



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ
ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ & ΔΙΚΤΥΩΝ

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ
ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ
ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

ΠΕΡΛΕΠΕΣ ΛΕΩΝΙΔΑΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Καθηγητής Γεώργιος Σταμούλης
1^{ος} Βαθμολογητής : Αναπ. Καθηγητής Μπέλλας Νικόλαος
2^{ος} Βαθμολογητής : Δρ. Ευμορφόπουλος Νέστωρας



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 7057/1

Ημερ. Εισ.: 03-04-2009

Δωρεά: Συγγραφέα

Ταξιθετικός Κωδικός: Δ

004.6

ΠΕΡ

Περίληψη

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων έχουν βελτιώσει τον τρόπο με τον οποίο συλλέγονται και επεξεργάζονται τα διάφορα περιβαλλοντικά δεδομένα, προσφέροντας νέες δυνατότητες και προηγμένες υπηρεσίες σε μεγάλο μέρος του πληθυσμού. Η συνεχής και σταθερή μέτρηση παραμέτρων, όπως η θερμοκρασία του αέρα ή η σχετική υγρασία, μπορεί να βοηθήσει και να βελτιώσει τον τρόπο με τον οποίο παίρνονται διάφορες αποφάσεις στην καθημερινή μας ζωή.

Στην συγκεκριμένη εργασία περιγράφουμε ένα σύστημα καταγραφής και απεικόνισης των παραπάνω μετρήσεων. Οι μετρήσεις αυτές αρχικά αποθηκεύονται σε μια κατάλληλη βάση δεδομένων και έπειτα παρουσιάζονται στον χρήστη μέσα από ένα γραφικό περιβάλλον ή μέσω μιας διαδικτυακής διεπαφής.

Abstract

Wireless sensor networks are revolutionizing the way environmental data is collected and processed, providing new capabilities for enhanced services for a large part of the population. The timely and constant measurement of significant parameters considering air temperature or relative humidity can facilitate and enhance the way daily management decisions are made.

In this particular thesis we describe a system of recording and depiction of the above measurements. These measurements initially are stored in a suitable base of data, and then are presented through a graphic environment or through a web-based interface from the side of the user.

Πίνακας περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ABSTRACT	3
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	4
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ.....	6
1.2 ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΤΟΥ ΤΟΜΟΥ	6
2 ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ.....	8
2.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ.....	8
2.2 ΣΤΟΧΟΙ ΚΑΙ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΝΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ	8
2.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ	10
3 ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ.....	12
3.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ Η ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ.	12
3.2 ΧΡΗΣΗ ΝΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ	14
3.3 ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΣΤΗΝ ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ.....	14
4 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ.....	16
4.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ	16
4.1.1 Δομή των αισθητήρων.....	16
4.1.2 Το λειτουργικό σύστημα TinyOS.....	17
4.1.3 Η γλώσσα προγραμματισμού nesC.....	19
4.2 ΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ «TMOTE SKY»	20
4.2.1 Περιγραφή των «tmote Sky».....	20
4.2.2 Το λειτουργικό σύστημα των Tmote Sky (Boomerang)	22
4.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ	22
4.3.1 Αισθητήρας υγρασίας εδάφους.....	22
4.3.2 Αισθητήρας υγρασίας φυλλώματος	23
4.3.3 Αισθητήρας μέτρησης αμμωνίας.....	24
4.3.4 Αισθητήρας μέτρησης του ανέμου.....	24
5 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	25
5.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.	25
5.1.1 Η χρήση της UML.	25
5.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ.....	26
5.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ ΧΡΗΣΗΣ.....	27
5.4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΡΟΛΩΝ ΤΩΝ ΧΡΗΣΤΩΝ.	28
5.4.1 Ο Χρήστης – Διαχειριστής (administrator).....	28
5.4.2 Ο Χρήστης – Παρατηρητής (viewer).....	30
6 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	32
6.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ	32
6.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΜΕΡΩΝ.	33
6.2.1 Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων.....	33
6.2.2 Σημείο καταγραφής των δεδομένων	35
6.2.3 Η βάση δεδομένων	35
6.2.4 Ο εξυπηρετητής ιστού (web server)	35
6.2.5 Η διαδικτυακή διεπαφή	36

7	ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	37
7.1	ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ	37
7.1.1	<i>Εγκατάσταση του Boomerang.....</i>	<i>37</i>
7.1.2	<i>Υλοποίηση της εφαρμογής των αισθητήρων Tmote Sky.....</i>	<i>38</i>
7.2	ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ	39
7.3	ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	41
7.4	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΤΗ ΙΣΤΟΥ	41
7.5	ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΗΣ ΔΙΕΠΑΦΗΣ.....	41
8	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	43
8.1	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	43
8.2	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ	43
8.2.1	<i>Προετοιμασία αισθητήρων</i>	<i>44</i>
8.2.2	<i>Τοποθέτηση των αισθητήρων</i>	<i>45</i>
8.3	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ	46
8.3.1	<i>Μετασχηματισμοί των δεδομένων</i>	<i>46</i>
8.3.2	<i>Παράθυρο-διεπαφής του σημείου καταγραφής</i>	<i>47</i>
8.4	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	48
8.5	ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ.....	49
8.5.1	<i>Καρτέλα πρώτη: ένας κόμβος - ένα χαρακτηριστικό.....</i>	<i>50</i>
8.5.2	<i>Καρτέλα δεύτερη: ένας κόμβος - πολλά χαρακτηριστικά.....</i>	<i>50</i>
8.5.3	<i>Καρτέλα τρίτη: πολλοί κόμβοι – ένα χαρακτηριστικό</i>	<i>51</i>
8.5.4	<i>Καρτέλα τέταρτη: εμφάνιση δεδομένων σε μορφή πίνακα</i>	<i>52</i>
9	ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	53
9.1	ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ - ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ	53
9.2	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	53
10	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	54

1 ***ΕΙΣΑΓΩΓΗ***

1.1 Αντικείμενο της πτυχιακής

Σκοπός της πτυχιακής εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός συστήματος, το οποίο να παρέχει στους χρήστες εξειδικευμένες πληροφορίες και προηγμένες υπηρεσίες με σκοπό την αποτελεσματική διαχείριση αγροτικών εφαρμογών.

Για την υλοποίηση του συστήματος θα χρησιμοποιήσουμε διαφορετικά είδη τεχνολογιών, όπως είναι τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, οι βάσεις δεδομένων και οι εφαρμογές διαδικτύου. Η χρήση αυτών των τεχνολογιών δίνει την δυνατότητα στο σύστημα να μπορεί να συλλέγει πληροφορίες από το περιβάλλον, να τις διαχειρίζεται, και να τις εμφανίζει στον χρήστη σε οποιοδήποτε σημείο του κόσμου.

Οι έννοιες που περιλαμβάνουν το μελετητικό τμήμα της εργασίας και οι οποίες θα αναλυθούν στα διάφορα κεφάλαια αυτής, περιλαμβάνουν τους όρους: TinyOS, tmote SKY sensor, MySQL, εξυπηρετητής ιστού, διαδικτυακή διεπαφή.

1.2 Οργάνωση του τόμου

Στα κεφάλαια που θα ακολουθήσουν θα αναλυθούν οι ανωτέρω αναφερθείσες έννοιες, οι οποίες είναι αναγκαίες για την κατανόηση της ανάλυσης της υλοποίησης της εφαρμογής.

Συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται μια σύντομη περιγραφή της δομής, και του αντικειμένου που πραγματεύεται η συγκεκριμένη εργασία.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια περιγραφή των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Παρουσιάζονται οι δυνατότητες και ιδιαιτερότητες τους μέσα από ένα πλήθος εφαρμογών.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται μια περιγραφή των αισθητήρων που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα αισθητήρων. Ακόμα γίνεται μια σύντομη περιγραφή μερικών αισθητήριων οργάνων τα οποία χρησιμοποιούνται από το σύστημα για την εκτέλεση διάφορων μετρήσεων στο περιβάλλον.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια περιγραφή της διαδικασίας που ακολουθήθηκε για την σχεδίαση και ανάπτυξη της εφαρμογής μας. Παρουσιάζεται δηλαδή η χρήση της γλώσσα UML, καθώς και τα αποτελέσματα που πήραμε από την χρήση της.

Στο επόμενο κεφάλαιο γίνεται μια πλήρη περιγραφή της αρχιτεκτονικής του συστήματος. Περιγράφεται δηλαδή αναλυτικά τα διάφορα μέρη της εφαρμογής, και την λειτουργικότητα που εκτελούν αυτά.

Η περιγραφή της υλοποίησης της εφαρμογής περιγράφεται στο έκτο κεφάλαιο. Περιέχεται δηλαδή ο προγραμματισμός των αισθητήρων, η υλοποίηση του συστήματος καταγραφής των μετρήσεων, καθώς και η περιγραφή της υλοποίησης του υπόλοιπου συστήματος.

Στο έβδομο κεφάλαιο περιγράφουμε την λειτουργία του συστήματος σε ένα πραγματικό περιβάλλον εκτέλεσης, σε ένα θερμοκήπιο.

Στο όγδοο κεφάλαιο συνοψίζουμε τα αποτελέσματα τις εργασίας, παρουσιάζουμε τα εξαγόμενα συμπεράσματα και δίνουμε μια περιγραφή των δυνατοτήτων επέκτασης της εφαρμογής.

Τέλος παρουσιάζονται οι πηγές από όπου αντλήσαμε τις πληροφορίες για την υλοποίηση και ανάπτυξη του αντικειμένου της εργασίας αυτής.

2 Δίκτυα αισθητήρων

2.1 Γενική περιγραφή των ασύρματων δικτύων αισθητήρων.

Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (Wireless Sensor Network) είναι ένα ασύρματο δίκτυο το οποίο έχει την δυνατότητα είτε να λειτουργεί αυτοτελώς, είτε να είναι διασυνδεδεμένο σε μεγαλύτερα δίκτυα τηλεπικοινωνιών ή στο διαδίκτυο. Τα δίκτυα αυτά αποτελούνται από μεγάλο αριθμό μικρών ηλεκτρονικών διατάξεων (αισθητήρων), κινητών ή μη, που αποστέλλουν σε μια κεντρική μονάδα πληθώρα δεδομένων προς επεξεργασία και λήψη αποφάσεων.

Η ταχύτατη ανάπτυξη της μικροηλεκτρονικής και των υλικών επέτρεψε την κατασκευή πολύ μικρών αισθητήρων, οι οποίοι έχουν την ικανότητα να μετρούν και να καταγράφουν μια κυριολεκτικά ατέλειωτη σειρά από περιβαλλοντολογικά ή βιολογικά μεγέθη, όπως τη θερμοκρασία, την ατμοσφαιρική πίεση, την υγρασία, τη φωτεινότητα, τη στάθμη υδάτων, την ωρίμανση καρπών, την ανίχνευση χημικών στοιχείων, την πίεση αίματος, τους σφυγμούς καρδιάς, την κίνηση αντικειμένων και ανθρώπων και πολλές ακόμα παραμέτρους που προστίθενται διαρκώς στον παραπάνω κατάλογο. Αξιοσημείωτο είναι ότι σε μία διάταξη ίση με ένα νόμισμα 2 ευρώ μπορούμε να συμπεριλάβουμε πολλά από τα παραπάνω αισθητήρια και να καταμετρούμε συγχρόνως διάφορα μεγέθη.

Παράλληλα, ανάλογη πρόοδος συντελέστηκε και στη σχεδίαση και υλοποίηση ειδικών πομποδεκτών που επιτρέπουν την αποτελεσματική διασύνδεση των διατάξεων μεταξύ τους και με την κεντρική μονάδα με τεχνολογίες ασύρματης δικτύωσης, αξιολογημένες στα παγκόσμια δίκτυα κινητών επικοινωνιών. Το χαμηλό κόστος παραγωγής παρέχει τη δυνατότητα εγκατάστασης πολύ μεγάλων δικτύων με εκατοντάδες ή χιλιάδες στοιχεία με προηγμένο λογισμικό και ικανότητα να αυτοοργανώνονται, να βελτιστοποιούν και να διασφαλίζουν τη λειτουργία τους χωρίς ιδιαίτερη συντήρηση για μεγάλο χρονικό διάστημα.^{[1][2][3]}

2.2 Στόχοι και απαιτήσεις ενός δικτύου αισθητήρων

Οι τρόπος χρήσης και οι στόχοι ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων εξαρτώνται γενικά από την εφαρμογή, αλλά μπορούμε να τους χωρίσουμε σε τρεις κύριες κατηγορίες. Οι κατηγορίες αυτές περιγράφουν ένα μεγάλο μέρος της λειτουργικότητας που μπορούν να προσφέρουν τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων.

Οι κατηγορίες αυτές είναι:

- **Καθορισμός της αξίας κάποιας παραμέτρου σε μια δεδομένη θέση.**
Ένα δεδομένος κόμβος αισθητήρων δηλαδή να μπορεί να συνδεθεί με τους διαφορετικούς τύπους αισθητήρων, κάθε ένας με ένα διαφορετικό ρυθμό δειγματοληψίας των τιμών.
- **Ανίχνευση της πραγματοποίησης ενός καθορισμένου γεγονότος,**
καθώς και ικανότητα πραγματοποίησης υπολογισμών πάνω στις παραμέτρους του πραγματοποιημένου γεγονότος.
- **Ταξινόμηση ενός αντικειμένου.**
Π.χ. Σε ένα στρατιωτικό δίκτυο αισθητήρων, ακολουθείτε ένα εχθρικό όχημα καθώς κινείται μέσω της γεωγραφικής περιοχής που καλύπτεται από το δίκτυο.

Συνήθως οι εφαρμογές που χρησιμοποιούν τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, εκτός από την εκτέλεση των παραπάνω λειτουργιών, απαιτούν και την ικανοποίηση κάποιων συγκεκριμένων ιδιοτήτων από αυτά. Οι ιδιότητες αυτές αναφέρονται κυρίως σε τεχνικά χαρακτηριστικά, η ικανοποίησή των οποίων βελτιστοποιεί την απόδοση των δικτύων αισθητήρων. Μερικές από τις ιδιότητες αυτές περιγράφονται παρακάτω:

- **Ικανότητα υλοποίησης και διαχείρισης δικτύων ασύρματων αισθητήρων,**
το μέγεθος των οποίων να φτάνει ακόμα και τους 100.000 κόμβους.
- **Χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις.**
Δεδομένου ότι σε πολλές εφαρμογές οι κόμβοι αισθητήρων θα τοποθετηθούν σε μια απομακρυσμένη περιοχή, η τροφοδότηση ενός κόμβου μπορεί να μην είναι δυνατή. Σε αυτήν την περίπτωση, η διάρκεια ζωής ενός κόμβου μπορεί να καθοριστεί από τη ζωή μπαταριών, για αυτό τον λόγο απαιτείται η ελαχιστοποίηση των ενεργειακών δαπανών.
- **Δυνατότητα αυτό-οργάνωσης των δικτύων.**
Το δίκτυο πρέπει να είναι σε θέση να μετατρέπεται περιοδικά έτσι ώστε να μπορεί να συνεχίσει να λειτουργεί, ακόμα και στις περιπτώσεις όπου κάποιοι κόμβοι αποτύχουν (π.χ. λόγω έλλειψης ενέργειας), είτε ενσωματωθούν καινούριοι κόμβοι στο δίκτυο.
- **Δυνατότητα άντλησης πληροφοριών.**
Κάποιος χρήστης μπορεί να θέλει τις πληροφορίες ενός μόνο κόμβου ή μιας ομάδας από κόμβους για συλλογή πληροφοριών για συγκεκριμένη περιοχή. Εξαιτίας της συγχώνευσης δεδομένων που πραγματοποιείται μπορεί να μην είναι δυνατόν να μεταδοθεί ένας μεγάλος όγκος πληροφοριών από το δίκτυο. Αντί αυτού, διάφοροι τοπικοί κόμβοι θα συλλέξουν δεδομένα από συγκεκριμένες περιοχές και θα δημιουργήσουν περιληπτικά μηνύματα. Έτσι μία αίτηση για άντληση πληροφοριών από έναν κόμβο μπορεί να κατευθυνθεί στον πλησιέστερο τοπικό κόμβο που συλλέγει δεδομένα

