήθηκαν στο κέντρο της πόλης (IGSs). Τα δεδομένα που αποθήκευαν τα IGSs λαμβάνονταν επίσης από τα Fog Devices τα οποία με την σειρά τους χρησιμοποιούσαν τα δεδομένα αυτών των μετρήσεων για την εξαγωγή αποτελεσμάτων. Τα δεδομένα μαζί με τα αποτελέσματα αυτά ανέβαιναν ύστερα σε έναν server επιτρέποντας έτσι την απομακρυσμένη πρόσβαση σε αυτά. Η συλλογή των δεδομένων χωρίστηκε σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο τα MTSs τοποθετήθηκαν σε δύο οχήματα τα οποία διάσχισαν το κέντρο της πόλης σε συνθήκες αραιής κίνησης. Τα δεδομένα αυτά συγκεντρώθηκαν από τα Fog Devices και χρησιμοποιήθηκαν σαν σετ εκπαίδευσης για τον αλγόριθμο που ελέγχει αν η κίνηση ήταν πιο πυκνή. Κατά την διάρκεια του δεύτερου σταδίου τα MTSs τοποθετήθηκαν σε δύο ταξί για να συλλέξουν δεδομένα στην εβδομάδα του Πάσχα όπου η κίνηση στο νησί είναι ιδιαίτερα αυξημένη. Τα οχήματα σύλλεξαν δεδομένα για τρεις μέρες και διέσχισαν το μεγαλύτερο κομμάτι της πόλης. Ένα IGS ήταν τοποθετημένο στο κέντρο το οποίο αποθήκευε τα δεδομένα των MTSs. Τα δεδομένα στην συνέχεια συγκεντρώθηκαν από ένα Fog Device το οποίο σύγκρινε τις νέες μετρήσεις με το σετ εκπαίδευσης που δημιούργησε στο πρώτο στάδιο. Το σύστημα σύγκρινε την μέση ταχύτητα που

παρατηρήθηκε σε κάθε περιοχή της πόλης με εκείνη του σετ εκπαίδευσης για να εξάγει τα αποτελέσματα. Στο τέλος ο αλγόριθμος εντόπισε με μεγάλη ακρίβεια την ταχύτητα των οχημάτων σε αυτά τα στάδια με αποτέλεσμα να είναι σε θέση να εντοπίσει τα σημεία όπου τα οχήματα κινούνταν με μικρότερη ταχύτητα από αυτή που θα έπρεπε. Αναλυτικά παραδείγματα των αποτελεσμάτων φαίνονται στα παραπάνω σχήματα. Το σύστημα που παρουσιάζεται στην εργασία αυτή χρησιμοποιεί τα δικά του, ανεξάρτητα δεδομένα για την παρακολούθηση της κίνησης των οχημάτων. Μπορεί όμως να επεκταθεί περαιτέρω με την χρήση περισσότερων MTSs και IGSs αφού τα δεδομένα επεξεργάζονται σε μη πραγματικό χρόνο. Έτσι τα δεδομένα θα συγκεντρώνονται πιο συχνά και θα υπάρχει μεγαλύτερο πλήθος μετρήσεων για την διεξαγωγή αποτελεσμάτων. Για την βελτίωση της ακρίβειας του συστήματος υπάρχουν πολλές επιλογές καθώς η μητρική πλακέτα της Arduino υποστηρίζει την χρήση πολλών αισθητήρων που μπορούν να βοηθήσουν.

