



ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ Τ.Ε.Ι. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Τ.Ε.



Τμήμα Μηχανικών  
Πληροφορικής ΑΤΕΙΘ

**Πτυχιακή εργασία**

# **Εφαρμογές Υπολογιστικής Νοημοσύνης στις Ασύρματες Επικοινωνίες**



**Της φοιτήτριας  
Ριζούλη Βικτώριας  
Αρ. Μητρώου: 093437**

**Επιβλέπων καθηγητής  
Δρ. Αδαμίδης Παναγιώτης**

**Θεσσαλονίκη 2014**

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή έχει ως στόχο την ανασκόπηση θεμάτων εφαρμογής τεχνικών υπολογιστικής νοημοσύνης, για την επίλυση προβλημάτων στο χώρο των ασύρματων επικοινωνιών.

Αρχικά, γίνεται αναφορά στις τεχνολογίες, τις τεχνικές και τις εφαρμογές, που υπάρχουν και υλοποιούνται, τόσο στο χώρο της υπολογιστικής νοημοσύνης, όσο και στο χώρο των ασύρματων επικοινωνιών.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται αναλυτικά οι αλγόριθμοι, τα πρωτόκολλα, οι προσεγγίσεις, οι αναλύσεις – μελέτες και οι εφαρμογές, που περιγράφουν, αναλύουν και συγκρίνουν τη συμπεριφορά διαφόρων παραμέτρων, χαρακτηριστικών και τεχνολογιών των ασύρματων επικοινωνιών, ως προς τη χρήση και την ενσωμάτωση τεχνολογιών της υπολογιστικής νοημοσύνης.

Ακολούθως, εξάγονται τα τελικά συμπεράσματα, όπου αναδεικνύονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της εφαρμογής των τεχνικών υπολογιστικής νοημοσύνης, σε ασύρματα δίκτυα και σε κινητά υπολογιστικά συστήματα. Παράλληλα, παρουσιάζονται σχετικές προτάσεις βελτίωσης των ήδη υπαρχόντων υλοποιήσεων, αλλά και νέες υλοποιήσεις, που έχουν να προσφέρουν σημαντικά οφέλη στον κλάδο, αλλά και στην ανθρωπότητα.

## **ABSTRACT**

This thesis is the result of the reviewing process of implementation issues of computational intelligence techniques to solve problems in the field of wireless communications.

Initially, a review of technologies, techniques and applications, in the fields of computational intelligence and in the field of wireless communications is presented.

Then we present algorithms, protocols, approaches, studies and applications, which describe, analyze and compare the behavior of different parameters, characteristics and technologies of wireless communications, when applying computational intelligence methods.

Subsequently, we draw the final conclusions, which highlight the advantages and disadvantages of applying computational intelligence techniques in wireless networks and mobile computing. Finally, we present some proposals/suggestions, for improving existing implementations and creating new ones which may provide significant benefits to the industry, but also to humanity.

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>7</b>
<b>2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ.....</b>	<b>9</b>
2.1. Εισαγωγή .....	10
2.2. Ιστορική Αναδρομή.....	11
2.3. Τεχνολογίες Υπολογιστικής Νοημοσύνης.....	12
2.3.1. Ασαφής Λογική .....	12
2.3.2. Εξελικτικοί Αλγόριθμοι.....	13
2.3.3. Νευρωνικά Δίκτυα .....	16
2.3.4. Νοημοσύνη του σμήνους .....	17
2.3.5. Τεχνητά ανοσοποιητικά συστήματα .....	17
2.3.6. Βελτιστοποίηση της αποικίας των μυρμηγκιών .....	19
2.4. Εφαρμογές υπολογιστικής νοημοσύνης .....	20
2.5. Συμπεράσματα .....	21
<b>3. ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ.....</b>	<b>22</b>
3.1. Εισαγωγή .....	23
3.2. Ιστορική Αναδρομή.....	23
3.3. Δίκτυα Πρόσβασης.....	24
3.3.1. Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων.....	24
3.3.2. Κινητά ad-hoc δίκτυα.....	26
3.3.3. Ποικίλα είδη ασύρματων δικτύων πρόσβασης .....	27
3.4. Στοιχεία δικτύου.....	28
3.5. Τεχνολογίες και συστήματα γενεών .....	30
3.6. Εφαρμογές ασύρματων επικοινωνιών .....	32
3.7. Συμπεράσματα .....	33
<b>4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ ΚΑΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ...</b>	<b>35</b>
4.1. Υπολογιστική νοημοσύνη και αλγόριθμοι ασύρματων δικτύων αισθητήρων .....	36
4.2. Υπολογιστική νοημοσύνη και αλγόριθμοι MANETs .....	39
4.3. Υπολογιστική νοημοσύνη και αλγόριθμοι διαφόρων άλλων τομέων των ασύρματων δικτύων.....	41
4.4. Συμπεράσματα .....	44
<b>5. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ ΚΑΙ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ.</b>	<b>45</b>

5.1. Υπολογιστική νοημοσύνη και πρωτόκολλα ασύρματων δικτύων αισθητήρων.....	46
5.2. Υπολογιστική νοημοσύνη και πρωτόκολλα στα MANETs.....	48
5.3. Συμπεράσματα .....	52
<b>6. ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗΣ ΣΤΙΣ ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ.....</b>	<b>53</b>
6.1. Προσεγγίσεις εφαρμογής υπολογιστικής νοημοσύνης στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων .....	54
6.2. Προσεγγίσεις εφαρμογής υπολογιστικής νοημοσύνης στα κινητά ad-hoc δίκτυα .....	57
6.3. Προσεγγίσεις εφαρμογής υπολογιστικής νοημοσύνης σε διάφορους άλλους τομείς των ασύρματων δικτύων .....	62
6.4. Συμπεράσματα .....	65
<b>7. ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ – ΜΕΛΕΤΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗΣ ΣΤΙΣ ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ .....</b>	<b>67</b>
7.1. Μελέτες εφαρμογών υπολογιστικής νοημοσύνης στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων	68
7.2. Μελέτες εφαρμογών υπολογιστικής νοημοσύνης στα κινητά ad-hoc δίκτυα.....	73
7.3. Μελέτες εφαρμογών υπολογιστικής νοημοσύνης σε διάφορους άλλους τομείς των ασύρματων δικτύων .....	77
7.4. Συμπεράσματα .....	85
<b>8. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗΣ ΣΤΙΣ ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ</b>	<b>86</b>
8.1. Εφαρμογές ασαφούς λογικής στις ασύρματες επικοινωνίες .....	87
8.2. Εφαρμογές λογικής βιολογικών συστημάτων στις ασύρματες επικοινωνίες .....	90
8.3. Εφαρμογές διαφόρων τομέων της υπολογιστικής νοημοσύνης στις ασύρματες επικοινωνίες .....	96
8.4. Συμπεράσματα .....	98
<b>9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ .....</b>	<b>99</b>
9.1. Σύνοψη.....	100
9.2. Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα εφαρμογής των τεχνικών υπολογιστικής νοημοσύνης στις ασύρματες επικοινωνίες.....	108
9.3. Μελλοντικές προτάσεις.....	111
<b>10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>125</b>

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1 - Γενική αρχιτεκτονική ασαφούς συστήματος.....	12
Εικόνα 2.1 - Ανασυνδιασμός με ένα σημείο κοπής .....	14
Εικόνα 2.2 - Μετάλλαξη σε 2 σημεία του ατόμου .....	15
Σχήμα 2.2 - Διάγραμμα ροής λειτουργίας ενός εξελικτικού αλγορίθμου .....	15
Πίνακας 2.1 - Υπολογιστική νοημοσύνη σε διάφορους τομείς επίλυσης προβλημάτων .....	21
Πίνακας 9.1 - Εφαρμογή ασαφούς λογικής σε διάφορους τομείς των ασύρματων επικοινωνιών .....	102
Πίνακας 9.2 - Εφαρμογή εξελικτικών αλγορίθμων σε διάφορους τομείς των ασύρματων επικοινωνιών .....	103
Πίνακας 9.3 – Εφαρμογή βελτιστοποίησης της αποικίας μυρμηγκιών σε διάφορους τομείς των ασύρματων επικοινωνιών .....	105
Πίνακας 9.4 – Εφαρμογή νοημοσύνης σμήνους σε διάφορους τομείς των ασύρματων επικοινωνιών .....	106
Πίνακας 9.5 – Εφαρμογή τεχνητών ανοσοποιητικών συστημάτων σε διάφορους τομείς των ασύρματων επικοινωνιών .....	107
Πίνακας 9.6 - Εφαρμογή νευρωνικών δικτύων σε διάφορους τομείς των ασύρματων επικοινωνιών .....	108
Πίνακας 9.7 – Συγκρίσεις τεχνολογιών υπολογιστικής νοημοσύνης σε συστήματα και εφαρμογές.....	110
Πίνακας 9.8 – Μελλοντικές προτάσεις προς υλοποίηση .....	120

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως βασικό της σκοπό την ανασκόπηση τεχνικών εφαρμογής της υπολογιστικής νοημοσύνης, οι οποίες έχουν ως στόχο τους την επίλυση προβλημάτων στο χώρο των ασύρματων επικοινωνιών.

Από τη μια πλευρά, βρίσκεται η υπολογιστική νοημοσύνη που είναι ένα σύνολο υπολογιστικών μεθόδων και προσεγγίσεων εμπνευσμένο από τη φύση, που χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση πολύπλοκων προβλημάτων του πραγματικού κόσμου, στα οποία οι παραδοσιακές προσεγγίσεις, δηλαδή, οι πρώτες αρχές μοντελοποίησης ή τα ρητά στατιστικά μοντέλα, είναι αναποτελεσματικά ή ανέφικτα. Κάποιες από τις βασικές τεχνολογίες της υπολογιστικής νοημοσύνης, μεταξύ άλλων περιλαμβάνουν την ασαφή λογική, τους εξελικτικούς αλγορίθμους, τα νευρωνικά δίκτυα, τη νοημοσύνη σμήνους, τα τεχνητά ανοσοποιητικά συστήματα και τη βελτιστοποίηση της αποικίας μυρμηγκιών. Επίσης, η υπολογιστική νοημοσύνη είναι ένας επιστημονικός κλάδος, χρήσιμος σε όλους τους κλάδους των θετικών επιστημών, γιατί μέσω τεχνολογιών και εφαρμογών, είναι δυνατόν να προσφέρει βασικά μαθηματικά και υπολογιστικά εργαλεία για την επίλυση πρακτικών προβλημάτων μηχανικής μάθησης, βελτιστοποίησης απόφασης και ελέγχου, σε όλες τις περιοχές της σύγχρονης επιστημονικής και τεχνολογικής δραστηριότητας.

Από την άλλη πλευρά βρίσκονται οι ασύρματες επικοινωνίες που είναι ένα είδος επικοινωνίας δεδομένων που εκτελείται και παραδίδεται ασύρματα. Ωστόσο, πρόκειται για έναν ευρύ όρο που ενσωματώνει όλες τις διαδικασίες και τις μορφές σύνδεσης και επικοινωνίας μεταξύ δύο ή περισσότερων συσκευών χρησιμοποιώντας ένα ασύρματο σήμα μέσω των τεχνολογιών ασύρματης επικοινωνίας και των συσκευών. Στην παρούσα εργασία καταγράφονται και οριοθετούνται διάφορες κατηγορίες δικτύων πρόσβασης, κάποια από τα αρχιτεκτονικά τους στοιχεία και μερικές από τις τεχνολογίες που υλοποιούνται μέσω αυτών.

Μερικές εφαρμογές των ασύρματων επικοινωνιών είναι τα κινητά τηλέφωνα, η ασύρματη μεταφορά ενέργειας, οι ασύρματες επικοινωνίες δεδομένων, οι κινητές υπηρεσίες δεδομένων και οι κινητές δορυφορικές επικοινωνίες. Αναφορικά με την αξία των ασύρματων επικοινωνιών σημειώνεται ότι τα κυψελωτά δίκτυα των ασύρματων δικτύων πρόσβασης σήμερα είναι σε θέση να παρέχουν υπηρεσίες φωνής και δεδομένων, περίπου στον πληθυσμό του μισού πλανήτη. Ενώ, μέσω του πρωτοκόλλου επικοινωνίας IP και της μίμησης της αρχιτεκτονικής του Internet, κάθε χρήστης του διαδικτύου, έχει τη δυνατότητα επικοινωνήσει με οποιοδήποτε μέρος του πλανήτη ανά πάσα ώρα και χρονική στιγμή που θα το επιδιώξει.

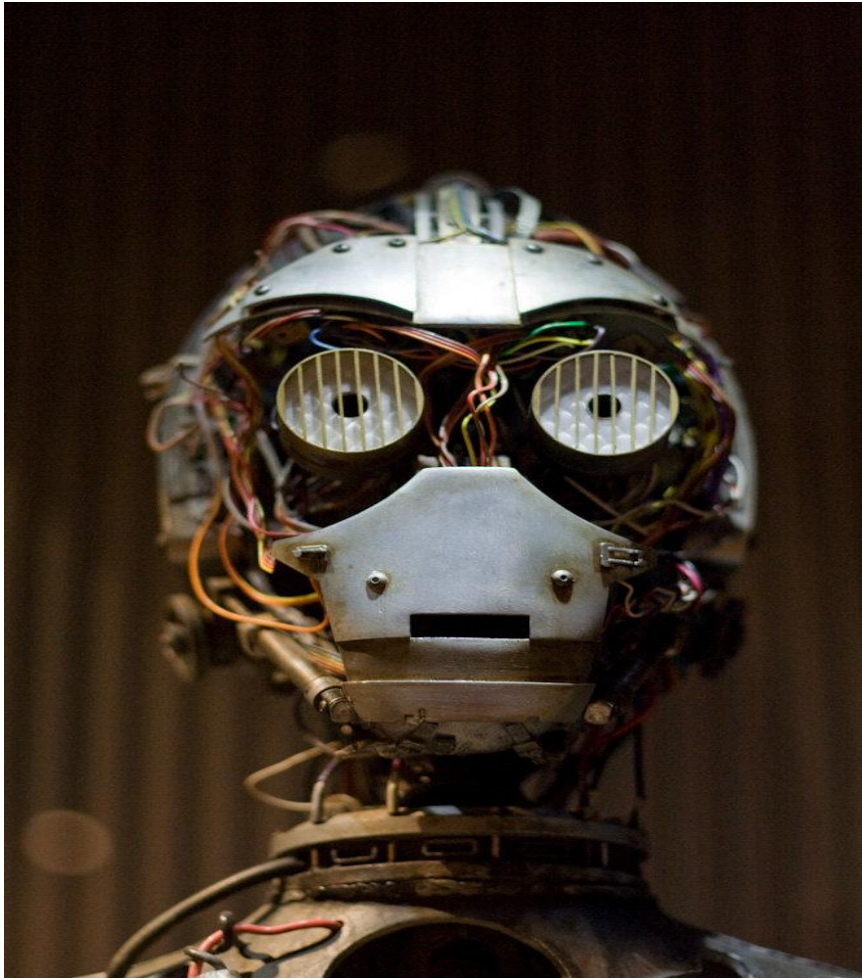
Οι δύο τομείς της υπολογιστικής νοημοσύνης και των ασύρματων επικοινωνιών ενώνονται μεταξύ τους μέσω αλγορίθμων, πρωτοκόλλων, προσεγγίσεων, αναλύσεων – μελετών και εφαρμογών, σε μια προσπάθεια υλοποίησης των τεχνολογιών υπολογιστικής νοημοσύνης σε στοιχεία των ασύρματων δικτύων, όπως είναι ο σταθμός βάσης, τα κινητά κέντρα μεταγωγής, καθώς επίσης και σε τεχνολογίες 3G ή 4G και συστήματα των ασύρματων επικοινωνιών, όπως είναι τα γνωστικά συστήματα ραδιοεπικοινωνιών, τα ασύρματα δίκτυα πλέγματος, τα κυψελωτά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, τα συστήματα δρομολόγησης ή αναγνώρισης προσώπων, τα WiMAX δίκτυα, τα ATM δίκτυα και τα CDMA, OFDMA και TDD συστήματα.

Ολοκληρώνοντας, παρουσιάζονται τα τελικά συμπεράσματα της πτυχιακής εργασίας, μέσα απ' τα οποία αναδεικνύονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της εφαρμογής των τεχνικών υπολογιστικής νοημοσύνης, σε ασύρματα δίκτυα και σε κινητά υπολογιστικά συστήματα. Παράλληλα, φανερώνονται και κάποιες σχετικές προτάσεις βελτιστοποίησης των ήδη υπαρχόντων υλοποιήσεων, όπως και η ανάδειξη νέων, που έχουν να προσφέρουν σημαντικά οφέλη στον κλάδο, αλλά και στην ανθρωπότητα.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

## ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ



Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται οι βασικές πτυχές της υπολογιστικής νοημοσύνης, μέσα από την περιγραφή των βασικών τεχνολογιών της, που μεταξύ άλλων περιλαμβάνουν την ασαφή λογική, τους εξελικτικούς αλγορίθμους, τα νευρωνικά δίκτυα, την νοημοσύνη σμήνους, τα τεχνητά ανοσοποιητικά συστήματα και τη βελτιστοποίηση της αποικίας μυρμηγκιών, ενώ παράλληλα πραγματοποιείται και η ανασκόπηση των εφαρμογών της, σε όλους τους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας, προκειμένου να διαπιστωθεί η συμβολή τους, στον κλάδο των ασύρματων επικοινωνιών και να προταθούν νέες εφαρμογές ή βελτιστοποιήσεις στις ήδη υπάρχουσες, που όμως θα συμβάλουν καθοριστικά στο μέλλον των ασύρματων επικοινωνιών.

## 2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ

### 2.1. Εισαγωγή

Η υπολογιστική νοημοσύνη, αναφέρεται ως μελέτη των προσαρμοστικών μηχανισμών που επιτρέπουν ή διευκολύνουν ευφυείς συμπεριφορές σε ένα σύνθετο και μεταβαλλόμενο περιβάλλον. Οι μηχανισμοί αυτοί περιλαμβάνουν παραδείγματα, τα οποία εμφανίζουν την ικανότητα να μαθαίνουν ή να προσαρμόζονται σε νέες καταστάσεις, να γενικεύουν, να αφαιρούν, να ανακαλύπτουν και να συμπληρώνουν (Forster, Kulkarni & Venayagamoorthy (2011)).

Η υπολογιστική νοημοσύνη επίσης, ορίζεται με τη χρήση υπολογιστικών μοντέλων και εργαλείων που παρουσιάζουν νοημοσύνη, ενώ παρέχουν ταυτόχρονα και τη δυνατότητα της εισαγωγής αριθμητικών δεδομένων άμεσα, της επεξεργασία τους, της εκμετάλλευσης της αναπαράστασής τους από τον παραλληλισμό και το πρόβλημα της διοχέτευσης (pipelining), το οποίο δημιουργεί αξιόπιστη και έγκαιρη αντιμετώπιση για υψηλή ανοχή σε σφάλματα. Με αποτέλεσμα, τα παραδείγματα της υπολογιστικής νοημοσύνης να έχουν σχεδιαστεί για να μοντελοποιήσουν τις πτυχές της βιολογικής νοημοσύνης.

Πολλά τέτοια προβλήματα της πραγματικής ζωής δεν θεωρούνται ότι είναι σαφώς καθορισμένα μαθηματικά προβλήματα, αλλά η φύση παρέχει πολλές φορές παραδείγματα βιολογικών συστημάτων που είναι σε θέση να εμφανίσουν την απαιτούμενη λειτουργία, πρακτικά. Επίσης οι κλασικές μέθοδοι, συχνά αποτυγχάνουν να χειριστούν καταστάσεις όπως την ύπαρξη αβεβαιότητας και την παρουσία θορύβου σε ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον.

Η υπολογιστική νοημοσύνη, παρέχει λύσεις σε τέτοιου είδους προβλήματα αλλά και σε ακόμη πιο σύνθετες και περίπλοκες εφαρμογές. Οι βασικές μεθοδολογίες περιλαμβάνουν κυρίως τεχνητά νευρωνικά δίκτυα, εξελικτικούς αλγορίθμους και ασαφή λογική. Μια σημαντική πτυχή της υπολογιστικής νοημοσύνης είναι η προσαρμοστικότητα που καλύπτεται από τα πεδία της μηχανικής μάθησης και των νευρωνικών δικτύων. Επιπλέον, περιλαμβάνει επίσης βιολογικά εμπνευσμένους αλγορίθμους όπως αυτοί που έχουν να κάνουν με την νοημοσύνη του σμήνους και τα τεχνητά ανοσοποιητικά συστήματα, οι οποίοι μπορεί να θεωρηθούν ως μέρος της υπολογιστικής που αφορά την εξέλιξη (Augusto, Cook & Jakkula (2009)).

## 2.2. Ιστορική Αναδρομή

Οι σκεπτόμενες μηχανές και τα τεχνητά μέσα ήδη δήλωσαν την εμφάνισή τους από την αρχαιότητα. Στην ελληνική μυθολογία μάλιστα, αναφέρονται συστήματα, όπως ο Τάλως της Κρήτης, το χάλκινο ρομπότ του Ηφαίστου και ο Πυγμαλίων της Γαλάτειας.

Επίσης, η μηχανική ή αλλιώς η επιστημονική τεκμηρίωση της επιστήμης έχει αναπτυχθεί από φιλοσόφους και μαθηματικούς από την αρχαιότητα. Η μελέτη της λογικής κυρίως, οδήγησε άμεσα στην εφεύρεση του προγραμματιζόμενου ψηφιακού ηλεκτρονικού υπολογιστή, ο οποίος βασίστηκε στις προσπάθειες του μαθηματικού Alan Turing και άλλων. Η θεωρία υπολογισμού του Turing πρότεινε ότι μια μηχανή, με ανασυνδυασμό απλών συμβόλων όπως το "0" και το "1", θα μπορούσε να προσομοιώσει οποιαδήποτε πράξη μαθηματικής επαγωγής.

Έτσι το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την ταυτόχρονη ανακάλυψη της νευρολογίας και της θεωρίας της πληροφορίας, ενέπνευσε μια μικρή ομάδα ερευνητών ώστε να αρχίσει να εξετάζει σοβαρά το ενδεχόμενο της δημιουργίας ενός ηλεκτρονικού εγκεφάλου. Έτσι, ιδρύεται το πεδίο της έρευνας της τεχνητής νοημοσύνης, σε ένα συνέδριο στην πανεπιστημιούπολη του Dartmouth College, το καλοκαίρι του 1956. Οι συμμετέχοντες, συμπεριλαμβανομένων των John McCarthy, Marvin Minsky, Allen Newell και Herbert Simon, έγιναν οι ηγέτες της έρευνας της τεχνητής νοημοσύνης για πολλές δεκαετίες (Back, Hammel & Schwefel (2002)).

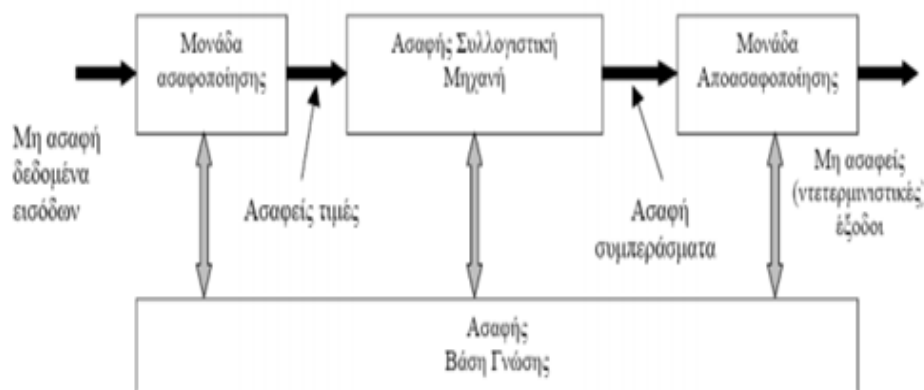
Παράλληλα, οι ίδιοι αλλά και οι μαθητές τους ασχολήθηκαν με τη συγγραφή προγραμμάτων που για τους περισσότερους ανθρώπους εκείνης της εποχής ήταν απλά εκπληκτικά. Γίνεται αναφορά σε υπολογιστικές μηχανές που είναι σε θέση να επιλύουν λεκτικά προβλήματα με τη βοήθεια της άλγεβρας, να αποδεικνύουν λογικά θεωρήματα και να μιλούν στα αγγλικά. Έτσι, από τα μέσα της δεκαετίας του 1960, η έρευνα στις ΗΠΑ σε μεγάλο βαθμό άρχισε να χρηματοδοτείται από το Υπουργείο Άμυνας, οπότε πραγματοποιείται η ίδρυση εργαστηρίων σε όλο τον κόσμο (Newell A. & Simon H. (2011)).

Οι ιδρυτές φάνηκαν βαθιά αισιόδοξοι για το μέλλον του νέου πεδίου, ενώ ο Herbert Simon, συγκεκριμένα προέβλεψε ότι «οι μηχανές θα είναι σε θέση, μέσα σε είκοσι χρόνια, να κάνουν οποιαδήποτε εργασία μπορεί να κάνει ένας άνθρωπος» και ο Minsky (2007), συμφώνησε γράφοντας ότι «μέσα σε μια γενιά...το πρόβλημα της δημιουργίας «τεχνητής νοημοσύνης» ουσιαστικά θα έχει επιλυθεί!»

## 2.3. Τεχνολογίες Υπολογιστικής Νοημοσύνης

### 2.3.1. Ασαφής Λογική

Η ασαφής λογική, θεωρείται ως ένα υπερέννολο της κλασικής λογικής, ενώ έχει επεκταθεί προκειμένου να μπορεί να χειριστεί τιμές αληθείας μεταξύ αυτού που ονομάζουμε απόλυτα αληθές και απόλυτα ψευδές. Επίσης βασική ιδέα της θεωρίας αυτής είναι ότι «η διαδικασία κατά την οποία μετατρέπονται τα διακριτά μεγέθη σε ασαφή επιτρέπει τη γενίκευση μιας διακριτής θεωρίας τόσο ώστε να μπορεί να θεωρηθεί συνεχόμενη» (Βασιλειάδης, Βλαχάβας, Κεφαλάς, Κόκκορας, & Σακελλαρίου (2011)).