2.3 Εφαρμογές στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων

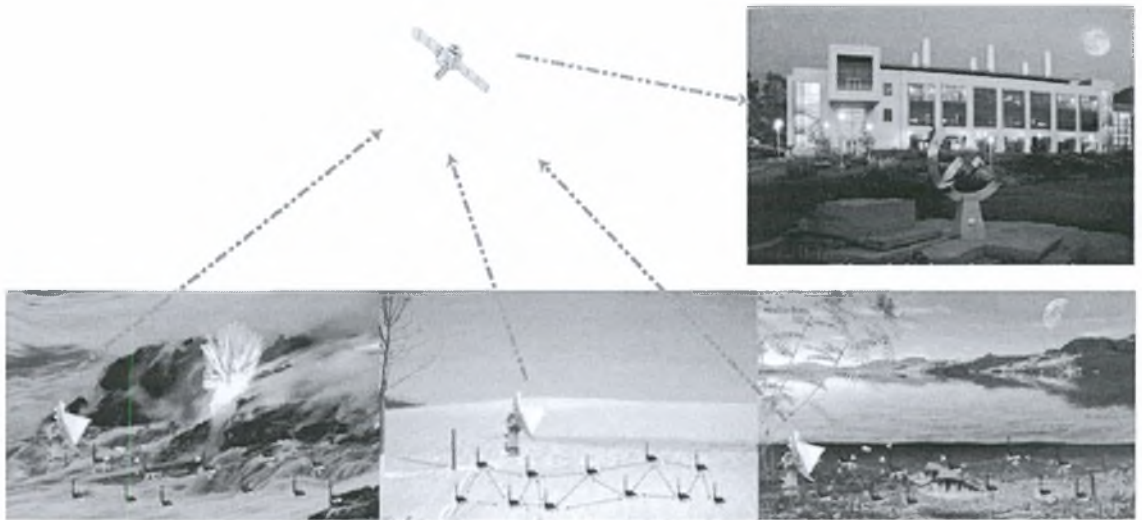
Η έρευνα για τα δίκτυα αισθητήρων ήταν, όπως και για πολλές άλλες τεχνολογίες, αρχικά παρακινούμενη από στρατιωτικές εφαρμογές [1] [12] [13] [14]. Εντούτοις, η διαθεσιμότητα χαμηλού κόστους αισθητήρων και επικοινωνιακών δικτύων καθώς και η ικανότητά τους να λειτουργούν σε περιοχές όπου επικρατούν αντίξοες συνθήκες για πολλά έτη χωρίς την ανάγκη επαναφόρτισης ή αντικατάστασης τους έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη πολλών εφαρμογών. Χρησιμοποιούνται σε εμπορικές και βιομηχανικές εφαρμογές για να ελέγχουν τα στοιχεία που θα ήταν δύσκολο ή ακριβό να ελεγχθούν από αισθητήρες συνδεδεμένους με καλώδιο. Μερικές από τις πιο σημαντικές εφαρμογές τους, όπως :

- Οι μετρήσεις ακριβείας ατμοσφαιρικών και μετεωρολογικών παραμέτρων.
- Η επιτήρηση δασών, υδροβιότοπων, θερμοκηπίων και γενικά αγροτικών καλλιεργειών για έλεγχο υγρασίας, θερμοκρασίας, πίεσης, ωρίμανσης καρπών, κτλ.,
- Η επιτήρηση υγρών στοιχείων για ρύπους ή έλεγχο ακραίων φαινομένων όπως οι πλημμύρες.
- Η επιτήρηση βιομηχανικού περιβάλλοντος για την εξασφάλιση επιθυμητών συνθηκών της παραγωγικής διαδικασίας.
- Στοιχειώδεις ρυθμίσεις λειτουργιών σε κτίρια όπως θέρμανση, φωτισμός, συναγερμοί.

Είναι μερικές από τις ήδη οικείες σε εμάς εφαρμογές τους, καθώς ανταποκρίνονται στις συνήθειες δραστηριότητες και ανάγκες μας.

Ως λιγότερο οικείες αλλά διόλου ασήμαντες μπορούν να αναφερθούν:

- Οι στρατιωτικές εφαρμογές και οι υποβρύχιες εγκαταστάσεις δικτύων για εντοπισμό αντικειμένων τόσο για στρατιωτικές επιχειρήσεις όσο και για αρχαιολογικές έρευνες και πειράματα.
- Η χρήση δικτύων αισθητήρων για τον εξαιρετικά ακριβή προσδιορισμό της θέσης και της κίνησης αντικειμένων σε εσωτερικούς χώρους, όπως σε κτίρια σε πυκνοδομημένο αστικό περιβάλλον, όπου η απόδοση της κλασικής GPS υπηρεσίας αποδεικνύεται ανεπαρκής. ^{[4][5][6][7]}



Σχήμα 1: Εφαρμογές των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων
(εικόνα από http://apsellab.ece.cornell.edu/images/zhongtao_sensor_network2.jpg)

3

Γεωργία ακριβείας

3.1 Τι είναι η Γεωργία Ακριβείας.

Η γεωπονική επιστήμη και η έρευνα που διεξάγεται έχουν καταφέρει να μεταφέρουν με επιτυχία ένα υπόβαθρο γνώσης στον αγροτικό πληθυσμό για την παραγωγή μεγαλύτερων ποσοτήτων αγροτικών προϊόντων με σχετικά χαμηλό κόστος. Τα τελευταία χρόνια οι εξωτερικές επιρροές όπως το παγκόσμιο εμπόριο, οι περιβαλλοντικές ανησυχίες και οι καταναλωτικές προτιμήσεις ασκούν νέες πιέσεις στη γεωργική βιομηχανία. Η ανάγκη να προσαρμοστούν οι αλλαγές της παραγωγής και του μάρκετινγκ έχει θέσει τους φορείς, που ασχολούνται με τη γεωργική έρευνα, σε μια διαδικασία αναζήτησης νέων μεθόδων και τεχνολογιών.

Αποτέλεσμα της αναζήτησης νέων μεθόδων είναι η γεωργία ακριβείας. ^{[9][10][27]} Πρόκειται για μια μέθοδο παραγωγής που εφαρμόζεται σε ολόκληρη τον κόσμο και μπορεί να οριστεί ως μια γεωργική προσέγγιση που έχει ως σκοπό να βελτιστοποιήσει τη γεωργική παραγωγή μέσω της αντιμετώπισης της παραλλακτικότητας των παραμέτρων που επηρεάζουν την γεωργική παραγωγή, όπως ο τύπος του εδάφους, το pH, η στράγγιση, τα θρεπτικά στοιχεία, η οργανική ουσία, το νερό, η προσβολή από ασθένειες, η εμφάνιση ζιζανίων κ.α. Η βασική ιδέα είναι ο διαχωρισμός μιας μεγαλύτερης έκτασης σε μικρότερα ομοιόμορφα τμήματα (ζώνες διαχείρισης, - management zones) και η διαχείριση τους σύμφωνα με τις ιδιαίτερες απαιτήσεις κάθε μιας ζώνης.

Η γεωργία ακριβείας μπορεί δηλαδή να καθοριστεί ως στρατηγική διαχείρισης που χρησιμοποιεί τεχνολογίες που παρέχουν πληροφορίες από πολλαπλές πηγές για να παράγουν δεδομένα και αφορούν στις αποφάσεις που είναι συνδεδεμένες με την παραγωγή. Η γεωργία ακριβείας βασίζεται σε τρεις πυλώνες:

1. την συγκέντρωση των δεδομένων σε κατάλληλη κλίμακα και συχνότητα,
2. την ερμηνεία και την ανάλυση των δεδομένων και
3. την εφαρμογή της διαχειριστικής λύσης σε κατάλληλη κλίμακα και σε κατάλληλο χρόνο.

Η σημαντικότερη συνέπεια της γεωργίας ακριβείας είναι στον τρόπο με τον οποίο οι διαχειριστικές αποφάσεις εξετάζουν τη χωρική και χρονική μεταβλητότητα στα συστήματα παραγωγής. Μπορεί να επηρεάσει αλλά και να βελτιώσει την παραγωγή, αλλά και την αγροτική διαχείριση με πολλούς τρόπους:

- Στον αγροτικός τομέα μπορεί ρυθμίσει, να βελτιώσει, και να προσαρμόσει τις κλασικές τεχνικές καλλιέργειας σύμφωνα με τις πραγματικές ανάγκες της κάθε παραγωγής.

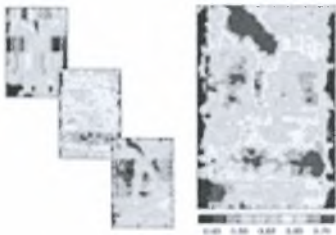
Π.χ. καλύτερη διαχείριση της λίπανσης του αγρού.

- Στον τεχνικό τομέα μπορεί να βοηθήσει αποτελεσματικά στην διαχείριση του χρόνου της γεωργικής εκμετάλλευσης αλλά και στην αποτελεσματική διαχείριση του στόλου των γεωργικών μηχανών.
- Στον περιβαλλοντικό τομέα μπορεί να συντελέσει στην μείωση των αρνητικών αγροτικών επιδράσεων στο περιβάλλον.

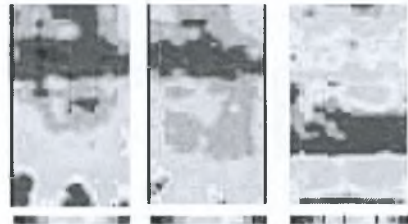
Π.χ. η καλύτερη εκτίμηση των αναγκών της παραγωγής σε φυτοφάρμακα, έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση απορροής αυτών στο περιβάλλον.

- Στον οικονομικό τομέα μπορεί να συμβάλει στην αύξηση της ποσότητας παραγωγής, αλλά και στην μείωση των εξόδων που απαιτούνται, με αποτέλεσμα να έχουμε αύξηση της αποδοτικότητας.

Π.χ. η μείωση των απαιτήσεων σε φυτοφάρμακα, προκαλεί την μείωση των χρηματικών αναγκών. [9] [10]



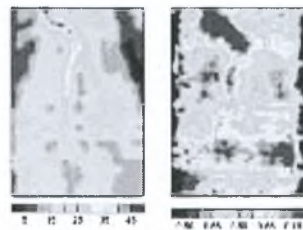
Χάρτες αποδόσεων 1992,93,94 και χάρτης μέσης απόδοσης



Θεματικοί χάρτες P, K, και pH



Αεροφωτογραφία του 1962, χάρτης μέσης απόδοσης και χάρτης pH



Χάρτης επιφανειακού εδάφους σε σύγκριση με τον χάρτη μέσων αποδόσεων

Σχήμα 2: Χάρτες περιβαλλοντικών μετρήσεων ενός αγροτεμαχίου

(εικόνα από University of Missouri-Columbia)

3.2 Χρήση νέων τεχνολογιών από την γεωργία ακριβείας.

Μια βασική διαφορά μεταξύ της συμβατικής διαχείρισης και της γεωργίας ακριβείας είναι η εφαρμογή των σύγχρονων τεχνολογιών πληροφόρησης. Οι τεχνολογίες αυτές παρέχουν, επεξεργάζονται και αναλύουν δεδομένα υψηλής χωρικής και χρονικής ανάλυσης, που έχουν αποκτηθεί από πολλές πηγές, για τη λήψη αποφάσεων και διαδικασιών στη διαχείριση της γεωργικής παραγωγής. Τα συστήματα που συντελούν στην συλλογή και επεξεργασία των πληροφοριών είναι:

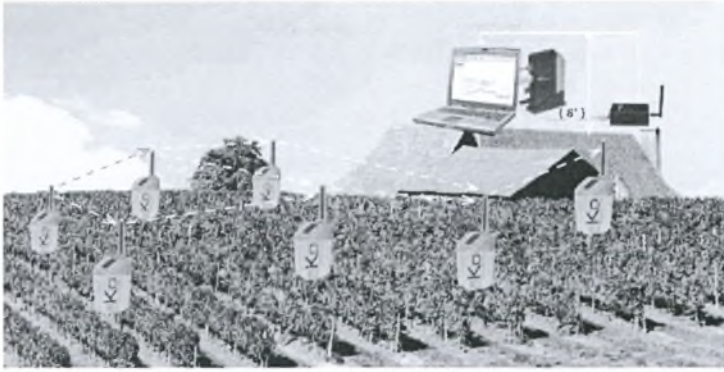
- Διάφορες Γεωαναφερόμενες Πληροφορίες
- Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού (Global Positioning System - GPS)
- Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (ΣΓΠ) και λογισμικό χαρτογράφησης
- Συστήματα χαρτογράφησης συγκομιδής (Yield mapping Systems)
- Τεχνολογία συστημάτων Μεταβλητών Εφαρμογών (Variable Rate Application Technology)
- Τηλεπισκόπηση
- Συστήματα Παρακολούθησης Αποδόσεων Crop Production Modeling
- Συστήματα υποστήριξης απόφασης Decision Support Systems

3.3 Χρήση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων στην γεωργία ακριβείας.

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων αποτελούν μια από τις σημαντικότερες τεχνολογίες πάνω στην οποία βασίζεται η γεωργία ακριβείας. Αποτελεί σημαντικό συστατικό των συστημάτων συλλογής και επεξεργασίας πληροφοριών, όπως είναι το σύστημα καταγραφής δεδομένων.

Αυτή η χρησιμοποίηση των ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων από την γεωργία ακριβείας προκύπτει από το γεγονός ότι τα δίκτυα αισθητήρων είναι:

- ✓ Γρήγορα και εύκολα στην εγκατάστασή τους στο περιβάλλον μελέτης.
- ✓ Πλήρως αναβαθμίσιμα
- ✓ Εύκολα στη συντήρηση
- ✓ Χαμηλών οικονομικών απαιτήσεων, σε σχέση με άλλα συστήματα καταγραφής και επεξεργασίας δεδομένων.
- ✓ Ικανά να λαμβάνουν μετρήσεις περιβαλλοντικού χαρακτήρα (π.χ. θερμοκρασία, ηλιακή ακτινοβολία, υγρασία εδάφους κ.α) με τρόπο συνεχές και άνευ επιτήρησης.



Σχήμα 3: Εφαρμογή των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων στην Γεωργία Ακριβείας

(εικόνα από http://www.xbow.com/eko/Images/eKo_Pro_datasheet.pdf)

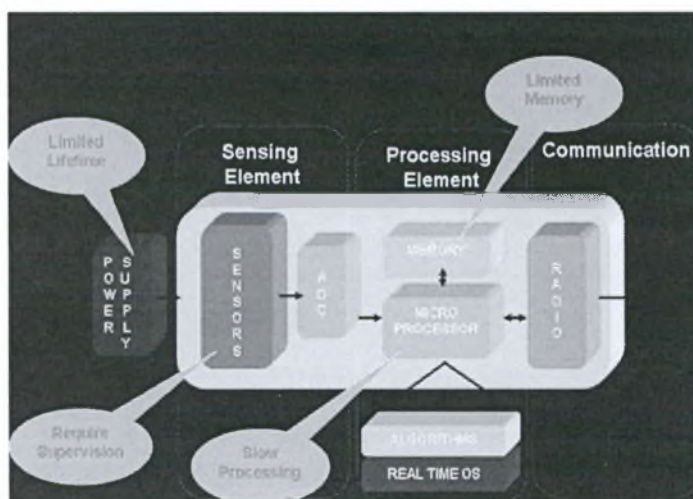
4 Αισθητήρες

4.1 Περιγραφή των αισθητήρων

4.1.1 Δομή των αισθητήρων

Οι κόμβοι αισθητήρων που χρησιμοποιούνται σε ένα δίκτυο αισθητήρων μπορούν να χαρακτηριστούν ως μικροί υπολογιστές. Είναι εξοπλισμένοι συνήθως από μια μονάδα επεξεργασίας με περιορισμένη υπολογιστική δύναμη και περιορισμένη μνήμη, με ένα πομποδέκτη ή άλλη συσκευή ασύρματης επικοινωνίας, και μια πηγή ενέργειας, συνήθως μια μπαταρία. Το μέγεθος ενός κόμβου αισθητήρων μπορεί να ποικίλει από δεκάδες εκατοστά, ως συσκευές με μέγεθος κόκκου σκόνης^[11]. Το κόστος των κόμβων αισθητήρων είναι ομοίως μεταβλητό, κυμαινόμενο από εκατοντάδες δολάρια ως μερικά σεντς, ανάλογα με το μέγεθος του δικτύου αισθητήρων και της πολυπλοκότητας που απαιτείται από τους μεμονωμένους κόμβους αισθητήρων. Περιορισμοί μεγέθους και κόστους στους κόμβους αισθητήρων οδηγούν σε αντίστοιχους περιορισμούς σε πόρους όπως η ενέργεια, η μνήμη, η υπολογιστική ταχύτητα και το εύρος ζώνης^[12].

Παρακάτω φαίνεται η δομή ενός ασύρματου αισθητήρα:



Σχήμα 4: Δομή ασύρματων αισθητήρων

(εικόνα από http://www.ce.unimelb.edu.au/sen_net/multimedia/research_prog/intsens.gif)

Οι αισθητήρες που απαρτίζουν τα δίκτυα αυτά μπορούν να μετρήσουν:

- Απόσταση, κατεύθυνση, ταχύτητα
- Υγρασία, σύσταση εδάφους
- Θερμοκρασία, χημικά
- Ηλιακή ακτινοβολία, κίνηση, δονήσεις
- Σεισμικά και ακουστικά δεδομένα.

