

ΠΕΡΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ, ΓΕΩΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΤΟΥΣ. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑ - ΓΕΩΜΑΤΙΚΗ

Ιωάννης Δ. Δούκας
Εργαστήριο Γεωδαισίας και Γεωματικής - Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.
e-mail: jdoukas@civil.auth.gr

Περίληψη

Οι αισθητήρες (sensors) και γεωαισθητήρες (geosensors - γεωαναφερόμενοι αισθητήρες, δηλ. αισθητήρες που μετρούν, παρακολουθούν, καταγράφουν φαινόμενα στο γεωγραφικό χώρο) είναι μια πληθώρα σύγχρονων 'εργαλείων' με ένα τεράστιο πεδίο εφαρμογών. Είναι μια επανάσταση αναφορικά με 'την παρατήρηση του φυσικού κόσμου'. Στην παρούσα εργασία, γίνεται μια συνοπτική εισαγωγή με βάση τα δίκτυά τους (Wireless Sensor Networks-WSN, GeoSensor Networks-GSN), εξετάζονται οι δυνατότητες, τα πλεονεκτήματα και δίνονται παραδείγματα που άπτονται της Γεωδαισίας και Γεωματικής. Τέλος, παραθέτονται σύγχρονες εξελίξεις και 'οράματα', με βάση αυτή την τεχνολογία και σε συνδυασμό/μίξη της με άλλες σύγχρονες τεχνολογίες/μεθόδους του χώρου της γεωπληροφορικής (GIS), όπως: συνδυασμός/συντονισμός αισθητήρων (sensor fusion), η διάχυτη/(πανταχού παρούσα) υπολογιστική δυνατότητα (pervasive/ubiquitous computing) και η περιβάλλουσα/χωρική νοημοσύνη (ambient/spatial intelligence).

Λέξεις-Κλειδιά: αισθητήρες, γεωαισθητήρες, δίκτυα γεωαισθητήρων, μίξη αισθητήρων, χωρική νοημοσύνη

ON SENSORS AND GEOSENSORS AND ON THEIR WIRELESS NETWORKS. APPLICATIONS IN GEODESY - GEOMATICS

Ioannis (John) D. Doukas
Laboratory of Geodesy and Geomatics - Department of Civil Engineering A.U.Th.
e-mail: jdoukas@civil.auth.gr

Abstract

Sensors and geosensors (which are "georeferenced sensors", i.e. sensors which measure, monitor, record phenomena in geographic space) comprise a plethora of modern 'tools' with a vast field of applications. They are a revolution regarding 'observation of the natural world'. In this paper, a brief introduction to them is given on the basis of their networks (Wireless Sensor Networks-WSN; GeoSensor Networks-GSN), followed by a discussion on their advantages and examples related to Geodesy and Geomatics. Finally, the contemporary developments and some 'visions' are discussed, based on this technology and its combination/mixture with other modern technologies/methods encountered in the field of geoinformatics (GIS), such as: sensor fusion (combination/coordination of sensors), pervasive/ubiquitous computing and ambient/ spatial intelligence (ambient/spatial intelligence).

Keywords: sensors, geosensors, sensor/geosensor networks, sensor fusion, ambient/spatial intelligence

Ιωάννης Δ. Δούκας

Περί αισθητήρων, γεωαισθητήρων και των ασυρμάτων δικτύων τους. Εφαρμογές στη Γεωδαισία - Γεωματική

5ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας. Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών. Αθήνα, 9-10 Μαΐου 2014

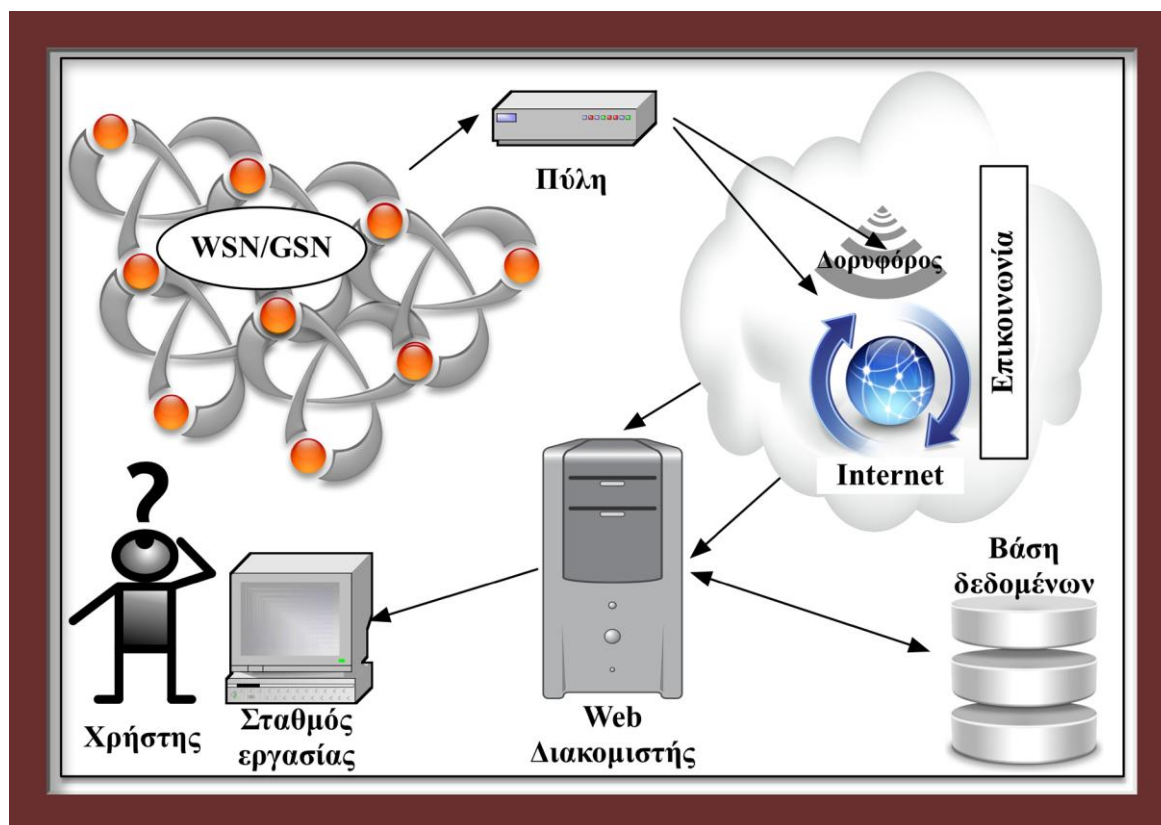
1. Εισαγωγικά - Αισθητήρες και δίκτυα αισθητήρων

Αισθητήρας (sensor): Είναι κάθε συσκευή που μετρά μια φυσική ποσότητα και κατόπιν τη μετατρέπει σε ένα αναγνώσιμο (από ένα παρατηρητή ή από ένα όργανο) σήμα (signal). Με απλούστερα λόγια, ένας αισθητήρας είναι μια συσκευή που λαμβάνει ένα σήμα και ανταποκρίνεται σε αυτό (περισσότερες πληροφορίες στην § 2).

Οι τεχνολογίες των ασύρματων αισθητήρων (**Wireless Sensor Technologies - WST**) προσδιορίζονται ως μια από τις σημαντικότερες επαναστάσεις του 21^{ου} αι. Διακρίνονται σε δύο (2) μεγάλες κατηγορίες (Garcia et al. 2009, Retscher and Fu 2008, Zhu et al. 2009). Πιο συγκεκριμένα:

(1). **Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (Wireless Sensor Networks - WSN)**, ένας πολύ γενικευμένος όρος, οπότε διασπώνται στους εξής τρεις (3) τύπους (Aboelaze and Aloul 2005, Reis 2005, Yick et al. 2008, Garcia et al. 2009):

(1.1). **Κυψελωτά Δίκτυα (Cellular networks):** Το πιο αντιπροσωπευτικό τους παράδειγμα είναι τα πασίγνωστα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας.



