

**Πανεπιστήμιο Μακεδονίας**

**ΔΠΜΣ Πληροφορικά Συστήματα**

**Δίκτυα Υπολογιστών**

**Καθηγητής: Α.Α. Οικονομίδης**

**University of Macedonia**

**Master Information Systems**

**Computer Networks**

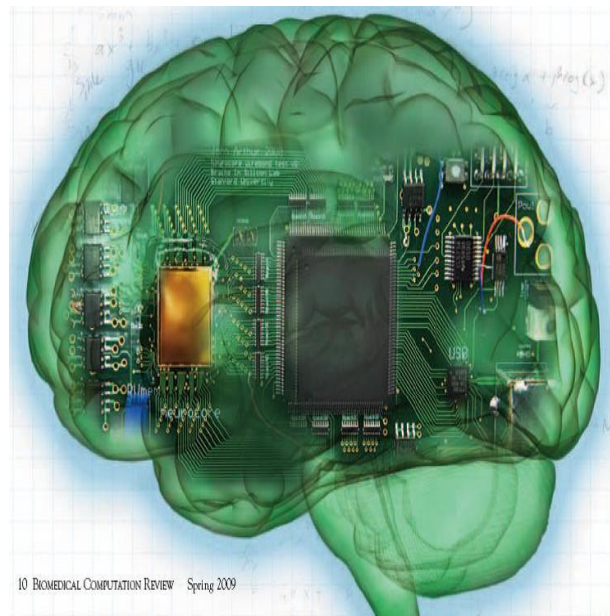
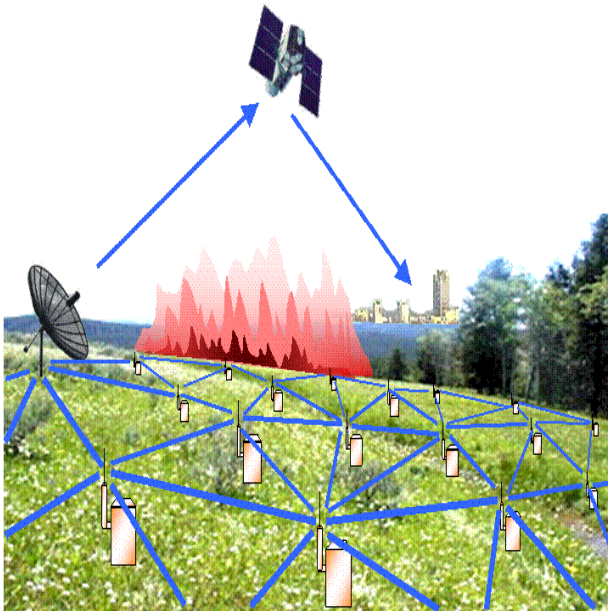
**Professor: A.A. Economides**

**Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων και Υπολογιστική Νοημοσύνη**

**Ένα πεδίο έρευνας υπό διερεύνηση.**

**Wireless Sensor Networks and Computational Intelligence**

**A field of research under investigation.**



10 BIOMEDICAL COMPUTATION REVIEW Spring 2009

**Σταυρίδης Κωνσταντίνος**  
**Θεσσαλονίκη, Φεβρουάριος 2012**

## Περίληψη

Λόγω της ραγδαίας ανάπτυξης της μικροηλεκτρονικής, αναπτύχθηκαν και εμφανίστηκαν τα τελευταία χρόνια τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (Wireless Sensor Networks WSNs). Τα δίκτυα αυτά εφαρμόζονται σε πληθώρα εφαρμογών. Παρόλα αυτά, παράγοντες που σχετίζονται με το τηλεπικοινωνιακό μέρος αυτών των διατάξεων (κυρίως η κατανάλωση ισχύος καθώς και η υπολογιστική και αποθηκευτική ικανότητα τους) περιορίζουν την βέλτιστη εφαρμογή καθώς και το χρόνο ζωής τους. Η Υπολογιστική Νοημοσύνη (Computational Intelligence CI), αλγόριθμοι που κυρίως βασίζονται στην μίμηση βιολογικών μηχανισμών, δεν έχει ιδιαίτερες απαιτήσεις σε υπολογιστική και αποθηκευτική ικανότητα. Σκοπός αυτής της εργασίας είναι να παρουσιάσει συνοπτικά τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων, κάποιους σημαντικούς αλγόριθμους της Υπολογιστικής Νοημοσύνης και τα αποτελέσματα μελετών εφαρμογής μεθόδων CI σε WSNs. Ακολουθούν τα συμπεράσματα και οι αντίστοιχες προτάσεις.

## Abstract

Due to the rapid development of microelectronics, Wireless Sensor Networks WSNs have been developed and emerged recently. Systems that are applicable to a variety of applications. However, factors associated with the communicational part of them (mainly the power consumption, computing and storage capacity) limit their optimal application and their lifetime cycle. The Computational Intelligence CI, algorithms that are mainly based on biological mechanisms, has no special requirements for computing and storage capacity. In this paper I briefly present the Wireless Sensor Networks, some important algorithms of Computational Intelligence and the results of using CI in WSNs. The conclusions and the proposals follow.

## Εισαγωγή

Τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (Wireless Sensor Networks-WSNs) είναι ένα κατακευμαμένο δίκτυο από αυτόνομες διατάξεις που συνεργάζονται μεταξύ τους για να αντλαμβάνονται και παρακολουθούν φυσικές ή περιβαλλοντικές μεταβολές. (Kulkarni R. V., Förster A. and Venayagamoorthy G. K.,2011). Η κάθε διάταξη αποτελείται από την υπολογιστική μονάδα, την ασύρματη τηλεπικοινωνιακή μονάδα και από πλήθος αισθητήρων. Είναι μικρή σε μέγεθος και διαθέτει περιορισμένες δυνατότητες. Τα WSNs χρησιμοποιούνται σε πληθώρα εφαρμογών όπως στην επιτήρηση του φυσικού περιβάλλοντος, σε εφαρμογές ιατρικής παρακολούθησης, στις ανεμογεννήτριες και γενικά σε εφαρμογές που απαιτούν παρακολούθηση σε ευρύ γεωγραφικό χώρο.