4.1.2 Το λειτουργικό σύστημα TinyOS

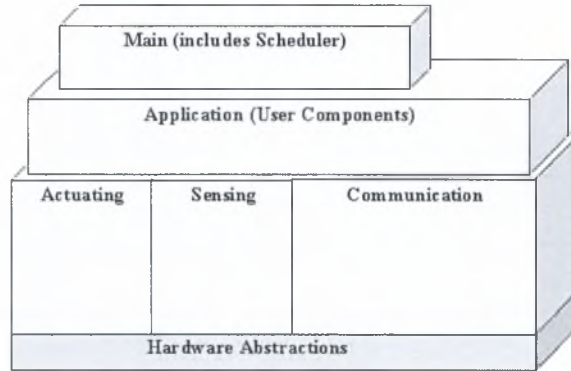
Τα λειτουργικά συστήματα για τους ασύρματους κόμβους δικτύων αισθητήρων είναι λιγότερο σύνθετα από τα γενικής χρήσης λειτουργικά συστήματα και λόγω των πρόσθετων απαιτήσεων των εφαρμογών δικτύων αισθητήρων και λόγω των περιορισμών των πόρων στο hardware των πλατφόρμων των δικτύων αισθητήρων. Παραδείγματος χάριν, οι εφαρμογές δικτύων αισθητήρων δεν είναι αλληλοδραστικές με τον ίδιο τρόπο όπως οι εφαρμογές για τα PC. Για αυτόν τον λόγο, το λειτουργικό σύστημα δεν χρειάζεται να υποστηρίζει interfaces για την επικοινωνία με τον χρήστη. Επιπλέον, οι περιορισμοί του hardware όσον αφορά την μνήμη και την χαρτογράφηση της μνήμης καθιστά τους μηχανισμούς όπως η εικονική μνήμη είτε άχρηστους είτε αδύνατους να εφαρμοστούν.

Το TinyOS^[14] είναι ίσως το πρώτο λειτουργικό σύστημα που σχεδιάστηκε συγκεκριμένα για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, από το οποίο προέρχεται σε μεγάλο βαθμό η επιτυχία και η δημοτικότητα που γνωρίζουν τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων τα τελευταία χρόνια.

Οι προκλήσεις που είχε να αντιμετωπίσει και να λύσει το TinyOS ήταν:

- Η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.
- Ιδιαίτερα υψηλές απαιτήσεις για συγχρονισμό:
 1. Ροή πληροφορίας από πολλές πηγές (αισθητήρες, πομποδέκτης)
 2. Μικρή μνήμη, που σημαίνει ότι δεν μπορεί να γίνει buffering, άρα πρέπει να επεξεργαστούμε γρήγορα τα μηνύματα που δεχόμαστε, αλλιώς μπορεί να τα χάσουμε
- Μικρό μέγεθος συνολικά του συστήματος
- Η σχεδίαση να είναι modular για να μπορούμε να φτιάξουμε γρήγορα και εύκολα εφαρμογές

Μια απλοποιημένη εκδοχή της αρχιτεκτονικής του TinyOS φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 5: Η αρχιτεκτονική του TinyOS

(εικόνα από <http://www.ceid.upatras.gr/courses/katanemhmena/wiki>)

Όταν λέμε ότι ένας κόμβος τρέχει TinyOS, εννοούμε ότι έχει εγκατεστημένο στη flash μνήμη του ένα binary εκτελέσιμο image με τις βιβλιοθήκες του TinyOS που χρειαζόμαστε, συνδεδεμένες με την εφαρμογή που θέλουμε να εκτελέσουμε. Το image αυτό από εδώ και πέρα θα το αναφέρουμε ως εφαρμογή TOS (TinyOS application). Το TinyOS από μόνο του δεν εκτελεί κάποια ιδιαίτερη λειτουργία και ούτε έχει κάποιο user interface (όπως π.χ. το shell στο Unix), οπότε δεν έχει κανένα νόημα να το εγκαταστήσουμε μόνο του σε έναν κόμβο.

Αντίθετα από τα περισσότερα άλλα λειτουργικά συστήματα, το TinyOS είναι βασισμένο σε ένα event-driven πρότυπο προγραμματισμού αντί για multithreading. Τα προγράμματα TinyOS αποτελούνται από event-handler και tasks. Όταν συμβαίνει ένα εξωτερικό γεγονός, όπως ένα εισερχόμενο πακέτο στοιχείων ή μια ανάγνωση αισθητήρων, το TinyOS καλεί τον αρμόδιο event-handler για να χειριστεί το γεγονός. Το σύστημα TinyOS καθώς και τα προγράμματα που γράφονται για TinyOS γράφονται σε μια ειδική γλώσσα προγραμματισμού αποκαλούμενη nesC που είναι μια επέκταση της γλώσσας προγραμματισμού C. Η nesC^[28] έχει ως σκοπό να ανιχνεύει τις συνθήκες μετάβασης μεταξύ tasks και event-handlers.

4.1.3 Η γλώσσα προγραμματισμού nesC

Η γλώσσα προγραμματισμού nesC αναπτύχθηκε στο πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια Berkeley σε συνεργασία με την ομάδα που δημιούργησε το TinyOS.

Μερικές από τις αρχές που διέπουν τη σχεδίαση της nesC είναι:

- **Η nesC βασίζεται στη C:** Αυτή η επιλογή έγινε διότι οι μεταγλωττιστές της C παράγουν αποδοτικό κώδικα για όλους του microcontrollers που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως επεξεργαστές σε συστήματα έξυπνης σκόνης. Επίσης, ένα μεγάλο μέρος των προγραμματιστών σε embedded συστήματα χρησιμοποιεί τη C ως γλώσσα προγραμματισμού.
- **Ολική ανάλυση προγράμματος κατά τη διάρκεια της μεταγλώττισης (compiling):** Η ξεχωριστή μεταγλώττιση μερών ενός προγράμματος δεν είναι διαθέσιμη ως επιλογή στη nesC. Αυτό γίνεται για να είναι πιο ακριβής ο έλεγχος για λάθη και συγχρονισμό (race conditions) στο πρόγραμμα και για πιο αποδοτικό κώδικα (μικρότερο μέγεθος), το οποίο είναι αρκετά βολικό, δεδομένου του μικρού μεγέθους της διαθέσιμης μνήμης.
- **Στατικός κώδικας:** Η μνήμη κατανέμεται στατικά σε μια εφαρμογή TOS κατά τη διάρκεια της μεταγλώττισης και επίσης το γράφημα διασυνδέσεων μεταξύ των διάφορων component είναι σταθερό και γνωστό. Το μοντέλο των component εξαλείφει την ανάγκη για δυναμική δέσμευση μνήμης και ενθαρρύνει ένα ευέλικτο σχεδιασμό.
- **Η nesC υποστηρίζει και αντικατοπτρίζει τη φιλοσοφία του TinyOS.**

Μια εφαρμογή nesC αποτελείται από ένα ή περισσότερα **components** που συνδέονται για να διαμορφώσουν ένα εκτελέσιμο. Ένα **component** παρέχει και χρησιμοποιεί τα **interfaces**. Αυτά τα **interfaces** είναι το μόνο σημείο πρόσβασης στο **component** και είναι αμφίδρομες. Ένα **interface** δηλώνει ένα σύνολο λειτουργιών, τις οποίες ονομάζουμε **commands**, και τις οποίες πρέπει να υλοποιήσει ο **interface provider**. Καθώς και ένα σύνολο λειτουργιών, τις οποίες ονομάζουμε **events**, και τις οποίες πρέπει να υλοποιήσει ο χρήστης. Για να μπορέσει ένα **component** να καλέσει τα **commands** ενός **interface**, θα πρέπει πρώτα να υλοποιήσει τα **events** αυτού του **interface**. Ένα **interface** μπορεί να χρησιμοποιεί ή να παρέχει πολλαπλά αντίγραφα του ίδιου **interface**.

Υπάρχουν δύο είδη component στη nesC: τα **modules** και τα **configurations**. Τα **modules** παρέχουν τον κώδικα εφαρμογής, υλοποιώντας ένα ή περισσότερα **interfaces**. Τα **configurations** χρησιμοποιούνται για να συγκεντρώσουν άλλα **components** μαζί, ενώνοντας τα **interface** διαφορετικών **component** μεταξύ τους. Αυτό ονομάζεται **wiring**. Κάθε nesC εφαρμογή περιγράφεται από ένα **top-level configuration** το οποίο ενώνει μεταξύ τους τα εσωτερικά **components**.

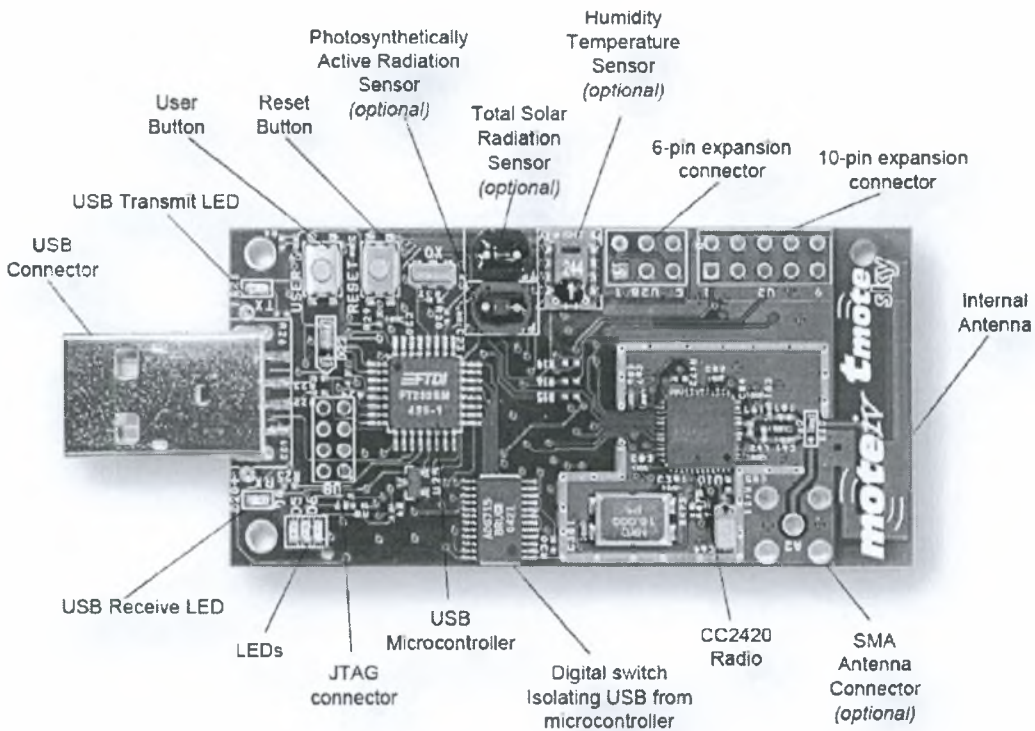
4.2 Οι αισθητήρες «tmote Sky»

4.2.1 Περιγραφή των «tmote Sky»

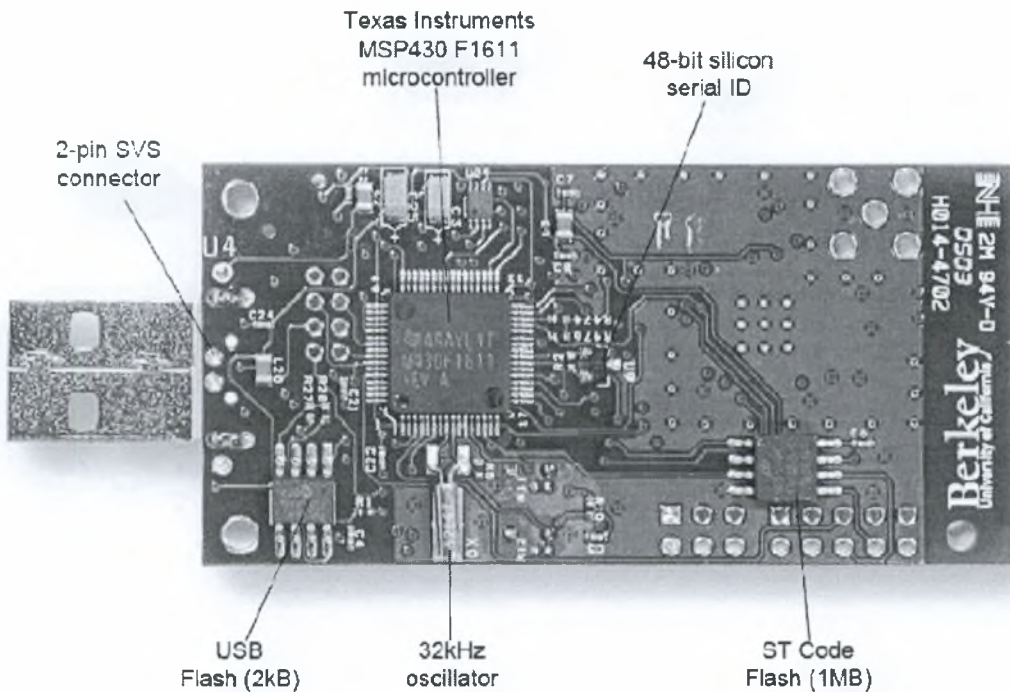
Οι αισθητήρες που θα χρησιμοποιήσουμε στο σύστημα μας είναι οι Tmote Sky^[13]. Οι Tmote Sky είναι από τους πιο διαδεδομένους ασύρματους αισθητήρες σήμερα. Το Tmote Sky είναι ένας ασύρματος αισθητήρας χαμηλής ενέργειας για χρήση σε δίκτυα αισθητήρων και σε εφαρμογές ελέγχου. Είναι εφοδιασμένο με αισθητήρες μέτρησης θερμοκρασίας, υγρασίας, καθώς και ηλιακής ακτινοβολίας (*Photosynthetically Active Radiation*, και *Total Solar Radiation*). Ακόμα φέρει διάφορα βιομηχανικά πρότυπα (industry standards), όπως είναι η USB και το IEEE 802.15.4^[29], έτσι ώστε να έχει την δυνατότητα να επικοινωνεί άμεσα με άλλες συσκευές. Εκμεταλλευόμενο τα βιομηχανικά πρότυπα και τους αισθητήρες που αναφέραμε παραπάνω, καθώς και την εύκολη επικοινωνία του με τις διάφορες περιφερειακές συσκευές, αποκτάει την δυνατότητα αποδοτικής συμμετοχής του σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών ασύρματων αισθητήρων. Το Tmote Sky αποτελεί την συνέχεια του αισθητήρα Telos, ενός πετυχημένου σχεδίου της εταιρείας Moteiv. Διαθέτει 1MB μνήμη, 10KB RAM, 48 KB Memory Flash και 250 kbps Radio bandwidth.

Τα βασικά χαρακτηριστικά τους είναι:

- 250kbps 2.4GHz IEEE 802.15.4 Chipcon Wireless Transceiver.
- Σύνδεση με άλλες IEEE 802.15.4 συσκευές.
- 8MHz Texas Instruments MSP430 microcontroller (10k RAM, 48k Flash)
- Ενσωματωμένο ADC, DAC, Supply Voltage Supervisor, and DMA Controller
- Ενσωματωμένη onboard κεραία με 50m εμβέλεια σε εσωτερικούς χώρους / 125m εμβέλεια σε εξωτερικούς.
- Ενσωματωμένα sensors για μέτρηση υγρασίας, θερμοκρασίας και φωτός.
- Εξαιρετικά χαμηλή κατανάλωση ρεύματος.
- Γρήγορο ξύπνημα από ύπνο (<6ks).
- Hardware link-layer κρυπτογράφηση και πιστοποίηση.
- Προγραμματισμός και συλλογή δεδομένων μέσω USB καλωδίου.
- 16-pin υποδοχή επέκτασης και δυνατότητα επιλογής SMA σύνδεσης κεραίας.
- TinyOS υποστήριξη: mesh networking and communication implementation.
- Συμμορφώνεται με το FCC Part 15 και τους κανονισμούς Βιομηχανίας του Καναδά.



Σχήμα 6: Μπροστινό μέρος των Tmote Sky



Σχήμα 7: Πίσω μέρος των Tmote Sky

4.2.2 Το λειτουργικό σύστημα των Tmote Sky (Boomerang)

Το λειτουργικό σύστημα το οποίο εκτελούν οι Tmote Sky ονομάζεται Boomerang^[13]. Πρόκειται για μια ειδική έκδοση του λειτουργικού συστήματος TinyOS^[14], κατάλληλα τροποποιημένη για τις απαιτήσεις και τις ανάγκες των συσκευών της εταιρείας Moteiv, όπως είναι τα: Tmote Sky και Tmote Invent. Το Boomerang περιέχει αρκετές βιβλιοθήκες ικανές να οικοδομήσουν σταθερές, χαμηλής κατανάλωσης εφαρμογές ασύρματων αισθητήρων. Συνδυάζει τις καινοτόμες τεχνολογίες του open-source λογισμικού με ένα σταθερό και αξιόπιστο σύστημα, καθιστώντας το ικανό να δημιουργήσει αποτελεσματικές ασύρματες λύσεις.

Τα βασικά χαρακτηριστικά τους είναι:

- Αξιόπιστη, χαμηλής κατανάλωσης, δικτύωση πλέγματος.
- Εκτενείς βιβλιοθήκες αισθητήρων.
- Πλήρεις παραδείγματα εφαρμογών και server-side εργασία.
- Πλήρη συμβατότητα με υπάρχουσες εφαρμογές του TinyOS 1.x.
- Ενσωματώνει τα κύρια χαρακτηριστικά του TinyOS 2.x
- Ικανότητα συνύπαρξης με οποιαδήποτε υπάρχουσα εγκατάσταση TinyOS.
- Οι open-source βιβλιοθήκες επιτρέπουν την τροποποίηση κατ' επιλογή του χρήστη.
- Ιδανικό για χρήση στους Moteiv Tmote Sky και Tmote Invent αισθητήρες.