## Κεφάλαιο Ζ΄

### Μελλοντική Δουλειά

**A**ν και το σύστημα να είναι ικανό να εντοπίσει την κίνηση στους δρόμους, υπάρχει ακόμα αρκετός χώρος για βελτιώσεις. Η ακρίβεια των μετρήσεων θα μπορούσε να βελτιωθεί με την χρήση μίας διαφορετικής κεραίας GPS. Η μητρική πλακέτα της Arduino υποστηρίζει επίσης την χρήση πολλών αισθητήρων. Για την καλύτερη κατανόηση της κίνησης του οχήματος(ευθεία πορεία, αύξηση/μείωση ταχύτητας) θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ένα γυροσκόπιο. Ακόμα για την μείωση των πακέτων που ανταλλάσσονται μεταξύ MTS και IGS, η χρήση μητρικών πλακετών με μεγαλύτερη μνήμη αποθήκευσης θα μπορούσε να βοηθήσει καθώς μετά μπορεί να αυξηθεί το μέγεθος του πακέτου που μπορεί να σταλθεί.

Η γραφική αναπαράσταση της κίνησης των οχημάτων μπορεί να αποτελέσει σημαντικό εργαλείο του συστήματος για την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων. Η χρήση ενός ψηφιακού χάρτη όπως το Google Maps θα διευκολύνει αρκετά την διαδικασία ανάγνωσης των αποτελεσμάτων. Η Google παρέχει το δικό της API για την χρήση της πλατφόρμας Google Maps. Στην συνέχεια, με την χρήση των μετρήσεων, τα σημεία όπου παρατηρήθηκε αυξημένη κίνηση θα επισημαίνονται από το σύστημα με κόκκινη γραμμή. Με την εισαγωγή του χρόνου στο σύστημα ο κάθε χρήστης θα μπορεί να δει την μεταβολή της κίνησης σε ένα σημείο με την πάροδο του χρόνου.

Τέλος για την πρόβλεψη πιθανής κυκλοφοριακής συμφόρησης το σύστημα θα μπορούσε να ελέγχει τις μετρήσεις για τυχόν μοτίβα που μπορούν να δημιουργούνται στην κίνηση. Επιπρόσθετα το σύστημα θα μπορεί να αποθηκεύει αυτά τα μοτίβα μαζί με ιδιαίτερες μέρες όπου η κίνηση είναι αυξημένη(μέρες εορτών) και να προειδοποιεί τους χρήστες για την ανάλογη περίπτωση.

## Βιβλιογραφία

- [1] R. Bauza, J. Gozalvez, and J. Sanchez-Soriano, “Road traffic congestion detection through cooperative vehicle-to-vehicle communications,” pp. 606–612, 2010.
- [2] N. Chadil, A. Russameesawang, and P. Keeratiwintakorn, “Real-time tracking management system using gps, gprs and google earth,” vol. 1, pp. 393–396, 2008.
- [3] M. M. Rahman, J. R. Mou, K. Tara, and M. I. Sarkar, “Real time google map and arduino based vehicle tracking system,” *2016 2nd International Conference on Electrical, Computer and Telecommunication Engineering (ICECTE)*, pp. 1–4, 2016.
- [4] B. Gurjar, A. Jain, A. Sharma, A. Agarwal, P. Gupta, A. Nagpure, and J. Lelieveld, “Human health risks in megacities due to air pollution,” *Atmospheric Environment*, vol. 44, no. 36, pp. 4606–4613, 2010.
- [5] B. Gurjar, T. M. Butler, M. G. Lawrence, and J. Lelieveld, “Evaluation of emissions and air quality in megacities,” *Atmospheric Environment*, vol. 42, no. 7, pp. 1593–1606, 2008.
- [6] M. G. Stewart, X. Wang, and M. N. Nguyen, “Climate change impact and risks of concrete infrastructure deterioration,” *Engineering Structures*, vol. 33, no. 4, pp. 1326–1337, 2011.
- [7] J. R. Gil-Garcia, T. A. Pardo, and T. Nam, “What makes a city smart? identifying core components and proposing an integrative and comprehensive conceptualization,” *Information Polity*, vol. 20, no. 1, pp. 61–87, 2015.