Σχήμα 2. 1 - Γενική αρχιτεκτονική ασαφούς συστήματος

Η γενική αρχιτεκτονική δομή των ασαφών συστημάτων (Forster, Kulkarni & Venayagamoorthy (2011)), παρουσιάζεται στο σχήμα 2.1 και περιλαμβάνει τις εξής μονάδες:

1. Μία βάση ασαφών κανόνων της μορφής If...then...
  - ✓ Η ασαφής βάση γνώσης περιέχει συνήθως εκτός από τους ασαφείς κανόνες και ένα τμήμα βάσης αριθμητικών δεδομένων τα οποία απαιτούνται για τη διαδικασία εξαγωγής των αποτελεσμάτων. Οι κανόνες της βάσης γνώσης λαμβάνονται συνήθως από εμπειρογνώμονες και από διαδικασίες προσομοίωσης.
2. Μία ασαφής συλλογιστική μηχανή που αποτελεί και μηχανισμό εξαγωγής ασαφών συμπερασμάτων, ενώ περιέχει τη λογική μέσω της οποίας λαμβάνονται οι αποφάσεις.

3. Μία μονάδα ασαφοποίησης η οποία μετατρέπει τα δεδομένα εισόδου σε ασαφή σύνολα και εκτελεί τις παρακάτω εργασίες, δηλαδή:

- ✓ Παραλαμβάνει τις καθαρές τιμές των εισόδων του συστήματος.
- ✓ Απεικονίζει τις περιοχές μεταβολής των τιμών εισόδου σε κατάλληλα υπεрсύνολα αναφοράς.
- ✓ Ασαφοποιεί τις εισερχόμενες τιμές των εισόδων.

4. Μία μονάδα απο-ασαφοποίησης η οποία μετατρέπει τα ασαφή συμπεράσματα σε σαφώς καθορισμένη μορφή και εκτελεί τις εξής δύο εργασίες, δηλαδή:

- ✓ Απεικονίζει τις περιοχές μεταβολής των μεταβλητών εξόδου σε αντίστοιχα υπεрсύνολα αναφοράς
- ✓ Απο-ασαφοποιεί τα αποτελέσματα που δίνει η ασαφής συλλογιστική μηχανή, δηλαδή τα μετατρέπει σε καθαρές τιμές για χρήση από άλλα συστήματα ή διεργασίες απόφασης.

Τέλος, εκείνο που έχει σημασία τελικά είναι ότι με τη θεωρία των ασαφών συνόλων και της ασαφούς συλλογιστικής, προκύπτουν χρήσιμες και αποδοτικές λύσεις σε δύσκολα πρακτικά προβλήματα για τα οποία δεν έχουμε ακριβή μαθηματικά δεδομένα και μοντέλα (Βασιλειάδης, Βλαχάβας, Κεφαλάς, Κόκκορας, & Σακελλαρίου (2011)). Το γεγονός αυτό της αβεβαιότητας και της ανακρίβειας διατυπώθηκε από τον Zadeh ως μια αρχή την οποία ονόμασε «αρχή του ασυμβιβάστου» και λέει ότι:

«Καθώς η πολυπλοκότητα ενός συστήματος αυξάνει, η ικανότητά μας να προβαίνουμε σε ακριβείς και σημαντικές δηλώσεις για τη συμπεριφορά του μειώνεται μέχρι που να φτάσουμε σε ένα όριο (κατώφλι) πέρα από το οποίο ακρίβεια και σημαντικότητα ή σχετικότητα καθίστανται σχεδόν αμοιβαίως αποκλειόμενα χαρακτηριστικά».

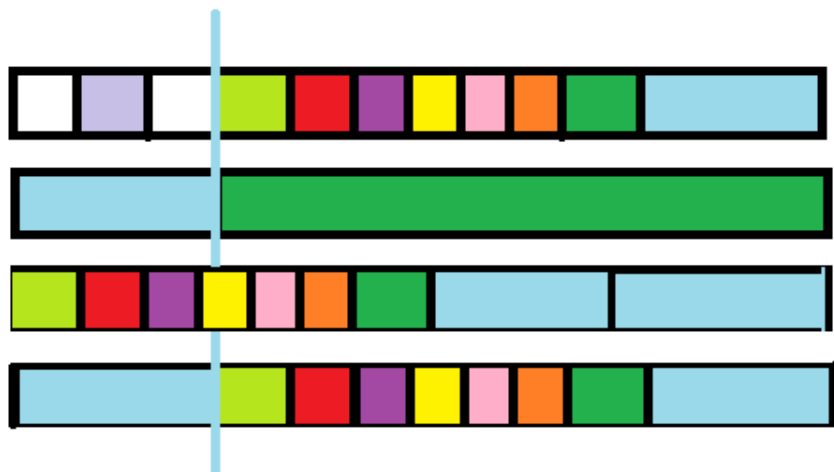
### **2.3.2. Εξελικτικοί Αλγόριθμοι**

Η εξελικτική διαδικασία των οργανισμών ενός περιβάλλοντος έχει ως αποτέλεσμα την επιλογή των καλύτερων ατόμων του πληθυσμού, έναντι άλλων όσον αφορά στην προσπάθειά τους για την επιβίωση του ικανότερου (Baeck, Fogel & Michalewicz (2000)).

Φυσικά το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ικανότητας ή της καταλληλότητας του πληθυσμού, σε μια προσπάθεια μεγιστοποίησης της συνάρτηση ποιότητας του πληθυσμού, δημιουργώντας ένα τυχαίο σύνολο υποψήφιων λύσεων (ατόμων), που θα αποτελέσουν ένα πληθυσμό από στοιχεία που περιέχονται στο διάστημα τιμών της συνάρτησης.

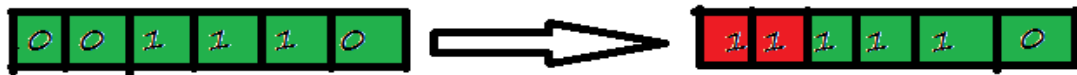
Στη συνέχεια εφαρμόζεται η συνάρτηση καταλληλότητας προκειμένου να αξιολογηθεί η καταλληλότητα των στοιχείων που επιλέχθηκαν. Στην περίπτωση μεγιστοποίησης της συνάρτησης, άτομα με υψηλότερη τιμή συνάρτησης ποιότητας είναι πιο κατάλληλα από άλλα με χαμηλότερη τιμή. Οι καλύτερες υποψήφιες λύσεις επιλέγονται για τη δημιουργία της επόμενης γενιάς λύσεων του προβλήματος.

Εξελικτικός κύκλος: Η διαδικασία κατά την οποία δημιουργείται η επόμενη γενιά υλοποιείται με την εφαρμογή κυρίως των γενετικών τελεστών του ανασυνδυασμού ή και της μετάλλαξης πάνω στα άτομα ενός πληθυσμού. Ο ανασυνδυασμός είναι ένας τελεστής που επεμβαίνει πάνω σε δυο ή περισσότερα άτομα του πληθυσμού των υποψήφιων λύσεων ανα-συνδυάζοντας το γενετικό τους υλικό και έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας ή περισσότερων νέων υποψήφιων λύσεων (εικόνα 2.1).



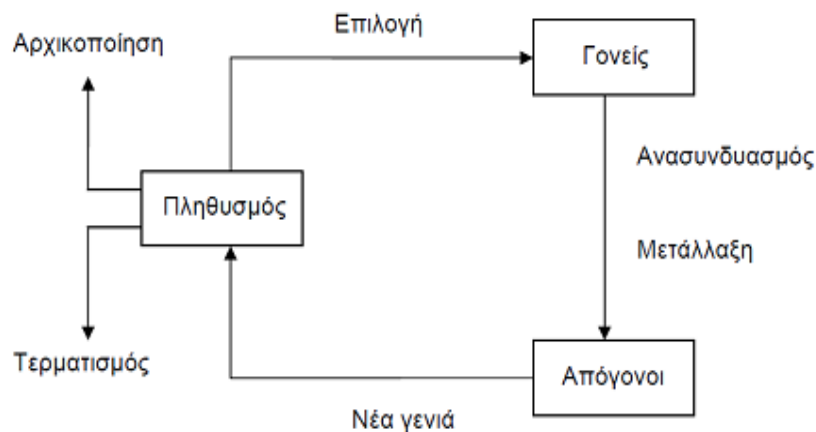
**Εικόνα 2. 1 - Ανασυνδυασμός με ένα σημείο κοπής**

Η μετάλλαξη επεμβαίνει πάνω σε ένα άτομο και έχει ως αποτέλεσμα ένα νέο άτομο. Η εφαρμογή τόσο του ανασυνδυασμού, όσο και της μετάλλαξης οδηγεί σε ένα νέο σύνολο υποψήφιων λύσεων, που ανταγωνίζονται μεταξύ τους και με τις παλαιότερες λύσεις με κριτήριο την ποιότητα/καταλληλότητα τους, για μια θέση στην επόμενη γενιά (εικόνα 2.2).



Εικόνα 2. 2 - Μετάλλαξη σε 2 σημεία του ατόμου

Ο εξελικτικός κύκλος επαναλαμβάνεται είτε μέχρι να βρεθεί μια υποψήφια λύση με επαρκή ποιότητα/καταλληλότητα για τα δεδομένα του προβλήματος, είτε μέχρι οι υπολογισμοί να φτάσουν σε ένα όριο ( σε σχέση με την ποιότητα των ατόμων ή τους υπολογιστικούς πόρους), το οποίο έχει ορίσει ο χρήστης από την αρχή. Στο σχήμα 2.2 δίνεται ο τρόπος λειτουργίας ενός Εξελικτικού Αλγόριθμου (Τζαφέστας, 2008).



Σχήμα 2. 2 - Διάγραμμα ροής λειτουργίας ενός εξελικτικού αλγορίθμου

Για να καθοριστεί ένας εξελικτικός αλγόριθμος, απαραίτητη προϋπόθεση είναι να προσδιοριστούν τα συστατικά, οι διαδικασίες και οι τελεστές που παίρνουν μέρος. Μερικά από τα σημαντικότερα στοιχεία ενός εξελικτικού αλγορίθμου (Τζαφέστας, 2008).

- Αναπαράσταση.
- Πληθυσμός.
- Τελεστές διαποίκισης.
- Αρχικοποίηση.
- Συνάρτηση αξιολόγησης.
- Μηχανισμός επιλογής γονέων.
- Μηχανισμός επιβίωσης.
- Συνθήκη τερματισμού.

### 2.3.3. Νευρωνικά Δίκτυα

Το νευρωνικό δίκτυο είναι ένα δίκτυο που αποτελείται από απλούς υπολογιστικούς κόμβους (νευρώνες), διασυνδεδεμένους μεταξύ τους και έχει σαν στόχο την υπολογιστική προσομοίωση της λειτουργίας των βιολογικών νευρωνικών δικτύων με βάση κάποιο μαθηματικό μοντέλο (Τζαφέστας (2008)).

Είναι εμπνευσμένο από το κεντρικό νευρικό σύστημα, το οποίο και προσπαθεί να προσομοιώσει. Οι νευρώνες είναι τα δομικά στοιχεία του δικτύου. Κάθε τέτοιος κόμβος δέχεται ένα σύνολο αριθμητικών εισόδων από διαφορετικές πηγές, είτε από άλλους νευρώνες, είτε από το περιβάλλον, επιτελεί έναν υπολογισμό με βάση αυτές τις εισόδους και παράγει μία έξοδο (Muller, Reinhardt & Strickland).

Η εν λόγω έξοδος είτε κατευθύνεται στο περιβάλλον, είτε τροφοδοτείται ως είσοδος σε άλλους νευρώνες του δικτύου. Υπάρχουν τρεις τύποι νευρώνων: οι νευρώνες εισόδου, οι νευρώνες εξόδου και οι υπολογιστικοί νευρώνες ή κρυμμένοι νευρώνες. Οι νευρώνες εισόδου δεν επιτελούν κανέναν υπολογισμό, μεσολαβούν απλώς ανάμεσα στις περιβαλλοντικές εισόδους του δικτύου και στους υπολογιστικούς νευρώνες. Οι νευρώνες εξόδου διοχετεύουν στο περιβάλλον τις τελικές αριθμητικές εξόδους του δικτύου.

Οι υπολογιστικοί νευρώνες πολλαπλασιάζουν κάθε είσοδό τους με το αντίστοιχο συναπτικό βάρος και υπολογίζουν το ολικό άθροισμα των γινομένων. Το άθροισμα αυτό τροφοδοτείται ως όρισμα στη συνάρτηση ενεργοποίησης, την οποία υλοποιεί εσωτερικά κάθε κόμβος. Η τιμή που λαμβάνει η συνάρτηση για το εν λόγω όρισμα είναι και η έξοδος του νευρώνα για τις τρέχουσες εισόδους και βάρη.

Όπως είναι φανερό, οι αριθμοί οι οποίοι συναποτελούν το διάνυσμα εισόδου (κάθε στοιχείο του διανύσματος τροφοδοτείται συνήθως κατά τη λειτουργία του δικτύου σε έναν νευρώνα εισόδου), αλλά και οι αριθμοί οι οποίοι συναποτελούν το διάνυσμα εξόδου (κάθε στοιχείο του οποίου εμφανίζεται, μετά το πέρας του ολικού υπολογισμού, σε έναν νευρώνα εξόδου), περιγράφουν χαρακτηριστικά του προς επίλυση προβλήματος.

Συνήθως αυτό που μας ενδιαφέρει είναι το δίκτυο να απεικονίζει με ορθό τρόπο διανύσματα εισόδου σε κατάλληλα διανύσματα εξόδου, μέσω της υλοποίησης μίας συνάρτησης πολλαπλών μεταβλητών, κατά κανόνα περίπλοκης και με ακριβή τύπο. Τέτοιες απεικονίσεις έχουν εφαρμογή σε ποικιλία τομέων της επιστήμης και της τεχνολογίας, αφού



λειτουργούν ως αριθμητικά μοντέλα για πολλά διαφορετικά ζητήματα. Το ίδιο δίκτυο μπορεί να υλοποιήσει άπειρες διαφορετικές απεικονίσεις, μία για κάθε διαφορετική επιλογή του συνόλου συναπτικών βαρών. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται κάποιες συναρτήσεις ενεργοποίησης (Τζαφέστας, 2008).

- Βηματική (step transfer function).
- Γραμμική (linear transfer function).
- Μη γραμμική (non-linear transfer function).
- Στοχαστική (stochastic transfer function).

### **2.3.4. Νοημοσύνη σμήνους**

Με τον όρο νοημοσύνη σμήνους, γίνεται αναφορά στη συλλογική συμπεριφορά των αποκεντρωμένων, αυτο-οργανωμένων συστημάτων, φυσικών ή τεχνητών. Τα συστήματα που εφαρμόζουν νοημοσύνη σμήνους τυπικά αποτελούνται από έναν πληθυσμό απλών παραγόντων που αλληλεπιδρούν τοπικά μεταξύ τους αλλά και με το περιβάλλον τους (Eberhart & Kennedy (2001),).

Φυσικά παραδείγματα συστημάτων περιλαμβάνουν οι αποικίες μυρμηγκιών, τα σμήνη πουλιών, τα ζώα βοσκής και οι ιχθείς. Ενώ, τέλος για να οριστεί ότι ένα σύστημα έχει νοημοσύνη σμήνους θα πρέπει να είναι ένα σύστημα πολλαπλών πρακτόρων που είναι αυτο-οργανωμένο και δείχνει κάποια ευφυή συμπεριφορά.

### **2.3.5. Τεχνητά ανοσοποιητικά συστήματα**

Στην επιστήμη των υπολογιστών, τα τεχνητά ανοσοποιητικά συστήματα είναι μια κατηγορία ευφυών υπολογιστικών συστημάτων που είναι εμπνευσμένα από τις αρχές λειτουργίας και τις διαδικασίες των ανοσοποιητικών συστημάτων των σπονδυλωτών. Ενώ οι αλγόριθμοι εκμεταλλεύονται τα τυπικά χαρακτηριστικά του ανοσοποιητικού συστήματος της μάθησης και της μνήμης για την επίλυση ενός προβλήματος (De Castro & Von Zuben (1999)).

Το πεδίο των τεχνητών ανοσοποιητικών συστημάτων ασχολείται με τις αφαιρετικές δομές και τη λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος σε υπολογιστικά συστήματα, καθώς και με τη διερεύνηση εφαρμογών αυτών των συστημάτων για την επίλυση υπολογιστικών προβλημάτων από τα μαθηματικά, τη μηχανική και την πληροφορική.

Τα τεχνητά ανοσοποιητικά συστήματα, είναι προσαρμοστικά συστήματα, εμπνευσμένα από τη θεωρητική ανοσολογία και παρατηρούν τη λειτουργία, τις αρχές και τα πρότυπα του ανοσοποιητικού συστήματος, τα οποία εφαρμόζονται για την επίλυση προβλημάτων.

Οι κοινές τεχνικές είναι εμπνευσμένες από ειδικές ανοσολογικές θεωρίες που εξηγούν τη λειτουργία και τη συμπεριφορά του προσαρμοσμένου ανοσοποιητικού συστήματος των θηλαστικών (De Castro & Von Zuben (1999)).

- ✓ Αλγόριθμοι επιλογής κλώνου: Μια κατηγορία αλγορίθμων εμπνευσμένων από την θεωρία της επιλογής κλώνου και την θεωρία που αφορά την επίκτητη ανοσίας που εξηγεί πώς τα Β και τα Τ λεμφοκύτταρα, με την πάροδο του χρόνου είναι σε θέση να αντιμετωπίζονται ως αντιγόνα μέσω μιας διαδικασίας που είναι γνωστή και ως ωρίμανση συγγένειας. Τέλος οι αλγόριθμοι επιλογής κλώνου συνήθως εφαρμόζονται σε τομείς όπως αυτοί της βελτιστοποίησης και της αναγνώρισης προτύπων.
- ✓ Αλγόριθμοι αρνητικής επιλογής: Εμπνευσμένοι από τις θετικές και αρνητικές διαδικασίες επιλογής που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης των Τ κυττάρων που ονομάζονται και Τ κύτταρα ανοχής. Ο αλγόριθμος αρνητικής επιλογής αναφέρεται στην ταυτοποίηση και τη διαγραφή της αυτο-αντίδρασης των κυττάρων που επιτίθενται σε ιστούς. Αυτή η κατηγορία αλγορίθμων χρησιμοποιείται συνήθως σε προβλήματα που αφορούν την ταξινόμηση και την αναγνώριση προτύπων όπου ο χώρος των λύσεων του προβλήματος, ενώ εντοπίζεται σε όλο το φάσμα των διαθέσιμων γνώσεων.
- ✓ Αλγόριθμοι ανοσοποιητικών δικτύων: Αυτή η κατηγορία των αλγορίθμων επικεντρώνεται στην αναπαράσταση των δομών σε γραφήματα δικτύου όπου τα αντισώματα ή τα κύτταρα που παράγουν αντισώματα αντιπροσωπεύουν τους κόμβους και ο αλγόριθμος εκπαίδευσης αναφέρεται στην ανάπτυξη ή στην περικοπή των κόμβων με βάση τη συγγένεια δηλαδή την ομοιότητα στο χώρο αναπαράστασης προβλημάτων. Τέλος, αλγόριθμοι του ανοσοποιητικού δικτύου έχουν χρησιμοποιηθεί για την ομαδοποίηση, την οπτικοποίηση δεδομένων, τον έλεγχο, τη βελτιστοποίηση ορισμένων τομέων και το διαμοιρασμό ιδιοτήτων με τεχνητά νευρωνικά δίκτυα.

### 2.3.6. Βελτιστοποίηση αποικίας μυρμηγκιών

Στην επιστήμη των υπολογιστών και της επιχειρησιακής έρευνας, οι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης αποικίας μυρμηγκιών αποτελούν μια τεχνική βασισμένη στις πιθανότητες που χρησιμοποιούνται για την επίλυση υπολογιστικών προβλημάτων βρίσκοντας βέλτιστες διαδρομές μέσα από γραφήματα (Aggarwal & Jaiswal (2011)).

Στο φυσικό κόσμο, τα μυρμήγκια αρχικά περιπλανώνται τυχαία προκειμένου να βρουν τροφή σε μια απόσταση αρκετά κοντά στην αποικία τους, ενώ χρησιμοποιούν το περιβάλλον ως μέσο επικοινωνίας και ανταλλάσσουν πληροφορίες έμμεσα με την απόθεση φερομόνης. Η ανταλλαγή πληροφοριών μπορεί να έχει τοπική εμβέλεια, γεγονός που σημαίνει ότι εάν άλλα μυρμήγκια βρουν μια τέτοια πορεία, είναι πιθανό να την ακολουθήσουν και να την ενισχύσουν σε περίπτωση που βρουν τελικά την τροφή. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται «Stigmergy» και εμφανίζεται σε πολλές οργανωμένες κοινωνίες ζώων και αποτελεί ένα καλό παράδειγμα αυτο-οργανωμένου συστήματος.

Το σύστημα αυτό, βασίζεται στη θετική ανάδραση που έχει να κάνει με το γεγονός ότι η κατάθεση της φερομόνης προσελκύει άλλα μυρμήγκια που θα ενισχύσουν τη διαδρομή, αλλά και την αρνητική ανάδραση, όπου μέσω της εξάτμισης αποτρέπεται η άσκοπη περιφορά των μυρμηγκιών. Θεωρητικά, εάν η ποσότητα της φερομόνης παρέμεινε η ίδια με την πάροδο του χρόνου σε όλες τις ακμές, καμία διαδρομή δεν θα επιλεγόταν.

Ωστόσο, λόγω της ανάδρασης, μια ελαφρά παραλλαγή σε μια άκρη θα μπορούσε να επιτρέψει την επιλογή μιας άλλης ακμής. Επίσης όσο περισσότερο χρόνο χρειάζεται ένα μυρμήγκι να ταξιδέψει ακολουθώντας μια συγκεκριμένη πορεία και να επιστρέψει, τόσο περισσότερο χρόνο έχουν οι φερομόνες για να εξατμιστούν. Οπότε, σε κάθε περίπτωση έπειτα από την εξάτμιση της φερομόνης προκύπτει πάντα ένα μονοπάτι.

Τέλος η εξάτμιση της φερομόνης έχει το πλεονέκτημα της αποφυγής σύγκλισης σε τοπικά βέλτιστα. Η ιδέα του αλγορίθμου είναι να μιμούνται αυτή τη συμπεριφορά προσομοιώνοντας τη μετακίνηση των μυρμηγκιών γύρω από το γράφημα που αντιπροσωπεύει και τη λύση του προβλήματος. Συνεπώς όταν ένα μυρμήγκι ολοκληρώνει μια λύση, ή κατά τη φάση κατασκευής, το μυρμήγκι αξιολογεί τη λύση και τροποποιεί την τιμή σύμφωνα με τα συστατικά που χρησιμοποιούνται.

## 2.4. Εφαρμογές υπολογιστικής νοημοσύνης

Οι εφαρμογές της υπολογιστικής νοημοσύνης εκτείνονται σε όλους τους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας και εφαρμόζονται σε συστήματα και διαδικασίες οι οποίες απαιτούν μια οι περισσότερες, από τις παρακάτω λειτουργίες (Τζαφέστας, 2008).

- Προσέγγιση συναρτήσεων και απεικονίσεων.
- Μοντελοποίηση στατικών και δυναμικών συστημάτων.
- Αναγνώριση και ταξινόμηση προτύπων και γενικά διαδικασιών.
- Εκτίμηση και πρόβλεψη χρονοσειρών και ανελίξεων.
- Βελτιστοποίηση διεργασιών και συστημάτων.
- Επεξεργασία σημάτων και δεδομένων.
- Εντοπισμός και αναγνώριση βλαβών και ανωμαλιών.
- Επιλογή λύσεων και λήψη αποφάσεων.
- Ρύθμιση και έλεγχο βιομηχανικών και μη βιομηχανικών συστημάτων.

Σημαντική είναι η συμβολή της υπολογιστικής νοημοσύνης και σε διάφορους άλλους τομείς επίλυσης προβλημάτων (πίνακας 2.1).