4.3 Περιγραφή αισθητήριων οργάνων

Όπως περιγράψαμε παραπάνω το σύστημά μας θα πρέπει να ανταποκρίνεται στις ανάγκες της γεωργίας ακριβείας. Για αυτό τον λόγο χρειάζεται να παρέχει πολλές και λεπτομερείς περιβαλλοντικές μετρήσεις. Για να μπορεί το σύστημα μας να πάρει αυτές τις επιπλέον μετρήσεις, χρησιμοποιήσαμε τα παρακάτω αισθητήρια όργανα, τα οποία και προσαρμόσαμε στις πλατφόρμες αισθητήρων tmote Sky.

4.3.1 Αισθητήρας υγρασίας εδάφους

Για την μέτρηση της υγρασίας εδάφους χρησιμοποιήσαμε το αισθητήριο όργανο: EC-5 της εταιρείας Decagon.^[15] Το συγκεκριμένο αισθητήριο όργανο αποτελεί μια από τις καλύτερες λύσεις στο συγκεκριμένο είδος μετρήσεων και ικανοποιεί απόλυτα τις ανάγκες μας. Χάρι στην υψηλή συχνότητα δειγματοληψίας που διαθέτει, κάνει δυνατή την ακριβή μέτρηση της υγρασίας σε οποιοδήποτε είδος εδάφους, χωμάτινο ή όχι, είτε με μεγάλη αλατότητα είτε όχι.



Σχήμα 8: Το αισθητήριο όργανο μέτρησης υγρασίας εδάφους, EC-5

(εικόνα από <http://www.decagon.com>)

4.3.2 Αισθητήρας υγρασίας φυλλώματος

Για την μέτρηση της υγρασίας φυλλώματος χρησιμοποιήσαμε το αντίστοιχο αισθητήριο όργανο της εταιρείας DECAGON. Η υγρασία φυλλώματος είναι πολύ σημαντικός παράγοντας στην παραγωγή, καθώς είναι η αιτία για την ανάπτυξη πολλών βακτηρίων και την εμφάνιση πολλών ασθενειών στα φυτά. Ακόμα έχει την δυνατότητα να ενημερώνει για την ύπαρξη νερού ή πάγου στην επιφάνεια του φυλλώματος του φυτού.

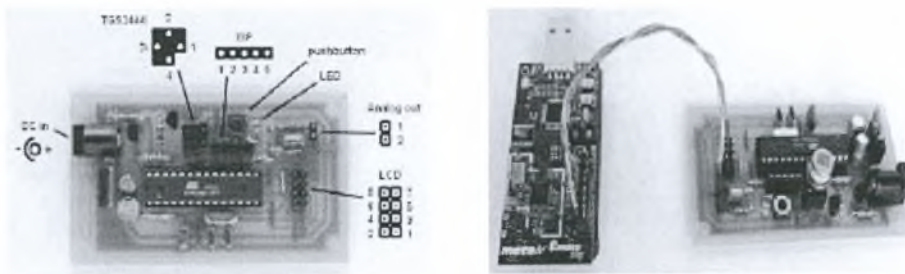


Σχήμα 9: Το αισθητήριο όργανο μέτρησης υγρασίας φυλλώματος.

(εικόνα από <http://www.decagon.com>)

4.3.3 Αισθητήρας μέτρησης αμμωνίας

Για την μέτρηση του επιπέδου αμμωνίας στον αέρα χρησιμοποιήσαμε ένα αισθητήριο όργανο το οποίο αναπτύχθηκε από το εργαστήριο Εργαστήριο Ασύρματων Συστημάτων Αισθητήρων του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.^[16] Το κύριο στοιχείο της συσκευής είναι το TGS-2444 της εταιρείας Figaro Ltd. Το συγκεκριμένο αισθητήριο έχει πολύ χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και παρουσιάζει μεγάλη ευαισθησία ακόμα και σε περιπτώσεις χαμηλής συγκέντρωσης αμμωνίας στον αέρα.

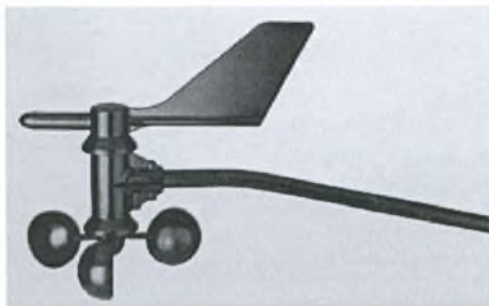


Σχήμα 10: Το μπροστινό μέρος του αισθητήριου οργάνου μέτρηση αμμωνίας και η διασύνδεση του με το tmote Sky .

(εικόνα από <http://wssl.inf.uth.gr>)

4.3.4 Αισθητήρας μέτρησης του ανέμου

Για να μέτρηση του ανέμου χρησιμοποιήσαμε ένα ανεμόμετρο της εταιρείας Davis (model 7911). Το συγκεκριμένο ανεμόμετρο έχει την δυνατότητα να παρέχει πληροφορίες σχετικές με την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου.



Σχήμα 11: Το ανεμόμετρο.

(εικόνα από <http://www.davisnet.com/productpics/bip/07911.jpg>)

5

Ανάπτυξη του συστήματος

Στις ακόλουθες ενότητες θα περιγράψουμε τα διάφορα στάδια από τα οποία πέρασε το σύστημα. Τα στάδια αυτά ξεκινούν από μια γενική περιγραφή και ανάλυση των απαιτήσεων του συστήματος, και καταλήγουν στην λεπτομερή καταγραφή των λειτουργιών, των πρέπει να ικανοποιεί.

5.1 Περιγραφή των απαιτήσεων του συστήματος.

Το ζητούμενο του συστήματος μας είναι η συλλογή περιβαλλοντικών μετρήσεων από ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων, η αποθήκευση τους σε μια βάση δεδομένων και η επιλεκτική απεικόνισή του, είτε τοπικά, είτε απομακρυσμένα μέσω του διαδικτύου.

Όπως είναι φανερό από την παραπάνω περιγραφή, για την ανάπτυξη του συστήματος είναι αναγκαία η χρήση και ο συνδυασμός πολλών διαφορετικών τεχνολογιών, όπως είναι το TinyOS, η Βάσεις Δεδομένων, η Java, διάφορες διαδικτυακές διεπαφές και ένας εξυπηρετητής. Για την αποδοτική χρήση, και την επίτευξη αποτελεσματικής συνεργασίας αυτών ήταν αναγκαίο να γίνει ένα είδος τυποποίησης αυτών. Η τυποποίηση αυτή έγινε με χρήση της γλώσσας UML.

5.1.1 Η χρήση της UML.

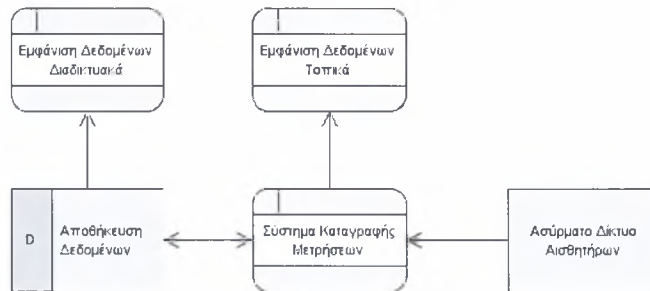
Η UML (Unified Modeling Language)^[30] είναι μια τυποποιημένη γλώσσα για τη διευκρίνιση, την απεικόνιση, την κατασκευή και την τεκμηρίωση των δεδομένων των συστημάτων λογισμικού, καθώς επίσης και για τη μοντελοποίηση επιχειρήσεων, αλλά και άλλων συστημάτων. Η UML αντιπροσωπεύει μια συλλογή των καλύτερων πρακτικών εφαρμοσμένης μηχανικής που έχουν αποδειχθεί επιτυχείς στη διαμόρφωση μεγάλων και σύνθετων συστημάτων. Η χρησιμοποίηση της UML βοηθά τις ομάδες ανάπτυξης στην επικοινωνία, συμβάλει στην μελέτη όλων των πιθανών σχεδίων, και επικυρώνει την επιλεγμένη αρχιτεκτονική σύμφωνα με την οποία θα αναπτυχθεί το λογισμικό.

Στην συνέχεια της ενότητας παρουσιάζονται μερικά από τα διαγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν, και τα οποία είναι χρήσιμα στην καλύτερη κατανόηση της δομής, αλλά και της λειτουργίας του συστήματός μας.

5.2 Ανάλυση απαιτήσεων και διάγραμμα ροής.

Το πρώτο στάδιο ανάπτυξης του συστήματος αφορά την ανάλυση των απαιτήσεων. Τον εντοπισμό δηλαδή των απαιτήσεων, των λειτουργιών και των γεγονότων τα οποία πρέπει να ικανοποιηθούν ώστε να εκπληρωθούν οι στόχοι του συστήματος.

Στο παρακάτω διάγραμμα ροής απεικονίζονται τα αποτελέσματα του σταδίου.



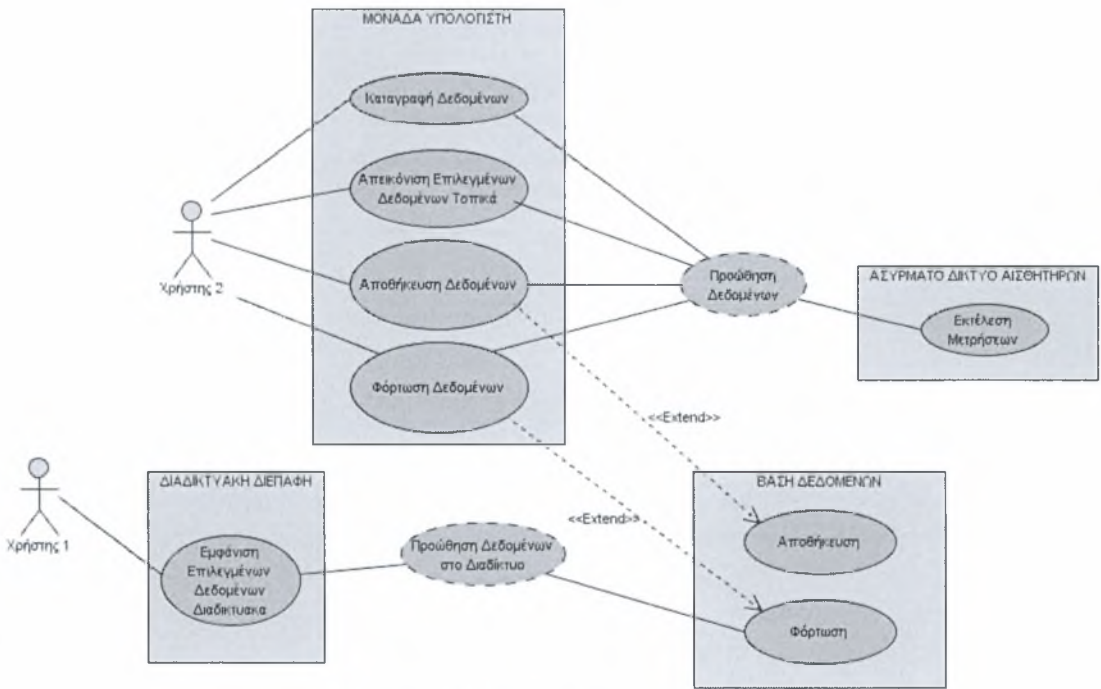
Σχήμα 12: Διάγραμμα ροής δεδομένων του συστήματος.

Βλέπουμε δηλαδή τα στάδια από τα οποία περνούν οι μετρήσεις, από την στιγμή της συλλογής τους, μέχρι την εμφάνιση τους στον χρήστη τοπικά ή διαδικτυακά. Τα στάδια αυτά είναι:

- Η συλλογή των μετρήσεων από το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων.
- Η καταγραφή και επεξεργασία τους από το Σύστημα Καταγραφής Μετρήσεων
- Η εμφάνιση των δεδομένων τοπικά με την βοήθεια του Συστήματος Καταγραφής
- Η αποθήκευσή τους με την χρήση του Συστήματος Καταγραφής
- Η εμφάνιση των δεδομένων διαδικτυακά μέσω του συστήματος καταγραφής των δεδομένων.

5.3 Διάγραμμα περιπτώσεων χρήσης.

Στην συγκεκριμένη ενότητα, έχοντας ως βάση το διάγραμμα ροής, θα παρουσιάσουμε το διάγραμμα περιπτώσεων χρήσης του συστήματος. Θα απεικονίσουμε δηλαδή την αλληλεπίδραση του χρήστη και άλλων εξωτερικών συστημάτων με το σύστημα.



Σχήμα 13: Διάγραμμα χρήσης του συστήματος.

Όπως βλέπουμε και στο διάγραμμα ο χρήστης του συστήματος έχει 4 βασικές αρμοδιότητες:

1. Την καταγραφή των δεδομένων, την επιλογή δηλαδή των κόμβων και των καναλιών των οποίων τις μετρήσεις θα λάβει,
2. την εμφάνιση των συγκεκριμένων μετρήσεων στον χρήστη τοπικά,
3. την αποθήκευση των μετρήσεων αυτών σε μια βάση δεδομένων, και
4. την μελλοντική χρήση αυτών μέσω της λειτουργίας της φόρτωσης των μετρήσεων από την βάση δεδομένων.

Ακόμα έχει την δυνατότητα να επιλέξει την εμφάνιση συγκεκριμένων μετρήσεων μέσω του διαδικτύου.

Εκτός από τις παραπάνω λειτουργίες του χρήστη, μπορούμε να διακρίνουμε κάποιες επιπλέον διαδικασίες τις οποίες εκτελεί το σύστημα για την επίτευξη των στόχων του. Οι σημαντικότερες από αυτές είναι:

- Η διαδικασία συλλογής των δεδομένων από το δίκτυο αισθητήρων
- Η προώθησή τους σε μια μονάδα υπολογιστή όπου βρίσκεται το σύστημα καταγραφής και επεξεργασίας τους.
- Η αποθήκευσή τους σε μια βάση δεδομένων
- Η φόρτωσή τους από μία βάση δεδομένων, με σκοπό την εμφάνισή τους τοπικά στον χρήστη.
- Η φόρτωσή τους από μία βάση δεδομένων και η προώθησή τους μέσω του διαδικτύου για την εμφάνισή τους σε κάποιον απομακρυσμένο χρήστη.

5.4 Περιγραφή των ρόλων των χρηστών.

Παρατηρώντας το διάγραμμα χρήσης του συστήματος και τις λειτουργίες του χρήστη συμπεραίνουμε ότι υπάρχουν δύο διαφορετικές κατηγορίες χρηστών, με διαφορετικές αρμοδιότητες και δυνατότητες.

Οι δύο κατηγορίες είναι:

- Ο χρήστης – διαχειριστής (Χρήστης 2).
- Ο χρήστης – παρατηρητής (Χρήστης 1).

5.4.1 Ο Χρήστης – Διαχειριστής (administrator)

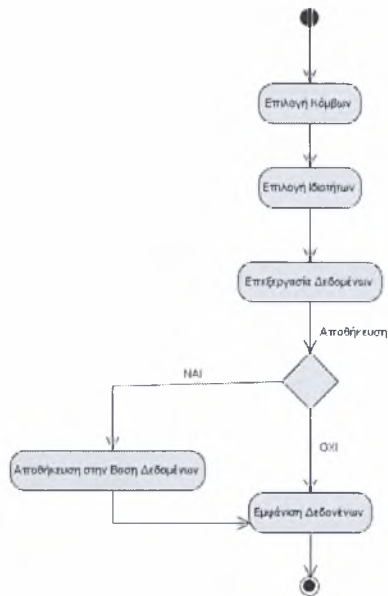
Ο administrator είναι ο χρήστης με τις περισσότερες και σημαντικότερες αρμοδιότητες για το σύστημα. Βασική του αρμοδιότητα είναι η διαχείριση του ασύρματου δικτύου αισθητήρων και του συστήματος καταγραφής, αποθήκευσης και απεικόνισης των μετρήσεων.

Οι λειτουργίες τις οποίες έχει υποχρέωση να εκτελεί στο σύστημα είναι:

- Η σωστή τοποθέτηση των αισθητήριων οργάνων με βάση τις ιδιότητες του, προς μέτρηση, περιβάλλοντος.
- Η διαχείριση των αισθητήρων, και γενικότερα του ασύρματου δικτύου αυτών, ώστε να εξασφαλιστεί η συνεχής, ακριβής και ποιοτική μέτρηση των ιδιοτήτων του περιβάλλοντα χώρου.
- Η διαχείριση του συστήματος καταγραφής.
Στο σημείο αυτό, αναλαμβάνει να κάνει μια πρώτη επεξεργασία και αξιολόγηση των μετρήσεων. Ανάλογα με τα αποτελέσματα και τις ιδιότητες των μετρήσεων, επιλέγει ποιες από αυτές χρειάζονται αποθήκευση στην βάση δεδομένων, ώστε να είναι διαθέσιμες οποιαδήποτε στιγμή στο μέλλον, για επιπλέον επεξεργασία και απεικόνιση.