Σχήμα 1: Η βασική αρχή λειτουργίας ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων (WSN) και γεωαισθητήρων (GSN)

(1.2). **Αυτοοργανωμένα δίκτυα ή δίκτυα κατ' απαίτηση (Ad-hoc networks):** Κατά κανόνα, εγκαθίστανται σε μικρής έκτασης γεωγραφικές περιοχές εξυπηρετώντας

Ιωάννης Δ. Δούκας

Περί αισθητήρων, γεωαισθητήρων και των ασυρμάτων δικτύων τους. Εφαρμογές στη Γεωδαισία - Γεωματική

καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, αναπτύσσονται μάλιστα χωρίς υπάρχουσες υποδομές.

(1.3). *Δίκτυα αισθητήρων (Sensor networks)*: Ένα δίκτυο αισθητήρων είναι ουσιαστικά ένα σύστημα αποτελούμενο από: "κόμβους (*nodes*)", δέκτες ραδιοσυχνότητας (*RF*), μικροελεγκτές και ενεργειακές πηγές. Το δίκτυο απαρτίζεται από κόμβους που είναι κατανεμημένοι στο χώρο και ικανοί για να:

(α). Μετρούν διάφορα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντός τους (π.χ. πραγματοποιώντας: παρακολούθηση, ανίχνευση, επιτήρηση, καταγραφή)

(β). Κάνουν υπολογισμούς

(γ). Επικοινωνούν μεταξύ τους, ως μέλη ενός ασύρματου δικτύου.

Αυτός ακριβώς ο συνδυασμός των δυνατοτήτων καταγραφής, υπολογισμών και επικοινωνίας, είναι η αιτία που τα εν λόγω WSN συναντώνται και ως "ασύρματα έξυπνα δίκτυα" (**Wireless Smart Sensor Networks (WSSN)**) (Quintero et al. 2009). Όσον αφορά τις πλατφόρμες του υλικού των αισθητήρων, οπωσδήποτε υπάρχουν μεγάλες διαφορές μεταξύ τους, γεγονός που καθιστά αδύνατη τη δημιουργία κοινού για όλες λειτουργικό σύστημα. Κλειδί για τη λύση αυτού του προβλήματος είναι το λεγόμενο «*middleware*¹», που διευκολύνει την επεκτασιμότητα, τη διαλειτουργικότητα, τη δικτυακή επέκταση και ανάπτυξη και τέλος, την ανάπτυξη των εφαρμογών (Molla and Ahamed 2006).

Υπάρχουν πέντε (5) είδη ασύρματων δικτύων αισθητήρων (Akyildiz et al. 2008, Srivastava 2010, Yick et al 2008):

(i). *Κινητά (mobile)*, (ii). *Multimedia (WMSN)*, (iii). *Επίγεια*, (iv). *Υπόγεια*, (v). *Υποβρύχια*.

(2). Συσκευές (και συστήματα αυτών) που βασίζονται στην *Ταυτοποίηση Μέσω Ραδιοσυχνότητας (Radio Frequency Identification - RFID)*. Τρεις είναι οι βασικές συνιστώσες εδώ: η *ετικέτα (tag, αναμεταδότης)*, ο *δέκτης (transceiver)* που διαβάζει/γράφει δεδομένα στον αναμεταδότη, και τέλος ο *υπολογιστής* που περιέχει τη βάση δεδομένων και λογισμικό για τη διαχείριση πληροφοριών. Οι ετικέτες των RFID μπορούν να είναι: *ενεργές (active)*, *παθητικές (passive)* ή *ημι-παθητικές (semi-passive)*. Το συνηθισμένο βεληνεκές ανάγνωσης των παθητικών ετικετών κυμαίνεται από 10 cm έως 3 m (Garcia et al. 2009). Η βασική διαφορά μεταξύ RFID και WSN έγκειται στο γεγονός πως οι συσκευές RFID δεν έχουν δυνατότητες συνεργασίας μεταξύ τους.

2. Συνδυασμός/μίξη/συντονισμός αισθητήρων (sensor fusion) και οι συνιστώσες των δικτύων αισθητήρων

- *Αισθητηριακός κόμβος (Sensor node ή – κάποιες φορές - mote)*: Είναι ο κόμβος ενός WSN που έχει τη δυνατότητα να πραγματοποιεί κάποιες επεξεργασίες, να συγκεντρώνει αισθητηριακές πληροφορίες και βέβαια, να επικοινωνεί με άλλους κόμβους του WSN. Οι βασικές συνιστώσες ενός τέτοιου κόμβου είναι: *Ο μικροεπεξεργαστής, ο δέκτης, η εξωτερική μνήμη, η ενεργειακή πηγή και ένας ή περισσότεροι αισθητήρες* (Karl

¹ Middleware = το λογισμικό που "γεφυρώνει" το λειτουργικό σύστημα με τις αντίστοιχες εφαρμογές που εκτελούνται σε κάθε κόμβο του συστήματος (Yoneki and Bacon 2005).

and Willig 2003). Κατ' αντιστοιχία, ένας κόμβος έχει τα εξής χαρακτηριστικά: *αίσθηση (sensing)*, *επεξεργασία, επικοινωνία, ενεργοποίηση (actuation - βλ. και Σημείωση 5)* (Arampatzis et al. 2005, Ducham 2013). Σήμερα είναι απόλυτα εφικτές κατασκευαστικές διαστάσεις της τάξης του: 1 mm³ (κόμβοι) και του 0.001 mm (αισθητήρες), αντίστοιχα. Αν και αυτές οι διαστάσεις είναι εντυπωσιακές, πάντως θα ωχριούν ως προς αυτές του πολύ κοντινού μέλλοντος, που αναμένονται να είναι άνετα της τάξης των 1x10⁻⁶ mm!

- *Συνδυασμός / μίξη / συντονισμός αισθητήρων (sensor fusion²)*: Είναι "ο συνδυασμός/μίξη/συντονισμός δεδομένων που προέρχονται από αισθητήρες (όμοιους και/ή ανόμοιους μεταξύ τους), με τελικό αποτέλεσμα την επίτευξη πληροφοριών που, κατά κάποια άποψη, θα είναι **'συνολικά καλύτερες'** σε σύγκριση με αυτές που θα προέκυπταν από κάθε πηγή ξεχωριστά".

Ο όρος **καλύτερες** μπορεί π.χ. να σημαίνει: καλύτερη ακρίβεια, μεγαλύτερη πληρότητα (συμπληρωματικές πληροφορίες), "ευρωστία" του συστήματος (robustness) (Henderson et al. 1998, Duckham and Reitsma 2009).

Συναντώνται τρία (3) διαφορετικά επίπεδα fusion:

- i. *Συνδυασμός/μίξη πληροφοριών (Information fusion)*: Το ανώτατο επίπεδο, συχνά χρησιμοποιούμενο σε περιβάλλοντα τεχνητής νοημοσύνης όπου οι πληροφορίες δεν μπορούν πάντα να αναπαρίστανται με αριθμούς. Είναι πιθανή η συμμετοχή βάσεων δεδομένων και τεχνικών εξόρυξης δεδομένων (data mining).
- ii. *Συνδυασμός/μίξη αισθητήρων (Sensor fusion)*: Με πολύ απλά λόγια, ο συνδυασμός/μίξη αριθμητικών δεδομένων που προέρχονται από πολλές πηγές.
- iii. *Συνδυασμός/μίξη δεδομένων (Data fusion)*: Όπως και στην § (ii) αμέσως παραπάνω, γιατί πολύ συχνά δεν είναι δυνατή η διάκριση μεταξύ (ii) και (iii).