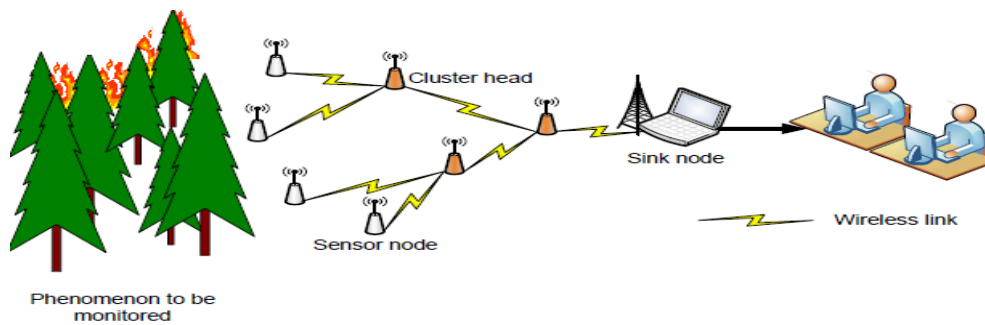
Λόγω των περιορισμένων δυνατοτήτων τους καθώς και λόγω της περιορισμένης ενέργειας που διαθέτουν, απαιτούνται πολλές βελτιώσεις σε θέματα που έχουν να κάνουν με την αναγνώριση δικτύου, την δυναμικά μεταβαλλόμενη τοπολογία, την δρομολόγηση, και την ανταλλαγή πληροφοριών. Η υπολογιστική νοημοσύνη (Computational Intelligence CI), επειδή βασίζεται σε βιολογικούς αλγόριθμους που έχουν την ιδιότητα να προσαρμόζονται εύκολα σε μεταβαλλόμενες καταστάσεις, θα μπορούσε να δώσει λύσεις σε όλα τα παραπάνω θέματα. Η CI έχει ήδη αντιμετωπίσει προβλήματα σε εφαρμογές ρομποτικής και αυτόματου ελέγχου.

Σκοπός της εργασίας είναι να παρουσιάσει συνοπτικά τα WSNs και τους CI αλγόριθμους. Επίσης παρουσιάζονται συνοπτικά ερευνητικά αποτελέσματα από την εφαρμογή των CI αλγορίθμων σε WSNs.

## 1. Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων WSNs

### 1.1 Αρχιτεκτονική Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων WSNs.

Η αρχιτεκτονική των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων απεικονίζεται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1.

Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα οι κόμβοι WSN χωρίζονται σε ομάδες (clusters). Ο κάθε κόμβος του cluster επικοινωνεί με έναν συγκεκριμένο κόμβο του cluster που ονομάζεται cluster head. Η διαβίβαση της πληροφορίας μέσα στο cluster γίνεται μόνο μέσω του cluster head κόμβου (τοπολογία αστέρα). Όλοι οι cluster heads διαβιβάζουν την πληροφορία σε ένα ειδικό κόμβο που ονομάζεται sink node μέσω του οποίου αποστέλλεται η πληροφορία στους σταθμούς παρακολούθησης. Η εν λόγω αρχιτεκτονική είναι η τυπική αρχιτεκτονική των WSNs καθώς υπάρχουν και πολλές άλλες διαφοροποιήσεις ανάλογα με την εφαρμογή. Η πιο κλασική διαφοροποίηση είναι αυτή της σύνδεσης (ad-hoc) ενδιάμεσων κόμβων για να συνδεθούν με τον cluster head.

Η κύρια δραστηριότητα των WSNs είναι η συλλογή δεδομένων από τα αισθητήρια και η προώθησή τους. Αυτή η δραστηριότητα μπορεί να γίνει με 3 διαφορετικούς τρόπους. Α) περιοδική αναφορά- ο κόμβος στέλνει τα δεδομένα περιοδικά Β) οδηγούμενη από γεγονός- ο κόμβος αποστέλλει τα δεδομένα όταν ανιληφθεί κάποιο σημαντικό γεγονός Γ) Database-like- ο

κόμβος αποθηκεύει τα δεδομένα και τα αποστέλλει μόνο όταν του ζητηθεί. (Kulkarni R. V., Förster A. and Venayagamoorthy G. K.,2011)

## 1.2 Χαρακτηριστικά-Προκλήσεις Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων WSNs.

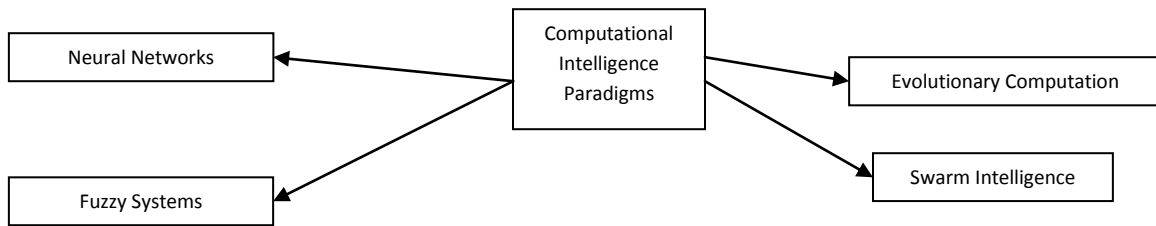
Τα κύρια χαρακτηριστικά των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων είναι: *Ασύρματη σύνδεση από κόμβο σε κόμβο (wireless ad-hoc)*. Ο κάθε κόμβος συνδέεται με έναν κόμβο κάθε φορά και δεν υπάρχει μια σταθερή τηλεπικοινωνιακή υποδομή. Όλοι οι κόμβοι επικοινωνούν με το κοινό ασύρματο μέσο δημιουργώντας έτσι προβλήματα ασυμμετρίας και συγκρούσεων. Διατηρείται όμως το πλεονέκτημα του broadcast. *Αλλαγές τοπολογίας*. Η τοπολογία σε ένα WSN αλλάζει συχνά επειδή καινούργιοι κόμβοι μπορεί να εισέρχονται στο δίκτυο (νέα αισθητήρια) ή κάποιοι κόμβοι να εξέρχονται από το δίκτυο (παύση λειτουργίας κόμβου λόγω έλλειψη ενέργειας). *Περιορισμοί ενέργειας*. Το μεγαλύτερο πρόβλημα που αντιμετωπίζουν τα WSNs είναι το ότι διαθέτουν συγκεκριμένα και χαμηλά επίπεδα ενέργειας για όλη την διάρκεια λειτουργίας τους. Γεγονός που περιορίζει πολύ τις τηλεπικοινωνιακές δραστηριότητες του κόμβου, αφού το τηλεπικοινωνιακό μέρος τους καταναλώνει την περισσότερη ενέργεια (Καραπιστόλη Ειρήνη, 2012). *Φυσική κατανομή*. Λαμβάνοντας υπόψη την αρχιτεκτονική των WSNs καθώς και την γεωγραφική διασπορά τους, ο κεντρικός έλεγχος της πληροφορίας στα δίκτυα αυτά καθίσταται πολύ δύσκολος για αυτό και χρειάζονται κατανεμημένοι αλγόριθμοι ελέγχου και μεταφοράς της πληροφορίας. (Kulkarni R. V., Förster A. and Venayagamoorthy G. K.,2011). Τα ζητήματα που τίθενται προς επίλυση ή βελτιστοποίηση «Προκλήσεις», για τα οποία θα επιστρατευθούν οι αλγόριθμοι της Υπολογιστικής Νοημοσύνης για να δώσουν λύσεις, είναι : *Σχεδίαση και Εγκατάσταση (Design and Deployment)*. Ανάλογα τον τύπο τους τα εν λόγω δίκτυα εγκαθίστανται σε σταθερές, προκαθορισμένες θέσεις ή σε ακαθόριστες θέσεις (ρήψη αισθητηρίων από τον αέρα). Η σχεδίαση αφορά τοποθέτηση κόμβων σε θέσεις κατάλληλες με

