



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Τμήμα Γεωγραφίας

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

‘Εφαρμοσμένη Γεωγραφία και Διαχείριση του Χώρου’

Κατεύθυνση Γεωπληροφορική

**“ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ
ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΚΑΙ Η ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΟΥ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ
WEBGIS”**

Διπλωματική εργασία του **Βούτου Γεώργιου, ΑΜ: 214302**

Επιβλέπων καθηγητής: **Αναπληρωτής Καθηγητής κ Χρήστος Χαλκιάς,**

Αθήνα, Φεβρουάριος 2017

Ευχαριστίες

Η εργασία πραγματοποιήθηκε με την υποστήριξη και τη σημαντική βοήθεια του Ινστιτούτου Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών, ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος. Συγκεκριμένα εκτιμώ ιδιαίτερα την βοήθεια των κ Βαγγέλη Σπύρου και Γιώργο Σιαντίκο (Εξωτερικοί Συνεργάτες) για την βοήθεια στο σχεδιασμό και την τεχνική επάρκεια του σχεδίου.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή μου κο Χρήστο Χαλκιά για την συνεργασία και την υπομονή του κατά τη διάρκεια υλοποίησης της διπλωματικής εργασίας.

Ευχαριστώ θερμά την κα Ελένη Χάρου κυρίως για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε σε όλα τα στάδια υλοποίησης της εργασίας, στα πλαίσια της συνεργασίας μας με το Ινστιτούτο Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών, ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος.

Τέλος, θέλω να απευθύνω τις ευχαριστίες μου στους γονείς μου, οι οποίοι στήριξαν ποικιλοτρόπως την προσπάθειά μου αυτή.

Πίνακας Περιεχομένων

Πίνακας Περιεχομένων.....	3
Πίνακας Περιεχομένων.....	3
Περίληψη.....	5
Abstract.....	7
1. Εισαγωγή.....	9
1.1. Στοχαστική προσέγγιση.....	10
1.1.1. Περιβαλλοντική κρίση.....	10
1.1.2. Τεχνολογία και άνθρωπος.....	11
1.2. Παρακολούθηση του περιβάλλοντος.....	12
1.2.1. Μέθοδοι Παρακολούθησης του περιβάλλοντος.....	13
1.2.2. Γεωπληροφορική.....	14
1.2.3. Κοινωνικός - ανθρώπινος παράγοντας.....	15
1.3. Μέθοδοι και εργαλεία υλοποίησης.....	16
1.3.1. Επιστήμη των υπολογιστών (Computer Science).....	17
1.3.2. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ).....	18
1.3.2.1. Διαδικτυακά ΓΣΠ - WebGIS.....	19
1.3.3. Συμμετοχικά ΓΣΠ.....	21
1.3.4. Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης - GPS.....	23
1.3.5. Internet of Things (IoT) και GIS.....	24
2. Μεθοδολογία.....	27
2.1. Μέθοδοι παρακολούθησης του περιβάλλοντος.....	28
2.1.1. Αυτοματοποιημένη καταγραφή.....	28
2.1.2. Χωρικές μεταβλητές.....	28
2.1.3. Διαχείριση και διαμοιρασμός καταγραφών.....	29
2.1.4. Πεδίο εφαρμογής.....	30
2.1.5. Παράμετροι Παρακολούθησης του Περιβάλλοντος.....	31
2.2. Εξυπηρετητής και βάση δεδομένων.....	44
2.2.1. MQTT Broker.....	45
2.2.2. Εξυπηρετητής.....	48
2.2.3. Βάση Δεδομένων.....	49
2.2.4. Υλοποίηση.....	50
2.3. Κατασκευή πρότυπης συσκευής.....	52
2.3.1. Υλικό (Hardware).....	52

2.3.1.1. Δομικά στοιχεία	52
2.3.1.2. Arduino Yun	53
2.3.1.3. Bluetooth	56
2.3.1.4. Μέτρηση θερμοκρασίας και Σχετικής Υγρασίας	57
2.3.1.5. Μέτρηση ποιότητας της ατμόσφαιρας	58
2.3.1.6. Φωτόμετρο	60
2.3.1.7. Μετρητής θορύβου	60
2.3.2. Λογισμικό (Software).....	61
2.3.2.1. Arduino IDE	61
2.3.2.2. Υλοποίηση του σχεδίου	64
2.4. Πρότυπη Εφαρμογή Android	67
2.4.1. Android OS.....	67
2.4.2. Δομή εφαρμογής SEnSo	69
2.4.3. Σχεδιασμός και υλοποίηση	70
2.5. Πλατφόρμα WebGIS.....	75
2.5.1. Στατικοί και δυναμικοί χάρτες	75
2.5.2. Σκοπός ενός Web GIS	76
2.5.3. Χαρτογραφική απεικόνιση	77
2.5.4. Προδιαγραφές διαδικτυακής πλατφόρμας	79
2.5.5. Υλοποίηση Εφαρμογής.....	80
2.6. Σενάρια παρακολούθησης.....	87
2.6.1. Σταθερή μονάδα.....	88
2.6.2. Φορητή μονάδα.....	89
2.6.3. Λειτουργία	90
3. Συμπεράσματα και μελλοντικά σχέδια	93
3.1. Συμπεράσματα.....	93
3.1.1. Μελλοντικές επεκτάσεις	93
4. Βιβλιογραφία	97
5. Παράρτημα	100

Περίληψη

Η περιβαλλοντική κρίση αποτελεί σήμερα μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις της ανθρωπότητας και διαθέτει πλήθος συνεπειών. Ορισμένες από αυτές επηρεάζουν άμεσα τον άνθρωπο και την καθημερινότητά του. Βασική προϋπόθεση για την αντιμετώπιση τους αποτελεί η ουσιώδης αναγνώριση και καταγραφή των παραμέτρων υποβάθμισης του περιβάλλοντος. Τα τεχνολογικά επιτεύγματα των τελευταίων δύο αιώνων έχουν δημιουργήσει νέες προοπτικές αλληλεπίδρασης μεταξύ του ανθρώπου και του περιβάλλοντός που διαβιεί. Επίσης, οι σύγχρονες εξελίξεις στις τεχνολογίες υλικού και λογισμικού έχουν διαμορφώσει άρδην το τρέχον πλαίσιο εφαρμογής της επιστήμης της πληροφορικής.

Ο εμπλουτισμός της ανθρώπινης ζωής με τεχνολογικές λύσεις δύναται να λειτουργήσει ως εφελκυστήρας για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων στο περιβάλλον. Οι λύσεις αυτές προέρχονται από σύνθετες επιστημονικές διεργασίες, οι οποίες προσφέρουν αρτιότητα, επιστημονική επάρκεια και μπορούν να εφαρμοστούν ξανά και ξανά. Η αυξημένη προσβασιμότητα σε τεχνολογίες αιχμής και το αυξημένο επίπεδο δεξιοτήτων που κατέχει ο μέσος πολίτης, δημιουργούν προοπτικές συνεχούς ανάπτυξης νέων χρήσιμων μεθόδων για την προστασία και διατήρηση του περιβάλλοντος.

Η παρατήρηση του περιβάλλοντος (environmental monitoring) διακρίνεται στην περιγραφή των αναγκαίων διαδικασιών και των δράσεων για την αποτίμηση της ποιότητάς του. Το πεδίο εφαρμογής της περιβαλλοντικής παρατήρησης τοποθετείται στα βιοτικά και αβιοτικά στοιχεία των ατμοσφαιρικών στρωμάτων του πλανήτη και παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για την ανίχνευση πιθανών προτύπων αλλαγής των φυσικών διεργασιών, οι οποίες μπορούν να χαρακτηριστούν ως φυσικές, χημικές ή βιολογικές. Η δειγματοληψία παραμέτρων που χαρακτηρίζουν τις φυσικές διεργασίες παράγει δεδομένα για την κατανόηση της κατάστασης και σύνθεσης του περιβάλλοντος.

Με τον όρο Γεωματική (Geomatics) ορίζεται μία συστηματική, διεπιστημονική και ολοκληρωμένη προσέγγιση με σκοπό την επιλογή κατάλληλων τεχνικών για την διαλογή, αποθήκευση, ενσωμάτωση, μοντελοποίηση, ανάλυση, ανάκτηση, μετασχηματισμό, προβολή και διανομή δεδομένων με χωρική αναφορά από διάφορες πηγές. Μέσω της γεωματικής κάθε στοιχείο/ χαρακτηριστικό στον πλανήτη γεωαναφέρεται και χρησιμοποιείται ως γεωγραφική οντότητα. Η παρούσα μελέτη αξιοποιεί ορισμένες, αλλά αρκετά σημαντικές, από τις μεθόδους που απαρτίζουν τη γεωματική, με σκοπό τη δημιουργία ενός λειτουργικού σχήματος παρατήρησης του περιβάλλοντος. Συνεπακόλουθα, η πρότυπη πλατφόρμα παρατήρησης του περιβάλλοντος που προτείνεται, βασίζεται σε μεθόδους οι οποίες έχουν αναπτυχθεί μέσω της Επιστήμης των Υπολογιστών, το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης και τα Διαδικτυακά ΓΣΠ. Η Συμμετοχική Ανίχνευση (Participatory Sensing) εξυπηρετεί αυτό το σκοπό, καθώς επιτρέπει τη συνεισφορά και πρόσβαση ατόμων και ομάδων σε ένα ενιαίο πυρήνα γνώσης. Η διεύρυνση της εφαρμογής τεχνολογιών πληροφορικής και η αλματώδης ανάπτυξη της υπολογιστικής δύναμης των φορητών συσκευών έχει καταστήσει βιώσιμη τη συμμετοχική ανίχνευση σε μεγάλη κλίμακα. Τα Συμμετοχικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών¹ αποτελούν

¹ Participatory Geographical Information System

μία συμμετοχική προσέγγιση στο χωρικό σχεδιασμό, τη χωρική πληροφορία και τη διαχείριση των επικοινωνιών. Αποτελούν μία προσπάθεια αξιοποίησης της επιστήμης των ΓΣΠ βάσει του περιεχομένου των αναγκών και των δυνατοτήτων που διαθέτουν οι εμπλεκόμενες κοινότητες, με σκοπό την ανάπτυξη σχεδίων εφαρμόσιμων κατά περίπτωση.

Η εξέλιξη της σύγχρονης τεχνολογίας GPS (Global Positioning System) καθώς και της ανάπτυξης νέων δυνατοτήτων ανάλυσης και παρουσίασης της χωρικής πληροφορίας συντελούν στη διεύρυνση των εφαρμογών στην επιστήμη των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Επιπροσθέτως η μαζικοποίηση του mobile internet μέσω φορητών συσκευών (smartphones, tablets, smartwatches) παρέχει τη δυνατότητα τροφοδότησης του διαδικτύου από τον απλό χρήστη ως ενεργό μέλος μίας "ψηφιακής κοινότητας".

Η παρούσα μελέτη αφορά στην πειραματική εφαρμογή ενός συστήματος παρακολούθησης του περιβάλλοντος (Environmental monitoring) βασιζόμενο σε ένα πρότυπο δίκτυο αισθητήρων (Sensor Network). Το δίκτυο αυτό αποτελείται από δομές υλικού, πελάτη/ εξυπηρετητή, εφαρμογή Android και πλατφόρμα διαδικτυακών ΓΣΠ². Το σύστημα ακολουθεί το παράδειγμα του "Διαδικτύου των Πραγμάτων" (Internet of Things - IoT) και βασίζεται κυρίως στην πλατφόρμα ανοικτού υλικού Arduino. Στο Arduino λειτουργούν αισθητήρες παρακολούθησης/ παρατήρησης περιβαλλοντικών μεταβλητών από τους οποίους παράγονται τα αντίστοιχα τεχνικά μεγέθη. Οι συσκευές καταγραφής διακρίνονται σε δύο τύπους σταθμών: α) σταθεροί, οι οποίοι είναι μόνιμα τοποθετημένοι σε κτιριακές εγκαταστάσεις και συνδέονται απευθείας με το server ενσύρματα ή ασύρματα, και β) φορητοί, οι οποίοι λειτουργούν μέσω διασύνδεσης με φορητές συσκευές Android, με την ενσωμάτωση του απαραίτητου λογισμικού. Η αποστολή και διαχείριση των μεταβλητών βασίζεται στο πρωτόκολλο MQTT³ και υποστηρίζεται από τη συνδυαστική λειτουργία ενός MQTT broker, ενός web server και μίας βάσης δεδομένων, τα οποία έχουν αναπτυχθεί ειδικά για τη συγκεκριμένη εφαρμογή.

Η λειτουργικότητα του σχεδίου στηρίζεται στην ταυτόχρονη αποτύπωση των περιβαλλοντικών συνθηκών παράλληλα με την καταγραφή της γεωγραφικής θέσης. Σημαντική παράμετρος της παρούσας μελέτης αποτελεί το πλήθος των σημείων εγκατάστασης, καθώς οι σταθεροί σταθμοί τοποθετούνται σε δημόσια κτίρια, ενώ οι φορητοί σε δημόσια και ιδιωτικά οχήματα. Επίσης, δύναται να μεταφέρονται από πεζούς και ποδηλάτες για καταγραφή σε μικρότερες αποστάσεις. Οι πολλές εναλλακτικές που παρέχουν οι φορητοί σταθμοί μαζί με τις συνεχείς καταγραφές των σταθερών μονάδων υποστηρίζουν την αναζήτηση περαιτέρω συσχετίσεων, χωρικών και μη, για την υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Επίσης, η πλατφόρμα προσφέρει online καταγραφή των μετρήσεων που οδηγεί στην άμεση αναγνώριση των προτύπων ρύπανσης. Τέλος, τα τεχνικά μεγέθη οδηγούνται για τη χωρική τους υπέρθεση σε ένα περιβάλλον WebGIS, στο οποίο σημειώνονται δυναμικά (στο χώρο και το χρόνο) οι διακυμάνσεις και οι τάσεις μεταβολής των παρατηρούμενων μεταβλητών.

² Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών

³ <http://mqtt.org/>

Abstract

Environmental crisis affects human society directly and indirectly. The methodology of essentially identifying and recording natural parameters is connected to environmental degradation. The technological achievements of the last two centuries have created new prospects of interaction between man and his environment that is living into. Likewise, recent developments in hardware and software technologies have profoundly shaped the current context of application in computer sciences.

The enrichment of human life through technological solutions may serve as a stepping stone to minimize environmental impact. These solutions are derived from complex scientific processes, which offer integrity, scientific relevance and can be applied continuously. The increased accessibility to state of the art technologies and the increased level of skills held by the average citizen, generate continuous growth prospects of modern and useful methods targeting the protection and preservation of the environment.

Environmental Monitoring consists of the descriptive procedures and actions for quality assessment. The scope of environmental observation is placed on biotic and abiotic components of the atmospheric layers of the earth and provides useful information in order to detect potential variable patterns of physical processes, which can be classified as physical, chemical or biological. The sampling parameters characterizing by the physical process which generates data for understanding the situation and composition of the environment.

The term "Geomatics" defines the systematic, multidisciplinary and integrated approach with the intention of determine appropriate techniques of sorting, storage, integration, modeling, analysis, retrieval, transformation, promotion and distribution of data accompanied by spatial reference. Through Geomatics each element / attribute on Earth is geo-referenced and used as a geographical entity. This study utilizes a number, but quite important, of the methods which comprise the geomatics, in order to design a functional environment monitoring scheme. Subsequently, the proposed platform is based on methods developed through Computer Sciences and utilises technologies such as the Global Positioning System and WebGIS. Additionally Participatory Sensing serves this purpose, as it allows access and contribution by individuals and groups in a common knowledge sphere. Broader application of information technologies and exponential growth of the computing power of mobile devices have made possible the participatory detection of natural phenomena on larger scale. Participatory Geographic Information Systems are a participatory approach to spatial planning, spatial information management and communication. They are an effort to harness GIS science based on the content of the needs and capabilities available to the communities involved, to develop implementable projects as appropriate.

The evolution of modern GPS technology (Global Positioning System) and the development of new analytical and presentation capabilities of spatial information conducive to the expansion of applications in the science of GIS. Additionally, massification of mobile internet through mobile devices (smartphones, tablets,

smartwatches) enables provisioning of Internet by the casual user as an active member of a "digital community".

This study involves the experimental implementation of an environmental monitoring system (Environmental monitoring) based on a template sensor network (Sensor Network). This network consists of hardware structures, a client / server, an Android application and a web GIS platform. The system follows the example of the "Internet of Things" (Internet of Things - IoT) and is mainly based on the open hardware platform Arduino. In Arduino has a variety of environmental monitoring sensors from which are produced the corresponding processing parameters. The sensing devices are divided into two types of monitoring stations: a) fixed placed, which is permanently installed in buildings and connects directly to the server and b) portable, which operates through portable Android devices, by integrating the appropriate software. The transmission and management of variables is based on the MQTT protocol which is supported by the combined operation of a MQTT broker, a web server and a database, specifically developed for this application.

The functionality of the design is based on the simultaneous sensing of environmental conditions in addition to the recording of the geographical position. An important aspect of this study is the variety of spatial distribution, as fixed stations are installed in public buildings, and mobile in public and private vehicles. Furthermore, they are capable of recording at shorter distances in walking or cycling speeds. Portable stations offer many options in addition to continuous recordings of fixed units which support investigation of further correlations leading to environmental degradation. Also, the platform offers online measurement corroborating to the direct identification of pollution standards. Finally, the processing parameters are superimposed in a dynamic WebGIS environment, which provide spatiotemporal presentation of the observed variables.

1. Εισαγωγή

Η εργασία αυτή αφορά στο σχεδιασμό και την πειραματική υλοποίηση ενός πρότυπου συστήματος παρακολούθησης του περιβάλλοντος. Το σύστημα βασίζεται σε σύγχρονες και προσβάσιμες τεχνολογίες λογισμικού και υλικού, με έμφαση στην παραγωγή γεωγραφικά προσδιορισμένων μεταβλητών. Η καταγραφή φυσικών μεταβλητών υλοποιείται ως επί το πλείστον με αριθμητικές μεθόδους οι οποίες παράγουν ποσοτικά μεγέθη. Συχνά οι μετρήσεις προϋποθέτουν εξειδικευμένο εξοπλισμό στα πλαίσια επιστημονικής ειδίκευσης υψηλού επιπέδου. Με την έλευση σύγχρονων, ευρυζωνικών και φορητών τεχνολογιών πληροφορικής προκύπτει το ερώτημα της διεύρυνσης του πεδίου εφαρμογής των μεθοδολογιών περιβαλλοντικής παρακολούθησης σε περισσότερους επιστημονικών κλάδων και ομάδων χρηστών.

Η μελέτη φυσικών φαινομένων στη ελληνική επικράτεια παρουσιάζει ιδιαιτερότητες λόγω των σύνθετων γεωγραφικών και γεω-μορφολογικών της χαρακτηριστικών. Η ανάθεση μεθόδων παρακολούθησης σε κοινωνικές δομές στην Ελλάδα παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Επίσης, δημιουργούνται καινοτόμες προοπτικές καταγραφής και ανάλυσης μέσω καινοτομιών όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT) και του Πληθοπορισμού (Crowdsourcing). Συνεπώς, διευρύνονται οι δυνατότητες έρευνας από μικρές επιστημονικές ομάδες και νέους επιστήμονες με σκοπό την προαγωγή της γνώσης.

Μία εφαρμογή περιβαλλοντικής παρακολούθησης προϋποθέτει το σχεδιασμό σύνθετων διεργασιών οι οποίες ανταποκρίνονται στα χαρακτηριστικά των υπό μελέτη φαινομένων. Κατ' αρχάς η επιστημονική στόχευση καθορίζει καθ' ολοκληρία τη δομή ενός συστήματος που βασίζεται σε τεχνολογικά εργαλεία. Η ανάλυση των αναγκών σε δομές λογισμικού και υλικού προδιαθέτει και ορισμένες φορές υπαγορεύει την μεθοδολογία έρευνας που θα ακολουθηθεί. Πρωταρχικό ρόλο διαδραματίζει η κατασκευή και σύνθεση του υλικού, που στην εργασία διακρίνει τις μονάδες καταγραφής, το υπολογιστικό σύστημα και τις δικτυακές δομές. Έπειτα, είναι απαραίτητη η επιλογή του ειδικευμένου λογισμικού για την χρήση, ανάπτυξη και υλοποίηση της σχεδιαζόμενης πλατφόρμας. Τα μέρη του συστήματος αναπτύσσονται μέσω υφιστάμενων μεθόδων παραμετροποίησης και προγραμματισμού. Σημαντικό σκέλος αποτελεί η συνεχής δοκιμή και ο έλεγχος της λειτουργικότητας του συστήματος σε όλες τις φάσεις υλοποίησης με σκοπό την ακρίβεια και την πιστότητα. Τέλος, οι αναλυτικές διεργασίες απαιτούν την προβολή και ανάδειξη των μετρήσεων με τη γεωγραφική απεικόνιση ποιοτικών χαρακτηριστικών του περιβάλλοντος σε ένα ειδικά διαμορφωμένο σύστημα.

1.1. Στοχαστική προσέγγιση

Οποιαδήποτε τεχνολογική ανακάλυψη πηγάζει από την ανάγκη του ανθρώπου για δημιουργία. Η περιβαλλοντική κρίση είναι από τις μεγαλύτερες προκλήσεις της ανθρωπότητας σήμερα και διαθέτει πλήθος συνεπειών που την περιστοιχίζουν, ορισμένες από αυτές επηρεάζουν άμεσα τον άνθρωπο και την καθημερινότητά του. Βασική προϋπόθεση για την αντιμετώπιση τους αποτελεί η ουσιώδης αναγνώριση και καταγραφή των παραμέτρων υποβάθμισης του περιβάλλοντος.

Η ολοκληρωμένη πρόβλεψη των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής αποτελεί μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις της σύγχρονης περιβαλλοντικής επιστήμης. Μία προσέγγιση της μεθόδου πρόβλεψης εντοπίζεται στην εξακρίβωση τον τρόπο με τον οποίο οι επιπτώσεις αφορούν σε φυσικές παραμέτρους που σημειώνουν συμπεριφορές εκτός των ορίων της κανονικότητας. Ένα απλό παράδειγμα είναι η αυξημένη συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα.

Η σύγχρονη εξέλιξη της τεχνολογίας παρέχει πλήθος μεθοδολογιών χρήσιμες για την προστασία του περιβάλλοντος. Πλέον αναπτύσσονται ιδιαίτερα απλοποιημένα και εξαιρετικά προσβάσιμα εργαλεία, τα οποία με τη σειρά τους προσδίδουν αξία στην παραγόμενη επιστημονική πληροφορία.

1.1.1. Περιβαλλοντική κρίση

Οι ταχείς ρυθμοί της οικονομικής ανάπτυξης επετεύχθησαν σε βάρος του περιβάλλοντος, λόγω της ακραίας ανισοκατανομής των φυσικών πόρων και των οικονομικών/ κοινωνικών ανισοτήτων που την χαρακτηρίζουν. Ο πλανήτης μας, και συνεπακόλουθα ο κάθε άνθρωπος, αντιμετωπίζει σημαντικές περιβαλλοντικές προκλήσεις. Η αύξηση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, η μείωση των αποθεμάτων σε νερό και σε φυσικούς πόρους ευρύτερα, και η αυξανόμενη ρύπανση αποτελούν ορισμένες από αυτές. Επόμενο είναι να αυξηθούν οι απαιτήσεις για νέες καινοτομίες που θα έρθουν αντιμέτωπες με τις προκλήσεις για την προστασία και διατήρηση του περιβάλλοντος.

Η περιβαλλοντική κρίση σηματοδοτεί συνήθως διαφορετικές καταστάσεις που περιγράφουν την αυξανόμενη σπανιότητα της ποσότητας και συνάμα την υποβάθμιση της ποιότητας των φυσικών, ανανεώσιμων ή μη πόρων. Βασικοί παράγοντες του προβλήματος αποτελούν μεταξύ άλλων η διαταραχή του γεωχημικού κύκλου στοιχείων (αζώτου, οξυγόνου, νερού κτλ) και η μείωση της βιολογικής ποικιλότητας και του γενετικού αποθέματος στον πλανήτη.

Οι πόλεις κατέχουν σημαντικό ρόλο στην περιβαλλοντική κρίση, καθώς είναι ιδιαίτερα ευάλωτες στην κλιματική αλλαγή και τις επιπτώσεις της. Ο περισσότερος από τον μισό πληθυσμό του πλανήτη διαμένει σε αυτές. Επίσης, το φαινόμενο της αστικοποίησης αυξάνεται και παρουσιάζει αυξητικές τάσεις κυρίως στις χώρες του αναπτυσσόμενου κόσμου. Η αστικοποίηση επηρεάζει δραματικά την ποιότητα του περιβάλλοντος, καθώς επιδρά (άμεσα ή έμμεσα) στην υποβάθμιση του αέρα, την

διαθεσιμότητα σε νερό, τις χρήσεις γης και την αύξηση των αποβλήτων. Από την άλλη, οι πόλεις είναι εξαιρετικά ευάλωτες σε ακραία καιρικά φαινόμενα τα οποία αποδιοργανώνουν τις αστικές δομές (πχ πλημμύρες).

Οι τελευταίες δεκαετίες χαρακτηρίζονται από την πίεση του οικολογικού κινήματος για λήψη μέτρων, ολοκληρωμένων δράσεων και εξειδικευμένης ενημέρωσης στο συγκεκριμένο ζήτημα. Δυστυχώς, όμως δεν αρκεί μόνο η κεντρική διαχείριση του ζητήματος, καθώς κάθε ανθρώπινη δραστηριότητα λαμβάνει χώρα στα πλαίσια φυσικών διεργασιών, οι οποίες δέχονται συνεχή πίεση. Οι φυσικές επιστήμες του περιβάλλοντος έχουν το ρόλο της ανάλυσης, καταγραφής και παρουσίασης των ανωτέρω πιέσεων. Είναι ευρέως αποδεκτό πως ο άνθρωπος και η φύση αποτελούν αλληλένδετες οντότητες, που επηρεάζονται άμεσα από οποιαδήποτε μεταξύ τους μεταβολή. Το γεγονός ότι η φύση λειτουργεί με σύνθετο τρόπο και επιδρά πολύπλευρα με τον άνθρωπο, απαιτεί διεπιστημονική προσέγγιση αξιοποιώντας πλήθος σύγχρονων και εφαρμοσμένων τεχνολογιών.

1.1.2. Τεχνολογία και άνθρωπος

Τα τεχνολογικά επιτεύγματα των τελευταίων δύο αιώνων έχουν δημιουργήσει νέες προοπτικές αλληλεπίδρασης μεταξύ του ανθρώπου και του περιβάλλοντός (φυσικού και εικονικού) που διαβιεί. Επίσης, οι σύγχρονες εξελίξεις στις τεχνολογίες υλικού και λογισμικού έχουν διαμορφώσει άρδην το τρέχων πλαίσιο εφαρμογής της πληροφορικής επιστήμης.

Η ζωή του ανθρώπου επηρεάζεται ιδιαίτερα, καθώς η τεχνολογία διαμορφώνει τη σημασία της αλληλεπίδρασης με τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Είναι πλέον αποδεκτό πως η αλληλεπίδραση ανθρώπου και υπολογιστή (Human Computer Interaction - HCI) καθιστά την τεχνολογία από καθαρά χρηστική σε μία πανταχού παρούσα κατάσταση για αυτόν και το περιβάλλον του. Η αλληλεπίδραση με την τεχνολογία γίνεται περισσότερο άμεση και απτή λόγω της μείωσης του μεγέθους και της ταχύτητας εξέλιξής των υπολογιστών. Τα τεχνολογικά εργαλεία που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα δρουν υποσυνείδητα επειδή αξιολογούνται εμπειρικά από τον άνθρωπο. Συνεπώς, η καθημερινή τους χρήση καθιστά τα εργαλεία αυτά να λειτουργούν πρωτίστως ως νοούμενες ψυχολογικές υποθέσεις (Ball & Ormerod, 2000, p. 148) και δευτερευόντως ως χρηστικά αντικείμενα. Η σύγχρονη ψυχολογία διαθέτει διακεκριμένες και εξελιγμένες μεθόδους περιγραφής των γνωστικών δομών στην συμπεριφορά που προκύπτει από την αλληλεπίδραση καθεαυτή του ανθρώπου με την τεχνολογία (McAdams, 1996).

Η συνεχής εξέλιξη των τεχνολογιών πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών (Information & Communication Technologies - ICT) διαθέτει καθοριστικό ρόλο στην καθημερινότητά μας καθώς αγγίζει όλες τις όψεις της ζωής. Αυτές οι σύγχρονες μορφές τεχνολογίας αναπτύσσονται παράλληλα με τις πρακτικές και καινοτομίες που παρουσιάζει η δυτική κοινωνία. Για αυτό το λόγο απαιτείται διεπιστημονική διερεύνηση της αλληλεπίδρασης ανθρώπου και τεχνολογίας. Σήμερα οι τεχνολογίες

επικοινωνιών επιτρέπουν την επικοινωνία και ανταλλαγή δεδομένων ελεύθερα χωρίς γεωγραφικό περιορισμό.

Από κοινωνιολογικής πλευράς η βασική συνέπεια του τεχνολογικού μοντερνισμού που βιώνουν οι δυτικές κοινωνίες θεωρείται η αυξανόμενη παρεμβολή και συσσώρευση πληροφορίας (UN Summit on the Information Society, Geneva 2003). Το συγκεκριμένο φαινόμενο της "πληροφοριοποίησης" τείνει να δημιουργήσει νέες μορφές κοινωνικής ανισότητας, καθώς η πρόσβαση, διανομή και κατανάλωση της πληροφορίας διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην οικονομία, την πολιτική και τον πολιτισμό. Η ανάπτυξη της πληροφορικής έχει αυξήσει εκθετικά τη δυνατότητα διαμοιρασμού και διανομής, όπως και την ποσότητα της διαθέσιμης πληροφορίας με ιδιαίτερα χαμηλό κόστος.

Η θεωρία του "λογισμικού του μυαλού" (Software of the mind, Hofstede, 2001) έχει δύο διαφορετικές ερμηνείες. Αρχικά αναφέρεται στη θεώρηση της ανθρώπινης προσωπικότητας ως λειτουργικό σύστημα που επηρεάζεται είτε από προδιαθέσεις και συσκευές μάθησης (Keller, 2008), είτε ως ένα εργαλείο γνωστικής προοπτικής που διαμορφώνεται με την τεχνολογική αλληλεπίδραση (see, e.g., Friedman, 2014; Weber & Dacin, 2011). Το βασικό ερώτημα που προκύπτει είναι το κατά πόσο το άτομο από μόνο του επηρεάζει το κοινωνικό γίνεσθαι και είναι σε θέση να διαμορφώσει πολιτισμό. Το έξυπνο κινητό τηλέφωνο καθίσταται πλέον πρωταρχικό αντικείμενο προσοχής και ανάλυσης, λόγω των επεκτάσεων κοινωνικότητας που παρουσιάζει (κοινωνική δημογραφία, πολιτική οικονομία, συνδιάλεξη, ανάλυση συνομιλίας και γραπτού κειμένου και εθνογραφία).

Ο εμπλουτισμός της ανθρώπινης ζωής με τεχνολογικές λύσεις δύναται να λειτουργήσει ως εφελκυστήρας για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων στο περιβάλλον. Οι λύσεις αυτές προέρχονται από σύνθετες επιστημονικές διεργασίες, οι οποίες προσφέρουν αρτιότητα, επιστημονική επάρκεια και μπορούν να εφαρμοστούν ξανά και ξανά. Η αυξημένη προσβασιμότητα σε τεχνολογίες αιχμής και το αυξημένο επίπεδο δεξιοτήτων που κατέχει ο μέσος πολίτης, δημιουργούν προοπτικές συνεχούς ανάπτυξης νέων χρήσιμων μεθόδων για την προστασία και διατήρηση του περιβάλλοντος.

1.2. Παρακολούθηση του περιβάλλοντος

Η φύση και το περιβάλλον ευρύτερα έχει αποτελέσει πεδίο ενδιαφέροντος για τον άνθρωπο από τη γέννηση της ιστορίας. Άλλωστε, η θετικές επιστήμες αναπτύχθηκαν βάσει τούτης της παρατήρησης και του πρωτόλειου ενδιαφέροντος του ανθρώπου. Σε όλη την ιστορία οι επιστημονικές ανακαλύψεις ώθησαν προς την πρόοδο τις κοινωνίες και την ανθρωπότητα ευρύτερα.

Μετά τη βιομηχανική εποχή και την υπερεκμετάλλευση του πλανήτη σε φυσικούς πόρους, ο βασικός ρόλος των επιστημών του περιβάλλοντος είναι η ανάπτυξη μεθόδων προστασίας και συνάμα διατήρησης του φυσικού πλούτου. Η μεθοδικότητα αποτελεί απαραίτητο συστατικό της έρευνας ακολουθώντας πρότυπα

διαφορετικών επιστημών. Η σφαιρικότητα της ανάλυσης των χαρακτηριστικών στο περιβάλλον αποτελεί τη βέλτιστη μέθοδο εξακρίβωσης και αναγνώρισης των φυσικών φαινομένων.

1.2.1. Μέθοδοι Παρακολούθησης του περιβάλλοντος

Η παρακολούθηση του περιβάλλοντος (Environmental Monitoring) διακρίνεται στην περιγραφή των αναγκαίων διαδικασιών και των δράσεων για την παρακολούθηση και αποτίμηση της ποιότητας του περιβάλλοντος. Περισσότερο εξειδικευμένα νοείται ως ο συστηματικός δειγματισμός του αέρα, του νερού του εδάφους και των έμβιων οργανισμών, με σκοπό την παρακολούθηση και μελέτη του περιβάλλοντος, όπως και την εξαγωγή γνώσης από την διαδικασία που ακολουθείται (Artiola et al., 2004; Wiersma, 2004). Η παρακολούθηση εκπληρώνει πλήθος σκοπών, συμπεραλαμβανομένης της καθιέρωσης "βασικών γραμμών, τάσεων και σωρευτικών επιπτώσεων" (Mitchell, 2002, pg. 318) και του ελέγχου των μεθόδων παρακολούθησης. Επιπροσθέτως, αποσκοπεί:

- στην εκπαίδευση του κοινού για τις συνθήκες του περιβάλλοντος που διαβιούν,
- την ενημέρωση για την χάραξη πολιτικής και λήψη αποφάσεων,
- την εξασφάλιση συμμόρφωσης με την περιβαλλοντική νομοθεσία,
- την εκτίμηση των επιπτώσεων των ανθρωπογενών επιδράσεων και
- την απογραφή των φυσικών πόρων.

Μια εξειδικευμένη ανάλυση της χρησιμότητας τη παρακολούθησης του περιβάλλοντος περιλαμβάνει:

- την προστασία των υδάτινων αποθεμάτων,
- την καιρική πρόγνωση,
- τη διαχείριση των αποβλήτων
- τη διαχείριση και προστασία των φυσικών πόρων,
- τη μελέτη της κλιματικής αλλαγής,
- την αστική ποιότητα του αέρα,
- την οικονομική ανάπτυξη και τη διαχείριση του χώρου,
- την αύξηση του πληθυσμού και
- την ανάλυση της βιοποικιλότητας.

Το πεδίο εφαρμογής της περιβαλλοντικής παρακολούθησης τοποθετείται στα βιοτικά και αβιοτικά στοιχεία των ατμοσφαιρικών στρωμάτων⁴ του πλανήτη και παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για την ανίχνευση πιθανών προτύπων αλλαγής των φυσικών διεργασιών. Χαρακτηρίζονται ως φυσικές, χημικές ή βιολογικές. Η δειγματοληψία παραμέτρων που χαρακτηρίζουν τις ανωτέρω διεργασίες (π.χ.

⁴ Τροπόσφαιρα, Στρατόσφαιρα, Μεσόσφαιρα, Θερμόσφαιρα, Εξώσφαιρα

μέτρηση θερμοκρασίας) παράγει δεδομένα για την κατανόηση της κατάστασης και σύνθεσης του περιβάλλοντος και των διεργασιών του.

Η παρακολούθηση αξιοποιεί πλήθος μεθοδολογιών και εξοπλισμού βάσει του σκοπού της παρακολούθησης αυτής. Οι τεχνικές και τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται διακρίνονται ανάλογα με την κλίμακα εφαρμογής - τοπική ή παγκόσμια. Σε τοπικές εφαρμογές αξιοποιούνται συνήθως φορητές συσκευές μέτρησης περιβαλλοντικών παραμέτρων (πχ μετρητής υγρασίας) και σε παγκόσμιο επίπεδο, μεθοδολογίες μεγαλύτερης κλίμακας όπως η τηλεπισκόπηση. Η επιστήμη της πληροφορικής παρέχει εξελιγμένη προσβασιμότητα στα περισσότερα εργαλεία και συνάμα τη δυνατότητα συνδυαστικής αξιοποίησης των μεθοδολογιών και των δεδομένων που έχουν συλλεχθεί.

1.2.2. Γεωπληροφορική

Με τον όρο Γεωπληροφορική νοείται η επιστήμη που αξιοποιεί την πληροφορική επιστήμη για να διαχειριστεί σύνθετες μορφές δεδομένων με χωρική υπόσταση. Ειδικότερα θεωρείται η "επιστήμη και η τεχνολογία που ασχολούνται με την δομή, το χαρακτήρα, την καταγραφή, την ταξινόμηση και την κατηγοριοποίηση, επεξεργασία, απεικόνιση και διάδοση της χωρικής πληροφορίας, συμπεριλαμβανομένης της απαραίτητης υποδομής για τη διασφάλιση της βέλτιστης χρήσης των εν λόγω πληροφοριών" (Raju, 2013).

Η Γεωματική (Geomatics) δρα επικουρικά στη παρακολούθηση (Surveying) του περιβάλλοντος και ορίζεται ως μία συστημική, διεπιστημονική και ολοκληρωμένη προσέγγιση με σκοπό την επιλογή κατάλληλων τεχνικών για την διαλογή, αποθήκευση, ενσωμάτωση, μοντελοποίηση, ανάλυση, ανάκτηση, μετασχηματισμό, προβολή και διανομή δεδομένων με γεωαναφορά από διάφορες πηγές (Gomarasca, 2009). Τα δεδομένα αυτά διαθέτουν καθορισμένα και ακριβή χαρακτηριστικά, είναι συνεχή και βρίσκονται σε ψηφιακή μορφή. Συνεπώς, μέσω της γεωματικής κάθε στοιχείο/ χαρακτηριστικό στον πλανήτη γεωαναφέρεται και χρησιμοποιείται ως γεωγραφική οντότητα. Τα γεωγραφικά δεδομένα αξιοποιούνται σε πολλές εφαρμογές μέσω της μετατροπής τους σε πληροφορία, βάσει έμπειρων συστημάτων (Expert Systems).

Η Γεωματική απαρτίζεται από συγκεκριμένους επιστημονικούς κλάδους, οι οποίοι αλληλοσυμπληρώνονται για την ανίχνευση, συλλογή και την αναπαράσταση μεγάλου όγκου δεδομένων με σκοπό την παραγωγή εξειδικευμένης και ποικίλης γεωγραφικής πληροφορίας. Οι κλάδοι και οι τεχνικές που την απαρτίζουν διακρίνονται σε:

- Επιστήμη των υπολογιστών (Computer Science)
- Γεωδαισία,
- Τοπογραφία,
- Χαρτογραφία,
- Φωτογραμμετρία,
- Τηλεπισκόπηση,
- Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης (GPS),
- Σύστημα Σάρωσης με Λέιζερ,
- Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών,
- Συστήματα Λήψης Αποφάσεων,
- Έμπειρα Συστήματα,
- Διαδικτυακά ΓΣΠ (WebGIS) και
- Οντολογία γεωγραφικών φαινομένων.

Ο τομέας της χωρικής πληροφορίας παρουσιάζει αυξημένο ενδιαφέρον στην εφαρμογή του και πλέον δημιουργείται η απαίτηση ανάλυσης, διαχείρισης και ανάπτυξης των ανωτέρω τεχνικών. Τα περιβαλλοντικά δεδομένα που συγκεντρώνονται σε τοπικό επίπεδο και διαθέτουν γεωκωδικοποίηση συνδράμουν στην τροφοδότηση και σύγκρισή τους με δεδομένα από βάσεις δεδομένων του παγκόσμιου ιστού και δορυφορικά συστήματα. Συνεπώς αποτελεί μοχλός κινητοποίησης τοπικών ομάδων (επιστημόνων, ερασιτεχνών κ.α.) να βασιστούν σε ήδη υπάρχουσες ΒΔ για τη δική τους περιοχή, όπως επίσης και να παράσχουν σημαντικά χρήσιμη πληροφορία για ευρύτερες μελέτες σε παγκόσμιο και διεθνές επίπεδο. Ιδιαίτερα χρήσιμη για αυτό το σκοπό θεωρείται η ανάπτυξη του Διαδίκτυου των Πραγμάτων (IoT), το οποίο θα συζητηθεί σε επόμενη ενότητα.