**Πίνακας 2. 1 - Υπολογιστική νοημοσύνη σε διάφορους τομείς επίλυσης προβλημάτων**

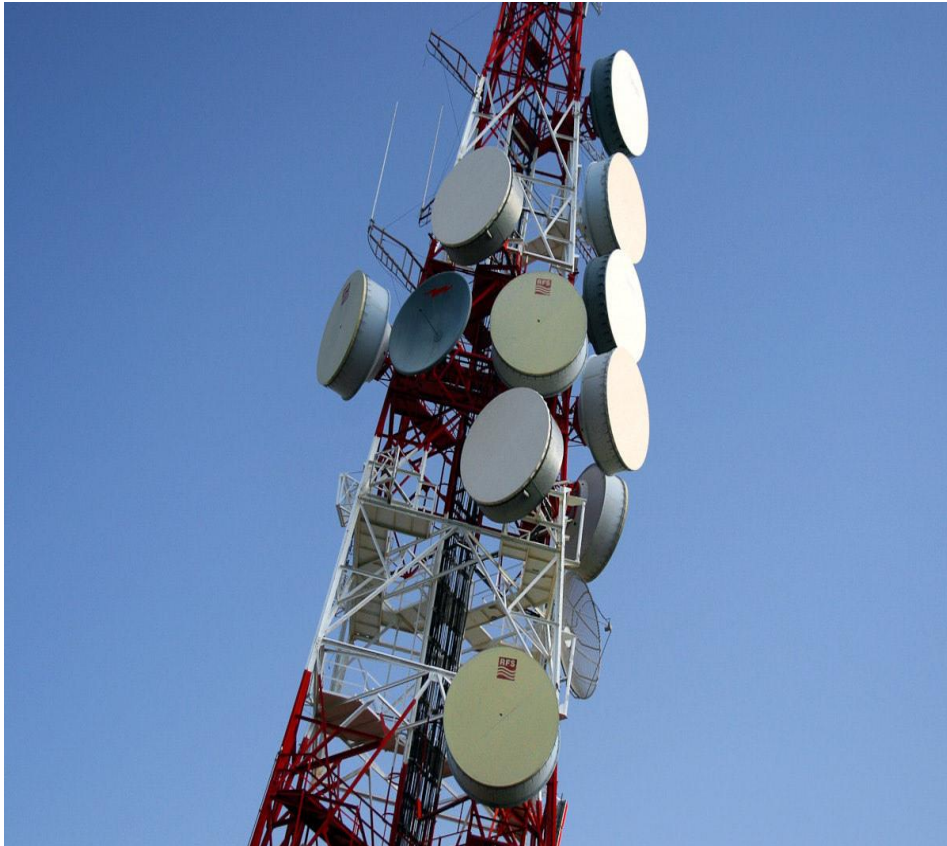
Στο χώρο της αναγνώρισης προτύπων	Στο χώρο του αυτόματου ελέγχου	Στο χώρο των επιχειρησιακών, διοικητικών και οικονομικών συστημάτων
ταξινόμηση και αναγνώριση κειμένου	αναγνώριση συστήματος	χρονοπρογραμματισμός & σχεδιασμός εργασιών
μάθηση χαοτικής ακολουθίας	μη γραμμικό φιλτραρίσμα και έλεγχος	επιλογή & οργάνωση του προσωπικού επιχειρήσεων
πρόβλεψη νικητή ποδοσφαιρικών αγώνων	μη γραμμική βελτιστοποίηση	καθορισμός τιμολογιακών πολιτικών
επεξεργασία ψηφιακών εικόνων	έλεγχος μάθησης	επιλογή τροφοδοτών & βελτιστοποίηση της παραγωγής βιομηχανικών προϊόντων
αναγνώριση φωνής	βέλτιστος & προβλεπτικός έλεγχος	δίκτυα διανομής προϊόντων
αναγνώριση χειρόγραφων χαρακτήρων	προσαρμοστικός & σθεναρός έλεγχος	σχεδίαση συστημάτων & υποστήριξη αποφάσεων
συμπύεση εικόνας	έλεγχος εσωτερικού μοντέλου	ανανέωση εξοπλισμού/ μοντερνοποίησης βιομηχανικών συστημάτων

## 2.5. Συμπεράσματα

Η υπολογιστική νοημοσύνη είναι ένας νέος επιστημονικός κλάδος, χρήσιμος σε όλους τους κλάδους των θετικών επιστημών, γιατί μέσω τεχνολογιών και εφαρμογών, είναι δυνατόν να προσφέρει βασικά μαθηματικά και υπολογιστικά εργαλεία για την επίλυση πρακτικών προβλημάτων μηχανικής μάθησης, βελτιστοποίησης απόφασης και ελέγχου, σε όλες τις περιοχές της σύγχρονης επιστημονικής και τεχνολογικής δραστηριότητας.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

## ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ



Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται οι βασικές πτυχές των ασύρματων επικοινωνιών, μέσα από την περιγραφή των διαφόρων κατηγοριών δικτύων πρόσβασης, τεχνολογιών και συστημάτων, που αναπτύσσονται ανά γενιά ανάπτυξης και κάποιων από τα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά των ασύρματων δικτύων που μεταξύ άλλων περιλαμβάνουν σταθμούς ελέγχου βάσης και κινητά κέντρα μεταγωγής. Παράλληλα πραγματοποιείται η ανασκόπηση των εφαρμογών των ασύρματων επικοινωνιών, σε όλους τους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας, προκειμένου να καταλήξουμε σε προτάσεις ανάπτυξης νέων ασύρματων δικτύων ή βελτίωσης ορισμένων χαρακτηριστικών τους, μέσω της εφαρμογής τεχνολογιών της υπολογιστικής νοημοσύνης, οι οποίες θα συμβάλλουν καθοριστικά στο μέλλον των ασύρματων επικοινωνιών.

## 3. ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

### 3.1. Εισαγωγή

Ο όρος ασύρματη επικοινωνία, αφορά τη μεταφορά πληροφοριών μεταξύ δύο ή περισσότερων σημείων, που δεν είναι συνδεδεμένα με ένα ηλεκτρικό αγωγό. Επίσης, ευρεία γίνεται η χρήση της στον κλάδο των τηλεπικοινωνιών και σε κάποια συστήματα, όπως είναι οι ραδιοπομποί, οι δέκτες και τα τηλεχειριστήρια, που χρησιμοποιούν κάποια μορφή ενέργειας όπως είναι τα ραδιοκύματα ή η ηχητική ενέργεια για τη μεταφορά πληροφοριών. Οι πληροφορίες μεταφέρονται με τον τρόπο αυτό τόσο σε μικρές, όσο και σε μεγάλες αποστάσεις (Goldsmith (2005)).

Επίσης, οι ασύρματες λειτουργίες επιτρέπουν υπηρεσίες μακράς εμβέλειας, οι οποίες είναι αδύνατο ή ανέφικτο να εφαρμοστούν με τη χρήση καλωδίων. Επιπλέον, οι πιο κοινές ασύρματες τεχνολογίες χρησιμοποιούν ραδιοκύματα. Τα ραδιοκύματα μπορούν να καλύψουν αποστάσεις που εκτείνονται από λίγα μέτρα για την τηλεόραση μέχρι και εκατομμύρια χιλιόμετρα όταν γίνεται αναφορά σε ραδιοεπικοινωνίες. Την ίδια στιγμή, η ασύρματη επικοινωνία περιλαμβάνει διάφορους τύπους εφαρμογών, σταθερών, κινητών ή και φορητών, που συμπεριλαμβάνουν κινητά τηλέφωνα και προσωπικούς ψηφιακούς βοηθούς (PDAs).

Άλλες είναι και οι εφαρμογές ασύρματης τεχνολογίας, που κάνουν χρήση ραδιοκυμάτων, και περιλαμβάνουν το άνοιγμα πόρτας γκαράζ, τα ασύρματα ποντίκια, τα πληκτρολόγια, τα ακουστικά, οι δέκτες ραδιοφώνου, τη δορυφορική τηλεόραση και τις τηλεοπτικές εκπομπές. Τέλος, λιγότερο συχνές είναι οι μέθοδοι επίτευξης ασύρματων επικοινωνιών, που περιλαμβάνουν τη χρήση φωτός, ήχου, μαγνητικών ή και ηλεκτρικών πεδίων.

### 3.2. Ιστορική Αναδρομή

Την αρχή της ασύρματης εποχής, σηματοδοτεί η απόδειξη της (ηλεκτρικής) τηλεγραφίας από τον Joseph Henry και τον Samuel FB Morse το 1832, η οποία ακολούθησε αμέσως μετά την ανακάλυψη του ηλεκτρομαγνητισμού από τον Hans Christian Oersted και τον Andre-Marie Ampere στις αρχές του 1820 (Linnartz (1995)).

Στη συνέχεια, κατά τη δεκαετία του 1840, τα πρώτα δίκτυα τηλεγράφου χτίστηκαν στην Ανατολική Ακτή των ΗΠΑ και στην Καλιφόρνια, ενώ την ταχεία επέκταση της χρήσης τους ακολούθησε, το πρώτο υπερατλαντικό καλώδιο το 1858.

Αργότερα το 1864, ο James Clerk Maxwell παρουσίασε την ιδέα της ασύρματης διάδοσης, η οποία επαληθεύτηκε και αποδείχτηκε από τον Heinrich Hertz το 1880 και το 1887, αντίστοιχα. Έτσι, οι Marconi και Ρορον άρχισαν να πειραματίζονται με τη ραδιο-τηλεγραφία, ώσπου το 1897 ο Marconi κατάφερε και κατοχύρωσε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας ένα πλήρες ασύρματο σύστημα.

Έτσι, ξεκίνησε η ανάπτυξη των πρώτων κυψελωειδών συστημάτων και των συστημάτων που παρέχουν αυτόματη ραδιοτηλεφωνία. Ενώ, γνωστό πρότυπο αυτής της εποχής είναι το αναλογικό AMPS (Advanced Mobile Phone System) σύστημα, το οποίο εν συνεχεία χρησιμοποιήθηκε, από τα 2/3 περίπου του συνόλου των συνδρομητών κινητής τηλεφωνίας σε όλο τον κόσμο.

Τέλος, το 1992, εμφανίστηκε το νέο πανευρωπαϊκό πρότυπο ψηφιακής κινητής τηλεφωνίας, γνωστό και ως GSM (Groupe Special Mobile), το οποίο για πρώτη φορά εφαρμόστηκε επιτυχώς στο επιχειρησιακό περιβάλλον, με κύρια πλεονεκτήματα, την μεγάλη χωρητικότητα χρήστη ανά μονάδα φάσματος, την ανθεκτικότητα σε ατέλειες του καναλιού, την ευκολία εφαρμογής κρυπτογράφησης, τον έλεγχο ταυτότητας και άλλα χαρακτηριστικά ασφαλείας και όχι μόνο, τα οποία υφίστανται και διεξάγεται προσπάθεια βελτιστοποίησης τους ακόμη και στα σημερινά συστήματα.

### **3.3. Δίκτυα Πρόσβασης**

#### **3.3.1. Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων**

Η ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων αισθητήρων (Wireless Sensor Networks) παρακινήθηκε από στρατιωτικές εφαρμογές, όπως η επιτήρηση μάχης, ωστόσο σήμερα τα δίκτυα αυτά χρησιμοποιούνται σε πολλές βιομηχανικές και καταναλωτικές εφαρμογές, όπως τα μηχανήματα παρακολούθησης της υγείας και η βιομηχανική διαδικασία παρακολούθησης και ελέγχου (Minoli, Sohraby & Znati (2007)).

Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων, αποτελείται από χωρικά κατανεμημένους αυτόνομους αισθητήρες για την παρακολούθηση φυσικών ή περιβαλλοντικών συνθηκών, όπως η



θερμοκρασία, ο ήχος, η πίεση, αλλά και το συνεργατικό πέρασμα των δεδομένων τους μέσω του δικτύου σε μια κύρια θέση.

Επίσης, ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων είναι χτισμένο από λίγους έως και χιλιάδες κόμβους, όπου κάθε κόμβος συνδέεται με έναν ή περισσότερους αισθητήρες. Κάθε τέτοιος κόμβος του δικτύου αισθητήρων έχει συνήθως διάφορα μέρη: έναν ραδιοφωνικό πομποδέκτη με μια εσωτερική κεραία ή σύνδεση σε μια εξωτερική κεραία, έναν μικροελεγκτή, ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα για τη διασύνδεση με τους αισθητήρες και μια πηγή ενέργειας, συνήθως μια μπαταρία. Επίσης αναφερόμενοι στο κόστος των κόμβων αισθητήρων, μπορεί να θεωρηθεί ότι ορίζεται ανάλογα με την πολυπλοκότητα τους και είναι αποτέλεσμα των περιορισμών που έχουν να κάνουν με πόρους όπως η ενέργεια, η μνήμη, η υπολογιστική ταχύτητα και η ταχύτητα επικοινωνίας.

Τέλος η τοπολογία των ασύρματων δικτύων αισθητήρων μπορεί να ποικίλει από ένα απλό δίκτυο αστέρια σε ένα προηγμένο ασύρματο δίκτυο πλέγματος. Ενώ η τεχνική μετάδοσης μεταξύ των κόμβων του δικτύου μπορεί να πραγματοποιείται με δρομολόγηση (routing) ή τη μέθοδο της πλημμύρας (method of flood).

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι κυριότερες εφαρμογές ασύρματων δικτύων αισθητήρων.

- Παρακολούθηση περιοχών.
- Έλεγχος ατμοσφαιρικής ρύπανσης.
- Παρακολούθηση ποιότητας υδάτων
- Παρακολούθηση νερού & αποβλήτων.
- Βιομηχανική παρακολούθηση.
- Πυρανίχνευση δασών.
- Ανίχνευση κατολισθήσεων.
- Πρόληψη φυσικών καταστροφών.
- Καταγραφή δεδομένων.
- Έλεγχος σε έξυπνα σπίτια.
- Μηχανική παρακολούθηση υγείας.
- Γεωργία.

Αργότερα, αναγράφονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά των ασύρματων δικτύων αισθητήρων.

- Περιορισμένη κατανάλωση ενέργειας κόμβων με χρήση μπαταριών.
- Ικανότητα αντοχής σε σκληρές περιβαλλοντικές συνθήκες.
- Ευκολία στη χρήση.
- Δυνατότητα αντιμετώπισης αποτυχίας κόμβου.
- Αναπτυξη σε μεγάλη κλίμακα.
- Κινητικότητα κόμβων.
- Ετερογένεια κόμβων.
- Αποτυχίες επικοινωνίας.

Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι στην επιστήμη των υπολογιστών και των τηλεπικοινωνιών τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων παρέχουν αξιόλογη συμβολή και αποτελούν έναν ενεργό τομέα έρευνας.

### **3.3.2. Κινητά ad-hoc δίκτυα**

Ένα κινητό ad hoc δίκτυο (Mobile Ad-hoc NETWORK) είναι ένα αυτορυθμιζόμενο δίκτυο κινητών συσκευών που συνδέονται με ασύρματο τρόπο, γεγονός που επιτρέπει σε κάθε συσκευή να κινείται ανεξάρτητα προς οποιαδήποτε κατεύθυνση και να αλλάζει τους δεσμούς της με άλλες συσκευές συχνά. Τα κινητά ad hoc δίκτυα εμφανίζονται στον εμπορικό, τον στρατιωτικό και τον ιδιωτικό τομέα, ενώ επιτρέπουν στους χρήστες να έχουν πρόσβαση και να ανταλλάσσουν πληροφορίες, ανεξάρτητα από τη γεωγραφική τους θέση ή την εγγύτητα με τις υποδομές (Basagni, Conti, Giordano & Stojmenovic (2004)).

Σε αντίθεση με τα δίκτυα υποδομών, όλοι οι κόμβοι σε κάποιο κινητό ad hoc δίκτυο είναι κινητοί και οι συνδέσεις τους είναι δυναμικές. Επίσης, συγκριτικά με τα άλλα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, τα κινητά ad hoc δίκτυα δεν απαιτούν μια σταθερή υποδομή, γεγονός που προσφέρει έναν αποκεντρωμένο χαρακτήρα στο δίκτυο. Γενικά η αποκέντρωση κάνει τα δίκτυα πιο ευέλικτα και πιο ισχυρά, ωστόσο, η κύρια πρόκληση για την οικοδόμηση ενός κινητού ad hoc δικτύου είναι κάθε συσκευή να αποκτά και να διατηρεί συνεχώς τις πληροφορίες που απαιτούνται για την ορθή κίνηση εντός μιας καθορισμένης διαδρομής.

Τέτοια δίκτυα μπορεί να λειτουργούν από μόνα τους ή μπορεί να συνδέονται σε ένα μεγαλύτερο δίκτυο. Μια ευρέως χρησιμοποιούμενη εφαρμογή για κινητά ad hoc δίκτυα είναι η αντιμετώπιση κρίσιμων καταστάσεων, όπως για παράδειγμα στις επιχειρήσεις έρευνας και διάσωσης. Τέτοια σενάρια χαρακτηρίζονται από έλλειψη εγκατεστημένων υποδομών επικοινωνιών, γεγονός που μπορεί να οφείλεται στο ότι όλος ο εξοπλισμός καταστράφηκε, ή ίσως στο ότι η πληγείσα περιοχή είναι πολύ απομακρυσμένη.

Γενικά στα κινητά ad hoc δίκτυα, προκύπτουν προβλήματα σχετικά με τον καθορισμό των πρωτοκόλλων που διέπουν την επικοινωνία μεταξύ των κόμβων του δικτύου και τη διευκόλυνση της δυναμικής ανακάλυψης της πιο αποδοτικής διαδρομής μεταξύ δύο κόμβων. Έτσι, είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψιν η κινητικότητα των κόμβων και η έλλειψη μιας σταθερής τοπολογίας δικτύου.

Άλλωστε, πολλές επιστημονικές εργασίες μελετούν τα πρωτόκολλα και τις ικανότητές τους, υποθέτοντας ποικίλους βαθμούς κινητικότητας εντός ενός οριοθετημένου χώρου και

συνήθως με τα δυνατά λιγότερα άλματα (hops). Έπειτα τα διαφορετικά πρωτόκολλα αξιολογούνται και στη συνέχεια με βάση συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, όπως το ποσοστό πτώσης πακέτων (packet drop rate), η επιβάρυνση που εισήγαγε το πρωτόκολλο δρομολόγησης, η από άκρο εις άκρον καθυστέρηση των πακέτων (end to end delay), η απόδοση του δικτύου (throughput), κ.ά., συγκρίνονται προκειμένου να διαπιστωθεί το καταλληλότερο πρωτόκολλο για την εκάστοτε περίπτωση.

### 3.3.3. Ποικίλα είδη ασύρματων δικτύων πρόσβασης

#### ➤ **WLANs**

Ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο συνδέει δύο ή περισσότερες συσκευές που χρησιμοποιούν ορισμένες ασύρματες μέθοδους διανομής, συνήθως διασπορά φάσματος (είτε Direct Sequence Spread Spectrum, είτε Frequency Hopping Spread Spectrum) ή ορθογώνια πολύπλεξη διαίρεσης συχνότητας (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) και συνήθως παρέχουν μια σύνδεση μέσω ενός σημείου πρόσβασης στο ευρύτερο διαδίκτυο (Crow, Kim, Sakai & Widjaja (2002)).

Αυτό δίνει στους χρήστες την δυνατότητα να μετακινηθούν μέσα σε μια περιοχή κάλυψης και ακόμα να συνδεθούν με το δίκτυο. Τα περισσότερα σύγχρονα δίκτυα WLAN βασίζονται σε προδιαγραφές της IEEE 802.11 και στην αγορά είναι γνωστά με το όνομα Wi-Fi. Ενώ έχουν γίνει δημοφιλή σε ιδιωτικές οικίες λόγω της ευκολίας εγκατάστασής τους και στα εμπορικά συγκροτήματα επειδή προσφέρουν ασύρματη πρόσβαση στους πελάτες τους, η οποία συχνά είναι δωρεάν.

#### ➤ **WBANs**

Ένα ασύρματο δίκτυο περιοχής σώματος (Wireless Body Area Network) ή ένα δίκτυο αισθητήρων σώματος (Body Sensor Network), είναι ένα ασύρματο δικτυακό υπολογιστικό σύστημα το οποίο μπορεί να επιτρέψει ανέξοδα, τη συνεχή παρακολούθηση της υγείας ενός ασθενούς με ενημερώσεις των ιατρικών αρχείων σε πραγματικό χρόνο μέσω του διαδικτύου (Jovanov, Milenkovic, Otto & Sanders (2006)).

Ένας αριθμός ευφυών βιοαισθητήρων, που είναι άνετοι και δεν επηρεάζουν τις συνήθειες ανθρώπινες δραστηριότητες, μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα ασύρματο δίκτυο, το οποίο εγκαθίσταται στο σώμα του ασθενούς και απλά συλλέγει διάφορες φυσιολογικές αλλαγές προκειμένου να παρακολουθείται η κατάσταση της υγείας του.

Οι πληροφορίες μεταδίδονται ασύρματα σε μια εξωτερική μονάδα επεξεργασίας, ενώ αυτή η συσκευή μεταδίδει αμέσως όλες τις πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο σε γιατρούς ακόμη και σε όλο τον κόσμο, ώστε σε περίπτωση προβλήματος, εκείνοι να είναι σε θέση να ενημερώσουν αμέσως τον ασθενή μέσω του πληροφορικού συστήματος, στέλνοντας τα κατάλληλα μηνύματα ή ειδοποιήσεις.

Επί του παρόντος, το επίπεδο των παρεχόμενων πληροφοριών και των ενεργειακών πόρων που τροφοδοτούν τους αισθητήρες είναι σε σημαντικό βαθμό περιορισμένο, καθώς η τεχνολογία βρίσκεται ακόμα σε πρωτόγονο στάδιο. Ωστόσο, αναμένεται να φέρει επανάσταση στην υγειονομική περίθαλψη, εισάγοντας έννοιες όπως η τηλεϊατρική, ιδιαίτερα για τη συνεχή παρακολούθηση και καταγραφή ζωτικών παραμέτρων των ασθενών που πάσχουν από χρόνιες ασθένειες, όπως ο διαβήτης, το άσθμα και οι καρδιακές προσβολές.

#### ➤ **Δίκτυα ad hoc οχημάτων**

Ένα δίκτυο ad hoc οχημάτων (Vehicular Ad hoc NETWORK), είναι ένα είδος ασύρματου δικτύου που επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ οχημάτων. Χρησιμοποιεί κινούμενα αυτοκίνητα μετατρέποντας κάθε συμμετέχον αυτοκίνητο σε έναν ασύρματο δρομολογητή ή κόμβο, επιτρέποντας σε αυτοκίνητα περίπου 100 έως 300 μέτρα το ένα από το άλλο να συνδέονται μεταξύ τους σε ένα είδος ασύρματου δικτύου, που η τοπολογία του αλλάζει διαρκώς και μάλιστα με μεγάλες ταχύτητες και να επικοινωνούν, δημιουργώντας ταυτόχρονα ένα κινητό Internet (Li & Wang (2009)).

Μια ενδεικτική τεχνολογία που χρησιμοποιείται στα ad hoc δίκτυα οχημάτων είναι η IEEE 802.11p. Ενώ τέλος, η συμβολή των δικτύων ad hoc οχημάτων θεωρείται αξιόλογη, λόγω της παρεχόμενης ασφάλειας, της αξιοπιστίας, της εξισορρόπησης του χρόνου χρήσης των οχημάτων καθώς και του φορτίου τους, αλλά πολύ περισσότερο λόγω της γρήγορης και ασφαλούς παράδοσης ενός μηνύματος, που θα αφορά μια ενδεχόμενη ειδοποίηση σε περίπτωση ατυχήματος.

### **3.4. Στοιχεία δικτύου**

#### ➤ **Σταθμός ελέγχου βάσης**

Ένας ελεγκτής σταθμού βάσης (Base Station Controller), είναι ένα κρίσιμο συστατικό του δικτύου κινητής τηλεφωνίας που ελέγχει έναν ή περισσότερους σταθμούς βάσης

εκπομπής (Base Transceiver Station). Τα βασικά καθήκοντα των BSC περιλαμβάνουν τη διαχείριση και τον έλεγχο των ραδιοσυχνοτήτων, όπως επίσης και την παράδοση, τη διαχείριση και την οργάνωση μιας κλήσης (Neonakis, Aggelou & Tafazolli (2002)).

Συχνά ένας BSC θεωρείται ως νοημοσύνη που κρύβεται πίσω από τα BTS, καθώς χρησιμεύει ως μεσολαβητής μεταξύ των σταθμών εκπομπής και των κινητών κέντρων μεταγωγής (Mobile Switching Center), παρέχοντας παράλληλα μονοπάτια ομιλίας για κινητά τηλέφωνα και άλλες συμβατές συσκευές, όπως μια γραμμή εδάφους ή διαδικτύου.

Επίσης, ένας BSC χειρίζεται τις συνδέσεις, μετρά την κυκλοφορία του δικτύου, κάνει έλεγχο ταυτότητας και διαχειρίζεται την παράδοση της πληροφορίας. Για παράδειγμα, όταν ένας BTS δεν λαμβάνει επαρκή ισχύ σήματος από ένα κινητό τηλέφωνο, τότε ο BSC θα παραδώσει το σήμα σε μια άλλη κυψέλη (cell) για να εξασφαλιστεί η βέλτιστη ισχύς μετάδοσης για τον κινητό χρήστη.

### ➤ **Κινητά κέντρα μεταγωγής**

Ένα κινητό κέντρο μεταγωγής (Mobile Switching Center), συνδέεται κυρίως με λειτουργίες επικοινωνίας και μεταγωγής, όπως η εγκατάσταση μιας κλήσης, η απελευθέρωση έπειτα από το πέρας της συνομιλίας και η δρομολόγηση. Ωστόσο, εκτελεί επίσης μια σειρά από άλλα καθήκοντα, συμπεριλαμβανομένης της δρομολόγησης μηνυμάτων SMS, τηλεδιασκέψεων, φαξ, τιμολόγησης υπηρεσιών επικοινωνίας και διασύνδεσης με άλλα δίκτυα, όπως το δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο μεταγωγής (Public Switched Telephone Network) (Malloy, Snow & Varshney (2002)).

Το κινητό κέντρο μεταγωγής είναι δομημένο έτσι ώστε οι σταθμοί βάσης να συνδέονται με αυτό, ενώ εκείνο θα συνδέεται με το τηλεφωνικό δίκτυο μεταγωγής. Έτσι, επειδή τα κινητά τηλέφωνα συνδέονται με αυτούς τους σταθμούς βάσης, όλες οι μορφές επικοινωνίας, είτε ανάμεσα σε δύο κινητά τηλέφωνα, είτε μεταξύ ενός κινητού τηλεφώνου και ενός σταθερού τηλεφώνου, ταξιδεύουν μέσω των κινητών κέντρων μεταγωγής.

### 3.5. Τεχνολογίες και συστήματα γενεών

#### ➤ Γενιά 3G

Με τον όρο 3G, γίνεται λόγος για την τρίτη γενιά της τεχνολογίας των κινητών επικοινωνιών, όπου παρατηρείται το φαινόμενο, ο χωρισμός των δικτύων να προωθείται έως την περιφέρεια του δικτύου, αυξάνοντας έτσι την ευφυΐα του σταθμού βάσης. Οπότε, δίνεται η δυνατότητα στον εκάστοτε χρήστη, να εναλλάσσει υπηρεσίες τηλεφωνίας ή δεδομένων, πράγμα που ως τότε δεν μπορούσε καν να παρέχεται ταυτόχρονα (Αγαπίου, Βασιλόπουλος, Βούδδας, Δούκογλου, Κωτούλας, Ξενικός & Χελιώτης (2009)).

Τα 3G δίκτυα, ανέδειξαν τις μεγάλες δυνατότητες εμπορικής εκμετάλλευσης των υπηρεσιών δεδομένων, ενώ αυτή τη στιγμή, είναι σε θέση να παρέχουν υπηρεσίες δεδομένων με ρυθμούς μετάδοσης έως 14,4 Mbit/s κατερχόμενο και έως 5,8 Mbit/s ανερχόμενο, σε δίαυλο φάσματος 5MHz. Τέλος, παρουσιάζονται κάποιες ενδεικτικές εφαρμογές που παρέχει η γενιά 3G στους χρήστες κινητών τηλεφώνων.