Από δε τη σκοπιά της επεξεργασίας των δεδομένων, αυτή διακρίνεται σε:

- a) *Άμεση (Direct fusion)*: Ο συνδυασμός/μίξη δεδομένων από: (a.1). Ένα σύνολο (ομογενών ή ετερογενών) αισθητήρων, (a.2). *Ιδεατούς αισθητήρες³ (virtual sensors ή soft sensors)*, (a.3). Υπάρχοντα ήδη (ιστορικά) δεδομένα αισθητήρων.
- b) *Έμμεση (Indirect fusion)*: Χρησιμοποιεί πηγές πληροφοριών όπως π.χ. η a priori γνώση σχετικά με το περιβάλλον και την ανθρώπινη συμμετοχή (human input).
- c) *Συνδυασμός των εξόδων (outputs) των παραπάνω παραγράφων, a) και b).*

- *Διαδίκτυο Αισθητήρων (Sensor Web)*: Είναι ένα "σύστημα αισθητήρων, αυτόνομων, ασυρμάτων, με μεταξύ τους επικοινωνία και τέλος, χωρικά κατανομημένων, που μπορούν να αναπτυχθούν/χρησιμοποιηθούν για να παρακολουθούν/καταγράφουν και να εξερευνούν νέα περιβάλλοντα" (Delin 2002). Η αρχή του Διαδικτύου Αισθητήρων διερευνάται και από τη σκοπιά της συνεργασίας/διαλειτουργίας δορυφορικών πλατφορμών και αισθητήρων αντίστοιχα, γεγονός που καλύπτεται και από τον όρο *'δορυφορικά διαδίκτυα (satellite webs)'* (Teillet 2010). Πρόκειται για 'συστήματα που

² Από γενική εγκυκλοπαιδική άποψη, fusion είναι ο συνδυασμός δύο ή περισσότερων διαφορετικών πραγμάτων.

³ Εναλλακτικές λύσεις όπου λογισμικό αντικαθιστά δαπανηρά ή μη πρακτικά φυσικά όργανα μετρήσεων.

αισθάνονται' των οποίων η λειτουργία βασίζεται ουσιαστικά στον Παγκόσμιο Ιστό⁴, όπου μια διαδικτυακή εφαρμογή (software) παίζει το ρόλο της πύλης (gateway) μεταξύ του εκάστοτε WSN και του διαδικτύου (βλ. και Σχ. 1).



Σχήμα 2: Διάφοροι τύποι/είδη MEMS και/ή MOEMS

Άλλοι ερευνητές ονομάζουν το Διαδίκτυο Αισθητήρων 'πλέγμα αισθητήρων (Sensor Grid)', άλλοι 'ηλεκτρονική επιδερμίδα της Γης (electronic skin of the Earth)' (π.χ. Botts et al. 2006, Craglia et al. 2008, Karim et al. 2009). Γενικά, ενώ τα WSN αποτελούνται από ποικίλους αισθητήρες οι οποίοι κατά κανόνα συλλέγουν δεδομένα, από την άλλη μεριά τα

⁴ World Wide Web - το δίκτυο των συνδεδεμένων υπολογιστών και δικτύων σε παγκόσμια κλίμακα, εμπεριέχοντας - εκτός από τα γήινα δίκτυα - και τα δίκτυα των τεχνητών δορυφόρων της Γης αλλά και άλλων διαστημικών συσκευών που είναι συνδεδεμένα σε αυτό.

Ιωάννης Δ. Δούκας

Περί αισθητήρων, γεωαισθητήρων και των ασυρμάτων δικτύων τους. Εφαρμογές στη Γεωδαισία - Γεωματική

5ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας. Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών. Αθήνα, 9-10 Μαΐου 2014

‘διαδίκτυα αισθητήρων (Sensor Webs)’ και συγκεντρώνουν αλλά και μοιράζουν τα συλλεχθέντα δεδομένα. Μάλιστα, τα διαδίκτυα αισθητήρων με βάση τα συγκεντρωμένα δεδομένα, μπορούν να μεταβάλουν και τη δική τους «συμπεριφορά» (Teillet 2010).

Στα δίκτυα WSN οι κόμβοι είναι **MEMS/MOEMS** (βλ. Σχ. 2). Πιο συγκεκριμένα:

- **MEMS (Micro-Electro-Mechanical-Systems):** Είναι μικροσκοπικές, χαμηλού κόστους συσκευές, μη-συνδεδεμένες στο Internet (untethered), τροφοδοτούμενες από μπαταρία. Έχουν περιορισμένες δυνατότητες επεξεργασίας/αποθήκευσης δεδομένων, περιορισμένη εμβέλεια επικοινωνίας αλλά έχουν και "ικανότητες αίσθησης (sensing)" (Xu 2002, Garcia et al. 2009, Nittel 2009). Τα ολοκληρωμένα κυκλώματα των MEMS, όχι μόνο **μπορούν να «αισθάνονται» τον πραγματικό κόσμο αλλά μπορούν και να «αντιδρούν» στα ερεθίσματά του.** Με την ολοκλήρωση αισθητήρων και ‘ενεργοποιητών (actuators⁵)’, είναι εφικτή η μέτρηση φυσικών παραμέτρων αλλά και η ενεργοποίηση (actuating) (Arampatzis et al. 2005). Μολονότι οι MEMS έχουν τις ρίζες τους στη στρατιωτική έρευνα, ήταν ευνόητο να επεκταθούν ραγδαία και σε εφαρμογές της καθημερινότητας του αστικού χώρου (λόγω της συνεχιζόμενης μείωσης, στο κόστος και στις διαστάσεις τους) (Zu 2002, Khemarech et al. 2005). Έτσι σήμερα οι MEMS συνδυάζουν ως τελικό προσφερόμενο προϊόν, τις πολύ μικρές συσκευές και αντίστοιχα ένα τεράστιο πεδίο εφαρμογών και λύσεων. Για παράδειγμα: αισθητήρες, ενεργοποιητές, ρομποτική, επιταχυνσιόμετρα, μικρο-βαλβίδες, ελεγκτές ροής, GPS εντός των κινητών "έξυπνων" τηλεφώνων, κίνηση οχημάτων (διάστημα, αέρα, ξηρά, θάλασσα), ηλεκτρονική (βιομηχανία, βιοτεχνολογία, καταναλωτικά προϊόντα) κ.λπ.
- **MOEMS (Micro-Opto-Electro-Mechanical-Systems):** Συσκευές MEMS που συνδυάζονται με στοιχεία μικρο-οπτικής. Παρέχουν έτσι την επιπλέον δυνατότητα αίσθησης/χειρισμού οπτικών σημάτων⁶.

Αισθητήρες. Κατηγορίες τους (Exner et al. 2011):

- ✓ *Αισθητήρες για μέτρηση/έλεγχο μεταβλητών κατάστασης και ιδιοτήτων υλικών (π.χ. θερμοκρασία, πυκνότητα, ιξώδες, περιεκτικότητα σε σκόνη, υγρασία, καπνό, αέρια, τιμή pH κ.λπ.)*
- ✓ *Αισθητήρες για μέτρηση/έλεγχο μηχανικών και γεωμετρικών παραμέτρων (π.χ. μήκος, θέση, γωνία, ταχύτητα, επιτάχυνση, πίεση, κραδασμοί, ήχος κ.λπ.)*
- ✓ *Αισθητήρες οπτικοί και ηλεκτρομαγνητικοί (π.χ. μαγνητικό πεδίο, ηλεκτρικό ρεύμα, ιονίζουσα ακτινοβολία, ορατό φως, υπέρυθη ακτινοβολία, φωτογράφιση εικόνων με CCD, αισθητήρες χρώματος, οπτική αναγώριση χαρακτήρων/γραμμωτού κώδικα, δυνατότητες επεξεργασίας εικόνας κ.λπ.).*

3. Γεωαισθητήρες και δίκτυα γεωαισθητήρων

Γεωαισθητήρας (Geosensor): Είναι κάθε συσκευή που δέχεται και μετρά ερεθίσματα του

⁵ Οι MEMS συχνά περιλαμβάνουν κινητά μέρη, οπότε γίνονται actuators (ενεργοποιητές), δηλ. τύποι μικρομηχανών για την κίνηση και/ή έλεγχο ενός μηχανισμού ή ενός συστήματος και, είναι ευνόητο πως για να κινηθούν απαιτείται ενέργεια.