Η προκείμενη μελέτη αξιοποιεί ορισμένες, αλλά αρκετά σημαντικές, από τις μεθόδους που απαρτίζουν τη γεωματική, με σκοπό τη δημιουργία ενός λειτουργικού σχήματος παρακολούθησης του περιβάλλοντος. Συνεπακόλουθα, η πρότυπη πλατφόρμα παρακολούθησης του περιβάλλοντος βασίζεται σε μεθόδους οι οποίες έχουν αναπτυχθεί μέσω της Επιστήμης των Υπολογιστών, το Παγκόσμιο Σύστημα εντοπισμού Θέσης και τα Διαδικτυακά ΓΣΠ.

1.2.3. Κοινωνικός - ανθρώπινος παράγοντας

Μία από τις σημαντικότερες συμβολές της αρχαίας ελληνικής διανόησης αποτελεί η πολιτική φιλοσοφία του Αριστοτέλη. Βασίζεται σε μία συλλογιστική διαδικασία με ρεαλιστική μορφή και τη διακρίνει η αρετή του πρακτικού συλλογισμού. Σύμφωνα με τον Αριστοτέλη το κοινό διακρίνεται ξεκάθαρα από το ιδιωτικό, καθώς δεν διαχωρίζεται η ευδαιμονία του πολίτη από την ευδαιμονία της Πολιτείας. Οι πόλεις, και οι κοινωνίες ευρύτερα, προκύπτουν εκ φύσεως από τον άνθρωπο και αποτελούν μία φυσική πραγματικότητα.

Η θεώρηση αυτή του Αριστοτέλη έχει αποτελέσει σημαντικού πεδίο φιλοσοφικού προβληματισμού από την αρχαιότητα έως σήμερα. Παρόλη τη δυσκολία εφαρμογής της στη σημερινή παγκοσμιοποιημένη κοινωνία, αποτελεί μία σημαντική πολιτική έννοια. Εντός μίας δημοκρατικής κοινωνίας ο άνθρωπος (ως Πολίτης) λειτουργεί

βάσει της αρχής της συμμετοχικότητας. Αρκετοί τομείς της σύγχρονης καθημερινότητας έχουν επηρεαστεί από αυτή. Σημαντικό παράδειγμα θεωρείται η διαμοιραστική κοινότητα που υφίσταται στην εφαρμογή και ανάπτυξη του Ελεύθερου Λογισμικού / Λογισμικού Ανοιχτού Κώδικα (ΕΛ/ΛΑΚ).

Μία νέα μορφή εφαρμοσμένης συμμετοχικότητας είναι ο Πληθοπορισμός (Crowdsourcing). Αποτελεί τη συλλογική δραστηριότητα μέσω διαδικτύου στην οποία ένα άτομο ή φορέας προσκαλεί μία ομάδα ατόμων με ποικίλες γνώσεις να φέρουν εις πέρας μία εργασία χωρίς υλική ικανοποίηση. Παράλληλα με την ολοκλήρωση ενός στόχου και τα άμεσα οφέλη των εμπλεκομένων από τη συγκεκριμένη διεργασία, διευρύνεται η συμμετοχικότητα και ενισχύεται η κοινωνική συνοχή.

Η άμεση πρόσβαση και ο πλούτος της πληροφορίας, έχει προσδώσει νέα χαρακτηριστικά στο ρόλο του ανθρώπου στο κοινωνικό γίγνεσθαι. Διευρύνοντας την εφαρμογή της συμμετοχικότητας στην κοινωνία της πληροφορίας, δύναται να εξυπηρετηθούν σύγχρονες ανάγκες και προκλήσεις του σύγχρονου ανθρώπου. Η περιβαλλοντική κρίση είναι μία από αυτές και μεγιστοποιώντας τις γνώσεις σε σχέση με τα χαρακτηριστικά του εγγύτερου περιβάλλοντος. Εν προκειμένω, η Συμμετοχική Ανίχνευση (Participatory Sensing) εξυπηρετεί αυτό το σκοπό, καθώς επιτρέπει τη συνεισφορά και πρόσβαση ατόμων και ομάδων σε ένα ενιαίο πυρήνα γνώσης. Η διεύρυνση της εφαρμογής τεχνολογιών πληροφορικής και η αλματώδης ανάπτυξη της υπολογιστικής δύναμης των φορητών συσκευών έχει καταστήσει βιώσιμη τη συμμετοχική ανίχνευση σε μεγάλη κλίμακα. Η εφαρμογή της βασίζεται σε σύνθετα συστήματα δικτύων (Network Systems) και υλικού (Hardware) που απαιτούν αυξημένη εξειδίκευση και υλοποίηση. Συνοψίζοντας οι προκλήσεις που εμφανίζει αυτό το σύγχρονο κοινωνικό χαρακτηριστικό διακρίνονται στο πεδίο εφαρμογής, τα κίνητρα υλοποίησης και την καθολική πιστότητα του εκάστοτε σχεδίου.

1.3. Μέθοδοι και εργαλεία υλοποίησης

Η επανάσταση της πληροφορικής προσδίδει νέες προοπτικές διαχείρισης της τεχνολογίας. Η προσβασιμότητα σε αυτήν και η ανάπτυξη νέων ικανοτήτων σε επιστήμονες από όλους τους κλάδους αναπτύσσουν ένα σύνθετο πεδίο εφαρμογής της επιστήμης. Η συσχέτιση που προκαλεί η διεπιστημονικότητα λειτουργεί με άξονα την τεχνολογία και κέντρο τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Συνεπώς, απαιτείται η ορθή χρήση των απαραίτητων εργαλείων βάσει των πρωταρχικών μελετητικών στόχων. Μία σύνθετη και ευφυής εφαρμογή παρακολούθησης του περιβάλλοντος βασίζεται κυρίως σε εξειδικευμένους τομείς της πληροφορικής επιστήμης καθώς και σχετικών κλάδων με τη γεωγραφία.

1.3.1. Επιστήμη των υπολογιστών (Computer Science)

Ο τομέας της Γεωματικής βασίζεται σε θεμελιώδεις αρχές τεχνικών και εργαλείων που έχουν αναπτυχθεί μέσω της επιστήμης των υπολογιστών. Η δυναμική αυτού του επιστημονικού κλάδου καλύπτει ευρύ πεδίο αντικειμένων. Σε μία σύντομη επισκόπηση της επιστήμης των υπολογιστών διακρίνονται οι γλώσσες προγραμματισμού, η τεχνολογία λογισμικού, η κατασκευή δικτύων, η τεχνητή νοημοσύνη, και σε αρχικό στάδιο, η ανάπτυξη αλγορίθμων.

Η θεμελίωση της επιστήμης των υπολογιστών με σκοπό την ευρεία εφαρμογή τους αναπτύχθηκε από τον John Van Neumann το 1946. Τα συστατικά στοιχεία των υπολογιστικών συστημάτων αποτελούνται από την επεξεργαστική μονάδα, την κεντρική μνήμη, τη δευτερεύουσα ή μαζική μνήμη, τα περιφερειακά και το σύστημα διαύλου. Οι εντολές ή οδηγίες αποθηκεύονται ως δυαδικές τιμές, όπου στη συνέχεια εκτελούνται και επεξεργάζονται σειριακά μία προς μία.

Η μηχανική γλώσσα (γλώσσα προγραμματισμού) παρέχει εντολές λειτουργίας στα φυσικά/ μηχανικά εξαρτήματα του υπολογιστή. Πλέον έχουν αναπτυχθεί υψηλού επιπέδου γλώσσες προγραμματισμού με σκοπό την απλοποίηση και προσβασιμότητα των συστημάτων προς το χρήστη, με κύριο παράδειγμα τα λειτουργικά συστήματα (MS Windows, MacOS, Linux κα) που έχουν καθιερώσει την ευρεία εφαρμογή των προσωπικών υπολογιστών (Personal Computers - PCs).

Κύριο ρόλο διαδραματίζουν τα δεδομένα (Data), όπου η οργάνωση και δομή τους υλοποιείται μέσω της ανάπτυξης Βάσεων Δεδομένων, με τις οποίες ο χρήστης είναι σε θέση να εισάγει, τροποποιήσει, ακυρώσει, οργανώσει, διαμοιράσει και αποκαταστήσει τα δεδομένα. Έχουν αναπτυχθεί μοντέλα οργάνωσης των Βάσεων τα οποία ονομάζονται Συστήματα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων (ΣΔΒΔ) (Database Management System - DBMS) και λειτουργούν κυρίως με συσχετίσεις μεταξύ των οντοτήτων/ αντικειμένων που τις διακρίνουν.

Η ανάγκη μεταφοράς δεδομένων και πληροφορίας εξ αποστάσεως οδήγησε στην ανάπτυξη δικτύου επικοινωνίας υπολογιστών. Τα δίκτυα αποτελούνται από πληθώρα μοντέλων επικοινωνίας, ασύρματης και ενσύρματης, που ως αποτέλεσμα είχε τη δημιουργία του Διαδικτύου (Internet). Το διαδίκτυο αποτελεί την κοινότερη δομή δικτύωσης υπολογιστών και συνεπώς καθίσταται το σημαντικότερο γεωγραφικό δίκτυο παγκοσμίως. Το World Wide Web (WWW) είναι η μεγαλύτερη συλλογή διαθέσιμων αντικειμένων πληροφορικής στο Διαδίκτυο, το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως σήμερα. Αποτελείται από εικονικούς συνδέσμους που υποστηρίζονται μέσω υψηλού επιπέδου πρωτοκόλλων επικοινωνίας, τα οποία επιτρέπουν τη μεταφορά υπέρ-αντικειμένων (hyper-objects) διαμέσου του δικτύου. Η διερμηνεία μεταξύ χρήστη, δικτύου και υπολογιστών πραγματοποιείται ως επί το πλείστον μέσω της γλώσσας σήμανσης HTML (Hyper Text Markup Language).

Σήμερα γλώσσες προγραμματισμού όπως η HTML και η Javascript παρέχουν δυνατότητες οπτικοποίησης απλοποιώντας εξαιρετικά τις διαδικασίες σύνταξης και

υλοποίησης των ερωτημάτων. Η HTML (HyperText Markup Language) είναι η πρότυπη γλώσσα σήμανσης για την κατασκευή ιστοσελίδων. Μαζί με την CSS και τη Javascript συγκροτούν τη θεμελιώδη δομή του σύγχρονου διαδικτύου, όπως επίσης και της ανάπτυξης περιβαλλόντων χρήστη (User Interface) για φορητές και διαδικτυακές εφαρμογές. Τα στοιχεία της HTML από τα δομικά στοιχεία των ιστοσελίδων ενσωματώνουν εικόνες και άλλα αντικείμενα με αποτέλεσμα να δημιουργούν διαδραστικές μορφές περιεχομένου. Πέραν τούτου, παρέχει πλήρη δυνατότητα σύνταξης δομημένων κειμένων με παραγράφους, επικεφαλίδες, λίστες, εισαγωγικά κα.

Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό της HTML είναι η ενσωμάτωση κώδικα από άλλες γλώσσες, όπως με τη Javascript, όπου επηρεάζεται η συμπεριφορά των σελίδων HTML. Επίσης, η HTML επιτρέπει την διάταξη και εμφάνιση κειμένου και άλλου υλικού μέσω της συσχέτισης του φυλλομετρητή και της CSS (Cascading Style Sheets).

Επίσης, τα προαναφερθέντα πρωτόκολλα επιτρέπουν την εφαρμογή δικτύωσης σε τοπικό επίπεδο (locally) μέσω του Intranet. Επίσης, έχουν αναπτυχθεί πληθώρα ασύρματων τεχνολογιών τηλεπικοινωνίας και άλλων λειτουργιών όπως για παράδειγμα οι Μηχανές Αναζήτησης (Search Engines), ιδιαίτερα χρήσιμες στην εφαρμογή μεθόδων Γεωματικής στην αναζήτηση πληροφοριών από τον παγκόσμιο ιστό.

1.3.2. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ)

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών διαθέτουν πολλές προσεγγίσεις, αλλά συνήθως ορίζονται ως ένα χρήσιμο σύνολο εργαλείων για τη συλλογή, αποθήκευση, δυνητική ανάκτηση, μετασχηματισμό και προβολή χωρικών δεδομένων από τον πραγματικό κόσμο για ένα σύνολο σκοπών (Burrough, 1997). Τα ΓΣΠ αποτελούν ένα σύνθετο σύστημα που δύναται να διαχειριστεί τη γεωγραφική θέση αντικειμένων, τα χαρακτηριστικά τους στοιχεία, τις χωρικές και περιγραφικές τους σχέσεις και το χρονικό παράγοντα δυναμικών φαινομένων. Οι ιδιότητες ενδέχεται να έχουν μετρική, γραφική, περιγραφική και σύνθετη φύση. Ακολουθώς οι χωρικές σχέσεις ενδέχεται να είναι τοπολογικές, προβολικές και να αναφέρονται στην εγγύτητα.

Η διαπίστωση ότι τα πληροφοριακά δεδομένα πρέπει να περιλαμβάνουν και την χωρική τους θέση (χωρική πληροφορία), έχει οδηγήσει σε μία έντονη προσπάθεια ανάπτυξης αυτοματοποιημένων τρόπων για την αποτελεσματικότερη αποθήκευση, ανάλυση και παρουσίαση γεωγραφικών δεδομένων, που να ικανοποιούν την ολοένα αυξανόμενη ζήτηση για πληροφορίες χωρικής φύσης, μέσω των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ).

Τα ΓΣΠ διαθέτουν τη γενική θεώρηση ως τη σπουδαιότερη σύγχρονη επινόηση της επιστήμης της Γεωγραφίας. Η πιο διαδεδομένη εννοιολογική προσέγγιση των GIS είναι ότι αποτελούν "ένα υπολογιστικό σύστημα για τη συλλογή, διαχείριση,

ολοκλήρωση, εκμετάλλευση, ανάλυση και εμφάνιση δεδομένων τα οποία αναφέρονται σε ένα τμήμα της γήινης επιφάνειας" (R McDonnell & K Kemp. 1995). Ακόμη ένας ορισμός θεωρεί ότι ένα ΓΣΠ αποτελεί "σύνολο υλικού, λογισμικού και διαδικασιών, το οποίο με την κατάλληλη χρήση υποστηρίζει τη συλλογή, διαχείριση, ανάλυση, μοντελοποίηση και παρουσίαση δεδομένων με χωρική αναφορά". Επίσης, αποτελεί "ένα σημαντικό εργαλείο υποστήριξης λήψης αποφάσεων κατά την επίλυση ποικίλων προβλημάτων διαχείρισης και σχεδιασμού" (Χαλκιάς 2006). Στην ουσία τα ΓΣΠ αποτελούν συστήματα εξομοίωσης του πραγματικού χώρου με τη αρωγή της επιστήμης των υπολογιστών, επιτυγχάνοντας την ανάπτυξη και το χειρισμό μίας βάση δεδομένων στην οποία τα τελευταία είναι γεωγραφικά ή κατά χώρο προσανατολισμένα.

Τα κύρια συστατικά μέρη ενός ΓΣΠ διακρίνονται στο υπολογιστικό σύστημα και τα δεδομένα. Καθοριστικό ρόλο διαδραματίζει ο ανθρώπινος παράγοντας. Συνεπώς, τα συστατικά των GIS (Geographical Information Systems) διακρίνονται στο υλισμικό (hardware), το λογισμικό (software), τα δεδομένα και τις εισαγωγές του χρήστη μέσω των διαδικασιών διαχείρισης (management procedures). Τα δεδομένα αναλύονται και διαχειρίζονται από Συστήματα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων (ΣΔΒΔ - DBMS). Το χωρικό μοντέλο λειτουργίας των ΓΣΠ βασίζεται στην ενσωμάτωση διανυσματικού (Vector) και ψηφιδωτού (Raster) τύπου δεδομένων.

Οι εφαρμογές χωρικής ανάλυσης που υλοποιούνται μέσω των ΓΣΠ παρέχουν δυνατότητες εξομοίωσης του πραγματικού κόσμου. Οι μέθοδοι χωρικής ανάλυσης των δεδομένων, η ανάλυση των ιδιοτήτων τους και η συνδυαστική τους ενσωμάτωση, αναδεικνύουν τις χωρικές συσχετίσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών και των ιδιοτήτων τους, καθώς και την διασύνδεση με τη γεωμετρία.

1.3.2.1. Διαδικτυακά ΓΣΠ - WebGIS

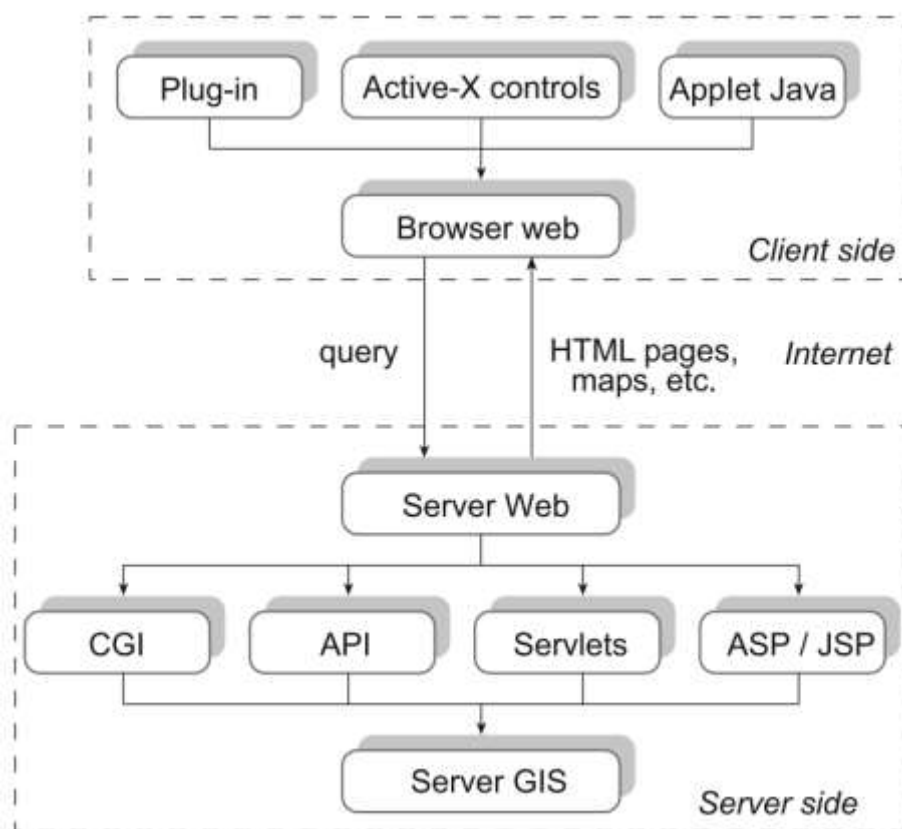
Η ευρεία χρήση του διαδικτύου τα τελευταία χρόνια, καθώς και η ανάγκη διάχυσης και διαμοιρασμού της χωρικής πληροφορίας έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη στρατηγικών εργαλείων διαδικτυακής προβολής χαρτών και γεωγραφικών δεδομένων. Κατ' ουσίαν τα WebGIS θεωρούνται ως λογισμικό που έχει σχεδιαστεί για λειτουργία αποκλειστικά σε εξυπηρετητές (Servers). Επιτρέπουν τη διάδοση γεωγραφικών δεδομένων αποθηκευμένων σε διαμοιραστές στο διαδίκτυο, δρώντας ως επεξεργαστές αφιερωμένοι στη διάδοση χωρικών βάσεων δεδομένων, ακόμη και υπό σύνθετες αρχιτεκτονικές δικτύου.

Ο παγκόσμιος ιστός (World Wide Web) αποτελεί πλέον ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο στο διαμοιρασμό χωρικών δεδομένων. Ειδικότερα διαθέτει αποτελεσματικές μεθόδους μετάδοσης εδαφικής πληροφορίας, χρήσιμο κυρίως σε περιπτώσεις εκτάκτου ανάγκης.

Η υφιστάμενη πλατφόρμα του διαδικτύου είναι σε θέση να υποστηρίξει τις απαιτήσεις ενός WebGIS συστήματος, αρκεί αυτό να εξυπηρετεί ορισμένες θεμελιώδεις προδιαγραφές. Αρχικά, η υπηρεσία (GeoService) πρέπει να παρέχει τη

δυνατότητα εξαγωγής περιγραφικής πληροφορίας και δεδομένων σχετικά με τους διαθέσιμους χάρτες μέσω της βάσης δεδομένων. Θεωρείται απαραίτητη η δυνατότητα οπτικοποίησης χαρτογραφικής πληροφορίας (Web Map). Επίσης, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά πρέπει να συσχετίζονται με τα αλφαριθμητικά/περιγραφικά. Τέλος, η υπηρεσία απαιτείται να ενσωματώνει αρχεία τύπου Hypertext⁵ διαχειριζόμενα από τη γλώσσα HTML για την αξιοποίησή τους στη διαμόρφωση ενός γραφικού περιβάλλοντος διεπαφής χρήστη (GUI).

Η δομή ενός συστήματος διάχυσης GIS στο διαδίκτυο απαιτεί τη λειτουργία ενός επεξεργαστή κατάλληλου για σύνδεση στο διαδίκτυο. Ο εξυπηρετητής (web server) λαμβάνει το ρόλο του επεξεργαστή, στον οποίο τρέχει και η δημοσίευση των χωρικών δεδομένων. Ένα τυπικό σχήμα WebGIS διαθέτει διαφορετικές παραλλαγές μεταξύ εξυπηρετητή και Client (πελάτη) όπως διαφαίνεται και στο σχήμα της Εικόνας 1. Ο χρήστης διατρέχει το διαδίκτυο ως client operator και έχει πρόσβαση στο σύστημα με τη βοήθεια ενός φυλλομετρητή (browser) μέσω της διαχείρισης κειμένων σε HTML μορφή. Αξιοσημείωτο είναι πως δύναται η προβολή και χρήση εικόνων/ χαρτών σε ψηφιδωτή μορφή (raster) μέσω πρότυπων μορφών αρχείων όπως TIFF (Tag Image File Format), GIF (Graphic Interchange Format), JPEG (Joint Photographic Experts Group), και PNG (Portable Network Graphics).



Εικόνα 1: Σχήμα Διαδικτυακού ΓΣΠ

⁵ <http://techterms.com/definition/hypertext>

Η διαλειτουργικότητα με αυτές αλλά και άλλες μορφές δεδομένων (vector, audio, video, κ.τ.λ.) απαιτεί στρατηγικές επεκτασιμότητας από τον φυλλομετρητή. Περιλαμβάνει λοιπόν τις επεκτάσεις (plug-ins), τα Active-X controls και μικροεφαρμογές Java.

Κατ' ουσίαν τα WebGIS αξιοποιούν τη δυνατότητα οπτικοποίησης HTML σελίδων από τον browser με σκοπό την παρουσίαση του περιεχομένου του GIS server με δυναμικό τρόπο. Αυτό επιτυγχάνεται με τις μεθόδους που ακολουθούν, σε συνδυασμό ή αποκλειστικά.

- CGI Program (Common Gateway Interface): παρέχει τη δυνατότητα ανάκλησης μίας εφαρμογής που απαιτείται για την πραγματοποίηση σύνδεσης με το server της βάσης που παρέχει την χωρική πληροφορία, η οποία εισάγεται στη σελίδα HTML. Αξιοσημείωτο είναι ότι η τεχνολογία CGI δρα ανεξάρτητα από τη γλώσσα προγραμματισμού που υλοποιείται.
- Web server - API (Application Program Interface): Αποτελεί την υφιστάμενη διεπαφή του server και επιτρέπει τη μερική βελτιστοποίηση της μνήμης του διακομιστή.
- Active Server Pages (ASP): Είναι εργαλείο κατασκευής ιστοσελίδων δυναμικού περιεχομένου, το οποίο έχει αναπτυχθεί από την Microsoft. Αντιπροσωπεύει την τεχνολογία εκτέλεσης κώδικα σε web server.

Σήμερα, υπάρχει πλήθος εφαρμογών Web GIS που εξυπηρετούν ένα εύρος σκοπών, με την περισσότερη διαδεδομένη να είναι εκείνη του Google Maps. Η Google έχει αναπτύξει μία πολύ πετυχημένη πλατφόρμα που υποστηρίζει πλήθος εφαρμογών (ευρετήρια, κοντινότερες αποστάσεις κ.τ.λ.) και λειτουργεί σε όλες τις σύγχρονες πλατφόρμες.

Η σχετική ευκολία με την οποία παρέχονται πλέον τα χαρτογραφικά υπόβαθρα (Google Maps, Open Street Maps κ) έχει δώσει μεγάλη ώθηση στην ανάπτυξη του Web GIS. Όλοι οι κλάδοι της επιστήμης και της οικονομίας παρέχουν πεδίο ανάπτυξης τέτοιων εφαρμογών αναδεικνύοντας τη σύγχρονη σημασία της χωρικής πληροφορίας.

1.3.3. Συμμετοχικά ΓΣΠ

Οι σύγχρονες εξελίξεις στην τεχνολογία πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών φέρνουν τη γεωγραφική πληροφορία στην δημόσια επικρατούσα τάση, διότι οι χρήστες έχουν πλέον τη δυνατότητα να εμπλακούν στη διανομή της. Επίσης, η εφαρμογή των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών απαιτεί την βαθειά γνώση σε επιστημονικά και τεχνολογικά θέματα. Η περαιτέρω εφαρμογή τους εγείρει ζητήματα όπως ο έλεγχος και η ιδιοκτησία της γεωγραφικής πληροφορίας, η αναπαράσταση της τοπικής και γηγενούς γνώσης, η κλίμακα και η κλιμάκωσή της. Οι εφαρμογές των ΓΣΠ διαθέτουν διαστάσεις πολιτικού, ηθικού και θεσμικού περιεχομένου και από τα τέλη της δεκαετίας του '90 έχει δημιουργηθεί η ανάγκη

για την ανάπτυξη μίας περισσότερο κοινωνικό - κεντρικής προσέγγισης των GIS. Η κριτική στις συμβατικές μορφές GIS έχουν προκαλέσει πληθώρα εναλλακτικών εφαρμογών, βάσει κοινωνικών παραγόντων, διατηρώντας τις αρχές λειτουργίας ενός συστήματος ΓΣΠ.

Τα Συμμετοχικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών⁶ αποτελούν μία συμμετοχική προσέγγιση στο χωρικό σχεδιασμό, τη χωρική πληροφορία και τη διαχείριση των επικοινωνιών (Abbot et al. (1998)). Αποτελούν μία προσπάθεια αξιοποίησης της επιστήμης των ΓΣΠ βάσει του περιεχομένου των αναγκών και των δυνατοτήτων που διαθέτουν οι εμπλεκόμενες κοινότητες, με σκοπό την ανάπτυξη σχεδίων εφαρμόσιμων κατά περίπτωση. Βασίζονται λιγότερο στη λειτουργικότητα του λογισμικού, αλλά περισσότερο στο πλαίσιο (τεχνικό, κοινωνικό, πολιτικό) εφαρμογής τους. Έχουν ήδη εφαρμοστεί σε ευρύ φάσμα αντικειμένων όπως στη χωροταξία, το σχεδιασμό διαχείρισης φυσικών πόρων και την προστασία και διαχείριση περιβάλλοντος.

Η βασική προσφορά των PGIS στη λήψη αποφάσεων είναι ότι βασίζονται στη "χωρική δημοκρατία", χαρακτηριστικό που τους προσδίδει το χαρακτηρισμό "τεχνολογία με κοινωνική συνείδηση". Η πολυπλοκότητα και ποικιλομορφία ενός συστήματος συμμετοχικής γεωγραφίας διαφαίνονται στις αρχές του: ανάπτυξη κοινοτήτων, ανάπτυξη τεχνικών δεξιοτήτων, δημόσια πρόσβαση σε επίσημα δεδομένα, ένταξη ατόμων από περιθωριοποιημένες ομάδες, οργανωτική εφαρμογή μέσω συνεργασιών και πρακτικής εφαρμογής μέσω πληθώρας μορφών και τύπων δεδομένων και εννοιολογικές συσχετίσεις με την κοινωνική θεωρία και ποσοτικά εργαλεία έρευνας (Aberley and Sieber, 2002). Αποτελούν χρήσιμο εργαλείο σε φορείς προστασίας του περιβάλλοντος, καθώς παρέχουν τη δυνατότητα διεύρυνσης του αριθμού των εμπλεκόμενων και συνάμα λειτουργούν ως εργαλείο πολιτικής επιρροής. Το πεδίο κριτικής τους χαρακτηρίζεται από την πληθώρα και την ασάφεια των δεδομένων που καταγράφονται και προκύπτει πως εφαρμόζοντάς τα δημιουργούνται ζητήματα ελέγχου ποιότητας και πιστότητας των δεδομένων.

Τα διαδικτυακά ΓΣΠ αποτελούν τον απόλυτο ορισμό των PGIS, επειδή - σε θεωρητικό επίπεδο τουλάχιστον - παρέχουν πρόσβαση σε απεριόριστο αριθμό πολιτών. Συνεπώς, τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν τις διαδικτυακές εφαρμογές συγκλίνουν με εκείνα των PGIS, δηλαδή την ενεργοποίηση της ευρείας διάδοσης και της διαδραστικότητας κατά τη λήψη αποφάσεων. Ένα άλλο χαρακτηριστικό γνώρισμα είναι η ενσωμάτωση διαδικτυακών συμμετοχικών συστημάτων σε υφιστάμενες τεχνολογικές δομές, όπως τα weblogs και το GPS. Η προσβασιμότητα των διαδικτυακών GIS σε συνδυασμό με την ηλεκτρονική συμμετοχή δίνει υπεραξία στη συλλογή δεδομένων για ένα δημόσιο GIS. Επιπλέον, οι νέες διαδικτυακές μορφές ΓΣΠ παρέχουν περισσότερες δυνατότητες εκπαίδευσης καθώς

⁶ Participatory Geographical Information System (PGIS)

αποδεικνύονται απλούστερες, οικονομικότερες και με μεγαλύτερη πρόσβαση (Bishop et al. , 2002).

Οι διαστάσεις της εφαρμογής των PGIS διαφοροποιούνται από τα συμβατικά GIS. Παρόλα ταύτα έχουν δύο αλληλένδετες πτυχές, τη φύση και τους φυσικούς περιορισμούς των δεδομένων που τροφοδοτούνται στο σύστημα.

1.3.4. Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης - GPS

Το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης εφαρμόζεται σε τοπογραφικές και γεωδαιτικές μελέτες, καθώς και σε εφαρμογές επίγειας, εναέριας και θαλάσσιας πλοήγησης. Το πλέον διαδεδομένο σύστημα είναι το NAVSTAR (ΗΠΑ), με τα GLONASS (Ρωσία) και GALILEO (Ευρώπη) να αξιοποιούνται σε μικρότερο βαθμό.

Το Σύστημα διακρίνεται σε τρία τμήματα, διαστημικό (Space), ελέγχου (Control) και χρήστη (User). Το πρώτο αφορά στο σχηματισμό των δορυφόρων στο διάστημα, οι οποίοι βρίσκονται σε κεκλιμένες τροχιές σε σχέση με το επίπεδο του ισημερινού. Ο σχηματισμός μεταδίδει δεδομένα στους επίγειους σταθμούς μέσω ενός πολύπλοκου σήματος, λαμβάνοντας υπόψη το χρόνο αναφοράς και ταυτόχρονα λαμβάνει και εκτελεί οδηγίες από το τμήμα ελέγχου. Ο έλεγχος πραγματοποιείται μέσω των επίγειων σταθμών, οι οποίοι διαχειρίζονται την ομαλή λειτουργία του σχηματισμού δορυφόρων, ελέγχοντας βασικές τους λειτουργίες στο διάστημα. Οι χρήστες από μεριάς τους, διαθέτουν παθητικούς δέκτες που διαχειρίζονται το συντονισμό των σημείων στην επιφάνεια της γης.

Το σύστημα GPS βασίζεται στη μέτρηση της απόστασης μεταξύ δορυφόρου και δέκτη. Η επιτυχής καταγραφή του σημείου απαιτεί την ταυτόχρονη λήψη πληροφορίας από τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους. Η συγκεκριμένη πληροφορία αποτελεί ψηφιακό σήμα όπου και αναπαράγεται με καθυστέρηση λόγω της διάδοσής του στο διάστημα. Πολύ σημαντική είναι η μέτρηση της απόστασης μεταξύ δορυφόρου και δέκτη, η οποία προκύπτει από δύο τρόπους, το μέτρο ψευδο-απόστασης (Δt) και το μέτρο φάσης ($\Delta \lambda$).

Οι συντεταγμένες ενός σημείου υπολογίζονται με στατικό και κινηματικό τρόπο, με απόλυτη, σχετική ή διαφορική μέθοδο. Οι δέκτες διακρίνονται βάσει της συχνότητας και του τύπου μέτρησης ως εξής:

- δείκτες ψευδο-αποστάσεων (pseudo-distance receivers),
- δείκτες μονής συχνότητας και
- δείκτες διπλής συχνότητας.

Παράγοντες όπως φυσικές παρεμβολές στην τροπόσφαιρα και ιονόσφαιρα, καθώς και συστημικά λάθη στην τροχιά του δορυφόρου και το δέκτη ενδέχεται να προκαλέσουν σφάλμα στην αναγνώριση θέσης από το σύστημα. Τέλος, το σύστημα αναφοράς WGS84 είναι ευρέως χρησιμοποιούμενο από το GPS και το GALILEO, ενώ αντίθετα το GLONASS ακολουθεί το σύστημα PZ90.

1.3.5. Internet of Things (IoT) και GIS

Το διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) αποτελεί την αξιοποίηση καθημερινών αντικειμένων (κυρίως ψηφιακών συσκευών) με σκοπό τον εμπλουτισμό της πληροφορίας στο διαδίκτυο. Οι ηλεκτρονικές συσκευές με σύνδεση στο διαδίκτυο, όντας ενσωματωμένες στο καθημερινό περιβάλλον, παρέχουν πλέον τη δυνατότητα άμεσης επικοινωνίας με τον άνθρωπο. Θεωρείται ως ένας συναρπαστικός τομέας της έρευνας, κυρίως όσον αφορά στην αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή (HCI) λόγω της συνεχούς αύξησης του πλήθους των διαδραστικών εφαρμογών που αφορούν τον άνθρωπο και το περιβάλλον του. Η διάδραση μεταξύ φορητών συσκευών και ανθρώπου, οδηγεί στην ανάπτυξη διαφόρων μεθοδολογιών για την παρακολούθηση φυσικών αντικειμένων και καταστάσεων. Συνεπώς, αποτελεί μία φυσική και πηγαία μέθοδο ανάπτυξης μεθόδων και υπηρεσιών για τον άνθρωπο και το περιβάλλον του.

Η εξέλιξη του IoT βασίζεται στην αλληλεπίδραση μεταξύ ανθρώπου και τεχνολογίας και ακολούθως στην ανάπτυξη διεπαφών που επιτρέπουν την παρατήρηση και παρακολούθηση των προκείμενων συσκευών. Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι IoT συσκευές λειτουργούν πρωτίστως βάσει αυτοματισμού, η λειτουργία τους βασίζεται στο σχεδιασμό διεπαφών ελέγχου υπό αρχικές ρυθμίσεις. Οι πιο επιτυχημένες πρακτικές εφαρμογές IoT επικεντρώνονται κυρίως στην διάδραση ανθρώπου - υπολογιστή που επικεντρώνεται σε διαδικτυακά και φορητά περιβάλλοντα διεπαφής χρήστη, καθώς και σε ενσωματωμένες συσκευές αλληλεπίδρασης (πχ οθόνες αφής).

Οι συσκευές και εφαρμογές IoT διαθέτουν "έξυπνες δυνατότητες" στη λειτουργία και τη χρηστικότητά τους. Ιδιαίτερα επιθυμητή είναι η αλληλεπίδραση με τη συσκευή απευθείας κατά τη διάρκεια της χρήσης (on-the-fly), αντίθετα με τον έμμεσο τρόπο που χρησιμοποιεί γραφική διεπαφή χρήστη. Η ανθρωποκεντρική αλληλεπίδραση είναι απαραίτητη καθώς ενισχύει τη συσχέτιση μεταξύ αυτοματισμού και ανθρωπίνου ελέγχου. Η συσχέτιση αποτελεί μία από τις πιο ενδιαφέρουσες όψεις του IoT επειδή η προερχόμενη από τον άνθρωπο πληροφορία είναι συνήθως πολύτιμη και εξαιρετικής σημασίας στις περισσότερες των εφαρμογών.

Η ανθρώπινη αλληλεπίδραση με την τεχνολογία συνυπάρχει με την έννοια του διαδικτύου των πραγμάτων, καθώς ενισχύει πρωτότυπες δυνατότητες. Τα αντικείμενα (τεχνολογικά ως επί τω πλείστον) του περιβάλλοντος μας αυξάνουν την "εφύλη" λειτουργία τους καθώς επικοινωνούν αυτόματα μεταξύ τους και με τον άνθρωπο, μέσω δικτύων υποστηριζόμενα από διεπαφές. Με την συνεχή ανάπτυξη του IoT να παρουσιάζει ταχεία επέκταση σε τομείς των επιχειρήσεων, της βιομηχανίας και πρωτίστως σε οικιακές και προσωπικές συσκευές. Ο συσχετισμός της έρευνας και της ανάπτυξης στην επιστήμη και τη βιομηχανία έχει ανοίξει νέες διόδους εξερεύνησης για το πώς θα ενισχύσει την καθημερινότητα η αενάως

συνδεσιμότητα. Βασικό στοιχείο της συνδεσιμότητας είναι η ανάπτυξη συλλογής σημαντικών για τον άνθρωπο δεδομένων από τον πραγματικό κόσμο.

Η απόδοση των συνηθισμένων αντικειμένων ενισχύεται από την υλοποίηση δομών εισόδου και εξόδου (Input and Output), κάτι που περιγράφει την έννοια της Ενσωματωμένης Αλληλεπίδρασης (Embedded Interaction). Ο συνδυασμός δεδομένων από διάφορα αντικείμενα και η αλληλεπίδραση μαζί τους με γνώμονα το χρόνο ενδέχεται να οδηγήσει σε νέα αναδυόμενη γνώση, άμεσα διαθέσιμη για το χρήστη ή σε ένα περιβάλλον επίγνωσης με σκοπό την εξαγωγή προτάσεων για τη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης.

Στους βασικούς στόχους υλοποίησης εφαρμογών IoT συμπεριλαμβάνεται η δημιουργία συνδέσμων μεταξύ φυσικού και ψηφιακού κόσμου, ενσωματώνοντας συμπεριφορές αλληλεπίδρασης σε υφιστάμενα αντικείμενα. Οι συμπεριφορές προσδίδουν νόημα στο πλήθος δεδομένων που τις αντιπροσωπεύουν καθώς ενεργοποιούν την απόκτηση γνώσεων για το υπό μελέτη αντικείμενο. Οι οικείες δυνατότητες του IoT παρέχουν την ευκαιρία στο χρήστη να καθίσταται δημιουργός, αντί καταναλωτής, δεδομένων και πληροφορίας. Σε θεωρητικό επίπεδο, η έντονη συνδεσιμότητα αποτελεί ένα μεγάλο βιολογικό ον, στο οποίο ο άνθρωπος είναι στο κατώτατο σημείο της τροφικής αλυσίδας. Η ουσιαστική προσβασιμότητα της πληροφορίας γίνεται εφικτή μέσω ευφυής ανάλυσης και επιλεκτικής διάκρισης.

Οι φορητές συσκευές και τα φυσικά αντικείμενα αλληλεπιδρούν μεταξύ τους στον πραγματικό κόσμο. Η σχέση τούτη κερδίζει όλο και περισσότερο την προσοχή καθώς παρέχει ένα φυσικό και πρωτότυπο τρόπο αναζήτησης υπηρεσιών που σχετίζονται με αντικείμενα του πραγματικού κόσμου. Το IoT παρέχει ένα σύνολο προτύπων και μεθόδων ταυτοποίησης πραγματικών αντικειμένων και ακολούθως υποστηρίζει την ανάπτυξη και διάδοση τις αλληλεπιδράσεις στον πραγματικό κόσμο. Οι σημερινοί χρήστες της τεχνολογίας είναι βαθειά συσχετισμένοι με την πληροφορία καθώς προσφέρονται εξαιρετικά εκλεπτυσμένες μέθοδοι ανάκτησης της πληροφορίας και εν γένει αξιοποίησής της.