- Mobile TV
- Video on demand
- Location-based υπηρεσίες
- Global Positioning System (GPS)
- Τηλεδιάσκεψη
- Τηλεϊατρική

#### ✓ Παγκόσμιο σύστημα κινητών επικοινωνιών

Το παγκόσμιο σύστημα κινητών τηλεπικοινωνιών (Universal Mobile Telecommunications System) είναι ένα σύστημα κινητής τηλεφωνίας τρίτης γενιάς για τα δίκτυα που βασίζονται στο GSM (Global System for Mobile communication) πρότυπο. Αναπτύσσεται και συντηρείται από τον οργανισμό τυποποίησης 3GPP (3rd Generation Partnership Project), ενώ χρησιμοποιεί ευρείας ζώνης πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης κώδικα (Wideband Code Division Multiple Access) (Samukic (1998)).

Αυτή η τεχνολογία πρόσβασης προσφέρει μεγαλύτερη φασματική απόδοση και ταυτόχρονα μεγαλύτερο εύρος ζώνης σε φορείς εκμετάλλευσης κινητών δικτύων. Επίσης το UMTS καθορίζει ένα πλήρες σύστημα δικτύου, το οποίο περιλαμβάνει το δίκτυο ασύρματης πρόσβασης UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network),

το δίκτυο MAP ( Mobile Application Part) και το κομμάτι της πιστοποίησης των χρηστών μέσω της κάρτας SIM ( Subscriber Identity Module ) που σχετίζεται με την ταυτότητα του συνδρομητή.

## ➤ Γενιά 4G

Τα συστήματα 4G, έχουν ήδη αρχίσει να προσφέρουν υπηρεσίες φωνής και δεδομένων, με πολύ μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης από εκείνους που επιτυγχάνει το 3G. Ενώ, στόχος τους είναι η παροχή υπηρεσιών και εφαρμογών που έως τώρα παρείχαν μόνο ενσύρματα ευρυζωνικά δίκτυα, όπως βίντεο και διαδραστικές υπηρεσίες. Πέρα όμως από τη σύγκλιση σε επίπεδο εφαρμογών, τα κυψελωτά δίκτυα 4G, υλοποιούνται σε τεχνολογική δικτυακή πλατφόρμα, βασισμένη εξ ολοκλήρου στο Internet Protocol (IP) (Govil (2007)).

Ενώ στον τομέα που αφορά την πρόσβαση, τελικό στόχο αποτελεί η παγκόσμια περιαγωγή, οποτεδήποτε και οπουδήποτε στον κόσμο, με τερματικό εξοπλισμό που θα εγγράφεται και θα λειτουργεί ταυτόχρονα σε δίκτυα πολλαπλών τεχνολογιών. Τέλος, ένα σύστημα 4G παρέχει κινητή υπερ-ευρυζωνική πρόσβαση στο Internet, για παράδειγμα, στους φορητούς υπολογιστές με USB (Universal Serial Bus) ασύρματο μόντεμ (modem), σε έξυπνα τηλέφωνα (smartphones) και σε άλλες φορητές συσκευές, με νοητές εφαρμογές που περιλαμβάνουν κινητή πρόσβαση στα διαδίκτυο, IP τηλεφωνία, υπηρεσίες τυχερών παιχνιδιών, υψηλής ευκρίνειας κινητή τηλεόραση, τηλεδιάσκεψη, 3D τηλεόραση και υπολογιστική νέφους (cloud computing).

## ✓ LTE

Ο όρος LTE (Long Term Evolution), χρησιμοποιείται για να εκφραστεί η τεχνολογία αιχμής, που λαμβάνει χώρα στην ασύρματη επικοινωνία και τη δικτύωση των κινητών συσκευών, με υψηλές ταχύτητες. Πρόκειται για πρότυπο που αναπτύσσεται από τον οργανισμό 3GPP, ενώ, βασίζεται στα προϋπάρχοντα δίκτυα GSM/EDGE (Exchanged Data rates for GSM Evolution) και UMTS/HSPA (High Speed Downlink Packet Access), γεγονός που του επιτρέπει να αυξάνει την χωρητικότητα και την ταχύτητα του δικτύου, χρησιμοποιώντας παράλληλα και νέες τεχνικές διαμόρφωσης (Αγαπίου, Βασιλόπουλος, Βούδδας, Δούκογλου, Κωτούλας, Ξενικός & Χελιώτης (2009)).

Συγκεκριμένα, μέσω των προδιαγραφών που αφορούν τις απαιτήσεις του LTE, οι χρήστες αναμένουν από το δίκτυο να μπορεί να εκκινήσει, να τερματίσει και να

διατηρήσει μια υπηρεσία για όσο χρονικό διάστημα εκείνος κινείται. Επίσης, οι υπηρεσίες που πρέπει να παρέχονται στους χρήστες έχουν να κάνουν με τη λειτουργικότητα του δικτύου, την ποιότητα της υπηρεσίας, το εύρος ζώνης, τη διαθεσιμότητα και τις προτιμήσεις του χρήστη.

Την ίδια στιγμή, το δίκτυο και οι χρήστες θα πρέπει να προστατεύονται μέσω συστημάτων πιστοποίησης και κρυπτογράφησης, τόσο κατά την πρόσβασή τους στο δίκτυο μετάδοσης, όσο και κατά την είσοδο τους σε διάφορες υπηρεσίες στο επίπεδο εφαρμογών. Τέλος, η κινητότητα πρέπει να παρέχεται μέσω συντονισμένων μηχανισμών μεταξύ των διαφόρων επιπέδων, από το φυσικό επίπεδο (physical layer) έως το επίπεδο εφαρμογών (application layer), που να εξασφαλίζουν ότι ο χρήστης είναι ικανοποιημένος από την επίδοση των υπηρεσιών που του παρέχονται.

### 3.6. Εφαρμογές ασύρματων επικοινωνιών

#### ➤ Κινητά τηλέφωνα

Από τα πιο γνωστά παραδείγματα ασύρματης τεχνολογίας είναι το κινητό τηλέφωνο, χρησιμοποιεί ραδιοκύματα για να ενεργοποιήσει τους χρήστες ώστε να πραγματοποιούν τηλεφωνικές κλήσεις από πολλές τοποθεσίες σε όλο τον κόσμο. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο εντός εμβέλειας, ενώ για τη λειτουργία τους στεγάζεται εξοπλισμός που απαιτείται για να μεταδίδει και να λαμβάνει τα ραδιοσήματα από τα μέσα αυτά.

#### ➤ Ασύρματες επικοινωνίες δεδομένων

Οι ασύρματες επικοινωνίες δεδομένων είναι ένα συστατικό της κινητής υπολογιστικής (mobile computing). Οι διάφορες διαθέσιμες τεχνολογίες διαφέρουν σε τοπική διαθεσιμότητα, εύρος κάλυψης και απόδοση, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις, οι χρήστες θα πρέπει να είναι σε θέση να χρησιμοποιούν πολλαπλούς τύπους σύνδεσης μεταξύ τους (Levesque & Pahlavan (2002)). Επίσης, οι τεχνολογίες υποστήριξης περιλαμβάνουν:

- **Wi-Fi** (Wireless Fidelity) είναι ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο που επιτρέπει στις φορητές υπολογιστικές συσκευές εύκολη σύνδεση με το διαδίκτυο. Επίσης, είναι τυποποιημένο ως IEEE 802.11 a, b, g, n και σε ταχύτητες προσεγγίζει ορισμένους τύπους του ενσύρματου Ethernet, ενώ, χρησιμοποιείται κατά κόρον



για την πρόσβαση σε ιδιωτικές κατοικίες, εντός των γραφείων και σε δημόσιες ζώνες ασύρματων σημείων (hotspots).

- **Κινητές υπηρεσίες δεδομένων**, προσφέρουν κάλυψη σε ένα εύρος από 10 έως 15 μίλια από την πλησιέστερη τοποθεσία κυψέλης και οι ταχύτητες έχουν αυξηθεί, καθώς οι τεχνολογίες έχουν εξελιχθεί, σε 3G δίκτυα, όπως το W-CDMA, το EDGE ή το CDMA2000.
- **Κινητές δορυφορικές επικοινωνίες**, μπορεί να χρησιμοποιούνται όταν άλλες ασύρματες συνδέσεις δεν είναι διαθέσιμες, όπως σε μεγάλες αγροτικές περιοχές ή σε απομακρυσμένες περιοχές, ενώ είναι ιδιαίτερα σημαντικές για τις αεροπορικές, τις θαλάσσιες, αλλά και τις στρατιωτικής χρήσης μεταφορές.

#### ➤ **Ασύρματη μεταφορά ενέργειας**

Πρόκειται για μια διαδικασία κατά την οποία ηλεκτρική ενέργεια μεταδίδεται από μια πηγή ενέργειας σε ένα ηλεκτρικό φορτίο το οποίο δεν έχει μια ενσωματωμένη πηγή ενέργειας, χωρίς τη χρήση καλωδίων διασύνδεσης.

#### ➤ **Διεπαφή υπολογιστικών συσκευών**

Αρχικά αυτές οι μονάδες χρησιμοποιούσαν ογκώδεις πομποδέκτες για να μεσολαβήσουν ανάμεσα σε έναν υπολογιστή και ένα πληκτρολόγιο ή ποντίκι. Ωστόσο, οι πιο πρόσφατες γενιές έχουν χρησιμοποιήσει μικρές και υψηλής ποιότητας συσκευές, μερικές από τις οποίες επιτρέπουν ακόμη και την ενσωμάτωση της τεχνολογίας IEEE 802.15.1 (Bluetooth). Έτσι, τα συστήματα αυτά έχει θεωρηθεί ότι έχουν διαδοθεί τόσο ώστε ορισμένοι χρήστες να αρχίσουν να διαμαρτύρονται για την έλλειψη των ενσύρματων συσκευών. Τέλος ωστόσο, δεν θα πρέπει να παραληφθεί ότι οι ασύρματες συσκευές τείνουν να έχουν κάποιο χρόνο απόκρισης ελαφρώς πιο αργό από τα αντίστοιχα ενσύρματα συστήματα, διαφορά η οποία μειώνεται σταδιακά.

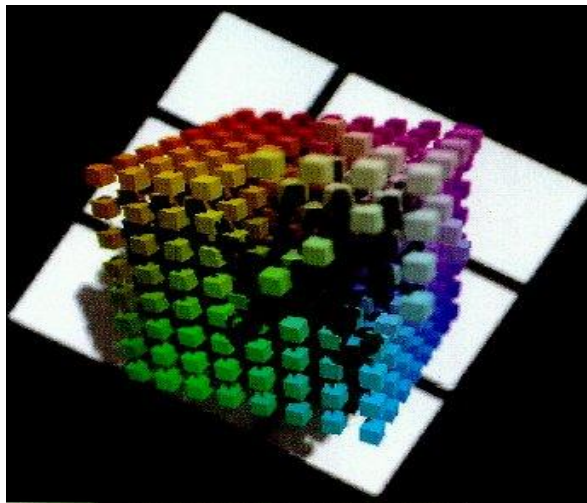
### **3.7. Συμπεράσματα**

Η ταχύτερη εξάπλωση των τεχνολογιών κινητών επικοινωνιών είναι ένα επίτευγμα παγκόσμιας εμβέλειας. Καθώς τα κυψελωτά δίκτυα των ασύρματων δικτύων πρόσβασης που έως και πριν 20 περίπου έτη αριθμούσαν μόνο λίγα εκατομμύρια τηλεφωνικές συνδέσεις, σήμερα είναι σε θέση να παρέχουν υπηρεσίες φωνής και δεδομένων, περίπου στον πληθυσμό του μισού πλανήτη. Ενώ, αξιολόγο είναι το γεγονός, ότι μέσω του

πρωτοκόλλου επικοινωνίας IP και της μίμησης της αρχιτεκτονικής του Internet, κάθε χρήστης του διαδικτύου, έχει τη δυνατότητα επικοινωνήσει με οποιοδήποτε μέρος του πλανήτη ανά πάσα ώρα και χρονική στιγμή που θα το επιδιώξει.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

## ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ ΚΑΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ



Το παρόν κεφάλαιο, αποτελεί τον συνδετικό κρίκο που ενώνει την υπολογιστική νοημοσύνη με τους αλγόριθμους των ασύρματων επικοινωνιών. Ως αλγόριθμος ορίζεται μια πεπερασμένη σειρά ενεργειών, αυστηρά καθορισμένων και εκτελέσιμων σε πεπερασμένο χρόνο που στοχεύουν στην επίλυση ενός προβλήματος. Αρχικά περιγράφεται, αναλύεται και συγκρίνεται η συμπεριφορά των αλγορίθμων ασύρματων επικοινωνιών-συγκεκριμένα στον τομέα των ασύρματων δικτύων αισθητήρων-απαντώντας ουσιαστικά στο ερώτημα του πως δρα συνδυαστικά με την προσθήκη τεχνολογιών υπολογιστικής νοημοσύνης. Έπειτα, πραγματοποιείται η ίδια διαδικασία, για αλγόριθμους ασύρματων επικοινωνιών, που υλοποιούνται στο πλαίσιο των κινητών ad hoc δικτύων. Ενώ τέλος, εξετάζονται οι αλγόριθμοι ασύρματων επικοινωνιών σε διάφορους τομείς των ασύρματων δικτύων, συνδυαστικά πάντα με την προσθήκη τεχνολογιών της υπολογιστικής νοημοσύνης, απ' όπου και εξάγονται τα τελικά συμπεράσματα.

## 4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ ΚΑΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

### 4.1. Υπολογιστική νοημοσύνη και αλγόριθμοι ασύρματων δικτύων αισθητήρων

Κατά καιρούς έχουν δημιουργηθεί διάφοροι αλγόριθμοι οι οποίοι αναφέρονται τόσο στην αντιμετώπιση σύνθετων κυρίως προβλημάτων, όσο και στη βελτιστοποίηση επιμέρους πτυχών των ασύρματων δικτύων αισθητήρων.

Αρχικά, σε ό,τι αφορά την αντιμετώπιση των σύνθετων προβλημάτων βελτιστοποίησης και τις εφαρμογές παρακολούθησης υπαίθριου περιβάλλοντος, όπως είναι οι μετεωρολογικοί, οι υδρολογικοί και οι οικολογικοί υγρότοποι, αναπτύχθηκε ο DE-LEACH (Differential Evolution - Low Energy Adaptive Cluster Hierarchy) αλγόριθμος, που διαπιστώθηκε, ότι χρησιμοποιεί διαφορική εξέλιξη, δηλαδή, εξελικτικό αλγόριθμο συνδυασμένο με διαφορικό λογισμό και μεταξύ άλλων υπερτερεί στην απόδοση, επεκτείνει αποτελεσματικά τη λειτουργία και τη διάρκεια ζωής του δικτύου, ενώ ταυτόχρονα βελτιώνει και την ποιότητα των ασύρματων δικτύων αισθητήρων (Lizhong, Song, Wang, Xiaofang & Yang (2010)).

Για τα ετερογενή ασύρματα δίκτυα αισθητήρων δε, έχει προταθεί ο αλγόριθμος ICPSOA (Immune Cooperative Particle Swarm Optimization Algorithm), ο οποίος, χρησιμοποιεί τεχνικές ανοσοποιητικών συστημάτων και νοημοσύνης σμήνους (Kuangrong, Yifan & Yongsheng (2011)). Σε σύγκριση με άλλους αλγορίθμους, προσφέρει καλύτερες λύσεις σε ό,τι αφορά την ανοχή σφαλμάτων, ενώ την ίδια στιγμή αναδεικνύει το πλεονέκτημα του, στα ετερογενή ασύρματα δίκτυα αισθητήρων με τη δημιουργία αντιγράφων ασφαλείας, μειώνοντας έτσι τον κίνδυνο απώλειας δεδομένων και την κατανάλωση της ενέργειας για την εξεύρεση μονοπατιού.

Μελετώντας τη δυναμική ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων αισθητήρων, προτείνεται ο αλγόριθμος VFCPSO (virtual force co-evolutionary particle swarm optimization), ο οποίος χρησιμοποιεί συνδυασμό νοημοσύνης σμήνους, εξελικτικών αλγορίθμων και εικονικής ισχύος, ενώ μεταξύ άλλων έχει αποδειχθεί ότι παρέχει μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα και καλύτερη απόδοση ως προς το χρόνο υπολογισμού της καλύτερης θέσης των κόμβων του

δικτύου, στην προσπάθεια του να προσφέρει βελτίωση της κάλυψης στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (Lin, Wang & Wang (2007)).

Την ίδια στιγμή μια άλλη εφαρμογή στον τομέα της δυναμικής ανάπτυξης των ασύρματων δικτύων αισθητήρων είναι ο αλγόριθμος ABC (artificial bee colony), ο οποίος, κάνει χρήση της νοημοσύνης του σμήνους των μελισσών, λειτουργεί καλά για προβλήματα αριθμητικής βελτιστοποίησης και αποτελεί μια σωστή προσέγγιση για ένα δίκτυο αισθητήρων, ώστε να αποκτήσουν οι κόμβοι καλή κάλυψη σε ένα δισδιάστατο χώρο. Επίσης, εφαρμόζεται και στην δυναμική ανάπτυξη των κινητών δικτύων αισθητήρων για την απόκτηση καλύτερης απόδοσης, επιδιώκοντας την αύξηση της περιοχής κάλυψης του δικτύου [(Gorkemli, Karaboga & Ozturk (2011)), (Arabshahi, Das, Gray, Kassabalidis, Marks, Narayanan & Sharkawi (2001)), (Celal, Dervis & Gorkemli (2011))].

Αναφορικά με τη μετάδοση δεδομένων σε ένα σχεδόν σταθερό ασύρματο δίκτυο αισθητήρων, αξιοσημείωτη είναι η συνεισφορά του αλγορίθμου T-ANT (Time Controlled Clustering Algorithm για ομαδοποίηση και ANT σύστημα επιλογής). Πρόκειται για έναν αλγόριθμο, που χρησιμοποιεί τη μέθοδο βελτιστοποίησης της αποικίας των μυρμηγκιών, προωθώντας έτσι την ομοιόμορφη κατανομή των κόμβων-αρχηγών του δικτύου, γεγονός που επιτρέπει σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας σε σχέση με άλλους αλγόριθμους ομαδοποίησης, επίσης, παρέχει βέλτιστο τρόπο λειτουργίας του δικτύου καθ 'όλη τη διάρκεια της ζωής του και καλύτερη απόδοση σε σχέση με άλλες υλοποιήσεις (Selvakennedy, Shang & Sinnappan).

Αξίζει να σημειωθεί ότι η συλλογή δεδομένων (data fusion) βασίζεται σε μεθόδους της ασαφούς λογικής για τη μείωση της κυκλοφορίας και την ενίσχυση της απόδοσης των δικτύων αισθητήρων. Ενώ σύμφωνα με μελέτες, έχει διαπιστωθεί, ότι η μέθοδος Mamdani δίνει καλύτερα αποτελέσματα από την προσέγγιση Tsukamoto, καθώς μπορεί να μειώσει την κυκλοφορία σε σημαντικό ποσοστό σε κάθε τοπολογία στην οποία εφαρμόστηκε. Ως αποτέλεσμα έχει το γεγονός ότι μπορεί να εφαρμοστεί σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων παρέχοντας βέλτιστη συγχώνευση δεδομένων, μέγιστη διάρκεια ζωής αισθητήρα και ελάχιστη χρονική καθυστέρηση (Bougiouklis & Weilian (2007)).

Αναφερόμενοι τόσο στην εξοικονόμηση ενέργειας, όσο και στην συλλογή δεδομένων από τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, πρωτεύον ρόλο κατέχει ο αλγόριθμος DIDGA (distributed intelligent data gathering algorithm), ο οποίος, χρησιμοποιεί μέθοδο βελτιστοποίησης της αποικίας μυρμηγκιών και εξελικτικούς αλγορίθμους, που σε σύγκριση με άλλες σχετικές

υλοποιήσεις αλγορίθμων δείχνει να μειώνει σημαντικά, τόσο τις μέσες τιμές των μετρήσεων όσον αφορά στον αριθμό των αλμάτων, όσο και το μέσο πλήθος δεδομένων, που συλλέγονται στο χρόνο. Τέλος, κάνει εξοικονόμηση στην κατανάλωση ενέργειας των κόμβων αισθητήρων και επεκτείνει σε μεγάλο βαθμό τη διάρκεια ζωής του δικτύου (Rongbo, Wang & Yingying (2011)).

Για τη μελέτη και το σχεδιασμό ενός RFID (Radio Frequency Identification) δικτύου, χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος PS<sup>2</sup>O, ο οποίος αποτελεί επέκταση του αλγορίθμου PSO (particle swarm optimization) και αλληλεπιδρά όπως ένα μοντέλο σμήνους για την κατασκευή ιεραρχικής τοπολογίας αλληλεπίδρασης και δυναμικών εξισώσεων ενημέρωσης. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα προσομοιώσεων, ο αλγόριθμος αυτός, μεταξύ άλλων, φαίνεται να παρέχει καλύτερες λύσεις για RNP (Required navigation performance) προβλήματα από όλες τις άλλες μεθόδους από την άποψη της ακρίβειας όσον αφορά τη βελτιστοποίηση και την ευρωστία των υπολογισμών (Hanning, Kunyuan, Tao & Yunlong (2011)).

Αξίζει να σημειωθεί ότι ένα μείζον θέμα αποτελεί η μεγιστοποίηση της κάλυψης, σε συνδυασμό με την διατήρηση παράλληλα της ποιότητας των υπηρεσιών στον τομέα των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Για την υλοποίηση της συγκεκριμένης απαίτησης προτάθηκε ο αλγόριθμος DPSO (Dissipative Particle Swarm Optimization), ο οποίος κάνοντας χρήση της νοημοσύνης σμήνους, μπορεί να βελτιώσει αποτελεσματικά την κάλυψη στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, έχοντας ως απώτερο στόχο την βελτίωση της απόδοσης του δικτύου. Έχει χρησιμοποιηθεί συγκεκριμένα σε Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους (DEMs) και σύμφωνα με τα αποτελέσματα προσομοιώσεων προκύπτει ότι μεταξύ άλλων, ο παρόν αλγόριθμος ανταποκρίνεται θετικά στις απαιτήσεις, με την προϋπόθεση ότι θα έχει γνώση του ανάγλυφου της περιοχής ελέγχου, έτσι ώστε να είναι σε θέση να υπολογίσει την καταλληλότερη τοποθέτηση των κόμβων πριν εκείνοι εγκατασταθούν (Wenli Li).

Τέλος αναφερόμενοι σε θέματα ασφάλειας των ασύρματων δικτύων αισθητήρων προτείνεται ένας αλγόριθμος που αφορά στην ανίχνευση κακόβουλων κόμβων. Συγκεκριμένα, προτάθηκε ο αλγόριθμος IWD (Intelligent water drops), ο οποίος ενσωματώνει την ευφυΐα του φυσικού περιβάλλοντος στον τομέα της ασύρματης επικοινωνίας, ενώ είναι σε θέση να εντοπίσει απειλές που προέρχονται από επιθέσεις επανάληψης, αποτυχημένου κόμβου, κ.ά., εξετάζοντας ταυτόχρονα και τα ήδη υπάρχοντα ασφαλή συστήματα (Asar, Baseer, Qureshi & Rehman (2011)).

## 4.2. Υπολογιστική νοημοσύνη και αλγόριθμοι MANETs

Μεγάλη είναι και η ποικιλία των αλγορίθμων, οι οποίοι κάνοντας χρήση των επιμέρους τεχνολογιών της υπολογιστικής νοημοσύνης, είναι σε θέση να χρησιμοποιηθούν σε ποικίλες εφαρμογές και υλοποιήσεις που αφορούν τα κινητά ad hoc δίκτυα (MANETs) επικοινωνιών.

Αναφερόμενοι, σε θέματα που αφορούν την δρομολόγηση των MANETs, προτείνεται ένας νέος αλγόριθμος, που βασίζεται στη νοημοσύνη του σμήνους και χρησιμοποιεί μυρμηγκία ως πράκτορες, τα οποία είναι αρμόδια στο να ανακαλύπτουν και διατηρούν μονοπάτια σε ένα MANET δυναμικής τοπολογίας. Ωστόσο, από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης ο αλγόριθμος PERA (Probabilistic Emergent Routing Algorithm), υπερτερεί έναντι του AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector) που δεν κάνει χρήση τεχνολογιών υπολογιστικής νοημοσύνης, τόσο στην από άκρο εις άκρον καθυστέρηση όσον αφορά στη δρομολόγηση, όσο και στο γεγονός της μεταφοράς χρήσιμης πληροφορίας (goodput), ιδιαίτερα σε σχέση με σενάρια υψηλής κινητικότητας (Baras & Mehta (2010)).

Ένας ακόμη αλγόριθμος δρομολόγησης MANET, εμπνευσμένος από τη νοημοσύνη της αποικίας των μυρμηγκιών, είναι ο AntHocNet, ένας υβριδικός αλγόριθμος, που μετά τη φάση δημιουργίας της διαδρομής, συντηρεί και βελτιώνει τις διαδρομές με ενεργό τρόπο. Γενικά θεωρείται, ότι έχει δημιουργηθεί για να λειτουργεί με γνώμονα την συντομότερη διαδρομή ακολουθώντας τη συμπεριφορά των βιολογικών μυρμηγκιών, ενώ ταυτόχρονα φαίνεται να έχει ένα πλεονέκτημα απόδοσης σε σχέση και με τον AODV. Ο AntHocNet, έχει καλύτερη αναλογία παράδοσης πακέτων, μέση από άκρο εις άκρο καθυστέρηση και μέση διακύμανση καθυστέρησης (jitter). Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι ο αλγόριθμος AntHocNet είναι πιο επεκτάσιμος από τον AODV, ενώ η απόδοσή του αυξάνει για δίκτυα μεγαλύτερης έκτασης και κινητικότητας (Di Caro, Ducatelle & Gambardella (2004)).

Μελετώντας τη δρομολόγηση που σχετίζεται με την υποστήριξη πολυμέσων σε επικοινωνίες κινητών ad hoc δικτύων, δεν θα μπορούσε να παραληφθεί η αναφορά του αλγορίθμου AntHocNetM. Πρόκειται για έναν αλγόριθμο δρομολόγησης, ο οποίος έχει σαν βάση την αποικία των μυρμηγκιών, ο οποίος είναι σε θέση να κάνει χρήση των μυρμηγκιών και να χτίζει πολλαπλές διαδρομές μεταξύ της πηγής και του προορισμού, τις οποίες και παρακολουθεί συνεχώς, βελτιώνοντάς τις ταυτόχρονα με ενεργό τρόπο, έτσι ώστε να στέλνει πάντα τα δεδομένα πάνω από σταθερά μονοπάτια, χωρίς να προκαλείται αποτυχία στην διαδρομή. Έτσι, ο AntHocNetM υπερέχει και από τον AODV από άποψη

καθυστερήσης από άκρον εις άκρον, αναλογίας παράδοσης πακέτων και διακύμανσης της καθυστέρησης (jitter) (Naganathan & Sivajothi (2008)).