- [8] D. Toppeta, “The smart city vision: how innovation and ict can build smart,livable, sustainable cities,” *The Innovation Knowledge Foundation*, vol. 5, pp. 1–9, 2010.
- [9] C. Harrison, B. Eckman, R. Hamilton, P. Hartswick, J. Kalagnanam, J. Paraszczak, and P. Williams, “Foundations for smarter cities,” *IBM Journal of research and development*, vol. 54, no. 4, pp. 1–16, 2010.
- [10] H. Arasteh, V. Hosseinneshad, V. Loia, A. Tommasetti, O. Troisi, M. Shafie-Khah, and P. Siano, “Iot-based smart cities: a survey,” pp. 1–6, 2016.
- [11] A. M. Rao and K. R. Rao, “Measuring urban traffic congestion-a review.,” *International Journal for Traffic & Transport Engineering*, vol. 2, no. 4, 2012.
- [12] C. Chen, Z. Jia, and P. Varaiya, “Causes and cures of highway congestion,” *IEEE Control Systems Magazine*, vol. 21, no. 6, pp. 26–32, 2001.
- [13] “Home - inrixinrix.”
- [14] K. Robert, “Video-based traffic monitoring at day and night vehicle features detection tracking,” pp. 1–6, 2009.
- [15] M.-G. Cho, Y. J. Yu, and S. Kim, “The system for predicting the traffic flow with the real-time traffic information,” pp. 904–913, 2006.
- [16] J. Zhang, Y. Lu, Z. Lu, C. Liu, G. Sun, and Z. Li, “A new smart traffic monitoring method using embedded cement-based piezoelectric sensors,” *Smart Materials and Structures*, vol. 24, no. 2, p. 025023, 2015.
- [17] A. I. J. T. Ribeiro, T. H. Silva, F. Duarte-Figueiredo, and A. A. Loureiro, “Studying traffic conditions by analyzing foursquare and instagram data,” pp. 17–24, 2014.
- [18] H. O. Al-Sakran, “Intelligent traffic information system based on integration of internet of things and agent technology,” *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, vol. 6, no. 2, pp. 37–43, 2015.
- [19] W. He, G. Yan, and L. Da Xu, “Developing vehicular data cloud services in the iot environment,” *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 10, no. 2, pp. 1587–1595, 2014.

- [20] S. Sukode and S. Gite, “Vehicle traffic congestion control & monitoring system in iot,” *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 10, no. 8, pp. 19513–19523, 2015.
- [21] P. Rizwan, K. Suresh, and M. R. Babu, “Real-time smart traffic management system for smart cities by using internet of things and big data,” pp. 1–7, 2016.
- [22] S. Tarapiah, S. Atalla, and R. AbuHania, “Smart on-board transportation management system using gps/gsm/gprs technologies to reduce traffic violation in developing countries,” *International Journal of Digital Information and Wireless Communications (IJDIWC)*, vol. 3, no. 4, pp. 96–105, 2013.
- [23] G. M. D’Este, R. Zito, and M. A. Taylor, “Using gps to measure traffic system performance,” *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, vol. 14, no. 4, pp. 255–265, 1999.

## Παραρτήματα



Παράρτημα Ι

Επιμέρους εικόνες



Σχήμα Ι.1: Το κάθε σύστημα MTS τοποθετήθηκε σε ένα όχημα για να συλλέγει μετρήσεις. Εδώ παρουσιάζεται μία συσκευή MTS η οποία τροφοδοτείται με ρεύμα από ένα Power Bank.



Σχήμα Ι.2: Η κάθε συσκευή MTS τοποθετήθηκε σε ένα μικρό κουτί. Έτσι το σύστημα μπορεί να τοποθετηθεί στο όχημα διακριτικά και προστατευμένο μέσα στο κουτί αυτό. Έτσι το σύστημα δεν είναι ευάλωτο κατά την διάρκεια της κίνησης του οχήματος αλλά δεν προκαλεί και στόχο για τον οδηγό και τους επιβάτες.