Η αναλυτική και πρότυπη περιγραφή των φυσικών αντικειμένων συγκροτούν το σκοπό του IoT, προσδίδοντας ξεχωριστή ψηφιακή παρουσία, γεγονός που προκαλεί μεγάλο ενδιαφέρον στη βιομηχανία και την επιστήμη. Τα φυσικά αντικείμενα εξατομικεύονται και περιγράφονται με πρότυπο τρόπο, διευκολύνοντας έτσι την πρόσβαση και διάδραση με αυτά. Η συσχέτιση του IoT και της διάδρασης με τις φορητές συσκευές υποστηρίζει την ανάπτυξη νέων μεθόδων αλληλεπίδρασης με το φυσικό κόσμο. Η τεχνολογία των διαδικτυακών υπηρεσιών παρέχει νέες μεθόδους διανομής της πληροφορίας και των ψηφιακών υπηρεσιών, απαλείφοντας παράλληλα θέματα διαλειτουργικότητας, ενισχύοντας την επεκτασιμότητα, ανεξαρτησία και τυποποιημένη συναλλαγή των δεδομένων.

Η εξέλιξη της σύγχρονης τεχνολογίας GPS (Global Positioning System) καθώς και της ανάπτυξης νέων δυνατοτήτων ανάλυσης και παρουσίασης της χωρικής πληροφορίας συντελούν στη διεύρυνση των εφαρμογών στην επιστήμη των

Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Επιπροσθέτως η μαζικοποίηση του Mobile Internet μέσω φορητών συσκευών (smartphones, tablets, smartwatches) παρέχει τη δυνατότητα τροφοδότησης του διαδικτύου από τον απλό χρήστη ως ενεργό μέλος μίας "ψηφιακής κοινότητας".

2. Μεθοδολογία

Η στόχευση της εργασίας επικεντρώνεται στην κατασκευή ενός συστήματος καταγραφής της κατάστασης του περιβάλλοντος. Το σύστημα εμπεριέχει δομές λογισμικού και υλικού (Software and Hardware) με άξονα τις προσβάσιμες τεχνολογίες ανοιχτού περιεχομένου. Επιπροσθέτως, η ακρίβεια των καταγραφών προϋποθέτει την τήρηση επιστημονικών αρχών έρευνας ειδικά για τα φυσικά φαινόμενα που μελετώνται.

Η σύγχρονη επιστήμη παρέχει δυνατότητες αναγνώρισης και μελέτης πληθώρας στοιχείων και χαρακτηριστικών του περιβάλλοντος. Ειδικότερα, η γνώση φυσικοχημικών παραμέτρων οδηγεί στην εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την ποιότητα του φυσικού χώρου που μελετάται. Οι τεχνολογικές μέθοδοι καταγραφής παρουσιάζουν ορισμένους περιορισμούς που ενδέχεται να επηρεάσουν την πιστότητα των ερευνητικών αποτελεσμάτων. Συνεπώς, ο σχεδιασμός μίας ολοκληρωμένης πλατφόρμας περιβαλλοντικής παρακολούθησης λειτουργεί σε διεπιστημονικό επίπεδο και παντρεύει διαφορετικές μεθοδολογίες (τεχνολογικές και μη) μεταξύ τους.

Το προτεινόμενο σύστημα στηρίζει τη λειτουργία του σε ειδικευμένες συσκευές καταγραφής, οι οποίες έχουν αναπτυχθεί μέσω της πλατφόρμας ανοιχτού και ελεύθερου υλικού Arduino. Η Ανοιχτότητα (Open Source) είναι μία απαραίτητη παράμετρος στην όλη υλοποίηση, καθώς παρέχει δυνατότητες πληροφορίας και γνώσης που διευκολύνει την διαδικασία ανάπτυξης. Το ελεύθερο και ανοιχτού κώδικα λογισμικό βασίζεται στην ελεύθερη διάθεση του πηγαίου κώδικα, το οποίο παρέχει τη δυνατότητα αλλαγών ή βελτιώσεων ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες του εκάστοτε χρήστη. Η ανάπτυξη κώδικα και η παραμετροποίηση των συσκευών λαμβάνει χώρα σε όλα τα στάδια της εργασίας και υλοποιείται αποκλειστικά μέσω ελεύθερου λογισμικού.

Η μεθοδολογία υλοποίησης συνοψίζεται στα εξής στάδια:

- Προσδιορισμός της μελέτης περίπτωσης,
- Διάκριση των υπό μελέτη μεταβλητών,
- Σχεδιασμός δομών λογισμικού (Software),
- Ανάλυση συστημάτων για τη συγκέντρωση του υλικού (Hardware),
- Ανάπτυξη του Εξυπηρετητή και του Συστήματος Διαχείρισης Βάσης Δεδομένων,
- Κατασκευή πρότυπης συσκευής καταγραφής,
- Ανάπτυξη πρότυπης εφαρμογής Android και
- Ανάπτυξη πλατφόρμας Web GIS.

2.1. Μέθοδοι παρακολούθησης του περιβάλλοντος

2.1.1. Αυτοματοποιημένη καταγραφή

Οι κλασσικές μέθοδοι παρακολούθησης του περιβάλλοντος βασίζονται σε εργασίες με τυπικές ακολουθίες αποσκοπώντας στη διατήρηση της πιστότητας των εκάστοτε μετρήσεων. Απαιτούν χρόνο, είναι χειρωνακτικές και εξαρτώνται από το ανθρώπινο παράγοντα. Οι σύγχρονες εξελίξεις στην τεχνολογία των φορητών συσκευών και η αύξηση της υπολογιστικής ικανότητας των Υ/Η προσφέρουν νέες ευκαιρίες ανάπτυξης αυτοματοποιημένων συσκευών ικανές να καταγράψουν πληθώρα φυσικών μεγεθών.

Ένα αυτοματοποιημένο σύστημα καταγραφής βασίζεται στην αξιοπιστία και πιστότητα των συσκευών καταγραφής καθώς και στη βέλτιστη συλλογή και διαχείριση των δεδομένων (Alferes et al., 2014). Επίσης, οφείλεται να δοθεί σαφές πλαίσιο συλλογής δεδομένων αποσκοπώντας στην εξαγωγή ρεαλιστικών συμπερασμάτων για την κατάσταση του περιβάλλοντος.

Μία αυτοματοποιημένη καταγραφή παρέχει:

- Σημαντική οικονομία χρόνου και πόρων,
- Μειωμένη ανθρώπινη παρέμβαση,
- Χαμηλές απαιτήσεις σε ενέργεια και συνάμα μείωση περιβαλλοντικού αποτυπώματος,
- Διάρκεια και συνέχεια καταγραφών,
- Δυνατότητα απομακρυσμένης παρακολούθησης και
- Ταυτόχρονο έλεγχο σε διαφορετικές τοποθεσίες.

2.1.2. Χωρικές μεταβλητές

Η εξάπλωση της υπολογιστικής επιστήμης στην εποχή μας έχει προσδώσει νέα χαρακτηριστικά στην χαρτογραφία. Τα τεχνικά μεγέθη ορίζονται ως χαρτογραφικά υποκείμενα που θεμελιώνονται ως χαρακτηριστικά με συνοχή, πιστότητα και αναγνωσιμότητα. Οι σύγχρονες μορφές χαρτογραφίας διακρίνονται σε παραδοσιακή, αυτοματοποιημένη και αριθμητική ή ψηφιακή (Gomarasca, 2009) και αναπτύσσονται στο πλαίσιο των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.

Οι μεταβλητές και τα γεωγραφικά στοιχεία αποτελούν κωδικοποίηση των οντοτήτων που περιγράφονται σε ένα ΓΣΠ. Η αποτελεσματική χρήση των χωρικών δεδομένων απαιτεί τον εύκολο εντοπισμό τους και την αυτοματοποίηση των ερωτημάτων. Σημαντικός παράγοντας αποτελεί τη αποθήκευση δεδομένων που ικανοποιεί ένα ΓΣΠ. Υλοποιείται μέσω αρχειακών δομών που επιτρέπουν την ταχεία πρόσβαση και την αποτελεσματική διαχείριση ερωτημάτων. Η κωδικοποιημένη μορφή των συντεταγμένων που αντιστοιχούν σε κάθε αντικείμενο και οντότητα περιγράφεται μέσω σχεσιακών δομών, οι οποίες συνδέουν το πληροφοριακό περιεχόμενο με τις θέσεις του στο χώρο. Επιπροσθέτως, τα περισσότερα φυσικά χαρακτηριστικά μεταβάλλονται μέσα στο χώρο και το χρόνο.

Οι απεικονίσεις της χαρτογραφίας περιλαμβάνουν στοιχεία που αφορούν στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους και την ανθρώπινη δραστηριότητα. Αυτές οι οντότητες διακρίνονται μέσω ενός κοινώς αποδεκτού συστήματος αναφοράς με σκοπό τη συμβολική περιγραφή της ιδιότητάς τους. Συνοπτικά, τα χωρικά δεδομένα διαχωρίζονται από τους υπόλοιπους τύπους δεδομένων, επειδή διαθέτουν χωρικό προσανατολισμό και εμπεριέχουν περιγραφικά και χωρικά χαρακτηριστικά (Gomarasca, 2009). Η περιγραφική τους φύση παρέχει δυνατότητες βελτίωσης της γνώσης σε σχέση με τα γεωγραφικά στοιχεία και φαινόμενα της γήινης επιφάνειας, την εκτίμηση των επιπτώσεων και συνεπειών των ανθρώπινων δραστηριοτήτων και την υποστήριξη σε θέματα λήψης αποφάσεων.

Οι περιγραφικές μεταβλητές που εισέρχονται σε ένα σύστημα χωρικής ανάλυσης σχετίζονται με γεωγραφικές ιδιότητες και αναπαριστώνται με γεωμετρική μορφή. Οι μορφές τους διακρίνονται σε σημεία, γραμμές και πολύγωνα που αντιστοιχούν σε σημεία στο χώρο, διαδρομές ή διασχίσεις και επιφάνειες. Μία ακόμα σημαντική παράμετρος των χωρικών μεταβλητών είναι η κατανομή τους στο χώρο και το χρόνο. Οι χώρο-χρονικές μεταβολές υποδεικνύουν διαφοροποιήσεις στα περιγραφικά χαρακτηριστικά του κάθε υποκειμένου που αναπαριστούν, πχ η πληθυσμιακή μεταβολή σε βάθος δεκαετιών.

Η πρωτογενής συλλογή γεωγραφικών δεδομένων υλοποιείται μέσω των εργασιών πεδίου και της τηλεπισκόπησης. Και οι δύο μέθοδοι, παρότι αποτελεσματικές, είναι χρονοβόρες και έχουν κόστος σε πόρους. Η αξιοποίηση του Παγκοσμίου Συστήματος Εντοπισμού Θέσης προσφέρει άμεση καταγραφή των χωρικών παραμέτρων, καθώς και ευκολία στον εμπλουτισμό τους με περιγραφικά στοιχεία. Ένα σύγχρονο ΓΣΠ συγκροτεί ένα πεδίο εφαρμογής σύνθετων λειτουργιών ανάλυσης. Ορισμένες από αυτές διακρίνονται σε μετρητικές, επίθεσης, ταξινόμησης, γενίκευσης, γειτονίας και παρεμβολής.

2.1.3. Διαχείριση και διαμοιρασμός καταγραφών

Το πεδίο της γεωματικής παρέχει πληθώρα τεχνικών και εργαλείων που εφαρμόζεται στην περιβαλλοντική επιστήμη. Αξιοποιεί θεμελιώδεις λειτουργίες της επιστήμης των υπολογιστών με σκοπό την εκτέλεση οδηγιών και την αποθήκευση περιβαλλοντικών μεταβλητών (Gomarasca, 2009). Ένα ολοκληρωμένο ψηφιακό σύστημα παρακολούθησης του περιβάλλοντος διαθέτει δύο συστατικά στοιχεία, το υλικό και το λογισμικό. Τα προγράμματα που εκτελούνται από το σύστημα (λογισμικό) υλοποιούν λειτουργίες επεξεργασίας μέσω αλγορίθμων που με τη σειρά τους περιγράφουν μία αλληλουχία καθορισμένων βημάτων για την ολοκλήρωση μίας εργασίας. Το υλικό βασίζεται στην υπολογιστική επάρκεια του επεξεργαστή, η οποία στη συνέχεια καθορίζει τη δυνατότητα υλοποίησης σύνθετων αλγορίθμων.

Η προϋπόθεση μίας εφαρμογής παρακολούθησης του περιβάλλοντος είναι η μεταφορά δεδομένων και πληροφοριών μεταξύ των εμπλεκόμενων συστημάτων (Gomarasca, 2009). Η μετάδοση των καταγραφών πραγματοποιείται μέσω τοπικής ή

απομακρυσμένης επικοινωνίας. Απαραίτητη για την αναπαράσταση και σηματοδότηση δεδομένων, ελέγχου ταυτότητας και ανίχνευσης σφαλμάτων θεωρείται η αξιοποίηση πρωτοκόλλων επικοινωνίας.

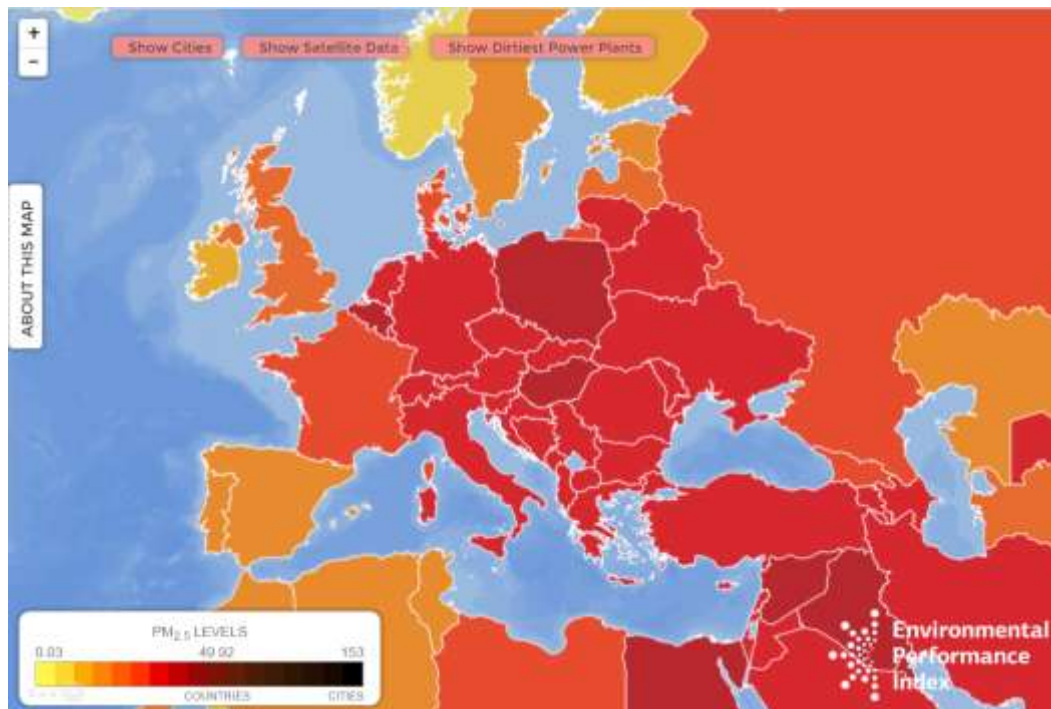
Συνοψίζοντας, οι μεταβλητές λαμβάνονται ως δυαδικές τιμές από ένα ηλεκτρονικό σύστημα και στη συνέχεια διαχειρίζονται από το εκάστοτε λογισμικό. Ακολουθεί ο διαμοιρασμός τους στα εμπλεκόμενα συστήματα μέσω δικτυακής επικοινωνίας και η αναπαράσταση τους ως τεχνικά μεγέθη (πχ θερμοκρασία σε °C). Ο σκοπός της εκάστοτε μελέτης καθορίζει τη μεθοδολογία ανάλυσής και απεικόνισής των μεταβλητών.

2.1.4. Πεδίο εφαρμογής

Το ευρύ φάσμα της περιβαλλοντικής πληροφορίας περιλαμβάνει επίσης δεδομένα με χωρική δομή. Η ραγδαία ανάπτυξη των μεθόδων της γεωματικής δημιουργεί ζητήματα στοχασμού σε σχέση με τα υποκείμενα που μελετώνται (Gomarasca, 2009). Η οντολογία λειτουργεί καθοριστικά στον προσδιορισμό της γεωγραφικώς νοούμενης περιβαλλοντικής πληροφορίας. Η εννοιολογική προέλευση του όρου πηγάζει στις απαρχές της φιλοσοφίας με αναφορά στην επιστήμη ως ιστορικό γεγονός και έκφραση της ανθρώπινης λογικής. Όσον αφορά στις θετικές επιστήμες η Οντολογία αποτελεί τον ορισμό της εννοιολογίας και την περιγραφή των εννοιών, καθώς και τις υφιστάμενες συσχετίσεις ενός στοιχείου ή μεταξύ στοιχείων μίας ομάδας, οντότητας ή κατηγορίας.

Η χρησιμότητά της στην περιβαλλοντική επιστήμη εντοπίζεται πρωτίστως σε εφαρμογές γεωματικής, καθώς ορίζονται οι διαφορετικές οντότητες που συμμετέχουν στο διαμοιρασμό και τη χρήση της γνώσης για τον καθορισμό οντολογικών παραδοχών. Οι παραδοχές βασίζονται στις επιστημονικές αρχές που δημιουργούν συσχετίσεις με τα υπό μελέτη υποκείμενα. Η τυπική μέθοδος αναπαράστασης της γνώσης βασίζεται στην εννοιολόγηση των υποκειμένων, εννοιών και άλλων οντοτήτων που σχετίζονται με την εκάστοτε μελέτη περίπτωσης. Παρότι είναι μία αφηρημένη και απλοποιημένη αναπαράσταση του φυσικού κόσμου, η οντολογία αποτελεί τον ορισμό της λογικής θεωρίας. Η οντολογία προσεγγίζεται μεθοδολογικά μέσω συλλογιστικών αλληλουχιών όπως αποδομητική σκέψη, εξιδανίκευση και αφαίρεση του επιστημονικού μοντέλου. Ένα παράδειγμα οντολογίας στην χωρική περιβαλλοντική πληροφορία είναι η απεικόνιση με χρωματική κλίμακα του ποσοστού της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο χώρο και η απεικόνισή του σε χάρτη.

Χάρτης 1: Αναπαράσταση Ατμοσφαιρικής ρύπανσης, πηγή: visuals.datadriven.yale.edu



2.1.5. Παράμετροι Παρακολούθησης του Περιβάλλοντος

Η προκείμενη μελέτη αποσκοπεί στην εξαγωγή ποιοτικών συμπερασμάτων μέσω της ανάλυσης ποσοτικών μεταβλητών. Εκείνες λαμβάνουν υπόψη μεταβολές εγγύτερα της συσκευής αυτοματοποιημένα, χωρίς να απαιτείται κάποια ιδιαίτερη προετοιμασία ή διεργασία. Μελετώνται η σχετική υγρασία και μέση θερμοκρασία του αέρα, η ατμοσφαιρική ρύπανση (μέσω της μελέτης CO & CH₄), η φωτορύπανση και τέλος εξετάζεται πειραματικά η ηχορύπανση. Όλα τα ανωτέρω τεχνικά μεγέθη σχετίζονται άμεσα ή έμμεσα με την υποβάθμιση του περιβάλλοντος, εφόσον τα όργανα καταγραφής χρησιμοποιούνται σε προκαθορισμένες συνθήκες. Οι παραγόμενες τιμές περιγράφουν τη συμπεριφορά των οργάνων ανάμεσα στα προκαθορισμένα χρονικά σημεία της μεταβολής του μεγέθους και της σταθεροποίησης της ένδειξης του οργάνου. Ο κάθε αισθητήρας διαθέτει διαφορετική μορφή απόκρισης καθώς διακρίνονται σε μηδενικής και πρώτης τάξης καταγραφής. Η μηδενική αφορά σε άμεση απόκριση του οργάνου στο απόλυτο μέγεθος που περιγράφεται και πρώτη τάξη σχετίζεται με την βηματική μεταβολή της καταγραφής έπειτα από σταθεροποίηση του αισθητήρα. Αξίζει να σημειωθεί πως η εφαρμογή λαμβάνει τις μετρήσεις βάσει ποιοτικών κριτηρίων και δεν δύναται να συγκριθεί με εξειδικευμένες συσκευές που διατίθενται στο εμπόριο.

Σχετική Υγρασία και Μέση Θερμοκρασία

Ένα από τα πιο θεμελιώδη ζωτικά συστατικά του πλανήτη είναι το νερό, το οποίο βρίσκεται σε όλες τις φυσικές μορφές. Διαδραματίζει ουσιαστικό ρόλο για τη

διαμόρφωση της μορφολογίας της γης, των χαρακτηριστικών της χλωρίδας και της πανίδας. Ο Υδρολογικός κύκλος κατευθύνει το νερό σε μία διαδρομή φυσικής μετάβασης μέσω της εξάτμισης, της συμπύκνωσης, της βροχόπτωσης, της απορροής και της κατείδυσης. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το στάδιο της εξάτμισης καθώς δεν είναι άμεσα αντιληπτή, παρόλο που σε πλανητική κλίμακα διοχετεύονται στην ατμόσφαιρα 10εκ τόνοι νερού σε ωριαία βάση. Το φαινόμενο αυτό παράγει την **Υγρασία** η οποία ορίζεται ως η φυσική διεργασία της μετατροπής του νερού σε υδρατμούς που γίνεται από τις υδάτινες επιφάνειες, τη βλάστηση και υγρό έδαφος. Είναι ένα μέγεθος που έρχεται σε συσχέτιση με την κατανομή της ηλιακής ενέργειας και την μετατροπή της σε λανθάνουσα θερμότητα μέσω της εξάτμισης του νερού στην ατμόσφαιρα. Η τελική διαφυγή μέρους της προς το διάστημα αποτελεί την κινητήρια δύναμη για τη διαμόρφωση του κλίματος και των καιρικών συνθηκών. Κατά την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας μέρος της θερμότητας που χρησιμοποιείται για την εξάτμιση του νερού βοηθά στο σχηματισμό των νεφώσεων στην ατμόσφαιρα.

Η διαδικασία της εξάτμισης και της διαπνοής μεταφέρει τεράστιες ποσότητες μαζών νερού και ενέργειας στην ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα την ανακατανομή της υγρασίας και της θερμότητας στην επιφάνεια του πλανήτη, με τη μορφή βροχόπτωσης και θερμών ανέμων. Οι υδρατμοί και τα νέφη που δημιουργούνται ελέγχουν άμεσα ή έμμεσα το ενεργειακό ισοζύγιο του πλανήτη με τους μηχανισμούς της απορρόφησης, της επανεκπομπής και της ανάκλασης της ηλιακής ενέργειας. Η ατμοσφαιρική υγρασία μετριέται ποσοτικά σε απόλυτα και σχετικά μεγέθη μέσω απόλυτων ποσοτήτων και σχετιζόμενα με τη θερμοκρασία αντίστοιχα. Η κοινότερη έκφραση της ατμοσφαιρικής υγρασίας είναι η Σχετική Υγρασία του αέρα (Relative Humidity - RH ή ϕ). Εκφράζεται από πηλίκο των υδρατμών που υπάρχουν σε μια ορισμένη χρονική στιγμή στην ατμόσφαιρα, ως προ το μέγιστο ποσό που θα μπορούσε να συγκρατήσει ο αέρας υπό την ίδια θερμοκρασία⁷ και ορίζεται σε % υγρασία. Τα ιδανικά ποσοστά για τον άνθρωπο κυμαίνονται μεταξύ 50% και 60%.

$$\phi = \frac{p_{H_2O}}{p_{H_2O}^*}$$

Η Υγρασία αποτελεί ένας κλιματικός παράγοντας που επηρεάζει άμεσα και έμμεσα την ποιότητα ζωής του ανθρώπου. Ο μηχανισμός της ψύξης μέσω της εξάτμισης (Evaporative Cooling) αποτελεί τον κύριο μηχανισμό για την απομάκρυνση της θερμότητας από τον άνθρωπο. Σε συνθήκες αυξημένης υγρασίας και θερμοκρασίας, ο ιδρώτας εξατμίζεται με βραδύτερους ρυθμούς, γεγονός που εμποδίζει τη εξαγωγή θερμικής ενέργειας από το ανθρώπινο σώμα προκαλώντας αρνητικές συνέπειες στο αναπνευστικό και ανοσοποιητικό των εκτιθέμενων ατόμων. Επιπλέον, έχει

⁷ p_{H_2O} : η μερική πίεση των υδρατμών, $p_{H_2O}^*$: η μέγιστη δυνατή πίεση των υδρατμών

παρατηρηθεί σε ευρύτερη κλίμακα η συσχέτιση μεταξύ Σωματιδιακής Ρύπανσης (Particle Pollution - PM) και σχετικής υγρασίας. Ειδικότερα, η συγκέντρωση των λεπτών σωματιδίων (Fine Particles PM_{2,5}⁸) τα οποία παράγονται από διάφορες μορφές καύσης (μηχανοκίνητα, μονάδες παραγωγής ενέργειας, καύση ξύλου κτλ).

Πέραν των άμεσων συνεπειών στην ανθρώπινη υγεία (ερεθισμοί αδένων, καρδιοαναπνευστικές παθήσεις κτλ) συμβάλλει στην πρόκληση νέφους στον αστικό ιστό. Τα υψηλά ποσοστά υγρασίας συνδράμουν στο σχηματισμό νέφους καπνομίχλης (Smog) που αποτελείται από υψηλές συγκεντρώσεις διοξειδίου του θείου (SO₂), αιωρούμενων σωματιδίων και χαμηλών τιμών θερμοκρασίας. Αντίθετα, χαμηλές τιμές σχετικής υγρασίας συνδέονται με την πρόκληση του φωτοχημικού νέφους σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και υψηλής συγκέντρωσης ενώσεων όπως εκείνων του οξειδίου του αζώτου και του μονοξειδίου του άνθρακα. Τα ανωτέρω φαινόμενα ενισχύονται με τη συνδρομή ανέμων χαμηλής έντασης που δεν επιτρέπουν τη διασπορά των μικροσωματιδίων.

Η **θερμοκρασία** είναι ένα φυσικό μέγεθος που σχετίζεται με τη στρωμάτωση της ατμόσφαιρας. Βασικό χαρακτηριστικό των ατμοσφαιρικών στρωμάτων αποτελεί η κατανομή της θερμοκρασίας σε συνάρτηση με το ύψος. Παρουσιάζει μεγάλη μεταβλητότητα σε ημερήσια και σε εποχιακή κλίμακα και είναι ένα χαρακτηριστικό που διαθέτουν όλα τα στοιχεία της φύσης (χλωρίδα, πανίδα, κλίμα). Σε μικρότερη κλίμακα θερμοκρασία ονομάζεται η θερμότητα ή ψυχρότητα ενός στοιχείου και μετριέται με βαθμούς Κελσίου (°C) ή Fahrenheit (°F) σε μία βαθμονομημένη κλίμακα. Η θερμική καταπόνηση (Thermal Stress) του φυσικού περιβάλλοντος και ειδικότερα των οικοσυστημάτων αποτελεί ένα φυσικό φαινόμενο. Ο συνδυασμός του με την αυξημένη τοξικότητα (Toxicant Stress) και την υπέρθεση άλλων ρυπαντικών παραγόντων επιδεινώνει τις συνέπειες στις βιολογικές και φυσικοχημικές διεργασίες της φύσης (Metelev et al., 1971). Διαφαίνεται συνεπώς ότι σε μεγάλο εύρος συνθηκών η ρύπανση ενισχύεται με την αρωγή της θερμοκρασίας ως φυσικός και κλιματικός παράγοντας, λαμβάνοντας όμως υπόψη πως η επίδρασή της έχει ποικίλη πρακτική σημασία, ανάλογα με την παράμετρο επιβάρυνσης που συνοδεύει.

Ατμοσφαιρική ρύπανση

Ατμοσφαιρικοί ρύποι⁹ ορίζονται αέρια ή αερολύματα που συναντώνται στην ατμόσφαιρα σε απειλητικές συγκεντρώσεις για την ομαλή διαβίωση και υγεία των έμβιων οργανισμών που ενδεχομένως να παρεμποδίζουν την ομαλή λειτουργία των οικοσυστημάτων. Ως πρωτογενείς ονομάζονται οι ρύποι που εκπέμπονται απευθείας στην ατμόσφαιρα (πχ μονοξείδιο του άνθρακα από τις εξατμίσεις των

⁸ PM_{2,5}: Μικροσωματιδιακοί ρύποι με διάμετρο ίση ή μικρότερη των 2,5 micrometers

⁹ Οδηγία 2008/50/ΕΚ

αυτοκινήτων) και δευτερογενείς εκείνοι που μετατρέπονται στην ατμόσφαιρα μέσω χημικών ή φωτοχημικών διεργασιών - με τη συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα δευτερογενούς ρύπου είναι το όζον, το οποίο παράγεται κυρίως από φωτοχημικό μετασχηματισμό.

Η χημική σύσταση της ατμόσφαιρας δεν είναι επακριβώς γνωστή στους ερευνητές καθώς ο αέρας είχε ήδη επηρεαστεί δραστικά από τις ανθρώπινες δραστηριότητες χιλιάδες χρόνια πριν ο άνθρωπος αποκτήσει τα ακριβή μέσα προσδιορισμού της. Μετά τη βιομηχανική επανάσταση η ατμοσφαιρική επιβάρυνση διευρύνθηκε σε πλανητικό επίπεδο, γεγονός που υποδεικνύεται με τα φαινόμενα της όξινης βροχής, του θερμοκηπίου και της μείωσης του στρώματος του όζοντος στη στρατόσφαιρα. Το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης έχει καθολική εξάπλωση στη γη μιας και επηρεάζεται από όλες τις κατηγορίες ρυπαντών. Περιγράφεται συνοπτικά ως εξής:

Διάγραμμα 1: Πρόβλημα ατμοσφαιρικής ρύπανσης, πηγή WWF Hellas

**εκπομπές → μεταφορά, διάχυση, μετατροπές στην ατμόσφαιρα →
επιπτώσεις σε οργανισμούς, υλικά, οικοσυστήματα**

Η ρύπανση της ατμόσφαιράς προσδιορίζεται μέσω της αναγνώρισης της συγκέντρωσης ενός ρύπου - χημικού στοιχείου - με βάση τη μάζα ή την ογκομετρική βάση. Η μάζα εκφράζεται σε μικρογραμμάρια (μg : 10^{-6}g) ανά κυβικό μέτρο αέρα ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) και η ογκομετρική βάση σε μέρη ανά εκατομμύριο (ppm^{10}).

Είναι γεγονός πως η πλειοψηφία των ανθρώπινων δραστηριοτήτων παράγουν άμεσα ή έμμεσα ρυπαντές επιβλαβείς για την ατμόσφαιρα. Οι ατμοσφαιρικοί ρυπαντές παρότι βρίσκονται ήδη στην ατμόσφαιρα, με την αύξηση της συγκέντρωσής τους δύναται να προκαλέσει δυσμενείς συνέπειες για την ανθρώπινη υγεία και τον πλανήτη ευρύτερα. Για το λόγο αυτό έχουν τεθεί εθνικά και διεθνή όρια ποιότητας, καθώς και κατηγοριοποίησης του ατμοσφαιρικού αέρα. Οι βασικοί ρύποι (priority pollutants) παρακολουθούνται, ελέγχονται και έχουν θεσπιστεί ειδικά όρια εκπομπών στην ΕΕ και τις ΗΠΑ. Σε αυτούς ανήκουν το Μονοξείδιο του Άνθρακα (CO) και το Βενζόλιο (C_6H_4).

Η μελέτη φαινομένων που χαρακτηρίζονται από μεταβλητή χωρική και χρονική εξάπλωση απαιτεί αυστηρό χωρικό προσδιορισμό. Αυτό επιτυγχάνεται με τη διάκριση σε πέντε διαφορετικές κλίμακες (Ρεμουντάκη, 2010) ανάλογα με την ακτίνα εξάπλωσης:

- a. Τοπική: 5 χλμ,
- b. Αστική: 50 χλμ,
- c. Περιφερειακή: 50 - 500 χλμ,
- d. Ηπειρωτική: > 500χλμ και
- e. Πλανητική

¹⁰ 1 ppm = 1 μονάδα όγκου αέριου ρύπου ανά 10^6 όγκοι (αέρας + ρύπος)

Η συγκέντρωση των ρύπων σε μία περιοχή (ανεξαρτήτως κλίμακας) εξαρτάται από τις ποσότητες εκπομπής των ρύπων, άμεσα εξαρτώμενες από το πλήθος και το μέγεθος των πηγών εκπομπής, καθώς και από τα μετεωρολογικά φαινόμενα της περιοχής μελέτης. Ο παράγοντας της διάχυσης (diffusion factor) αφορά στη συσχέτιση ατμοσφαιρικών με τοπογραφικών χαρακτηριστικών του περιβάλλοντος. Τα μετεωρολογικά στοιχεία συνεπικουρούν στα μοτίβα εξάπλωσης των αέριων ρύπων, κυρίως με τη μορφή αέριων και θερμοκρασιακών δομών. Η σύνθετη μορφολογία της επιφάνειας του εδάφους επιδρά στη θερμοκρασιακή κατάσταση και το προφίλ των ανέμων. Επί παραδείγματι οι κοιλάδες εμφανίζουν στασιμότητα των αέριων μαζών και ρύπανσης σε αντίθεση με πεδινές και λοφώδεις περιοχές. Ο παράγοντας της ατμοσφαιρικής σταθερότητας ή αστάθειας καθορίζει το βαθμό συσσώρευσης αερίων ρύπων σε μία δεδομένη περιοχή. Η διάχυση, πέραν των τοπογραφικών χαρακτηριστικών, επηρεάζεται επίσης και από περιβαλλοντικές μεταβλητές. Ο βαθμός υγρασίας και πίεσης αυξομειώνει την κίνηση των ρυπαντών σε ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Επιπροσθέτως, οι κατακρημνίσεις δρουν εξαγνιστικά για την ατμόσφαιρα, επιβαρύνοντας όμως το έδαφος με επιβλαβή στοιχεία.

Το **Μονοξείδιο του άνθρακα** (CO) παράγεται από διάφορες πηγές (φυσικές και ανθρωπογενείς) στην επιφάνεια της γης και φθάνει στην τροπόσφαιρα. Επιπλέον, παράγεται από τη φωτοχημική οξείδωση του μεθανίου και των οργανικών πτητικών ενώσεων. Σε συνθήκες υψηλής συγκέντρωσης είναι δηλητηριώδες και εξαιρετικά επικίνδυνο καθώς είναι άοσμο, άχρωμο και άγευστο. Η πλειοψηφία των εκπομπών προέρχεται από ανθρωπογενή αίτια και ξεπερνά τους 2,4 δις τόνους ετησίως (Δηλανάς, 1999). Αυξημένη συγκέντρωση σε CO παρατηρείται συνήθως σε πυκνοκατοικημένες περιοχές και σε περιοχές με υψηλή ρύπανση (βιομηχανικές, κέντρα πόλεων). Το έδαφος απορροφά ένα μικρό μέρος του μονοξειδίου του άνθρακα μέσω μικροβιακών διεργασιών και στην ατμόσφαιρα συμμετέχει στις χημικές διεργασίες δημιουργίας του όζοντος. Τέλος, ένα πολύ μικρό ποσοστό φθάνει στην στρατόσφαιρα, αντιδρά με το οξυγόνο και σχηματίζει διοξείδιο του άνθρακα (CO₂).

Ως οριακή τιμή για την προστασία της υγείας του ανθρώπου θεωρούνται τα 10mg/m³ (μέγιστος ημερήσιος μέσος όρος οκταώρου) και βρίσκεται σε μεγαλύτερη αφθονία στην ατμόσφαιρα σε σχέση με τους υπόλοιπους ρυπαντές. Περίπου το 70% των εκπομπών αποδίδεται σε τροχοφόρα και συνήθως εντοπίζεται σε περιόδους αιχμής σε αστικές περιοχές. Σχηματίζεται κυρίως από την ατελή καύση των υδρογονανθράκων, σε αντίθεση με το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) που παράγεται κατά την πλήρη καύση.

Θεωρείται ιδιαίτερα επικίνδυνο σε εσωτερικούς χώρους σε υψηλή συγκέντρωση καθώς αποτελεί κοινό και εύκολα απορροφήσιμο αέριο από τον άνθρωπο. Συγκεκριμένα, επηρεάζει την ικανότητα μεταφοράς οξυγόνου στο αίμα, καθώς όταν εισπνέεται αντικαθιστά το οξυγόνο από την αιμογλοβίνη του αίματος και σχηματίζει

καρβοξυαιμογλοβίνη (COHb). Στις έμμεσες επιδράσεις του στον άνθρωπο περιλαμβάνεται η μείωση των διανοητικών λειτουργιών και η αύξηση των καρδιακών παλμών, επειδή ο οργανισμός προσπαθεί να εξουδετερώσει την έλλειψη οξυγόνου που προκαλεί η αύξηση της αιμογλοβίνης. Οι συνήθεις συγκεντρώσεις του κυμαίνονται μεταξύ 5 και 50 ppm σε αστικές περιοχές. Κατά την κυκλοφορία στο οδικό δίκτυο οι οδηγοί εκτίθενται σε συγκεντρώσεις έως και 100ppm. Οι καπνιστές εκτός από τα υψηλά επίπεδα COHb στο αίμα τους (μεταξύ 5 και 10 %) επιβαρύνουν τους κλειστούς χώρους με αύξηση της συγκέντρωσής σε 20 με 30 ppm.

Η συγκέντρωση του CO δεν παραμένει χωρικά και χρονικά σταθερή σε μία δεδομένη περιοχή. Συνεπώς, η μελέτη του πρέπει να λαμβάνει υπόψη τη χωρο-χρονική μεταβλητότητα καθώς θεωρείται πως οι επιπτώσεις του στο περιβάλλον και τον άνθρωπο βασίζεται στην έκθεση κατά τη διάρκεια του έτους. Συνήθως απαιτούνται εκτεταμένοι υπολογισμοί βάσει μοντέλων διάχυσης και παρακολούθησης σε μεγάλη κλίμακα (Jain et al., 1993). Η μελέτη της διάχυσης θεωρείται περισσότερο αποτελεσματική μέθοδος λαμβάνοντας υπόψη εκπομπές κινητών και σταθερών πηγών.

Το **Μεθάνιο** είναι ένας υδρογονάνθρακας σε αέρια κατάσταση που όταν καεί αποδίδει θερμότητα, CO² και νερό (Δηλάνας, 1999). Είναι ένα από τα συστατικά του φυσικού αερίου και παράγεται επίσης από το λιθάνθρακα και τη ζύμωση κυτταρίνης στη βιομηχανία χαρτιού. Στη φύση συναντάται κυρίως σε ανθρακωρυχεία και σε μεγάλες συγκεντρώσεις είναι εξαιρετικά επικίνδυνο. Επίσης, παράγεται ανθρωπογενώς σε ορυζοκαλλιέργειες, κτηνοτροφικές μονάδες (μέσω της πέψης των ζώων), βόθρους και χώρους απόθεσης και ταφής απορριμμάτων. Στη φύση παράγεται κυρίως από την βακτηριακή αποσύνθεση των οργανικών φυτικών ουσιών στο έδαφος όπου στην συνέχεια διαφεύγει στην ατμόσφαιρα. Λαμβάνει ρόλο στο φωτοχημικό σχηματισμό του όζοντος στην τροπόσφαιρα και παίζει έμμεσο ρόλο στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και στο ισοζύγιο της ακτινοβολίας και θεωρείται μία από τις μεγαλύτερες απειλές για την κλιματική αλλαγή. Αντίθετα, το γεγονός της μακροβιότητάς του στην ατμόσφαιρα (8 - 9 χρόνια) δεν το καθιστά άμεσα συνδεδεμένο με την τοπική αύξηση των τιμών O₃ στον επιφανειακό αέρα όπως οι εκπομπές από αεροπορικά διηπειρωτικά ταξίδια.

Το **Βενζόλιο** είναι ένα εξαιρετικά τοξικό και καρκινογόνο υγρό που ανήκει στις Πτητικές Οργανικές Ενώσεις. Εξατμίζεται σε ατμοσφαιρικές συνθήκες και είναι άχρωμο και αρωματικό. Διαθέτει αρκετά χαμηλή οριακή τιμή στην ατμόσφαιρα που ορίζεται στα 5μg/m³. Η παραγωγή του συμβαίνει κυρίως στην πετροχημική και χημική βιομηχανία και χρησιμοποιείται ως διαλύτης σε διάφορες εφαρμογές όπως η παραγωγή πλαστικού, χρωμάτων και ρητίνης. Κατά την καθημερινότητα πηγάει από την κυκλοφορία των τροχοφόρων με μηχανές εσωτερικής καύσης, τα πρατήρια καυσίμων και σε όλες τις διεργασίες που χρησιμοποιείται ως διαλύτης (πχ τυπογραφεία).

Οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία είναι εξαιρετικά σοβαρές, καθότι με την έκθεση σε αυτό έχει παρουσιαστεί εκδήλωση καρκίνου του αίματος. Σε εργασιακά περιβάλλοντα έχουν αναφερθεί εκδηλώσεις και άλλων ασθενειών του αίματος όπως λευχαιμία, μυελοδυσπλαστικό σύνδρομο κ.α.

Φωτορύπανση και Ηλιακή έκθεση

Η **φωτορύπανση** αποτελεί την υπερβολική και ακατάλληλη έκθεση σε τεχνητό φως. Χαρακτηρίζεται από τέσσερα στοιχεία που λειτουργούν σε συνδυασμό ή ενδέχεται να αλληλοκαλύπτονται και ενδεχομένως επηρεάζουν τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Η Λάμψη των αστικών περιοχών συνδέεται με την αύξηση της φωτεινότητας του νυχτερινού ουρανού σε κατοικημένες περιοχές. Η Προσπέλαση του φωτός είναι η εμφάνισή και όχλησή του σε ακατάλληλες περιοχές όπως τα φυσικά οικοσυστήματα). Η οπτική δυσφορία από το φως προέρχεται πρωτίστως από υπερβολική φωτεινότητα όπου και προκαλεί οπτική Θαμπάδα (Glare) με ενδεχόμενη μείωση της ορατότητας. Τα παραπάνω συνδέονται με την οπτική Σύγχυση (Clutter) που προκαλείται κυρίως από υψηλής έντασης, συγχαιόμενες και ακανόνιστες ομαδοποιήσεις φωτεινών πηγών.

Στην ανθρώπινη ιστορία η αντίληψη των ουράνιων στοιχείων πάντοτε λειτουργούσε ωφέλιμα για την εξέλιξη του πολιτισμού και της επιστήμης. Σήμερα, η πληθυσμιακή αύξηση και η ακανόνιστη εφαρμογή συνήθως ακατάλληλων μεθόδων εξωτερικού φωτισμού έχουν εισάγει την έννοια της φωτορύπανσης. Στις περισσότερες των περιπτώσεων, οι κάτοικοι των πόλεων πρέπει να απομακρυνθούν από λάμψη του αστικού ιστού ούτως ώστε να αντιληφθούν το εύρος του νυχτερινού ουρανού. Πλέον είναι μετρήσιμες οι αρνητικές επιπτώσεις της φωτοβολίας του νυχτερινού ουρανού στην ανθρώπινη υγεία, την συμπεριφορά των ζωικών πληθυσμών και ευρύτερα τη δυσχέρεια της ποιότητας και ασφάλειας του περιβάλλοντος¹¹.

¹¹ <http://www.darkskiesawareness.org/faq-what-is-lp.php>

Χάρτης 2: Φωτορύπανση στην Ευρώπη, πηγή: www.lightpollutionmap.info



Οι πόροι που καταναλώνονται για τον εξωτερικό φωτισμό φέρνουν συνήθως αντίθετα αποτελέσματα από τα επιθυμητά. Η θαμπάδα και η σύγχυση που προκαλούνται από ιδιαίτερα φωτεινές πηγές ενδεχομένως να προκαλέσουν προσωρινή μείωση ορατότητας σε πεζούς και οδηγούς. Τα μάτια διαθέτουν μηχανισμούς προσαρμογής σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού και η συνεχής διάσπαση από φωτεινές περιοχές ασθενούν αυτή τη φυσική δυνατότητα. Συνεπώς, θόρυβος του φωτός (Noise Lighting) φαίνεται να επηρεάζει την οπτική αντίληψη του ανθρώπου καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας.

Η **Ηλιακή έκθεση** αποτελεί την απευθείας έκθεση του ατόμου στην υπεριώδη (UltraViolet - UV) ακτινοβολία του ηλίου. Η ακτινοβολία UV σε εξωτερικούς χώρους έχει διττή φύση σε σχέση με τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Η απορρόφησή της από τον ανθρώπινο οργανισμό προσφέρει βιταμίνη D₃ η οποία λειτουργεί στη σύνθεση της οστεϊκής μάζας, την αύξηση των επιπέδων της ενδορφίνης και την σύνθεση της μελατονίνης στα μάτια. Αντίθετα, η μακροχρόνια έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία σχετίζεται άμεσα με την ανάπτυξη ασθενειών όπως καρκίνος και γήρανση του δέρματος, καταβολή ανοσοποιητικού και οφθαλμολογικές παθήσεις. Η ακτινοβολία UV αποτελεί μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που κυμαίνεται μεταξύ 10 και 400 nm. Παράγεται με φυσικό τρόπο με την εκπομπή της από τον ήλιο και τεχνητά μέσω ειδικών λαμπτήρων. Καταγράφεται μέσω ειδικών φωτομετρικών οργάνων, όμως δύναται η εξαγωγή συμπερασμάτων μέσω της καταγραφής της φωτεινότητας (illuminance) σε εξωτερικό χώρο.

Ηχορύπανση

Σημαντικό αντικείμενο μελέτης της όχλησης του ανθρώπινου και φυσικού περιβάλλοντος, αποτελεί ο ποσοτικός προσδιορισμός και η ποσοτικοποίηση των ανθρώπινων αντιδράσεων στο θόρυβο. Η συνεχής έκθεση των ανθρώπων σε θορύβους προκαλεί σοβαρότατες επιπτώσεις στην υγεία με ακραίες περιπτώσεις ολικής απώλειας της ακοής ή διαταραχές του νευρικού συστήματος.

Ο θόρυβος είναι ένα τυχαίο σήμα, σύμφυτο σε κάθε φυσικό αντικείμενο. Παράγεται από τυχαίες ταλαντώσεις υλικών σωματιδίων μέσα σε ένα ελαστικό/αγώγιμο μέσο. Η ταλάντωση αυξάνει την πίεση στο ακουστικό μέσο και ως αποτέλεσμα να δημιουργείται ακουστικό κύμα. Ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται τον ήχο μέσω της αυξομείωσης στην πίεση που φθάνει στα ακουστικά του όργανα (τύμπανα των αυτιών). Το παραγόμενο μέγεθος που προκύπτει από την ταλάντωση είναι η συχνότητα, η οποία μετράται σε Hz (Χερτζ) και σημαίνει το πλήθος των ταλαντώσεων ανά δευτερόλεπτο. Τα επίπεδα που αντίλαμβάνεται ο άνθρωπος ορίζονται μεταξύ 18 (υπόηχοι) και 18000 Hz (υπέρηχοι) και όχληση προκύπτει όταν ένας ήχος σημειώνει υψηλή ένταση.

Ο ήχος διακρίνεται από διαφορές στην πίεση ανιχνεύσιμες από το ανθρώπινο αυτί, οι οποίες διακρίνονται από συχνότητα και εύρος. Η συχνότητα του ήχου αφορά στην ταχύτητα στην οποία πάλλεται ο αέρας και το κατά πόσο κοντά μεταξύ τους βρίσκονται τα ηχητικά κύματα (Hz). Το εύρος αποτελεί το μέγεθος της πίεσης που ασκείται από τον αέρα και συνήθως αναπαριστάται από το ύψος των ηχητικών κυμάτων. Περιγράφεται σε μονάδες πίεσης ανά μονάδα έκτασης (micropascal - mPa) και σε ορισμένες περιπτώσεις μετατρέπεται σε ηχητική ισχύ (picowatts - 10^{-12} watts), ενώ σε άλλες ως ένταση του ήχου (10^{-12} watts/m²). Η ένταση αντιπροσωπεύει το υποκειμενικό αίσθημα της ηχηρότητας¹² στον άνθρωπο. Το πλήθος των μεθόδων περιγραφής της έντασης καλύπτει μεγάλο εύρος υπολογισμών και δεν εξειδικεύονται στον ακριβή προσδιορισμό του θορύβου. Συνεπώς, χρησιμοποιείται η λογαριθμική κλίμακα των decibel (dB) για τον ποσοτικό προσδιορισμό της ηχητικής όχλησης και εκφράζεται με τους κάτωθι τύπους:

$$L = 10 \log_{10} \left(\frac{P}{p} \right)^2 dB$$

Όπου P το εύρος της διακύμανσης της πίεσης και p ισούται με 20 μPa που ανταποκρίνεται στο χαμηλότερο ακουστικό ήχο.

$$L = 10 \log_{10} \left(\frac{I}{i} \right) dB$$

Όπου I η ένταση του ήχου και i ισούται με 10^{-12} watts/m².

¹² δυνατός ήχος, loudness

$$L = 10 \log_{10} \left(\frac{W}{w} \right) \text{ dB}$$

Όπου W η ισχύς του ήχου και w ισούται με 10⁻¹² watts. Ο αντιληπτός ήχος κυμαίνεται μεταξύ 0 και 140 dB, όπου και είναι εξαιρετικά δυσάρεστο για τον άνθρωπο.

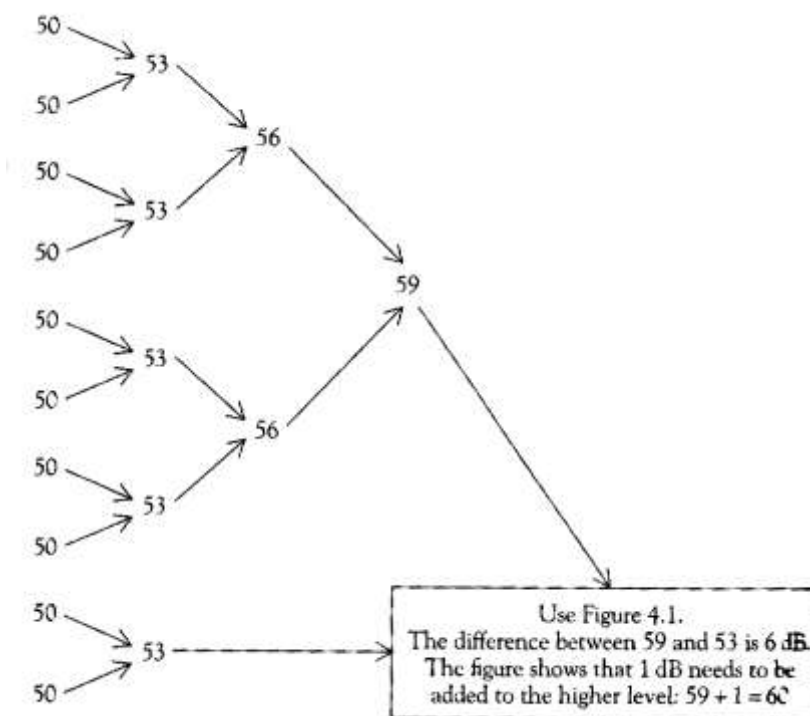
Πίνακας 1: Ηχητική πίεση, ένταση και επίπεδο θορύβου, πηγή: Morris and Therivel, 2001

Πίεση (mPa)	Ισχύς (10 ⁻¹² watt) ή Ένταση (10 ⁻¹² watt/m ²)	Επίπεδο (dB)	Παράδειγμα
2000000000	1000000000000000	140	Κατώφλι πόνου
	100000000000000	130	ήχοι μηχανουργείου
200000000	100000000000000	120	
	10000000000000	110	κόρνα αυτ/του σε 1m
2000000	1000000000000	100	ξυπνητήρι σε 1m
	100000000000	90	μέσα σε βαγόνι μετρό
200000	10000000000	80	μέσα σε λεωφορείο
	1000000000	70	μέτρια κυκλοφοριακή κίνηση
20000	10000000	60	συζήτηση
	100000	50	επαγγελματικός χώρος
2000	10000	40	καθιστικό
	1000	30	κρεβατοκάμαρα
200	100	20	ησυχία σε studio ήχου
	10	10	αναπνοή
20	1	0	ακουστικό κατώφλι

Η αύξηση της έντασης και της ισχύς του ήχου δεν συνάδει απαραίτητα με αθροιστική αύξηση σε dB. Στο διάγραμμα 2 διαφαίνεται το φαινόμενο της σώρευσης του θορύβου και το αποτέλεσμα της αντίληψης από τον άνθρωπο. Η ακοή επηρεάζεται περισσότερο από συγκεκριμένες συχνότητες και ειδικότερα σε υψηλότερες όπως 1, 3 και 5 KHz. Τα επίπεδα του θορύβου είναι ασταθή ανάλογα με τις πηγές που τις προκαλούν σε κάθε περιοχή. Η μελέτη των βασικών παραγόντων επίδρασης του ανθρώπου από το θόρυβο εξαρτάται από την εκτίμηση των προκείμενων επιπέδων ήχου, καθώς και των άλλων ήχων του περιβάλλοντος που επηρεάζουν τον αποδέκτη. Επηρεάζονται από διαφορετικούς παράγοντες, τη

γεωμετρική διασπορά της ενέργειας και τα φυσικά αντικείμενα που ενδεχομένως εμποδίζουν τη διάδοσή του (πχ εδαφολογικές ή μετεωρολογικές συνθήκες).

Διάγραμμα 2: Παράδειγμα σώρευσης επιπέδων ήχου, πηγή: Morris and Therivel, 2001



Οι πηγές του θορύβου επηρεάζουν τους ανθρώπους με διαφορετικό τρόπο κατά τη διάρκεια της ημέρας και η όχληση που προκαλείται προσδιορίζεται γεωγραφικά. Όλες οι δραστηριότητες που παράγουν θόρυβο είναι διακριτές στο χώρο (πχ οικοδομικές εργασίες) και εντοπίζονται κυρίως στα κέντρα των πόλεων και σε βιομηχανικές περιοχές. Όσον αφορά στη μέτρηση του θορύβου απαιτείται ο εντοπισμός και η ανάδειξη της πηγής του βάσει γεωγραφικών αποστάσεων και κατευθύνσεων, έως ότου καθοριστεί το μέγεθός του. Ειδική μνεία απαιτείται στη μελέτη και ανάλυση του θορύβου που προκαλείται από τα μεταφορικά μέσα και πρωτίστως τα ΜΜΕ ούτως ώστε να διερευνηθούν τυχόν λύσεις μείωσης της ακουστικής όχλησης (βέλτιστες διαδρομές). Ολοκληρώνοντας, σημαντικό στοιχείο αποτελεί η ανάλυσή του θορύβου σε χρονική κλίμακα για την αναγνώριση των περιόδων έντασης, καθώς και η αναγωγή των μετρήσεων σε χωρο-χρονική κλίμακα.

Αντιληπτή όχληση

Πέραν των φυσικών χαρακτηριστικών που μεταβάλλονται και μεταβάλλει, ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται την όχληση στο περιβάλλον με υποκειμενικά κριτήρια. Το άτομο ως υποκείμενο που διαβιεί σε κοινωνικό, πολιτιστικό και φυσικό περιβάλλον το οποίο καθορίζει ένα πλαίσιο ατομικής ευημερίας (Individual Well-being). Στοιχεία όπως φτώχεια, εγκληματικότητα και ρύπανση αποτελούν τις αντικειμενικές παραμέτρους που συμβάλουν καθοριστικά στη διαμόρφωση της

αντίληψης για τη ποιότητα της ζωής του (Quality of Life - QoL). Η ποιότητα εμπεριέχει την έννοια της ικανοποίησης του ατόμου από το ευρύτερο πλαίσιο διαβίωσής του (γεωγραφία, περιβάλλον, κοινωνικο-οικονομικοί παράγοντες). Το ευρύτερο γεωγραφικό περιβάλλον υποδηλώνει τις συνθήκες που το διαμορφώνουν και περιλαμβάνει χαρακτηριστικά φυσικότητας καθώς και οχλήσεις. Ο αστικός χώρος επιβαρύνεται ιδιαίτερα από ποικίλες οχλήσεις που εν δυνάμει επηρεάζουν την υγεία, σωματική και ψυχική, των κατοίκων. Ο ρόλος της QoL είναι να μελετήσει και να τεκμηριώσει την πολυδιάστατη έννοια της ποιότητας διαβίωσης μέσω του συνδυασμού υποκειμενικών και αντικειμενικών κριτηρίων. Χαρακτηρίζεται από διεπιστημονικότητα και εμπεριέχεται σε διαφορετικά χωρικά επίπεδα.

Όσον αφορά στην χωρική επέκταση του φαινομένου της QoL, σημαντική παράμετρος θεωρείται η Ηρεμία (Tranquility). Γαλήνιοι χώροι χαρακτηρίζονται εκείνοι που διαθέτουν συνδυασμός ακουστικών (acoustical) και μη-ακουστικών (non-acoustical) κριτηρίων De (Coensel et al, 2013). Ως ακουστικά ορίζονται οι χώροι με ήχους χαμηλής όχλησης και μη-ακουστικοί εκείνοι που διαθέτουν έντονη οπτική φυσικότητα (Visual Naturalness). Οι Γαλήνιοι χώροι προσφέρουν δυνατότητες ανάπαυσης και αναψυχής μέσα στο αστικό τοπίο, καθώς παρέχουν στον επισκέπτη τη δυνατότητα ευχαρίστησης, ισορροπώντας με το φυσικό περιβάλλον (ψυχική ανάταση και ειρηνικότητα). Ως γενική μεθοδολογία μελέτης της Ηρεμίας αποτελεί η μέτρηση του θορύβου με ειδικά όργανα, σε σχέση με οπτικά κριτήρια για μία συγκεκριμένη περιοχή (ανεξαρτήτως κλίμακας). Η μέθοδος εμπεριέχει ποσοτικά και ποιοτικά κριτήρια, καθώς απαιτείται και η εκτίμηση του οπτικού παράγοντα όχλησης.

Η QoL αποτελεί μία πολυδιάστατη μέθοδο εκτίμησης που διακρίνεται από πολλές μεταβλητές. Η εκτίμηση προέρχεται είτε μέσω από τη μελέτη μίας ορισμένης μεταβλητής (πχ φυσικότητα τοπίου) - αντικειμενική προσέγγιση - είτε μέσω διακριτών πεδίων έρευνας (περιβάλλον, κοινωνία, τοπίο) (Cummins, 1996) - υποκειμενική προσέγγιση. Η επιλογή της μεθοδολογίας βασίζεται στο αντικείμενο και το σχεδιασμό της μελέτης, με τα υποκειμενικά κριτήρια να αλληλοσυμπληρώνουν συνήθως τα αντικειμενικά. Η περιορισμοί της έρευνας εντοπίζονται στην βαρύτητα των προκείμενων κριτηρίων, καθώς ως αντικειμενικά θεωρούνται τα ποσοτικά στοιχεία (οικονομικά, φυσικά) και τα υποκειμενικά, εκείνα που προέρχονται από την ατομική αξιολόγηση και εκτίμηση για την ποιότητα της ζωής.

Συνοψίζοντας, προκύπτει το συμπέρασμα ότι μία ολοκληρωμένη εκτίμηση της ποιότητας του περιβάλλοντος στο αστικό και ευρύτερο χώρο προκύπτει από πληθώρα μεθοδολογιών. Ο ερευνητής διαθέτει εργαλεία ακριβούς μέτρησης των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών και εκτίμησης της αντιληπτής όχλησης. Σε αυτά συμπληρώνεται η χωρική ανάλυση συσχετίσεων ανάμεσα στα ποσοτικά και ποιοτικά στοιχεία προσφέροντας ολοκληρωμένη μεθοδολογία αξιολόγησης των επιπτώσεων στο περιβάλλον. Επιπλέον, η γεωγραφική προσέγγιση επιτρέπει τον

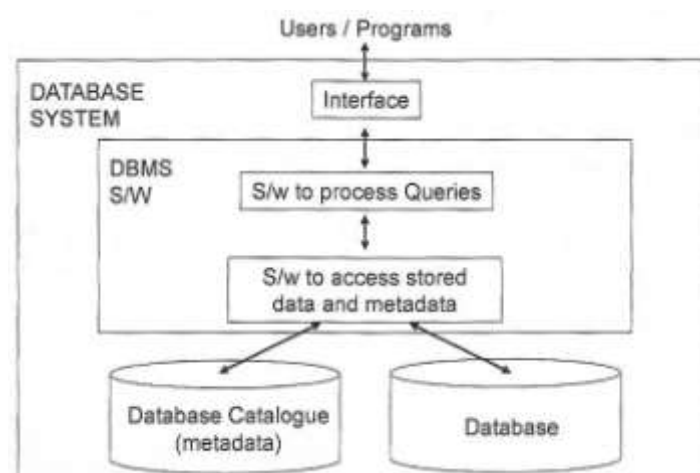
εντοπισμό των αιτιών της περιβαλλοντικής υποβάθμισης, προσφέροντας δυνατότητες χώρο-χρονικής ανάλυσης.

2.2. Εξυπηρετητής και βάση δεδομένων

Η δομή του δικτύου αισθητήρων απαιτεί τη διαχείριση και αποθήκευση των καταγραφόμενων μεταβλητών μεταξύ των συσκευών παρατήρησης και της εφαρμογής ΓΣΠ. Η συγκεκριμένη εργασία υλοποιείται με τη λειτουργία ενός διακομιστή και της κατασκευής βάσης δεδομένων.

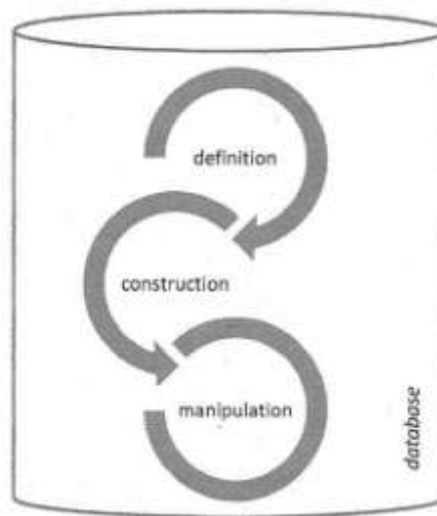
Στην επιστήμη των υπολογιστών ο εξυπηρετητής/ διακομιστής (server) είναι ένα πρόγραμμα ή μία συσκευή που παρέχει λειτουργικότητα σε άλλα προγράμματα ή συσκευές (Clients). Η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική ονομάζεται μοντέλο πελάτη - εξυπηρετητή (Client - Server Model) και επιτρέπει τη διανομή ενός ενιαίου σχήματος μεταξύ πολλαπλών διεργασιών ή συσκευών (Στεφανάκης, 2014). Η παροχή δυνατοτήτων ανταλλαγής δεδομένων ή πόρων μεταξύ πολλαπλών πελατών και υλοποίηση υπολογισμών για τον πελάτη αποτελούν λειτουργικότητες, οι οποίες ονομάζονται υπηρεσίες (services) του εξυπηρετητή. Ένας διακομιστής εξυπηρετεί πολλαπλούς πελάτες και αντίστροφα ένας πελάτης εξυπηρετεί πολλούς διακομιστές. Οι διακομιστές χειρίζονται βάσεις δεδομένων, αρχεία, στοιχεία αλληλογραφία, δικτυακές δομές και εφαρμογές.

Εικόνα 2: Αρχιτεκτονική Συστήματος Βάσεων Δεδομένων (πηγή: Εμμ. Στεφανάκης)



Η βάση δεδομένων (ΒΔ) αποτελεί μία σημαντική παράμετρο για τη συγκεκριμένη μελέτη. Νοείται ως μία συλλογή από σχετιζόμενα δεδομένα και παρέχει δυνατότητα αποτελεσματικής ανάκτησής τους (Στεφανάκης, 2014). Τα δεδομένα αντιπροσωπεύουν πτυχές του πραγματικού κόσμου και μπορεί να είναι σε οποιαδήποτε μορφή (φυσική, ηλεκτρονική, μαθηματική κα). Η ΒΔ σχεδιάζεται, κατασκευάζεται και συμπληρώνεται με δεδομένα ειδικού σκοπού για να περιγράψει μία οργάνωση ή ένα τομέα. Μία βάση δεδομένων μπορεί πλέον να υποστηρίξει γεωγραφική (ή χωρική) πληροφορία, η οποία αφορά σε δεδομένα σε σύστημα γεωαναφοράς. Το παραγόμενο προϊόν (χάρτης) περιλαμβάνει οντότητες με χωρική υπόσταση, την περιγραφή τους και τις χωρικές τους σχέσεις.

Εικόνα 3: Οι βασικές διαδικασίες που παρέχει ένα ΣΔΒΔ (πηγή: Εμμ. Σταφανάκης)



Η ΒΔ υλοποιείται και διατηρείται από ένα σύνολο εφαρμογών λογισμικού που συγκροτούν το Σύστημα Διαχείρισης Βάσης Δεδομένων (ΣΔΒΔ)¹³, μέσω του οποίου καθορίζεται, κατασκευάζεται και διαχειρίζεται τη ΒΔ. Το σύστημα παρατήρησης του περιβάλλοντος οφείλει να τροφοδοτεί συνεχώς με καταγραφές το διαδικτυακό ΓΣΠ ώστε να παρουσιάζονται αναλυτικά οι μετρήσεις.

2.2.1. MQTT Broker

Η λειτουργικότητα του προς υλοποίηση συστήματος βασίζεται στη σύνδεση μεταξύ διακομιστή και βάσης δεδομένων. Επιπλέον, έχει προστεθεί στο σύστημα η δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας, λόγω της διευρυμένης φύσης της εφαρμογής, δηλαδή από το server προς τη συσκευής καταγραφής. Για αυτό το σκοπό επιλέχθηκε το πρωτόκολλο MQTT, το οποίο έχει μικρές απαιτήσεις σε μνήμη (Lightweight), υποστηρίζει την πλατφόρμα Arduino και επιτρέπει δομές αμφίδρομης επικοινωνίας.

Το MQTT είναι ένα πρωτόκολλο λογισμικού για τη μεταφορά μηνυμάτων publish/Subscribe που λειτουργεί ως Πελάτης - Διακομιστής. Έχει μικρές υπολογιστικές απαιτήσεις, είναι ανοιχτό και έχει σχεδιαστεί ώστε να είναι εύκολο στην υλοποίηση. Συνεπώς, αποτελεί ιδανικό για χρήση σε πολλές περιπτώσεις εφαρμογών όπως η επικοινωνία μεταξύ Μηχανής με Μηχανή (M2M) και ευρύτερα σε εφαρμογές IoT που απαιτείται σύντομος κώδικας και υψηλή διαθεσιμότητα στο δίκτυο. Απαιτεί δίκτυο TCP/IP ή οποιαδήποτε άλλο δικτυακό πρωτόκολλο το οποίο παρέχει κανονική, χωρίς απώλειες και αμφίδρομη συνδεσιμότητα μέσω της χρήσης Websockets.

¹³ Database Management System (DBMS)

Τα δεδομένα της εφαρμογής μεταφέρονται με το MQTT μέσω δικτύου και διακρίνονται από μία σχετιζόμενη Ποιότητα Υπηρεσιών (Quality of Service - QoS¹⁴) και ένα Όνομα Θέματος (Topic Name). Η λειτουργία του πρωτοκόλλου βασίζεται σε συγκεκριμένες αρχές:

- Η αλληλεπίδραση κατά τη σύνδεση μεταξύ Πελάτη - Διακομιστή ονομάζεται **Session**. Διαρκεί συνήθως όσο είναι ενεργή η σύνδεση του δικτύου και υποστηρίζεται σε πολλαπλές διαδοχικές συνδέσεις μεταξύ πελάτη - διακομιστή.
- Ένα session συσχετίζεται με μία **Subscription**, που περιλαμβάνει ένα Topic Filter και ένα μέγιστο QoS. Ένα session μπορεί να συμπεριλάβει περισσότερες από μία Subscription, ενώ κάθε μία Subs. περιλαμβάνει ένα μοναδικό Topic Filter.
- Κάθε ένα μήνυμα που αντιστοιχεί σε μία Subs. διαθέτει μία επιγραφή που αναγνωρίζεται από το διακομιστή και ονομάζεται **Topic Name**. Ο server αποστέλλει ένα αντίγραφο του μηνύματος σε κάθε πελάτη που διαθέτει την αντίστοιχη Subscription.

Η λειτουργία του MQTT στη συγκεκριμένη εφαρμογή απαιτεί την εγκατάσταση του Broker σε δύο επίπεδα. Αρχικά, η εφαρμογή εκμεταλλεύεται τον ήδη εγκατεστημένο Broker από τις δομές του ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος και εν συνεχεία εγκαθίσταται στο μικροελεγκτή Arduino Yun.

Ο επεξεργαστής Atheros AR9331 του Yun διαθέτει διανομή GNU/Linux στην οποία λειτουργεί το πρωτόκολλο OpenWrt. Αυτό αποτελεί μία ενσωματωμένη επέκταση λογισμικού που εφαρμόζεται συνήθως σε συσκευές με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Διαθέτει πολλές δυνατότητες επεκτασιμότητας σε ενσωματωμένες συσκευές, όπως ασύρματους δρομολογητές (Wireless Router). Σε αντίθεση με παρόμοιες διανομές λογισμικού το OpenWrt αποτελεί ένα πλήρως εξοπλισμένο και εύκολα τροποποιήσιμο λειτουργικό σύστημα για δρομολογητές. Το γεγονός αυτό παρέχει εφαρμοσιμότητα και ευκολία στη χρήση καθώς λειτουργεί με την τελευταία διανομή Linux.

Με τη λειτουργία του OpenWrt στο Arduino η επικοινωνία με τον εξωτερικό Broker απαιτεί επιπλέον την εγκατάσταση του Mosquitto¹⁵ σε αυτό. Το Mosquitto είναι ένας εικονικός Broker που χρησιμεύει στη λειτουργία του πρωτοκόλλου MQTT. Με την εγκατάστασή του ο χρήστης μπορεί να λαμβάνει (Subscribe) και να στέλνει (Publish) μηνύματα και παράλληλα να εμφανίζονται στο τερματικό του Arduino. Το επόμενο στάδιο ορίζεται κατά το προγραμματισμό της συσκευής στον οποίο

¹⁴ The Quality of Service (QoS) level is an agreement between sender and receiver of a message regarding the guarantees of delivering a message.

¹⁵ <https://mosquitto.org/>

εφαρμόζεται η βιβλιοθήκη PubSubClient¹⁶. Η βιβλιοθήκη παρέχει δομές πελάτη με σκοπό την υλοποίηση μηνυμάτων Publish/ Subscribe προς ένα διακομιστή που υποστηρίζει το MQTT.

Ρυθμίσεις MQTT broker στο YUN

<code>#include <PubSubClient.h></code>	Εισαγωγή Βιβλιοθήκης
<code>YunClient yun;</code>	Ορισμός μεταβλητής Yun
<code>PubSubClient client("143.233.226.172", 1883, yun);</code> <code>σύνδεσης</code>	Ορισμός παραμέτρων
<code>void setup() {</code> <code>Bridge.begin();</code> <code>client.connect(deviceId.c_str());</code> <code>};</code>	Αρχικοποίηση σύνδεσης
<code>void loop() {</code> <code>client.publish(topic.c_str(), msg.c_str());</code> <code>};</code>	Αποστολή μηνύματος

¹⁶ <http://pubsubclient.knolleary.net/>

2.2.2. Εξυπηρετητής

Η εφαρμογή βασίζεται στην ύπαρξη διαδικτυακής υπηρεσίας (Web Service) που να υποστηρίζει την επικοινωνία μηχανής με μηχανή (M2M). Η δομή εξυπηρετεί το διαμοιρασμό δεδομένων με τη μορφή του διακομιστή βάσης δεδομένων, ο οποίος διαχειρίζεται και διαμοιράζει συλλογές δεδομένων με προκαθορισμένες ιδιότητες μέσω δικτύου. Ο εξυπηρετητής είναι ένα πρόγραμμα υπολογιστή που εφαρμόζεται το μοντέλο πελάτη - εξυπηρετητή.

Η κατασκευή του Server που αξιοποιείται στη συγκεκριμένη μελέτη βασίζεται στην πλατφόρμα Heroku¹⁷, η οποία επιτρέπει την ανάπτυξη, εκτέλεση και διαχείριση εφαρμογών σε αυτή. Ως Εφαρμογή θεωρείται μία συλλογή πηγαίου κώδικα που περιγράφει τις εξαρτήσεις τις οποίες καθοδηγούν το σύστημα για τη μέθοδο υλοποίησης. Αυτό πραγματοποιείται μέσω της ανάπτυξης (Deployment) εφαρμογών στο Heroku κυρίως μέσω του Git¹⁸, που αποτελεί ένα σύστημα ελέγχου έκδοσης (Version Control System) και χρησιμοποιείται ευρέως από πολλούς προγραμματιστές για διαχείριση και τον έλεγχο πηγαίου κώδικα. Ο μηχανισμός κατασκευής των εφαρμογών βασίζεται στις προδιαγραφές της εκάστοτε γλώσσας, ανακτά τις εξαρτήσεις (Dependencies) και δημιουργεί τους απαραίτητους πόρους (Assets). Στη προκείμενη περίπτωση στο Heroku αναπτύσσεται η μη σχεσιακή βάση δεδομένων MongoDB.

Παράδειγμα εγκατάστασης και αρχικοποίησης του διακομιστή

```
var setupServer = function () {  
  var listeningPort = process.env.PORT || 8080;  
  
  app  
    .use((req, res, next) => {  
      req.db = db;  
      next();  
    })  
    .use('/', routes)  
    .listen(listeningPort, () => {  
      console.log(`[*] Server running on port ${listeningPort}`)  
    });  
};
```

¹⁷ <https://www.heroku.com/home>

¹⁸ <http://git-scm.com/>

2.2.3. Βάση Δεδομένων

Η ΒΔ που υλοποιείται στην εφαρμογή βασίζεται στο μη-σχεσιακό μοντέλο. Θεμελιώδες χαρακτηριστικό του αποτελεί η δυνατότητα αποθήκευσης και διαχείρισης περιεχομένου σε οποιαδήποτε ψηφιακή μορφή. Οι μη-σχεσιακές βάσεις χαρακτηρίζονται επίσης ως NoSQL και ενσωματώνουν όλους τους τύπους δεδομένων με σκοπό την ανάπτυξη εφαρμογών με ποικίλο περιεχόμενο. Αξιοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές Big Data¹⁹ και πραγματικού χρόνου²⁰ (db-engines.com, 2013). Επίσης, διαθέτουν μεγαλύτερη ευελιξία και ταχύτητα καθώς διαθέτουν δομή δεδομένων από τις σχεσιακές ΒΔ

Οι βάσεις δεδομένων MongoDB στηρίζονται στην πλατφόρμα mLab που αποτελεί μία πλήρως διαχειρίσιμη υπηρεσία ΒΔ σε Cloud Computing με πληθώρα εργαλείων διαχείρισης. Η απλότητα στη λειτουργία της επιτρέπει την εστίαση σε ανάπτυξη σύνθετων προϊόντων λογισμικού. Η σύνδεση μεταξύ Heroku και MongoDB πραγματοποιείται μέσω οδηγών που έχουν αναπτυχθεί σε γλώσσες C#, Java, Node.js, PHP, Python, and Ruby. Εν προκειμένω η ΒΔ της εργασίας στηρίζεται στη Node.js και επιτρέπει την πλήρη αλληλεπίδραση μεταξύ του διακομιστή και της ΒΔ μέσω προεγκατεστημένων βιβλιοθηκών.

Περιεχόμενο μηνύματος από κάθε καταγραφή

```
{
  "_id": {
    "$oid": "58188b45914b700011f6dbf1"
  },
  "deviceId": "mob001",
  "sensorType": "mobile",
  "timestamp": {
    "$date": "2016-11-01T14:32:03.000Z"
  },
  "geo": {
    "type": "Point",
    "coordinates": [
      23.77108281,
      37.94333254
    ]
  },
  "humidity": 35.9,
```

¹⁹ http://www.sas.com/en_us/insights/big-data/what-is-big-data.html

²⁰ http://db-engines.com/en/blog_post/23

"temperature": 18.2,	←	Πεδίο: Τιμή
"heatIndex": 17.01,	←	Πεδίο: Τιμή
"luminosity": 15,	←	Πεδίο: Τιμή
"methane": 4.09,	←	Πεδίο: Τιμή
"co": 39.19,	←	Πεδίο: Τιμή
"noise": 28	←	Πεδίο: Τιμή
}		

Η κάθε μία εγγραφή στη MongoDB αναπαριστάται ως έγγραφο που η δομή του διακρίνεται σε πεδίο και τιμή (βλ περιεχόμενο μηνύματος). Τα έγγραφα αυτά διαθέτουν ομοιότητες με τα αντικείμενα JSON, καθώς οι τιμές δύναται να περιέχουν άλλα έγγραφα, arrays και arrays εγγράφων.

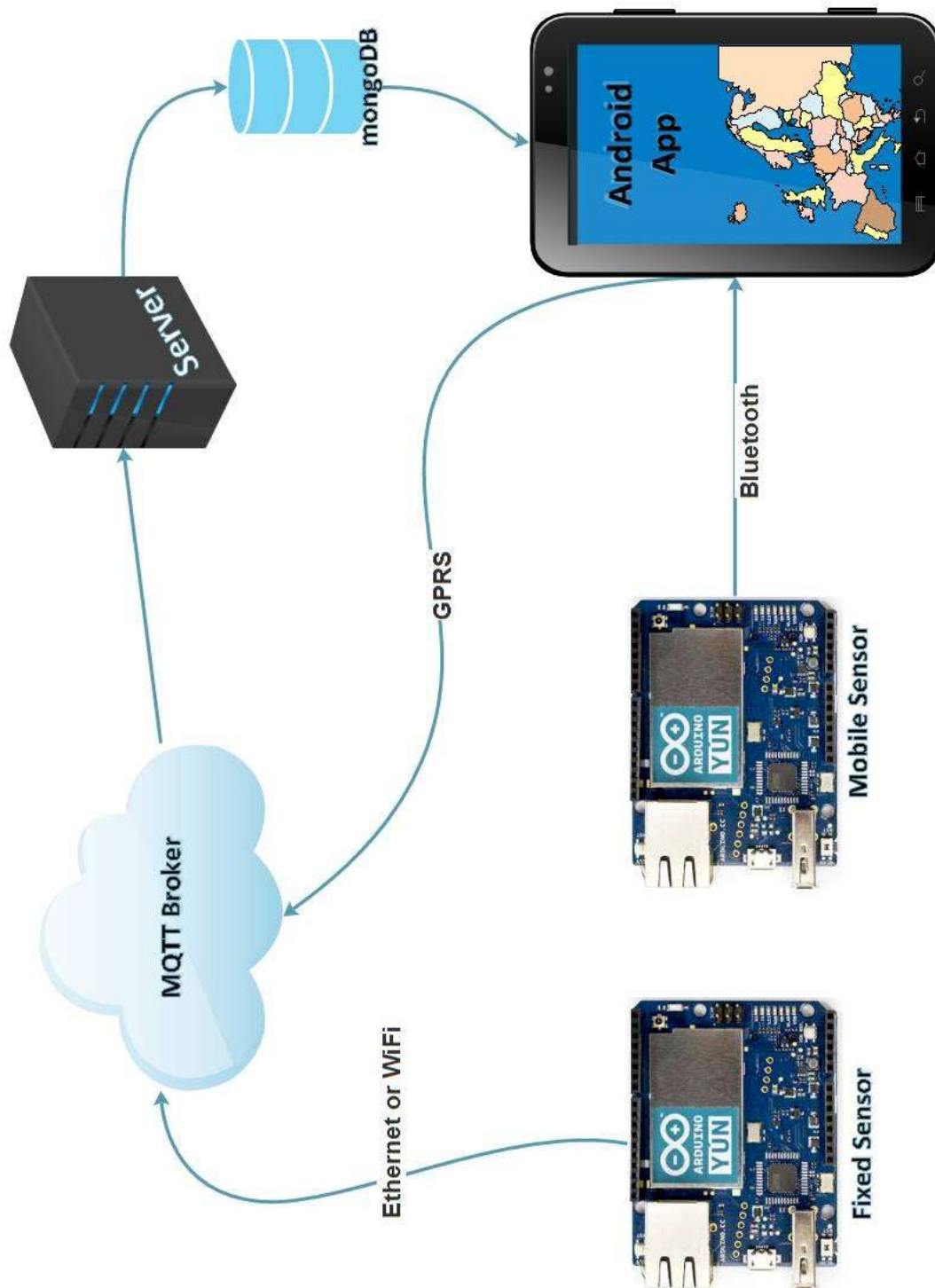
2.2.4. Υλοποίηση

Η μεταφορά και διαχείριση των καταγραφών στην εφαρμογή βασίζεται σε μία αρχιτεκτονική επικοινωνίας με τη μορφή "μηχανή προς μηχανή" (M2M) μέσω δικτύου. Συγκεκριμένα οι δύο τύποι αισθητήρων αποστέλλουν τις καταγραφές ως δημοσιευμένο μήνυμα στον MQTT broker. Ο σταθερός αισθητήρας είναι εγκατεστημένος σε κτιριακή υποδομή και συνδέεται απευθείας στο διαδίκτυο μέσω Ethernet ή WiFi. Αντίθετα, ο φορητός αξιοποιεί τις δυνατότητες ασύρματης πρόσβασης μέσω του πρωτοκόλλου GPRS από τη συσκευή Android.