Αναλύοντας εκτενέστερα το τομέα που αφορά τη βελτιστοποίηση της δρομολόγησης στα MANETs, αξίζει να αναφερθεί ο αλγόριθμος PSO-ODMRP (PSO based On Demand Multicast Routing Protocol), ο οποίος, χρησιμοποιεί νοημοσύνη σμήνους και βελτιώνει την απόδοση στη δρομολόγηση μηνυμάτων που έχουν προκύψει από πολυεκπομπή. Επιπλέον, θεωρείται κατάλληλος και για κινητά ad hoc δίκτυα, όπου η τοπολογία τους αλλάζει συχνά και η ενέργεια τους είναι περιορισμένη. Οπότε προκύπτει ότι ο παρόν αλγόριθμος είναι σε θέση να παρέχει καλή απόδοση όσον αφορά τη βελτιστοποίηση μια επιλεγμένης διαδρομής, αρκεί να εξασφαλιστεί ότι η ταχύτητα κινητικότητας θα είναι χαμηλή (Baburaj & Vasudevan (2008)).

Έχοντας ως δεδομένη την αύξηση της πολυπλοκότητας ενός MANET λόγω διάφορων χαρακτηριστικών, όπως είναι η δυναμική τοπολογία, η απουσία συγκεντρωτικής εξουσίας, οι QoS απαιτήσεις, η πράξη της μετακίνησης πληροφοριών και της δρομολόγησης καθίσταται δύσκολη. Οπότε η λύση στο πρόβλημα παρέχεται μέσω του αλγορίθμου ARMAN (Ant Routing for Mobile Ad Hoc Networks), που κάνει χρήση της αποικίας των μυρμηγκιών, ενώ είναι προσαρμοστικός, αποδοτικός, επεκτάσιμος και κυρίως μειώνει από άκρον εις άκρον την καθυστέρηση σε υψηλές περιπτώσεις κινητικότητας, καλύτερα και από τον AODV λόγω της συντήρησης εναλλακτικής διαδρομής για το σύστημα. Ταυτόχρονα, ανταποκρίνεται θετικά σε απαιτήσεις χρηστών για μεγαλύτερο εύρος ζώνης, μικρότερη καθυστέρηση και μικρότερη απόσταση όσον αφορά το πλήθος των αλμάτων (Deeralakshmi & Radhakrishnan (2009)).

Ακόμη ένας αλγόριθμος βελτιστοποίησης δρομολόγησης επιχειρεί να αναπαραστήσει στα MANETs το φαινόμενο της αυτό-οργάνωσης των βιολογικών συστημάτων. Πρόκειται για τον αλγόριθμο ANT-DSR, ο οποίος, βασίζεται στο κλασικό DSR (Dynamic Source Routing) πρωτόκολλο, ενώ ταυτόχρονα ενσωματώνει πτυχές νοημοσύνης της αποικίας των μυρμηγκιών, με αποτέλεσμα να υπερέχει μεταξύ άλλων καθώς προσπαθεί να βελτιώσει τη δρομολόγηση μέσω της εξεύρεσης των καλύτερων-συντομότερων διαδρομών, να εξαλείψει την κυκλοφοριακή συμφόρηση με την ενσωμάτωση μετρήσεων και την ανακάλυψη νέων πιθανολογικών διαδρομών, οι οποίες παρέχουν στο δίκτυο εύκολη συντήρηση, εξοικονόμηση ενέργειας και εξισορρόπηση φορτίου (Ajay).



Αλγόριθμο δρομολόγησης MANET, αποτελεί ο PAR (Probabilistic Ant Routing), ο οποίος, χρησιμοποιεί σαν βάση τον ACO (Ant Colony Optimization) (Prasad, Rai & Singh (2009)). Για την επιλογή του επόμενου άλματος προς τον προορισμό, η απόφαση για το αν τα μυρμήγκια θα αποσταλούν σε μονή ή πολλαπλή εκπομπή εξαρτάται από τις πληροφορίες της φερομόνης. Έτσι, κατ'αυτόν τον τρόπο ο PAR αλγόριθμος παρουσιάζει καλύτερη απόδοση σε σχέση και με τον AODV αλγόριθμο από την άποψη της από άκρον εις άκρον καθυστέρησης, ενώ ταυτόχρονα δείχνει να ανταποκρίνεται καλύτερα από πολλούς άλλους στην παραγωγή ποιοτικής λύσης σε δίκτυα που παρουσιάζουν μεγάλη κινητικότητα. Έπειτα από μελέτες καθίσταται φανερό ότι η επιβάρυνση της δρομολόγησης είναι υψηλή για μικρά δίκτυα, ενώ αντίθετα μειώνεται αισθητά για μεγάλα δίκτυα, γεγονός που φαίνεται να εξασφαλίζει την επεκτασιμότητα του δικτύου χωρίς να επηρεάζει στο ελάχιστο την απόδοσή του.

#### **4.3. Υπολογιστική νοημοσύνη και αλγόριθμοι διαφόρων άλλων τομέων των ασύρματων δικτύων**

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι αλγόριθμοι υπολογιστικής νοημοσύνης, πέραν των ασύρματων δικτύων αισθητήρων και των κινητών Ad Hoc δικτύων είναι δυνατόν να εφαρμοστούν σε πλήθος άλλων τομέων των ασύρματων δικτύων επικοινωνιών, προκειμένου να βελιώσουν όσο το δυνατόν περισσότερο την παρεχόμενη υπηρεσία της ασύρματης επικοινωνίας.

Αναφερόμενοι, αρχικά στους ασαφείς ελεγκτές των IEEE 802.11 ασύρματων τοπικών δικτύων, προτείνεται ένας νέος μηχανισμός TSFLCD (Takagi-Sugeno Fuzzy Logic Congestion Detection), ο οποίος χρησιμοποιεί ασαφή λογική και μεταξύ άλλων παρέχει καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά στη μείωση του ρυθμού απώλειας πακέτων, τις μειώσεις στη διακύμανση της καθυστέρησης καθώς και τις καθυστερήσεις σε πραγματικό χρόνο κυκλοφορίας (Clement, Dawoud, Fangyan, Kaoru & Negnevitsky (2010)).

Στον τομέα που αφορά τον σχεδιασμό κινητού δικτύου, τον κύριο λόγο έχει ο αλγόριθμος PSO (Particle Swarm Optimization), ο οποίος, κάνει χρήση νοημοσύνης σμήνους σε μηχανισμούς οπτικοποίησης, ενώ καλείται να καθορίσει αποτελεσματικά τις θέσεις των σταθμών ελέγχου της βάσης (BSC), των κινητών κέντρων μεταγωγής (MSC), και των συνδέσμων τους για συγκεκριμένες θέσεις των σταθμών βάσης εκπομπής (BTSs), για να ικανοποιείται μια προκαθορισμένη αντικειμενική συνάρτηση (Ayman, Chan, Mahamod, Mark & Viknesh (2009)). Από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης ο παρόν

αλγόριθμος μεταξύ άλλων φαίνεται να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις παρέχοντας αποτελεσματική θέση στα στοιχεία του δικτύου και των διασυνδέσεών τους, έτσι ώστε το συνολικό κόστος ανάπτυξης να διατηρείται όσο το δυνατόν χαμηλότερο.

Τέλος, αναφερόμενοι στον τομέα που αφορά τη βελτιστοποίηση της δρομολόγησης των οχημάτων σε γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών, διερευνάται η μέθοδος εφαρμογής του αλγορίθμου, που συνδυάζει την ανάπτυξη δύο αλγορίθμων από το χώρο της υπολογιστικής νοημοσύνης (Rice). Πρόκειται για τον ACO (Ant Colony Optimization), που είναι ένας τύπος αλγορίθμου πολλαπλών πρακτόρων και βασίζεται στην νοημοσύνη του σμήνους, ενώ έχει σχεδιαστεί για να μιμηθεί την επίλυση προβλημάτων που αναφέρονται στη φυσική συμπεριφορά των μυρμηγκιών σε μια πραγματική αποικία, και τον γενετικό αλγόριθμο (Genetic Algorithms), ο οποίος είναι ένας άλλος εμπνευσμένος από τη φύση τύπος αλγόριθμου και έχει σχεδιαστεί για να παρέχει βέλτιστες λύσεις σε ένα πρόβλημα με τη χρήση τεχνικών, που βασίζονται στη φυσική επιλογή, τον ανασυνδυασμό και τη μετάλλαξη. Συμπερασματικά, προκύπτει ότι ο παρόν αλγόριθμος είναι σε θέση να βελτιώσει την τυπική υλοποίηση του συστήματος της αποικίας των μυρμηγκιών, καθώς και προηγούμενες υλοποιήσεις, ενώ ταυτόχρονα βελτιστοποιεί επιτυχώς και τη δρομολόγηση των οχημάτων.

Στα ασύρματα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας ο Wang (2011), προτείνει τη χρήση ενός ιεραρχικού γενετικού αλγορίθμου, σε μια τοπολογία νευρωνικού δικτύου, στην οποία ένας ασαφής ελεγκτής ορίζει κάθε φορά με δυναμικό τρόπο το δανεισμό του καναλιού. Πρόκειται για μια νέα αποδοτική μέθοδο δανεισμού του καναλιού σε κατανεμημένα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, που παρουσιάζει καλύτερες ικανότητες μάθησης, αντοχής και ανθεκτικότητας σε σφάλματα, δίνοντας έτσι καλύτερη απόδοση από ό, τι άλλοι αλγόριθμοι, καθώς στόχος της είναι να ικανοποιήσει αποτελεσματικά τις ποικίλες απαιτήσεις αναφορικά με την ποιότητα της υπηρεσίας των πολυμέσων κυκλοφορίας. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο αλγόριθμος που εξετάζεται, σε σχέση με προηγούμενες μεθόδους εμφανίζεται να έχει χαμηλότερο ποσοστό παρεμπόδισης, χαμηλότερο ποσοστό πτώσης, λιγότερες ενημερώσεις γενικά, μικρότερες καθυστερήσεις απόκτησης καναλιού και μια ταχύτερη και ομαλότερη απόκριση σε σχέση με συμβατικά συστήματα.

Μία από τις βασικές δυνατότητες του ευφυούς ραδιοεξοπλισμού είναι η προσαρμογή των παραμέτρων, σύμφωνα με την αλλαγή περιβάλλοντος και τις ανάγκες των χρηστών. Προτείνεται μια νέα μέθοδος προσαρμογής που χρησιμοποιεί τη διαδικασία βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων (PSO) για τη βελτιστοποίηση των ασύρματων

γνωστικών παραμέτρων μέσα από ένα σύνολο στόχων (Shang, Xu, Zhao & Zheng (2009)). Η προτεινόμενη μέθοδος χρησιμοποιείται για την ανάλυση προσομοίωσης, ενώ, τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι αποδίδει πολύ καλύτερα από ό,τι ο γενετικός αλγόριθμος (GA) που βασίζεται στην ταχύτητα σύγκλισης και συγκρίνει τιμές καταλληλότητας και σταθερότητας. Έτσι, η προκύπτουσα διαμόρφωση παραμέτρων είναι συνεπής με τα βάρη των αντικειμενικών συναρτήσεων και μπορεί να παρέχει ανταλλαγές στόχων.

Οι He, Lin, Niu & Xu, προτείνουν ένα αλγόριθμο κατανομής, βασισμένο στην αποικία των μυρμηγκιών που παρουσιάζει χαμηλή πολυπλοκότητα σε ένα OFDMA πολλαπλών κυψελών σύστημα. Λόγω της φύσης, της οπτικοποίησης της αποικίας των μυρμηγκιών (ACO), ο εν λόγω αλγόριθμος, μπορεί να τρέξει παράλληλα σε καταστάσεις όπως η κατανομή των κυψελών, μειώνοντας έτσι αποτελεσματικά την πολυπλοκότητα. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν ότι ο εν λόγω αλγόριθμος μπορεί να επιτύχει αρκετά καλή φασματική απόδοση και δικαιοσύνη σε όλους τους χρήστες, παρουσιάζοντας επίσης σημαντικά κέρδη πάνω από τα υφιστάμενα συστήματα επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων.

Οι Chen, Cheng, Huang, Lin & Su (2011), προτείνουν μία νέα μέθοδο για το σχεδιασμό προτύπων διακριτού χρόνου σε κυψελωτά νευρωνικά δίκτυα (discrete time cellular neural networks - DTCNN ) μέσω μιας προσαρμοστικής βελτιστοποίησης σωματιδίων σμήνους (adaptive particle-swarm optimization - APSO) για ακύρωση θορύβου σε χαμηλής ποιότητας εικόνες. Όπως καταδεικνύουν τα παραδείγματα, συγκρίνοντας την προτεινόμενη μεθοδολογία APSO - CNN με τον απλό PSO αλγόριθμο νοημοσύνης σμήνους, αλλά και με τον εξελικτικό αλγόριθμο (GA), υπό τον συνδυασμό τους με την προσέγγιση των νευρωνικών δικτύων, γίνεται φανερό ότι η προτεινόμενη μέθοδος APSO - CNN παρέχει καλύτερα αποτέλεσμα στη βελτίωση της ποιότητας μια εικόνας, γιατί είναι σε θέση όχι μόνο να βρίσκει τις τιμές των προτύπων εικόνων εύκολα χωρίς πολύπλοκες διαδικασίες ή μαθηματικούς υπολογισμούς, αλλά επίσης και να λαμβάνει το υπόλοιπο της ταχύτητας σύγκλισης και της ακρίβειας σύγκλισης.

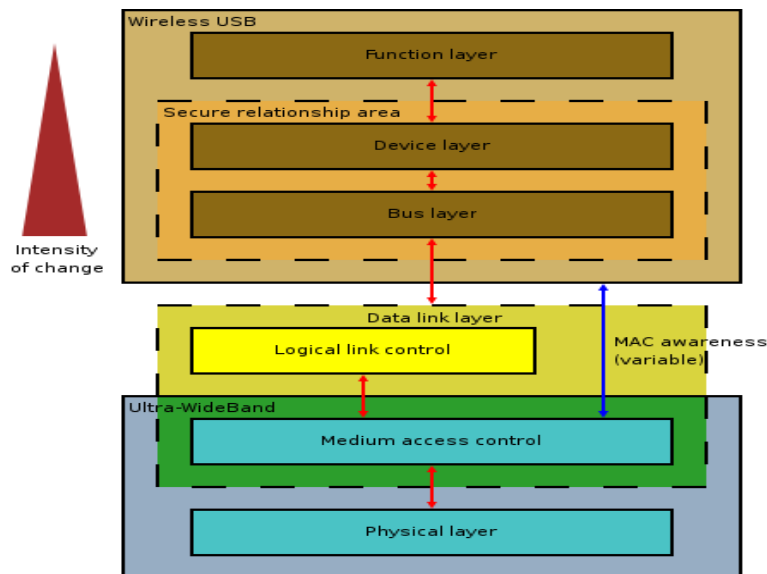
#### 4.4. Συμπεράσματα

Ανακεφαλαιώνοντας, δεν μπορεί να μην ληφθεί υπόψιν η περιεκτική επισκόπηση των διαφόρων εμπνευσμένων από τη φύση και τη γενετική αλγορίθμων των ασύρματων επικοινωνιών, που είναι σχεδιασμένη για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, τα κινητά ad hoc δίκτυα και μερικούς ακόμη τομείς των ασύρματων επικοινωνιών. Γι'αυτό το λόγο, οι αλγόριθμοι που εξετάζονται, εμπίπτουν στις κατηγορίες των ασαφών συστημάτων, της αποικίας των μυρμηγκιών, της νοημοσύνης σμήνους και των εξελικτικών αλγορίθμων, ξεχωριστά, αλλά και σε συνδυασμούς μεταξύ τους, με τέτοιο τρόπο ώστε να βελτιώσουν τη χρήση και την εφαρμογή των τεχνικών τους.

Ο ανασυνδυασμός, η μετάλλαξη, η λειτουργία των ανοσοποιητικών συστημάτων, η μίμηση της φυσικής συμπεριφοράς των μυρμηγκιών και των πουλιών, ενδείκνυται στη βελτίωση χαρακτηριστικών όπως η υψηλή κινητικότητα κόμβων, η δυναμική τοπολογία, η μειωμένη απόδοση, το περιορισμένο εύρος ζώνης, η περιορισμένη ενέργεια, η καθυστέρηση, η διακύμανση καθυστέρησης (jitter) και καταστάσεις, που έχουν να κάνουν με την ασφάλεια στα ετερογενή ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, την τοποθέτηση κόμβων στα ψηφιακά μοντέλα εδάφους (DEMs), την επίλυση RNP προβλημάτων, τη δρομολόγηση οχημάτων και άλλου είδους προβλημάτων των ασύρματων δικτύων επικοινωνιών.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>

## ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ ΚΑΙ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ



Το παρόν κεφάλαιο, δρα συνδυαστικά στον τομέα της υπολογιστικής νοημοσύνης και των πρωτοκόλλων των ασύρματων επικοινωνιών. Ως πρωτόκολλο επικοινωνίας ορίζεται ένα σύνολο κανόνων συμφωνημένων και από τα δύο επικοινωνούντα μέρη, που εξυπηρετούν τη μεταξύ τους ανταλλαγή πληροφοριών. Το πρωτόκολλο επικοινωνίας είναι δηλαδή μια δέσμη κανόνων στους οποίους στηρίζεται η επικοινωνία των συσκευών σε ένα δίκτυο. Οι κανόνες αυτοί καθορίζουν τη μορφή, το χρόνο και τη σειρά μετάδοσης των πληροφοριών στο δίκτυο. Εκτελούν, επίσης έλεγχο και διόρθωση σφαλμάτων στη διάρκεια μετάδοσης των πληροφοριών. Σε πρώτο στάδιο επομένως, περιγράφεται, αναλύεται και συγκρίνεται η συμπεριφορά των πρωτοκόλλων στον τομέα των ασύρματων δικτύων αισθητήρων με την προσθήκη τεχνολογιών υπολογιστικής νοημοσύνης, ενώ σε ένα δεύτερο και τελευταίο στάδιο πραγματοποιείται η ίδια διαδικασία, αλλά για τα πρωτόκολλα ασύρματων επικοινωνιών, που υλοποιούνται στο πλαίσιο των κινητών ad hoc δικτύων.

## 5. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ ΚΑΙ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

### 5.1. Υπολογιστική νοημοσύνη και πρωτόκολλα ασύρματων δικτύων αισθητήρων

Κατά καιρούς έχουν δημιουργηθεί διάφορα πρωτόκολλα, τα οποία αναφέρονται τόσο στην αντιμετώπιση προβλημάτων, όσο και στη βελτιστοποίηση επιμέρους πτυχών των ασύρματων δικτύων αισθητήρων.

Σημαντικό χαρακτηριστικό των ασύρματων δικτύων αισθητήρων είναι η περιορισμένη τροφοδοσία τους και ως εκ τούτου ορισμένες μετρήσεις, όπως η κατανάλωση ενέργειας λόγω επικοινωνίας μεταξύ των κόμβων, η υπολειπόμενη ενέργεια και το μήκος διαδρομής, που θεωρήθηκαν ως πολύ σημαντικά κριτήρια, για τη δημιουργία του πρωτοκόλλου MRP (multipath routing protocol). Πρόκειται για ένα νέο πρωτόκολλο δρομολόγησης πολλαπλών διαδρομών, που βασίζεται στην ομαδοποίηση της αποικίας μυρμηγκιών. Δημιουργήθηκε για να ελέγχει γεγονότα εκρήξεων σε ένα είδος ενεργών ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Το MRP φαίνεται να επιτυγχάνει καλύτερη εξισορρόπηση φορτίου και χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας, μεγιστοποιώντας παράλληλα και τη διάρκεια ζωής του δικτύου (Jing, Mai, Zhao & Xu (2010)).

Παραμένοντας στον τομέα της δρομολόγησης των ασύρματων δικτύων αισθητήρων μέσω πολλαπλών μονοπατιών, αξίζει να σημειωθεί ότι επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από νέους κόμβους που εισέρχονται ή εξέρχονται από το δίκτυο. Ως εκ τούτου, γίνεται χρήση ενός μηχανισμού δρομολόγησης που οργανώνεται αυτόματα, προκειμένου να χειριστεί τα προβλήματα που προκύπτουν στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (Fisal, Hafizah, Kamilah, Rashid & Saleem (2009)). Η βελτιστοποίηση της αποικίας μυρμηγκιών έχει δείξει εξαιρετικά αποτελέσματα στην ανακάλυψη διαδρομών για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Το νέο πρωτόκολλο, μεταξύ άλλων φαίνεται να υπερτερεί στην αποφυγή της συμφόρησης, τη μεγιστοποίηση του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων και την ελαχιστοποίηση της απώλειας δεδομένων, γεγονότα που αποδεικνύουν την αποτελεσματικότητά του και το λόγο δημιουργίας του.

Την ίδια στιγμή, στον ίδιο τομέα έχουν αναφερθεί και άλλα πρωτόκολλα που αυτό-οργανώνονται και κάνουν χρήση της βελτιστοποίησης της αποικίας των μυρμηγκιών, όμως

αυτή τη φορά ειδικεύονται στην επίτευξη μεγαλύτερων ποσοστών επιτυχίας αναλογικά με το χρόνο, εντείνοντας τις προσπάθειες για μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (Fisal, Hafizah, Kamilah, Rashid & Saleem (2009)).

Παραμένοντας δε, στον τομέα των ACO πρωτοκόλλων δρομολόγησης, αναλύεται ένας σχεδιασμός πολλαπλών επιπέδων που είναι αυτό-διοργανούμενος, καθώς χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο της αποικίας μυρμηγκιών και έχει σαν στόχο να βελτιώσει την ποιότητα της σύνδεσης, το ενεργειακό επίπεδο και την ταχύτητα, παραμέτρους, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την ανακάλυψη της βέλτιστης διαδρομής ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων. Η αρχιτεκτονική πολλαπλών επιπέδων βοηθά στη βελτίωση του συνολικού δείκτη παράδοσης δεδομένων ειδικά σε περιπτώσεις πραγματικού χρόνου, αυξάνοντας έτσι την απόδοση – διεκπεραιωτική ικανότητα (throughput) του δικτύου και βοηθώντας παράλληλα στην μείωση της κατανάλωσης ενέργειας (Ahmed, Baharudin, Fisal, Hafizah, Kamilah & Saleem).

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων αποτελούνται από κόμβους με περιορισμένη ενέργεια, που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή χρήσιμων πληροφοριών από μια δύσκολη περιοχή τροφοδοσίας ή μια περιοχή που εξυπηρετεί κάποιες προσωρινές καταστάσεις, οι οποίες δεν χρειάζονται σταθερό δίκτυο υποστήριξης και μπορεί να αναπτυχθούν γρήγορα σε περιπτώσεις πρόληψης καταστροφών.

Για να αποφευχθεί το πρόβλημα προτείνεται ένα νέο πρωτόκολλο βιο-εμπνευσμένο από τη δρομολόγηση της αποικίας των μυρμηγκιών και βασισμένο στον αλγόριθμο ACO, το οποίο, μπορεί να αντιμετωπίσει καταστάσεις συμφόρησης του δικτύου και γρήγορη κατανάλωση ενέργειας των επιμέρους κόμβων, ενώ ταυτόχρονα μπορεί να παρατείνει τον κύκλο ζωής του δικτύου, μειώνοντας αποτελεσματικά την κατανάλωση ενέργειας (Sindhanaiselvan & Syed (2013)). Επιπλέον, βελτιστοποιεί τη διαδικασία της δρομολόγησης, μέσω της μετάδοσης δεδομένων από πολλαπλές διαδρομές για την απόκτηση αξιόπιστων δεδομένων στην περίπτωση σφαλμάτων σε κάποιο κόμβο. Τέλος, αποδεικνύεται ότι το παρόν πρωτόκολλο, μεταξύ άλλων θεωρείται καλύτερο από άποψη απόδοσης, ενεργειακής κατανάλωσης, αναλογίας παράδοσης πακέτων, διεκπεραιωτικής ικανότητας και από άκρον εις άκρον καθυστέρησης, ενώ, την ίδια στιγμή έχει προταθεί η χρήση του σε ένα μικρού μεγέθους στοιχείο υλικού, που απαιτεί ελάχιστες συνδέσεις και θεωρείται κατάλληλο για τα μικροσκοπικά σχεδιασμένους κόμβους, που έχουν αναπτύξει μια εύκολη μέθοδο για τον χειρισμό της δρομολόγησης χρησιμοποιώντας τσίπ (chip)

δρομολογητή. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, συμπεριλαμβανομένου και του χρόνου απόκρισης του τσιπ, θεωρείται ότι το παρόν πρωτόκολλο αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη λύση για τον σχεδιασμό των κόμβων των ασύρματων δικτύων αισθητήρων (Karaboga & Okdem (2009)).

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων αποτελούνται από ένα μεγάλο αριθμό κόμβων αισθητήρων που έχουν περιορισμένη ενέργεια και περιορισμένα αποθηκευτικά μέσα ενέργειας, ζήτημα πολύ σημαντικό καθώς περιορίζει τη διάρκεια ζωής του δικτύου. Έτσι παρουσιάζεται η βελτίωση του πρωτοκόλλου LEACH με χρήση ασαφούς λογικής Leach-FL (LEACH with Fuzzy Logic), η οποία, εκλέγει την κεφαλή του συμπλέγματος λαμβάνοντας υπόψη το επίπεδο της μπαταρίας, την απόσταση και την πυκνότητα των κόμβων, σε αντίθεση με το απλό LEACH πρωτόκολλο που κάνει την επιλογή με βάση το μοντέλο πιθανοτήτων. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, προκύπτει ότι το παρόν πρωτόκολλο μεγιστοποιεί την ενεργειακή απόδοση, αυξάνοντας έτσι τη διάρκεια ζωής του δικτύου (Gong, Ran & Zhang (2010)).