στόχο την βέλτιστη λειτουργία του δικτύου. *Localization*. Αφορά το κατά πόσο είναι ενήμεροι οι κόμβοι για την συνολική τοπολογία του δικτύου. *Συνυπολογισμός δεδομένων αισθητήρων (Data Aggregation and Sensor Fusion)*. Τα δεδομένα από πολλούς αισθητήρες-κόμβους συνδυάζονται και αποστέλλονται όλα μαζί στον σταθμό βάσης. Αυτό γίνεται για να μειωθεί ο τηλεπικοινωνιακός φόρτος του δικτύου. Είναι πιθανόν όμως να δημιουργηθεί μεγάλος όγκος δεδομένων για αποστολή για αυτό και εφαρμόζονται κατάλληλα φίλτρα που αφήνουν μόνο την κρίσιμη πληροφορία να μεταδοθεί. *Δρομολόγηση και τμηματοποίηση βάση της διαθέσιμης ενέργειας (Energy Aware Routing and Clustering)*. Η δρομολόγηση αφορά τον καθορισμό της διαδρομής που θα ακολουθήσει η πληροφορία για να φτάσει στον προορισμό της. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου δρομολόγησης γίνεται με βάση τον περιορισμό της ενέργειας, για αυτό και σε πολλές εφαρμογές WSNs το δίκτυο ομαδοποιείται ιεραρχικά σε clusters. *Ασφάλεια (Security)*. Αφορά την ασφάλεια αυτών των δικτύων καθώς η διαχείριση τους είναι δύσκολη λόγω της ευμετάβλητης τοπολογίας τους. *Ποιότητα υπηρεσίας (Quality of Service)*. Αφορά το bandwidth, τις καθυστερήσεις, τις μεταβολές των καθυστερήσεων (jitter) και τις απώλειες πακέτων του συνολικού δικτύου. (Kulkarni R. V., Förster A. and Venayagamoorthy G. K.,2011)

## **2. Υπολογιστική Νοημοσύνη Computational Intelligence (CI).**

Η Υπολογιστική Νοημοσύνη (Computational Intelligence CI) είναι διάδοχος της Τεχνητής Νοημοσύνης (Artificial Intelligence) και κύριος στόχος της είναι να εφοδιάσει τα υπολογιστικά συστήματα με «νοημοσύνη». Αποτελείται από ένα σύνολο αλγορίθμων που κύρια χαρακτηριστικά τους είναι η μάθηση, η προσαρμοστικότητα και η εξέλιξη. Η CI δεν απορρίπτει στατιστικές μεθόδους, απλά δίνει μια συμπληρωματική οπτική για την υλοποίησή τους. Σκοπός της CI είναι η επίλυση άλυτων προβλημάτων. Όπως είναι αναμενόμενο αλγόριθμοι οι οποίοι παρουσιάζουν τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά είναι οι αλγόριθμοι-μηχανισμοί της φύσης.

Για αυτό και πολλοί βιολογικοί μηχανισμοί αποτελούν πηγή έμπνευσης για την CI. (Sumathi S; Surekha P,2010).

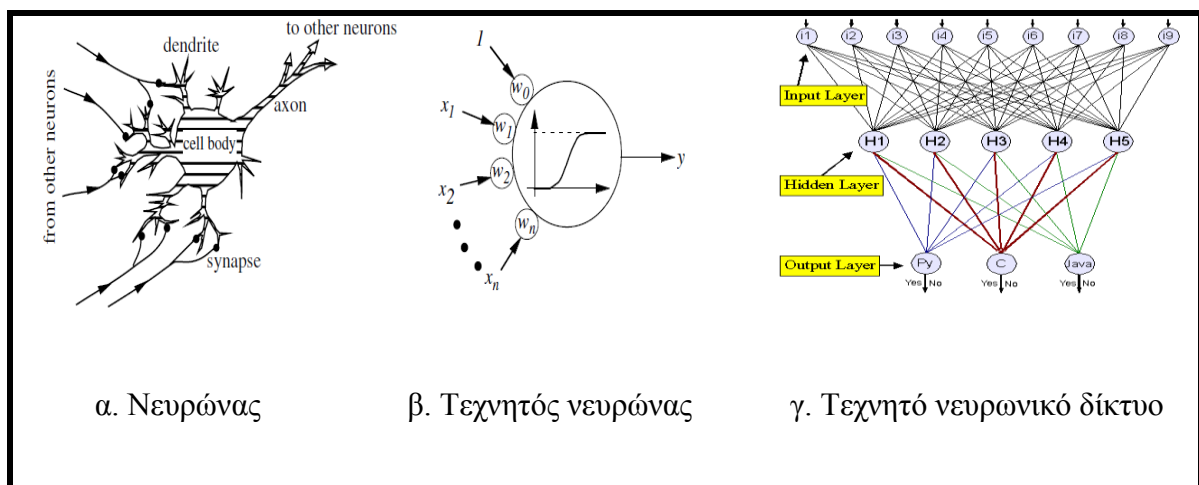


Σχήμα 2.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2 οι πιο χαρακτηριστικοί αλγόριθμοι CI είναι τα νευρωνικά δίκτυα, τα συστήματα ασαφούς λογικής, οι εξελικτικοί αλγόριθμοι και η νοημοσύνη «ομάδας» ζωντανών οργανισμών, αλγόριθμοι που θα περιγραφούν συνοπτικά στην συνέχεια. Ένας εξίσου σημαντικός αλγόριθμος CI είναι ο αλγόριθμος που βασίζεται στον μηχανισμό του ανοσοποιητικού συστήματος (Artificial Immune System). (Nunes L and Timmis J, 2002)

## 2.1 Νευρωνικά Δίκτυα (Neural Networks).

Τα τεχνητά Νευρωνικά δίκτυα μιμούνται την λειτουργία του ανθρώπινου εγκεφάλου. Ο ανθρώπινος εγκέφαλος αποτελείται από πολλά εγκεφαλικά κύτταρα, τους νευρώνες.

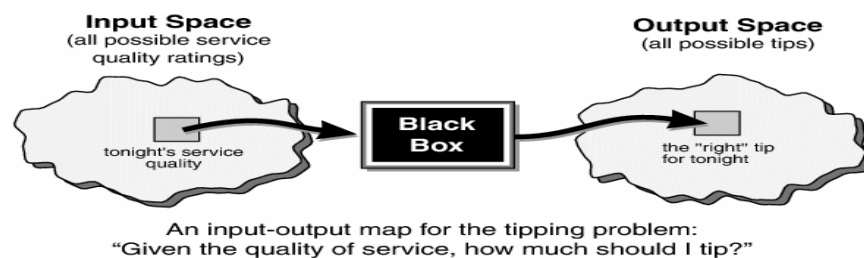


Σχήμα 3.