Εν συνεχεία το MQTT προωθεί το μήνυμα στο διακομιστή που υποστηρίζεται από την πλατφόρμα Heroku. Ο διακομιστής ρυθμίζεται ώστε να παραλαμβάνει το array από τον broker και ακολούθως συνδέεται με τη βάση δεδομένων όπου και αποθηκεύονται οι καταγραφές. Η ΒΔ διαχειρίζεται το περιεχόμενο ως αντικείμενα geoJSON²¹ με σκοπό τη λήψη ερωτημάτων (Queries) από την Android εφαρμογή. Τα ερωτήματα αποτελούν εργαλεία για τη χωρική υπέρθεση των καταγραφών στην διαδικτυακή πλατφόρμα ΓΣΠ.

²¹ <http://geojson.org/geojson-spec.html#introduction>

Διάγραμμα 3: Η αρχιτεκτονική επικοινωνίας της εφαρμογής



2.3. Κατασκευή πρότυπης συσκευής

Η καταγραφή μεταβλητών του περιβάλλοντος μέσω εξειδικευμένων αισθητήρων, σε συνδυασμό με δομές ανάπτυξης κώδικα για τον προγραμματισμό της, αποτελεί τον βασικό άξονα της συγκεκριμένης μελέτης. Συνοπτικά, η εφαρμογή περιγράφεται σε μία παραμετροποιήσιμη συσκευή λήψης περιβαλλοντικών μεταβλητών, η οποία υποστηρίζει πρωτόκολλα επικοινωνίας με άλλες πλατφόρμες λογισμικού για τον διαμοιρασμό και την παρουσίαση των μετρήσεων.

Αναλυτικότερα το προς εφαρμογή δίκτυο παρέχει τη δυνατότητα συλλογής μεταβλητών με παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο (real-time monitoring data collection) μέσω απομακρυσμένης λήψης και μετάδοσης δεδομένων. Η λειτουργικότητα του δικτύου αφορά στην ύπαρξη δύο τύπων αισθητήρων, έναν για φορητή καταγραφή και έναν για σταθερή με βασικό στόχο τη δυναμική χώρο-χρονική καταγραφή της ποιότητας του περιβάλλοντος. Αυτό επιτρέπει την αναγνώριση της φυσικής κατάστασης του σημείου και της στιγμής που λαμβάνει χώρα η μέτρηση.

Η μελέτη του χρόνου υλοποιείται με τη λήψη της χρονικής στιγμής (Time Instance) σε πραγματικό χρόνο και συνοδεύεται από την καταγραφή της θέσης (γεωγραφικό μήκος και πλάτος). Η χωρική παράμετρος θεωρείται εξαιρετικά χρήσιμη στην προκείμενη μελέτη καθώς φανερώνει τυχόν μεταβολές στην ποιότητα του περιβάλλοντος και συνεπακόλουθα τον εντοπισμό των χωρικών αιτιών που τις προκαλούν.

Η υλοποίηση του σχεδίου βασίστηκε στην πλατφόρμα άμεσα διαθέσιμου και ανοιχτού υλικού (Open Hardware) Arduino. Το Arduino διαθέτει άπειρες δυνατότητες εφαρμογής και επεκτασιμότητας καθώς και πολύ μεγάλη κοινότητα ανάπτυξης σχετικών εφαρμογών αυτοματισμού. Επιπλέον, αξιοποιείται η πλέον διαδεδομένη πλατφόρμα φορητών συσκευών Android αποσκοπώντας στην από κοινού λειτουργικότητα και τη διαχείριση των δεδομένων.

2.3.1. Υλικό (Hardware)

Μία σύγχρονη πλατφόρμα IoT οφείλει να υποστηρίζει την αναγνώριση, λήψη, επεξεργασία και μετάδοση της πληροφορίας. Σε αυτή την εφαρμογή εμπλέκονται τεχνικοί τομείς όπως η τεχνολογία αισθητήρων, το ολοκληρωμένο κύκλωμα, η επικοινωνία των δεδομένων, ο αυτοματισμός, οι υπολογισμοί υψηλού επιπέδου και η επεξεργασία της πληροφορίας. Βασική παράμετρος λειτουργίας ενός IoT αποτελεί ο αυτοματισμός και ειδικότερα η "επικοινωνία" μεταξύ μηχανών χωρίς την παρέμβαση του ανθρώπου.

2.3.1.1. Δομικά στοιχεία

Το κοινό πλαίσιο λειτουργίας του διαδικτύου των πραγμάτων διακρίνεται σε τρία επίπεδα: των Αισθητήρων, του Δικτύου και των Εφαρμογών. Το πρώτο περιλαμβάνει την συλλογή, μετάφραση και ευφυή διαχείριση φυσικής

πληροφορίας (πχ θερμοκρασία). Το δεύτερο περιέχει όλες τις παραμέτρους και τις δομές δικτύων (Ασύρματα και Ενσύρματα) οι οποίες υλοποιούν μία αμφίδρομη μετάδοση, καθοδήγηση και έλεγχο των δεδομένων που έχουν καταγραφεί. Τέλος, υποστηρίζεται πληθώρα εφαρμογών οι οποίες υλοποιούνται μέσω διεπαφών χρήστη ανάλογα με τις απαιτήσεις του χρήστη/ σχεδιαστή.

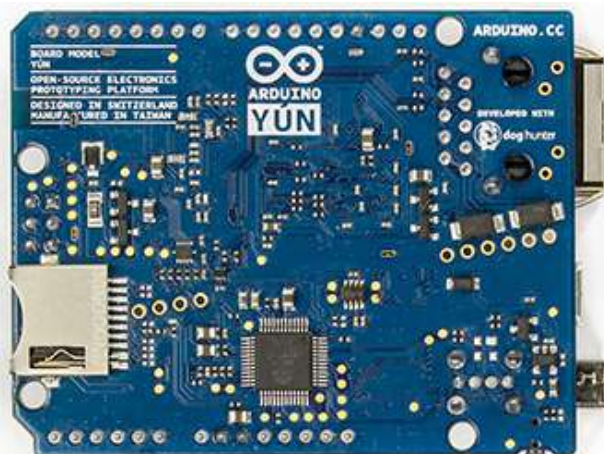
Στην προκειμένη εφαρμογή η συσκευή καταγραφής του περιβάλλοντος βασίζεται σε τέσσερις τομείς. Αρχικά η ίδια η **πλακέτα** του Arduino, η οποία αποτελεί την κύρια διάυλο του συστήματος, έπειτα τους **αισθητήρες** που λαμβάνουν τα τεχνικά μεγέθη, το bluetooth που υλοποιεί την **επικοινωνία** με τη συσκευή Android και μία **μονάδα** παροχής ενέργειας (μπαταρία ή ρευμα).

2.3.1.2. Arduino Yun

Το Yun είναι ένα μικροελεγκτής Arduino ιδανικός για πειραματικές εφαρμογές IoT, καθώς διαθέτει εκτεταμένες δυνατότητες συνδεσιμότητας μέσω δικτυακής και σειριακής επικοινωνίας, καθώς και μέσω λογισμικού.



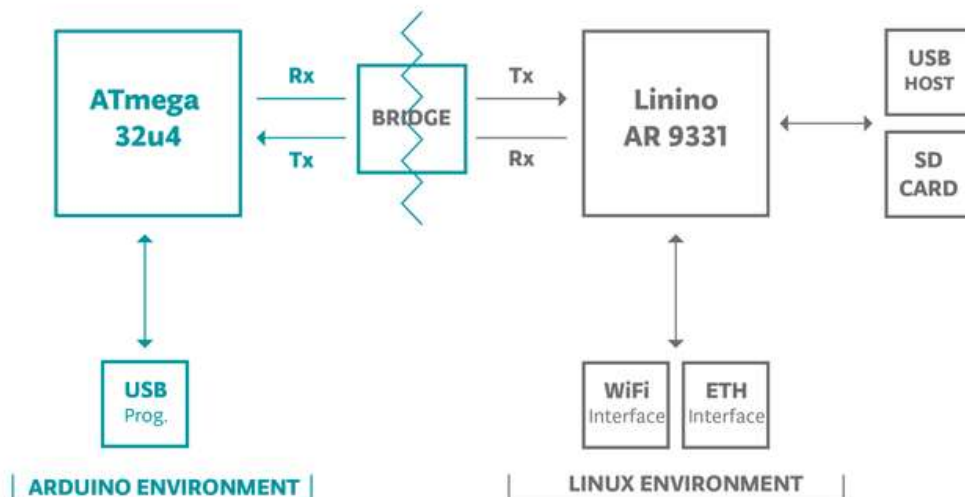
Εικόνα 4: Arduino Yun - Εμπρόσθια όψη,
Πηγή: arduino.cc



Εικόνα 5: Arduino Yun - Οπίσθια όψη,
Πηγή: arduino.cc

Συνοψίζοντας, το Arduino Yun είναι μία πλακέτα μικροελεγκτή που βασίζεται στους μικροεπεξεργαστές ATmega32u4 και Atheros AR9331. Ο δεύτερος διαθέτει μία διανομή Linux βασισμένη στο πρωτόκολλο OpenWrt, την OpenWrt-Yun²². Η δομή της πλακέτας διακρίνεται στην εγκατεστημένη υποστήριξη Ethernet και WiFi, μία θύρα τύπου USB-A, μία υποδοχή για κάρτα αποθήκευσης micro-SD, 20 ψηφιακές εισόδους/εξόδους τύπου ακίδας (7 εκ των οποίων δύναται να χρησιμοποιηθούν ως έξοδοι PWM και 12 ως αναλογικές εισοδοί), έναν κρυσταλλικό ταλαντωτή 16 MHz, μία σύνδεση τύπου micro USB, μία μονωτική βάση τύπου ICSP και 3 κουμπιά reset (YUN, WiFi και Linux).

²² <https://wiki.openwrt.org/toh/arduino/yun>



Εικόνα 6: Διάγραμμα σύνδεσης μεταξύ των 2 επεξεργαστών, Πηγή: arduino.cc

Το Υίν διαφοροποιείται από τις υπόλοιπες πλακέτες Arduino διότι επικοινωνεί άμεσα με διανομές Linux εν γένει, παρέχοντας ικανοποιητικές δικτυακές επεκτάσεις. Πέραν από τη σύνταξη μέσω τερματικού εντολών για τον επεξεργαστή Linux (τύπου cURL), ο χρήστης μπορεί να το παραμετροποιήσει περαιτέρω για πληθώρα σύνθετων εφαρμογών.

Οι εφαρμογές του Arduino (Sketches) παρέχουν τη δυνατότητα εκτέλεσης Shell Scripts²³, επικοινωνία με network interfaces και λήψη πληροφοριών από τον επεξεργαστή AR9331. Αυτό πραγματοποιείται μέσω της εν γένει επικοινωνίας μεταξύ των δύο επεξεργαστών, η οποία διευκολύνεται από την ύπαρξη της βιβλιοθήκης Bridge.

Όπως προαναφέρθηκε το Υίν έχει δύο τύπους επεξεργαστών, συνεπώς τα χαρακτηριστικά της συσκευής διακρίνονται σε δύο αντίστοιχους πίνακες.

²³ <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/ShellCommands>

Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά Επεξεργαστών Arduino Yun

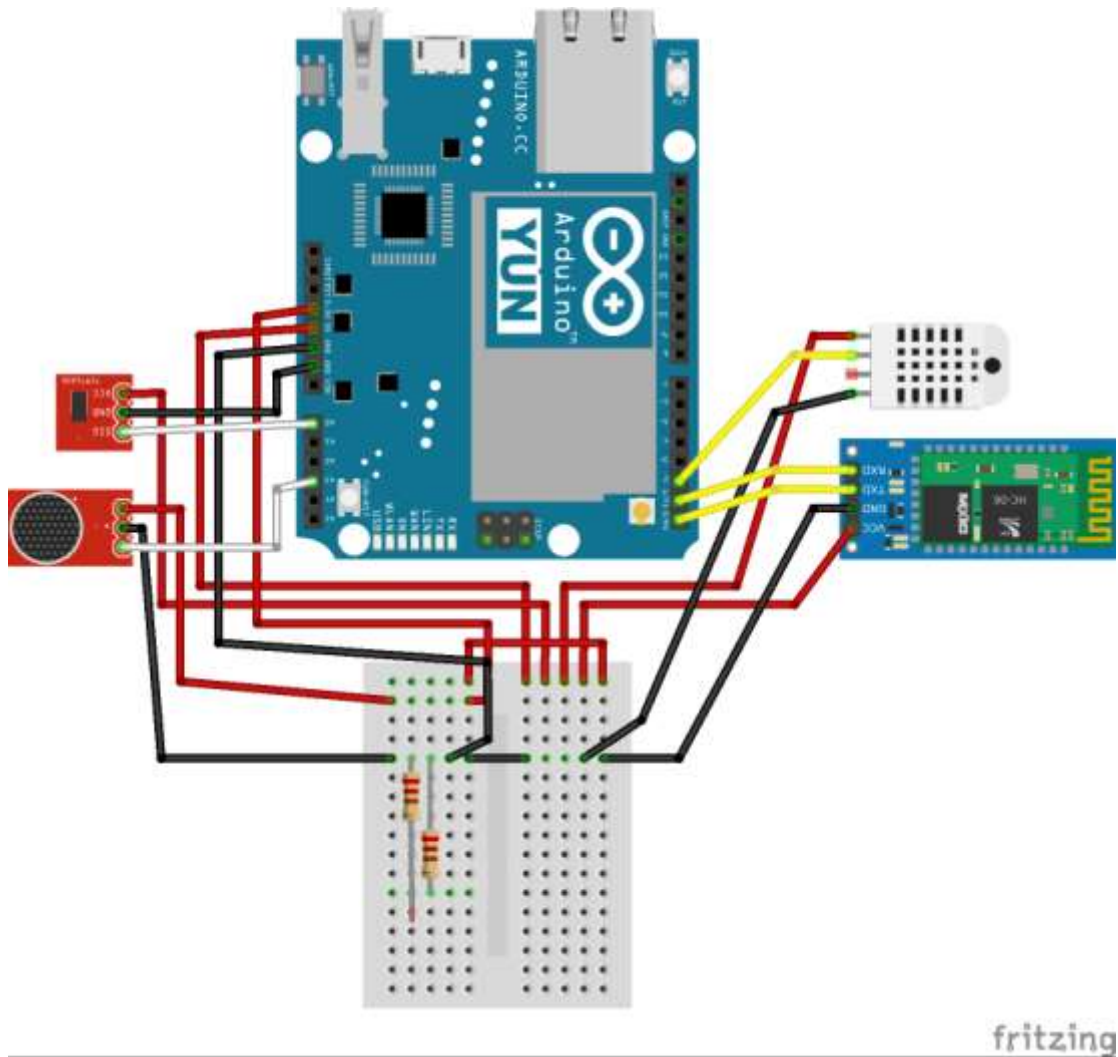
AVR Arduino microcontroller		Linux microprocessor	
Microcontroller	ATmega32u4	Processor	Atheros AR9331
Operating Voltage	5V	Architecture	MIPS @400MHz
Input Voltage	5V	Operating Voltage	3.3V
Digital I/O Pins	20	Ethernet	IEEE 802.3 10/100Mbit/s
PWM Channels	7	WiFi	IEEE 802.11b/g/n
Analog Input Channels	12	USB Type-A	2.0 Host
DC Current per I/O Pin	40 mA	Card Reader	Micro-SD only
DC Current for 3.3V Pin	50 mA	RAM	64 MB DDR2
Flash Memory	32 KB (of which 4 KB used by bootloader)	Flash Memory	16 MB
SRAM	2.5 KB	PoE compatible 802.3af card support (see the note below)	-
EEPROM	1 KB	Length	73 mm
Clock Speed	16 MHz	Width	53 mm
Operating Voltage	5V	Weight	32 g

Η περιγραφή της ποιότητας του περιβάλλοντος απαιτεί την ύπαρξη διαφόρων αισθητήρων μέτρησης φυσικών μεγεθών. Οι αισθητήρες αναφέρονται συνοπτικά στον ακόλουθο πίνακα και αναλυτικότερα στο διάγραμμα 1.

Πίνακας 3: Σύνθεση της συσκευής Arduino

Είδος	Μοντέλο
Μικροελεγκτής Arduino	Arduino YUN
Αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας	Humidity and Temperature Sensor - RHT03 (DHT22)
Αισθητήρας Αερίων: Μονοξείδιο Ανθρακα	Gas Sensor Carbon Monoxide MQ-7
Αισθητήρας Αερίων: Μεθάνιο	Gas Sensor Methane CNG - MQ-4
Ελεγκτής Μικροφώνου	Electret Microphone Amplifier - MAX4466
Επέκταση συνδεσιμότητας Bluetooth	Bluetooth Module for Arduino - HC06

Διάγραμμα 4: Διάγραμμα σύνδεσης της συσκευής καταγραφής



2.3.1.3. Bluetooth

Στις προδιαγραφές του σχεδίου περιλαμβάνεται η συνδεσιμότητα της φορητής συσκευής καταγραφής με την πλατφόρμα Android. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του πρωτοκόλλου ασύρματης επικοινωνίας Bluetooth, το οποίο επιτυγχάνει τη μεταφορά δεδομένων σε κοντινή απόσταση από σταθερές και φορητές συσκευές. Χρησιμοποιεί μικρού μήκους ραδιοκύματα τύπου UHF μεταξύ 2.4 to 2.485 GHz. Επίσης, αποτελεί ένα από τα πιο χρήσιμα εργαλεία σε εφαρμογές IoT καθώς καταναλώνει χαμηλή ενέργεια και εφαρμόζεται σε δίκτυο από δύο μέχρι και οχτώ συσκευές (Piconet). Η σύνδεση πραγματοποιείται αυτοματοποιημένα και μία από τις συσκευές λαμβάνει κεντρικό ρόλο (Master) ενώ όλες οι υπόλοιπες λειτουργούν ως "υπηρέτες" (Slave). Εφόσον έχει πραγματοποιηθεί η αρχική σύνδεση και αναγνώριση (Pairing), οι συσκευές συνδέονται μεταξύ τους αυτοματοποιημένα μόλις ενεργοποιηθούν.

Κατά την προκειμένη εφαρμογή η τεχνολογία Bluetooth εφαρμόζεται ούτως ώστε το Arduino να αποστέλλει τις μετρούμενες τιμές ασύρματα στη συσκευή Android. Αξιοποιείται λοιπόν η μονάδα HC-06, που συνδέεται με το Arduino ως slave συσκευή. Τροφοδοτείται με 5V από το αντίστοιχο pin, συνδέεται με γείωση (GND) και η μετάδοση και λήψη των δεδομένων ολοκληρώνεται μέσω των καρφιών RX & TX (Receive, Transmit). Είναι σημαντικό να σημειωθεί πως το Rx του module συνδέεται με το Tx του Yun επειδή το δεύτερο αποστέλλει δεδομένα (Transmit) και εν συνεχεία το module τα δέχεται (Receive).

Εικόνα 7: Μονάδα Bluetooth HC-06



Η χρησιμότητα του bluetooth στη συγκεκριμένη εφαρμογή συνοψίζεται στην αποστολή ενός String με τα τεχνικά μεγέθη στη συσκευή αποδέκτη μέσω πρωτοκόλλου σειριακής επικοινωνίας. Το δείγμα του κώδικα που αντιστοιχεί υποδεικνύει τη σχέση Arduino, αισθητήρων και συσκευής Android. Η αποστολή των μεταβλητών μπορεί να πραγματοποιηθεί σε οποιαδήποτε άλλη συσκευή, όμως η ορθή λήψη και διαχείριση των μετρήσεων αποτελεί αντικείμενο της εφαρμογής Android που θα επεξηγηθεί αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο.

2.3.1.4. Μέτρηση θερμοκρασίας και Σχετικής Υγρασίας

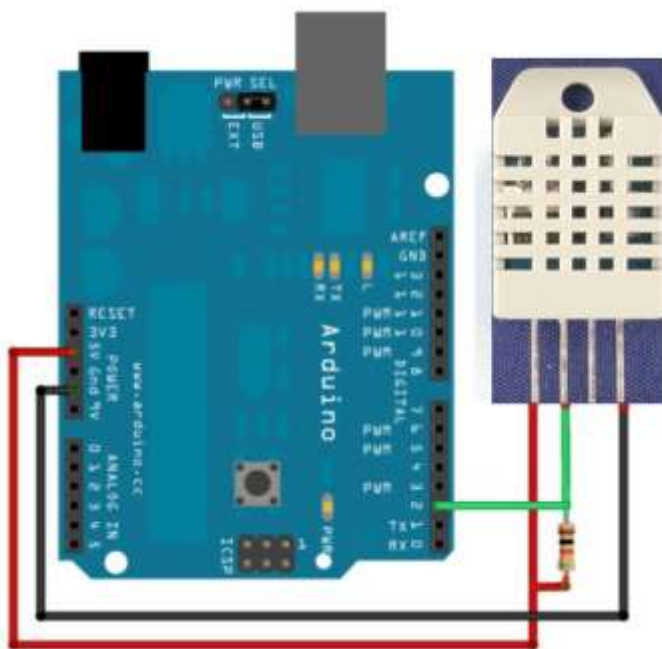
Η εξαγωγή των σχετικών μεταβλητών συμβαίνει μέσω του αισθητήρα DHT-22, ο οποίος αποτελείται από δύο μέρη, ένα χωρικό αισθητήρα υγρασίας και ένα Thermistor (θερμική αντίσταση). Επιπλέον, περιέχεται ένα βασικό κύκλωμα το οποίο μετατρέπει το αναλογικό σήμα της μέτρησης σε ψηφιακό με τις μετρήσεις της θερμοκρασία και της υγρασίας. Η ανοχή στη μέτρηση της υγρασίας (0-100%) κυμαίνεται μεταξύ 2-5%, ενώ το εύρος μετρήσεων της θερμοκρασίας (-40 έως 125°C) κυμαίνεται στους +5°C.

Πίνακας 4: DHT-22, πηγή: Adafruit.com



Οι μικρές του διαστάσεις (15.1mm x 25mm x 7.7mm) και οι τέσσερις ακίδες που διαθέτει, διευκολύνουν την υλοποίηση εφαρμογών IoT. Ο αισθητήρας λειτουργεί μέσω τριών συνδέσεων με το μικροελεγκτή. Συγκεκριμένα, η ακίδα VCC συνδέεται με την παροχή των 5V, η δεύτερη (Data) εξάγει τα τεχνικά μεγέθη σε ψηφιακή είσοδο και η τέταρτη συνδέεται με τη γείωση του Arduino. Επιπροσθέτως απαιτείται αντίσταση 10K μεταξύ της VCC και Data.

Πίνακας 5: Υπόδειγμα σύνδεσης DHT-22, πηγή: Adafruit.com

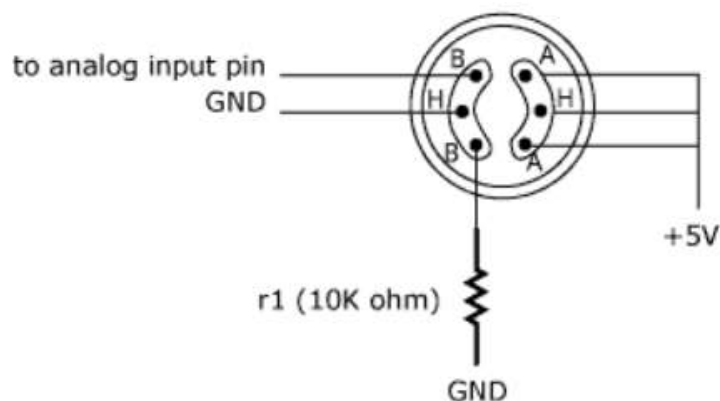


2.3.1.5. Μέτρηση ποιότητας της ατμόσφαιρας

Για τη μέτρηση της ποιότητας του αέρα αξιοποιούνται αισθητήρες αερίων τύπου MQ. Στο εσωτερικό τους διαθέτουν ένα μικρό θερμαστή μαζί με ένα ήλεκτρο -

χημικό αισθητήρα. Το εύρος των μετρήσεων τους περιλαμβάνει πλήθος τύπων αερίων και αποδίδουν καλύτερα σε μέσες συνθήκες περιβάλλοντος (θερμοκρασία δωματίου). Η βαθμονόμησή τους είναι εφικτή, όμως απαιτείται η πρότερη γνώση των επιπέδων του αερίου που μελετάται.

Η τάση του θερμαστή που βρίσκεται στο εσωτερικό του αισθητήρα, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο για τη λειτουργία της συσκευής. Καταναλώνει 5V κατά τη λειτουργία του και πιθανές αλλαγές στην τάση ενδέχεται να επηρεάσουν την πιστότητα των μετρήσεων. Σε περίπτωση που απαιτείται περαιτέρω βαθμονόμηση, δύναται η χρήση του ορίσματος `analogWrite()` για τη ρύθμιση του μεγέθους της τάσης. Αξίζει να σημειωθεί πως η βέλτιστη λειτουργία του αισθητήρα απαιτεί την προθέρμανσή (Burn-in) του σε σταθερή λειτουργία για 12 με 24 ώρες (ανάλογα με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος). Μετά τη φάση της προθέρμανσης απαιτούνται περίπου πέντε λεπτά λειτουργίας για τη σταθεροποίηση των αποτελεσμάτων.



Εικόνα 8: Καλωδίωση αισθητήρων MQ

Η συνδεσμολογία των αισθητήρων αποτελεί μία απλή διαδικασία. Διαθέτουν έξι ακίδες σε παράλληλη διάταξη, τρεις από τους οποίους αφιερώνονται στη σύνδεση με τη παροχή τάσης 5V. Δύο οδηγούνται στη γείωση και ένας σε αναλογική είσοδο του Arduino. Η ορθή λειτουργία του αισθητήρα εξαρτάται από τη σύνδεση της γείωσης με μία αντίσταση 10K-ohm.

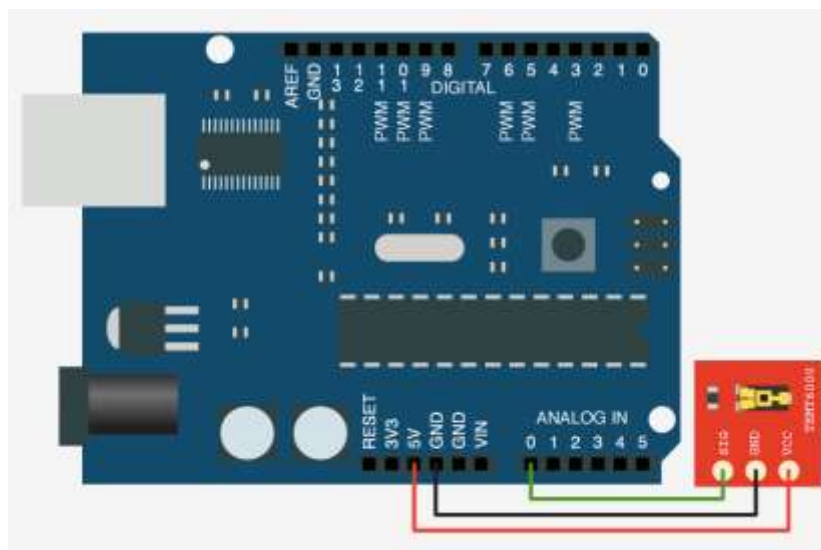
Για αυτή την εφαρμογή χρησιμοποιούνται οι τύποι MQ-4 και MQ-7 για τη μέτρηση του μεθανίου (CH_4) και του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) αντίστοιχα. Η επιλογή τους έγινε με βάση το χαμηλό τους κόστος και το μικρό τους μέγεθος. Η μεγαλύτερη ακρίβεια των μετρήσεων ενδέχεται να επιτευχθεί με την χρήση του αισθητήρα Sharp Dust Sensor GP2Y1010AU²⁴ ο οποίος υπολογίζει το πλήθος των αερίων σωματιδίων - ανεξαρτήτως είδους - στην ατμόσφαιρα, αυξάνει όμως αρκετά το μέγεθος του όγκου της συσκευής και περιορίζει τη φορητότητα.

²⁴ <http://www.arduino.org/learning/tutorials/boards-tutorials/sharp-dust-sensor-gp2y1010au>

2.3.1.6. Φωτόμετρο

Το TEMT6000 αποτελείται από ένα φωτοτρανζίστορ τοποθετημένο πάνω σε μικρή ηλεκτρονική πλακέτα. Η συσκευή καταγράφει μετρήσεις από το ορατό φάσμα και είναι προσαρμοσμένη στην απόκριση του ανθρώπινου ματιού. Δεν αποκρίνεται επαρκώς στο υπεριώδες (UV), το υπέρυθρο (IR) φώς, όπως και σε μικρές αλλαγές που σημειώνονται σε μεγάλο εύρος φωτεινότητας. Ο συγκεκριμένος αισθητήρας είναι κατάλληλος για εφαρμογές αναγνώρισης φωτεινότητας σε μικρή κλίμακα για καθημερινές ηλεκτρονικές συσκευές, όπως smartphone και φορητούς υπολογιστές.

Εικόνα 9: Σύνδεση TEMT6000, πηγή bildr.org



Το φωτόμετρο διαθέτει τρεις υποδοχές οι οποίες έχουν ως εξής: η **VCC** λαμβάνει παροχή τάσης 5V, η γείωση (**GND**) και η αναλογική έξοδος (**SIG**). Οι μετρήσεις που παράγει ο αισθητήρας κυμαίνονται μεταξύ 0 έως 1023 (χαμηλή έως υψηλή φωτεινότητα), και στην περίπτωση που συνδεθεί με παροχή 3.3V οι τιμές εξόδου θα είναι χαμηλότερες. Επειδή τα παραγόμενα μεγέθη δεν επαρκούν για την προκείμενη μελέτη, απαιτείται η μετατροπή τους σε LUX, που αποτελεί τη μονάδα μέτρησης στο SI για την εκπεμπόμενη φωτεινότητα.

Η μετατροπή υλοποιείται μέσω ενός λόγου που δηλώνει τη σχέση της μετρούμενης τάσης με τη μέτρηση του ρεύματος. Βάσει των τεχνικών προδιαγραφών του αισθητήρα και της βιβλιογραφίας η βαθμονόμηση σε LUX προκύπτει από τον τύπο $lux = 2 \times microampere$ με όριο ανοχής μεταξύ 0 και 1000 lux.

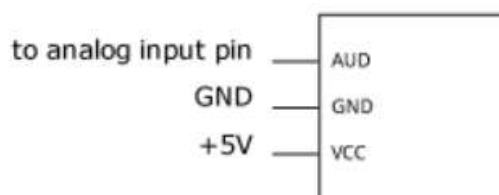
2.3.1.7. Μετρητής θορύβου

Η μέτρηση του θορύβου συναντά αρκετές δυσκολίες στην υλοποίησή της, καθώς απαιτείται εξειδικευμένος εξοπλισμός για τον ορθό υπολογισμό της ηχορύπανσης σε decibel (dB). Η μελέτη εξετάζει την ηχορύπανση με ποιοτικά μεγέθη μέσω της χρήσης ενός μικροφώνου MAX4466.

Το μικρόφωνο είναι ένας ενισχυτής ήχου με πολύ μικρό μέγεθος και χαμηλή τάση λειτουργίας. Διαθέτει τρεις υποδοχές που υποστηρίζουν παροχή τάσης 5V, γείωση

και αναλογική έξοδο. Λόγω του θορύβου που προκαλείται στη μέτρηση από την τάση των 5V, ο αισθητήρας συνδέεται με την παροχή 3.3V που διαθέτει το Yun.

Διάγραμμα 5: Σύνδεση MAX4466, πηγή: wiring.org.co



Όπως προαναφέρθηκε, η μέτρηση της ηχορύπανσης αποτελεί πρόκληση για την πειραματική συσκευή καταγραφής. Ύστερα από αρκετές δοκιμές, θεωρήθηκε επαρκής η μέτρηση του θορύβου σε μονάδες dBm. Επεξηγηματικά, το Arduino διαβάζει το αναλογικό σήμα από το μικρόφωνο, το μετατρέπει σε τάση και στη συνέχεια υπολογίζονται τα dBm. Ο υπολογισμός υλοποιήθηκε βάσει μελέτης των τεχνικών μεγεθών που σχετίζονται με την επιθυμητή μεταβλητή, των χαρακτηριστικών του μικροφώνου από το σχετικό τεχνικό δελτίο και τέλος, τη δειγματοληψία και συνάμα σύγκριση των αποτελεσμάτων με βαθμονομημένο ντεσιμπελόμετρο. Παρότι, το αποτέλεσμα δεν σχετίζεται άμεσα με την επιθυμητή μεταβλητή (ένταση ήχου, θόρυβος), παρουσιάστηκε συνέπεια στα αποτελέσματα των μετρήσεων, ιδίως όταν εισάγεται χρονικό βήμα καταγραφής μεγαλύτερο των είκοσι δευτερολέπτων. Συνεπώς, η μέτρηση του θορύβου μπορεί να υπολογισθεί από τη συσκευή εφόσον η παραγόμενη μεταβλητή θεωρηθεί ως ποιοτική.

2.3.2. Λογισμικό (Software)

Η λειτουργία των μικροελεγκτών Arduino βασίζεται αφενός στην επαρκή λειτουργία του hardware, αφετέρου στην ορθή παραμετροποίηση της συσκευής. Με αυτό τον τρόπο βελτιστοποιείται η ανάπτυξη εφαρμογών αυτοματισμού. Τα προγράμματα υπολογιστή αναπτύσσονται μέσω εξειδικευμένων πακέτων λογισμικού, τα οποία ονομάζονται Ολοκληρωμένα Περιβάλλοντα Ανάπτυξης²⁵. Τα στοιχεία ενός IDE περιλαμβάνουν κάποιον επεξεργαστή πηγαίου κώδικα, μεταγλωτιστή, εργαλεία αυτόματης παραγωγής κώδικα, εργαλεία αυτόματης παραγωγής κώδικα, σύστημα ελέγχου εκδόσεων κ.α.

2.3.2.1. Arduino IDE

Οι μικροελεγκτές Arduino υποστηρίζονται από ένα Ολοκληρωμένο Περιβάλλον ανάπτυξης, το Arduino IDE. Είναι συμβατό με όλες τις πλατφόρμες λογισμικού (Windows, Linux, IOS) και τις διαθέσιμες ηλεκτρονικές πλακέτες Arduino. Παράλληλα με την ελεύθερη διάθεση του προγράμματος, η κοινότητα υποστηρίζει τους χρήστες με πλήθος οδηγιών χρήσης, παραδείγματα εφαρμογών και Fora.

²⁵ Intergrated Development Environment - IDE

Τα παραπάνω επιτρέπουν τη διασύνδεση μεταξύ υλικού (Arduino) και λογισμικού (IDE). Το Arduino διαβιβάζει δεδομένα σε Σειριακή μορφή, ούτως ώστε να "μιλά" με όλες τις γλώσσες προγραμματισμού με δυνατότητες σειριακής επικοινωνίας. Επίσης, η διασύνδεση με γλώσσες χωρίς δυνατότητα ανάγνωσης σειριακών δεδομένων, επιτυγχάνεται μέσω κατάλληλων μεταγλωτιστών, οι οποίοι παίρνουν το ρόλο του διαμεσολαβητή.

Γλώσσα προγραμματισμού

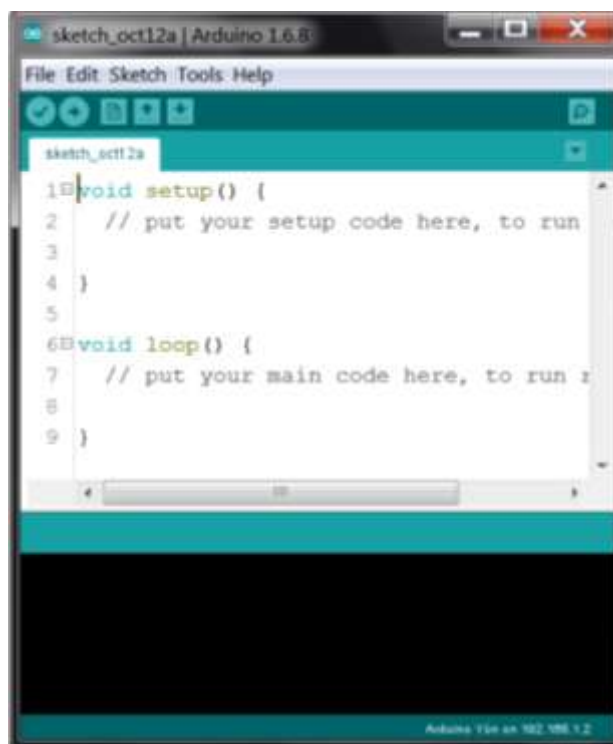
Συνήθως, τα προγράμματα των επεξεργαστών τύπου ATmega συντάσσονται σε γλώσσα C ή Assembly και στη συνέχεια προγραμματίζονται μέσω της διεπαφής ICSP μέσω αφιερωμένου φυσικού προγραμματιστή. Η ευκολία που παρέχει η πλατφόρμα του Arduino διακρίνεται στο γεγονός ότι αυτό υλοποιείται απλά μέσω της θύρας USB. Η λειτουργικότητα αυτή προκύπτει μέσω του Arduino bootloader, ο οποίος είναι προεγκατεστημένος στον ATmega και ακολούθως επιτρέπει τη λειτουργία ενός serial USART²⁶ για την φόρτωση του προγράμματος στο μικροελεγκτή Arduino. Με τη συγκεκριμένη μεθοδολογία απαλείφεται η ανάγκη χρήσης ξεχωριστής συσκευής προγραμματισμού.

Υλοποίηση κώδικα

Το Arduino IDE αποτελεί ένα πλήρες και σύγχρονο πακέτο προγραμματισμού για τις πλακέτες Arduino. Διαθέτει σύνθετη λειτουργικότητα για την εισαγωγή, σύνταξη διόρθωση και μεταφόρτωση κώδικα για τη λειτουργία του μικροελεγκτή. Προσφέρει προ-εγκατεστημένα δείγματα κώδικα για την εκπαίδευση του χρήστη, και πλήθος λειτουργιών διαχείρισης της συσκευής μέσω ενημερώσεων, λειτουργίας κτλ. Εξυπηρετεί συνδεσιμότητα μέσω σειριακής θύρας USB καθώς και μέσω δικτύου (ασύρματου ή ενσύρματου).

²⁶ Universal Synchronous/ Asynchronous Receiver/ Transmitter

Εικόνα 10: Arduino IDE



Γλώσσα ανάπτυξης

Το περιβάλλον ανάπτυξης του Arduino αξιοποιεί τις δυνατότητες της γλώσσας προγραμματισμού C. Η C αποτελεί μία ευρέως εφαρμοσμένη γλώσσα που χαρακτηρίζεται ως πολυχρηστική, διαδικαστική και επιτακτική. Αναπτύχθηκε το 1972 από τον Dennis M. Ritchie στα εργαστήρια της Bell Telephone με σκοπό την ανάπτυξη του λειτουργικού συστήματος UNIX. Είναι η πρώτη σε δημοτικότητα για χρήση σε ανάπτυξη λογισμικού και εξίσου δημοφιλής με τη Java.

Στην περίπτωση του Arduino, η C εφαρμόζεται σε περισσότερο απλοποιημένη μορφή, καθώς η πλακέτα απαιτεί τη σύνταξη ενός μόνο προγράμματος. Η δομή της διακρίνεται ευρύτερα σε δύο λειτουργίες, και υλοποιείται τουλάχιστον σε δύο βασικά μέρη (Void Setup και Void Loop). Οι δύο λειτουργίες είναι απαραίτητες για τη λειτουργία του προγράμματος. Κατά το setup() περιγράφεται η προετοιμασία των παραμέτρων και κατά το loop() περιγράφεται η εκτέλεση του προγράμματος.

Το Setup είναι η πρώτη λειτουργία που διαβάζει το πρόγραμμα και τρέχει μόνο μία φορά. Η εισαγωγή του στο κώδικα είναι η απαραίτητη και χρησιμοποιείται για να ορίσει το pinMode και για να αρχικοποιήσει τη σειριακή επικοινωνία. Εκεί ορίζονται όλες οι μεταβλητές στην αντίστοιχη ακίδα κατά την αρχή του προγράμματος. Ακολούθως, η λειτουργία Loop περιέχει τον κώδικα ο οποίος εκτελείται συνεχώς. Το συγκεκριμένο σκέλος αποτελεί τον πυρήνα των προγραμμάτων Arduino διότι υλοποιεί το όλο πλήθος των ενεργειών. Κατά τη διαδοχική του λειτουργία επιτρέπει στο πρόγραμμα να μεταβάλλει, να ανταποκριθεί και να ελέγξει την πλακέτα Arduino.