⁶ Για χάρη ευκολίας, από εδώ και πέρα ο όρος MEMS θα συμπεριλαμβάνει και τα MOEMS

περιβάλλοντος και, επιπλέον, μπορεί να είναι γεωαναφερμένη (geo-referenced) (Craglia et al. 2008). Χαρακτηριστικά παραδείγματα γεωαισθητήρων: δέκτες GPS, γεωδαιτικοί σταθμοί, ψηφιακές κάμερες, laser scanners, αισθητήρες επί δορυφόρων, αερομεταφερόμενοι αισθητήρες, LiDAR κ.λπ.). Η τεχνολογική έκρηξη στο χώρο των MEMS ώθησε φυσικά και στην αναβάθμιση/εξάπλωση των γεωαισθητήρων.

- *Δίκτυο γεωαισθητήρων (GeoSensor Networks - GSN):* Πρόκειται για υποσύνολο των WSN και «ασχολούνται» με το γεωγραφικό χώρο. Αυτό σημαίνει ανίχνευση, εντοπισμό, παρακολούθηση/καταγραφή φαινομένων και διεργασιών στο χώρο, με ιδιαίτερα αξιοσημείωτο το εύρος κλίμακας χώρων που μπορούν να καλυφθούν (π.χ. από τον περιορισμένο χώρο ενός δωματίου μέχρι μια ευρύτατη περιοχή ενός π.χ. οικοσυστήματος - βλ. και σχ. 3) (Reis 2005, Stefanidis 2006, Nittel et al. 2006, Nittel 2009). Η ταχύτατη και έντονη εξάπλωση των γεωαισθητήρων ήδη έχει προκαλέσει την εμφάνιση μιας νέας επιστήμης, που καλείται **“Geosensorics”**. Απλουστεύοντας, ο κανόνας είναι (Sester 2009): *Όταν οι υποδομές είναι ανέφικτες ή υπερβολικά δαπανηρές ή δεν απαιτούν προσθήκες/τροποποιήσεις, τότε η πιο κατάλληλη λύση βασίζεται σε WSN/GSN.*

Ένα GSN χρειάζεται τουλάχιστον ένας κόμβος του να δίνει τη «θέση» (π.χ. ένας δέκτης GPS). Αυτό συνεπαγωγικά σημαίνει πως, για τους υπόλοιπους κόμβους του GSN μπορεί να προκύψει τουλάχιστον η σχετική τους γεωγραφική θέση. *Οι κόμβοι ενός GSN μπορούν να: είναι στάσιμοι ή κινούμενοι, τοποθετούνται σε κινούμενα αντικείμενα, χρησιμοποιούνται από ανθρώπους (π.χ. κινητά ‘έξυπνα’ τηλέφωνα, αισθητήρες που φοριούνται από ανθρώπους, φωτογραφικές μηχανές κ.λπ.) (Arampatzis et al. 2005). Ο εντοπισμός και η ανάλυση φαινομένων σε ένα GSN μπορούν να πραγματοποιηθούν, είτε σε πραγματικό χρόνο (από τους κόμβους) είτε όταν το GSN είναι εκτός λειτουργίας. Τότε, αυτές οι δραστηριότητες μπορούν να συμβούν π.χ. σε διάφορους καταναμημένους σταθμούς βάσης, είτε στην περιοχή που είναι το GSN είτε σε άλλη απομακρυσμένη περιοχή, στη έδρα του φορέα που χρησιμοποιεί το GSN (Nittel et al. 2006).*

Ένας εξαιρετικός μεταφορικός ορισμός των GSN (Nittel 2009) είναι: *«Αν ένα όργανο τηλεπισκόπησης θεωρείται σαν ‘τηλεσκόπιο’ και μια παραδοσιακή πλατφόρμα αισθητήρων σαν ‘ανθρώπινο μάτι’, τότε ένα GSN θα είναι το ‘μικροσκόπιο του περιβάλλοντος’».*

Γεωαισθητήρες. Δύο είναι οι συνηθέστερες γενικευμένες κατηγοριοποιήσεις τους:

- 1.a. Βασιζόμενοι σε δορυφόρους (για πολυφασματικές πληροφορίες σχετικά με την επιφάνεια της Γης).
- 1.b. Αερομεταφερόμενοι προορισμένοι για εικόνες και LiDAR φυσικών και τεχνητών κατασκευών.
- 1.c. Αισθητήρες που, σε σχέση με τη γήινη επιφάνεια, βρίσκονται κοντά της, επάνω της ή κάτω της, μετρώντας ...ο,τιδήποτε (Craglia et al. 2008).

Η δεύτερη γενικευμένη κατηγοριοποίηση έχει ως εξής:

- 2.a. Κοντινοί (ambient)
- 2.b. Μακρινοί (remote)
- 2.c. Φορετοί (wearable).

Το πιο σημαντικό κοινό στοιχείο όλων των ειδών των WSN/GSN έγκειται στο γεγονός πως «ενσωματώνονται» στον πραγματικό κόσμο. Οι αισθητήρες «αισθάνονται» και

Ιωάννης Δ. Δούκας

Περί αισθητήρων, γεωαισθητήρων και των ασυρμάτων δικτύων τους. Εφαρμογές στη Γεωδαισία - Γεωματική

ανιχνεύουν/εντοπίζουν την πραγματικότητα του κόσμου, οι δε ενεργοποιητές μπορούν να επιδράσουν επάνω στον πραγματικό κόσμο (π.χ. ανοίγοντας/κλείνοντας διακόπτες, παράγοντας ήχους, ασκώντας δυνάμεις κ.λπ.). Η τόσο στενή τους σχέση με το φυσικό κόσμο, εύλογα προκαλεί έντονη αντιπαράθεση με τη "μέχρι χθες" άποψη περί του τί είναι «φυσιολογικοί υπολογισμοί/υπολογιστές» (Elson and Estrin 2004).

4. Γενικές εφαρμογές δικτύων γεωαισθητήρων - Γεωδαισία, Γεωματική

Οι πολιτικές εφαρμογές των WSN/GSN εμφανίστηκαν (προφανώς) μετά από τις στρατιωτικές, καρποφορώντας μέσα στον ιδιαίτερα εύφορο χώρο της πληροφορικής και της τεχνολογίας λόγω της δραματικής μείωσης, κόστους και διαστάσεων των MEMS.

Μια κατά το δυνατό αντιπροσωπευτικότερη κατηγοροποίηση εφαρμογών, καταλήγει σε τρεις μεγάλες κατηγορίες (Reis 2005), σε εφαρμογές:

- [1]. Παρακολούθησης (*monitoring*)/Τηλεπισκόπησης
- [2]. Ιχνηλάτησης (*Tracking*)
- [3]. Ανάδρομες (*Retrospective*) (δηλ. ανάλυση ήδη αποθηκευμένων δεδομένων).

Βέβαια, το όλο θέμα δεν είναι τόσο απλό καθώς υπάρχουν εφαρμογές σε αλληλοκάλυψη κατηγοριών. Επίσης, καθεμιά από αυτές τις τρεις (3) κατηγορίες μπορεί να έχει ως υποκατηγορίες εφαρμογών: (α). *Επίγειες* (β). *Υπόγειες* (γ). *Υποθαλάσσιες* (δ). *Φορητές* (ε). *Πολυμέσων* (*Multimedia, WMSN*), με βάση τους προαναφερθέντες (βλ. § 1) πέντε (5) τύπους δικτύων.

Στο Σχήμα 3, δίνεται προσεγγιστικά ο 'χώρος' εφαρμογών των WSN/GSN, ως προς την κλίμακα του χώρου και την πυκνότητα των δικτυακών κόμβων (κατά Yoneki et al. 2005).