Ο νευρώνας όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-α αποτελείται από τον πυρήνα (cell body) τους δενδρίτες (dendrites) και τον άξονα (axon). Με τους δενδρίτες ο νευρώνας συνδέεται με άλλους νευρώνες (συνάξεις) από τους οποίους παίρνει πληροφορίες με την μορφή παλμικών ηλεκτρικών σημάτων. Ο πυρήνας επεξεργάζεται τις εισόδους και το αποτέλεσμα το διαβιβάζει σε άλλους νευρώνες με τον άξονα. Έτσι σχηματίζονται, με τις συνάξεις πολλαπλών νευρώνων, τα νευρωνικά δίκτυα. Ανάλογα αν οι προηγούμενες αποφάσεις του νευρωνικού δικτύου ήταν σωστές ή όχι οι νευρώνες προσαρμόζονται πολλαπλασιάζοντας κατά κάποιο τρόπο την έξοδο τους στον άξονα. Έτσι υλοποιείται το χαρακτηριστικό της μάθησης και της προσαρμοστικότητας. Στο τεχνητό νευρώνα Σχήμα 3-β προσομοιώνεται η λειτουργία του εγκεφαλικού νευρώνα. Έτσι κάθε τεχνητός νευρώνας δέχεται εισόδους  $X$  πολλαπλασιασμένους με κάποιο βάρος  $W$ , εκτελεί τις πράξεις πάνω στις εισόδους και διαβιβάζει την έξοδο του  $Y$  πολλαπλασιασμένη με κάποιο βάρος  $W$  στους επόμενους νευρώνες. Στο Σχήμα 3-γ φαίνεται ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο «συνάξεις πολλών τεχνητών νευρώνων». Και εδώ η μάθηση στηρίζεται στο ότι τα βάρη προσαρμόζονται-μεταβάλλονται ανάλογα την περίπτωση. (Engelbrecht Andries P, 2007)

## 2.2 Συστήματα Ασαφούς Λογικής (Fuzzy Systems).

Η αρχή λειτουργίας των Συστημάτων Ασαφούς Λογικής βασίζεται στην διαδικασία που περιγράφεται στο Σχήμα 4.

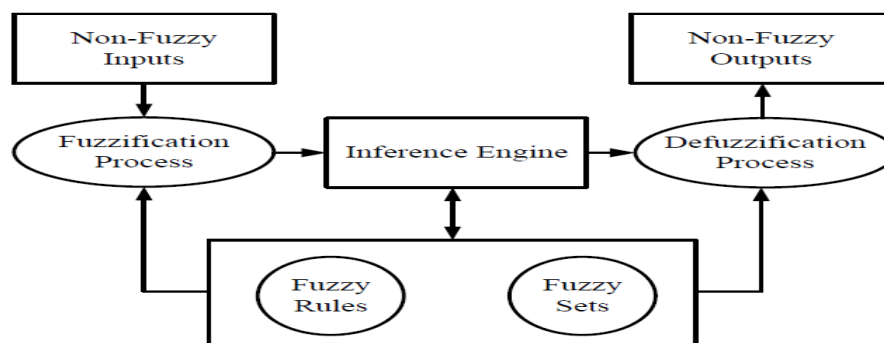


Σχήμα 4.



Βάση κάποιων λειτουργιών που κρύβονται σε ένα μαύρο κουτί, όλες οι πιθανές τιμές εισόδου ενός συστήματος αντιστοιχίζονται με πιθανές τιμές εξόδου (Mathworks Documentation, 2011). Η λειτουργία αυτή έχει πολλές ομοιότητες με το πώς ο ανθρώπινος εγκέφαλος υπολογίζει-εκτιμάει διάφορες μετρήσεις (παράδειγμα η απόσταση του χεριού από ένα αντικείμενο). Οι εντολές που δίνει ο ανθρώπινος εγκέφαλος για την μετακίνηση του χεριού δεν δίνονται με βάση μιας μετρημένης απόστασης αλλά με βάση της επιθυμητής τελικής θέσης του χεριού (διαδοχικές προσεγγίσεις).

Η θεωρία της Ασαφούς Λογικής βασίζεται στην έννοια του «ασαφούς» συνόλου (fuzzy set). Τα fuzzy sets διαφέρουν από τα γνωστά σύνολα στο ότι επιτρέπουν ένα αντικείμενο να είναι «μερικώς» μέλος μέσα σε ένα σύνολο. Εκτός από τα fuzzy sets υπάρχουν και τα fuzzy rules κανόνες που διέπουν τα πρώτα και είναι βασισμένα στην ανθρώπινη εμπειρία. Η λειτουργία ενός Fuzzy System φαίνεται σχηματικά παρακάτω.



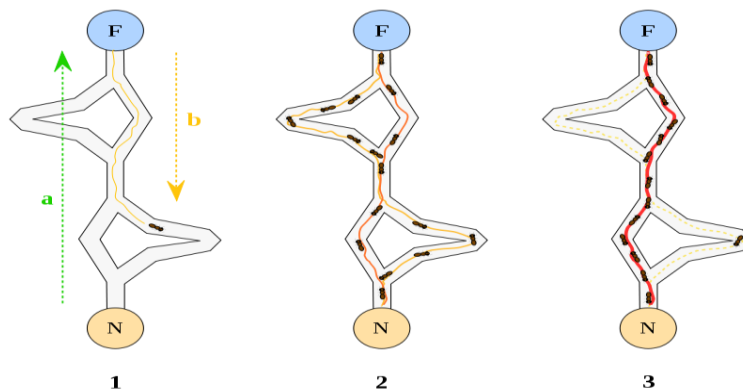
Σχήμα 5.

Οι εισοδοί μέσα από κατάλληλες διαδικασίες «Fuzzification» (αποκτούν χαρακτηριστικά fuzzy) εισέρχονται στο fuzzy σύστημα όπου γίνεται και η επεξεργασία. Τέλος οι εξοδοί αφού περάσουν από την διαδικασία «Defuzzification» εξέρχονται από το συνολικό σύστημα. (Zadeh L. A., 1996).

### 2.3 Νοημοσύνη ομάδας ζωντανών οργανισμών Swarm Intelligence SI.

Με τον όρο Swarm Intelligence SI αναφερόμαστε στην νοημοσύνη που εμφανίζει η ομαδική συμπεριφορά ζωντανών οργανισμών (π.χ. σμήνη πουλιών, κοπάδι ψαριών, αποικία μυρμηγκιών). Η συμπεριφορά της ομάδας είναι αποκεντριοποιημένη (δεν καθορίζεται κεντρικά από κάποιον αρχηγό) και οργανώνεται εσωτερικά στην ομάδα. (Gerardo B. and Wang J., 1989). Οι κυριότεροι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται στην SI είναι ο Ant colony optimization-routing, ο Artificial bee colony algorithm, ο Flocking and Schooling in Birds and Fish, και ο Particle Swarm Optimization-PSO (Kennedy J and Eberhart R, 1995). Ενδεικτικά θα παρουσιαστεί ο αλγόριθμος Ant colony optimization-routing που βασίζεται στον βιολογικό τρόπο με τον οποίο λειτουργεί μια αποικία μυρμηγκιών.