## Παράρτημα II

### Κώδικας MTS

```
1 void loop() {
2 //check if the Xbee module has received something
3   checkForPacketDelivery();
4
5 //get the type of the received message
6   FrameType type = receiveFrame.getType();
7   if (type!=0){
8       Serial.print(F("\nMessage's type is: "));
9       Serial.println(type);
10
11   }
12
13 //if it a request, send to the IGS the data
14   if (type==REQUEST){
15       Serial.println(F("Sending to parent"));
16       delay(100);
17       Serial.println(F("Making frame to send"));
18       sendFrame.setType(INFORM);
19       bool lastMsg;
20       bool toSend;
21       uint8_t i=0;
22       time_now = millis();
```

```

23         comm_ok = true; //the status of the communication
        is ok
24         myFile = SD.open("gps.csv");
25 //send while everything is ok and not all the data is
        sent
26         while (prepCounter < numOfReadings && comm_ok ==
            true) {
27 // if 7 seconds pass with no messages arriving
28 //then set the communication status to not ok
                if (millis() > time_now + 7000) {
29                     time_now = millis();
30                     comm_ok = false;
31                 }
32 //if the number of readings left to send is smaller than
33 7,
34 //then this is the last message to send
                if (numOfReadings - prepCounter > 7) {
35                     toSend = prepToTrans(lastMsg=false);
36                 }
37                 else {
38                     toSend = prepToTrans(lastMsg=true);
39                 }
40 //if the data is already sent before,
41 //go to the next set of data to send
42 //otherwise send the data
                if (toSend == true) {
44                     setFrame.setData(sendArray, gpsLength);
45                     Serial.println(F("Sending data: "));
46                     sendZBTxFrame(0x1, zigbeeAddressHigh,
47                     parentAddressLow);
48                     Serial.println(F("Sent to parent!"));
49                     Serial.println(prepCounter);
50                     Serial.println((long)numOfReadings);
51                 }

```

```
52         else{
53             Serial.println(F("Data already sent"));
54         }
55         //empty the array that was sent
56         memset(sendArray, 0, sizeof(sendArray));
57         //we update the communication timer since we received a
           message
58         time_now = millis();
59         //set type to OTHER
60         type=OTHER;
61         //set the Frame to default
62         receiveFrame.defaultInit();
63         while(type!=1 && comm_ok == true){
64             checkForPacketDelivery();
65             type=receiveFrame.getType();
66
67         // if 7 seconds pass with no messages arriving
68         //then set the communication status to not ok
69             if(millis() > time_now + 7000){
70                 time_now = millis();
71                 comm_ok = false;
72             }
73
74         }
75     }
76     myFile.close();
77     if (comm_ok == false){
78         Serial.println(F("Transmission ended abruptly
           "));
79         nextToSend = prepCounter;
80     }
81     //last message to send
82     Serial.println(F("Sending message to end
           transmission"));
```

```

83         sendFrame.setType(ACKN);
84         sendZBTxFram(0x1, zigbeeAddressHigh,
parentAddressLow);
85         type==OTHER;
86         if (numOfReadings >=DATASIZE && comm_ok == true){
87             memset(gpsDATA,0,sizeof(gpsDATA));//
arxikopoihsh pinaka
88             prepCounter=0;
89             gpsCounter=0;
90             numOfReadings=0;
91             receiveFrame.defaultInit();
92             parentAddressLow=0x0;
93             SD.remove("gps.csv");
94         }
95
96
97
98
99     }
100     //every one second get GPS data
101     if (millis()-updateGps > 1000) {
102
103         updateGPS();
104
105     }
106
107 }