Παρακάτω, δίνεται με αλφαβητική σειρά ένα ευρύ αντιπροσωπευτικό δείγμα ποικίλων εφαρμογών. Άλλωστε, εύκολα διαπιστώνεται πως πολλά από τα πεδία εφαρμογών που ακολουθούν αποτελούν (ή πρόκειται να αποτελέσουν...) από μόνα τους σαφή πεδία εφαρμογών των WSN/GSN. Η επιλεγμένη βιβλιογραφία είναι αντιπροσωπευτική (Karl and Willig 2003, Arampatzis et al. 2005, Heidemann et al. 2005, Yoneki and Bacon 2005, Reis 2005, Eugster and Nebiker 2008, Ogawa and Sato 2008, Garcia et al. 2009, Nittel et al. 2006, Yick et al. 2008, Sester 2009, Doukas and Retscher 2011a, 2011b):

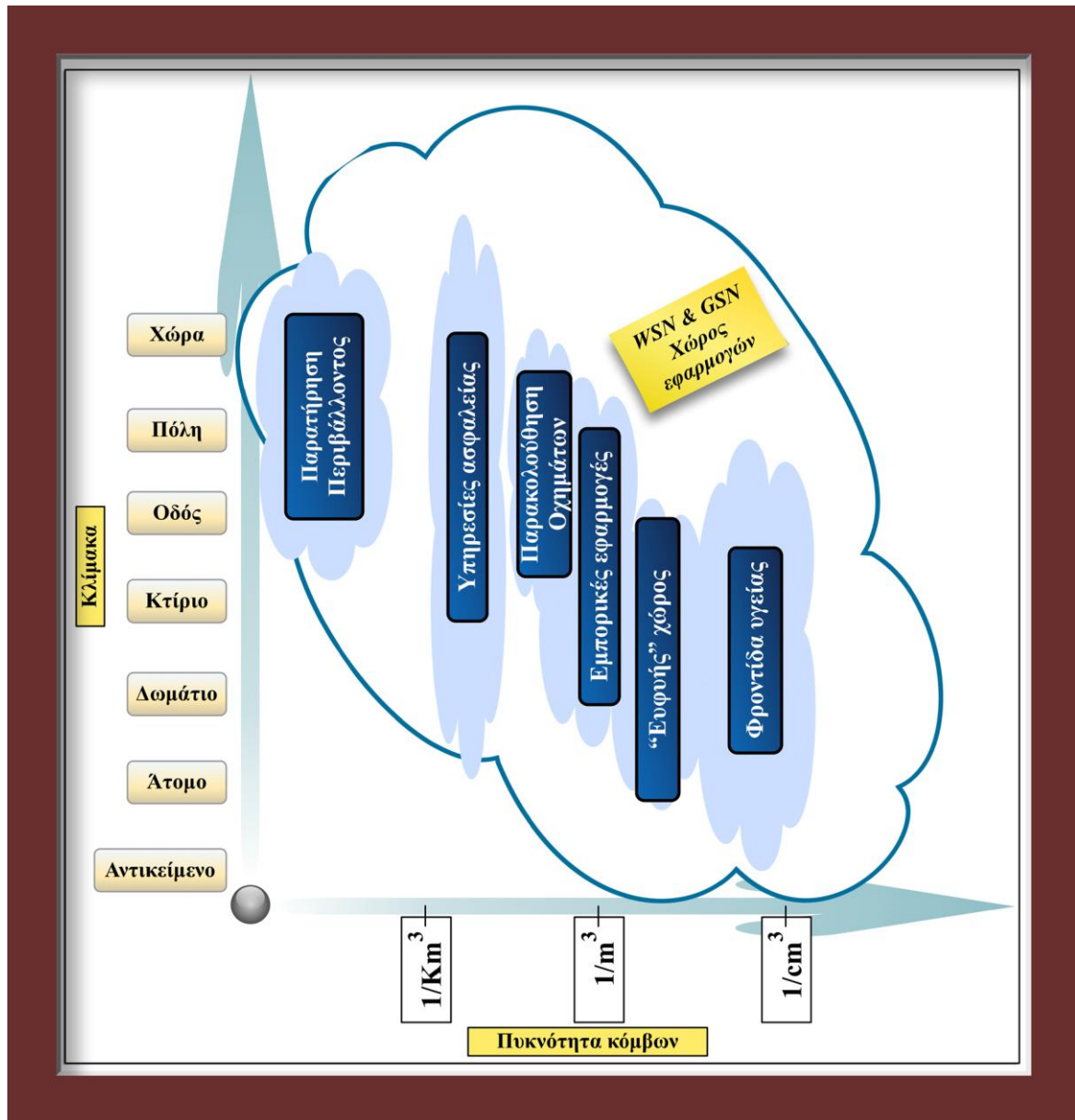
- ο Αλιεία.
- ο Ασφάλεια (εντοπισμός εισβολέων, παρακολούθηση περιοχών, διαφύλαξη πολύτιμων / επικίνδυνων υλικών, διαχείριση υπηρεσιών ασφαλείας κ.λπ.).
- ο Βελτίωση ανταγωνιστικότητας και ποιότητας ζωής.
- ο Βιομηχανία (π.χ. ενέργεια, διαχείριση αποθεμάτων, βιομηχανικοί αυτοματισμοί, αυτοματισμοί στην παραγωγή κ.λπ.).
- ο Γεωδαισία, Γεωματική, Τοπογραφία υψηλής ανάλυσης, Γεωπληροφορική (ολοκλήρωση/συνδυασμός με GIS, GNSS, Sensor-Web κ.λπ.).
- ο Γεωργία - γεωργία ακριβείας - άρδευση ακριβείας (γεωργικά μηχανήματα, εξοπλισμός, αμπελουργία, θερμοκήπια κ.λπ.).
- ο Διαχείριση τοπίου.
- ο **Δομοτική** (**Domotics - DOMus infOrmaTICS**) - Τεχνολογίες πληροφορικής και η

Ιωάννης Δ. Δούκας

Περί αισθητήρων, γεωαισθητήρων και των ασυρμάτων δικτύων τους. Εφαρμογές στη Γεωδαισία - Γεωματική

"έξυπνη" ανθρώπινη κατοικία.

- ο Δορυφόροι, μή επανδρωμένα οχήματα/συστήματα⁷ π.χ. UAV (drones), UGV, USV, AUV, UUV.



Σχήμα 3: Πεδία εφαρμογών των WSN/GSN ανάλογα με: την κλίμακα του χώρου (άξονας y) και την πυκνότητα των WSN/GSN κόμβων (άξονας x)

- ο Έδαφος, νερό, ορυκτά (άντληση, εκσκαφές, εξερευνήσεις, ορυχεία κ.λπ.).
- ο "Έξυπνοι χώροι" (οικία, αίθουσα διδασκαλίας, μουσείο, κτίριο, εθνική οδός κ.λπ.).
- ο Επίγνωση του περιβάλλοντος (context awareness), ανθρωποκεντρικές εφαρμογές

⁷ Η νέα μεγάλη επανάσταση στη Γεωδαισία/Γεωματική, που ...αποθεώνει τους γεωαισθητήρες (Doukas 2013).

πληροφορικής και αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστών.