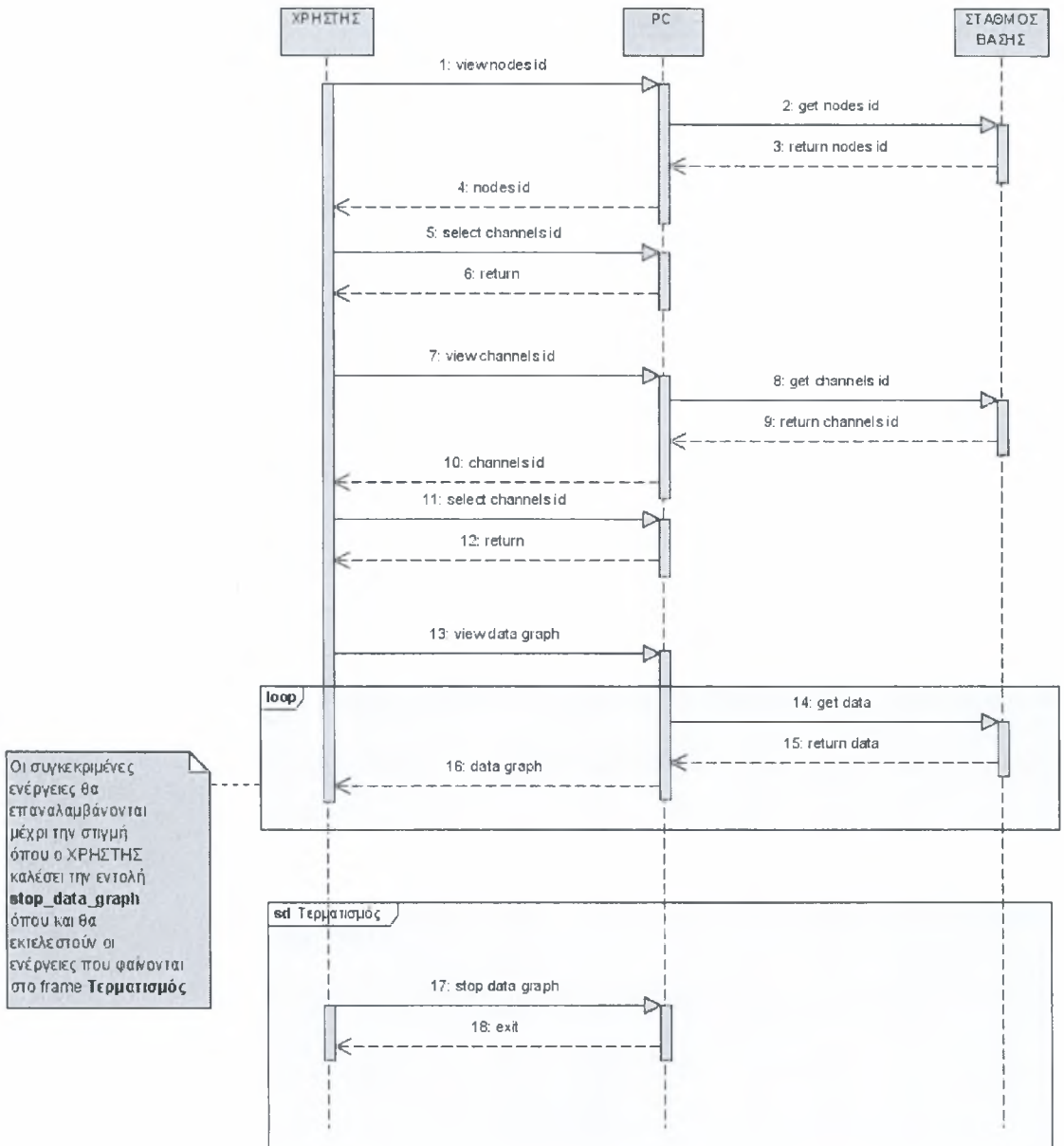
- Η απεικόνιση επιλεγμένων μετρήσεων τοπικά.
- Η σωστή διαχείριση της βάσης δεδομένων.
- Η διαχείριση της διαδικτυακής διεπαφής.

Το διάγραμμα δραστηριότητας που ακολουθεί περιγράφει την πιο σημαντική δραστηριότητα του administrator, αυτή της καταγραφής και αποθήκευσης των μετρήσεων.



Σχήμα 14: Διάγραμμα δραστηριότητας του χρήστη-διαχειριστή.

Για μια πιο λεπτομερή περιγραφή των δραστηριοτήτων, αλλά και των μηνυμάτων που ανταλλάσει ο χρήστης-διαχειριστής με το σύστημα καταγραφής των δεδομένων παρουσιάζουμε το παρακάτω διάγραμμα ακολουθίας.

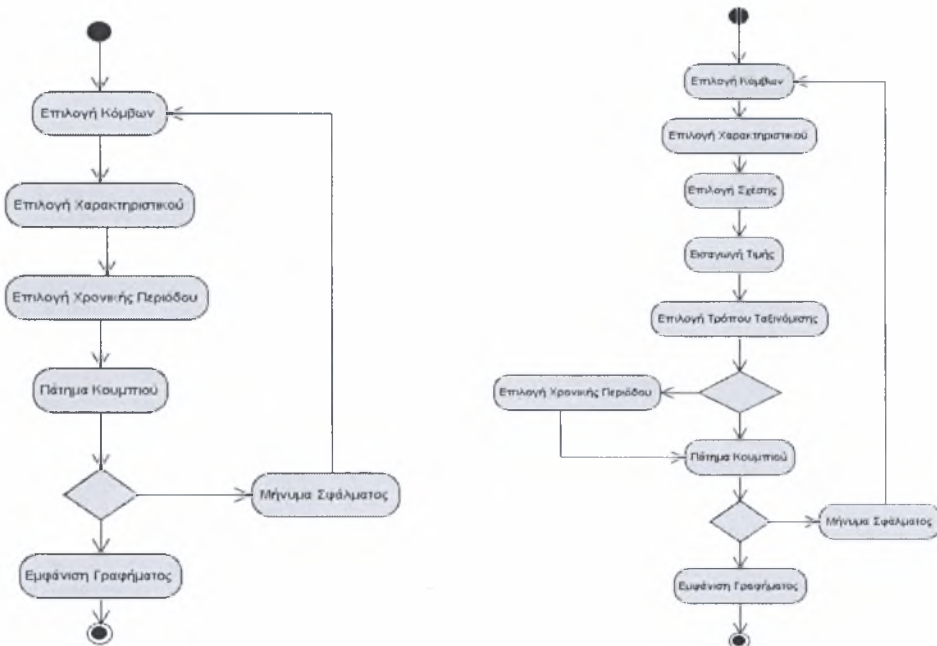


Σχήμα 15: Διάγραμμα ακολουθίας – Επικοινωνία Χρήστη-Διαχειριστή με Σύστημα Καταγραφής.

5.4.2 Ο Χρήστης – Παρατηρητής (viewer).

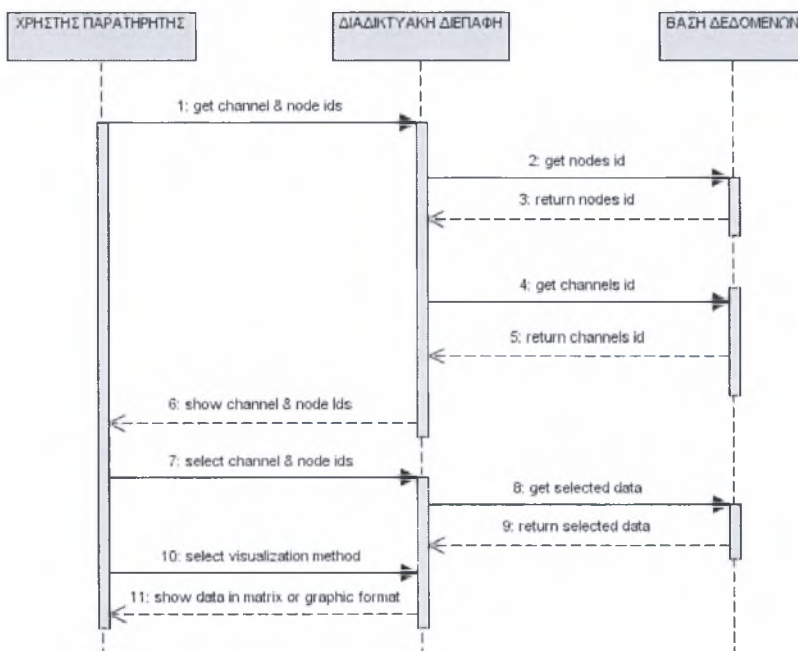
Ο χρήστης – παρατηρητής έχει σχεδόν ανύπαρκτες αρμοδιότητες ως προς την σωστή λειτουργία του συστήματος. Η βασική του ενέργεια, προς το σύστημα, είναι η αποστολή πληροφοριών προς την διαδικτυακή διεπαφή, με σκοπό την απεικόνιση των επιθυμητών μετρήσεων, είτε σε μορφή γραφημάτων, είτε σε μορφή πίνακα.

Τα παρακάτω διαγράμματα δραστηριότητας περιγράφουν με απλό τρόπο την χρήση της διεπαφής από τον χρήστη-παρατηρητή



Σχήμα 16: Διαγράμματα δραστηριότητας του χρήστη-διαχειριστή για εμφάνιση σε γράφημα και σε πίνακα.

Για μια καλύτερη περιγραφή της δραστηριότητας του χρήστη-παρατηρητή χρησιμοποιήσαμε το παρακάτω διάγραμμα ακολουθίας, στο οποίο φαίνονται τα διάφορα μηνύματα που ανταλλάσσονται ανάμεσα στον χρήστη-παρατηρητή και στα υπόλοιπα μέρη του συστήματος.



Σχήμα 17: Διαγράμματα ακολουθίας της δραστηριότητας του χρήστη-παρατηρητή

6

Αρχιτεκτονική του συστήματος.

6.1 Περιγραφή της αρχιτεκτονικής

Στην προηγούμενη ενότητα περιγράψαμε τις βασικές λειτουργίες που θα πρέπει να εκτελεί το σύστημα μας. Παρατηρώντας τα συμπεράσματα και τα διαγράμματα της προηγούμενης ενότητας, μπορούμε να πούμε ότι η αρχιτεκτονική του συστήματος μας θα πρέπει να έχει την παρακάτω μορφή:



Σχήμα 18: Η αρχιτεκτονική του συστήματος.

Το σύστημα μας θα αποτελείται δηλαδή από:

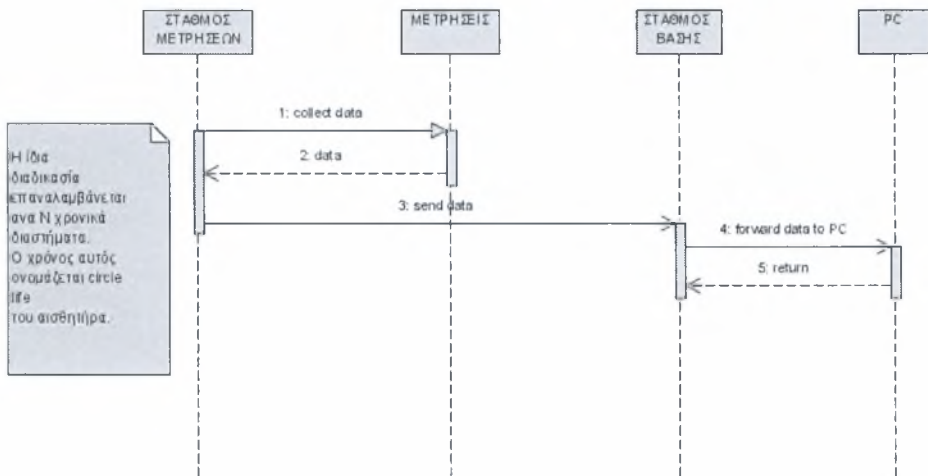
- Το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων
- Το σύστημα καταγραφής των δεδομένων
- Την βάση δεδομένων
- Τον εξυπηρετητή ιστού
- Την διαδικτυακή διεπαφή

Λεπτομερή περιγραφή των επιμέρους συστατικών του συστήματός μας γίνεται στις επόμενες ενότητες.

6.2 Περιγραφή των επιμέρους μερών.

6.2.1 Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων

Το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων αποτελεί ουσιαστικά το βασικό μέρος του συστήματος, αφού είναι υπεύθυνο για την συλλογή των μετρήσεων από το περιβάλλον. Η διαδικασία λήψης των δεδομένων από το δίκτυο αισθητήρων ακολουθεί την ακολουθία που περιγράφεται στο παρακάτω διάγραμμα ακολουθίας λήψης των μετρήσεων:



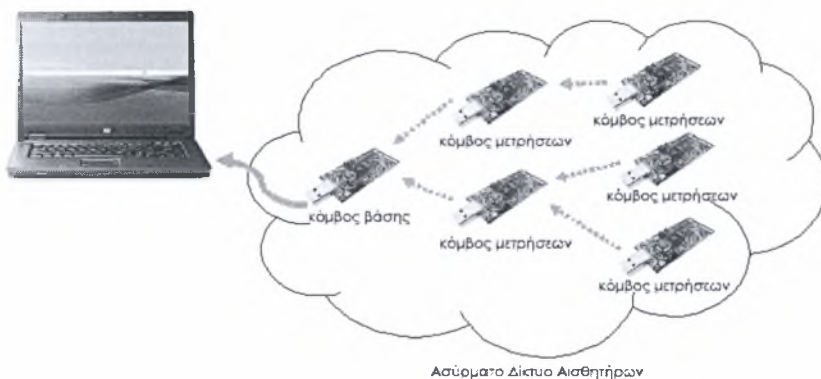
Σχήμα 19: Διάγραμμα ακολουθίας – Λήψη Μετρήσεων

Από το διάγραμμα ακολουθίας γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η διαδικασία συλλογής των μετρήσεων αποτελείται από δύο στάδια,

1. την λήψη των μετρήσεων και
2. την αποστολή-προώθηση τους στο σύστημα καταγραφής.

Τα δύο αυτά στάδια αντιστοιχούν σε δύο διαφορετικά μέρη του ασύρματου δικτύου αισθητήρων. Τα μέρη αυτά είναι:

1. Οι σταθμοί μετρήσεων
2. Ο σταθμός βάσης



Σχήμα 20: Ο κόμβος βάσης και οι κόμβοι μετρήσεων ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων.

6.2.1.1 Σταθμοί Μετρήσεων

Οι σταθμοί μετρήσεων είναι αισθητήρες, οι οποίοι αναλαμβάνουν να εκτελέσουν τις μετρήσεις. Βρίσκονται διασκορπισμένοι στον, προς μέτρηση, περιβάλλοντα χώρο. Συνήθως δεν έχουν κάποια συνεχόμενη παροχή ενέργειας, αλλά χρησιμοποιούν κάποια ανεξάρτητη πηγή, όπως για παράδειγμα μια μπαταρία. Αυτό τους επιτρέπει την μετακίνηση τους μέσα στον χώρο, με αποτέλεσμα ο ίδιος αισθητήρας να μπορεί να εκτελεί μετρήσεις από διαφορετικά σημεία του χώρου. Ακόμα έχουν την δυνατότητα να χρησιμοποιούν διάφορα αισθητήρια όργανα^[ινότητα 4.3] τα οποία δίνουν την δυνατότητα μέτρησης ειδικών χαρακτηριστικών του περιβάλλοντος.

6.2.1.2 Σταθμός Βάσης

Συχνά πρόκειται για έναν αισθητήρα ειδικού τύπου. Αρμοδιότητα του είναι η λήψη των δεδομένων από τους σταθμούς μετρήσεων και η προώθησή τους στο σύστημα καταγραφής. Αποτελεί δηλαδή ένα κομβικό σημείο του ασύρματου δικτύου αισθητήρων. Συνήθως χρησιμοποιείτε ένας αισθητήρας μεγάλης αντοχής, ο οποίος έχει συνεχή τροφοδοσία ενέργειας και κεραία μεγαλύτερης εμβέλειας από αυτή των απλών αισθητήρων. Έτσι ώστε να είναι δυνατή η συνεχής και αποτελεσματική λειτουργία του, αλλά και η συνεχής δυνατότητα επικοινωνίας με τους σταθμούς βάσης. Τέλος πρέπει να σημειώσουμε ότι διαθέτει μια σύνδεση με το σύστημα καταγραφής, μέσω μιας USB ή σειριακής θύρας. Η σύνδεση αυτή εξασφαλίζει την προώθηση των δεδομένων.

6.2.2 Σημείο καταγραφής των δεδομένων

Το συγκεκριμένο σημείο του συστήματος αποτελείται από έναν υπολογιστή και μια εφαρμογή η οποία εκτελείται σε αυτόν.

Ο υπολογιστής διαθέτει απευθείας σύνδεση με τον σταθμό βάσης του ασύρματου δικτύου αισθητήρων, καθώς και με την βάση δεδομένων.

Η εφαρμογή αναλαμβάνει:

1. Να λάβει τα δεδομένα από τον σταθμό βάσης
2. Να λάβει τις οδηγίες από τον χρήστη-διαχειριστή σχετικά με την επεξεργασία των δεδομένων
3. Να τα επεξεργαστεί
4. Να προωθήσει τα δεδομένα στην βάση δεδομένων, σύμφωνα με τις παραπάνω οδηγίες του χρήστη.
5. Να τα εμφανίσει στην οθόνη του υπολογιστή. (τοπικά)

6.2.3 Η βάση δεδομένων

Ένα ακόμα σημαντικό στοιχείο του συστήματος είναι η βάση δεδομένων.