Μία ακόμη σημαντική παράμετρος στη γλώσσα C και το Arduino είναι ο ορισμός μεταβλητών. Η μεταβλητές προσφέρουν μία μέθοδο ονομασίας και αποθήκευσης αριθμητικών τιμών για ύστερη χρήση από το πρόγραμμα. Σε αντίθεση με τις συνεχείς τιμές, οι μεταβλητές μεταβάλλονται συνεχώς και το πρόγραμμα απαιτεί τη δήλωση και την ανάθεσή τους στην τιμή που θα αποθηκεύσουν. Μία συνήθης μεταβλητή στο Arduino είναι η `inputVariable`, με την οποία ορίζονται τιμές στις αντίστοιχες εισόδους της πλακέτας. Στο παράδειγμα που ακολουθεί υποδεικνύεται η λειτουργικότητα των μεταβλητών, καθώς το τελικό όρισμα αποθηκεύεται για να χρησιμοποιηθεί σε άλλα σκέλη του προγράμματος.

<code>int inputVariable = 0;</code>	Δηλώνεται μία μεταβλητή ως ακέραιος αριθμός και της αναθέτεται η τιμή 0
<code>inputVariable = analogRead(2);</code>	Η μεταβλητή ορίζεται στην τιμή που λαμβάνει η ακίδα 2

Όσον αφορά στη χρήση των μεταβλητών στο προγραμματισμό, θεωρείται καλή πρακτική η ονοματολογία των μεταβλητών. Με αυτό τον τρόπο ο κώδικας είναι ευανάγνωστος και αντιληπτός για το τί αναπαριστά η κάθε μία μεταβλητή. Μία μεταβλητή μπορεί να πάρει οποιαδήποτε όνομα, αρκεί να μην ανήκει στις λέξεις-κλειδιά της γλώσσας του Arduino.

Βιβλιοθήκες

Στο περιβάλλον ανάπτυξης του Arduino περιέχονται πλήθος βιβλιοθηκών που επεκτείνουν τη λειτουργικότητα των προγραμμάτων. Παρέχουν επιπλέον λειτουργικότητα για τη σύνταξη νέων προγραμμάτων (Sketches) και είναι ιδιαίτερα χρήσιμες σε περιπτώσεις επικοινωνίας με εξωτερικές συσκευές/ αισθητήρες και χειρισμού δεδομένων. Η ευελιξία του περιβάλλοντος ανάπτυξης διαφαίνεται με τη δυνατότητα εγκατάστασης βιβλιοθηκών από τρίτες πηγές (πχ [GitHub.com](https://github.com)), αλλά και τη δημιουργία νέων από τον ίδιο το χρήστη. Η εισαγωγή τους στο πρόγραμμα είναι αρκετά απλή. Το σύστημα επιτρέπει την εισαγωγή από το γραφικό περιβάλλον μέσω του μενού επιλογών και από τη σύνταξη του προγράμματος με το όρισμα `#include <libraryname.h>`.

Προδιαγραφές εφαρμογής

Το δίκτυο περιβαλλοντικών αισθητήρων που διαπραγματεύεται η συγκεκριμένη μελέτη βασίζεται σε δύο τύπους συσκευών παρατήρησης του περιβάλλοντος. Ο πρώτος τύπος προορίζεται να είναι εγκατεστημένος σε προκαθορισμένο σταθερό σημείο, ενώ ο δεύτερος είναι φορητός.

2.3.2.2. Υλοποίηση του σχεδίου

Το δίκτυο περιβαλλοντικών αισθητήρων που διαπραγματεύεται η συγκεκριμένη μελέτη βασίζεται σε δύο τύπους συσκευών παρατήρησης του περιβάλλοντος. Ο

πρώτος τύπος προορίζεται να λειτουργεί σε προκαθορισμένο σταθερό σημείο, ενώ ο δεύτερος είναι φορητός. Παρότι καταγράφουν τις ίδιες μεταβλητές και παράγουν τα ίδια μεγέθη, η μεταξύ τους διαφοροποίηση εντοπίζεται στο γεγονός ότι η φορητή συσκευή αξιοποιεί τη μονάδα Bluetooth. Αντίθετα η σταθερή μονάδα εκμεταλλεύεται τις δυνατότητες συνδεσιμότητας του Yun και συνδέεται απευθείας με το Server μέσω του πρωτοκόλλου MQTT. Τη συγκεκριμένη εργασία αναλαμβάνει η εφαρμογή Android για τη φορητή συσκευή.

Ο ρόλος του Arduino αποτελεί την καταγραφή, βαθμονόμηση και αποστολή των μεταβλητών στον εγκατεστημένο εξυπηρετητή. Αρχικά η καταγραφή συμβαίνει μέσω του ορισμού των εισόδων (αναλογικών ή ψηφιακών) με τους αντίστοιχους αισθητήρες (πχ `#define DHTPIN 2` ή `float temt6000Pin = A0`). Έπειτα, υλοποιούνται οι διάφοροι προγραμματιστικοί και μαθηματικοί χειρισμοί σε κάθε μία από τις μεταβλητές ώστε να παραχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα. Εφόσον έχουν ολοκληρωθεί όλοι οι απαιτούμενοι χειρισμοί, ακολουθεί η προετοιμασία των μεταβλητών για αποστολή σειριακά (`Serial.print`) και ως string.

```
int temt6000Pin = 0;           Ορισμός και αντιστοίχιση ψηφιακής εισόδου
void setup() {
  Serial.begin(9600);          Αρχικοποίηση Σειριακής θύρας
}
void loop() {
  int lux = analogRead(temt6000Pin)* 0.9765625;  Χειρισμός της μεταβλητής
  Serial.println(lux);          Εμφάνιση της μεταβλητής
}
```

Η χωρο-χρονική καταγραφή των μεταβολών της ποιότητας του περιβάλλοντος απαιτεί την εγγραφή των παραμέτρων της θέσης και της χρονικής στιγμής της κάθε μεταβλητής. Η φορητή μονάδα καταγραφής εξαρτάται από την Android εφαρμογή για να το υλοποιήσει. Αντίθετα, στο string που αποστέλλεται από τη σταθερή μονάδα εισάγονται τρεις επιπλέον μεταβλητές: γεωγραφικό μήκος (Long) και πλάτος (Lat) και ο χρόνος (Time). Το χωρικό στίγμα προκαθορίζεται από τη θέση εγκατάστασης της συσκευής και εισάγεται στον κώδικα της κάθε συσκευής με τη μορφή Hardcoded μεταβλητών (`String deviceId = "fixed001"; float lng = 23.8167; float lat = 37.9833;`). Όσον αφορά στο χρόνο προετοιμάζεται ένα `timeString` βάσει ενός ρολογιού Unix και ακολούθως παράγεται ένα `Timestamp`.

Μία ακόμη λειτουργία που υλοποιείται από το σταθερή συσκευή, είναι η αποστολή των μετρήσεων στο μεσάζοντα (Broker) απευθείας από το Arduino. Η συγκεκριμένη διεργασία υλοποιείται μέσω της βιβλιοθήκης `PubSubClient`, με την οποία πραγματοποιείται η σύνδεση με το Broker. Η βιβλιοθήκη είναι συμβατή με το Yun και παρέχει συνδεσιμότητα μέσω WiFi και Ethernet. Βασικός της ρόλος είναι να

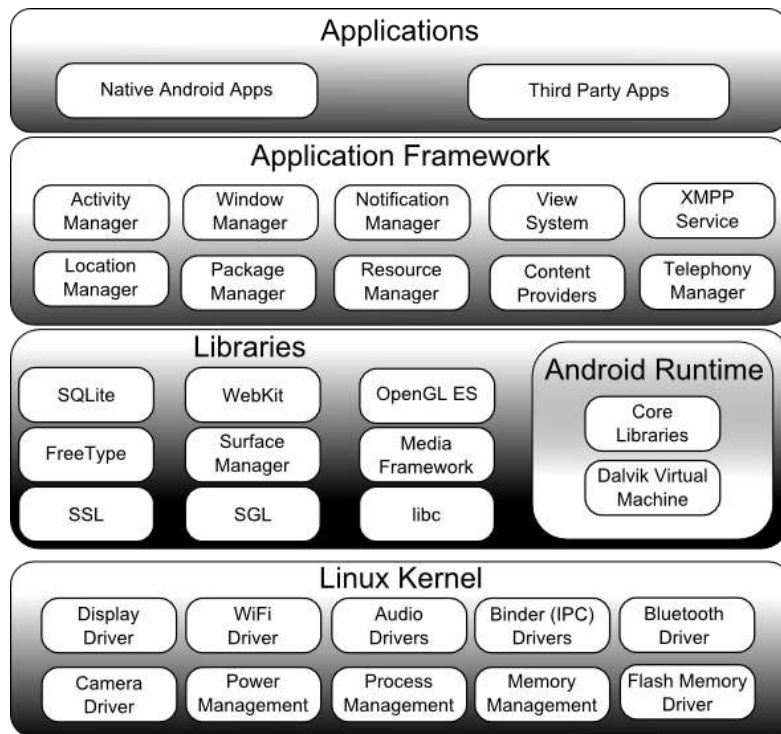
λειτουργεί ως Client ο οποίος δημοσιεύει (Publish) και συνεισφέρει (Subscribe) στον εγκατεστημένο Broker. Με αυτήν η σταθερή συσκευή καταγραφής δημοσιεύει το String με τις καταγεγραμμένες μεταβλητές καθώς και τα στοιχεία ταυτοποίησης του αισθητήρα (πχ fixed001).

2.4. Πρότυπη Εφαρμογή Android

2.4.1. Android OS

Το λειτουργικό σύστημα Android είναι μία σύνθεση από συστατικά λογισμικού διαφορετικά μεταξύ τους. Η αρχιτεκτονική διακρίνεται σε πέντε τμήματα και τέσσερα επίπεδα, α) τον Πυρήνα Linux, β) τις Βιβλιοθήκες, γ) το Android Runtime (ART)²⁷, δ) το πλαίσιο της εφαρμογής και ε) τις Εφαρμογές.

Διάγραμμα 6: Αρχιτεκτονική Android OS



Η πλατφόρμα Android έχει σχεδιαστεί κυρίως, αλλά όχι αποκλειστικά, για να υποστηρίξει φορητές συσκευές όπως smartphones και tablets με δυνατότητες αφής. Αυτή η σύνθεση του λογισμικού ελέγχει πλήρως το σύστημα, από τις υπηρεσίες του λειτουργικού συστήματος έως και εφαρμογές λειτουργικότητας της φορητής συσκευής (τηλέφωνο, φυλλομετρητής κα).

Αποτελεί την πλέον δημοφιλή πλατφόρμα λειτουργικού συστήματος για φορητές και σταθερές συσκευές. Ο πηγαίος κώδικάς του Android διατίθεται από την Google με άδεια ανοιχτού κώδικα και υποστηρίζει μία μεγάλη κοινότητα χρηστών και προγραμματιστών ως δομή για την ανάπτυξη εφαρμογών ανοιχτού και ελεύθερου λογισμικού. Το εύρος υποστήριξης περιλαμβάνει από υλικό τελευταίας τεχνολογίας έως και χαμηλότερων προδιαγραφών.

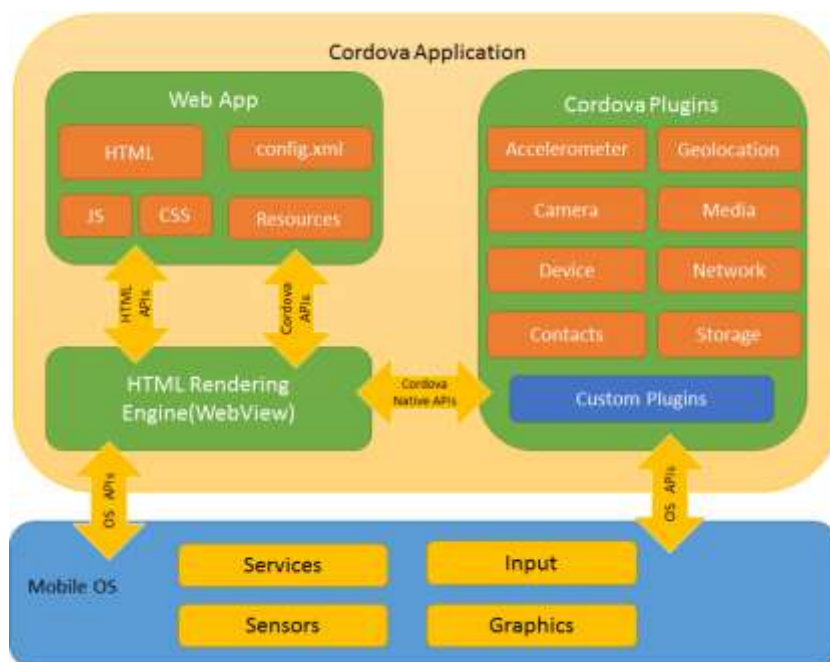
Η επέκταση της λειτουργικότητας των συσκευών Android πραγματοποιείται μέσω εφαρμογών (apps) που αναπτύσσονται βάσει του Android software development kit

²⁷ Υλοποιεί τη μετάφραση του bytecode σε αναγνώσιμες εντολές του Linux Kernel

(SDK). Το SDK είναι η διεργασία κατά την οποία δημιουργούνται νέες εφαρμογές για το Android OS. Συνήθως αναπτύσσονται μέσω της γλώσσας Java σε συνδυασμό τη C ή C++.

Η ανάπτυξη των εφαρμογών υλοποιείται με την υποστήριξη διαφόρων τύπων ολοκληρωμένου περιβάλλοντος ανάπτυξης²⁸ με το πιο δημοφιλές να αποτελεί το Android Studio²⁹. Στη συγκεκριμένη μελέτη αξιοποιήθηκε το Apache Cordova³⁰, το οποίο αποτελεί μία πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα ανάπτυξης εφαρμογών για φορητές συσκευές και επιτρέπει τη χρήση τυποποιημένων τεχνολογιών διαδικτύου (HTML5, CSS3, and JavaScript) σε διαφορετικές πλατφόρμες (Android και iOS). Η πρωτοτυπία του Cordova έγκειται στο ότι οι εφαρμογές εκτελούνται εντός ενός πλαισίου (wrapper) αντίστοιχο με την εκάστοτε πλατφόρμα και δεν είναι πλέον απαραίτητη η εκ θεμελίων κατασκευή του app. Η προσβασιμότητα στις δυνατότητες της εκάστοτε συσκευής βασίζεται σε πρότυπα συμβατά με τα API.

Διάγραμμα 7: Αρχιτεκτονική εφαρμογής Cordova



Το Cordova χαρακτηρίζεται από μία δομή που λειτουργεί ως σύστημα υποστήριξης (backend) για το app. Οι εξεζητημένες δυνατότητες και το γραφικό περιβάλλον χρήστη (GUI) διαμορφώνεται μέσω του Ionic Framework που παρέχει τα απαραίτητα εργαλεία για την κατασκευή εγγενών app μέσω τεχνολογιών HTML, CSS και Javascript. Το Ionic εκμεταλλεύεται τις δυνατότητες του Cordova με σκοπό την απλοποίηση των μεθόδων ανάπτυξης του front-end των εφαρμογών. Βασίζεται

²⁸ Intergrated Development Environment - IDE

²⁹ <http://developer.android.com/studio>

³⁰ <https://cordova.apache.org/>

κυρίως στο πρωτόκολλο AngularJS³¹ και παρέχει πλήρη λειτουργικότητα για φορητές συσκευές αφής.

Η AngularJS είναι ένα δομικό πλαίσιο ανάπτυξης δυναμικών διαδικτυακών εφαρμογών. Επιτρέπει τη χρήση της γλώσσας HTML για την ανάδειξη των συστατικών της εφαρμογής ξεκάθαρα και με ευκρίνεια. Επίσης, η μέθοδος των Directives διαμορφώνει νέα μέθοδο δόμησης του κώδικα που αναγνωρίζεται καθώς δημιουργεί υποστηρικτικές δομές για την HTML. Συνεπώς, διευκολύνει και επιταχύνει όλες τις διεργασίες που εξυπηρετεί ένας web Server.

2.4.2. Δομή εφαρμογής SEnSo

Η εφαρμογή Android αποτελεί τον πυρήνα της μελέτης, καθώς διαχειρίζεται την πλειοψηφία των συστατικών υλικού και λογισμικού. Συνοπτικά, η εφαρμογή διαχειρίζεται τις επεκτάσεις της συσκευής Android (Bluetooth, GPS, GPRS, WiFi), υλοποιεί τη σύνδεση με το Arduino, συνδέεται με το Server και τη ΒΔ και τέλος προβάλλει τις μετρήσεις στην πλατφόρμα web Mapping.

Διάγραμμα 8: Σχήμα Android App



Η επιτυχής λειτουργία του App απαιτεί την εγκατάστασή του σε μία συσκευή που να διαθέτει δυνατότητες ασύρματης επικοινωνίας Bluetooth, δέκτη GPS και

³¹ angularjs.org

ασύρματη σύνδεση στο διαδίκτυο (WiFi ή GPRS). Αρχικά η εφαρμογή ενεργοποιεί τον αισθητήρα Bluetooth με σκοπό τη σύνδεση με τη φορητή συσκευή καταγραφής. Εφόσον υπάρχει ταίριασμα (Pairing) μεταξύ των συσκευών το Android λαμβάνει τα τεχνικά μεγέθη των καταγραφών με τη μορφή μηνύματος σε διάταξη. Παράλληλα η εφαρμογή αξιοποιεί τις υπηρεσίες τοποθεσίας (Location Services) του κινητού/tablet και καταγράφει τη θέση της συσκευής. Έπειτα συγχρονίζει το μήνυμα από το Arduino με τη χωρική καταγραφή και, μαζί με την ώρα καταγραφής (Timestamp), ετοιμάζει ένα μήνυμα (Array) για περαιτέρω αξιοποίησή του. Μετά από τη σύνδεσή του με το διαδίκτυο, αποστέλλει το μήνυμα στον MQTT broker, ο οποίος στη συνέχεια το προωθεί στο διακομιστή.

Ο server είναι συνδεδεμένος με τη Βάση Δεδομένων όπου και αποθηκεύονται όλες οι καταγραφές από τις φορητές και σταθερές συσκευές καταγραφής. Το σημαντικότερο σκέλος της εφαρμογής είναι η πλατφόρμα web Mapping, η οποία διαθέτει δυναμικό περιβάλλον με σκοπό την ορθή προβολή και ανάλυση των καταγραφών. Η ΒΔ λειτουργεί υποστηρικτικά, καθώς παρέχει δυνατότητες διαχείρισης και ανάλυσης του περιεχομένου της βάσης μέσω αναλυτικών ερωτημάτων. Μέσω του webGIS ο χρήστης είναι σε θέση να αναγνωρίσει και να αντιληφθεί τις περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις στην εκάστοτε περιοχή καταγραφής.

2.4.3. Σχεδιασμός και υλοποίηση

Οι εφαρμογές Android αναπτύσσονται σε γλώσσα προγραμματισμού Java. Τα εργαλεία SDK συντάσσουν τον κώδικα και συνοδευόμενο από δεδομένα βρίσκονται στο πακέτο Android που αποτελεί ένα αρχείο καταχώρησης με την κατάληξη ".apk". Κάθε ένα APK διαθέτει το σύνολο του περιεχομένου μιας εφαρμογής Android και εγκαθίσταται με αυτό στις συσκευές Android.

Το σύστημα Android λειτουργεί βάσει της αρχής του "ελάχιστου προνομίου", καθώς κάθε εφαρμογή έχει πρόσβαση μόνο στα συστατικά μέρη της συσκευής που την αφορούν. Συνεπώς, το περιβάλλον λειτουργίας καθίσταται εξαιρετικά ασφαλές έχοντας καθορισμένη άδεια πρόσβασης σε σημαντικά μέρη του λειτουργικού συστήματος.

Μία εφαρμογή Android διαθέτει βασικά δομικά στοιχεία που επιτρέπουν πρόσβαση στο App από το χρήστη ή το σύστημα. Τα συγκεκριμένα συστατικά διαθέτουν διακριτά χαρακτηριστικά και διακρίνονται σε Δραστηριότητες (Activities), Υπηρεσίες (Services), Παρόχους περιεχομένου (Content Providers) και Δέκτες αναμετάδοσης (Broadcast receivers), τα οποία θεωρούνται ως σύνθετα σημεία εισόδου για το σύστημα με διαφορετική χρήση το κάθε ένα.

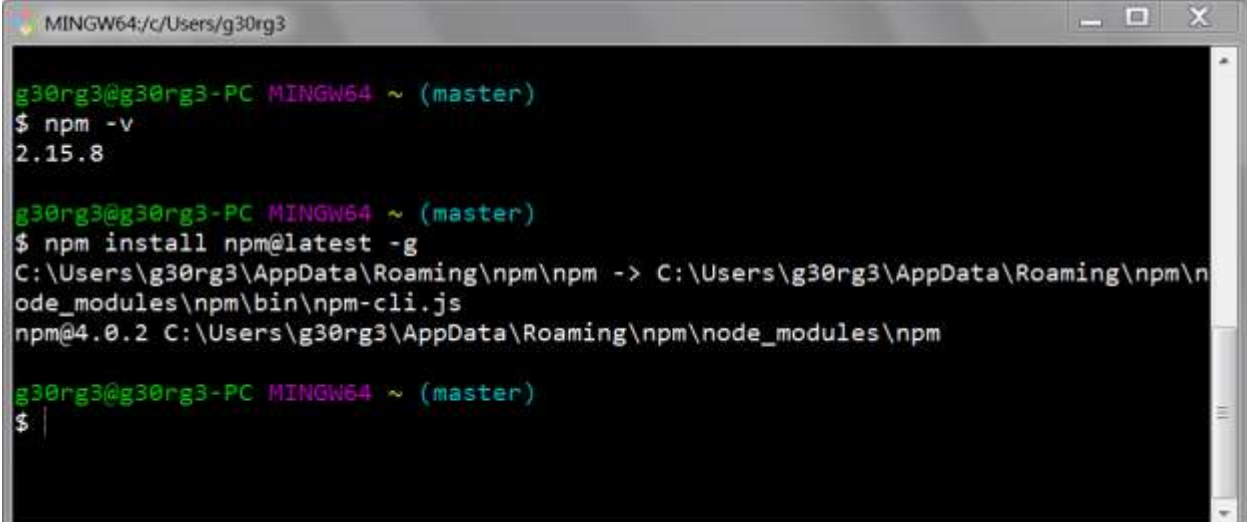
Η σύνθεση ενός app απαιτεί επιπλέον δομές (Resources) σχετικές με την οπτική αναπαράσταση της εφαρμογής, διαχωρισμένες από τον πηγαίο κώδικα. Η ποικιλότητα των δομών ενεργοποιεί το app σε διάφορες ρυθμίσεις της εκάστοτε συσκευής. Η εργαλειοθήκη SDK παράγει ένα μοναδικό ID για κάθε ένα resource με σκοπό την μεταγενέστερη ανάκλησή του μέσω του πρωτοκόλλου XML. Η κύρια

χρησιμότητα των δομών εντοπίζεται στη δυνατότητα πολλαπλών ρυθμίσεων στη συσκευή και σύνδεσή τους με το αντίστοιχο Resource.

Παρόλο που τα ανωτέρω αποτελούν θεμελιώδη στοιχεία για την ανάπτυξη ενός App, η πλατφόρμα ngCordova διευκολύνει ιδιαίτερα τη διεργασία σχεδιασμού και υλοποίησης. Η αξιοποίηση των AngularJS wrappers παρέχει έτοιμες λύσεις μέσω του npm που λειτουργεί ως διαχειριστής πακέτων Javascript για τη Node.js³². Η διαχείριση και επανάχρηση κώδικα μεταξύ χρηστών είναι εξαιρετικά χρήσιμη στην ανάπτυξη εφαρμογών, ειδικά στην περίπτωση του Android. Τα επαναχρησιμοποιήσιμα στελέχη κώδικα ονομάζονται πακέτα (Packages) και αποτελούν καταλόγους με ένα ή περισσότερα αρχεία και τα αντίστοιχα μεταδεδομένα τους (Metadata). Ο κατάλογος ονομάζεται "package.json" και μία εφαρμογή ενδέχεται να διαθέτει πλήθος πακέτων καθώς διαθέτουν μικρό μέγεθος. Η αξιοποίησή τους βασίζεται στη σύλληψη ότι το πρόγραμμα συντίθεται από δομικά στοιχεία (Packages) και κάθε ένα από αυτά επιλύει αποτελεσματικά ένα πρόβλημα. Συνεπώς, επιτρέπεται στον προγραμματιστή η δυνατότητα σύνθεσης μεγάλων και σύνθετων λύσεων μέσω της χρήσης μικρών και απλών δομικών στοιχείων. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται "Προσέγγιση Βάσει Ενοτήτων" (Module Based Approach) και επιτρέπει την πιο αποτελεσματική ανάπτυξη κώδικα σε ομάδες, καθώς και την επανάχρηση των ίδιων πακέτων σε διαφορετικές εφαρμογές.

Η εγκατάσταση του npm απαιτεί και την ύπαρξη του Node.js και υλοποιείται μέσω χειρισμών στη γραμμή εντολών.

Εικόνα 11: Μέθοδος εγκατάστασης npm



```
MINGW64:/c/Users/g30rg3
g30rg3@g30rg3-PC MINGW64 ~ (master)
$ npm -v
2.15.8

g30rg3@g30rg3-PC MINGW64 ~ (master)
$ npm install npm@latest -g
C:\Users\g30rg3\AppData\Roaming\npm\npm -> C:\Users\g30rg3\AppData\Roaming\npm\node_modules\npm\bin\npm-cli.js
npm@4.0.2 C:\Users\g30rg3\AppData\Roaming\npm\node_modules\npm

g30rg3@g30rg3-PC MINGW64 ~ (master)
$
```

Εφόσον έχουν εγκατασταθεί μαζί με τις εξαρτήσεις τους, ομοίως ακολουθεί και η εγκατάσταση του ngCordova και του Ionic. Οι επιμέρους εργασίες ανάπτυξης του

³² Η Node είναι ένα διαπλατφορμικό περιβάλλον ανάπτυξης εφαρμογών Javascript για αρθρωτές εφαρμογές δικτύου και βασίζεται στην διαχείριση βιβλιοθηκών

κώδικα για την εφαρμογή υλοποιούνται μέσω κειμενογράφου (Text Editor) με την απαραίτητη επιλογή των αντίστοιχων βιβλιοθηκών.

Η ανάπτυξη της εφαρμογής υλοποιείται με την εγκατάσταση πρόσθετων βιβλιοθηκών στην πλατφόρμα ngCordova και ακολούθως με ειδικούς χειρισμούς στο περιβάλλον που προσφέρει το Ionic. Η λειτουργικότητα του APP περιλαμβάνει συνδεσιμότητα μέσω πρωτοκόλλου Bluetooth, χωρική καταγραφή μέσω δέκτη GPS και αξιοποίηση των δομών ασύρματης επικοινωνίας της συσκευής Android. Τα παραπάνω επιτυγχάνονται με την αξιοποίηση δομών μέσω των εγκατεστημένων βιβλιοθηκών και με τη χρήση εγγενούς κώδικα.

Ο σχεδιασμός του APP διαχωρίζει τις λειτουργίες σε εκείνες της καταγραφής και εκείνες της προβολής. Ειδικότερα η σύνδεση Bluetooth πραγματοποιείται μέσω της Javascript βιβλιοθήκης BluetoothSerial³³ και την κατασκευή ειδικού Controller για λειτουργίες αναζήτησης, σύνδεσης και εγγραφής μηνυμάτων. Η συγκεκριμένη επέκταση ενεργοποιεί σειριακή επικοινωνία μεταξύ Android και Arduino μέσω του Bluetooth.

```
.controller('DeviceCtrl', ['$scope', '$ionicPopup', 'Bluetooth', 'Mqtt',
function ($scope, $ionicPopup, Bluetooth, Mqtt) {...
    Bluetooth.searchDevices().then(
        function (devices) {
            console.log('got devices:', devices);
            $scope.devicesList = devices;
            $scope.searching = false;
            $scope.$evalAsync();...
        Bluetooth.connectToDevice(device.address).then(
            function () {
                console.log('connected');
                vm.connectedDevice = device;...
                bluetoothSerial.subscribe('\n', function (data) {
                    Mqtt.publish(data);
                    vm.messages.unshift(data);
                    $scope.$evalAsync();
                },...
            );
        });
    });
```

Οι εφαρμογές που αναπτύσσονται με AngularJS ελέγχονται από Controllers μέσω της οδηγίας *ng-controller*. Αποτελεί ένα αντικείμενο της Javascript που έχει

³³ <https://github.com/don/BluetoothSerial>

δημιουργηθεί μέσω τυποποιημένης διεργασίας. Ο σκοπός των Controllers είναι να οριστεί η αρχική κατάσταση του αντικειμένου μέσα από το *\$scope* και να του καθοριστεί η λειτουργία του.

Η καταγραφή της γεωγραφικής θέσης υλοποιείται μέσω της επέκτασης Geolocation³⁴, η οποία παρέχει πληροφορία σχετικά με την θέση της συσκευής (γεωγραφικό μήκος και πλάτος). Οι πηγές (Resources) που αξιοποιεί είναι το Παγκόσμιο Σύστημα Θέσης (GPS) μέσω του αντίστοιχου δέκτη και τη συνδεσιμότητα στο διαδίκτυο μέσω διεύθυνσης IP από GPRS ή WiFi. Η υλοποίησή του στη συγκεκριμένη μελέτη είναι σχετικά απλή καθώς ενεργοποιείται και γράφει το μήκος και πλάτος ως *lng* & *lat*.

```
Geolocation.start().then(
  function (position) {
    console.log('got position:', position);
  },
  function (error) {
    console.log('Geolocation error:', error);
  }
);
```

Οι διεργασίες που συμμετέχουν στην καταγραφή περιλαμβάνουν επίσης τη σύνδεση με το MQTT broker και το Server και ακολούθως την αποστολή του μηνύματος σε αυτά. Για τη σύνδεση στο Broker αξιοποιείται η βιβλιοθήκη MQTT.js³⁵ και οι υπόλοιπες λειτουργίες συμβαίνουν με εγγενείς χειρισμούς της Angular. Ειδικότερα, η εφαρμογή λαμβάνει τις μετρήσεις και μαζί με το γεωγραφικό μήκος και πλάτος και το Timestamp αποστέλλονται στο Broker.

```
publish: function (sensorMsg) {
  var msgParts = sensorMsg.split(',')
  , deviceId = msgParts[0]
  , payload = [
    timestamp(),
    Geolocation.position.lng,
    Geolocation.position.lat,
    msgParts[1],
    msgParts[2],
    msgParts[3],
```

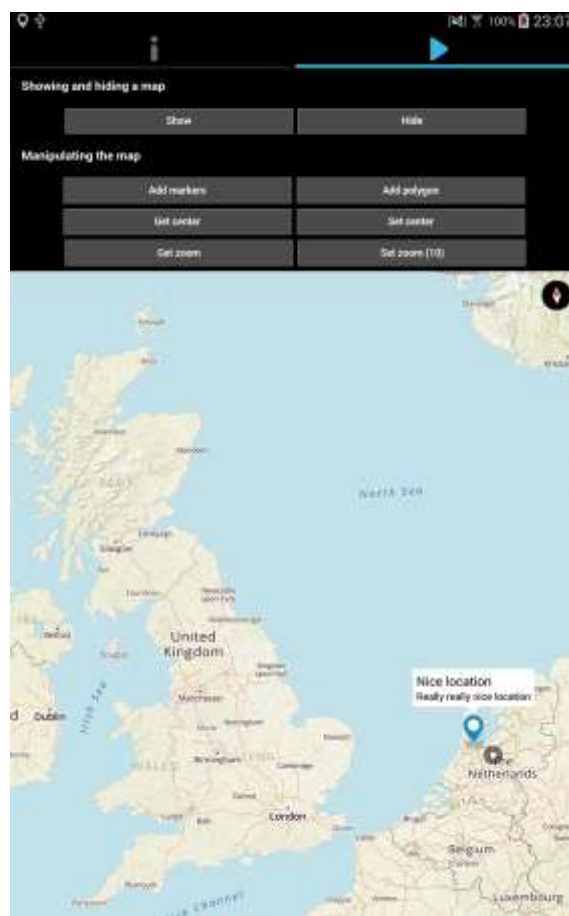
³⁴ <https://github.com/apache/cordova-plugin-geolocation>

³⁵ <https://github.com/mqttjs/MQTT.js>

```
msgParts[4],
msgParts[5],
msgParts[6],
msgParts[7]
].join(',');
```

Τα δεδομένα μετά από επεξεργασία στη βάση δεδομένων, επιστρέφουν στην εφαρμογή με σκοπό την προβολή και υπέρθεσή τους ως χωρική πληροφορία. Αυτό εξυπηρετεί η διαδικτυακή πλατφόρμα ΓΣΠ, η οποία αναπτύσσεται μέσω της βιβλιοθήκης Mapbox³⁶ που διαθέτει πλήθος εργαλείων αναπαράστασης και διαχείρισης χωρικών δεδομένων.

Εικόνα 12: Δείγμα χωρικής εφαρμογής, πηγή: Mapbox.com



Το mapbox βασίζεται στη διεπαφή προγραμματισμού γραφικού περιβάλλοντος OpenGL³⁷ και αποτελεί το μεγαλύτερο πάροχο μη τυποποιημένων χαρτών για διαδικτυακές εφαρμογές. Η συσχέτισή του με το Node.js προσφέρει πληθώρα δυνατοτήτων ανάπτυξης μέσω του Cordova και του Ionic.

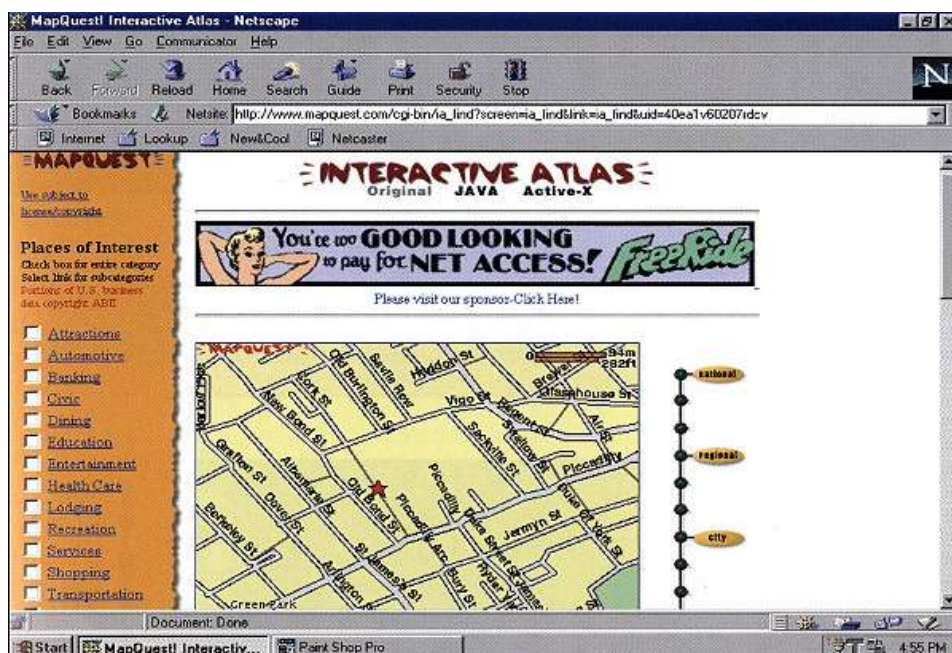
³⁶ <https://www.npmjs.com/package/cordova-plugin-mapbox>

³⁷ <https://www.opengl.org/>

2.5. Πλατφόρμα WebGIS

Μέχρι πρόσφατα το μοναδικό εποπτικό μέσο για γεωγράφους, τοπογράφους και μηχανικούς ήταν ο έντυπος χάρτης. Ο πρώτος εμπορικός διαδικτυακός χάρτης εκδόθηκε από την Mapquest το 1996 και παρείχε δυνατότητες χαρτογραφικού υποβάθρου μαζί με ορισμένες επεκτάσεις πλοήγησης. Το 2001 εμφανίστηκε το Google Maps καθιστώντας το χάρτη από ένα δύσχρηστο αντικείμενο σε ένα πρακτικό μέσο διαμοιρασμού χωρικής πληροφορίας. Βάσει του πεδίου που πρόσφερε το διαδίκτυο αναπτύχθηκαν νέες σημαντικές χαρτογραφικές υπηρεσίες όπως το ArcIMS 3.0, η χωρική ΒΔ PostGIS και το UMN Mapserver που υποστηρίζει το πρωτόκολλο WMS.

Εικόνα 13: Πρώτος διαδικτυακός Χάρτης, πηγή: Mapquest.com



2.5.1. Στατικοί και δυναμικοί χάρτες

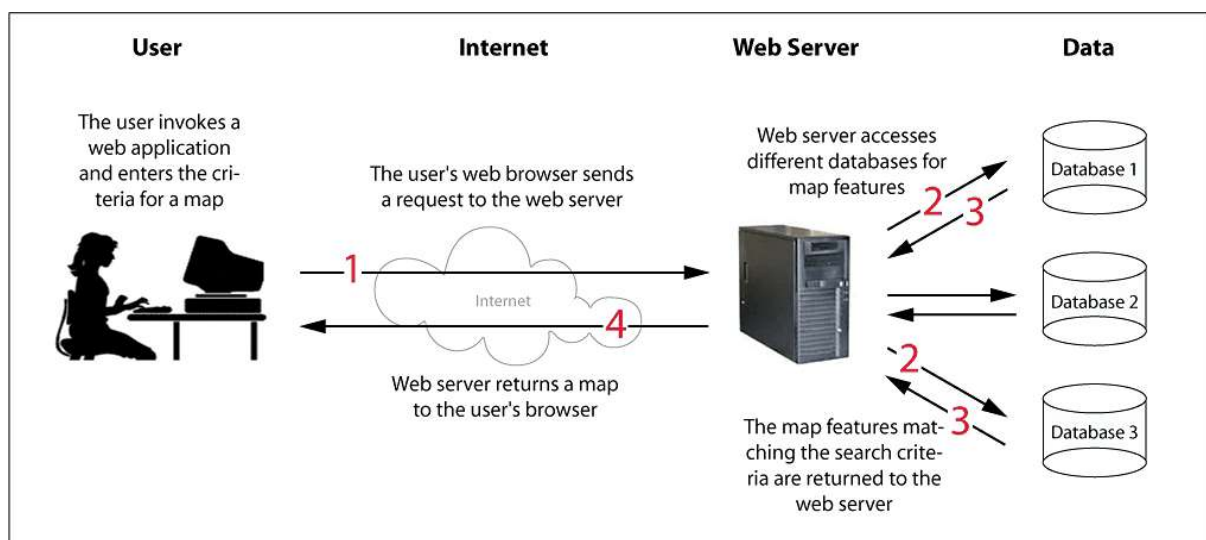
Στο διαδίκτυο σήμερα εμφανίζονται σύνθετες Υπηρεσίες Χάρτη³⁸ σε δύο, τρεις ακόμα και τέσσερις διαστάσεις (2D, 3D, 4D). Οι διαδικτυακοί χάρτες εν γένει διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, σε στατικούς και σε δυναμικούς. Οι **στατικοί** περιγράφονται σε μία εικόνα αναπαράστασης χάρτη η οποία είναι διαθέσιμη μέσω μίας διαδικτυακής διεύθυνσης. Βασικό τους χαρακτηριστικό είναι ότι δεν διαθέτουν δομή διεπαφής (API ή GUI) για την πρόσβαση στην χαρτογραφική πληροφορία. Παρόλο που οι στατικοί διαδικτυακοί χάρτες είναι πολύ χρήσιμοι στην παρουσίαση μελετητικών αποτελεσμάτων (πχ αποτέλεσμα δείκτη βλάστησης NDVI) και ιστορικών χαρτών, θεωρούνται πολύ βασικοί και δεν περιέχουν βασικές λειτουργίες όπως Pan και Zoom.

³⁸ Web Mapping Service - WMS

Οι **δυναμικοί** χάρτες (Interactive, Dynamic, Slippy) αξιοποιούν API και παρέχουν χαρτογραφικές υπηρεσίες με τη χρήση πλακιδίων (Tiles). Η μέθοδος των Tiles βελτιώνει την αποτελεσματικότητα της εφαρμογής, καθώς το πλήθος τους κυμαίνεται ανάλογα με το αντίστοιχο επίπεδο εστίασης (Panning) και ανανέωσης (Refresh) γεγονός που επιτρέπει τη χρήση μεγάλων και σύνθετων χαρτών χωρίς περαιτέρω απαιτήσεις σε μνήμη και εύρος ζώνης της σύνδεσης (Connection Bandwidth). Οι πιο διαδεδομένοι εξυπηρετητές δυναμικών χαρτών θεωρούνται το Google Maps, το Here και το Bing³⁹, οι οποίοι καλύπτουν το σύνολο του πλανήτη σε εύρος και κάλυψη. Η καθολική εφαρμογή του πρωτοκόλλου HTML5 στις διαδικτυακές εφαρμογές από το 2013 έδωσε τη δυνατότητα ανάπτυξης 2D και 3D εφαρμογών μέσω του WebGL API ⁴⁰(Web Graphics Library). Η πλειοψηφία των 3D διαδικτυακών χαρτών έχει υλοποιηθεί με τη χρήση του WebGL με παραδείγματα όπως τα ESRI 3D, 3D OpenStreet Maps και Cesium 3D.