Αναφερόμενοι στο πρόβλημα της απόκτησης δεδομένων σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, με κινητό κόμβο-συλλέκτη δεδομένων αξίζει να παρουσιαστεί ένα νέο πρωτόκολλο SIMPLE, το οποίο, έχει σχεδιαστεί με βάση την νοημοσύνη του σμήνους και ενημερώνεται δυναμικά για την εύρεση των ενεργειακά αποδοτικών διαδρομών από ένα μοντέλο πιθανοτήτων και την εξισορρόπηση της εναπομένουσας ενέργειας σε κάθε κόμβο (Sikdar, Yang & Ye). Έτσι μεγιστοποιείται η ατομική ζωή του κόμβου, καθώς απλοποιούνται σημαντικά οι εργασίες στους αισθητήρες, διατηρώντας τις απαιτήσεις της υπολογιστικής ισχύος σε χαμηλό επίπεδο και περιορίζοντας ταυτόχρονα τις απαιτήσεις αποθήκευσης και ενέργειας. Μέσω προσομοιώσεων, έχει αποδειχθεί η ευρωστία και η ανώτερη απόδοση του πρωτοκόλλου που προτείνεται, σε σύγκριση με τα υπάρχοντα πρωτόκολλα.

## **5.2. Υπολογιστική νοημοσύνη και πρωτόκολλα στα MANETs**

Ποικίλα είναι τα πρωτόκολλα που έχουν δημιουργηθεί και βασίζονται σε επιμέρους τομείς της υπολογιστικής νοημοσύνης στην προσπάθεια τους να βελτιστοποιήσουν επιμέρους πτυχές των MANETs.

Αρχικά, η υποστήριξη της ποιότητας των υπηρεσιών, που αφορά στα κινητά ad-hoc δίκτυα είναι ένα δύσκολο έργο, λόγω της δυναμικής τοπολογίας και των περιορισμένων



πόρων. Έτσι ο κύριος σκοπός της δρομολόγησης QoS είναι να βρεθεί μια εφικτή διαδρομή που διαθέτει επαρκείς πόρους για την ικανοποίηση των περιορισμών, δηλαδή να βρεθεί μια διαδρομή μεταξύ μιας πηγής και προορισμού που να ικανοποιεί δύο ή περισσότερους από άκρον εις άκρον περιορισμούς QoS.

Προτείνεται το SDVR (Sequenced Distance Vector Routing protocol) πρωτόκολλο, το οποίο, χρησιμοποιεί νοημοσύνη σμήνους επιλέγοντας την διαδρομή με την ελάχιστη καθυστέρηση και με τη μέγιστη εναπομένουσα ενέργεια στους κόμβους, λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη τη διεκπεραιωτική ικανότητα, προκειμένου να διατηρήσει τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές καθυστέρησης, παράγοντας με αυτό τον τρόπο καλύτερα αποτελέσματα από ό, τι το υπάρχον AODV από πλευράς παράδοσης πακέτων, από άκρον εις άκρον καθυστέρησης και κατανάλωσης ενέργειας σε επίπεδο κόμβου (Asokan, Natarajan & Nivetha (2007)). Ακόμη κι αν τα αποτελέσματα του SDVR μειονεκτούν σε μια ελαφρώς υψηλή επιβάρυνση δρομολόγησης από το AODV, υπερτερούν ωστόσο στην ανακάλυψη διαδρομής σε μια τοπολογία δικτύου με δυναμικές αλλαγές και στην παράγωγή πολύ καλύτερης απόδοσης με πολύ χαμηλή διακύμανση στην καθυστέρηση.

Αναφερόμενοι στα πρωτόκολλα πολυεκπομπής γίνεται εύκολα κατανοητή η χρήση τους όσον αφορά τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας σε ασύρματες συνδέσεις κινητών ad hoc δικτύων κατά την αποστολή πολλαπλών μηνυμάτων από πολλαπλές πηγές σε πολλαπλούς παραλήπτες.

Για τον τομέα που αφορά τα MANETs προτείνεται το πρωτόκολλο SQMP (Source initiated Mesh based QoS Probabilistic multicast routing protocol), το οποίο, είναι εμπνευσμένο από τον αλγόριθμο της αποικίας των μυρμηγκιών, όπου ένα μυρμήγκι επιλέγει την καλύτερη διαδρομή για τον προορισμό του, ενώ η εύρεση της τροφής γίνεται σε συνεργασία με άλλα μυρμήγκια. Παρόμοια το SQMP πρωτόκολλο εισάγει μια πιθανολογική προώθηση δεδομένων για κινητά adhoc δίκτυα από την πηγή στον προορισμό επιλέγοντας τη διαδρομή που μπορεί να ικανοποιήσει το απαιτούμενο εύρος και την απαιτούμενη καθυστέρηση από τις εφαρμογές, ενώ προσαρμόζεται αυτόματα στην κινητικότητα των κόμβων ενός MANET. Τέλος, όπως προκύπτει και από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης ο παρόν αλγόριθμος επιτυγχάνει καλύτερη αναλογία παράδοσης πακέτων με την εύρεση ενός μονοπατιού που ικανοποιεί τους περιορισμούς QoS, εύρους ζώνης και από άκρον εις άκρον καθυστέρηση (Deepalakshmi & Radhakrishnan (2011)).

Όσον αφορά τις συγκρούσεις κατά τη διάρκεια της μετάδοσης δεδομένων προτείνεται ένα νέο πρωτόκολλο, το E-TDMA (Evolutionary-Time Division Multiple Access), που χρησιμοποιεί εξελικτικούς αλγορίθμους και επιτρέπει στους κόμβους ενός ad hoc δικτύου να κάνουν κρατήσεις χρονο-μερίδων, προκειμένου να μεταδώσουν δεδομένα προς τους γείτονές τους, χωρίς συγκρούσεις (Corson & Zhu). Η δομή του πρωτοκόλλου, εξαρτάται από δύο προγράμματα που δημιουργούνται και διατηρούνται από το πρωτόκολλο: ένα πρόγραμμα μετάδοσης κατάλληλο για τον έλεγχο της κυκλοφορίας του δικτύου και ένα μεικτό πρόγραμμα που συνδυάζει τόσο μονής, όσο και πολλαπλής εκπομπής μεταδόσεις για τα δεδομένα των χρηστών. Έτσι, οι πίνακες ενημερώνονται συχνά με εξελικτικές μεθόδους ώστε να διατηρείται η διαδικασία της μετάδοσης χωρίς συγκρούσεις. Τα αποτελέσματα έχουν δείξει ότι η απόδοση του E-TDMA πρωτοκόλλου είναι κοντά σε αυτή των άλλων αλγορίθμων, ενώ επηρεάζεται σημαντικά από το μέγεθος του δικτύου από την άποψη της ποιότητας προγραμματισμού και τον προγραμματισμό γενικά. Ωστόσο, πρόκειται για ένα επεκτάσιμο πρωτόκολλο κατάλληλο τόσο για πολύ μεγάλα δίκτυα, όσο και για δίκτυα διαφόρων μεγεθών, που υποστηρίζουν ιεράρχηση της κυκλοφορίας και της ποιότητας των υπηρεσιών.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα νέο πρωτόκολλο δρομολόγησης το ANSI (Ad hoc Networking with Swarm Intelligence), που χρησιμοποιεί τους μηχανισμούς της νοημοσύνης του σμήνους για την επιλογή του επόμενου κόμβου και ακριβώς επειδή έχει επίγνωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης είναι σε θέση να συλλέξει περισσότερες πληροφορίες σχετικά με το τοπικό δίκτυο, παίρνοντας έτσι πιο αποτελεσματικές αποφάσεις δρομολόγησης από τα παραδοσιακά πρωτόκολλα MANET. Το πρωτόκολλο ANSI, μεταξύ άλλων δείχνει ότι είναι σε θέση να επιτύχει καλύτερα ή συγκρίσιμα αποτελέσματα σε περιπτώσεις χαμηλού κυκλοφοριακού φόρτου και σημαντικά καλύτερα αποτελέσματα σε περιπτώσεις υψηλού κυκλοφοριακού φόρτου (Rajagopalan & Shen). Επιπλέον, το ANSI επιτυγχάνει καλύτερα ποσοστά καθυστέρησης, διεκπεραιωτικής ικανότητας και κατανάλωσης πόρων όσον αφορά στο MAC επίπεδο. Συμπερασματικά, το ANSI θεωρείται αρκετά συνεπές, καθώς λαμβάνονται υπόψη οι χαμηλότερες τιμές διακύμανσης, (οι οποίες μετρώνται ως το πλάτος των διαστημάτων εμπιστοσύνης) των παρατηρούμενων τιμών στα αποτελέσματα των πειραμάτων και ταυτόχρονα έχει αποδειχθεί και ως εγγενώς πιο κατάλληλο για ορισμένα είδη εφαρμογών πολυμέσων σε κινητά ad hoc δίκτυα.

Η ποιότητα της υπηρεσίας για κινητά Ad hoc δίκτυα είναι ένα απαιτητικό έργο, λόγω της δυναμικής τοπολογίας και των περιορισμένων πόρων. Συγκεκριμένα για την υποστήριξη ποιότητας υπηρεσιών, οι πληροφορίες που αφορούν την κατάσταση της σύνδεσης, την καθυστέρηση, το εύρος ζώνης, τη διεκπεραιωτική ικανότητα, το κόστος, το ποσοστό σφάλματος και την ενέργεια που περιέχεται σε κάθε κόμβο του δικτύου θα πρέπει να είναι διαθέσιμες και διαχειρίσιμες, ώστε να χρησιμοποιηθούν κατά τη διαδικασία της δρομολόγησης.

Έτσι προτείνεται ένα νέο πρωτόκολλο ADSR (Ant Dynamic Source Routing), το οποίο κάνει χρήση του αλγορίθμου ACO και παρέχει στα MANETs καλύτερα αποτελέσματα σε σύγκριση με πολλά άλλα πρωτόκολλα. Για την ακρίβεια, το προτεινόμενο πρωτόκολλο επιλέγει διαδρομές με ελάχιστη καθυστέρηση και με μέγιστη περιεκτικότητα ενέργειας στους κόμβους. Επιπλέον, η επιλογή των διαδρομών, προκύπτει λαμβάνοντας υπόψη τη διεκπεραιωτική ικανότητα, μια μετρική που προσδιορίζει κατά προσέγγιση την μέση τιμή της καθυστέρησης (Asokan, Natarajan & Venkatesh). Το ADSR παράγει καλύτερα αποτελέσματα από ό, τι το υπάρχον DSR από την άποψη του δείκτη παράδοσης πακέτων, της από άκρον εις άκρον καθυστέρησης και της διαθέσιμης ενέργειας των κόμβων. Ακόμη, αποδίδει καλά στην ανακάλυψη διαδρομής με δυναμικές αλλαγές στην τοπολογία του δικτύου και παράγει πολύ καλύτερη απόδοση με πολύ χαμηλή διακύμανση της καθυστέρησης.

Αργότερα παρουσιάζεται ένα νέο πρωτόκολλο που τροποποιεί το AODV με τη βελτίωση των επιδόσεων του χρησιμοποιώντας τον ACO αλγόριθμο. Πρόκειται για το πρωτόκολλο Optimized-AODV (Ad-hoc On-demand Distance Vector), το οποίο συσσωρεύει μέσα του πληροφορίες μονοπατιών, κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ανακάλυψης μιας διαδρομής, για την απόκτηση επιπλέον πληροφοριών δρομολόγησης (Goel & Sharma). Επομένως μέσω των αποτελεσμάτων, γίνεται εμφανές ότι το παρόν πρωτόκολλο βελτιώνει την απόδοση του AODV υπό συνθήκες υψηλού φόρτου και μέτριας έως υψηλής κινητικότητας, ενώ επίσης, διατηρεί την απόδοση του πρωτοκόλλου σταθερή, για περιβάλλοντα όπου επικρατεί είτε αρκετά χαμηλή πυκνότητα κόμβων, είτε αρκετά υψηλή. Παράλληλα τονίζεται ότι το νέο πρωτόκολλο υποστηρίζει χαμηλή από άκρον εις άκρον καθυστέρηση, ενώ ταυτόχρονα θεωρείται κατάλληλο και για μεγάλου μεγέθους δίκτυα MANET. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι όταν οι κόμβοι δεν κινούνται, τότε δεν απαιτείται και εφαρμογή της διαδικασίας ανεύρεσης διαδρομής.

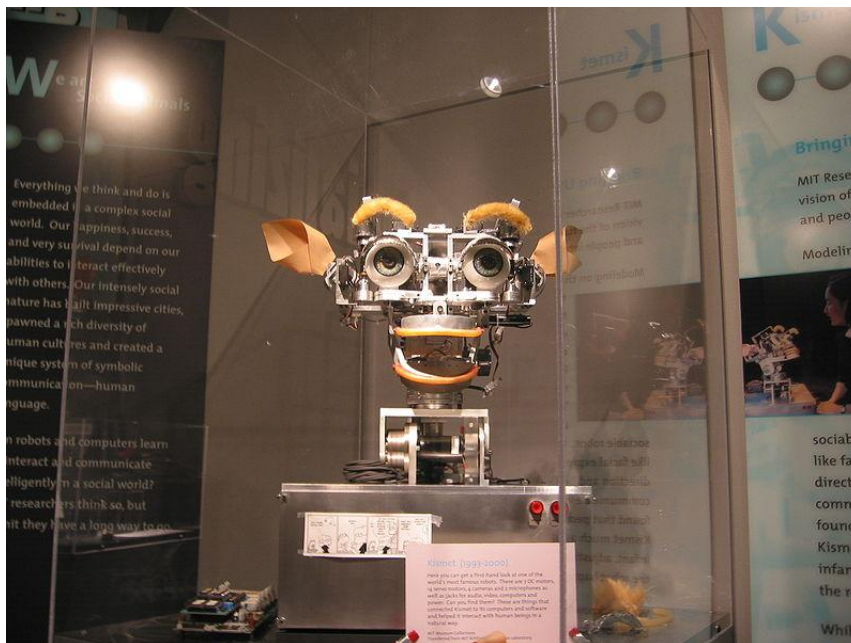
### 5.3. Συμπεράσματα

Παρουσιάστηκε μια περιεκτική επισκόπηση των διαφόρων εμπνευσμένων από τη φύση πρωτοκόλλων των ασύρματων επικοινωνιών, η οποία είναι σχεδιασμένη για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και τα κινητά ad hoc δίκτυα. Κάποια από τα χαρακτηριστικά, των ασύρματων δικτύων επικοινωνιών, έχουν να κάνουν με χαμηλή ποιότητα σύνδεσης και υπηρεσιών, την επιβάρυνση δρομολόγησης, την υψηλή διακύμανση καθυστέρησης, την υψηλή ενεργειακή κατανάλωση, τη μειωμένη διάρκεια ζωής του δικτύου και την κακή αναλογία παράδοσης πακέτων, για την εύρεση μονοπατιού, που να ικανοποιεί τους περιορισμούς του εύρους ζώνης, της ποιότητας των υπηρεσιών και της από άκρον εις άκρον καθυστέρησης.

Τα πρωτόκολλα που εξετάζονται, εμπίπτουν στις τεχνολογίες των ασαφών συστημάτων, της βελτιστοποίησης της αποικίας μυρμηγκιών, της νοημοσύνης σμήνους και των εξελικτικών αλγορίθμων και παρέχουν μια σειρά από ιδιότητες, μέσω των οποίων δίνεται η δυνατότητα βελτίωσης σε σημαντικές παραμέτρους της υπάρχουσας κατάστασης των ασύρματων δικτύων αισθητήρων και των κινητών ad hoc δικτύων, που σχετίζονται με τη δρομολόγηση, την ιεράρχηση της κυκλοφορίας, τη μετάδοση δεδομένων, τη διάρκεια ζωής του δικτύου, την εκλογή κεφαλής συμπλέγματος και το σχεδιασμό των κόμβων ενός δικτύου αισθητήρων.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>

## ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗΣ ΣΤΙΣ ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ



Το παρόν κεφάλαιο παρουσιάζει προσεγγίσεις εφαρμογής της υπολογιστικής νοημοσύνης στις ασύρματες επικοινωνίες. Με τον όρο προσεγγίσεις, ορίζονται προτάσεις προς υλοποίηση, στις οποίες παρέχονται τεχνικές λεπτομέρειες, χωρίς όμως να γίνεται λεπτομερής ανάλυσή τους. Αρχικά, περιγράφεται και συγκρίνεται η συμπεριφορά των ασύρματων δικτύων αισθητήρων στην προσθήκη διαφόρων τεχνολογιών υπολογιστικής νοημοσύνης. Ακολουθεί έπειτα, η ίδια διαδικασία για τις προσεγγίσεις των ασύρματων επικοινωνιών, που υλοποιούνται στο πλαίσιο των κινητών ad hoc δικτύων. Ενώ τέλος εξετάζονται, οι προσεγγίσεις εφαρμογής τεχνολογιών της υπολογιστικής νοημοσύνης σε διάφορους τομείς των ασύρματων δικτύων, απ' όπου και εξάγονται τα τελικά συμπεράσματα.

## 6. ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗΣ ΣΤΙΣ ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

### 6.1. Προσεγγίσεις εφαρμογής υπολογιστικής νοημοσύνης στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων

Κατά τα τελευταία έτη, έχουν διερευνηθεί και αναπτυχθεί πολλές προσεγγίσεις και τεχνικές που αφορούν τη βελτίωση διαφόρων χαρακτηριστικών των ασύρματων δικτύων αισθητήρων.

Αρχικά όσον αφορά τη χρήση της ενέργειας στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, έχει προταθεί μια ασαφής λογική προσέγγιση, που χρησιμοποιεί μετρικές για την παραγωγή ενέργειας με επίγνωση των αποφάσεων δρομολόγησης. Αυτή η γενικευμένη προσέγγιση είναι δυνατόν να εφαρμοστεί σε δίκτυα αισθητήρων που αποτελούνται από διαφορετικούς τύπους κόμβων αισθητήρων οι οποίοι παρουσιάζουν διαφορετικά αποτελέσματα ενεργειακών μετρήσεων και ταυτόχρονα μπορούν εύκολα να ρυθμιστούν για διαφορετικούς τύπους δικτύων, σε συνθήκες όπου οι κόμβοι προσαρμόζονται απλά με την αλλαγή των σχημάτων των ασαφών συνόλων. Τέλος και μέσω προσομοιώσεων έχει αποδειχθεί ότι το παρόν μοντέλο είναι αρκετά αξιόπιστο και αποτελεσματικό (Haider & Yusuf (2009)).

Παραμένοντας στον τομέα που αφορά την ενεργειακή κατανάλωση στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, προτείνεται άλλη μια προσέγγιση που επικεντρώνεται στην μεγιστοποίηση της διάρκειας ζωής του δικτύου. Οπότε γίνεται αναφορά στην PSO προσέγγιση, που κάνει χρήση της νοημοσύνης σμήνους, για την παραγωγή ενέργειας με επίγνωση των ομάδων που έχουν προκύψει από τη βέλτιστη επιλογή των αρχηγών συμπλέγματος (Lobiyal & Singh (2012)). Η PSO προσέγγιση φαίνεται να μειώνει το κόστος της τοποθετήσεως που αφορά τη βέλτιστη θέση για τους κόμβους αρχηγούς σε ένα σύμπλεγμα κόμβων, να επηρεάζει τον αναμενόμενο αριθμό των αναμεταδόσεων πακέτων και να παρέχει αποτελεσματικότητα από άποψη διάρκειας ζωής του δικτύου και μέσης κατανάλωσης ενέργειας.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται άλλη μια ωφέλιμη προσέγγιση που βασίζεται σε ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης κατευθυνόμενης διάχυσης. Η παρούσα προσέγγιση, υποστηρίζει την ενσωμάτωση ασαφούς λογικού ελεγκτή σε κάθε κόμβο αισθητήρα του δικτύου που καθορίζει τη δυνατότητα ενός κόμβου για συνεργασία, όσον αφορά στην

διαδικασία της ανίχνευσης, χρησιμοποιώντας το τρέχον επίπεδο ενέργειας και το ωφέλιμο φορτίο (Al-Haddad, Karimi & Zarafshan (2012)). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η νέα ασαφής προσέγγιση διατηρεί μεγαλύτερα ποσά της αποθηκευμένης ενέργειας σε επίπεδο κόμβων, που σημαίνει εξοικονόμηση περισσότερης ενέργειας για μελλοντικές δράσεις και για παράταση του χρόνου ζωής των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Έτσι, είναι ενεργειακά αποδοτική, δρα πιο αποτελεσματικά κατά τη διάρκεια της δρομολόγησης όσον αφορά το χρόνο ζωής του δικτύου και βελτιώνει το κατευθυνόμενη διάχυση πρωτόκολλο δρομολόγησης.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων αποτελούνται από εκατοντάδες ή και χιλιάδες μικροσκοπικούς κόμβους, που ονομάζονται αισθητήρες και έχουν ως έργο τους, να συνδέονται μεταξύ τους και να εκτελούν ορισμένα ειδικά καθήκοντα. Λόγω των ειδικών χαρακτηριστικών των ασύρματων δικτύων αισθητήρων, όπως για παράδειγμα την ενεργειακή κατανάλωση, οι κόμβοι είναι επιρρεπείς σε βλάβες, οπότε ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό όσον αφορά τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι η ανίχνευση ελαττωματικών κόμβων σε ομαδοποιημένες δικτυακές δομές. Οι Dastgheib, Ebrahimi, Gholamishiri & Oulia (2012), προτείνουν μια προσέγγιση, για τον εντοπισμό ελαττωματικών κόμβων σε WSN ομαδοποιημένες δομές, με χρήση ασαφούς λογικής. Η προτεινόμενη μέθοδος παρέχει ελάχιστη καθυστέρηση, μείωση της υπολογιστικής πολυπλοκότητας και της ενεργειακής κατανάλωσης, ενώ αποτελεί μια βελτιστοποιημένη προσέγγιση σε σύγκριση με τις υπάρχουσες μεθόδους.

Στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, η ασφάλεια, η προστασία της ακεραιότητας, η εμπιστευτικότητα των πληροφοριών και η προστασία από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση είναι σημαντικά θέματα. Ωστόσο λόγω παραγόντων, όπως είναι οι περιορισμένοι πόροι, η απουσία των κεντρικών σημείων πρόσβασης και το ανοικτό ασύρματο μεσαίου ή μικρού μεγέθους δίκτυο, η εφαρμογή της ασφάλειας στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι δύσκολο έργο. Έτσι, προτείνεται μια νέα προσέγγιση ενός πρωτοκόλλου, QDV (quality-based distance vector routing protocol), που βασίζεται στη χρήση της βελτιστοποίησης της αποικίας των μυρμηγκιών (ACO) και σε δύο βασικές παραμέτρους που είναι η ποιότητα της υπηρεσίας και η φήμη (Dhurandher, Gupta, Misra & Obaidat (2008)).

Η υψηλή φήμη ενός κόμβου σημαίνει ότι ο κόμβος είναι αξιόπιστος για τους σκοπούς της επικοινωνίας δεδομένων, ενώ αν ένας κόμβος δείχνει σημάδια κακής συμπεριφοράς, μειώνεται η φήμη του, επηρεάζοντας παράλληλα και την ποιότητα της ασφάλειας. Έτσι,

γίνεται διάκριση των κόμβων μεταξύ τους προκειμένου να διαπιστωθούν ποιοι είναι οι κακόβουλοι, ώστε να απενεργοποιηθούν. Τέλος, η παρούσα προσέγγιση έχει αποδειχθεί ότι μεταξύ άλλων, αλλά και μέσω των προσομοιώσεων μπορεί να εμποδίζει τα δεδομένα από καταστροφές κατά τη διάρκεια της μετάδοσης και να παρέχει γενικά μεγαλύτερη ασφάλεια, ειδικά όταν συνδυάζεται και με έναν αλγόριθμο κρυπτογράφησης δεδομένων.

Δεν θα πρέπει να παραληφθεί ότι ένα δίκτυο αισθητήρων αποτελείται από δύο ειδών ζεύξεις ενσύρματες αλλά και ασύρματες. Επίσης, η κατανάλωση ενέργειας, η χρήση της ενέργειας της μπαταρίας και η μνήμη είναι περιορισμένοι πόροι, που περιορίζουν και τη δυνατότητα υποστήριξης της επικοινωνίας. Επομένως, υπάρχει ανάγκη για εξισορρόπηση της ενέργειας με χρήση της συντομότερης απόστασης επικοινωνίας.

Οι Muraleedharan & Osadciw (2003), προτείνουν μια νέα προσέγγιση, για την επιλογή των συντομότερων διαδρομών, η οποία χρησιμοποιεί τη βελτιστοποίηση της αποικίας των μυρμηγκιών και με τη βοήθεια διαφόρων παραμέτρων, μπορεί και αυξάνει το χρόνο σύγκλισης του συστήματος, ενώ, έχει εξισορροπήσει την απόσταση και την διάχυση της ενέργειας στους αισθητήρες, βρίσκοντας με επιτυχία ολικά βέλτιστα παρά τα τοπικά βέλτιστα. Τέλος, επισημαίνεται ότι η επιτυχία βρίσκεται στην προσεκτική επιλογή των παραμέτρων, που μπορούν να κάνουν ένα σύστημα, να ξεφύγει από τη συμπεριφορά της στασιμότητας (stagnation).

Δεδομένου του ότι ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα των ασύρματων δικτύων αισθητήρων είναι η αύξηση της ζωής του δικτύου, προτείνεται μια νέα προσέγγιση, η οποία λύνει το πρόβλημα της ενεργειακής κάλυψης, με την επιλογή των ελάχιστων κόμβων εργασίας που θα καλύπτουν όλους τους στόχους (Begum, Nazma & Sharmin (2010)). Ενώ, η επιλογή των κόμβων εργασίας ορίζεται κάθε φορά από τον τροποποιημένο αλγόριθμο της αποικίας των μυρμηγκιών. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η παρούσα προσέγγιση παρέχει σημαντική βελτίωση του δείκτη κάλυψης των στόχων που παρέχει ο κλασικός αλγόριθμος, ενώ ταυτόχρονα μειώνει σημαντικά και το χρόνο αναζήτησης των κόμβων.