Μερικές από τις σημαντικότερες λειτουργίες τις οποίες αναλαμβάνει είναι:

1. Να λάβει τα δεδομένα από την εφαρμογή
2. Να αποθηκεύσει τα δεδομένα
3. Να τα ανακτήσει η διαδικτυακή διεπαφή, με την χρήση των κατάλληλων ερωτημάτων προς την βάση.

6.2.4 Ο εξυπηρετητής ιστού (web server)

Το συγκεκριμένο μέρος του συστήματος αποτελείται από έναν υπολογιστή. Ο υπολογιστής αυτός αποτελεί ουσιαστικά τον ενδιάμεσο κρίκο για την σύνδεση του συστήματος με το διαδίκτυο.

Αναλαμβάνει δηλαδή :

1. Να εμφανίσει, μέσω του διαδικτύου, την κατάλληλη διεπαφή του συστήματος στον χρήστη-παρατηρητή.
2. Να λάβει τις αιτήσεις-ερωτήματα, τις οποίες θέτει ο χρήστης- παρατηρητής, για την αναζήτηση δεδομένων.
3. Να προωθήσει αυτά τα ερωτήματα στην βάση δεδομένων.
4. Να λάβει τα δεδομένα, που στέλνει ως απάντηση η βάση δεδομένων.
5. Να τα απεικονίσει στον χρήστη-παρατηρητή μέσω της κατάλληλης διεπαφής.

Για την επίτευξη των παραπάνω ενεργειών, ο υπολογιστής θα πρέπει, διαρκώς, να εκτελεί μια ειδική εφαρμογή, την εφαρμογή εξυπηρετητή. Η εφαρμογή αυτή θα περιέχει το διαδικτυακό περιβάλλον το οποίο θα εμφανίζει σε μορφή ιστοσελίδας στον χρήστη-παρατηρητή.

6.2.5 Η διαδικτυακή διεπαφή

Η διαδικτυακή διεπαφή αποτελεί την «εικόνα» του συστήματος προς τον υπόλοιπο κόσμο. Είναι δηλαδή το σημείο από το οποίο μπορεί ο οποιοσδήποτε να έχει πρόσβαση στα δεδομένα του συστήματος, μέσω του διαδικτύου. Ο κάθε χρήστης, που αποκτάει πρόσβαση στα δεδομένα του συστήματος μέσω της διεπαφής, παίζει τον ρόλο και έχει τις αρμοδιότητες ενός χρήστη-παρατηρητή.

Η διεπαφή είναι μια δυναμική ιστοσελίδα η οποία περιέχει διάφορες φόρμες ερωτήσεων. Αυτές οι φόρμες έχουν σαν σκοπό να λάβουν από τον χρήστη-παρατηρητή τις ιδιότητες των δεδομένων που επιθυμούν, να τις προωθήσουν στον εξυπηρετητή, και τέλος να απεικονίσουν τα επιθυμητά δεδομένα στον χρήστη, με την μορφή γραφημάτων και πινάκων.

7

Υλοποίηση του συστήματος

Όπως είδαμε στην προηγούμενη ενότητα, το σύστημα μας αποτελείται από πέντε διαφορετικά μέρη. Το κάθε ένα από αυτά έχει ξεχωριστές αρμοδιότητες και λειτουργίες. Για να μπορέσουμε να επιτύχουμε την μέγιστη δυνατή συνεργασία ανάμεσα στις λειτουργίες διαφορετικών μερών του συστήματος, πρέπει να γνωρίζουμε με ακρίβεια πληροφορίες σχετικές με τον τρόπο υλοποίησης τους. Μερικές από τις πληροφορίες αυτές θα περιγράψουμε στις παρακάτω ενότητες.

7.1 Προγραμματισμός ασύρματου δικτύου αισθητήρων

Για την κατασκευή του ασύρματου δικτύου αισθητήρων χρησιμοποιήσαμε τους αισθητήρες tmote Sky. Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες υποστηρίζουν το Boomerang ως λειτουργικό σύστημα, και την nesC ως γλώσσα προγραμματισμού τους.

7.1.1 Εγκατάσταση του Boomerang.

Για να προγραμματίσουμε τα Tmote Sky αρχικά θα πρέπει να γίνει εγκατάσταση του Boomerang στο σύστημα μας. Το αρχείο εγκατάστασης διατίθεται δωρεάν μέσω του Internet από την διεύθυνση URL: <http://www.moteiv.com>. Το συγκεκριμένο εκτελέσιμο αρχείο αναλαμβάνει να κάνει την εγκατάσταση όλων των αναγκαίων εργαλείων στο σύστημά μας ώστε να λειτουργήσει αποτελεσματικά το Boomerang.

Τα σημαντικότερα από αυτά τα εργαλεία είναι:

- **Cygwin**: είναι ένα περιβάλλον παρεμφερές με το Linux το οποίο όμως λειτουργεί στα Windows. Παρέχει το βασικό περιβάλλον ανάπτυξης για το TinyOS και τα Tmote.
- **Java**: χρησιμοποιείται για την υποστήριξη των εργαλείων τα οποία αναλαμβάνουν την επικοινωνία ανάμεσα σε ένα mote και στο PC.
- **JavaComm**: είναι ένα επιπλέον πακέτο βιβλιοθηκών της Java το οποίο παρέχει πρόσβαση στις serial ports. Είναι απαραίτητο για εργαλεία όπως είναι το SerialForwarder.
- **FTDI VirtualComm USB Drivers**: παρέχει τους driver που είναι απαραίτητοι για την επικοινωνία των USB-to-RS232 chips των Windows, σαν μια κλασική COM θύρα.
- **TinyOS**: παρέχει όλες τις βιβλιοθήκες και τα εργαλεία του TinyOS, τα οποία αποτελούν την βάση πάνω στην οποία θα υλοποιηθούν οι εφαρμογές.

- **nesC**: παρέχει τον compiler της γλώσσας προγραμματισμού η οποία είναι απαραίτητη για τη λειτουργία του TinyOS, αλλά και για την υλοποίηση των εφαρμογών.
- **Moteiv scripts**: παρέχει scripts και διάφορες εφαρμογές οι οποίες βοηθούν τα παραπάνω συστήματα να συνεργαστούν αποδοτικότερα με τις Tmote συσκευές. Για παράδειγμα το motelist είναι μια εντολή κονσόλας η οποία εμφανίζει όλες τις σειριακές θύρες οι οποίες έχουν επικοινωνία με μια Tmote συσκευή.

Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία της εγκατάστασης των απαραίτητων εργαλείων και βιβλιοθηκών, είμαστε έτοιμοι να προχωρήσουμε στον προγραμματισμό των Tmote Sky.

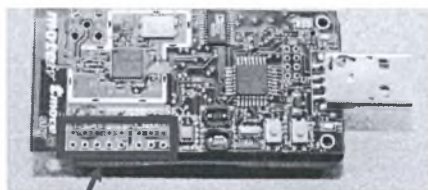
7.1.2 Υλοποίηση της εφαρμογής των αισθητήρων Tmote Sky

Αρχικά για τον προγραμματισμό των αισθητήρων χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή Oscilloscope. Τρέχοντας την εφαρμογή, οι αισθητήρες έκαναν τις μετρήσεις και έστελναν τα δεδομένα απευθείας στον σταθμό βάσης του δικτύου. Η συγκεκριμένη εφαρμογή είχε την επιθυμητή λειτουργικότητα, αλλά παρουσίαζε τα εξής προβλήματα:

- Μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν μόνο τα αισθητήρια όργανα του αισθητήρα tmote Sky.
- Η αποστολή των δεδομένων γινόταν μόνο απευθείας στον σταθμό βάσης. Δεν υπήρχε η δυνατότητα δηλαδή να γίνει κάποιο είδος δρομολόγησης των δεδομένων ανάμεσα στους κόμβους του δικτύου. Αυτό περιορίζει το μέγεθος του δικτύου καθώς όλοι οι κόμβοι μέτρησης πρέπει να βρίσκονται εντός της ακτίνας επικοινωνίας του κόμβου βάσης, ώστε να μπορούν να στέλνουν τα δεδομένα σε αυτόν.
- Οι αισθητήρες βρίσκονταν συνεχώς σε «ενεργή» κατάσταση. Βρίσκονταν δηλαδή σε πλήρη λειτουργία ακόμα και τις στιγμές όπου δεν εκτελούσαν κάποια λειτουργία. Αυτό προκαλούσε την άσκοπη σπατάλη ενέργειας από τους αισθητήρες, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η αδιάκοπη λειτουργία του δικτύου για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Τα παραπάνω προβλήματα αποτελούσαν σημαντικό εμπόδιο στην αποτελεσματική λειτουργία του ασύρματου δικτύου αισθητήρων και κατά συνέπεια του συστήματος ολόκληρου. Για αυτό τον λόγο επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε την εφαρμογή Oscilloscope ως βάση για τον προγραμματισμό των αισθητήρων, κάνοντας όμως τις παρακάτω παρεμβάσεις-αλλαγές:

- Προσθέσαμε την δυνατότητα την εφαρμογή να εκτελεί μετρήσεις μέσω εξωτερικών αισθητήριων οργάνων. Η σύνδεση των επιπλέον οργάνων με τον αισθητήρα tmote Sky έγινε χρησιμοποιώντας τις ειδικές διεπαφές επέκτασης που έχει ο αισθητήρας.



Αιεπαφές Επέκτασης

Σχήμα 21: Οι διεπαφές επέκτασης του αισθητήρα tmote Sky.

- Η χρησιμοποίηση του πρωτόκολλου δρομολόγησης Sensornet Protocol (SP)^[17]. Πρόκειται για ένα πρωτόκολλο ειδικά σχεδιασμένο για ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Αναλαμβάνει να κάνει την δρομολόγηση των δεδομένων ανάμεσα στους κόμβους του δικτύου, λαμβάνοντας όμως σοβαρά υπόψη τα ενέργεια και τις ιδιαιτερότητες που έχει ο κάθε κόμβος ξεχωριστά.
- Βελτιώσαμε τον τρόπο λειτουργίας και διαχείρισης της ενέργειας του αισθητήρα. Χωρίσαμε την χρονική διάρκεια λειτουργίας του σε 2 φάσης, την ενεργή και μη-ενεργή.
 - **Στην ενεργή φάση** ο αισθητήρας εκτελεί όλες τις επιθυμητές λειτουργίες, όπως η εκτέλεση μετρήσεων, η αποστολή δεδομένων κλπ.
 - **Στην μη-ενεργή φάση** ο αισθητήρας δεν εκτελεί σχεδόν καμία λειτουργία, με αποτέλεσμα η ενέργεια που σπαταλάτε από τον αισθητήρα να είναι ελάχιστη.

Η εναλλαγή ανάμεσα στο δύο φάσεις γίνεται περιοδικά.

Ο διαχωρισμός αυτών των δύο φάσεων στον τρόπο λειτουργίας του αισθητήρα έχει σαν αποτέλεσμα την κατακόρυφη αύξηση της διάρκειας λειτουργίας του.

7.2 Υλοποίηση της εφαρμογής και του συστήματος καταγραφής

Οι λειτουργίες του συστήματος καταγραφής χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

1. Στην επικοινωνία με τον σταθμό βάσης του δικτύου αισθητήρων.
2. Στην επικοινωνία με τον χρήστη-διαχειριστή.
3. Στην επικοινωνία με τον βάση δεδομένων.

Για την επίτευξη της λειτουργικότητας των παραπάνω κατηγοριών, χρησιμοποιήθηκαν μερικές ειδικές βιβλιοθήκες, όπως είναι:

- **JavaComm & TinyOS libraries**
Ειδικές βιβλιοθήκες, οι οποίες εξασφαλίζουν την αποδοτική επικοινωνία και μεταφορά δεδομένων ανάμεσα στον υπολογιστή και στον σταθμό βάσης, με χρήση των serial ports.

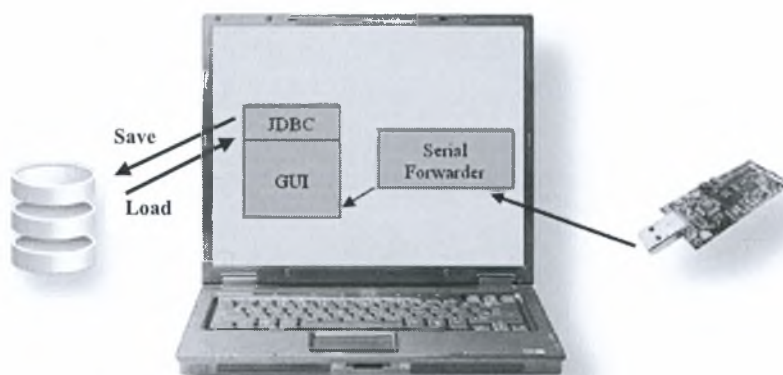
- **Βιβλιοθήκες γραφικών**

Χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της διεπαφής ανάμεσα στον χρήστη και την εφαρμογή. Η χρήση της διεπαφής αυτής εξασφαλίζει την αποδοτική επικοινωνία τους.

- **Java Database Connectivity Api (JDBC)**

Αποτελεί ένα πρότυπο για την επίτευξη σύνδεσης ανάμεσα στην γλώσσα προγραμματισμού JAVA και σε ένα μεγάλο πλήθος βάσεων δεδομένων. Είναι δηλαδή το API το οποίο ορίζει τον τρόπο με τον οποίο ο χρήστης θα έχει πρόσβαση σε μια βάση δεδομένων μέσω της JAVA εφαρμογής του. Παρέχει κατάλληλες JAVA μεθόδους για την εκτέλεση ερωτημάτων και την ανανέωση των εγγραφών που υπάρχουν αποθηκευμένες σε μια βάση δεδομένων.^[18]

Η δομή του συστήματος καταγραφής μπορεί να αναπαρασταθεί με το παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 22: Το σύστημα καταγραφής του συστήματος

Η μεταφορά των μετρήσεων από τον σταθμό βάσης στο PC γίνεται μέσω μιας JAVA εφαρμογής, του SerialForwarder, η οποία αναλαμβάνει να διαβάσει τα δεδομένα από την σειριακή θύρα και να τα προωθήσει στο GUI. Το GUI είναι ένα JAVA πρόγραμμα το οποίο υλοποιήσαμε με σκοπό να αναλάβει την επικοινωνία με τον χρήστη. Μέσω του GUI ο χρήστης έχει την δυνατότητα να επιλέξει τις ιδιότητες των μετρήσεων που επιθυμεί να εξετάσει, να παρακολουθήσει μέσω γραφικής διεπαφής τις μετρήσεις αυτές, και να αποφασίσει αν θα γίνει αποθήκευση αυτών στην βάση δεδομένων. Στην περίπτωση που ο χρήστης αποφασίσει την αποθήκευσή τους στη βάση δεδομένων ή την φόρτωση αυτών από την βάση δεδομένων στην γραφική διεπαφή, το GUI αναθέτει την επικοινωνία αυτού με την βάση δεδομένων στο JDBC. Το JDBC είναι η εφαρμογή η οποία αναλαμβάνει να εκτελέσει τις ενέργειες που είναι απαραίτητες για την αποθήκευση, ανάκτηση, και μεταφορά των μετρήσεων από και προς τη βάση δεδομένων.

7.3 Υλοποίηση της βάσης δεδομένων

Το σύστημα βάσης δεδομένων, το οποίο χρησιμοποιήσαμε στην υλοποίηση της εφαρμογής μας είναι η MySQL^[19]. Είναι ένα πολυνηματικό, σύστημα βάσης δεδομένων (DBMS) με την δυνατότητα εξυπηρέτησης πολλών χρηστών ταυτόχρονα. Εξαιτίας της σταθερά υψηλής απόδοσης, υψηλής αξιοπιστίας και εύκολης χρήσης του, αποτελεί την δημοφιλέστερη «ανοικτού κώδικα» βάση δεδομένων στον κόσμο. Έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί σε περισσότερες από 20 πλατφόρμες λογισμικού, όπως: Linux, Windows, OS/X, HP-UX, AIX, Netware, δίνοντας έτσι ένα είδος ευχρηστίας στον χρήστη ο οποίος χρησιμοποιεί τις συγκεκριμένες πλατφόρμες λογισμικού.

7.4 Περιγραφή του εξυπηρετητή ιστού

Όπως περιγράψαμε σε προηγούμενη ενότητα, στο συγκεκριμένο κομμάτι του συστήματος σημαντικό ρόλο παίζει η εφαρμογή εξυπηρετητή ιστού (web server). Στην θέση αυτή της εφαρμογής χρησιμοποιήσαμε τον *Apache HTTP* εξυπηρετητή. Πρόκειται για έναν από τους δημοφιλέστερους εξυπηρετητές παγκοσμίως. Έχει την δυνατότητα λειτουργίας σε διάφορες πλατφόρμες, όπως: Windows, Linux, Unix, Mac OS X. Διατηρείται σε μια κοινότητα ανοικτού κώδικα με επιτήρηση από το Ίδρυμα Λογισμικού Apache (Apache Software Foundation).^[20]

7.5 Υλοποίηση της διαδικτυακής διεπαφής

Παρατηρώντας τις λειτουργίες της διεπαφής διαπιστώνουμε ότι μπορούμε να τις διαχωρίσουμε στις δύο παρακάτω κατηγορίες:

1. Φόρμες ερωτήσεων για την λήψη πληροφοριών από τον χρήστη.
2. Παρουσίαση των μετρήσεων σε μορφή γραφήματος ή πίνακα.