Όταν περπατάει ένα μυρμήγκι αφήνει στο έδαφος μια ορμόνη που ονομάζεται φερεμόνη. Κάθε επόμενο μυρμήγκι μυρίζει και αντιλαμβάνεται υψηλή ή χαμηλή συγκέντρωση φερεμόνης και διαλέγει την πορεία του επιλέγοντας με μεγάλη πιθανότητα την διαδρομή με την μεγαλύτερη συγκέντρωση φερεμόνης ενώ και αυτό αφήνει φερεμόνη από εκεί που περνάει. Αυτό φαίνεται καλύτερα στο Σχήμα 6.



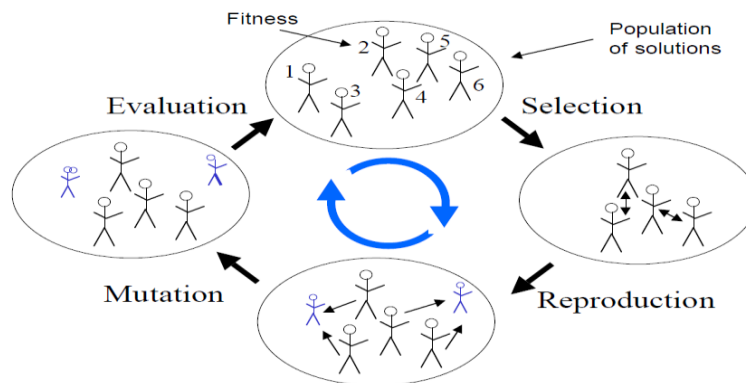
Σχήμα 6.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 6-1 το πρώτο μυρμήγκι επιλέγει τυχαία μια διαδρομή. Τα υπόλοιπα μυρμήγκια ακολουθούν διάφορες διαδρομές όπως φαίνεται στο Σχήμα 6-2. Μετά από πολλά περάσματα πολλών μυρμηγκιών, τα περισσότερα μυρμήγκια ακολουθούν την βέλτιστη διαδρομή Σχήμα 6-3 διότι η συγκέντρωση φερεμόνης-πιθανότητα επιλογής μεγάλωσε πολύ. Με αυτό τον τρόπο, χωρίς κεντρική διαχείριση, τα μυρμήγκια επέλεξαν την βέλτιστη διαδρομή. Ο Ant colony optimization-routing μιμείται αυτήν την ιδέα για την αποδοτικότερη δρομολόγηση πακέτων σε ένα δίκτυο. Στους δρομολογητές υπάρχουν τα pheromone tables (πίνακες δρομολόγησης) και καταγράφουν για κάθε επόμενο κόμβο την πιθανότητα δρομολόγησης μέσω αυτού του κόμβου. Πιθανότητα που αλλάζει κάθε φορά ανάλογα με το αν περνούν πολλά και με αποδοτικό τρόπο πακέτα από τον συγκεκριμένο κόμβο. Έτσι το σύστημα προσαρμόζεται εύκολα και χωρίς κεντρική διαχείριση σε πιθανές μεταβολές όπως η πτώση μια γραμμής μεταφοράς. (Schoonderwoerd R, Holland O, Bouten J and Rosekrantz L,1996).

## 2.4 Evolutionary Computation

Ο Evolutionary Computation (EC) μιμείται διαδικασίες από την φυσική εξέλιξη των ζώντων οργανισμών. Σκοπός της φυσικής εξέλιξης είναι η επιβίωση του κατάλληλου (ο αδύναμος πρέπει να πεθάνει). Στην φυσική εξέλιξη, η επιβίωση επιτυγχάνεται με την αναπαραγωγή. Οι απόγονοι δημιουργούνται από τους γονείς τους και φέρουν γενετικό υλικό και από τους δύο (με την προοπτική να κληρονομήσουν τα καλύτερα χαρακτηριστικά). Αυτοί που κληρονομούν τα χειρότερα χαρακτηριστικά είναι αδύναμοι και χάνουν την μάχη της επιβίωσης. Αυτοί οι αλγόριθμοι χρησιμοποιούν έναν πληθυσμό από άτομα και τα άτομα αναφέρονται ως χρωμοσώματα. Ένα χρωμόσωμα προσδιορίζει τα χαρακτηριστικά του ατόμου σε έναν πληθυσμό. Κάθε χαρακτηριστικό αναφέρεται ως γονίδιο. Η τιμή κάθε γονιδίου αναφέρεται ως αλληλόμορφο. Σε κάθε γενιά τα άτομα ανταγωνίζονται για την αναπαραγωγή απογόνων και τα

άτομα με τις καλύτερες ικανότητες επιβίωσης έχουν τις καλύτερες πιθανότητες για αναπαραγωγή. Οι απόγονοι προκύπτουν με τον συνδυασμό μερών από τους γονείς (διασταύρωση). Επίσης κάθε άτομο μπορεί να περάσει από την διαδικασία της μετάλλαξης που αλλάζει μερικά από τα αλληλόμορφα του χρωμοσώματος. Η δύναμη επιβίωσης ενός ατόμου προσδιορίζεται, χρησιμοποιώντας μια συνάρτηση καταλληλότητας που αντανακλά τους στόχους και τους περιορισμούς του προβλήματος. Μετά από κάθε γενιά τα άτομα μπορεί να υποστούν «σφαγή» ή ελιτισμό (πέραςμα στην επόμενη γενιά). Επιπλέον τα χαρακτηριστικά συμπεριφοράς (που ενθυλακώνονται στους φαινοτύπους) μπορεί να χρησιμοποιηθούν για να επηρεάσουν την διαδικασία εξέλιξης με δύο τρόπους : οι φαινότυποι επηρεάζουν τις γενετικές αλλαγές και/ή τα χαρακτηριστικά συμπεριφοράς εξελίσσονται ξεχωριστά. (Engelbrecht Andries P,2007, p.8)



Σχήμα 7.

Στο Σχήμα 7 φαίνεται ο κύκλος της εξέλιξης : Επιλογή, Αναπαραγωγή, Μετάλλαξη και Αξιολόγηση.

### 3. Η Υπολογιστική Νοημοσύνη στα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

Σε αυτήν την ενότητα θα γίνει συνοπτική αναφορά στις προσπάθειες που έχουν γίνει για την αξιοποίηση των αλγορίθμων υπολογιστικής νοημοσύνης στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων,

με έμφαση στα αποτελέσματα. Η αναφορά αυτή γίνεται για τις κατηγορίες «πρόκλησης» Design and Deployment, Data Aggregation and Sensor Fusion και Energy Aware Routing and Clustering. Δεν παρουσιάζονται όλοι οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν ανά κατηγορία αλλά κάποιοι αντιπροσωπευτικοί. Στο τέλος της ενότητας δίνεται ένα διάγραμμα σύνοψης για την εφαρμογή CI αλγορίθμων σε WSN.