- Εφοδιαστική αλυσίδα (Logistics).
- Θάλασσα (υπερθαλάσσιες / υποθαλάσσιες εφαρμογές, επιτήρηση ακτών, εξερευνήσεις, εντοπισμός διαρροών κ.λπ.).
- Κατασκευές - Δομικά έργα (κτίρια, πύργοι, γέφυρες, φράγματα, εγκαταστάσεις, λιμάνια, σήραγγες, αεροδρόμια, άλλες τεχνητές κατασκευές κ.λπ.) - Παρακολούθηση Δομικής Υγείας (*Structural Health Monitoring - SHM*).
- Κυκλοφορία οχημάτων - Μεταφορές.
- Οικοσυστήματα, γλωρίδα, πανίδα.
- Παρακολούθηση, έλεγχος και συντήρηση εξοπλισμού, μηχανών, ρομποτικών συστημάτων.
- Περιβάλλον εσωτερικό - Περιβάλλον εξωτερικό (Indoor/Outdoor) - Οικολογία, Παρακολούθηση και διαχείριση φυσικών και ανθρωπογενών καταστροφών, Δημιουργία και Υποστήριξη συστημάτων: πρόβλεψη, διαχείρισης, διαχείρισης κινδύνων, λήψης αποφάσεων κ.λπ.
- Περιβάλλουσα/διάχυτη (πανταχού παρούσα), χωρική νοημοσύνη, (ambient intelligence, ambient (spatial) intelligence), διάχυτη - πανταχού παρούσα πληροφορική (pervasive / ubiquitous computing) - βλ. και § 5.
- Πολιτιστική κληρονομιά.
- Πρόληψη εγκλήματος, Εγκληματολογία (Forensics).
- Ρομποτική.
- Στρατιωτικές εφαρμογές (π.χ. παρακολούθηση συνόρων, αντικατασκοπεία, παρακολούθηση, πεδίο μάχης, παρακολούθηση - κατάταξη στόχων σε ξηρά, αέρα, θάλασσα κ.λπ.).
- Υγεία - Ανθρώπινο σώμα - Βιοϊατρική.

Η μεγάλη άνθιση και εξάπλωση των WSN/GSN είχε καταλυτική επίδραση, και στην ίδια τη φύση των δεδομένων που συλλέγονται αλλά και στον ευρύτερο χώρο του μελλοντικού σχεδιασμού εφαρμογών (Stefanidis 2006, Yick et al. 2008). Έτσι, παρατηρούνται:

1. Αντικατάσταση των ομογενών δεδομένων (π.χ. του ενιαίου format εικόνων, GIS κ.λπ.) από ετερογενή (πληθώρα διαφορετικών αισθητήρων σε ένα δίκτυο).
2. Μετάβαση από ενιαίας ακρίβειας δεδομένα σε δεδομένα που ποικίλουν σε περιεχομένο, ανάλυση, ακρίβεια.
3. Οι αποκτώμενες πληροφορίες αποκτούν συνεχώς και περισσότερο χωροχρονικό χαρακτήρα, σε αντίθεση με τις μέχρι τώρα «κλασσικές» χωρικές πληροφορίες.
4. Πλήρης αναθεώρηση του καθεστώτος των γεωχωρικών / χωροχρονικών δεδομένων και πληροφοριών σε σχέση με διάφορα διεπιστημονικά (και μή) θέματα, όπως π.χ.: αποθήκευση (μέθοδοι, μέσα κ.λπ.), επικοινωνίες, μοντελοποίηση, νέες προδιαγραφές και πρότυπα, πρωτόκολλα επικοινωνιών, αλγόριθμοι, υπηρεσίες κ.λπ.

5. Σύγχρονες εξελίξεις ως προς τα δίκτυα γεωαισθητήρων

Εκτός από τον όρο "*Geosensorics*", και άλλοι νέοι όροι-κλειδιά ήδη άρχισαν να παρεισφρύνουν και να επιβάλλονται στους χώρους της Γεωδαισίας – Γεωματικής –

Ιωάννης Δ. Δούκας

Περί αισθητήρων, γεωαισθητήρων και των ασυρμάτων δικτύων τους. Εφαρμογές στη Γεωδαισία - Γεωματική

Γεωπληροφορικής, οι εξής:

- *Υπολογιστική χώρου (Spatial computing)*: Αρχικά, σήμαινε “υπολογισμοί με πληροφορίες περί του χώρου” (Caelli et al. 1997, Kinn 1993). Στις μέρες μας, η ΣΥΓΧΡΟΝΗ Υπολογιστική χώρου/γεωπληροφορική, έχει αρχίσει ουσιαστικά πλέον να σημαίνει: “υπολογισμοί ...κάπου” (δηλ. “υπολογισμοί με πληροφορίες, **ΚΑΙ ΜΕΣΑ** στο χώρο, **αλλά ΚΑΙ ΠΕΡΙ** του χώρου”) (Bacharah and Beal 2007, Beal and Schantz 2010).

Πιο συγκεκριμένα:

Το να συμβαίνουν υπολογισμοί μέσα στο γεωγραφικό χώρο αλλά *συγχρόνως* και για το γεωγραφικό χώρο, ευνόητα είναι ένα γεγονός ...εξαιρετικά προκλητικό για τα παραδοσιακά μοντέλα της υπολογιστικής του χώρου/γεωπληροφορικής. Οι συμβατικές προσεγγίσεις, ως τώρα θεμελιώνονται πάνω στην παραδοχή πως οι χωρικές πληροφορίες αποθηκεύονται, ταξινομούνται και επεξεργάζονται μέσα σε μεγάλες «αποθήκες δεδομένων» (π.χ. GIS, γεωβάσεις δεδομένων). Η θέση μιας τέτοιας αποθήκης δεν έχει καμιά σχέση με τις πληροφορίες που εμπεριέχονται στην αποθήκη αυτή, ούτε με τις επεξεργασίες δεδομένων που συμβαίνουν μέσα στην αποθήκη αυτή. Ακόμη και σε περιπτώσεις που η αποθήκη δεδομένων συντίθεται από πολλαπλές συνιστώσες, οι οποίες με τη σειρά τους συνδέονται με ένα ευρύτερο δίκτυο επικοινωνιών⁸, οι διάφορες διαδικασίες επεξεργασίας χωρικών πληροφοριών θεωρούν ως φυσικό δεδομένο το ό,τι οι διανεμημένες αποθήκες δεδομένων είναι διακριτές λογικές μονάδες, οι οποίες δεν ‘ενδιαφέρονται’ για τη θέση στο χώρο των συνιστωσών τους. Όταν οι πληροφορίες περί του γεωγραφικού χώρου διανέμονται δια μέσου του γεωγραφικού χώρου, η δόμηση και η συντήρηση κεντρικών αποθηκευτικών χώρων για αυτές σύντομα γίνονται μη διαχειρίσιμες (ή ...ανεπιθύμητες). Με τη νέα φιλοσοφία του “υπολογισμοί ...κάπου” λύνεται το πρόβλημα, καθώς βασίζεται σε άλλη αρχή κατά την οποία οι πληροφορίες σχετίζονται πλέον με τη θέση τους στο χώρο. Επίσης, σε περίπτωση που υπάρχουν δυσχέρειες στη διακίνηση πληροφορίας, δημιουργούνται “γειτονιές γεωχωρικών πληροφοριών (*geospatial information neighborhoods*)”. Έτσι, καθίσταται ευχερέστερη η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ «αποθηκών δεδομένων» οι οποίες βρίσκονται χωρικά σε μικρότερη απόσταση μεταξύ τους. Εξαιρετικά αντιπροσωπευτικό παράδειγμα της φιλοσοφίας “υπολογισμοί ...κάπου” είναι τα δίκτυα GSN, καθώς οι κόμβοι τους δημιουργούν/παρέχουν πληροφορίες για το άμεσο γεωγραφικό τους περιβάλλον.

- *Διάχυτη/(πανταχού παρούσα) υπολογιστική (Pervasive/Ubiquitous computing)*: Κατά αυτή την αρχή, σε κάθε (...σχεδόν) συσκευή μπορούν να ενσωματωθούν κατάλληλα κυκλώματα, προκειμένου να συνδεθεί η εν λόγω συσκευή με ένα δίκτυο άπειρου πλήθους άλλων συσκευών. Εφόσον ο στόχος αυτός επιτευχθεί, τότε είναι εφικτός ο συνδυασμός συνεργασιών π.χ. με τεχνολογίες: δικτύων, ασύρματης υπολογιστικής, αναγνώρισης φωνής, δυνατοτήτων Web και τεχνητής νοημοσύνης. Με απλά λόγια, ο απώτερος στόχος αυτής της αρχής είναι η δημιουργία περιβάλλοντος όπου θα υπάρχει μόνιμη συνδεσιμότητα (η οποία θα καταλήξει να είναι δυσδιάκριτη ή και ...αφανής).