Παραμένοντας στον τομέα της κατανάλωσης ενέργειας, παρουσιάζεται άλλη μια προσέγγιση, που κάνει χρήση της νοημοσύνης σμήνους, η οποία είναι υπολογιστικά αποδοτική, ενώ είναι δυνατόν να παρέχει ευρωστία και τη βέλτιστη δυνατή απώλεια ενέργειας, όσον αφορά στον τομέα της δρομολόγησης στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Με την ευρεία εφαρμογή των ασύρματων δικτύων αισθητήρων, μια σειρά από προβλήματα



βελτιστοποίησης παράγονται και είναι δύσκολο να επιλυθούν, επιτυγχάνοντας μάλιστα υψηλή ακρίβεια με βάση τις παραδοσιακές μεθόδους (Muraleedharan & Osadciw (2003)).

Έτσι, προτείνεται μια προσέγγιση, που υλοποιείται μέσω της χρήσης εξελικτικών αλγορίθμων και ιδιαίτερα μέσω γενετικών αλγορίθμων και γενετικού προγραμματισμού στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, για την επίλυση πραγματικών προβλημάτων (Guofang & Minqiang). Οι προτεινόμενες προσεγγίσεις, φαίνεται να είναι σχετικά πιο ανεξάρτητες και ευέλικτες, ενώ είναι δυνατόν να αποτελέσουν ισχυρά εργαλεία για την υποστήριξη των προσπαθειών βελτιστοποίησης στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Επομένως, όπως ο γενετικός αλγόριθμος είναι μια αποτελεσματική μέθοδος για την επίλυση συνδυαστικών προβλημάτων βελτιστοποίησης, έτσι και στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, αναμένεται ότι οι εξελικτικοί αλγόριθμοι θα παρέχουν χαμηλή υπολογιστική ταχύτητα, που θα ταιριάζει στην επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης χωρίς την ύπαρξη σύνδεσης.

## **6.2. Προσεγγίσεις εφαρμογής υπολογιστικής νοημοσύνης στα κινητά ad hoc δίκτυα**

Αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχει πλήθος προσεγγίσεων, που με τη χρήση της υπολογιστικής νοημοσύνης είναι δυνατόν να βελτιστοποιήσουν διάφορους τομείς των MANET. Αρχικά, τα ασύρματα ad-hoc δίκτυα, είναι ιδιαίτερα ευάλωτα σε κακή συμπεριφορά δρομολόγησης που συνήθως οφείλεται σε κακόβουλο λογισμικό ή ελαττωματικούς σταθμούς. Για το λόγο αυτό στα MANETs, ο παραδοσιακός τρόπος εφαρμογής των τείχων προστασίας σε δρομολογητές ή πύλες και το λογισμικό κρυπτογράφησης δεν είναι επαρκής και αποτελεσματικός, επειδή το κινητό ad-hoc περιβάλλον δεν έχει τέτοια σημεία συγκέντρωσης της κυκλοφορίας, με αποτέλεσμα να απαιτείται η παρακολούθηση της συμπεριφοράς μεμονωμένων σταθμών.

Απαιτείται επομένως, μια προσέγγιση, που κάνει χρήση ευφυών τεχνικών μηχανικής μάθησης και αποσκοπεί στη διατήρηση του ελέγχου των ευπαθών ομάδων που παρουσιάζουν κακή συμπεριφορά. Συγκεκριμένα, προτείνεται ένας αλγόριθμος ανίχνευσης ανωμαλίας, εμπνευσμένος από το βιολογικό ανοσοποιητικό σύστημα που ερευνά μέσω τεχνικών ανίχνευσης, την παρουσία εισβολής, η οποία αναγνωρίζεται μέσω κακής συμπεριφοράς, όπως για παράδειγμα η παρατήρηση μιας πιθανής απόκλισης από την κανονική ή την αναμενόμενη συμπεριφορά της ακολουθίας των γεγονότων, κατά τη δρομολόγηση της ασύρματης κίνησης στους κόμβους (Balachandran, Dasgupta & Wang).

Παραμένοντας στον τομέα που αφορά την ανίχνευση κακής συμπεριφοράς σε επίπεδο κόμβου, προτείνεται μια νέα προσέγγιση, που έχει ως στόχο, την αντιμετώπιση της κακής συμπεριφοράς με βάση την τεχνική ανίχνευσης ανωμαλιών εμπνευσμένη από το βιολογικό ανοσοποιητικό σύστημα, προκειμένου να αυξήσει την απόδοση των MANETs, ώστε αυτά να λειτουργούν παρά την παρουσία των κόμβων, που παρεκτρέπονται (Shanmugam & Sundararajan (2009)). Λόγω της εξάρτησής της από την τεχνική της ακρόασης, μπορεί να επέλθει αποτυχία ανίχνευσης κακής συμπεριφοράς (misbehavior), ψευδείς συναγερμοί, συγκρούσεις δέκτη ή και περιορισμένη ισχύς εκπομπής. Η σύγκριση των τριών διαφορετικών πρωτοκόλλων DSR (Dynamic Source Routing), AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing) και DSDV (Destination-Sequenced Distance Vector routing) έδειξε ότι το DSR πρωτόκολλο ανταποκρίνεται πιο αποδοτικά κατά τη διαδικασία της ανίχνευσης.

Μια άλλη προσέγγιση, στον τομέα της ανίχνευσης κακής συμπεριφοράς, εμπνευσμένη από το βιολογικό ανοσοποιητικό σύστημα, είναι σε θέση να αποδείξει μέσω της σχέσης ανάμεσα στην ενεργειακή απόδοση και τα γενικά ποσοστά των επιδόσεων, την ύπαρξη εισβολής, αστοχίας υλικού ή λογισμικού. Έτσι, με αυτό τον τρόπο μειώνεται το κόστος συντήρησης, βελτιώνεται η ενεργειακή απόδοση και αυξάνεται η αποτελεσματικότητα στα κινητά ad hoc δίκτυα (Drozda, Schaust, Schildt, & Szczerbicka (2010)).

Εξετάζοντας τις πιο πρόσφατες προσεγγίσεις για την αντιμετώπιση κακής συμπεριφοράς σε ad hoc ασύρματα δίκτυα, εντοπίζεται μια συγκεκριμένη κατηγορία λύσεων που βασίζονται στην αυτόνομη υπολογιστική και εμπνέονται από το βιολογικό ανοσοποιητικό σύστημα. Προτείνεται μια νέα αρχιτεκτονική προσέγγιση, που είναι δυνατό να επιβάλει υψηλό βαθμό επιβίωσης ενός δικτύου, καθιστώντας δυνατή την αποτελεσματική εφαρμογή μηχανισμών ανάδρασης, σε περίπτωση που εντοπιστεί η ύπαρξη κόμβων που εμφανίζουν κακή συμπεριφορά (Barton, Becker, Bessey, Drozda & Szczerbicka).

Έτσι, τόσο οι αλγόριθμοι, όσο και οι δομές δεδομένων θα πρέπει να επικεντρωθούν στην πρόληψη και τον εντοπισμό εισβολών και επιθέσεων, πριν ακόμη εκδηλωθούν ζημιές. Αξίζει τέλος να σημειωθεί ότι η παρούσα προσέγγιση, παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα, όμως δεδομένου ότι βασίζεται σε τεχνητά ανοσοποιητικά συστήματα, είναι δυνατόν να λειτουργεί σωστά, μόνο έως και για ένα μετρίου μεγέθους και σαφώς καθορισμένου συστήματος που παρουσιάζει κακή συμπεριφορά. Δηλαδή δεν πρέπει ποτέ να αναμένεται ότι θα καταστείλει ένα υπερβολικά μεγάλο σύνολο κόμβων που παρουσιάζουν κακή συμπεριφορά.

Αναφερόμενοι σε θέματα υποδομών, αξίζει να σημειωθεί ότι πολλές τρέχουσες εφαρμογές για ασύρματα δίκτυα βασίζονται σε μια στατική υποδομή και λειτουργούν μόνο εντός εμβέλειας σημεία πρόσβασης του δικτύου. Η ευελιξία αυτών των ιεραρχιών έδωσε λύσεις σε προβλήματα, συμφόρησης, ή περιορισμένης επεκτασιμότητας. Έτσι, παρουσιάζεται μια τεχνική προσέγγιση δρομολόγησης, που βασίζεται στην μεθοδολογία του σμήνους και καλείται να συνδυάσει πτυχές της δρομολόγησης και της κατανομής των πόρων σε ασύρματα ad hoc δίκτυα (Janacik, Kao & Rerrer).

Σε αντίθεση προς τις υφιστάμενες προσεγγίσεις, η νέα τεχνική λαμβάνει υπόψη χαρακτηριστικά όπως η ποιότητα και η αξιοπιστία, ενώ ταυτόχρονα προτείνει την ύπαρξη ενός συστήματος που επιδέχεται ανοχή σε σφάλματα και πτυχές εξισορρόπησης φορτίου κρατώντας παλιές διαδρομές στη μνήμη. Οπότε καταυτόν τον τρόπο, η παρούσα προσέγγιση είναι δυνατόν να αποδώσει καλύτερα, βελτιστοποιώντας άλλη μια πτυχή των ασύρματων δικτύων αισθητήρων.

Ό, τι αφορά τον τομέα δρομολόγησης μεγάλης κλίμακας κινητών ad-hoc δικτύων, μεγάλη έμφαση δίνεται τόσο στον αριθμό των κόμβων, όσο και στην περιοχή κάλυψης. Οπότε προτείνεται μια νέα προσέγγιση, που εφαρμόζεται σε ένα εξαιρετικά δυναμικό περιβάλλον, παρεμβαίνοντας στην ακανόνιστη τοπολογία ενός MANET, προκειμένου να δημιουργήσει μια συλλογή ομαδοποιημένων κόμβων γεωγραφικά κοντινών μεταξύ τους και να ορίσει λογικές συνδέσεις ανάμεσα τους (Braun & Heissenbüttel). Στη συνέχεια, εκτελείται ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης που βασίζεται σε κινητούς πράκτορες και εμπνέεται από την κοινωνική συμπεριφορά των εντόμων. Τέλος, μερικά από τα πλεονεκτήματα αυτής της προσέγγισης περιλαμβάνουν την ικανότητα της γρήγορης αντίδρασης σε τοπικές και όχι μόνο αλλαγές οι οποίες δεν οφείλονται αποκλειστικά και μόνο στην τοπολογία, αλλά και σε αλλαγές που αφορούν το εύρος ζώνης της επικοινωνίας, την καθυστέρηση μετάδοσης.

Έπειτα, περιγράφεται μια νέα προσέγγιση, που αφορά στην ποιότητα των υπηρεσιών και βασίζεται σε ένα σύστημα ασαφούς λογικής για τη διαφοροποίηση των υπηρεσιών παράδοσης σε ασύρματα κινητά ad hoc δίκτυα. Γενικά, η χρήση της ασαφούς λογικής σε ασύρματα ad hoc δίκτυα, φαίνεται, ότι μπορεί να προσθέσει περισσότερη ευελιξία και ικανότητα σε ένα σύστημα όταν λειτουργεί με ασαφείς ή ασταθείς πληροφορίες, οι οποίες συλλέγονται από μια δυναμική τοπολογία (Cherkaoui & Khoukhi (2008)). Πρόκειται για ένα μοντέλο, που ονομάζεται FuzzyMARS και διερευνά το πώς η ασαφής λογική, συμβάλει στη ρύθμιση της κυκλοφορίας ενός MANET. Αποτελείται ουσιαστικά από ένα μηχανισμό

ελέγχου εισαγωγής δεδομένων, τεχνικές για ρύθμιση της κίνησης σε πραγματικό χρόνο και ένα σύστημα ασαφούς λογικής για την ρύθμιση της κυκλοφορίας μέσω της μεθόδου βέλτιστης προσπάθειας (best-effort). Η απόδοση του παρόντος μοντέλου έχει μελετηθεί υπό διαφορετικές συνθήκες κινητικότητας και συνθηκών κυκλοφορίας, προκειμένου να διαπιστωθεί ότι μπορεί να επιτύχει χαμηλή και ταυτόχρονα σταθερή από άκρον εις άκρον καθυστέρηση και αξιολογικά ποσοστά απόδοσης, σε σύγκριση με τις υπάρχουσες προσεγγίσεις.

Ένα κινητό ad hoc δίκτυο αποτελείται από ένα σύνολο κινητών κόμβων που μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους χωρίς τη βοήθεια των σταθμών βάσης. Οπότε η δυναμική φύση της τοπολογίας του δικτύου, οι περιορισμένοι πόροι, η ποιότητα των υπηρεσιών και η δρομολόγηση πολλαπλής εκπομπής στα MANET αποτελούν πρόκληση. Γι' αυτό το λόγο, παρουσιάζεται μια προσέγγιση αλγορίθμου δρομολόγησης με χρήση ασαφούς ελεγκτή προγραμματιστή, που βασίζεται στην ποιότητα των υπηρεσιών και σε ένα πολλαπλών κλάσεων σύστημα FQRA (Fuzzy controller based QoS Routing Algorithm) για κινητά ad hoc δίκτυα (Chen, Gui, Sun & Zhang).

Η χρήση της ασαφούς λογικής βελτιώνει τη διαχείριση της ανακρίβειας και της αβεβαιότητας της κυκλοφορίας. Ωστόσο, η απόδοση αυτού του προγραμματιστή (scheduler) μελετάται σε σύγκριση με τον προσομοιωτή NS2 (Network Simulator version 2) και αξιολογείται από την άποψη των ποσοτικών μέτρων, όπως η αναλογία επιτυχίας διαδρομής, η μέση από άκρον εις άκρον καθυστέρηση και η μεταφορά δεδομένων. Ενώ, σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προκύπτουν η προσέγγιση φαίνεται να είναι αποτελεσματική, πολλά υποσχόμενη και εφαρμόσιμη στα ad hoc δίκτυα.

Οι νέες υπολογιστικές τεχνικές που αναπτύσσονται με βάση τις έννοιες του ανοσοποιητικού συστήματος, επιδιώκουν να λύσουν πολλά προβλήματα μηχανικής. Εδώ παρουσιάζεται μια νέα προσέγγιση ασφάλειας ενός MANET εμπνευσμένη από τις ιδιότητες του ανοσοποιητικού συστήματος (Azween & Abdelgadir (2009)). Όπως ένα κινητό σύστημα πρακτόρων χρησιμοποιείται προκειμένου να χαρτογραφήσει τα διαφορετικά συστατικά του ανοσοποιητικού που συνεργάζονται, προκειμένου να υπερασπίσουν το ανθρώπινο σώμα κατά των διάφορων ειδών ασθενειών, έτσι και η παρούσα προσέγγιση χρησιμοποιεί κάποια χαρακτηριστικά ασφαλείας όπως είναι η κατανεμημένη ανίχνευση, η πρώτη ή η δεύτερη απάντηση, η αυτόματη ανάκαμψη, η προσαρμοστικότητα και άλλα, δίνοντας έτσι έμφαση

περισσότερο σε θέματα υποδομής ενός MANET και λιγότερο σε θέματα κινητικότητας κόμβων.

Η εισαγωγή των Coloured Petri Net, τα οποία είναι μοντέλα, που έχουν χρησιμοποιηθεί για να περιγράψουν πώς διαφορετικοί παράγοντες ενός MANET συντονίζονται προκειμένου να παρέχουν προστασία στο δίκτυο από απρόσκλητες επιθέσεις (Azween & Abdelgadir (2009)).

Αναφερόμενοι στο πρόβλημα της δρομολόγησης πολλαπλής εκπομπής που αφορά στα κινητά ad hoc δίκτυα, προτείνεται μια νέα προσέγγιση, που κάνει χρήση της νοημοσύνης του σμήνους. Γίνεται λόγος για πολλαπλή εκπομπή σε πολλαπλούς πυρήνες με την υιοθέτηση της νοημοσύνης του σμήνους σε ένα κατά παραγγελία πολλαπλής εκπομπής πρωτόκολλο δρομολόγησης, που έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίξει εφαρμογές επικοινωνίας (Manvi, Shirodkar & Umbarkar (2009)). Το προτεινόμενο έργο αποτελεί δοκιμή της αποτελεσματικής λειτουργίας του δικτύου, όσον αφορά στην διάρκεια της απόδοσης, λαμβάνοντας υπόψη παραμέτρους, όπως η αναλογία διανομής πακέτων, η καθυστέρηση και η ανακάλυψη διαδρομής ως προς το χρόνο. Τέλος η προσέγγιση αυτή, μεταξύ άλλων παρέχει καλύτερη παράδοση των μηνυμάτων, ενώ μπορεί να εφαρμοστεί και σε περιπτώσεις που είναι επιθυμητή η εξασφάλιση εξισορρόπησης φορτίου, η εξοικονόμηση ενέργειας και η ασφάλεια.

Τα MANETs, δημιουργήθηκαν από μια συλλογή κινητών κόμβων που δεν έχουν σταθερή υποδομή. Οι κόμβοι επικοινωνούν μέσω του ασύρματου δικτύου και δεν υπάρχει κεντρικός έλεγχος. Ενώ, το καθήκον της δρομολόγησης είναι να κατευθύνει πακέτα δεδομένων από έναν κόμβο πηγής προς έναν δεδομένο κόμβο προορισμού. Βέβαια, αυτό το έργο είναι ιδιαίτερα πολύπλοκο λόγω της δυναμικής τοπολογίας, της περιορισμένης αποθηκευτικής ικανότητας, του περιορισμένου εύρους ζώνης και της έλλειψης κεντρικού ελέγχου. Έτσι, προτείνεται από τους Kumar, Singh & Singh (2010), μια προσέγγιση, που θέλει η δρομολόγηση να βασίζεται στον αλγόριθμο της αποικίας των μυρμηγκιών και να αποτελεί λύση, σε προβλήματα όπου περιλαμβάνουν σύνθετα σενάρια δικτύου, όπου οι παραδοσιακές τεχνικές δρομολόγησης είτε αποτυγχάνουν εντελώς είτε καλούνται να αντιμετωπίσουν μεγάλη πολυπλοκότητα. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι η δρομολόγηση που βασίζεται στις έννοιες της αποικίας των μυρμηγκιών κερδίζει περισσότερη δημοτικότητα, λόγω της εύκολης προσαρμοστικότητας και της δυναμική φύση της.

### 6.3. Προσεγγίσεις εφαρμογής υπολογιστικής νοημοσύνης σε διάφορους άλλους τομείς των ασύρματων δικτύων

Αναφερόμενοι στα ασύρματα δίκτυα διαπιστώνεται ότι υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία χαρακτηριστικών που χρήζουν βελτιστοποίησης, ενώ ταυτόχρονα εντοπίζεται και ένα σημαντικό πλήθος προσεγγίσεων που προσπαθεί να δώσει λύσεις στα προβλήματα που προκύπτουν. Το GNSS (Global Navigation Satellite System), έχει διαπιστωθεί ότι σε εσωτερικούς χώρους WLAN σύμφωνα με το πρότυπο IEEE 802.11 μπορεί να παρέχει πληροφορίες θέσης χρησιμοποιώντας μετρήσεις ισχύος σήματος σε σημεία πρόσβασης (AP) και καταυτόν τον τρόπο να παρέχει τόσο δυνατότητες επικοινωνίας, όσο και λειτουργικότητας πλοήγησης.

Για τη μέθοδο της αναγνώρισης δακτυλικών αποτυπωμάτων, γίνεται γνωστό ότι η ισχύς του σήματος μπορεί να παρέχει ακριβή αποτελέσματα για απόσταση που κυμαίνεται από ένα έως πέντε μέτρα. Ωστόσο αργότερα, παρουσιάζεται μια νέα προσέγγιση, που κάνει χρήση αυτής της μεθόδου, αλλά επεκτείνεται περισσότερο και εισάγει την ιδέα της θεωρίας της ασαφούς λογικής (Elssfeler, Pany & Teuber (2006)). Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων δείχνουν μεταξύ άλλων ότι η νέα προσέγγιση είναι καταλληλότερη, δεδομένου ότι αποκτά σημαντικές βελτιώσεις ως προς την ακρίβεια, ιδιαίτερα σε μεγάλους χώρους, καθώς οι διάφορες μετρήσεις των στοιχείων ισχύος σήματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν και να σχηματίσουν γλωσσικές μεταβλητές, που ανταποκρίνονται καλύτερα στις ανθρώπινες εκτιμήσεις.

Ο κύριος στόχος ενός μελλοντικού κινητού τηλεφωνικού συστήματος είναι να παρέχει εξαιρετική ποιότητα υπηρεσιών στους χρήστες, με την ενίσχυση του διαθέσιμου εύρους ζώνης, σε συνδυασμό με τις απαραίτητες απαιτήσεις ασφάλειας και μια εγγυημένη απρόσκοπτη σύνδεση μεταξύ τους, ανεξάρτητα από τη φύση και την ποιότητα του δικτύου που χρησιμοποιείται από αυτούς. Οι παραδοσιακοί αλγόριθμοι, κάνουν χρήση της σχετικής έντασης του σήματος και άλλων συμβατικών παραμέτρων, κατά την εκτέλεση του μηχανισμού μεταβίβασης, καταφέρνοντας με αυτό τον τρόπο να επιτύχουν ενίσχυση της ποιότητας των υπηρεσιών μέχρι έναν ορισμένο βαθμό. Ενώ για καλύτερη απόδοση γίνεται χρήση τεχνικών της υπολογιστικής νοημοσύνης, όπως ασαφούς λογικής, νευρωνικών δικτύων και άλλων. Τέλος, μέσω των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τη διεξαγωγή προσομοιώσεων, η προσέγγιση της ασαφούς λογικής, φαίνεται μεταξύ άλλων να υπερέχει καθώς, επιτρέπει σε ένα οργανωμένο πλήθος παραμέτρων μεταβίβασης να παρέχουν μια

ισορροπημένη συσχέτιση μεταξύ των διαφόρων χαρακτηριστικών του συστήματος (Kolte & Patil (2011)).

Οι Chen, Hwang, Tseng, Wu & Yang (2010), προτείνουν μια νέα προσέγγιση ασαφούς λογικής που αφορά ένα εσωτερικό σύστημα εντοπισμού θέσης (FLIPS). Το συγκεκριμένο σύστημα μετρά τις αποστάσεις χρησιμοποιώντας την ισχύ του λαμβανόμενου σήματος (RSS) μεταξύ ενός αντικειμένου και του σταθμού βάσης, ενώ αργότερα, μια μηχανή ασαφούς λογικής είναι σε θέση να καθορίσει τις συντεταγμένες του αντικειμένου.

Στο εσωτερικό περιβάλλον, η τεχνική RSS διαφαίνεται ότι παρέχει ανακριβή αποτελέσματα λόγω παρεμβολών από διαθλάσεις και ανακλάσεις. Ως εκ τούτου, η παρούσα προσέγγιση δείχνει να είναι καλύτερη από τη μέθοδο τριγωνισμού, καθώς παρέχει πιο σταθερά αποτελέσματα, μπορεί να εφαρμοστεί εύκολα στο υλικό, λόγω χαμηλής πολυπλοκότητας και αποδίδει καλύτερα στα πλαίσια ενός δικτύου αισθητήρων, τεχνολογίας Zigbee.

Ένας ευφυής ραδιοεξοπλισμός έχει τρία βασικά μέρη που τον καθιστούν ευφυή: την ικανότητα για ανίχνευση, ακόμα και στην ύπαρξη ανιχνεύσιμου φάσματος ραδιοσυχνοτήτων, τη γεωγραφική περιοχή που καθορίζεται από τις ανάγκες του χρήστη, την ικανότητα να μαθαίνουν ιδανικά με ελεγχόμενους ή μη τρόπους και τέλος τη δυνατότητα να προσαρμόζονται δυναμικά σε οποιοδήποτε επίπεδο του συστήματος ραδιοεπικοινωνίας. Έτσι, παρουσιάζεται μια νέα προσέγγιση, η οποία χρησιμοποιεί γενετικούς αλγόριθμους για να καταλήξει σε ένα ραδιοεξοπλισμό που ορίζεται από το χρωμόσωμα. Τα γονίδια του χρωμοσώματος, αντιπροσωπεύουν τις ρυθμιζόμενες παραμέτρους σε ένα δεδομένο ραδιοεξοπλισμό, ενώ, ο γενετικός αλγόριθμος, μπορεί να βρεί μια σειρά από παραμέτρους που βελτιστοποιούνται προκειμένου να ικανοποιήσουν τις τρέχουσες ανάγκες του χρήστη (Bostian, Le, Rieser & Rondeau). Και ενώ τα αποτελέσματα έχουν αποδείξει την επιτυχία και τη χρησιμότητα της προσέγγισης στον έλεγχο των παραμέτρων ραδιοσυχνοτήτων για την παροχή διαφορετικού QoS στο χρήστη, φαίνεται να χρειάζεται ακόμη πολύ δουλειά, καθώς διαφαίνεται ότι στα ίδια τα εξεταζόμενα έργα πολλές είναι οι τεχνικές που θα μπορούσαν σε μεγάλο βαθμό να βελτιωθούν και αφορούν την αποτελεσματικότητα και την ταχύτητα σύγκλισης.

Ένα άλλο όφελος των γενετικών αλγορίθμων είναι η δυνατότητα τους να παραλληλοποιηθούν. Καθώς επίσης και να διανείμουν τον WSGA(wireless system genetic algorithm) αλγόριθμο, μεταξύ πολλών διαφορετικών ραδιοεξοπλισμών εντός του ίδιου

δίκτυου, ώστε καθένας να μπορεί να επεξεργάζεται τα δεδομένα φαινομενικά αυτόνομα, αλλά κατ'ουσίαν παράλληλα προκειμένου να βρεθεί μια καλύτερη λύση γρηγορότερα. Ο κύριος στόχος των ασύρματων επικοινωνιών είναι να επιτρέπουν στους χρήστες να έχουν πρόσβαση στις δυνατότητες των παγκόσμιων δικτύων ανά πάσα στιγμή, χωρίς τα προβλήματα της τοποθεσίας και της κινητικότητας. Προκειμένου να επιλυθούν προβλήματα μεταπομπής, μια πολλά υποσχόμενη τεχνική προσέγγιση, είναι να εκτελεστεί μια πρόβλεψη κινητικότητας, που βασίζεται στις ληφθείσες τιμές της ισχύος του σήματος (Harris, Murphy & Venkatachalaiah). Προτείνεται η χρήση του Grey μοντέλου, του οποίου η έξοδος παράγει αναπόφευκτα σφάλματα πρόβλεψης, τα οποία μπορούν να αντισταθμιστούν με τη χρήση ενός ασαφούς ελεγκτή και στη συνέχεια να τελειοποιηθούν χρησιμοποιώντας τον PSO αλγόριθμο βελτιστοποίησης. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η παρούσα προσέγγιση, μπορεί να βελτιώσει την απόδοση του μοντέλου. Ενώ επίσης, βάση και της χρήσης του PSO, ο οποίος είναι πολύ καλύτερος από ό, τι οποιαδήποτε άλλη τεχνική αναζήτησης που έχει δοκιμαστεί, προκύπτει ότι μεταξύ άλλων παρέχεται πιο γρήγορη σύγκλιση όσον αφορά τη λύση του προβλήματος.