### 3.1 Design and Deployment

Σε αυτήν την κατηγορία θα γίνει αναφορά για τους αλγόριθμους Fuzzy Logic (Zhao L. and Liang Q.,2005), Evolutionary Algorithm (Carballido N. B. B., Jessica A. and Ponzoni Ignacio,2007), Swarm Intelligence Sequential-PSO (Ngatchou P., Fox W. and El-Sharkawi M, 2005), Swarm Intelligence PSO-SinkPath (Mendis C., Guru S., Halgamuge S. and Fernando S.,2006) και Swarm Intelligence Traffic-PSO (Seah M., Tham C., Srinivasan K.and Xin A., 2007). Σύμφωνα με τις αναφορές : Ο Fuzzy Logic Deployment πέτυχε σημαντική βελτίωση, για το χειρότερο σενάριο κάλυψης, σε σχέση με την ομοιόμορφη εγκατάσταση. Ο Evolutionary Algorithm έδωσε πιο αξιόπιστη και πιο οικονομική (60% μείωση κόστους) λύση από την αρχική που προτάθηκε από μηχανικούς. Ο Sequential-PSO έδωσε ένα μοντέλο κάλυψης καλύτερο κατά 6% από το αρχικό. Ο PSO-SinkPath λειτούργησε καλά για αραιά δίκτυα και φθίνει η απόδοση του όταν ο αριθμός των κόμβων αυξάνεται. Ο Traffic-PSO κατέληξε σε συμμετρική κατανομή των κόμβων υψηλής ισχύος, βελτιώνοντας έτσι την απόδοση του δικτύου και εξοικονομώντας μεγάλα ποσά ενέργειας.

### 3.2 Data Aggregation and Sensor Fusion

Σε αυτήν την κατηγορία θα γίνει αναφορά για τους αλγόριθμους Fuzzy Logic (Lazzerini B., Marcelloni F., Vecchio M., Croce S. and Monaldi E.,2006) και Genetic Algorithm , κατηγορία του Evolution Algorithm (Wu Q., Rao N., Barhen J., Iyengar S., Vaishnavi V., Qi H.,

and Chakrabarty K, 2004). Σύμφωνα με τις αναφορές : ο Fuzzy Logic μείωσε αισθητά τον αριθμό των μεταφερόμενων μηνυμάτων μέσα στο δίκτυο αυξάνοντας εντυπωσιακά την διάρκεια ζωής του δικτύου. Δεν γίνεται όμως σύγκριση με ένα υπαρκτό αντίστοιχο δίκτυο αισθητήρων ώστε τα αποτελέσματα να είναι εγκυρότερα. Ο Genetic Algorithm έφερε καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με άλλους heuristic algorithms χωρίς όμως να λαμβάνονται υπόψη κρίσιμα κόστη για την υλοποίηση αυτού του αλγορίθμου.

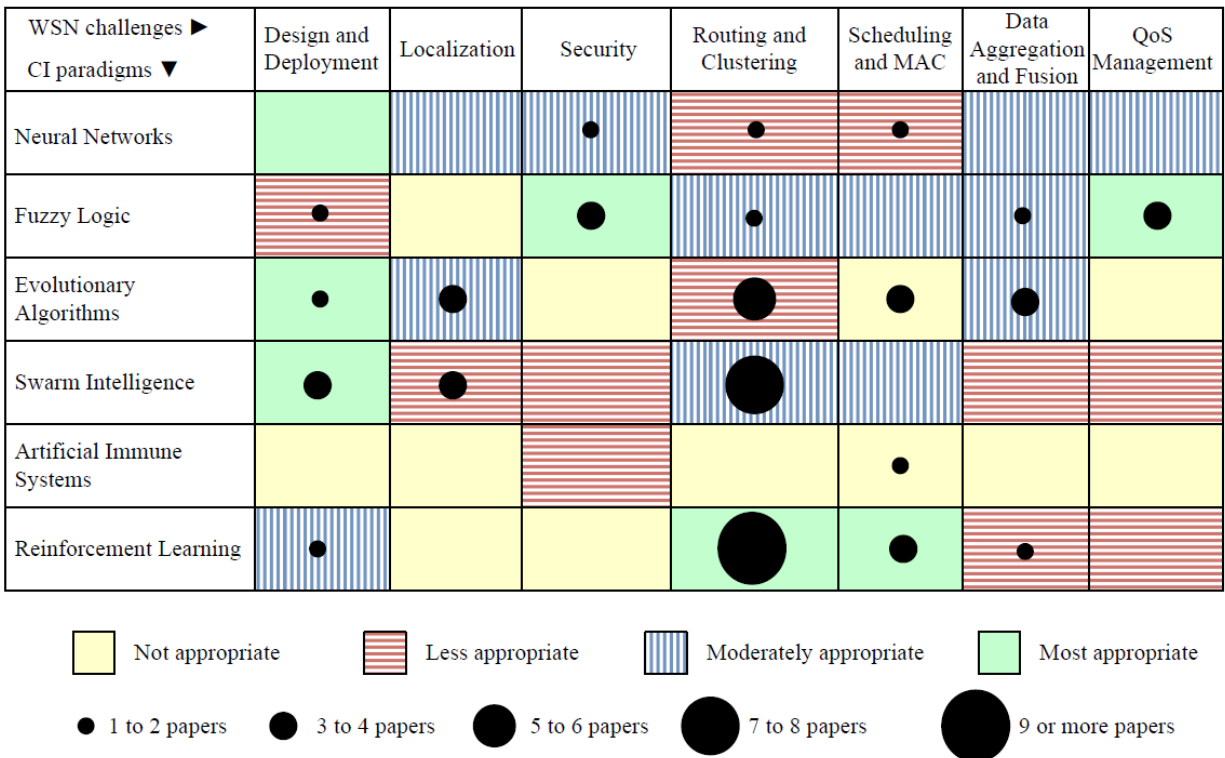
### 3.3 Energy Aware Routing and Clustering

Σε αυτήν την κατηγορία θα γίνει αναφορά για τους αλγόριθμους Neural Networks (Barbancho J, León C., Molina J. and Barbancho A., 2006), Fuzzy Logic (Gupta I., Riordan D. and Sampalli S.,2005), GA-Routing που είναι κατηγορία των Evolutionary Algorithms (Islam O. and Hussain S,2006) και AntBuilding κατηγορία των Swarm Intelligence Algorithms (Muraleedharan R. and Osadciw L. A., 2004). Σύμφωνα με τις αναφορές : το Neural Network είχε πολύ καλή απόδοση ιδιαίτερα στην περίπτωση με πολλούς «νεκρούς» κόμβους αλλά ανέβασε το υπολογιστικό κόστος. Ο Fuzzy Logic χρησιμοποιώντας προσαρμοστική ομαδοποίηση (adaptive clustering), αύξησε το χρόνο ζωής του δικτύου αλλά αύξησε και τον υπολογιστικό φόρτο του συστήματος. Ο GA-Routing αύξησε και αυτός τον χρόνο ζωής του συστήματος χωρίς όμως να συνυπολογιστεί το κόστος επαναπροσδιορισμού της βέλτιστης διαδρομής. Ο AntBuilding είναι ένας κατανεμημένος αλγόριθμος κατάλληλος για αυτά τα δίκτυα. Παρόλα αυτά οι Ant-Agents που χρησιμοποιεί ο αλγόριθμος για να ρυθμίσει τα pheromone tables αυξάνουν τον φόρτο του συστήματος.