Η δομή των δυναμικών χαρτών βασίζεται στο συνδυασμό συστατικών που διακρίνονται στην Ιστοσελίδα, το Webserver και τη Βάση Δεδομένων.

Εικόνα 14: Σύστημα διαδικτυακού χάρτη, πηγή: xyHt.com



Η ιστοσελίδα είναι ένα περιβάλλον αναπαραγωγής στο οποίο προβάλλεται το περιεχόμενο του χάρτη και στη συνέχεια ο διαδικτυακός εξυπηρετητής μετατρέπει τα δεδομένα σε μία αναγνωρίσιμη μορφή από την ιστοσελίδα και η ΒΔ λειτουργεί ως χώρος αποθήκευσης των δεδομένων.

2.5.2. Σκοπός ενός Web GIS

Η προβολή ενός υποκειμένου σε ένα υπολογιστικό σύστημα διακρίνεται από δύο μοντέλα. Το μοντέλο **αναπαράστασης** αναφέρεται στην εικόνα που αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος για το υποκείμενο και το μοντέλο **δεδομένων** στην εικόνα του

³⁹ maps.google.com,wego.here.com, www.openstreetmap.org

⁴⁰ <https://www.khronos.org/webgl/>

ανθρώπου για την εικόνα που αναπαριστά ο Η/Υ. Στη γεωγραφία, η πραγματικότητα συντίθεται από γεωγραφικά δεδομένα που ανταποκρίνονται σε μία απλή παρατήρηση του περιβάλλοντός μας. Το περιβάλλον διαθέτει στοιχεία που διακρίνονται σε οντότητες με φύση χωρική, θεματική και τρισυπόστατη. Βασικά χαρακτηριστικά των γεωγραφικών οντοτήτων είναι η μεταβλητότητά τους στο χρόνο και δυνατότητα να λάβουν ποσοτικά μεγέθη. Η πλειοψηφία των χωρικών μοντέλων αναπαράστασης που έχουν αναπτυχθεί περιγράφουν μία στατική πραγματικότητα, μη λαμβάνοντας υπόψη τις χρονικές μεταβολές. Η προσέγγιση της χωρικής πραγματικότητας περιλαμβάνει δύο εναλλακτικές, την αντίληψη του χώρου ως ένα σύνολο από διακριτές οντότητες και την αντίληψή του ως ένα συνεχές πεδίο. Η χαρτογραφική απεικόνιση απαιτεί το διαχωρισμό των οντοτήτων σε θεματικά επίπεδα ανά χαρακτηριστική κατηγορία, το κάθε ένα από αυτά δύναται να αντιπροσωπεύσει μία κατηγορία δεδομένων διαφορετική από τις άλλες. Κάθε ένα θεματικό επίπεδο μπορεί να θεωρηθεί είτε ως ένα συνεχές πεδίο είτε ως μία ομάδα διακριτών οντοτήτων.

2.5.3. Χαρτογραφική απεικόνιση

Η προκείμενη μελέτη αφορά στη συλλογή και το διαμοιρασμό στοιχείων για την κατάσταση του περιβάλλοντος τα οποία στη συνέχεια παράγουν χωρικές μεταβλητές. Οι μεταβλητές εξυπηρετούν την χωρική κατανομή της περιβαλλοντικής υποβάθμισης. Μία αντιπροσωπευτική μέθοδος απεικόνισης που εξυπηρετεί τη μελέτη είναι εκείνη της σύνθεσης ενός χωροπληθούς χάρτη. Αποτελεί μία μορφή θεματικού χάρτη στον οποίο οι περιοχές διαθέτουν μοτίβα ή σκιάσεις αναλογικά με το μέγεθος της στατιστικής μεταβλητής που αναπαριστούν. Η συγκεκριμένη μέθοδος παρέχει ευκολία στην οπτικοποίηση της μεταβολής μίας γεωγραφικής οντότητας στο χώρο καθώς και την μεταβλητότητά της εντός μίας συγκεκριμένης περιοχής.

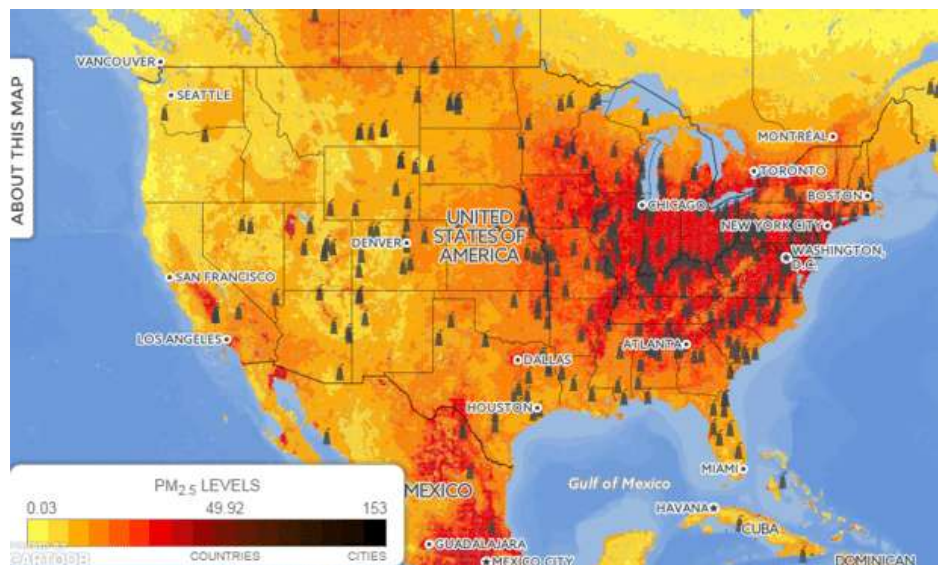
Η εφαρμογή των χωροπληθών χαρτών βασίζεται στη χρωματική διαβάθμιση μέσω συγκεκριμένης κλίμακας αναφοράς. Η διαβάθμιση αντιστοιχεί σε ποσοτικά μεγέθη και διακρίνεται σε ενιαία, διπολική, ανάμεικτη, πλήρους φάσματος και βάσει της τιμής που αντιπροσωπεύουν.

Εικόνα 15: Χρωματική διαβάθμιση σε πλήρες φάσμα



Το σκουρότερο χρώμα ανταποκρίνεται συνήθως σε υψηλότερα μεγέθη τιμών και η απεικόνισή τους βασίζεται στην αντιληπτικότητα των χρωματικών διαβαθμίσεων από το ανθρώπινο μάτι. Η απλότητα του χρώματος ενισχύει σε μεγάλο βαθμό τη επικοινωνία μεταξύ του σχεδιαστή του χάρτη και του αναγνώστη.

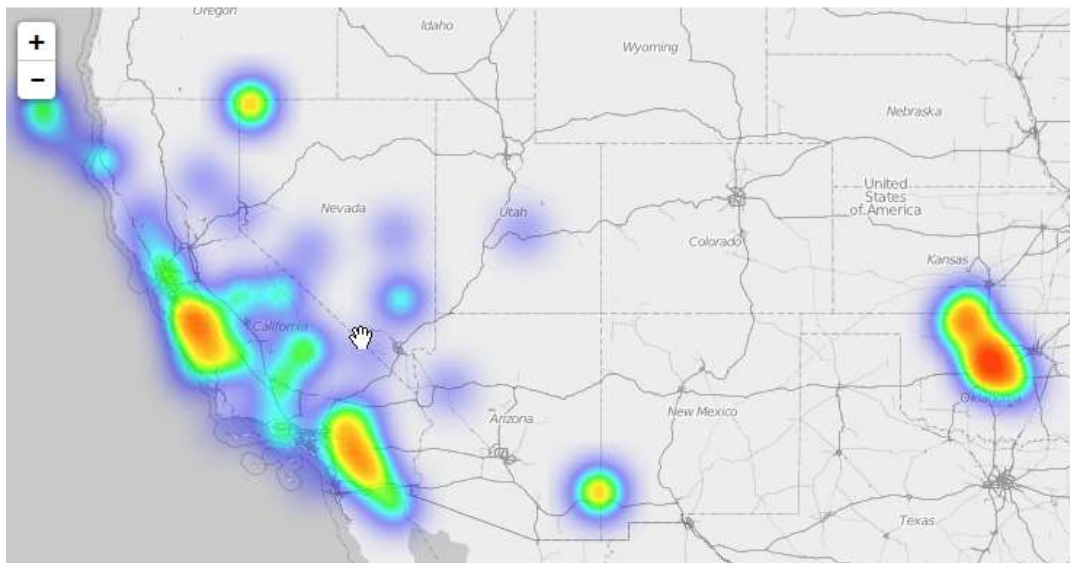
Χάρτης 3: Χάρτης επιβάρυνσης του αέρα από βιομηχανικές εκπομπές, πηγή: Hsu & Wong/Yale



Το περιεχόμενο του χωροπληθούς χάρτη βασίζεται σε γεωγραφικά όρια που καθορίζονται ανά περίπτωση. Η μελέτη αφορά στην ανάδειξη ομαδοποιημένων στοιχείων που διακρίνουν το φαινόμενο της περιβαλλοντικής παρατήρησης με τυχαία κατανομή στο χώρο. Συνεπώς, η ιδανική μέθοδος απεικόνισης θέσεων με κυμαινόμενες πυκνότητες των γεωγραφικών οντοτήτων είναι εκείνη των **Heat Maps**. Ο όρος "Heat" αναφέρεται στη συγκέντρωση ή μη μίας οντότητας σε ένα σημείο στο χώρο και συνθέτει μία μέθοδο απεικόνισης χωρικών προτύπων με μεγαλύτερο πλήθος παρατηρήσεων.

Η συνηθέστερη μέθοδος κατασκευής ενός Heat Map είναι εκείνη της παρεμβολής διακριτών σημείων για τη δημιουργία μίας συνεχούς επιφάνειας, που ονομάζεται επιφάνεια πυκνότητας. Ειδικές παράμετροι καθορίζονται και επηρεάζουν το σύνολο και τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας πυκνότητας. Το μέγεθος των ψηφίδων αποτελεί καθοριστικό παράγοντα, δεδομένου ότι η προκύπτουσα επιφάνεια παρουσιάζει τραχύτητα (Coarseness), λόγω της ψηφιδωτής μορφής που έχουν τα παραγόμενα επίπεδα. Όσο μεγαλώνει το μέγεθος της ψηφίδας, τόσο η επιφάνεια θα παρουσιάζει πιο έντονη τετραγωνισμένη παραμόρφωση (Staircase Effect). Αντιστρόφως, η ομαλότερη επιφάνεια σημαίνει και μικρότερο μέγεθος ψηφίδες, με αρνητική επίπτωση το αυξημένο μέγεθος του αρχείου. Η οπτική ισορροπία επέρχεται με τον καθορισμό του μεγέθους κελιού μεταξύ 10 και 100 ψηφίδων (Pixels) ανά μονάδα πυκνότητας.

Εικόνα 16: Εφαρμογή Heat Map που απεικονίζει την ατμοσφαιρική ρύπανση στις ΗΠΑ, πηγή: mapbox.com



Το εύρος ζώνης (Bandwidth) κάθε κελιού αποτελεί τη δεύτερη παράμετρο υπολογισμού της επιφάνειας. Μικρότερο εύρος ζώνης συνάδει με τον περιορισμό της πυκνότητας στην περιοχή γύρω του σημείου αναφοράς, ενώ το μεγαλύτερο εύρος ζώνης οδηγεί σε γενικευμένα μοτίβα πυκνότητας. Τέλος, η τρίτη παράμετρος διακρίνεται στη μέθοδο υπολογισμού της παρεμβολής για την επιφάνεια πυκνότητας. Ο υπολογισμός του πλήθους των χαρακτηριστικών μέσα στο εύρος ζώνης θεωρείται απλούστερος, ενώ η πιο διαδομένη μέθοδος χαρακτηρίζεται από στάθμιση των χαρακτηριστικών όπως της Σταθμισμένης Αντίστροφης Απόστασης⁴¹ (Inverse Distance Weighting). Η IDW δίνει βάρος στην εγγύτητα των χαρακτηριστικών με τη δεδομένη ψηφίδα και ως αποτέλεσμα, ο παραγόμενος χάρτης να απεικονίζει την επιφάνεια πυκνότητας με τη χρήση χρωματικής κλίμακας (Gradient) που επιτρέπει την βέλτιστη αναγνώριση περιοχών με υψηλότερη πυκνότητα.

2.5.4. Προδιαγραφές διαδικτυακής πλατφόρμας

Το περιβάλλον WebGIS που αναπτύσσεται στην προκείμενη μελέτη στηρίζεται στις δομές που έχουν αναπτυχθεί ειδικά για το σκοπό αυτό. Σημαντικό ρόλο στην υλοποίηση της συγκεκριμένης πλατφόρμας διαδραματίζουν η εφαρμογή Android και το σχήμα βάσης δεδομένων - εξυπηρετητή. Κύριο στέλεχος του σχεδίου αποτελεί ο χρήστης ο οποίος αξιοποιεί το γραφικό περιβάλλον που προσφέρει η εφαρμογή Android μέσω της φορητής συσκευής. Οι δυνατότητες που παρέχει το Ionic επιτρέπουν την αναπαραγωγή πανομοιότυπων εφαρμογών σε περιβάλλον iOS και σε Web Browser, διευρύνοντας πληθυσμιακά τις δυνατότητες αλληλεπίδρασης με περισσότερους χρήστες.

⁴¹ Inverse Distance Weighting - IDW

Κάθε μία καταγραφή περιλαμβάνει τα τεχνικά μεγέθη και το χωρικό στίγμα τα οποία σερβίρονται στο διαδικτυακό χάρτη ως αντικείμενο JSON. Τα αντικείμενα συνθέτονται σε μία συνολική γραμμή (Polyline) ανάλογα με τη διαδρομή που έχει καταγράψει ο χρήστης και προσφέρουν πληροφόρηση για την κατάσταση του περιβάλλοντος στις χωρικές θέσεις που διασχίζουν. Η απεικόνιση των τιμών κάθε μεταβλητής εμφανίζεται διττά, σημειακά κατ' όνομα και σε μία ενιαία χρωματική κλίμακα που αντιπροσωπεύει την περιβαλλοντική υποβάθμιση. Η χρονική στιγμή της εκάστοτε καταγραφής παρουσιάζεται με σαφήνεια, καθώς προσφέρει την εποπτεία του συνόλου προηγούμενων καταγραφών με τη μορφή διαδρομής (Polyline). Επιπλέον, η πλατφόρμα παρέχει στο χρήστη τη δυνατότητα ζωντανής προβολής (Real-Time Viewing) των μετρήσεων τη στιγμή της εξαγωγής τους.

Η πλατφόρμα διαδικτυακών GIS λειτουργεί ως ένα ευρύτερο σύστημα εκτίμησης του περιβάλλοντος. Παρουσιάζει τις καταγραφές στο σύνολό τους συγχρονίζοντας τα τεχνικά μεγέθη και το χωρικό στίγμα. Η αναγνώριση των αιτιών της περιβαλλοντικής υποβάθμισης συμβαίνει μέσω της εξαγωγής χώρο-χρονικών μεταβολών που διαφαίνονται στις επαναλαμβανόμενες καταγραφές ανά περιοχή. Πέραν του μελετητή ενημερώνεται ο ίδιος ο χρήστης που φέρει τη συσκευή καταγραφής καθώς είναι σε θέση να αναγνωρίσει το μέγεθος της επιβάρυνσης που υφίσταται η γεωγραφική θέση που βρίσκεται.

2.5.5. Υλοποίηση Εφαρμογής

Η κατασκευή της χαρτογραφικής πλατφόρμας υλοποιείται εντός του περιβάλλοντος Ionic και βασίζεται σε σύγχρονες δυνατότητες που προσφέρει η γλώσσα Javascript. Σκοπός της πλατφόρμας είναι η προβολή των μετρήσεων ως διανυσματικά δεδομένα (σημειακά και γραμμικά) και η αποτύπωσή των τάσεων εξάπλωσής τους. Οι μετρήσεις εισέρχονται στο σύστημα από τη ΒΔ και στη συνέχεια η εφαρμογή τα υπερθέτει στο δυναμικό χάρτη. Εκεί, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να προβάλλει τις μετρήσεις στο σύστημα, επιλέγοντας ξεχωριστά κάθε μεταβλητή ή όλες μαζί ως γενική εκτίμηση της κατάστασης του περιβάλλοντος.

Το Marbox είναι ένα σημαντικό εργαλείο για την κατασκευή σύγχρονων διαδικτυακών εφαρμογών με χωρικό περιεχόμενο. Υποστηρίζει πλήθος λειτουργιών και επεκτάσεων και είναι συμβατό με τα περισσότερα συστήματα υλικού και λογισμικού. Η μελέτη επικεντρώνεται στη φορητότητα και είναι απαραίτητη η λειτουργία του Web Map μέσω του Ionic. Παρότι το Marbox υποστηρίζει υβριδικές πλατφόρμες όπως το Cordova και το Ionic, η ανάπτυξη του διαδικτυακού χάρτη υλοποιήθηκε μέσω της βιβλιοθήκης Leaflet⁴².

Η **Leaflet** είναι η περισσότερο δημοφιλής ανοιχτού τύπου βιβλιοθήκη Javascript για την κατασκευή διαδικτυακών χαρτών. Επικεντρώνεται σε διαδραστικούς χάρτες για φορητές συσκευές, παρέχοντας πληθώρα χαρακτηριστικών διαχείρισης χωρικών

⁴² <http://leafletjs.com/>

δεδομένων και διεπαφών χρήστη. Αποτελεί μία επέκταση της βιβλιοθήκης Marbox στοχεύοντας στην απλότητα και υλοποιησιμότητα των εφαρμογών.

Η χαρτογραφική πλατφόρμα τροφοδοτείται από τη βάση δεδομένων που περιλαμβάνει καταγραφές προερχόμενες από τους σταθερούς και φορητούς αισθητήρες. Η σύνδεση με τη ΒΔ υλοποιείται αυτόματα μέσω μίας υπηρεσίας που λειτουργεί στη Node.js. Αρχικά, το σύστημα συνδέεται με τη βάση, μέσω του ορίσματος `connect`, αποσκοπώντας στην αυτοματοποιημένη δρομολόγηση των δεδομένων προς τη χαρτογραφική εφαρμογή. Η ανάπτυξη διεπαφής χρήστη συνδράμει στο χειρισμό των καταγραφών με διευρυμένες δυνατότητες απεικόνισής (Presentation Capabilities) στο χάρτη.

```
mdb = connect(ds049436.mlab.com:49436/sensodb -u <username> -p <password>)
var mdb = mongo.Db('streaming_db', mdbServer);
mdb.open(function (err, db) {
    db.command("geoJSON")
});
```

Στο Ionic εφαρμόζεται η AngularJs με την οποία ο προγραμματιστής έχει τη δυνατότητα σύνταξης του Front End σε HTML και CSS με σκοπό την ευκολία στο σχεδιασμό του χάρτη. Συγκεκριμένα, στο τμήμα του CSS περιγράφεται η μορφοποίηση στοιχείων για την ορθή απεικόνιση των αντικειμένων HTML στην εφαρμογή. Τα αντικείμενα είναι στατικά (κείμενο, εικόνα) ή δυναμικά (Web Map) και τα χαρακτηριστικά τους ορίζονται στο αρχείο `style.css` για μία ή περισσότερες σελίδες που εξαρτώνται από αυτό. Ο Web Map ως δυναμικό αντικείμενο ορίζεται ως προς τη λειτουργία και τα χαρακτηριστικά του στη σελίδα HTML. Ο χάρτης φέρει συσχετίσεις με οδηγίες (Directives) και Ελεγκτές (Controllers) τα οποία προϋποθέτουν τη λειτουργία του στην Android εφαρμογή

```
#map { position:absolute; top:0; bottom:0; width:100%; }
.scroll {
    height: 100%;
}
```

Το τμήμα του HTML εμπεριέχει το σύνολο των στοιχείων που απεικονίζονται σε μία σελίδα HTML. Εν προκειμένω το `Index.html` του Ionic παρέχει τη δομή των αντικειμένων (στατικά και δυναμικά) και τις αντίστοιχες ιδιότητές μορφοποίησής τους.

Το Back End⁴³ της εφαρμογής υλοποιείται σύμφωνα με τις επεκτάσεις της Angular και ο κώδικας συντάσσεται στα αντίστοιχα έγγραφα με το ακρώνυμο `js` που

⁴³ Μέρος του λογισμικού που αφορά στις λειτουργίες πρόσβαση δεδομένων

βρίσκονται στο φάκελο JS των αρχείων της εφαρμογής. Αρχικά ορίζεται ο χάρτης ως μεταβλητή με την οποία ο προγραμματιστής μπορεί να επιλέξει την περιοχή εστίασης (Αθήνα⁴⁴) και το χαρτογραφικό υπόβαθρο που επιθυμεί (Open Street Map).

```
var mymap = L.map('mapid').setView([37.9838, 23.7275], 13).addLayer(osm);
```

Τα αντικείμενα GeoJSON είναι μία αρκετά δημοφιλής μορφή αρχείου για τεχνολογίες και υπηρεσίες διαδικτυακών ΓΣΠ. Το Leaflet επιτρέπει τη δημιουργία και διαχείριση διανυσματικών δεδομένων που προέρχονται από αντικείμενα GeoJSON. Τα αντικείμενα διαθέτουν χαρακτηριστικά γεωμετρίας τα οποία εμπεριέχονται στο αντίστοιχο στέλεχος (Geometry). Επιπλέον κάθε GeoJSON περιλαμβάνει στοιχεία ιδιοτήτων (Properties) τα οποία διαθέτουν τα χαρακτηριστικά εκείνα που επιθυμεί να εισάγει ο προγραμματιστής στο σύστημα και εμφανίζονται μέσα σε παρενθέσεις (" ").

```
var geojsonFeature = {  
  "type": "Feature",  
  "properties": { 'geoJSON' }  
};
```

Οι επεκτάσεις των αντικειμένων JSON περιλαμβάνουν τη δυνατότητα εισαγωγής διανυσματικών επιπέδων (Vector Layers) στο σύστημα με τη μορφή που επιθυμεί ο προγραμματιστής. Αυτό εξυπηρετεί την μαζική εισαγωγή και μορφοποίηση συνεχών δεδομένων

```
var myLines = [{  
  "type": "LineString", "color": "#ff7800",  
  "weight": 5,  
  "opacity": 0.65  
};  
var myLayer = L.geoJSON(myLines, {  
  style: myStyle  
}).addTo(map);  
myLayer.addData(geojsonFeature);
```

Ένα Web Map περιέχει εργαλεία προβολής και χειρισμού των προβαλλόμενων χωρικών δεδομένων. Ορισμένα εμπεριέχονται ήδη στο διαδραστικό χάρτη (pan &

⁴⁴ lat: 37.9838, long: 23.7275

zoom) ενώ πιο σύνθετες λειτουργίες απαιτούν περαιτέρω παραμετροποίηση. Η προτεινόμενη εφαρμογή περιλαμβάνει την επιλογή προβολής μίας μεταβλητής ξεχωριστά σε αποκλειστικά κουμπιά για την κάθε μία. Η συνολική απεικόνιση των μεταβλητών συνάδει με τη μετατροπή τους σε διανυσματικά επίπεδα. Το Leaflet μέσω των οδηγιών `L.LayerGroup` και `L.control.layers` επιτρέπει την ομαδοποίηση των διανυσμάτων (geoJSON) στοχεύοντας στην εξειδίκευση της απεικόνισης των υπό μελέτη μεταβλητών. Επιπροσθέτως, η βιβλιοθήκη επιτρέπει την εισαγωγή διαφορετικών απεικονίσεων χαρτογραφικού υποβάθρου ανάλογα με τις προτιμήσεις του χρήστη. Οι οδηγίες `addTo(map)` και `addOverlay(map)` ενεργοποιούν τη δυνατότητα επιλογής (on/ off) των επιπέδων (Τιμές καταγραφών και Υπόβαθρο) από την κονσόλα επιλογής (Option Console).

```
L.LayerGroup([humidityV, temperatureV, heatIndexV, luminosityV, methaneV, coV, noiseV])  
  .addLayer(polyline).addTo(map);  
L.control.layers (humidityV, temperatureV, heatIndexV, luminosityV, methaneV, coV, noiseV).addTo(map). addOverlay(map);
```

Η σημαντικότερη δυνατότητα της διαδικτυακής πλατφόρμας αποτελεί τη χωρική απεικόνιση της πυκνότητας έντασης των ρυπαντών. Η βιβλιοθήκη `heatmap.js`⁴⁵ είναι μία επέκταση γραμμένη σε Javascript που επιτρέπει την από κοινού λειτουργία της με το Leaflet για την απεικόνιση συμβάντων από διανυσματικά δεδομένα σε χάρτη. Παρόλο που έχει αναπτυχθεί πλήθος σχετικών βιβλιοθηκών για το Leaflet⁴⁶ το `heatmap.js` υποστηρίζει τη χρήση μεγάλου όγκου δεδομένων. Η μέθοδος απεικόνισης των γραφικών στοιχείων βασίζεται σε ήδη παρεχόμενα πλακίδια χάρτη με γεωαναφορά (Tile Based Service) για τη μείωση του όγκου δεδομένων. Επίσης, εφαρμόζεται η μέθοδος τετράγωνου δέντρου (Quadtree Data Structure) για την αποθήκευση δεδομένων σε ευρετήριο. Συνεπώς τα παραγόμενα πολύγωνα καταναλώνουν πολύ μικρό χώρο και Bandwidth υποστηρίζοντας το πλήθος των απεικονίσεων που απαιτούνται για τη συγκεκριμένη εφαρμογή.

Η υλοποίησή του `Heatmap.js` στην Android εφαρμογή προϋποθέτει την εγκατάστασή του στο Ionic μέσω του `npm` και στη συνέχεια την κατασκευή ενός Directive ειδικά για την παραγωγή Heatmaps.

```
var cfg = {  
  Διαισθητική  
    "radius": 1.5,  
    "maxOpacity": .7,
```

← Επιλογές

⁴⁵ <https://www.patrick-wied.at/static/heatmapjs/>

⁴⁶ <http://leafletjs.com/plugins.html#heatmaps>

```

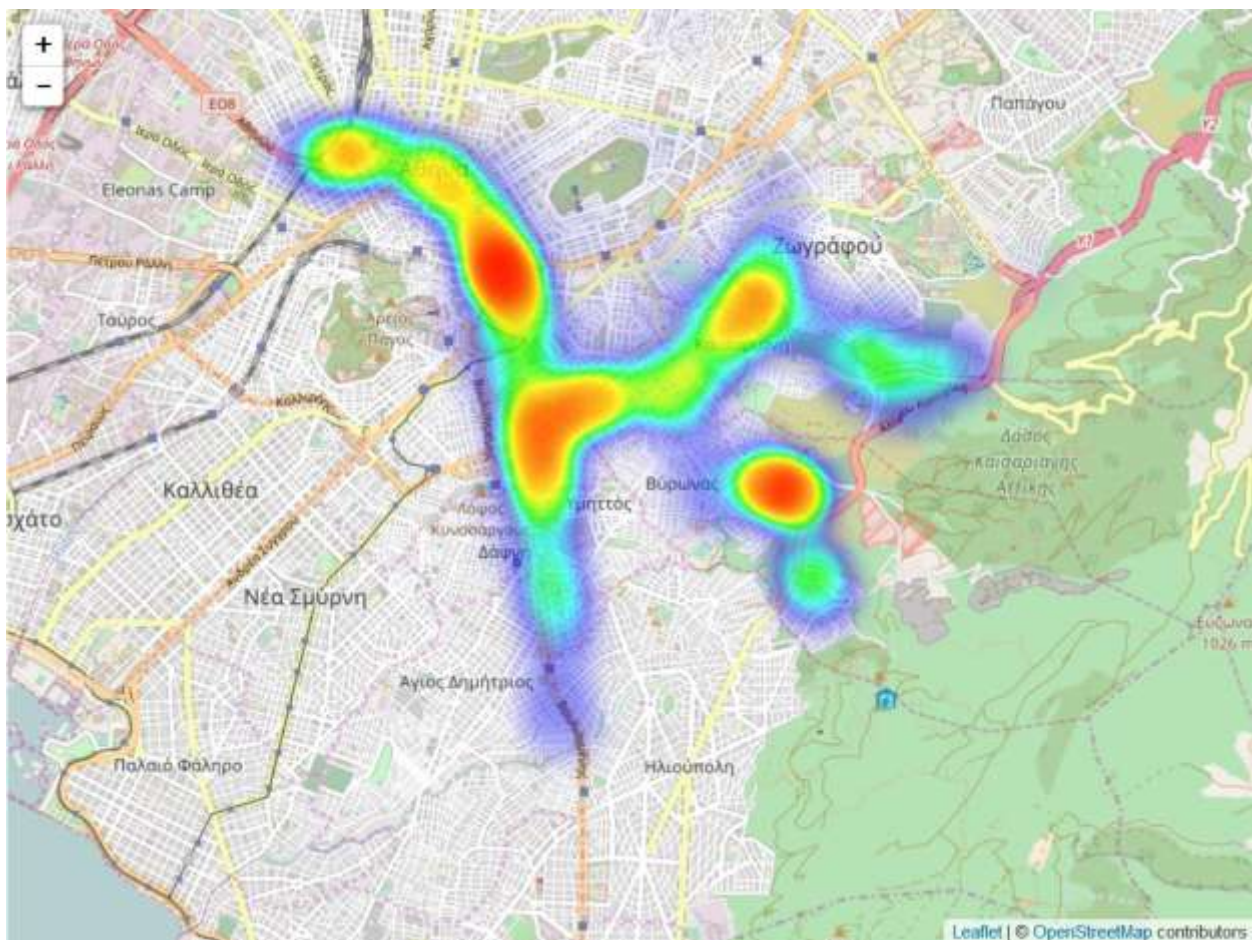
    "scaleRadius": true
    "useLocalExtrema": true,
    latField: 'lat',
    lngField: 'lng',
  };
  var currentData = heatmapInstance.getData(layerGroup); ← Ορισμός Δεδομένων

  var heatmap2 = h337.create(cfg); ← Κατασκευή Heatmap
    heatmap2.setData(currentData);

```

Η διαδικασία που έχει αναπτυχθεί επιτρέπει την προβολή και αυτόματη ανανέωση του χάρτη για την μεταβλητή που έχει επιλεγεί. Τα παραγόμενα επίπεδα απεικονίζουν την εκτίμηση τοπικά στη θέση που έχει εστιάσει ο χρήστης. Η χρωματική διαβάθμιση παρέχει άμεση πληροφόρηση για το μέγεθος της βαρύτητας του ρυπαντή που έχει επιλεγεί, παρέχοντας τη δυνατότητα απεικόνισης στιγμιαίων τιμών μέσω Pop-Up.

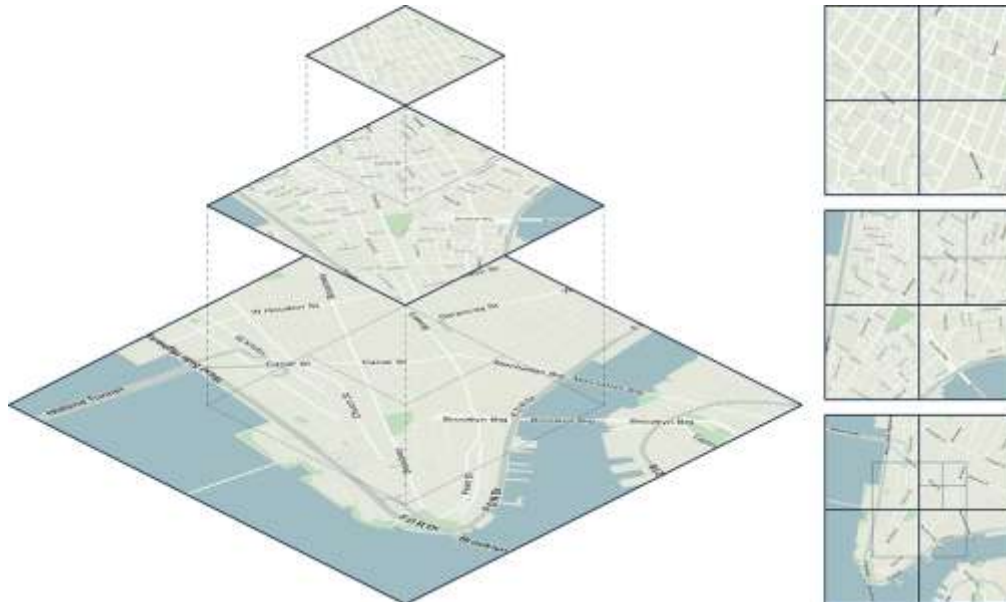
Εικόνα 17: Απεικόνιση Γενικής Εκτίμησης του περιβάλλοντος μέσω Heatmap



Η προτεινόμενη υπηρεσία Web Mapping στηρίζεται ως επί το πλείστον στην εφαρμογή των Vector Tiles. Η μέχρι πρότινος μέθοδος απεικόνισης δυναμικών

χαρτών βασιζόταν στη χρήση αρχείων εικόνας μεγάλου όγκου (JPG, PNG κα). Μεγάλοι χάρτες (μικρή κλίμακα και πολλά δεδομένα) έχουν τις αντίστοιχες απαιτήσεις σε υπολογιστική μνήμη δυσχεραίνοντας την υπέρθεση μίας ή πολλών οντοτήτων. Τα Vector Tiles παρέχουν ευελιξία σχεδιασμού και υλοποίησης καθώς έχουν αναπτυχθεί με γνώμονα την ταχεία φόρτωση (Caching), κλιμάκωση (Scaling) και σερβίρισμα (Serving) της χαρτογραφικής απεικόνισης⁴⁷. Το σύστημα διαχειρίζεται τα επίπεδα (υπόβαθρο και οντότητες) ως εικόνες χωρισμένες σε τετράγωνα. Η κάθε εικόνα (πλακίδιο) περιέχει διανυσματικά δεδομένα, αντί για εικόνες, τα οποία διαθέτουν ειδική πληροφορία σχετικά με τη γεωμετρία και τα μεταδεδομένα. Το περιεχόμενο των πλακιδίων μεταβάλλεται εφόσον ζητηθεί από το χρήστη (Pan & Zoom) και η διεργασία υλοποιείται τοπικά (Android App) ή απομακρυσμένα στο Server μέσω του map API.

Εικόνα 18: Δομή λειτουργίας πλακιδίων χάρτη, πηγή: opengeo.org



Η υπηρεσία Web GIS παρέχει άμεση πληροφόρηση για τις χωρικές παραμέτρους που σχετίζονται με τα υπό μελέτη φαινόμενα. Η δομή της είναι ιδιαίτερα απλή διαθέτει λειτουργίες απεικόνισης πάνω σε χαρτογραφικό υπόβαθρο. Δεν έχει ιδιαίτερες απαιτήσεις από τον χρήστη καθώς εκείνος δεν εμπλέκεται με την λειτουργία του ΓΣΠ. Οι δυνατότητες της υπηρεσίας συνοψίζονται σε:

1. Προβολή των μεταβλητών με σημειακή ή γραμμική γεωμετρία,
2. Χειρισμό Χάρτη (Pan & Zoom),
3. Επιλογή μεταξύ επιπέδων υποβάθρου και μεταβλητών
4. Χρήση και εξοικείωση με τη λειτουργία του Heatmap.

Συνεπώς, το GIS που προτείνεται απευθύνεται σε οποιονδήποτε χρήστη έξυπνου κινητού και Υ/Η με βασικές γνώσεις. Από την εφαρμογή απουσιάζουν η δυνατότητα

⁴⁷ mapbox.com

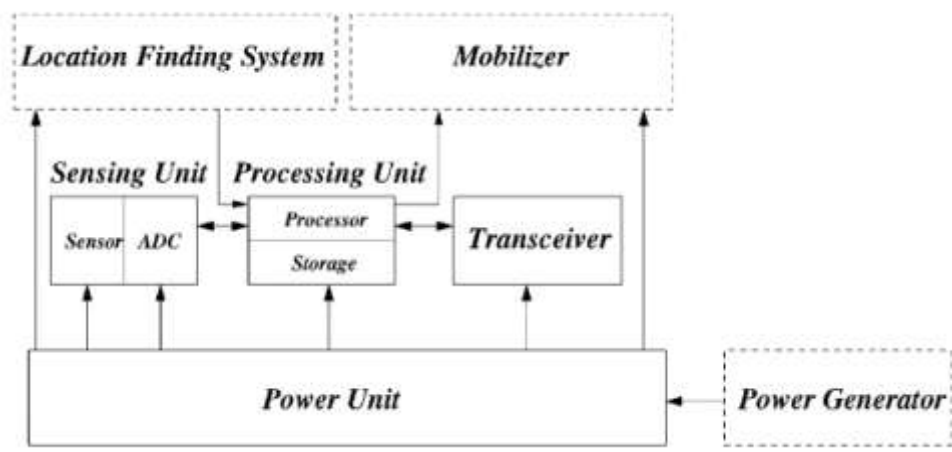
άμεσης μεταφοράς των μετρήσεων σε ένα GIS και εξελεγμένα εργαλεία χωρικής ανάλυσης.

2.6. Σενάρια παρακολούθησης

Η σύγκλιση μεταξύ ασύρματων τεχνολογιών, μικροηλεκτρονικής και υπολογιστικών συστημάτων έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη πρότυπων δικτύων αισθητήρων με πολύπλοκες επεξεργαστικές δυνατότητες (Akyildiz et al, 2001). Ένα δίκτυο έχει ως θεμελιώδη στοιχεία τη διαδικτυακή συνδεσιμότητα και τη διάκρισή του σε κόμβους (Nodes)⁴⁸ για την παραγωγή μεταβλητών και την επικοινωνία.

Η κατασκευή κόμβων αποτελεί μία σύνθετη διαδικασία καθώς απαιτεί αναλυτικό σχεδιασμό σε όλα τα επίπεδα υλοποίησης. Κάθε αισθητήρας διακρίνεται από φυσικούς περιορισμούς όσον αφορά στη δικτυακή συνδεσιμότητα και τη δομή του υλικού. Περιλαμβάνει ειδικές επεκτάσεις οι οποίες διακρίνονται στη μονάδα ανίχνευσης, την επεξεργαστική μονάδα, τον πομποδέκτη και τη μονάδα ισχύος. Οι επεκτάσεις φέρουν αυστηρές προδιαγραφές με σκοπό την αδιάκοπη και πιστή λειτουργία του συστήματος. Ο κόμβος αποτελείται από μία συσκευή που έχει χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις, λειτουργεί αυτόνομα χωρίς την ανθρώπινη επέμβαση, έχει μικρό κόστος κατασκευής και προσφέρει ακριβείς μετρήσεις.

Διάγραμμα 9: Τα συστατικά στοιχεία ενός κόμβου αισθητήρων, πηγή: I.F. Akyildiz et al., 2001



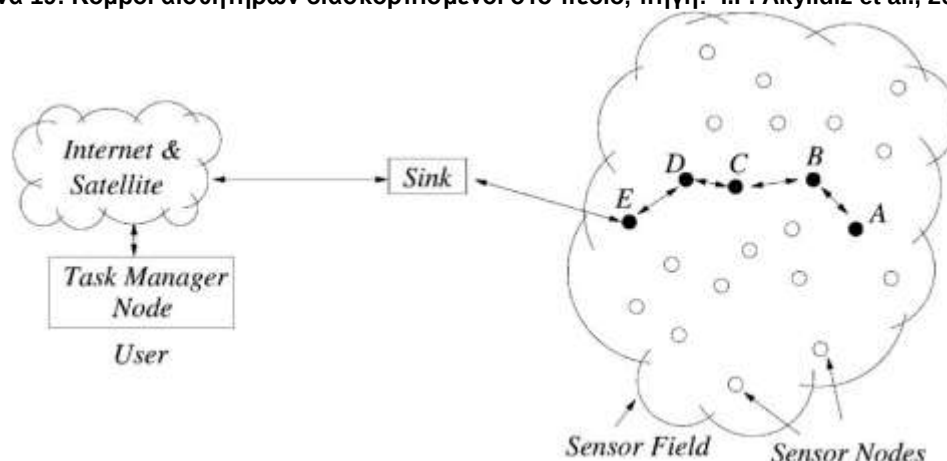
Ο σχεδιασμός της τοπολογίας του δικτύου (Network Topology) εξυπηρετεί τη διασύνδεση μεταξύ των αισθητήρων και του κεντρικού εξυπηρετητή. Ο μεγάλος αριθμός εν λειτουργία κόμβων απαιτεί τη διαχείριση της τοπολογίας σε όλες τις φάσεις της καταγραφής - προτού, κατά και στην επανάληψη της διαδικασίας. Η φύση των υπό μελέτη φαινομένων (αστική ηχορύπανση, αέρια ρύπανση κα) καθορίζει τις προδιαγραφές λειτουργίας των συσκευών καταγραφής. Ειδικότερα, η αυτονομία ενός κόμβου εξαρτάται από τις ενεργειακές του ανάγκες και πρέπει να ληφθεί υπόψη πριν την ενεργοποίησή του.