```

## Παράρτημα III

### Κώδικας IGS

```
1 void loop(){
2   checkForPacketDelivery(); // Updates receiveFrame and
   checks for received transmissions
3   //The type of the message the central node got
4   FrameType type = receiveFrame.getType();
5
6   //if the variable type is different that 0 the a
   message is received
7   if (type!=0){
8     Serial.print(F("\nMessage's is: "));
9     Serial.println(type);
10    Serial.print(F("Neighbor count: "));
11    Serial.println(neighboursCount);
12  }
13
14  if (type==INFORM){// If the message's type is INFORM
   then the central node will begin communicating with
   the sender node to get the information needed
15
16    Serial.println(F("Information"));
17    //open the file with the name data or create it if
   not found
```

```

18     gpsData=SD.open("data.csv",FILE_WRITE);
19
20     //the timer for the communication starts
21     time_now = millis();
22     comm_ok = true;//the status of the communication is
    ok
23
24     while(type!=ACKN && comm_ok == true){// as long as
    the communication status is ok and we dont get a
    meessage with the type ACK keep reading the messages
    with the information
25
26         if(millis() > time_now + 7000){// if 7 seconds pass
            with no messages arriving then set the communication
            status to not ok
27             time_now = millis();
28             comm_ok = false;
29         }
30
31         //if we receive a message with the type INFORM, we
        read the information included and with store it to the
        SD
32         if(type==INFORM){
33             time_now = millis();//we update the communication
            timer since we received a message
34             Serial.println(F("Got gps data"));
35             Serial.println(F("Writing data to file"));
36
37             //this function is responsible for decoding the
            received message and saving the data received
38             saveData(receiveFrame.getData(), receiveFrame.
            getDataLength());
39             //then the central node sends a message to the
            neighbour that the message was received succesfully so

```

```
that the neighbour can proceed with the next one
40     sendFrame.setType(ACKN);
41     Serial.println(F("Ready to get next packet"));
42     type=OTHER;//reseting the variable type
43     XBeeAddress64 addr64 = XBeeAddress64(0x0013A200,
NeighAddressLow);//address of the neighbour
44     delay(3);
45
46     //create the frame to send and sending it
47     ZBTxRequest zbTx = ZBTxRequest(addr64, sendFrame.
serialize(), sendFrame.getLength());
48     Serial.println(F("Sending ACKN"));
49     zbTx.setBroadcastRadius( 0x1 );
50     xbee.send(zbTx);
51 }
52
53     receiveFrame.defaultInit();//reseting the
receiveFrame instance
54     checkForPacketDelivery(); // Updates receiveFrame
55     type = receiveFrame.getType();//update the variable
type
56     Serial.println(type);
57 }
58
59
60     type = 0;//reseting the variable type
61
62     //closing the file opened so that all the data can be
saved successfully
63     gpsData.close();
64     Serial.println(F("Comm finished"));
65
66
67     if (comm_ok == true){//if the communication ended
```

```

successfully
68     Serial.println(F("Files transfered"));
69 }
70 else{//if the communication stopped abruptly
71     Serial.println(F("Communication Ended abruptly"));
72 }
73
74
75     neighToSend++; //move to the next neighbour
76 }
77
78
79 if (type==ACKN){ //if there is no data to receive from
    the neighbour just finish the communication and move
    to the next one
80     Serial.println(F("Comm finished"));
81     Serial.println(F("Files transfered"));
82     neighToSend++;
83 }
84 if (type == 0 && neighboursCount != 0 && neighToSend>0)
    {
85     neighToSend ++;
86 }
87
88 if (neighboursCount != 0) {
89     //When the coordinator has all its neighbours it
    sends out the explorer message (Request) to all of his
    neighbours one by one.
90     delay(100);
91     sendFrame.setType(REQUEST);
92     uint8_t i=0;
93     if (neighToSend<neighboursCount){ // as long as
    there are neighbours in the list that haven't received
    the explorer message the node continues to send