### 3.4 Σύνοψη CI in SWNs

Στο Σχήμα 8 φαίνονται συνοπτικά τα αποτελέσματα από πολλές έρευνες σχετικές με το θέμα. Επίσης πρέπει να επισημανθεί ότι, σύμφωνα με τους . (Kulkarni R. V., Förster A. and

Venayagamoorthy G. K.,2011), οι περισσότεροι αλγόριθμοι (ελάχιστες εξαιρέσεις) έχουν βγάλει αποτελέσματα με την τεχνική της προσομοίωσης. Το Σχήμα 8, πολλές λεπτομέρειες και αλγόριθμοι βρίσκονται στην αναφορά (Kulkarni R. V., Förster A. and Venayagamoorthy G. K.,2011).



Σχήμα 8

Στο Σχήμα 8 έχουμε τις τεχνικές CI (επικεφαλίδες γραμμών) και τις «προκλήσεις» των WSNs (επικεφαλίδες στηλών). Το μέγεθος της μαύρης κουκκίδας αντιστοιχεί στο πλήθος των δημοσιεύσεων σχετικά με το θέμα (απουσία μαύρης κουκκίδας αντιστοιχεί σε απουσία δημοσιεύσεων). Ενώ το χρώμα κάθε κουτιού αντιστοιχεί στην καταλληλότητα του αλγορίθμου για την αντίστοιχη «πρόκληση».

### **Συμπεράσματα**

- Οι αλγόριθμοι CI παρουσίασαν πολλά υποσχόμενα αποτελέσματα για την εφαρμογή τους στα WSNs.
- Πολλές μελέτες δεν έγιναν με ένα συγκεκριμένο πλαίσιο αναφοράς ώστε να εγγυώνται συγκεκριμένα επίπεδα εγκυρότητας και αξιοπιστίας.
- Πολλές μελέτες έδωσαν έμφαση στον αλγόριθμο και δεν συνυπολόγισαν άλλα κόστη του συνολικού συστήματος.
- Οι περισσότερες μελέτες, εκτός από ελάχιστες εξαιρέσεις, έγιναν και αξιολογήθηκαν με την τεχνική της προσομοίωσης. Γεγονός που αποθαρρύνει την εφαρμογή τους σε πραγματικά συστήματα WSNs.

### **Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα**

- Να δημιουργηθεί ένα πλαίσιο αναφοράς για την συμβατική λειτουργία των WSNs (ίσως αυτό το πλαίσιο να εξαρτάται και από την εφαρμογή των WSNs) και πάνω σε αυτό να γίνουν και αξιολογηθούν οι διάφορες μελέτες.
- Πολλές μελέτες επιδέχονται πολλές βελτιώσεις. Επίσης πρέπει να δημιουργηθούν νέοι αλγόριθμοι βασισμένοι σε CI (πιθανές υβριδικές εφαρμογές των παραπάνω αλγορίθμων) για να έχουν καλύτερα και πιο ενθαρρυντικά αποτελέσματα.
- Πρέπει οπωσδήποτε οι αλγόριθμοι αυτοί να εφαρμοστούν και στην πράξη (όχι μόνο στην προσομοίωση) για να χρησιμοποιηθούν και σε πραγματικά-εμπορικά συστήματα. Για αυτό το λόγο στο παράρτημα δίνεται μια σύντομη μελέτη για τη δημιουργία πλατφόρμας πραγματικού χρόνου πάνω στην οποία θα μπορούν να υλοποιηθούν και να αξιολογηθούν όλοι αυτοί οι αλγόριθμοι.



### Αναφορές

- Raghavendra V. Kulkarni, Anna Förster, Ganesh Kumar Venayagamoorthy, (2011). Computational Intelligence in Wireless Sensor Networks:A Survey, IEEE Communications Surveys & Tutorials, VOL. 13, NO. 1,pp 63-96.
- Καραπιστόλη Ειρήνη, (2012). Recent Advances in Wireless Sensor Networks. Θεσσαλονίκη. Παρουσίαση στο MIS.
- Sumathi S, Surekha P,(2010). Computational Intelligence Paradigms: Theory & Application using MATLAB, Boca Raton ,CRC Press Taylor & Francis Group.
- Nunes L, Timmis J, (2002). Artificial Immune Systems: A new Computational Intelligence, Approach, Great Britain, Springer.
- Hideyuki TAKAGI, (1997). Introduction to Fuzzy Systems, Neural Networks, and Genetic Algorithms, Intelligent Systems: Fuzzy Logic, Neural Networks, and Genetic Algorithms, Ch.1, pp.1–33, edited by D. Ruan, Kluwer Academic Publishers (Norwell, Massachusetts, USA), Mathworks Documentation, (2011). <http://www.mathworks.com/help/toolbox/fuzzy/fp72.html>
- [7] Engelbrecht Andries P,(2007), Computational Intelligence An Introduction, Great Britain. John Willey & Sons Inc
- Zadeh L. A., (1996). Fuzzy logic = computing with words, IEEE Trans. Fuzzy Syst., vol. 4, no. 2, pp. 103–111, May 1996.
- Kennedy J; Eberhart R, (1995). Particle swarm optimization, in Proc. IEEE Int. Conf. Neural Netw., vol. 4, 27 Nov.–1 Dec. 1995, pp.1942–1948.
- Gerardo Beni, Jing Wang, (1989). Swarm Intelligence in Cellular Robotic System, California, <http://www.springerlink.com/content/q2ur402175270745/>