- *Περιβάλλουσα νοημοσύνη (Ambient Intelligence - AmI)*: Σημαίνει την ευαισθησία και ανταπόκριση στα “ηλεκτρονικά περιβάλλοντα (*electronic environments*)” των ανθρώπων (Zelkha et al. 1998, Aarts et al. 2001, Duckham and Bennett 2009). Ο κόσμος (χώρος) που χαρακτηρίζεται από περιβάλλουσα νοημοσύνη είναι αυτός που βασίζεται στη

⁸ Όπως η περίπτωση ενός διανεμημένου (distributed) GIS, λ.χ.: Web-GIS, mobile GIS, εταιρικό GIS

συνεργασία συσκευών που εξυπηρετούν τους ανθρώπους. Καθώς, αφενός οι διαστάσεις αυτών των συσκευών συνεχώς ελαττώνονται, αφετέρου οι εν λόγω συσκευές διαχέονται και "ολοκληρώνονται" με το περιβάλλον, το αποτέλεσμα είναι η *'βαθμιαία εξαφάνιση της τεχνολογίας'* μέσα στο ανθρώπινο περιβάλλον, μέχρι που (σε τελικό στάδιο) το μόνο που θα παραμένει αντιληπτό από τους χρήστες θα είναι η *'διεπαφή χρήστη (user interface)'*.

- *Περιβάλλουσα/χωρική νοημοσύνη (Ambient Spatial Intelligence - AmSI)*: Το όραμα της AmSi είναι ο συνδυασμός της διάχυτης/πανταχού παρούσας υπολογιστικής με την περιβάλλουσα νοημοσύνη (AmI) (Duckham and Bennett 2009, Duckham 2013). Ως AmSI ορίζεται η ενσωμάτωση στο δομημένο και φυσικό περιβάλλον της κατάλληλης εκείνης νοημοσύνης, προκειμένου το περιβάλλον να ανταποκρίνεται σε χωροχρονικά ερωτήματα, συνάμα δε να παρακολουθεί γεγονότα που συμβαίνουν εντός του χώρου. Στόχος της AmSI είναι να εφαρμόσει τεχνολογίες ώστε να είναι εφικτοί οι "υπολογισμοί ...κάπου". Τα δίκτυα GSN, με τις χωρικές πληροφορίες και υπολογιστικές υπηρεσίες που προσφέρουν, αποτελούν θεμελιώδη τεχνολογία σε αυτή την υπόθεση (βλ. και § 4).

6. Αντί επιλόγου

Στην παρούσα εργασία έγινε μια συνοπτική επισκόπηση του χώρου και των βασικών συνιστωσών των αισθητήρων/γεωαισθητήρων (καθώς και των ασύρματων δικτύων τους). Πρόκειται για μια επαναστατική νέα τεχνολογία που επηρεάζει δυναμικά πολλές επιστήμες, μεταξύ των οποίων και τη Γεωδαισία/Γεωματική. Ποτέ άλλοτε η παρατήρηση του φυσικού κόσμου δεν παρατηρήθηκε με τόσο πρωτοποριακό τρόπο. Εξετάστηκαν οι εξελίξεις, οι ήδη υπάρχουσες κατηγορίες εφαρμογών καθώς και οι εντελώς νέες 'οραματικές' τάσεις που αρχίζουν όμως βαθμιαία να λαμβάνουν σάρκα και οστά μέσα από το συνδυασμό/συντονισμό αισθητήρων, τη διάχυτη/(πανταχού παρούσα) υπολογιστική δυνατότητα και τέλος, την περιβάλλουσα/χωρική νοημοσύνη.

Προς το παρόν, μολονότι τα WSN/GSN προσφέρουν μοναδικές πηγές πληροφοριών, από την άλλη μεριά διαπιστώνεται πως πιο πολύ συμπληρώνουν παρά αντικαθιστούν τις υπάρχουσες τεχνολογίες συλλογής χωρικών δεδομένων. Όμως, το σκηνικό αλλάζει ταχύτατα. Οι "στατικές" λύσεις της γεωπληροφορικής (π.χ. ψηφιακά μοντέλα εδάφους, σταθερές εικόνες, επίπεδα-layers των GIS) άρχισαν και δείχνουν τις εγγενείς αδυναμίες και την ανεπάρκειά τους σε ό,τι αφορά τη σύλληψη και επικοινωνία της δυναμικής φύσης των πληροφοριών που συλλέγονται από τους γεωαισθητήρες και τα δίκτυά τους. Η πλήρως τρισδιάστατη εικονική πραγματικότητα βρίσκεται πλέον προ των πυλών, και θα προκύπτει από τις πολύπλοκες πληροφορίες που συλλέγονται από τα δίκτυα αυτά.

Συνοψίζοντας, σήμερα η κατάσταση συγκεντρώνεται στα εξής τρία κομβικά σημεία:

- (α). Τα δίκτυα WSN/GSN δημιουργούν ισχυρά κίνητρα προς τη νέα φιλοσοφία του *"υπολογισμοί ...κάπου"*, δηλ. *"υπολογισμοί με πληροφορίες, εντός του χώρου αλλά και σχετικά με το χώρο"*
- (β). Βασικό εργαλείο υλοποίησης αυτής της φιλοσοφίας αποτελεί η αποκεντρωμένη χωρική υπολογιστική (decentralized spatial computing)
- (γ). Η περιβάλλουσα/χωρική νοημοσύνη είναι τελικά η εφαρμογή της φιλοσοφίας *"υπολογισμοί ...κάπου"*, σε προβλήματα του πραγματικού κόσμου.

Ιωάννης Δ. Δούκας

Περί αισθητήρων, γεωαισθητήρων και των ασύρματων δικτύων τους. Εφαρμογές στη Γεωδαισία - Γεωματική

7. Βιβλιογραφία

Aarts, E., Harwig, R. and Schuurmans, M., 'Chapter: Ambient Intelligence' in "The Invisible Future: The Seamless Integration Of Technology Into Everyday Life", 2001, McGraw-Hill.

Aboelaze, M. and Aloul, F, "Current and Future Trends in Sensor Networks: A Survey", 2nd IFIP Int. Conf. on Wireless & Optical Communications Networks, 2005, pp. 551-555.

Akyildiz, I.F., Melodia, T. and R. Chowdhury, K.R., "Wireless Multimedia Sensor Networks: Applications and Testbeds", Proc. of the IEEE, 2008, Vol. 96, No. 10.

Arampatzis, T., Lygeros, J. and Manesis, S., "A Survey of Applications of Wireless Sensors and Wireless Sensor Networks", 13th Mediterranean Conf. on Control and Automation, Limassol, Cyprus, June 27-29, 2005, pp.719-724.

Bacharach, J., and Beal, J., "Building Spatial Computers", Tech. Rep. 2007-017, MIT CSAIL, March 2007.

Beal, J., and Schantz, R., "A Spatial Computing Approach to Distributed Algorithms", 45th Asilomar Conf. on Signals, Systems, and Computers, 2010.

Botts, M., Percivall, G., Reed, C. and Davidson, J. (Eds.), "OGC® Sensor Web Enablement: Overview and High Level Architecture", OGC White Paper, Reference number: OGC 06-050r2, 2006, pp. 1-14.

Caelli, T., Lam, P., and Bunke, H., (Eds.), "Spatial Computing: Issues in Vision, Multimedia and Visualization Technologies", vol. 24 of Series in Machine Perception and Artificial Intelligence. World Scientific, 1997, Singapore.

Craglia, M., Goodchild M.F., Annoni, A., Camara, G., Gould, G., Kuhn, W., Mark, D., Masser, I., Maguire, D., Liang, S. and Parsons, E., "Next-Generation Digital Earth", Int. Journal of Spatial Data Infrastructures Research, 3, 2008, pp. 146-167.

Delin, K. A., "The Sensor Web: A Macro-instrument for Coordinated Sensing, Sensors", vol. 2, 2002, pp. 270-285.