```

```
94
95     Serial.print(F("Sending to neighbor: "));
96     Serial.println(neighboursLow[neighToSend],
HEX);
97     XBeeAddress64 addr64 = XBeeAddress64(0
x0013A200, neighboursLow[neighToSend]);
98     delay(3);
99
100     ZBTxRequest zbTx = ZBTxRequest(addr64,
sendFrame.serialize(), sendFrame.getLength());
101
102     zbTx.setBroadcastRadius( 0x1 );
103     xbee.send(zbTx);
104
105     delay(1);
106     i++;
107
108 }
109     else { // when the central node has gone through
the whole list it resets all the values that have to
do with the communication
110         receiveFrame.defaultInit();
111         sendFrame.defaultInit();
112         neighboursCount = 0;
113         Serial.println(F("Sent to all"));
114         neighToSend = 0;
115         checkForPacketDelivery();
116     }
117 }
118 else { // as long as the list is empty the central node
keeps looking for neighbours
119     sendATCommand("ND");
120 }
121 }
```

## Παράρτημα IV

### Κώδικας εξαγωγής πληροφορίας

```
1 cur_time = d[2] //get the time
2 cur_time = cur_time[-6:]
3 cur_time = cur_time[:2] + ":" + cur_time[2:4] + ":" +
    cur_time[4:6] //turn time to a more appropriate form
4 p_time = p_time[-8:] //previous reading time
5 p_time = p_time[:2] + ":" + p_time[2:4] + ":" + p_time
    [4:6]
6 FMT = '%H:%M:%S' //format of time
7
8 //duration is the difference between the two timestamps
9 duration = datetime.strptime(cur_time,FMT) - datetime.
    strptime(p_time,FMT)
10 #print(p_time, cur_time, duration)
11 duration = duration.total_seconds()
12 //the real speed of the car that time is measured by this
    formula
13 if duration != 0:
14     real_speed = (dist/duration)*3.6
15
16 //checks the real speed to the average speeds of the
    training set
17 for n, lines in enumerate(threshold):
```

```
18     lines = lines.split(',')
19     if place == lines[0]:
20         avg_speed = float(lines[1])
21         print(lines[1])
22
23 #print(real_speed,dist)
24 //if the speed is very low then the car wasn't moving
25 if real_speed<2.5:
26     condition = 'Car not moving'
27 //if the speed of the car at that area was smaller than
    the average speed of the training set
28 elif real_speed<avg_speed:
29     condition = 'Slower than normal'
30 else :
31     condition = 'Normal movement'
32 //if the difference of the timestamps was greater that 30
    minutes then there is no point in checking that part
33 //and if it was greater that 1 second then one of the
    data reduction techniques was used
34 if duration > 1 and duration < 1800:
35     if condition == 'Normal movement':
36         time = 'Straight movement for ' + str(duration)
    + ' seconds'
37     elif condition == 'Car not moving':
38         time = "Car stopped for " + str(duration) + "
seconds"
39     else :
40         time = 'Car moved very slow for ' + str(duration)
    + ' seconds'
41 else :
42     time = 'normal time'
43 p_lat = float(d[1])
44 p_long = float(d[0])
45 p_date= float(d[2])
```

```
46 p_id = (d[3])  
47 writer.writerow([place, condition, real_speed, time,  
    cur_time, p_id])
```

## Γλωσσάρι Ξενικών Όρων

|                                                     |                                     |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Mobile Tracking System Information Gathering System | Κινητό Σύστημα Καταγραφής Δεδομένων |
| Data Compression Algorithm                          | Σημείο Εκφόρτωσης Δεδομένων         |
| Timestamp                                           | Αλγόριθμος Μείωσης Δεδομένων        |
| SD card                                             | Χρονοσφραγίδα                       |
| API                                                 | Κάρτα Μνήμης                        |
| IoT                                                 | Διασυνδεδετικό λογισμικό εφαρμογών  |
|                                                     | Διαδίκτυο των πραγμάτων             |

## Συντομογραφίες

|     |                                   |
|-----|-----------------------------------|
| MTS | Mobile Tracking System            |
| IGS | Information Gathering System      |
| API | Application Programming Interface |
| IoT | Internet of Things                |