- Schoonderwoerd R, Holland O, Bouten J, Rosekrantz L,(1996). Ant-based Load Balancing in Telecommunications Networks, Hewlett-Packard Laboratories,  
<http://www.hp1.hp.com/techreports/96/HPL-96-76.html>
- Zhao L., Liang Q.,(2005). Fuzzy deployment for wireless sensor networks, in Proc. IEEE Int. Conf. Computational Intelligence Homeland Security Personal Safety CIHSPS, Q. Liang, Ed., 2005, pp.79–83.
- Carballido N. B. B., Jessica A., Ponzoni Ignacio, (2007). CGD-GA: A graph-based genetic algorithm for sensor network design, *Inf. Sci.*, vol. 177, no. 22, pp. 5091–5102, 2007.
- Ngatchou P., Fox W., El-Sharkawi M, (2005). Distributed sensor placement with sequential particle swarm optimization, in Proc. IEEE Swarm Intelligence Symp. SIS, 8–10 June 2005, pp. 385–388.
- Mendis C., Guru S., Halgamuge S., Fernando S.,(2006). Optimized sink node path using particle swarm optimization, in Proc. 20th Int. Conf. Advanced Inf. Netw. Applications AINA, S. Guru, Ed., vol. 2, 2006.
- Seah M., Tham C., Srinivasan K., Xin A., (2007). Achieving coverage through distributed reinforcement learning in wireless sensor networks, in Proc. 3rd Int. Conf. Intelligent Sensors, Sensor Netw. Inf. Proc. (ISSNIP), 2007.
- Lazzerini B., Marcelloni F., Vecchio M., Croce S., Monaldi E.,(2006). A fuzzy approach to data aggregation to reduce power consumption in wireless sensor networks, in Proc. Annual Meeting North American Fuzzy Inf. Proc. Society NAFIPS, 3–6 June 2006, pp. 436–441.
- Wu Q., Rao N., Barhen J., Iyengar S., Vaishnavi V., Qi H., Chakrabarty K, (2004). On computing mobile agent routes for data fusion in distributed sensor networks. *IEEE Trans. Knowledge Data Eng.*, vol. 16, no. 6, pp. 740–753, June 2004.

Barbancho J, León C., Molina J., Barbancho A., (2006). Giving neurons to sensors: QoS management in wireless sensors networks. in Proc.IEEE Conf. Emerging Technol. Factory Automation ETFA, C. Leon, Ed., 2006, pp. 594–597

Gupta I., Riordan D., Sampalli S.,(2005). Cluster-head election using fuzzy logic for wireless sensor networks, in Proc. 3rd Annual Commun. Netw. Services Research Conf., D. Riordan, Ed., 2005, pp. 255–260.

Islam O., Hussain S., (2006). An intelligent multi-hop routing for wireless sensor networks, in Proc. WI-IAT Workshops Web Intelligence Int.Agent Technol. Workshops, Dec. 2006, pp. 239–242.

Muraleedharan R., Osadciw L. A., (2004). A predictive sensor network using ant system, in Proc. Int. Society Optical Eng. Symp., R. M. Rao, S. A. Dianat, and M. D. Zoltowski, Eds., vol. 5440, Aug. 2004, pp. 181–192.

### **Σχήματα**

*Σχήμα 1.* Raghavendra V. Kulkarni, Anna Förster and Ganesh Kumar Venayagamoorthy, (2011). Computational Intelligence in Wireless Sensor Networks:A Survey”, IEEE Communications Surveys & Tutorials, VOL. 13, NO. 1,pp 63-96.

*Σχήμα 2.* Sumathi S, Surekha P,(2010). Computational Intelligence Paradigms: Theory & Application using MATLAB, Boca Raton ,CRC Press Taylor & Francis Group.

*Σχήμα 3α ,3β.* Hideyuki TAKAGI, (1997). Introduction to Fuzzy Systems, Neural Networks, and Genetic Algorithms, Intelligent Systems: Fuzzy Logic, Neural Networks, and Genetic Algorithms, Ch.1, pp.1–33, edited by D. Ruan, Kluwer Academic Publishers (Norwell, Massachusetts, USA)

*Σχήμα 3γ.* <http://www.ibm.com/developerworks/library/1-neural/>

*Σχήμα 4.* Mathworks Documentation, (2011),

<http://www.mathworks.com/help/toolbox/fuzzy/fp72.html>

*Σχήμα 5.* Raghavendra V. Kulkarni, Anna Förster and Ganesh Kumar Venayagamoorthy, (2011).

“Computational Intelligence in Wireless Sensor Networks:A Survey”, IEEE Communications Surveys & Tutorials, VOL. 13, NO. 1,pp 63-96.

*Σχήμα 6.* [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Aco\\_branches.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Aco_branches.svg)

*Σχήμα 7.*Thiemo Krink, [http://staff.washington.edu/paymana/swarm/krink\\_01.pdf](http://staff.washington.edu/paymana/swarm/krink_01.pdf)

*Σχήμα 8.* . Raghavendra V. Kulkarni, Anna Förster and Ganesh Kumar Venayagamoorthy,

(2011). “Computational Intelligence in Wireless Sensor Networks:A Survey”, IEEE Communications Surveys & Tutorials, VOL. 13, NO. 1,pp 63-96.

*Σχήμα 9α.* <http://www.emartee.com/product/41799/>

### **Εξώφυλλο**

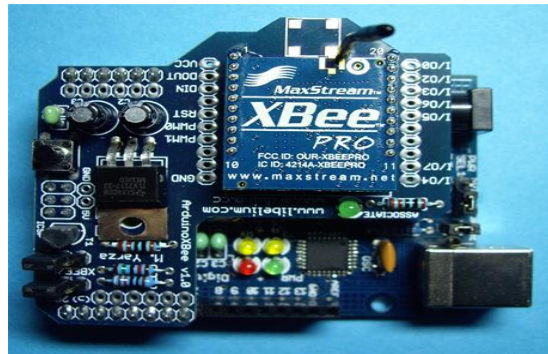
*Εικόνα 1.* <http://www.ece.ncsu.edu/wireless/wsn.html>

*Εικόνα 2.* <http://www1.i2r.a-star.edu.sg/~htang/research.html>

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### Μελέτη Δημιουργίας Πλατφόρμας Πραγματικού Χρόνου για Εφαρμογές WSNs

Η πλατφόρμα αποτελείται από 10 ομότιμους κόμβους. Ο κάθε κόμβος είναι μια πλακέτα Arduino (με open-source development tools) Σχήμα 9. Η ασύρματη επικοινωνία του κόμβου επιτυγχάνεται με το πρωτόκολλο ZigBee (πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται στα WSNs). Στο Arduino μπορούν να συνδεθούν διάφορα αισθητήρια με την μέθοδο plug and play. Ο προγραμματισμός του γίνεται σε Arduino (JAVA-like) και το πρόγραμμα γίνεται πολύ εύκολα download στην πλακέτα μέσω USB.



Σχήμα 9.

Η υλοποίηση ενός πρότυπου WSN με Arduino κρίνεται ιδανική λόγω α) του χαμηλού κόστους (κατά προσέγγιση 85€ για ένα κόμβο με Zigbee και ένα αισθητήριο) β) της γρήγορης προτυποποίησης του (rapid prototyping) γ) της υπολογιστικής ισχύς του (AVR microcontroller δυνατότητες εφάμιλλες με αυτών των WSNs) και δ) την ευκολία προγραμματισμού του.