Doukas, I.D. and Retscher, G., "The Contribution of Contemporary Sensors to the Management of Natural and Manmade Disasters – The Present and the Future", Joint Int. Symposium on Deformation Monitoring (JISDM), Hong Kong, China, 2-4 Nov., 2011a.

Doukas, I.D. and Retscher, G., "Whereto with Earthquake Risk Management: The Resultant of Sensor-Web and Web-GIS Could Show the Way", 2nd Int. Conf. on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), Guimarães, Portugal, Sept. 21-23, 2011b.

Doukas, I.D., "On the Disasters and Hazards (Natural and Anthropogenic). A Synoptic Overview of their Categories and of the (Existing or Prospect) Services Provided by Geodesy", IAG 150 Years-IAG Scientific Assembly 2013, 150th Anniversary of the IAG, Potsdam, Germany, Sept. 01-06, 2013.

Duckham, M., "Decentralized Spatial Computing. Foundations of Geosensor Networks", 2013, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Ιωάννης Δ. Δούκας

Περί αισθητήρων, γεωαισθητήρων και των ασυρμάτων δικτύων τους. Εφαρμογές στη Γεωδαισία - Γεωματική

Duckham, M., and Bennett, R., "Ambient Spatial Intelligence", In: Gottfried, B. and Aghajan, H. (Eds.), Behavior Monitoring and Interpretation, pp. 319-335, 2009, IOS Press.

Duckham, M., and Reitsma, F., "Decentralized Environmental Simulation and Feedback in Robust Geosensor Networks", Computers, Environment, and Urban Systems 33, 2009, pp. 256–268.

Elson, J. and Estrin, D., "Chapter 1: Wireless Sensor Networks - A Bridge to the Physical World", Wireless Sensor Networks, 2004, Kluwer Academic Publishers.

Eugster, H. and Nebiker, S., "UAV-Based Augmented Monitoring - Real-Time Georeferencing and Integration of Video Imagery with Virtual Globes", Drone, Volume: XXXVII, Issue: Part B1, 2008, pp.1229-1236, Citeseer.

Exner, J.P., Peter Zeile, P. and Bernd Streich, B., "Urban Monitoring Laboratory: New Benefits and Potential for Urban Planning through the Use of Urban Sensing", Geo- and Mobile-Web. Proc. REAL CORP 2011, 18-20 May, 2011, pp. 1087-1096.

Garcia, L.R., Lunadei, L., Barreiro, P. and Robla, J.R., "A Review of Wireless Sensor Technologies and Applications in Agriculture and Food Industry: State of the Art and Current Trends", Sensors, 9, 2009, pp. 4728-4750.

Heidemann, J., Li, Y., Syed, A., Wills, J. and Ye., W., "Underwater Sensor Networking: Research Challenges and Potential Applications", Technical Report ISI-TR-2005-603, USC/Information Sciences Institute, 2005, pp. 1-12.

Henderson, T.C., Dekhil, M., Kessler, R.R. and Griss, M.L., "Sensor Fusion", Control Problems in Robotics and Automation, Lecture Notes in Control and Information Sciences, Vol. 230, pp. 193-207, 1998, Springer.

Karim, L., Nasser, N. and Khan, N., "Recent Advancement in Sensor Web Architectures and Applications", Kuwait 1st e-Conf. and Exhibition'09, Nov. 17-19, 2009, Kuwait.

Karl, H. and Willig, A., "A Short Survey of Wireless Sensor Networks", TKN Technical Report TKN-03-018, Technical University Berlin, Telecommunication Networks Group, 2003, 19 pgs.

Khemapech, I., Duncan, I., and Miller, A., "A Survey of Wireless Sensor Networks Technology", In Merabti, M., and Pereira, R. (Eds), 6th Annual PostGraduate Symp. Convergence of Telecommunications, Networking and Broadcasting, 2005, Liverpool, UK.

Kinn, G. J., "GIS Operators Requiring Spatial Context and their Implications for Remote Sensing", Proc. Int. Society for Optical Engineering (SPIE) (1993), v. 1819, pp. 126–132.

Molla, M.M. and Ahamed, S.I., "A Survey of Middleware for Sensor Network and Challenges", Int. Conf. on Parallel Processing Workshops (ICPPW'06), Columbus, OH, USA, 2006, pp. 223-228.

Nittel, S., "A Survey of Geosensor Networks: Advances in Dynamic Environmental Monitoring", Sensors, 9, 2009, pp. 5664-5678.

Nittel, S., Labrinidis, A. and Stefanidis, A. (Eds.), "GeoSensor Networks". 2nd Int. Conf. (Revised Selected and Invited Papers), GSN 2006, Boston, MA, USA, October 1-3, 2006, Springer-Verlag.

Ιωάννης Δ. Δούκας

Περί αισθητήρων, γεωαισθητήρων και των ασυρμάτων δικτύων τους. Εφαρμογές στη Γεωδαισία - Γεωματική

5ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας. Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών. Αθήνα, 9-10 Μαΐου 2014

Ogawa, S. and Sato, T., "Monitoring of Concrete Structures Using Passive Type RFID Tags with Sensory Functions", Int. Conf. on Electrical Engineering, No. O-098, 2008, Okinawa, Japan.

Quintero, L.F.H., Perez, F.M., Morillo, H.R. and Gonzalez, C.L., "Wireless Smart Sensors Networks, Systems, Trends and its Impact in Environmental Monitoring", LATINCOM '09, IEEE Latin-American Conf. on Communications, Medellin, 10-11 Sept., 2009, Piscataway, N.J., IEEE.

Reis, I.A., "Alternatives for Geosensors Networks Data Analysis", V Simposio Brasileiro de Geoinformatica, Campos do Jord. o, Brasil, INPE, 20-23 November, 2005, pp. 94-104.

Retscher, G. and Fu, Q., "Active RFID Fingerprinting for Indoor Positioning", 21st Int. Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS), Savannah, Georgia, USA, Sept. 16-19, 2008, pp. 1812-1820.

Sester M., "The Potential of Geosensor Networks for Sustainable Management of Urban Areas", FIG Commission 3 Workshop on Spatial Information for Sustainable Management of Urban Areas, 2009, Mainz, Germany.

Srivastava, N., "Challenges of Next-Generation Wireless Sensor Networks and its Impact on Society", Journal of Telecommunications, Vol. 1, Issue 1, Feb., 2010, pp. 128-133.

Stefanidis, A., "The Emergence of GeoSensor Networks", 2006, Retrieved Febr. 15, 2014, from: <http://www.directionsmag.com/articles/the-emergence-of-geosensor-networks/123208>

Teillet, P.M., "Sensor Webs: A Geostrategic Technology for Integrated Earth Sensing", IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, Vol. 3, No. 4, 2010, pp. 473-480.

Xu, N., "A Survey of Sensor Network Applications", IEEE Communications Magazine, Vol. 40, No.8, 2002, pp. 102-114.

Yick, Y., Mukherjee, B. and Dipak Ghosal, D., "Wireless Sensor Network Survey", Computer Networks 52, 2008, pp. 2292-2330.

Yoneki, E. and Bacon, J., "A Survey of Wireless Sensor Network Technologies: Research Trends and Middleware's Role", Technical Report No. 646, Computer Laboratory, University of Cambridge, 2005, pp. 1-46.

Zelkha, E., Epstein, B., Birrell, S. and Clark, D., "From Devices to Ambient Intelligence", Digital Living Room Conference, June 1998.

Zhu, M. Zhang, K., Cartwright, W., Retscher, G. and Fu, Q., "Possibility studies of Integrated INS/RFID Positioning Methods for Personal Positioning Applications", Int. Global Navigation Satellite Systems IGSS Conference, Gold Coast, Queensland, Australia, 2009, December 1-3, 9 pgs.

Ιωάννης Δ. Δούκας

Περί αισθητήρων, γεωαισθητήρων και των ασυρμάτων δικτύων τους. Εφαρμογές στη Γεωδαισία - Γεωματική

5ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας. Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών. Αθήνα, 9-10 Μαΐου 2014