Για την υλοποίηση κάθε μιας από τις παραπάνω λειτουργίες αλλά και την γενικότερη μορφοποίηση της διεπαφής, απαιτείται η χρησιμοποίηση διάφορων ειδικών βιβλιοθηκών.

Οι πιο σημαντικές είναι:

- Για τις φόρμες ερωτήσεων:
Χρησιμοποιήθηκαν βιβλιοθήκες και γλώσσες προγραμματισμού, όπως :
 - **PHP**^[21]
 - **HTML**^[22]
 - **javascript**^[23]
 - **CSS**^[24].
- Για την παρουσίαση των μετρήσεων:

Χρησιμοποιήθηκαν βιβλιοθήκες όπως:

- **PHP** ^[21]
- **JpGraph PHP graph library** ^[25],
για την δημιουργία των γραφημάτων
- **JD graph library** ^[26]
- **Mysql modules**, για την ανάκτηση των δεδομένων από την βάση.

8

Περίπτωση χρήσης του συστήματος

Στην συγκεκριμένη ενότητα θα περιγράψουμε την εφαρμογή του συστήματος μας για την διαχείριση ενός θερμοκηπίου.

8.1 Περιγραφή του θερμοκηπίου

Το θερμοκήπιο που χρησιμοποιήθηκε βρίσκεται στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στην περιοχή του Βελεστίνου. Πρόκειται για ένα από τα θερμοκήπια του εργαστηρίου Lacc (Laboratory of Agricultural Construction and Environmental Control) του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Οι διαστάσεις του είναι: 240 μέτρα μήκος & 100 μέτρα πλάτος.



Σχήμα 23: Το θερμοκήπιο, όπου έγινε η δοκιμή.

8.2 Περιγραφή των αισθητήρων

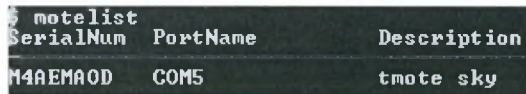
Για την παρατήρηση των συνθηκών στο εσωτερικό του θερμοκηπίου χρησιμοποιήσαμε 6 αισθητήρες τύπου tmote Sky. Προγραμματίσαμε τους συγκεκριμένους αισθητήρες να συλλέγουν πληροφορίες σχετικά με την θερμοκρασία, την υγρασία του αέρα και τις ηλιακές ακτινοβολίες TSR και PAR κάθε 15 λεπτά.

Ακόμα χρησιμοποιήσαμε ένα αισθητήριο όργανο τύπου EC-5 της εταιρείας DECAGON, προκειμένου να συλλέγουμε πληροφορίες σχετικές με την υγρασία του εδάφους του θερμοκηπίου. Το συγκεκριμένο αισθητήριο όργανο το προσαρμόσαμε σε έναν από τους αισθητήρες tmote Sky.

8.2.1 Προετοιμασία αισθητήρων

Το Cygwin^[11] είναι το εργαλείο που χρησιμοποιείτε για να γίνει το `compile` και ο προγραμματισμός των Tmote. Αρχικά ανοίγουμε το κεντρικό shell του Cygwin. Αυτό ανοίγει στον φάκελο `/opt/moteiv`. Πηγαίνουμε στον φάκελο στον οποίο υπάρχει η εφαρμογή η οποία θέλουμε να κάνουμε `compile`. Στον φάκελο αυτό θα υπάρχουν τα απαραίτητα nesC αρχεία της εφαρμογής. Τα αρχεία αυτά τα κάνουμε `compile` εκτελώντας την εντολή `make tmote`. Μέσω αυτής της εντολής δίνουμε εντολή στο μεταφραστή, η εκτελέσιμη εφαρμογή που θα δημιουργηθεί να είναι συμβατή με τις συσκευές tmote.

Για την φόρτωση της εφαρμογής μας στους αισθητήρες, συνδέουμε μέσω USB τον κόμβο στον υπολογιστή και εκτελώντας την εντολή `motelist` βλέπουμε σε ποιο COM είναι συνδεδεμένο. Στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι στη θύρα COM5.



SerialNum	PortName	Description
M4AEMA0D	COM5	tmote sky

Στη συνέχεια οδηγούμαστε μέσω του Cygwin στον φάκελο με την εφαρμογή και εκτελώντας την εντολή

```
make tmote install, #.
```

κάνουμε `compile` την εφαρμογή και την εγκαθιστούμε στον κόμβο.

Η συγκεκριμένη εντολή θέτει και ένα διαφορετικό `id` σε κάθε κόμβο. Το συγκεκριμένο `id`, ονομάζεται `node_id` και είναι αυτό που θα μας βοηθήσει να ξεχωρίζουμε τους κόμβους μεταξύ τους, αλλά και να καθορίζουμε από ποιόν κόμβο προέρχονται κάθε φορά οι μετρήσεις που λαμβάνουμε. Η τιμή του `id` ορίζεται από εμάς κάθε φορά, και είναι η τιμή η οποία θα τοποθετηθεί στην παράμετρο (`#`) της παραπάνω εντολής.

```

jeantacet@9151e957db /opt/moteiv/apps/IOSBase
$ make tmote install
mkdir -p build/tmote
compiling IOSBase to a tmote binary
gcc -o build/tmote/main.exe -O -Wall -Wshadow -DDEF_TOS_AM_GROUP=0x7d -Hmc:all
-ctmote -tmote -Inetc -cfile build/tmote/app.c -board- DTOSH_MAN_TARNS_10028 -B
TOSH_DATA_LENGTH-TOSH_MAN_DATA_LENGTH -I/opt/moteiv/tos/platform/tmote -I/opt/m
oteiv/tos/platform/tmote/util/uartdetect -I/opt/moteiv/tos/platform/mcp4300adc -I
/opt/moteiv/tos/platform/mcp4300adc -I/opt/moteiv/tos/platform/mcp4300adc -I/opt
/moteiv/tos/platform/mcp4300resource -I/opt/moteiv/tos/platform/mcp4300time -I
/opt/moteiv/tos/platform/mcp4300 -I/opt/moteiv/tos/lib/util/pool -I/opt/moteiv/tos
/lib/util/button -I/opt/moteiv/tos/lib/util/null1 -I/opt/moteiv/tos/lib/util/12c
-1/opt/moteiv/tos/lib/timer -I/opt/moteiv/tos/lib/resource -I/opt/moteiv/tos/lib/sch
ed -I/opt/moteiv/tos/lib/Deluge -I/opt/moteiv/tos/lib/Flash/STM25P -I/opt/moteiv
/tos/lib/Flash -I/opt/moteiv/tos/lib/Spran -I/opt/moteiv/tos/interfac -I/opt/m
oteiv/tos/lib/CC2420Radio -I/opt/moteiv/tos/system -I/opt/moteiv/ingos-1.x/tos/
lib/CC2420Radio -I/opt/moteiv/inger-1.x/tos/lib/Drin -Inetc-scheduler-1InySched
ulerC-1InySchedulerC-TaskBasic-TaskBasic-TaskBasic-runTask-postTask-UI--sectio
n-start-text-0x4800--defsym-reset_vector--0x4000-DLIB_DELUGE-DELUGE_NUM-1
mMCS-6--mdrwrite-humid-127lib-Deluge-UI--action-start-text-0x4800--defsym
-reset_vector--0x4000-DIDENT_PROGRAM_NAME-"IOSBase"-DIDENT_USER_ID--"jean
"-DIDENT_HOSTNAME-"acer-9151e957db"-DIDENT_USER_HASH-0x2d15c827L-DIDENT_UN
DER_TIME-0x46f7f204L-DIDENT_UID_HASH-0x61d6f241L IOSBase.nc -In
/opt/moteiv/tos/lib/CC2420Radio/RadioCRC/checker.nc:149:2: warning: Warning Using
old communication interfaces; recommend switch to SP
/opt/moteiv/tos/lib/CC2420Radio/TranslateBaseSendMsgC.nc:29:2: warning: Warning
Using old communication interfaces; recommend switch to SP
compiled IOSBase to build/tmote/main.exe
14148 bytes in ROM
3893 bytes in RAM
mcp4300 objcopy -output-target-ihex build/tmote/main.exe build/tmote/main.ihex
writing IOS image
cp build/tmote/main.ihex build/tmote/main.ihex.out
installing tmote bootloader with application using hal
tmote-hal -c auto -e -p C:/cygwin/opt/moteiv/tos/lib/Deluge/IOSBoot/build/tmote
/main.ihex -p build/tmote/main.ihex.out -p -t:lash
writing M4RENAOD on port COM5.
Flash erase.
Program image C:/cygwin/opt/moteiv/tos/lib/Deluge/IOSBoot/build/tmote/main.ihex.
1774 bytes.
Invoking BSL.
BSL version 1.61, MCU device id f16c.
Changing to 38400 baud.
Program.
Programmed 1774 bytes.
Program image build/tmote/main.ihex.out. 14148 bytes.
Programmed 14188 bytes.
Reset
rm -f build/tmote/main.exe.out build/tmote/main.ihex.out

```

Σχήμα 24: Η εντολή `make tmote install,#`

Τα `node_id` που χρησιμοποιούνται συνήθως για του αισθητήρες είναι:

- 0 , για τον σταθμό βάσης
- < 0 , για τους σταθμούς μετρήσεων

8.2.2 Τοποθέτηση των αισθητήρων

Η τοποθέτηση των αισθητήρων στον χώρο του θερμοκηπίου έγινε σύμφωνα με τις οδηγίες των υπεύθυνων γεωπόνων και με βάση τις διακυμάνσεις των τιμών της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.



Σχήμα 25: Τοπολογία των αισθητήρων στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

Στο σχήμα *Σχήμα 18* απεικονίζεται ο θέσεις των αισθητήρων στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Κάθε αισθητήρας έχει ένα μοναδικό `nodeId`. Παρατηρώντας το σχήμα βλέπουμε ότι ο αισθητήρας με `nodeId = 0` βρίσκεται εκτός του θερμοκηπίου. Πρόκειται για τον σταθμό βάση του ασύρματου δικτύου. Πρόκειται δηλαδή για τον κόμβο ο οποίος αναλαμβάνει να λάβει τα δεδομένα από τους σταθμούς μετρήσεων (υπόλοιποι κόμβοι) και να τα προωθήσει στο PC που βρίσκεται ακριβώς δίπλα του, όπως φαίνεται και στο σχήμα. Το συγκεκριμένο PC αποτελεί το σημείο καταγραφής του συστήματος μας.

8.3 Περιγραφή του σημείου καταγραφής

8.3.1 Μετασχηματισμοί των δεδομένων

Αρχικά οι μετρήσεις που λαμβάνουμε από τους είναι αισθητήρες είναι σε μη-σταθμισμένη μορφή. Για να μπορέσουμε να παρουσιάσουμε τις κανονικοποιημένες τιμές των μετρήσεων στον χρήστη, θα πρέπει να γίνουν διάφορες μαθηματικές μετατροπές σε αυτές. Οι συναρτήσεις που εκτελούν αυτές τις μαθηματικές μετατροπές βρίσκονται υλοποιημένες στο προγράμματος GUI.

Για να μετατρέψουμε την μέτρηση του αισθητήρα της εσωτερικής τάσης στο αντίστοιχο αριθμό που δείχνει τάση εφαρμόζουμε την παρακάτω εξίσωση:

$$(1) \text{value}/4096 * V_{\text{ref}}, \text{ όπου } V_{\text{ref}} = 1.5V.$$

Ομοίως με την εσωτερική τάση, η εσωτερική θερμοκρασία είναι ένα μη καλιμπραρισμένο μέγεθος. Η παρακάτω εξίσωση μετατρέπει το μέγεθος αυτό σε βαθμούς Κελσίου:

$$T = (V_{\text{temp}} - 0.986) / 0.00355.$$

Όσον αφορά την ενεργή φωτοσυνθετική (PAR) και την ολική ηλιακή ακτινοβολία (TSR), παίρνουμε τις μη καλιμπραρισμένες τιμές από τον 12-bit converter με $V_{\text{ref}} = 1.5V$. Οι φωτοдиодοι δημιουργούν ρεύμα μέσω μιας αντίστασης 100kOhm. Αφού υπολογίσουμε την τάση από την εξίσωση (1), την μετατρέπουμε σε ρεύμα χρησιμοποιώντας την εξίσωση $V = IR$:

$$(2) I = V_{\text{sensor}} / 100.000, \text{ όπου } V_{\text{sensor}} \text{ το αποτέλεσμα της εξίσωσης (1).}$$

Βασίζόμενοι σε γραφικές παραστάσεις που είναι διαθέσιμες στο Hamamatsu S1087 datasheet, το ρεύμα του αισθητήρα μπορεί να μετατραπεί σε Lux χρησιμοποιώντας τις παρακάτω εξισώσεις:

$$S1087 \quad lx = 0.625 * 1e6 * I * 1000$$

$$S1087-01 \quad lx = 0.769 * 1e5 * I * 1000$$

Η υγρασία και η θερμοκρασία μετρούνται από τον εξωτερικό Sensirion αισθητήρα. Η μετατροπή σε SI μονάδες γίνεται ως εξής:

Για την θερμοκρασία, η εφαρμογή Oscilloscope επιστρέφει μια 14-bit τιμή, η οποία μπορεί να μετατραπεί σε βαθμούς Κελσίου με την εξίσωση:

$$(3) \text{ temperature} = -39.60 + 0.01 * \text{Sot} , \text{ όπου Sot είναι η τιμή του αισθητήρα.}$$

Για την υγρασία η 12-bit τιμή που δίνει ο αισθητήρας δεν είναι αντισταθμισμένη σε σχέση με την θερμοκρασία. Η τιμή της δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

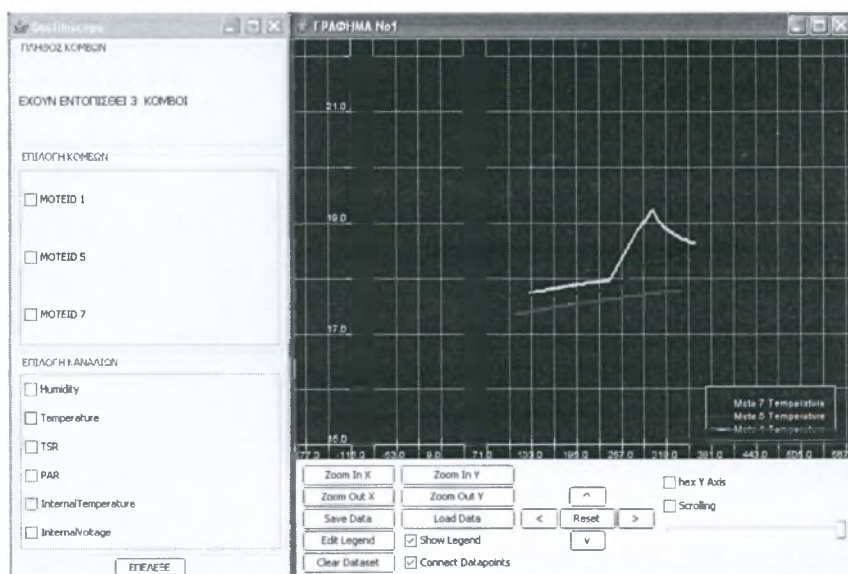
$$(4) \text{ humidity} = -4 + 0.0405 * \text{Sorh} + (-2.8 * 10^{-6}) * (\text{Sorh}^2) , \text{ όπου Sorh η τιμή που δίνει ο αισθητήρας.}$$

Λαμβάνοντας υπόψιν μας και την θερμοκρασία μπορούμε να διορθώσουμε την τιμή της υγρασίας ως εξής:

$$(5) \text{ humidity_true} = (\text{Tc} - 25) * (0.01 + 0.00008 * \text{SORh}) + \text{humidity} , \text{ όπου Tc η θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου όπως μετρήθηκε στην εξίσωση (3) και humidity η που προκύπτει από την εξίσωση (4).}$$

8.3.2 Παράθυρο-διεπαφής του σημείου καταγραφής

Στο σημείο καταγραφής βρίσκεται ο χρήστης-διαχειριστής, ο οποίος αρχικά καλείται να επιλέξει ποιους κόμβους και ποιες μετρήσεις αυτών επιθυμεί να απεικονίσει τοπικά. Αυτή η διαδικασία γίνεται μέσω του ακόλουθου παράθυρου-διεπαφής.



Σχήμα 26: Παράθυρο επικοινωνίας του χρήστη με το σημείο καταγραφής.

Από το συγκεκριμένο παράθυρο ο χρήστης έχει την δυνατότητα να αποφασίσει την αποθήκευση των δεδομένων στην βάση δεδομένων του συστήματος.