Η δικτυακή τοπολογία σχετίζεται με τη γεωγραφική καθώς οι κόμβοι καταγράφουν την ιδιαίτερη κατάσταση του σημείου που βρίσκονται με την υποστήριξη δικτυακών

⁴⁸ Ως κόμβος θεωρείται κάθε ένας τομέας του δικτύου. Στη συγκεκριμένη περίπτωση ο κόμβος νοείται η συσκευή καταγραφής με τους εγκατεστημένους αισθητήρες

δομών. Η διασπορά τους στο χώρο εξυπηρετεί τη συλλογή πληροφοριών και την τροφοδότηση ενός αποθετηρίου (Βάση Δεδομένων) για τη συγκέντρωση των δεδομένων. Τη συγκεκριμένη διαδικασία υποστηρίζει η ασύρματη επικοινωνία μέσω του διαδικτύου που επιτρέπει στο διαχειριστή τον έλεγχο και τη λειτουργία των αισθητήρων. Διαφαίνεται λοιπόν πως ένα δίκτυο καταγραφής φυσικών μεταβλητών που λειτουργεί σε ψηφιακό, γεωγραφικό και διαδικτυακό επίπεδο και αποσκοπεί στη δρομολόγηση δεδομένων (Data Routing) προς ένα αποθετήριο (ΒΔ) με απώτερο στόχο την επεξεργασία και διάχυση της επεξεργασμένης πληροφορίας.

Εικόνα 19: Κόμβοι αισθητήρων διασκορπισμένοι στο πεδίο, πηγή: I.F. Akyildiz et al., 2001



Η δρομολόγηση προκαλείται συνήθως από την ανάγκη για μεγαλύτερο πλήθος καταγραφών. Δημιουργούνται όμως ζητήματα πιθανής επικάλυψης και κατάρρευσης των δομών δεδομένων τα οποία αντιμετωπίζονται με την τεχνική της συνάθροισης (Data Aggregation). Η συνάθροιση συσσωρεύει μαζικά τα δεδομένα που προέρχονται από πολλές πηγές μέχρι όπου να καταλήξουν στον τελικό αποδέκτη.

Η προκείμενη μελέτη αφορά στην τροφοδότηση δικτυακών δομών από δύο τύπους συσκευών καταγραφής. Οι συσκευές διακρίνονται βάσει της θέσης τους στο χώρο και εκφράζεται με γεωγραφική αναφορά. Αποσκοπούν στη μέτρηση φυσικών μεταβλητών που αφορούν στην ποιότητα του περιβάλλοντος. Η σημασία του χωρικού παράγοντα διαφαίνεται στο γεγονός ότι αισθητήρες λειτουργούν in - situ και παρέχουν τα χωρικά χαρακτηριστικά των μεταβλητών που εκφράζουν. Το δίκτυο που υποστηρίζει τους αισθητήρες / κόμβους λειτουργεί ως μία πλατφόρμα διασύνδεσης των συσκευών καταγραφής με τη ΒΔ αποσκοπώντας στην παροχή πληροφοριών περιβαλλοντικής ανίχνευσης (Environmental Sensing) άμεσα προσβάσιμα προς το χρήστη.

2.6.1. Σταθερή μονάδα

Μία εγκατεστημένη μονάδα καταγραφής τεχνικών μεγεθών σε σταθερή θέση εξυπηρετεί ειδικούς σκοπούς ανίχνευσης, μέτρησης και ανάλυσης του περιβάλλοντος. Παρέχει μετρήσεις σε μόνιμη βάση και λειτουργεί με γνώμονα το

αδιάβλητο των καταγραφών. Επιπροσθέτως, η παρακολούθηση του περιβάλλοντος σε προκαθορισμένη θέση αποσκοπεί στην αναγνώριση της κατάστασης σε χρονική κλίμακα για το σημείο που έχει εγκατασταθεί.

Η συσκευή τοποθετείται σε εξωτερικό χώρο ενός κτιρίου και είναι εκτεθειμένη στις περιβαλλοντικές συνθήκες της προκείμενης θέσης. Τροφοδοτείται από σταθερή παροχή ρεύματος (εναλλακτικά και από ΑΠΕ⁴⁹ μέσω και είναι συνδεδεμένη στο διαδίκτυο. Η σύνδεση νοείται για την απαραίτητη επικοινωνία με τη βάση δεδομένων για άμεση ενημέρωση σχετικά με τα μετρούμενα μεγέθη. Η αδιάλειπτη διαδικτυακή επικοινωνία υποστηρίζεται μέσω του διακομιστή (Server) ο οποίος με τη σειρά του δρομολογεί τα δεδομένα στη ΒΔ.

Η σταθερή συσκευή διακρίνεται από το γεγονός ότι είναι μόνιμα εγκατεστημένη σε μία θέση με σκοπό το σχηματισμό δεδομένων βάσης (Baseline Data). Αυτό λειτουργεί ως μηχανισμός φιλτραρίσματος που ελαχιστοποιεί την πιθανότητα εμφάνισης σφαλμάτων από χωρικές παραμέτρους. Επίσης, η συνδυαστική λειτουργία με τη φορητή συσκευή ενδέχεται να οδηγήσει στον εντοπισμό των αιτιών περιβαλλοντικής υποβάθμισης στη συγκεκριμένη τοποθεσία. Λαμβάνοντας υπόψη πως η παρακολούθηση ενός φαινομένου συνιστά την εξαγωγή μεταβλητών χωροχρονικά, προϋποθέτει όμως τη συνεχή λειτουργία της συσκευής.

2.6.2. Φορητή μονάδα

Η παραγόμενη περιβαλλοντική πληροφορία από μία μονάδα μεταφερόμενη στο χώρο εξυπηρετεί ειδικούς σκοπούς. Ο ρόλος της φορητής συσκευής καταγραφής είναι η παραγωγή συνεχών μετρήσεων με παράλληλη καταγραφή της χωρικής αναφοράς. Το περιβάλλον είναι ένα ιδιαίτερα σύνθετο σύστημα και η δυνατότητα εξ αποστάσεως μελέτης των στοιχείων του αποτελεί αντικείμενο της επιστήμης της Τηλεανίχνευσης (Remote Sensing). Οι καταγραφόμενες αριθμητικές τιμές συγκροτούν μία ομάδα μεταβλητών οι οποίες επιτρέπουν στον ερευνητή να κατανοήσει το υπό μελέτη φαινόμενο. Ο βαθμός συσχέτισης μεταξύ των μεταβλητών προσδιορίζει τις ιδιότητες και τη χωρική εξάπλωση των παραγόντων που επηρεάζουν την κατάσταση του περιβάλλοντος. Ειδικότερα, η μοναδικότητα της στιγμιαίας μέτρησης στο χώρο διαμορφώνει χαρακτηριστική εννοιολόγηση για το σημείο που αντιπροσωπεύει. Η μέτρηση προσεγγίζεται ως μία διαδικασία μεταφοράς της πραγματικής κατάστασης του χώρου ως προς την αντίστοιχη αριθμητική απεικόνιση που παρουσιάζει η μεταβλητή.

Αξιοσημείωτη θεωρείται η παράμετρος της ταχύτητας που εννοείται ως η απόσταση μεταξύ δύο σημείων καταγραφής προς το χρόνο διάσχισης. Η ταχύτητα είναι σημαντικός παράγοντας επιρροής για την αποτελεσματικότητα της μελέτης, καθώς σχετίζεται με το ρυθμό απόκρισης των φυσικών μεγεθών. Η αξιοποίηση των προγραμματιστικών δυνατοτήτων του Arduino και της τεχνολογίας GPS έρχονται να

⁴⁹ Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

αντιμετωπίσουν τυχόν σφάλματα που προκύπτουν από τη μεταβολή του ρυθμού αλλαγής θέσης της συσκευής, ρυθμίζοντας αντίστοιχα το ρυθμό και τις παραμέτρους καταγραφής του κάθε αισθητήρα.

Τα παραγόμενα δεδομένα από τη φορητή συσκευή επεκτείνουν τη χωρική εξάπλωση της καταγραφής σε αντίθεση με τη σταθερή μονάδα η οποία εκφράζει αποκλειστικά μία θέση. Η χωρική εξάπλωση των μετρήσεων προσφέρει εκτεταμένες δυνατότητες σε ένα σύστημα καταγραφής. Ο μελετητής κατέχει περισσότερα εργαλεία για την αναζήτηση των αιτιών και των συνεπειών της περιβαλλοντικής υποβάθμισης μέσω της ιδιαιτερότητας που προσφέρει η χωρική πληροφορία. Ο μεταβαλλόμενος παράγοντας της θέσης σε συνδυασμό με τη γνώση του χρόνου προσφέρει περαιτέρω δυνατότητες χαρτογραφικής και στατιστικής οπτικοποίησης.

2.6.3. Λειτουργία

Η συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης για την καταγραφή φυσικών μεγεθών σε εξωτερικό χώρο περιλαμβάνει την κατασκευή μίας μονάδας που βασίζεται στην πλατφόρμα Arduino. Η τροποποίηση του κώδικα κατά περίπτωση επιτρέπει τη μετατροπή της συσκευής από σταθερή σε φορητή και αντίστροφα. Το γεγονός αυτό μειώνει το ρυθμό απόκτησης εξειδικευμένης γνώσης σχετικά με την πραγματική κατάσταση του περιβάλλοντος. Επιπλέον, αποδυναμώνεται η γεωγραφική φύση της μελέτης καθώς καθίσταται δυσκολότερη η ανάδειξη των χωρικών συσχετίσεων και εν συνεχεία η βέλτιστη λειτουργία της πλατφόρμας Web GIS.

Η ολοκληρωμένη εφαρμογή του συστήματος προϋποθέτει τη συνεχή λειτουργία δύο η περισσότερων συσκευών (φορητές και σταθερές) με σκοπό την πλήρωση της βάση δεδομένων με καταγραφές (χωρικές και αριθμητικές). Ακολουθώντας, το αναμενόμενο πλήθος των καταγραφών θα λειτουργήσει θετικά στην εξέλιξη και περαιτέρω ανάπτυξη της πλατφόρμας, καθώς προσφέρει ευκαιρίες ανάδειξης ενδεχομένων σφαλμάτων και αδυναμιών.

Καθ' όλη τη λειτουργία και δοκιμή του συστήματος, εντοπίστηκαν αρκετά σφάλματα και δυσλειτουργίες. Αρχικά, η μονάδα Bluetooth (HC-06) σημείωνε ασυνέπεια στη σύνδεση μεταξύ του Arduino και του Smartphone, πρόβλημα το οποίο λύθηκε με την απλοποίηση του κώδικα για την φορητή συσκευή. Η πιθανή αιτία εντοπίζεται σε θέματα συμβατότητας λογισμικού από τη συσκευή Android. Έπειτα, όλοι οι αισθητήρες παρουσίασαν κατά καιρούς μικρές απώλειες ακρίβειας και πιστότητας οι οποίες στη συνέχεια διορθώθηκαν. Αντιθέτως, το μικρόφωνο (MAX-4466) και οι δύο αισθητήρες για τα αέρια μικροσωματίδια (MQ-4, MQ-7) εξακολουθούν να παρουσιάζουν σφάλματα καταγραφών.

Οι αισθητήρες MQ επηρεάζονται ιδιαίτερα από τη θερμοκρασία και σε ακραίες διακυμάνσεις παρέχουν ανακριβείς τιμές. Ο αισθητήρας της ηχορύπανσης δεν αποτελεί μία εξειδικευμένη συσκευή καταγραφής των dB και συνεπώς η λειτουργία του χαρακτηρίζεται από σφάλματα. Η ακρίβεια επέρχεται με την εφαρμογή

χρονικού βήματος τριάντα δευτερολέπτων ανά μέτρηση, η οποία όμως μεταβάλλεται με απότομη αυξομείωση της ταχύτητας κίνησης της συσκευής.

Επίσης, παρουσιάστηκε ένα άλλο ζήτημα σε σχέση με την επικοινωνία μεταξύ Android App και Server κατά την φορητή λειτουργία. Συγκεκριμένα, ενώ υπήρχε ομαλή καταχώριση των μετρήσεων στο smartphone και παρόλη τη συνδεσιμότητα στο διαδίκτυο, έληγε χωρίς προειδοποίηση η μεταφορά δεδομένων από το Android στον MQTT broker, στο Server και εν συνεχεία στη ΒΔ. Το συγκεκριμένο φαινόμενο παρουσίασε ακανόνιστη περιοδικότητα εμφάνισης και δεν έχει καταστεί εφικτό να εντοπιστούν τα αίτιά του. Με τη χρήση διαφορετικών συσκευών Android εμφανίστηκε μείωση της συχνότητας του φαινομένου, χωρίς να υπάρχει μετρήσιμη τεκμηρίωση περί τούτου. Η πιθανή αιτία εντοπίζεται στη διαφορετική έκδοση λογισμικού Android της κάθε μίας συσκευής που έχει χρησιμοποιηθεί, χωρίς όμως να λύνει το πρόβλημα.

Το προκείμενο σχέδιο συνιστά μία πολυπαραμετρική εφαρμογή που "παντρεύει" μεταξύ τους διαφορετικές τεχνολογίες και επιστημονικούς κλάδους. Το σύνολο του τεχνικού σκέλους αφορά σε Ανοιχτές Τεχνολογίες Υλικού και Λογισμικού και επιτρέπει τη διερεύνηση αναζήτησης λύσεων στο διαδίκτυο. Η πολυπλοκότητά, η χωρική παράμετρος και η ποιοτική ανάλυση καθιστούν δύσκολη την εύρεση όμοιου σχεδίου σε fora και ευρύτερα σε κοινότητες σχετικές με Arduino, Android και λοιπών τεχνολογιών.

Συνηθέστερα παραδείγματα εφαρμογών εμφανίζονται στην αυτοματοποιημένη λειτουργία ενός συστήματος αισθητήρων (Sensing System) με σκοπό την άμεση ειδοποίηση για κινδύνους σχετικά με φαινόμενα όπως πυρκαγιές και ακραία φαινόμενα. Ως κοντινότερο παράδειγμα εφαρμογής δύναται να χαρακτηριστεί το σχέδιο "Εξυπνη Περιβαλλοντική Παρακολούθηση" (Smart Environmental Monitoring, Eduardo Alarisco)⁵⁰ που έχει αναρτηθεί στη διαδικτυακή πλατφόρμα Hackster. Το σχέδιο αποσκοπεί στην κατασκευή πολλών απλών και εύκολων στη χρήση συσκευών παρακολούθησης φυσικών παραμέτρων θερμοκρασίας, υγρασίας, θορύβου, φωτεινότητας και ατμοσφαιρικής πίεσης, με στόχο την μαζική εξάπλωσή τους στο αστικό περιβάλλον. Η συσκευή τροφοδοτεί το Internet of Things του Amazon Web Services (AWS)⁵¹ με πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση του περιβάλλοντος για περαιτέρω επεξεργασία και ανάλυση.

Αποτελείται από μέρη υλικού και λογισμικού που διαφοροποιούνται σε αρκετούς τομείς από τη μελέτη που διαπραγματεύεται η συγκεκριμένη εργασία. Το υλικό διακρίνεται από έναν μικροελεγκτή Raspberry Pi Zero, γεγονός που μεταβάλλει τη μεθοδολογία παραμετροποίησης σε σχέση με το Arduino. Αξιοποιούνται μονάδες

⁵⁰ https://www.hackster.io/alapisco/smart-environmental-monitoring-2552bb?ref=search&ref_id=environmental%20&offset=2

⁵¹ <https://aws.amazon.com/iot/>

αισθητήρων συμβατές με Raspberry και υποστηρίζεται από δομές λογισμικού Java SE μέσω του Node.js. Η μεταφόρτωση των μετρήσεων συμβαίνει στο AWS και υπάρχει δυνατότητα ταυτόχρονης διασύνδεσης με πλήθος συσκευών.

3. Συμπεράσματα και μελλοντικά σχέδια

3.1. Συμπεράσματα

Η προτεινόμενη μελέτη συνιστά μία πρόταση για αυτοματοποιημένη παρακολούθηση της ποιότητας του περιβάλλοντος. Η κατασκευή της πλατφόρμας απαιτεί μικρούς πόρους καθιστώντας την υλοποιήσιμη με ευκολία και ευρύτητα εφαρμογής. Ο πειραματικός χαρακτήρας του σχεδιασμού οδήγησε σε κάποιες γενικεύσεις που προκάλεσαν ζητήματα ακρίβειας μετρήσεων και συμβατότητας υλικού - λογισμικού. Η περαιτέρω ανάλυσή των ανωτέρω ζητημάτων οδηγεί στην κατασκευή ενός συστήματος το οποίο είναι προσαρμοσμένο στις ανάγκες της εκάστοτε έρευνας. Επιπροσθέτως, δημιουργούνται προοπτικές χρήσης μικρότερου και ταχύτερου εξοπλισμού, λόγω της συνεχούς ανάπτυξης στον τομέα του ανοιχτού υλικού.

Σε συμβατικά GIS η συγκέντρωση δεδομένων με χωρική υπόσταση ακολουθείται από Διασφάλιση Ποιότητας και Ποιοτικό Έλεγχο (QA/QC⁵²). Η διαδικασία αποτελείται από μεθόδους επεξεργασίας και αφαίρεσης σφαλμάτων καταγραφής ούτως ώστε να διασφαλίζεται η ακεραιότητα των αναλυτικών διεργασιών που έπονται. Ενδεχόμενες αποκλίσεις στην πιστότητα των δεδομένων μειώνουν την εμπιστοσύνη στο τελικό ερευνητικό αποτέλεσμα. Οι διεργασίες διασφάλισης και ελέγχου είναι επίπονες και χρονοβόρες διεργασίες και επικεντρώνονται στην επαλήθευση των παραμέτρων χρονικής ακρίβειας, στατιστικού ελέγχου, αριθμητικής και χωρικής συνοχής.

Η χρησιμότητα της εφαρμογής εντοπίζεται σε πολλά επίπεδα. Αρχικά, ο συνδυασμός των αισθητήρων που συνδέονται με το Arduino είναι απεριόριστος. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων προσφέρει ευρύ πεδίο υλοποίησης, καθώς το συμβατό λογισμικό διευρύνεται συνεχώς. Το βασικό στοιχείο υλοποιησιμότητας αποτελεί ο εύκολος χειρισμός της πλατφόρμας από τον τελικό χρήστη, ο οποίος καλείται να αξιοποιήσει τεχνολογίες άμεσα διαθέσιμες σε εκείνον (Smartphone, Internet). Σημειώνεται πως τα προαναφερθέντα υποδηλώνουν τη βέλτιστη αφομοίωσή του από δημόσιους και ιδιωτικούς φορείς που παρουσιάζουν ευαισθησία σε ζητήματα οικολογίας και προστασίας του περιβάλλοντος.

3.1.1. Μελλοντικές επεκτάσεις

Η κλίμακα μελέτης καθοδηγεί την κατασκευή πλήθους εναλλακτικών συσκευών που με τη σειρά τους εισάγουν πληροφορίες σε ένα σύστημα λογισμικού. Το μέρος του υλικού προσφέρει δυνατότητες αναπαραγωγής σε πανομοιότυπα βάσει των τεχνικών προδιαγραφών και σχεδίων που έχουν ορισθεί στη συγκεκριμένη μελέτη.

⁵² Quality Assurance / Quality Control

Το είδος των προς μελέτη περιβαλλοντικών μεταβλητών δύναται να διαμορφώσει ένα εναλλακτικό μοντέλο που στοχεύει προς μία συγκεκριμένη κατεύθυνση. Η παρακολούθηση της ποσότητας των αέριων σωματιδίων επί παραδείγματι, αποτελεί μία ιδιαίτερα σύνθετη διεργασία που προϋποθέτει την καταγραφή πλήθους άλλων μεταβλητών.

Η προκείμενη μελέτη παρέχει πιθανές εφαρμογές σχετικά με σχέδια ανάλυσης και εκτίμησης της ποιότητας του αστικού περιβάλλοντος. Ειδικότερα, προτείνεται η συνδυαστική εγκατάστασή αισθητήρων σε δημόσια οχήματα (MMM, απορριμματοφόρα κα) και σε δημόσια κτίρια (σχολεία, υπηρεσίες κα). Επιπλέον, δύναται να λειτουργήσει ως εργαλείο πρόγνωσης για σχέδια πολιτικής προστασίας όπως σε περιπτώσεις πυρκαγιών (δασικών και αστικών) και ακραίων καιρικών φαινομένων. Πέραν των θεσμικών οργάνων το σχέδιο είναι εφαρμόσιμο και σε δραστηριότητες αναψυχής, όπως πεζοπορία και ποδηλασία, για τη γενικότερη ανάλυση της ποιότητας του φυσικού περιβάλλοντος.

Επιπλέον, παρέχεται διευρυμένο πεδίο επεκτάσεων σε εφαρμογές φορητού πληθοπορισμού (Mobile Croud sourcing) καθώς δύναται να διοχετεύσει εμπειριστατωμένη μεθοδολογία έρευνας στο ευρύ κοινό. Συνεπώς παρέχεται η δυνατότητα επίλυσης προβλημάτων από συνεισφορές των πολιτών με ελάχιστες γνωστικές απαιτήσεις. Παράλληλα με την περιβαλλοντική παρακολούθηση ο πληθοπορισμός προσφέρει ευρεία αναμετάδοση και πληροφόρηση σε σχέση με τα περιβαλλοντικά προβλήματα και κατ' επέκταση τις μεθόδους επίλυσής τους. Η εξάπλωση των πολυμεσικών τεχνολογιών δρα επικουρικά στη διεύρυνση της συμμετοχικότητας. Η σύνθετη διάρθρωση των πληροφορικών δεδομένων εμπλουτίζει την επιστημονική πληροφορία, μετατρέποντας τις αριθμητικές μεταβλητές σε σύνθετες δομές δεδομένων με ποσοτικό, χωρικό και οπτικοακουστικό περιεχόμενο.

Η εφαρμογή ενός μοντέλου περιβαλλοντικής παρακολούθησης σε μεγαλύτερη κλίμακα λειτουργεί αποτελεσματικά μέσω μίας σαφώς καθορισμένης υπηρεσίας διεπαφής (Interface Service) που εφαρμόζεται σε υψηλό επίπεδο (High Level of Intergration). Η Διαδικτυακή Υπηρεσία Χωρικών Αισθητήρων (Spatial Sensor Web Service) εξυπηρετεί αυτό το σκοπό καθώς υποστηρίζει μεγάλο αριθμό συνδεδεμένων διαύλων με δυνατότητες προβολής των μετρήσεων καθώς και εκτεταμένες δυνατότητες ελέγχου (Liang, GeoICT Lab). Η υπηρεσία αποτελεί μία ειδική υπόθεση μελέτης με εκτεταμένες λειτουργίες:

1. Μαζική εισροή μετρήσεων από διαφορετικούς τύπους διαύλων,
2. Επικύρωση μεγάλου όγκου μετρήσεων (Data Validation) μέσω σύνθετων διεργασιών προσπέλασης, προώθησης και χρήση ενσωματωμένων κανόνων στα δεδομένα,

3. Χωρική διαχείριση μετρήσεων μέσω διεργασιών αφομοίωσης στο σύστημα, υπολογισμού θέσης της κάθε παρατήρησης, αξιοποίησης ειδικευμένων χωρικών μοντέλων και κωδικοποιήσεων για την χωροχρονική μελέτη των τεχνικών μεγεθών,
4. Προώθηση και αποθήκευση των καταγραφών σε Σύστημα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων,
5. Χωρική εννοιολόγηση (Spatial Reasoning) των πιθανών χωρικών συσχετίσεων των καταγραφών και των αντίστοιχων χαρακτηριστικών τους⁵³
6. Διαδικτυακή πλατφόρμα GIS με δυνατότητα εξαγωγής διανυσματικών αρχείων με πιστοποιημένα μεταδεδομένα⁵⁴,
7. Δυνατότητα εισροής πληροφορίας (αυτοματοποιημένη ή μη) και από άλλες πηγές πέραν των εγκατεστημένων αισθητήρων (πχ κοινωνικά δίκτυα) και
8. Ανάπτυξη υπολογιστικών μοντέλων για τη συγχώνευση ετερογενών καταγραφών, αποσκοπώντας στην εξαγωγή αναλυτικών συμπερασμάτων.

Η κατασκευή ενός εξελιγμένου συστήματος καταγραφής και ανάλυσης της περιβαλλοντικής πληροφορίας στηρίζεται σε δυνατότητες αυτοματοποίησης και επεκτάσεις που υποστηρίζουν προγνωστικά μοντέλα. Η τεχνολογία του Cloud Computing και η μαζική διεύρυνση του IoT κατευθύνονται στην πρόγνωση φαινομένων (Environmental Event Forecasting) μέσω εξειδικευμένης γνώσης που προέρχεται από τη συσσώρευση και ενοποίηση καταγραφών μαζί με βοηθητικά δεδομένα.

Συστήματα συνεχούς ροής δεδομένων προϋποθέτουν τον έλεγχο και τη διασφάλιση ποιότητας σε όλες τις διεργασίες καταγραφής. Ο διαδοχικός υπολογισμός σφαλμάτων χρησιμεύει στην εξεύρεση ασυνεπειών στα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο (Real Time). Η κατασκευή πρότυπων εφαρμογών παρακολούθησης μέσω του προγραμματισμού επιτρέπει την ανάπτυξη αυτοματοποιημένων μεθόδων ελέγχου σε όλα τα στάδια καταγραφής (Cambell et al., 2013). Επίσης, διασφαλίζεται η αποτύπωση της αρχικής κατάστασης των δεδομένων επιτρέποντας την ορθή αναπαραγωγή εγγραφών που περιέχουν σφάλματα. Σημαντικό εργαλείο στη συγκεκριμένη διεργασία αποτελεί η εφαρμογή εξειδικευμένων προτύπων μεταδεδομένων (Metadata Standards). Το πρότυπο SensorML⁵⁵ έχει αναπτυχθεί για τον καθορισμό των διεργασιών καταγραφής και επεξεργασίας στοιχείων που σχετίζονται με καταγραφές από χωρικά δίκτυα αισθητήρων (Spatial Sensor Networks). Η δομή του επιτρέπει τον έλεγχο στους τομείς του υλικού καθώς και στις υπολογιστικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά και μετά από την καταγραφή.

⁵³ Τα χαρακτηριστικά διακρίνονται από: α) τις μονάδες καταγραφής, β) το υπό μελέτη φαινόμενο και γ) τις παραγόμενες μεταβλητές.

⁵⁴ ISO 19115:2013 "Geographic Information - Metadata"

⁵⁵ Sensor Model Language

Οι κόμβοι αισθητήρων αποτελούν σύνθετα και "έξυπνα" συστήματα που λειτουργούν με σύνθετες ροές εργασιών. Η αναλυτική δομή που διαθέτει ένα δίκτυο αισθητήρων βασίζεται στη διαλειτουργικότητα μεταξύ των εμπλεκόμενων συστημάτων (υλικό και λογισμικό) με σκοπό την αυτοματοποιημένη λειτουργία για την εύκολη, γρήγορη και αποτελεσματική καταγραφή, αξιολόγηση και απεικόνιση περιβαλλοντικών εφαρμογών.

4. Βιβλιογραφία

Δημοσιεύσεις

- Bert De Coensel*, Michiel Boes, Damiano Oldoni and Dick Botteldooren, Characterizing the soundscape of tranquil urban spaces, 2013 Acoustical Society of America
- BLUM, Jeremy, Exploring Arduino Tools and Techniques for Engineering Wizardry, Wiley, 2013, Indianapolis, IN 46256;
- John L. Campbell, Lindsey E. Rustad, John H. Porter, Jeffrey R. Taylor, Ethan W. Dereszynski, James B. Shanley, Corinna Gries, Donald L. Henshaw, Mary E. Martin, Wade M. Sheldon, and Emery R. Boose, Quantity is Nothing without Quality: Automated QA/QC for Streaming Environmental Sensor Data, BioScience Jul 2013 : Vol. 63, Issue 7, pg(s) 574-585 doi: 10.1525/bio.2013.63.7.10
- E. Estellés-Arolas & F. González Ladrón-de- Guevara. Towards an integrated crowdsourcing definition. Journal of Information Science (JCR: 1,41), 2012
- EVANS, Brian W., Arduino Programming Notebook, August 2007
- Gomarasca, Mario A., Basics Of Geomatics, Springer, 2009, London - New York
- Jain, RK, Urban, LV, Stacey, GS, Balabach HE, Environmental Assesement, McGraw-Hill, 1993, USA
- Janelcy Alferes*, John Copp**, Stefan Weijers***, Peter A. Vanrolleghem*, Innovative water quality monitoring: Automation of data assessment in practical scenarios
- Mark L. Kram, Ph.D.1, R. Edward Beighley, Ph.D.2, and Hugo A. Loaiciga, Ph.D.3, Automated Environmental Monitoring And Data Visualization For Streamlined Groundwater Management
- S.H.L. Liang, V. Tao, SPATIAL SENSOR WEB REFERENCE MODEL, GeoICT Lab, York University, Toronto, Ontario, CANADA M3J 1L4
- R.W. Marans, Understanding environmental quality through quality of life studies: the 2001 DAS and its use of subjective and objective indicators, Landscape and Urban Planning 65 (2003) 73–83
- Metelev, V.V., A.L. Kanaev and N.G. Diasokhra: Water toxicity. American Publishing Company Private Limited, pp. 21 6 (1971)
- Mohammad Abdul Mohit , Quality of Life in Natural and Built Environment An Introductory Analysis Procedia - Social and Behavioral Sciences 101 (2013) 33 – 43
- Morris, Peter, Therivel Riki, Methods of Environmental Impact Assessment, 2nd Edition, Spon Press, 2001, London - UK
- Lili Wang, Nan Zhang, Zirui Liu, Yang Sun, Dongsheng Ji, and Yuesi Wang, “The Influence of Climate Factors, Meteorological Conditions, and Boundary-Layer Structure on Severe Haze Pollution in the Beijing-Tianjin-Hebei Region during January 2013,” Advances in Meteorology, vol. 2014, Article ID 685971, 14 pages, 2014. doi:10.1155/2014/685971

Περιοδικά

- xyHT magazine, τεύχος Δεκεμβρίου 2015, ISSN 2373-7735 (online), Flatdog Media, USA

Διαδικτυακές πηγές

- '01 - What Is Npm? | Npm Documentation'. 2016. Προσπελάστηκε 20 Νοεμβρίου. <https://docs.npmjs.com/getting-started/what-is-npm>.
- 'Android Developers'. 2016. Προσπελάστηκε 22 Νοεμβρίου. <https://developer.android.com/index.html>
- 'AngularJS: Developer Guide: Introduction '. 2016. Προσπελάστηκε 18 Νοεμβρίου. <https://docs.angularjs.org/guide/introduction>
- 'Application Fundamentals | Android Developers'. 2016. Προσπελάστηκε 20 Νοεμβρίου. <https://developer.android.com/guide/components/fundamentals.html>.
- Arduino - ArduinoYun'. 2016. Προσπελάστηκε 19 Αυγούστου. <https://www.arduino.cc/en/Guide/ArduinoYun>
- 'Arduino Client for MQTT'. Προσπελάστηκε 8 Οκτωβρίου. <http://pubsubclient.knolleary.net/>
- 'Arduino - Getting Started'. 2016. Προσπελάστηκε 19 Αυγούστου. <https://www.arduino.cc/en/Guide/HomePage>
- 'Arduino Playground - MQGasSensors'. 2016. Προσπελάστηκε 19 Αυγούστου. <http://playground.arduino.cc/Main/MQGasSensors>
- 'Documentation - Apache Cordova'. 2016. Προσπελάστηκε 22 Νοεμβρίου. cordova.apache.org/docs
- 'Environmental Performance Index' . 2016. Προσπελάστηκε 15 Σεπτεμβρίου. <http://epi.yale.edu/visuals/airmap/>
- 'Heat Maps in GIS ~ GIS Lounge'. 2016. Προσπελάστηκε 13 Οκτωβρίου. <https://www.gislounge.com/heat-maps-in-gis/>.
- 'Help | Mapbox'. 2016. Προσπελάστηκε 17 Οκτωβρίου. <https://www.mapbox.com/help/>
- 'How it works | Bluetooth Technology Website'. 2016. Προσπελάστηκε 15 Σεπτεμβρίου. <https://www.bluetooth.com/what-is-bluetooth-technology/bluetooth-technology-basics>
- 'Ionic Documentation Overview - Ionic '. 2016. Προσπελάστηκε 22 Νοεμβρίου. <http://ionicframework.com/docs/overview/>
- 'mLab MongoDB | Heroku Dev Center '. 2016. Προσπελάστηκε 10 Οκτωβρίου. <https://devcenter.heroku.com/articles/mongolab>
- 'mqtt '. 2016. Προσπελάστηκε 8 Οκτωβρίου. <http://mosquitto.org/man/mqtt-7.html>
- 'OpenWrt Wiki'. 2016. Προσπελάστηκε 20 Οκτωβρίου <https://wiki.openwrt.org>
- 'Participatory Sensing for Urban Communities'. 2016. Προσπελάστηκε 22 Σεπτεμβρίου. https://www.wilsoncenter.org/sites/default/files/participatory_sensing.pdf
- 'Particle Pollution (PM)'. 2017. Accessed January 3. <https://airnow.gov/index.cfm?action=aqibasics.particle>.
- 'RDBMS dominate the database market, but NoSQL systems are catching up'. Προσπελάστηκε 10 Οκτωβρίου. http://db-engines.com/en/blog_post/23
- 'Sensor Model Language (SensorML) | OGC'. 2017. Προσπελάστηκε 17 Ιανουαρίου 2017. <http://www.opengeospatial.org/standards/sensorml>.
- 'Where does the Ionic Framework fit in? | The Official Ionic Blog'. 2016. Προσπελάστηκε 22 Νοεμβρίου. <http://blog.ionic.io/where-does-the-ionic-framework-fit-in/>

- 'Χαρακτηριστικά οργάνων μέτρησης τεχνικών μεγεθών | George Zannis'.2016. Προσπελάστηκε 10 Σεπτεμβρίου. <http://users.ntua.gr/gzannis/?p=116>

Ελληνόγλωσσα Βιβλία

- Δηλανάς Αθ., 21ος Αιώνας: Προβληματισμοί για τη ρύπανση του Περιβάλλοντος. Ενημέρωση - μέτρα προστασίας, Εκδ. Αθ Σταμούλης, 1999, Αθήνα
- Ρεμουντάκη Εμανουέλλα, Αέρας και Ατμοσφαιρική Ρύπανση, WWF Hellas, 2010, Αθήνα
- Χαλκιάς Χρίστος, Όροι και Εννοιες Επιστήμης Γεωγραφικών Πληροφοριών, Εκδ ΙΩΝ, 2006, Αθήνη

Ξενόγλωσσα Βιβλία

- Gomarasca, Mario A. Basics Of Geomatics, Springer, 2009, London - New York
- Morris, Peter, Therivel Riki, Methods of Environmental Impact Assessment, 2nd Edition, Spon Press, 2001, London - UK
- Jain, RK, Urban, LV, Stacey, GS, Balabach HE, Environmental Assesement, McGraw-Hill, 1993, USA
- Mohammad Abdul Mohit , Quality of Life in Natural and Built Environment An Introductory Analysis Procedia - Social and Behavioral Sciences 101 (2013) 33 – 43
- P.L.N. Raju, Fundamentals of Geographic Information Systems, Geoinformatics Division, Indian Institute of Remote Sensing, Dehra Dun, 2013Gomarasca, Mario A. Basics Of Geomatics, Springer, 2009, London - New York
- R McDonnell & K Kemp. 1995. International GIS Dictionary. Cambridge GeoInformation International
- Stefanakis, E., 2014, Geographic Databases and Information Systems. Edition 1.0; pp. 386; Fredericton, NB, Canada; September 2014

5. Παράρτημα

Πηγαίος Κώδικας

- **Arduino:** <https://gitlab.com/diplwmatiki/SEnSo.git>
- **Server:** <https://gitlab.com/diplwmatiki/senso-server.git>
- **Android APP:** <https://gitlab.com/diplwmatiki/senso-new.git>

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1: Σχήμα Διαδικτυακού ΓΣΠ	20
Εικόνα 2: Αρχιτεκτονική Συστήματος Βάσεων Δεδομένων (πηγή: Εμμ. Στεφανάκης)	44
Εικόνα 3: Οι βασικές διαδικασίες που παρέχει ένα ΣΔΒΔ (πηγή: Εμμ. Σταφανάκης)	45
Εικόνα 4: Arduino Yun - Εμπρόσθια όψη, Πηγή: arduino.cc.....	53
Εικόνα 5: Arduino Yun - Οπίσθια όψη, Πηγή: arduino.cc	53
Εικόνα 6: Διάγραμμα σύνδεσης μεταξύ των 2 επεξεργαστών, Πηγή: arduino.cc.....	54
Εικόνα 7: Μονάδα Bluetooth HC-06	57
Εικόνα 10: Καλωδίωση αισθητήρων MQ.....	59
Εικόνα 11: Σύνδεση TEMT6000, πηγή bildr.org.....	60
Εικόνα 12: Arduino IDE.....	63
Εικόνα 13: Μέθοδος εγκατάστασης npm	71
Εικόνα 14: Δείγμα χωρικής εφαρμογής, πηγή: Mapbox.com.....	74
Εικόνα 15: Πρώτος διαδικτυακός Χάρτης, πηγή: Mapquest.com	75
Εικόνα 16: Σύστημα διαδικτυακού χάρτη, πηγή: xyHt.com	76
Εικόνα 17: Χρωματική διαβάθμιση σε πλήρες φάσμα	77
Εικόνα 18: Εφαρμογή Heat Map που απεικονίζει την ατμοσφαιρική ρύπανση στις ΗΠΑ, πηγή: mapbox.com.....	79
Εικόνα 19: Απεικόνιση Γενικής Εκτίμησης του περιβάλλοντος μέσω Heatmap.....	84
Εικόνα 20: Δομή λειτουργίας πλακιδίων χάρτη, πηγή: opengeo.org.....	85
Εικόνα 21: Κόμβοι αισθητήρων διασκορπισμένοι στο πεδίο, πηγή: I.F. Akyildiz et al., 200188	

Ευρετήριο Χαρτών

Χάρτης 1: Αναπαράσταση Ατμοσφαιρικής ρύπανσης, πηγή: visuals.datadriven.yale.edu....	31
Χάρτης 2: Φωτορύπανση στην Ευρώπη, πηγή: www.lightpollutionmap.info.....	38
Χάρτης 3: Χάρτης επιβάρυνσης του αέρα από βιομηχανικές εκπομπές, πηγή: Hsu & Wong/Yale	78

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1: Ηχητική πίεση, ένταση και επίπεδο θορύβου, πηγή: Morris and Therivel, 2001	40
Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά Επεξεργαστών Arduino Yun	55
Πίνακας 3: Σύνθεση της συσκευής Arduino.....	55
Πίνακας 4: DHT-22, πηγή: Adafruit.com	58
Πίνακας 5: Υπόδειγμα σύνδεσης DHT-22, πηγή: Adafruit.com	58

Ευρετήριο διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Πρόβλημα ατμοσφαιρικής ρύπανσης, πηγή WWF Hellas.....	34
Διάγραμμα 2: Παράδειγμα σώρευσης επιπέδων ήχου, πηγή: Morris and Therivel, 2001	41
Διάγραμμα 3: Η αρχιτεκτονική επικοινωνίας της εφαρμογής.....	51
Διάγραμμα 4: Διάγραμμα σύνδεσης της συσκευής καταγραφής	56
Διάγραμμα 5: Σύνδεση MAX4466, πηγή: wiring.org.co.....	61
Διάγραμμα 6: Αρχιτεκτονική Android OS.....	67
Διάγραμμα 7: Αρχιτεκτονική εφαρμογής Cordova	68
Διάγραμμα 8: Σχήμα Android App	69
Διάγραμμα 9: Τα συστατικά στοιχεία ενός κόμβου αισθητήρων, πηγή: I.F. Akyildiz et al., 2001.....	87