8.4 Περιγραφή της βάσης δεδομένων

Τα δεδομένα αποθηκεύονται σε έναν πίνακα στην βάση δεδομένων. Το “σχήμα” στο οποίο γίνεται η αποθήκευση στη βάση έχει την παρακάτω μορφή:

result_time	node_id	packet_id	temperature	TSR	PAR	humidity	moisture	int_voltage	Int_temper
-------------	---------	-----------	-------------	-----	-----	----------	----------	-------------	------------

Σχήμα 27: Δομή της Βάσης Δεδομένων

Όπου στο πεδίο:

- **result_time** αποθηκεύεται η χρονική στιγμή, την οποία γίνεται η αποθήκευση των μετρήσεων της συγκεκριμένης εγγραφής.
- **node_id** αποθηκεύεται το id του κόμβου από τον οποίο προέρχονται οι μετρήσεις της συγκεκριμένης εγγραφής.
- **packet_id** αποθηκεύεται το id του πακέτου με το οποίο στάλθηκαν οι μετρήσεις της εγγραφής.
- **temperature** αποθηκεύεται η μέτρηση της θερμοκρασίας
- **TSR** αποθηκεύεται η μέτρηση της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας.
- **PAR** αποθηκεύεται η μέτρηση της ενεργής φωτοσυνθετικής ακτινοβολίας.
- **humidity** αποθηκεύεται η μέτρηση της υγρασίας της ατμόσφαιρας.
- **moisture** αποθηκεύεται η μέτρηση της υγρασίας εδάφους.
- **int_voltage** αποθηκεύεται η μέτρηση της εσωτερικής τάσης.
- **int_temper** αποθηκεύεται η μέτρηση της εσωτερικής θερμοκρασίας.

Σαν πρωτεύων κλειδί του “σχήματος” χρησιμοποιούμε τον συνδυασμό των πεδίων **result_time & nodeid & packetid**. Οι ιδιότητες των υπόλοιπων πεδίων φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.

Field	Type	Collation	Attributes	Null	Default
<u>result_time</u>	timestamp			No	CURRENT_TIMESTAMP
<u>nodeid</u>	int(11)			No	0
<u>packetid</u>	double			No	0
temp	double			Yes	NULL
humidity	double			Yes	NULL
tsr	double			Yes	NULL
par	double			Yes	NULL
moisture	double			Yes	0
int_voltage	double			Yes	NULL
int_temp	double			Yes	0

Σχήμα 28: Ιδιότητες των πεδίων της Βάσης Δεδομένων

8.5 Απεικόνιση των δεδομένων μέσω του διαδικτύου

Από την στιγμή όπου κάποια δεδομένα αποθηκευτούν στην βάση δεδομένων, έχουμε την δυνατότητα να τα απεικονίσουμε μέσω του διαδικτύου, με την χρήση της διαδικτυακής διεπαφής.

Η αρχική σελίδα της διεπαφής έχει την παρακάτω μορφή:



Σχήμα 29: Αρχική σελίδα της διεπαφής.

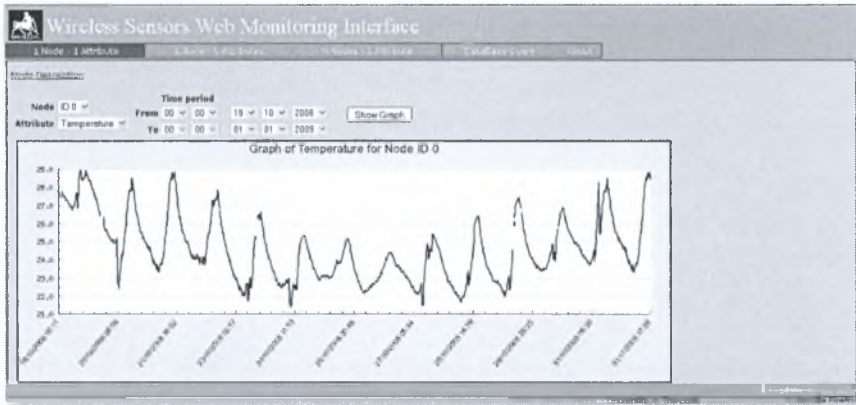
Στην αρχική σελίδα βλέπουμε να περιγράφονται διάφορα χαρακτηριστικά του συστήματος και του περιβάλλοντος εφαρμογής του. Από αυτό το σημείο ο χρήστης-παρατηρητής έχει την δυνατότητα να επιλέξει μια από τις ακόλουθες 4 «καρτέλες», οι οποίες αντιστοιχούν σε 4 διαφορετικούς τρόπους απεικόνισης των δεδομένων.

1. Ένας συγκεκριμένος κόμβος με ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό (1 Node – 1 Attribute)
2. Ένας συγκεκριμένος κόμβος με πολλά χαρακτηριστικά του (1 Node – N Attributes)
3. Πολλοί κόμβοι με ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό τους (N Nodes – 1 Attribute)
4. Εμφάνιση δεδομένων σε μορφή πίνακα με ερώτηση στην βάση δεδομένων (Database Query).

Γενικά οι επιλογές του χρήστη σε όλες τις καρτέλες αφορούν τον κόμβο, το χρονικό διάστημα για το οποίο επιθυμεί να δει δεδομένα και το χαρακτηριστικό που επιθυμεί από τα διαθέσιμα που είναι τα εξής: θερμοκρασία, ατμοσφαιρική υγρασία, ηλιακή ακτινοβολία TSR, ηλιακή ακτινοβολία PAR, υγρασία εδάφους, τάση ρεύματος ενεργειακής πηγής.

8.5.1 Καρτέλα πρώτη: ένας κόμβος - ένα χαρακτηριστικό

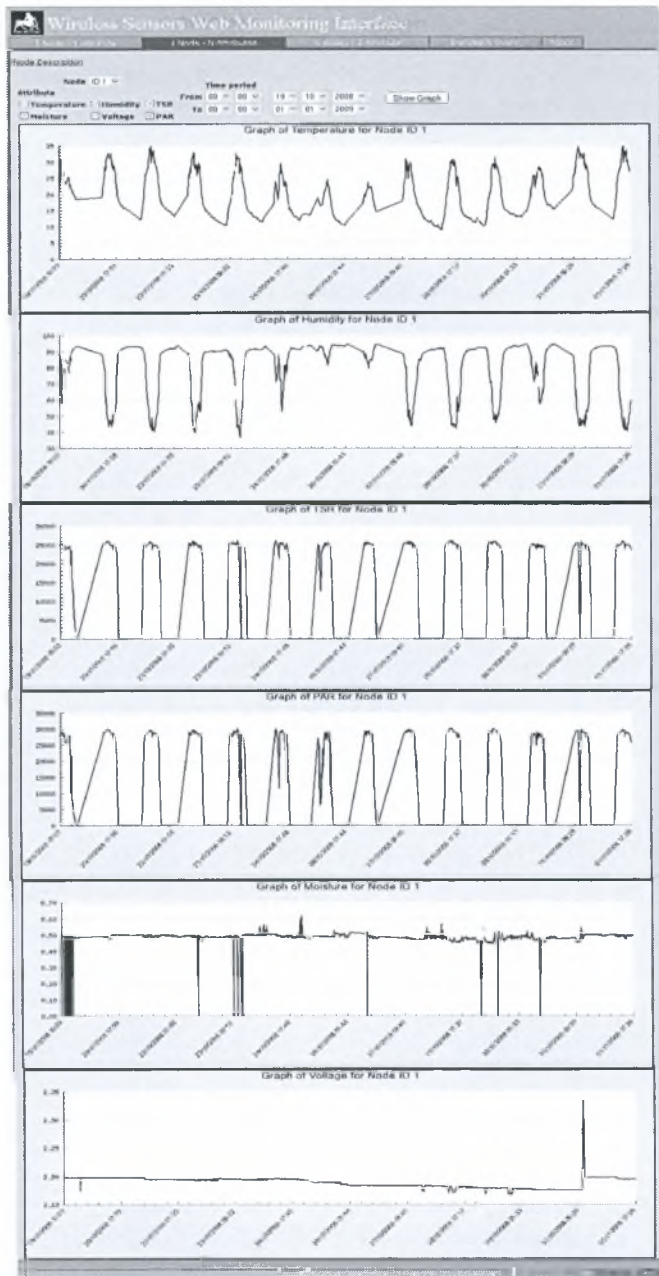
Σε αυτή τη καρτέλα, όπως φαίνεται και από την 23, ο χρήστης καλείται να επιλέξει τον κόμβο, το χαρακτηριστικό, καθώς και την χρονική περίοδο που επιθυμεί. Κατόπιν επιλέγει “Show Graph” και εμφανίζεται το γράφημα των τιμών του χαρακτηριστικού για τον συγκεκριμένο κόμβο και για το χρονικό διάστημα που έχει επιλέξει.



Σχήμα 30: Καρτέλα πρώτη: ένας κόμβος – ένα χαρακτηριστικό.

8.5.2 Καρτέλα δεύτερη: ένας κόμβος - πολλά χαρακτηριστικά

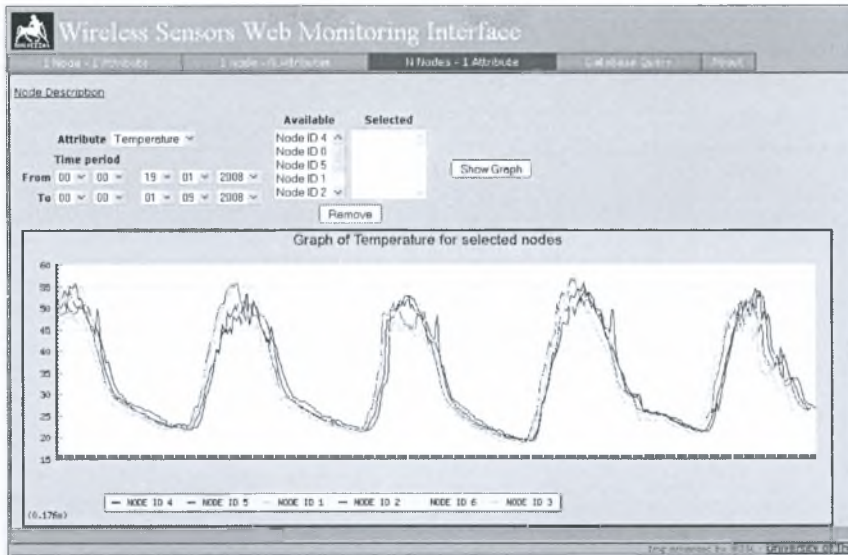
Η δεύτερη καρτέλα, όπως φαίνεται και από την 24, είναι παρόμοια οπτικά και λειτουργικά με την πρώτη καρτέλα, εκτός από το γεγονός ότι ο χρήστης μπορεί να επιλέξει περισσότερα από ένα χαρακτηριστικά ταυτόχρονα και να εμφανιστεί ξεχωριστό γράφημα για κάθε ένα από αυτό σε μια σελίδα



Σχήμα 31: Καρτέλα δεύτερη: ένας κόμβος – πολλά χαρακτηριστικά.

8.5.3 Καρτέλα τρίτη: πολλοί κόμβοι – ένα χαρακτηριστικό

Σε αυτή την καρτέλα ο χρήστης μπορεί να επιλέξει κάποιο χαρακτηριστικό και παραπάνω από έναν κόμβο αισθητήρα και να δει τις τιμές των επιλεγμένων κόμβων για το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό σε ένα γράφημα. Έτσι, μπορεί εύκολα να συγκρίνει τις τιμές από τους διάφορους κόμβους.



Σχήμα 32: Καρτέλα τρίτη: πολλοί κόμβοι – ένα χαρακτηριστικό.

8.5.4 Καρτέλα τέταρτη: εμφάνιση δεδομένων σε μορφή πίνακα

Σε αυτή την καρτέλα ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τον κόμβο, το χαρακτηριστικό, την σχέση, την τιμή, το χρονικό διάστημα καθώς και τον τρόπο που θα εμφανιστούν τα δεδομένα, να θέσει ένα ερώτημα στην βάση με τις τιμές που έχει καθορίσει και να ανακτήσει όλες τις εγγραφές που υπάρχουν στην βάση και ταιριάζουν στα κριτήρια που έχει θέσει.

Node ID	Attribute	Value (A°C)	Time
4	Temperature	47.78	2008-08-25 13:58:43
0	Temperature	36.17	2008-08-25 13:58:45
5	Temperature	51.53	2008-09-25 13:58:45
1	Temperature	46.97	2008-08-25 13:58:47
2	Temperature	49.51	2008-08-25 13:58:49
4	Temperature	47.65	2008-08-25 13:58:51
3	Temperature	51.6	2008-08-25 13:58:57
6	Temperature	49.76	2008-08-25 13:59:05
1	Temperature	46.54	2008-08-25 13:59:09
5	Temperature	51.59	2008-08-25 13:59:13
0	Temperature	36.27	2008-08-25 13:59:14
4	Temperature	48.44	2008-08-25 13:59:21
2	Temperature	49.75	2008-08-25 13:59:24

Σχήμα 33: Καρτέλα τέταρτη: εμφάνιση δεδομένων σε μορφή πίνακα.

9

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

9.1 Προοπτικές - Μελλοντικές δυνατότητες επέκτασης.

Στις προηγούμενες ενότητες περιγράψαμε ένα σύστημα διαχείρισης αγροτικών εφαρμογών με την χρήση δικτύου ασύρματων αισθητήρων. Ανεξαρτήτως του σκοπού ανάπτυξης του, το συγκεκριμένο σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιοδήποτε περιβάλλον, στο οποίο είναι δυνατή η χρήση αισθητήρων για την μέτρηση διάφορων ιδιοτήτων. Για παράδειγμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μέτρηση των συνθηκών στο εσωτερικό ενός πυρηνικού αντιδραστήρα.

Το σύστημα που περιγράφηκε, παρόλη την αποτελεσματικότητά του και τις δυνατότητές του, παρουσιάζει μεγάλα περιθώρια βελτίωσης. Μια σημαντική βελτίωση θα ήταν η προσθήκη υπηρεσίας ειδοποίησης. Η δυνατότητα δηλαδή το σύστημα να παρακολουθεί τις τιμές των μετρήσεων που κάνει και να ειδοποιεί τον χρήστη στην περίπτωση όπου κάποια από αυτές βγει εκτός των επιτρεπτών ορίων της.

9.2 Συμπεράσματα

Στο σύστημα που περιγράψαμε στην συγκεκριμένη εργασία, χρησιμοποιήσαμε τεχνολογίες ,όπως τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και οι υπηρεσίες διαδικτύου και κατασκευάσαμε ένα σύστημα το οποίο συντελεί στην αποδοτική διαχείριση μιας αγροτικής εφαρμογής. Αποτελεί δηλαδή ένα παράδειγμα της χρήσης νέων τεχνολογιών στην καθημερινή μας ζωή. Οι νέες αυτές τεχνολογίες, αν και βρίσκονται ακόμα σε αρχικό στάδιο, έχουν μεγάλες δυνατότητες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά για την ικανοποίηση διάφορων αναγκών μας.

10 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] <http://www.xbow.com>
- [2] <http://www.enthesis.net/index.php?news=645>
- [3] <http://commonsense.epfl.ch/COMMONSense/description.htm>
- [4] <http://www.dustnetworks.com>
- [5] C. Chong, S.P.Kumar “Sensor Networks: Evolution, Opportunities, and Challenges” *Proceedings of the IEEE, vol. 91, no. 8, August 2003.*
- [6] The SOSUS Project: *Available on line at* (<http://www.globalsecurity.org/intell/systems/sosus.htm>)
- [7] The COBRA BRASS Project: *Available on line at* (<http://www.globalsecurity.org/space/systems/cobrabrass.htm>)
- [8] S. Kumar and D. Shepherd, “SensIT: Sensor information technology for the warfighter,” *in Proc. 4th Int. Conf. on Information Fusion, 2001*
- [9] http://users.auth.gr/~silleos/new_page_6.htm
- [10] http://en.wikipedia.org/wiki/Precision_farming
- [11] <http://en.wikipedia.org/wiki/Smartdust>
- [12] Römer, Kay; Friedemann Mattern (December 2004). "The Design Space of Wireless Sensor Networks". *IEEE Wireless Communications*
- [13] <http://www.moteiv.com>
- [14] <http://www.tinyos.net/>
- [15] <http://www.decagon.com/>
- [16] <http://wssl.inf.uth.gr>
- [17] <http://www.polastre.com/papers/sensysOS-sp.pdf>

- [18] <http://java.sun.com/javase/technologies/database/index.jsp>
- [19] <http://www.mysql.com/>
- [20] <http://www.apache.org>
- [21] <http://www.php.net/>
- [22] <http://www.w3.org/MarkUp/>
- [23] <http://www.mozilla.org/js/>
- [24] <http://www.w3.org/Style/CSS/>
- [25] <http://www.aditus.nu/jpgraph/>
- [26] <http://www.boutell.com/gd/>
- [27] <http://www.srcosmos.gr/srcosmos/showpub.aspx?aa=10021>
- [28] <http://www.ceid.upatras.gr/courses/katanemhmena/wiki>
- [29] http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.15.4
- [30] http://en.wikipedia.org/wiki/Unified_Modeling_Language



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000091821