Μια εσωτερικής τοποθέτησης προσέγγιση που βασίζεται στην αναγνώριση προτύπων του IEEE 802.11 και αναφέρεται στις μετρήσεις ισχύος σήματος, χωρίζεται σε δύο λειτουργίες, στη λειτουργία της βαθμονόμησης και στη λειτουργία εξυπηρέτησης της τοποθέτησης που ζητά κάποιος χρήστης (Eissfeller & Teuber). Κατά τη διάρκεια της βαθμονόμησης, πραγματοποιούνται μετρήσεις ισχύος σήματος, που λειτουργούν σε χώρους με γνωστές συντεταγμένες και αποθηκεύονται σε μια βάση δεδομένων. Έπειτα το μοντέλο ισχύος σήματος των μετρήσεων σε θέση λειτουργίας, συγκρίνει τα αποτελέσματα με τη βάση δεδομένων μέσω του υπολογισμού των Ευκλείδειων αποστάσεων. Έτσι, μια αποτελεσματική επεξεργασία των Ευκλείδειων αποστάσεων γίνεται μέσω της ασαφούς λογικής μεθόδου σε δύο στάδια. Τα αποτελέσματα του συστήματος των δύο σταδίων είναι ενθαρρυντικά καθώς, δείχνουν μικρότερη διακύμανση σε σχέση με διαφορετικά περιβάλλοντα. Οπότε εάν ο υπολογισμός θέσης περιορίζεται σε σημεία παρατήρησης που δεν συμπίπτουν με τα σημεία βαθμονόμησης, η ακρίβεια θα είναι περίπου 3 m και για τα δύο περιβάλλοντα, ενώ, σε αντίθετη περίπτωση η ακρίβεια θα είναι πολύ καλύτερη. Οπότε τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η επεξεργασία των πληροφοριών που αφορούν την τοπολογία θα πρέπει να προσαρμόζεται στο περιβάλλον.

Οι Atlassis, Pedrycz, Saltouros & Vasilakos (2003), προτείνουν τη χρήση υπολογιστικής νοημοσύνης μέσω ενός αλγορίθμου ενισχυτικής μάθησης (RLA) για βελτιστοποίηση της



δρομολόγησης σε ATM δίκτυα, που βασίζονται στην ιδιωτική διασύνδεση δικτύου σε δίκτυο και κάνουν χρήση του προτύπου PNNI. Αυτός ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί πληροφορίες για τη σύνδεση των διαδρομών ολόκληρης της τοπολογίας και πληροφορίες για τη φόρτωση του δικτύου έτσι ώστε, να επιλέγετε κάθε φορά το κατάλληλο μονοπάτι που ικανοποιεί τους περιορισμούς ποιότητας των υπηρεσιών, για την επίτευξη υψηλής απόδοσης πόρων. Η προσέγγιση αυτή είναι ειδικά σχεδιασμένη για ποιότητα υπηρεσιών ( QoS ), επιλύοντας το πρόβλημα της δρομολόγησης, τη μεγιστοποίηση των εσόδων του δικτύου, την αποτελεσματική κατανομή των πόρων του δικτύου, εξασφαλίζοντας παράλληλα τις απαιτήσεις QoS για κάθε σύνδεση. Τέλος, σύμφωνα και με τα αποτελέσματα προσομοιώσεων σε ένα ευρύ φάσμα ομοιόμορφων και χρονικά μεταβαλλόμενων συνθηκών φόρτωσης αποδεικνύεται η αποτελεσματικότητα του προτεινόμενου αλγορίθμου δρομολόγησης για την αποκάληψη της δύναμης και της αδυναμίας των διαφόρων συστημάτων.

#### **6.4. Συμπεράσματα**

Παρουσιάστηκε μια περιεκτική επισκόπηση των διαφόρων εμπνευσμένων από τη φύση προσεγγίσεων των ασύρματων επικοινωνιών, η οποία είναι σχεδιασμένη για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, τα κινητά ad hoc δίκτυα και την επίλυση προβλημάτων που αναφέρονται στα εσωτερικά συστήματα εντοπισμού θέσης, στην αναγνώριση δακτυλικών αποτυπωμάτων και προτύπων.

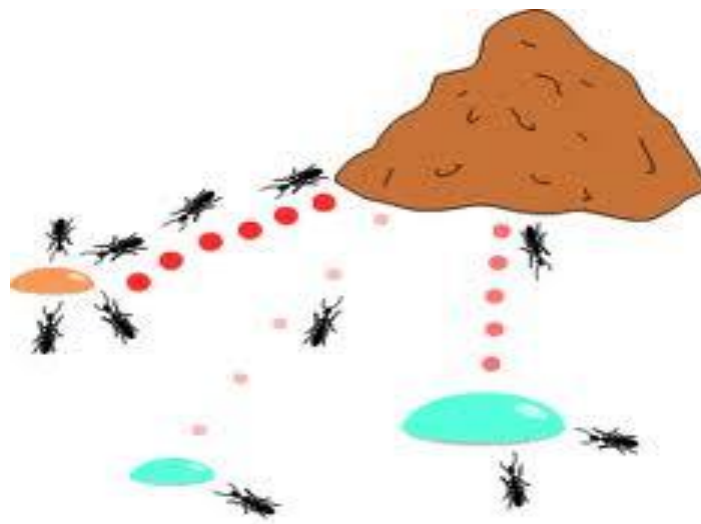
Κάποια από τα χαρακτηριστικά, των ασύρματων δικτύων επικοινωνιών, έχουν να κάνουν με χαμηλή ποιότητα υπηρεσιών, την ασφάλεια, την επιβάρυνση δρομολόγησης, την υψηλή διακύμανση καθυστέρησης, την υψηλή ενεργειακή κατανάλωση, την μειωμένη διάρκεια ζωής του δικτύου και την ρύθμιση της κυκλοφορίας, για να δοθούν λύσεις σε προβλήματα συμφόρησης και περιορισμένης επεκτασιμότητας, ικανοποιώντας τους περιορισμούς της απόδοσης, της αξιοπιστίας και της αποτελεσματικότητας.

Οι προσεγγίσεις που εξετάζονται, εμπίπτουν στις τεχνολογίες των ασαφών συστημάτων, της βελτιστοποίησης της αποικίας μυρμηγκιών, της νοημοσύνης σμήνους και των εξελικτικών αλγορίθμων ξεχωριστά, αλλά σε συνδυασμό μεταξύ τους και παρέχουν μια σειρά από ιδιότητες, μέσω των οποίων δίνεται η δυνατότητα της βελτίωσης σημαντικών παραμέτρων της υπάρχουσας κατάστασης, που σχετίζονται με τη δρομολόγηση, την ιεράρχηση της κυκλοφορίας, την ασφάλεια, τη μετάδοση δεδομένων, τη διάρκεια ζωής του

δικτύου, την παράλληλη επεξεργασία δεδομένων, την εκλογή κεφαλής συμπλέγματος και το σχεδιασμό των κόμβων ενός δικτύου αισθητήρων.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>

## ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ - ΜΕΛΕΤΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗΣ ΣΤΙΣ ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ



Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται και αξιολογούνται εφαρμογές της υπολογιστικής νοημοσύνης στον κλάδο των ασύρματων επικοινωνιών. Ωστόσο δεν θα πρέπει να παραληφθεί ότι οι αναλύσεις – μελέτες του παρόντος κεφαλαίου διεξάγονται σε υπάρχοντα ήδη υλοποιημένα συστήματα και εφαρμογές. Αρχικά, περιγράφεται, αναλύεται και συγκρίνεται η συμπεριφορά παραμέτρων των ασύρματων επικοινωνιών και συγκεκριμένα των ασύρματων δικτύων αισθητήρων, ως προς την χρήση και την ενσωμάτωση τεχνολογιών υπολογιστικής νοημοσύνης. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται μελέτες που υλοποιούνται στο πλαίσιο των κινητών ad hoc δικτύων. Τέλος, εξετάζονται περιπτώσεις όπου η υπολογιστική νοημοσύνη εισβάλλει στο σχεδιασμό, την οπτικοποίηση, τη μελέτη και την ανάπτυξη στρατηγικών και τεχνικών σε διάφορους τομείς των ασύρματων δικτύων και εξάγονται τα τελικά συμπεράσματα.

## 7. ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ – ΜΕΛΕΤΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗΣ ΣΤΙΣ ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

### 7.1. Μελέτες εφαρμογών υπολογιστικής νοημοσύνης στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων

Έχει αναπτυχθεί πλήθος από μελέτες και αναλύσεις που αφορούν την πρακτική εφαρμογή τεχνικών της υπολογιστικής νοημοσύνης, για τη βελτίωση επιμέρους πτυχών των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Αρχικά, στην ιεραρχική δρομολόγηση σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, οι κόμβοι χωρίζονται σε ομάδες. Σε κάθε ομάδα, ένας κόμβος επιλέγεται ως επικεφαλής συμπλέγματος και οι άλλοι είναι μέλη των συνεργατικών σχηματισμών.

Οι Bidgoli, Nikdel & Yektaie (2011), προτείνουν ένα νέο μηχανισμό προγραμματισμού εμπνευσμένος από το ανοσοποιητικό σύστημα που ονομάζεται αλγόριθμος CHSM (Case History Scheduling Mechanism). Σε αυτό το μηχανισμό, οι κόμβοι με τις περισσότερες πληροφορίες, έχουν μια καλύτερη ευκαιρία για να επικοινωνήσουν με την κεφαλή του συμπλέγματος. Στη συνέχεια, γίνεται αναφορά στον QoS-CHSM μηχανισμό, ο οποίος έχει να κάνει με τη σωστή διανομή κόμβων ενός συμπλέγματος, δηλαδή αλλάζει εικονικά επιμέρους ομάδες και εφαρμόζει τον CHSM για κάθε εικονικό σύμπλεγμα ξεχωριστά, με αποτέλεσμα ο παρόν μηχανισμός να υπερέχει μεταξύ άλλων όσον αφορά την αποτελεσματικότητα.

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων έχουν προοπτικές εφαρμογής σε πολλές περιοχές και έχουν υψηλή χρηστική αξία, αλλά το μεγαλύτερο μειονέκτημα τους είναι ότι η ενέργεια των κόμβων είναι περιορισμένη και με κανέναν άλλο τρόπο δεν μπορεί να τους παρασχεθεί ενέργεια. Επίσης, τα παραδοσιακά πρωτόκολλα δρομολόγησης δεν μπορούν να λειτουργήσουν αποτελεσματικά σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Τα τελευταία χρόνια, με την σε βάθος μελέτη των αλγορίθμων PSO, έχει αποδειχθεί ότι η χρήση της νοημοσύνης σμήνους είναι δυνατόν να βελτιώσει σε σημαντικό βαθμό την απόδοση του δικτύου. Ενώ, τέτοιου είδους αλγόριθμοι έχουν σχεδιαστεί για να επιτευχθεί ο στόχος της εξοικονόμησης ενέργειας και της επέκτασης της ζωής του δικτύου, γεγονός που επιλύεται ως ένα ορισμένο βαθμό (Lei, Ren & Wang (2012)).

Η απόδοση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων εξαρτάται από τη διάρκεια της ζωής του δικτύου τους. Ως αποτέλεσμα, οι δυναμικής ενεργειακής διαχείρισης προσεγγίσεις έχουν ως σκοπό τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στον κόμβο αισθητήρα. Ενώ πρόσφατα, έχει υπάρξει ένα ισχυρό ενδιαφέρον για τη χρήση των έξυπνων εργαλείων στα νευρωνικά δίκτυα στον τομέα που αφορά την ενεργειακά αποτελεσματική προσέγγιση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων, η οποία έχει να κάνει με τους υπολογισμούς, την κατανομή που αφορά στην αποθήκευση, την αξιοπιστία των δεδομένων, την αυτόματη ταξινόμηση από τους κόμβους και την ανάγνωση του κάθε αισθητήρα. Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά εξετάζονται σε αλγόριθμους των νευρωνικών δικτύων, όπως ο ART, ο ARTI, ο FUZZY ART, ο IVEBF και ο EBCS. Η πιο σημαντική εφαρμογή των νευρωνικών δικτύων σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων μπορεί να συνοψιστεί στα εξής: στην πρόβλεψη δεδομένων, στη σύντηξη αισθητήρων, στην ανακάλυψη διαδρομής, στην ταξινόμηση των δεδομένων και στην ομαδοποίηση των κόμβων που όλα μαζί οδηγούν τελικά σε μικρότερο κόστος επικοινωνίας και εξοικονόμηση ενέργειας στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Ωστόσο, σύμφωνα με τις μεθόδους αυτοοργάνωσης για καλύτερη απόδοση, η ταξινόμηση των αλγορίθμων νευρωνικών δικτύων έχει ως εξής: ART, ARTI, FUZZY ART και NBEF, όσον αφορά στην εξυπηρέτηση του σκοπού της διατήρησης της ενέργειας των κόμβων (Malarkan, Subhai & Vaithinathan).

Αναφερόμενοι στο θέμα της ανάπτυξης πρωτοκόλλων δρομολόγησης για ασύρματα συστήματα, αξίζει να σημειωθεί ότι η εξέλιξη των πρωτοκόλλων δρομολόγησης αφορά στην αντιμετώπιση προβλημάτων, όπως η πολυπλοκότητα, η επεκτασιμότητα, η προσαρμοστικότητα, η βιωσιμότητα και η διάρκεια ζωής της μπαταρίας των ασύρματων συστημάτων. Έτσι, πολλά είναι τα πρωτόκολλα δρομολόγησης που έχουν αναπτυχθεί προκειμένου να επιλύσουν αυτού του είδους τα προβλήματα, ενώ αξίζει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στα πρωτόκολλα που βασίζονται στη νοημοσύνη του σμήνους. Καθώς, μετά τη διεξαγωγή ερευνών, προκύπτει ότι πρωτόκολλα που βασίζονται στη νοημοσύνη του σμήνους, υπερτερούν σε σχέση με τα πρωτόκολλα που βασίζονται στην αποικία μυρμηγκιών, γιατί μπορούν να αφαιρέσουν τουλάχιστον ένα ή περισσότερα προβλήματα στην περιοχή των ασύρματων δικτύων (Celik, Cobanoglu, Tuncel & Zengin).

Η βιολογία έχει χρησιμοποιηθεί πολλές φορές ως πηγή έμπνευσης στην επιστήμη των υπολογιστών και της μηχανικής. Βιο-έμπνευσμένες αρχές έχουν αναφερθεί όσον αφορά στο σχεδιασμό κόμβων του δικτύου και στην έρευνα, λόγω της αντιστοιχίας που υπάρχει

μεταξύ των βιολογικών συστημάτων και των μεγάλων δικτύων αισθητήρων. Έτσι, παρέχεται μια επισκόπηση των βιολογικά εμπνευσμένων αρχών και μεθόδων, όπως η νοημοσύνη σμήνους, ο φυσικός συγχρονισμός, το τεχνητό ανοσοποιητικό σύστημα και η εσωτερική ανταλλαγή πληροφοριών που εφαρμόζονται για το σχεδιασμό ενός δικτύου αισθητήρων. Επίσης, οι αρχές και οι μέθοδοι συζητούνται στο πλαίσιο της δρομολόγησης, της ομαδοποίησης, του συγχρονισμού, της βέλτιστης ανάπτυξης κόμβων και του εντοπισμού που αφορά την παροχή ασφάλειας και προστασίας της ιδιωτικής ζωής (Jacobsen, Toftegaard & Zhang (2011)). Τέλος, η βάση για τη βιολογικά εμπνευσμένη δικτύωση έχει δοθεί προκειμένου να αποκαλύψει τις δυνατότητες εφαρμογής των βιο-εμπνευσμένων αρχών στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων.

Μία από τις αυστηρότερες προκλήσεις των ασύρματων δικτύων αισθητήρων είναι η ενέργεια που επηρεάζει θέματα όπως η ανάπτυξη των κόμβων του δικτύου, η κατανάλωση ενέργειας, η ετερογένεια των κόμβων, η ανοχή σφαλμάτων, η επεκτασιμότητα, και πολλά άλλα. Έτσι, προτείνονται παραδείγματα μη συμβατικών προσεγγίσεων υπολογιστικής νοημοσύνης, για την επίλυση διαφόρων θεμάτων σε διάφορους τομείς των ασύρματων δικτύων αισθητήρων (Iram, Jabbar, Minhas & Sheikh (2011)).

Επίσης, η βιολογικά εμπνευσμένη υπολογιστική οδηγεί προς την εποχή των βιολογικά εμπνευσμένων τεχνικών βελτιστοποίησης που επιτρέπουν στην τεχνολογία να χειριστεί διάφορα θέματα των ασύρματων δικτύων αισθητήρων με βέλτιστο και αξιόπιστο τρόπο. Καθώς η ιδεολογία που κρύβεται πίσω από την υπολογιστική νοημοσύνη, σε αντίθεση με την τεχνητή νοημοσύνη είναι ότι μπορεί να συμβάλει αποτελεσματικότερα, στην επίλυση ενεργειακών προβλημάτων δρομολόγησης, καθώς γνωρίζει τεχνικές δρομολόγησης με βάση το χρόνο εκτέλεσης και χαρακτηριστικά που προσφέρουν αυθεντικότητα, ενώ ταυτόχρονα παρέχουν πιο ντετερμινιστικά και βελτιστοποιημένα αποτελέσματα.

Στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, τα δίκτυα αυτόνομων συσκευών είναι δυνατόν να παρακολουθούν φυσικές ή περιβαλλοντικές συνθήκες συνεργατικά. Αν και πολλές είναι οι προκλήσεις, που προκαλούνται από αποτυχίες επικοινωνίας, αποθήκευσης και υπολογιστικούς περιορισμούς ή περιορισμούς ισχύος (Forster, Kulkarni & Venayagamoorthy (2011)).

Έτσι, έχει διαπιστωθεί ότι η χρήση της υπολογιστικής νοημοσύνης, τα τελευταία χρόνια εφαρμόζεται στην άθροιση δεδομένων, τη σύντηξη, την ενεργειακή επίγνωση της

δρομολόγησης, τον εντοπισμό, τον σχεδιασμό, τον προγραμματισμό, την ασφάλεια, την ανάπτυξη και τη διαχείριση QoS, ενώ ταυτόχρονα φαίνεται να παρέχει προσαρμοστικούς μηχανισμούς που παρουσιάζουν ευφυή συμπεριφορά σε πολύπλοκα και δυναμικά περιβάλλοντα, όπως τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Την ίδια στιγμή αλγόριθμοι υπολογιστικής νοημοσύνης είναι δυνατόν να προσφέρουν ευελιξία, αυτόνομη συμπεριφορά, και ευρωστία σε αλλαγές τοπολογίας ή αποτυχίες επικοινωνίας σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων.

Στη συνέχεια γίνεται λόγος για έναν γενετικό αλγόριθμο που βασίζεται στη μεθοδολογία των πολλαπλών αντικειμένων και εφαρμόστηκε για λόγους αυτό-οργάνωσης των ασύρματων δικτύων αισθητήρων, όσον αφορά στην τοποθέτηση των κόμβων. Γενικά, θεωρείται ότι υπήρξε μια ποικιλία παραμέτρων σχεδιασμού, όπως η πυκνότητα του δικτύου, η συνδεσιμότητα και η κατανάλωση ενέργειας που ελήφθησαν υπόψη για την ανάπτυξη της λειτουργίας του δικτύου. Ενώ ο γενετικός αλγόριθμος, βελτιστοποιεί τον τρόπο λειτουργίας των κόμβων αισθητήρων, μέσω της ομαδοποίησης συστημάτων, της ενεργειακής κατανάλωσης των κόμβων και των παραμέτρων συνδεσιμότητας, σήματος και εύρους μετάδοσης (Bhondekar, Ghanshyam, Kapur, Singla & Vig (2009)). Τέλος, με την εφαρμογή του αλγορίθμου παρατηρείται ότι είναι προτιμότερο να λειτουργεί ένα δίκτυο με σχετικά υψηλό αριθμό αισθητήρων, που επιτυγχάνουν μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για επικοινωνιακούς σκοπούς, αντίθετα με την ύπαρξη λιγότερων ενεργών αισθητήρων που παρουσιάζουν μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας για λόγους επικοινωνίας. Επίσης, η δυναμική εφαρμογή του αλγορίθμου, στο σχεδιασμό και την διάταξη των κόμβων ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων, μπορεί να οδηγήσει στην επέκταση της διάρκειας ζωής του δικτύου, διατηρώντας παράλληλα τις ιδιαίτερες ιδιότητες του δικτύου κοντά στις βέλτιστες τιμές.

Αργότερα προτείνεται μια μεθοδολογία για τη χαρτογράφηση ενός Hopfield νευρωνικού δικτύου που έχει ρυθμιστεί για την επίλυση ενός στατικού προβλήματος βελτιστοποίησης, στο πλαίσιο ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων. Πρόκειται για μια υπολογιστική πλατφόρμα υλικού, που αφορά πλήρως παράλληλα και καταναμημένα συστήματα πληροφορικής, που κάνουν χρήση αλγορίθμων νευρωνικών δικτύων. Δηλαδή, πραγματοποιούνται υπολογισμοί, εντός ενός μέγιστου ανεξάρτητου συνόλου, ενός συγκεκριμένου γραφήματος του ασύρματου δικτύου με χρήση ενός νευρωνικού δικτύου Hopfield, που λειτουργεί, ως ένας στατικός βελτιστοποιητής στο ασύρματο δίκτυο

αισθητήρων σε πλήρως παράλληλη και κατανεμημένη λειτουργία. Οπότε καταυτόν τον τρόπο, πραγματοποιείται η αποτελεσματική λειτουργία ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων, ως μια παράλληλη και κατανεμημένη υπολογιστική πλατφόρμα που έχει ρυθμιστεί για να λύνει ένα οποιοδήποτε στατικό πρόβλημα βελτιστοποίησης (Li & Serpen (2011)).

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι δίκτυα αυτόνομων κόμβων που χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση ενός περιβάλλοντος και αντιμετωπίζουν προκλήσεις που μπορεί να οφείλονται σε αποτυχίες σύνδεσης, περιορισμούς στον τομέα της ενέργειας, της μνήμης, του εύρους ζώνης, των υπολογιστικών πόρων, σε περιβαλλοντικές αβεβαιότητες ή ακόμη και στην πυκνότητα της ανάπτυξης των κόμβων προκαλώντας πολυδιάστατα προβλήματα βελτιστοποίησης.

Ο αλγόριθμος PSO, κάνει χρήση της νοημοσύνης σμήνους και αποτελεί μια δημοφιλή τεχνική που χρησιμοποιείται για την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων λόγω της απλότητας, της υψηλής ποιότητας παρεχόμενων λύσεων, της ταχείας σύγκλισης και της ασήμαντης υπολογιστικής επιβάρυνσης, γεγονότα που του επιτρέπουν να εφαρμοστεί σε ποικίλα θέματα των ασύρματων δικτύων αισθητήρων, όπως η βέλτιστη ανάπτυξη, ο εντοπισμός κόμβων, η ομαδοποίηση και η άθροιση δεδομένων (Kulkarni & Venayagamoorthy (2011)). Ωστόσο, ο παρόν αλγόριθμος παρουσιάζει και κάποια μειονεκτήματα όπως το γεγονός του ότι η επαναληπτική φύση του μπορεί να απαγορεύσει τη χρήση του σε υψηλής ταχύτητας εφαρμογές πραγματικού χρόνου, ειδικά αν βελτιστοποίηση πρέπει να πραγματοποιείται συχνά. Και επίσης, απαιτεί μεγάλες ποσότητες μνήμης, οι οποίες μπορεί να περιορίσουν τους πόρους της εφαρμογής του αλγορίθμου π.χ. σε σταθμούς βάσης, καθώς θα μπορεί να λύσει ορισμένα προβλήματα μονάχα μια φορά.

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι προσαρμοστικά και αυτοργανούμενα δίκτυα, που χρησιμοποιούνται ευρέως σε πολλούς τομείς. Έτσι προτείνεται μια νέα μέθοδος, που έχει ως στόχο τη βελτιστοποίηση της δρομολόγησης πολλαπλών διαδρομών και αποτελείται από δύο τύπους αλγορίθμων, αλγορίθμους της αποικίας των μυρμηγκιών και γενετικούς αλγορίθμους (Sun, Tian & Yang (2010)). Αρχικά, ο αλγόριθμος της αποικίας των μυρμηγκιών συμβάλλει στη βελτιστοποίηση χαρακτηριστικών που αφορούν τον μεγάλο αρχικό πληθυσμό, την αργή ταχύτητα σύγκλισης και τα τοπικά βέλτιστα. Ενώ, ο γενετικός αλγόριθμος χρησιμοποιείται για τη μείωση της πολυπλοκότητας και την ενίσχυση της αποτελεσματικότητας. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η εφαρμογή του βελτιωμένου



αλγόριθμοι είναι εφικτή με την προϋπόθεση ότι θα υπάρξει παράλληλη αναζήτηση σε αντίθετες κατευθύνσεις. Δηλαδή, όλα τα μυρμηγκία θα χωρίζονται σε δύο ομάδες για την αναζήτηση καλύτερης διαδρομής σε αντίθετες κατευθύνσεις τόσο από το σημείο προέλευσης όσο και από το σημείο προορισμού. Ο αλγόριθμος αναζήτησης, έχει χρησιμοποιηθεί σε σύνθετες τοπολογίες και η αποτελεσματικότητά του έχει αποδειχθεί, καθώς μειώνει το χρόνο κατασκευής λύσης, τη διατήρηση του πληθυσμού, βελτιώνοντας παράλληλα την ταχύτητα αναζήτησης και σύγκλισης. Τέλος, και μέσω των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης έχει αποδειχθεί ότι το μοντέλο είναι αποτελεσματικό και ο βελτιωμένος αλγόριθμος έχει καλύτερη απόδοση από τους βασικούς γενετικούς αλγόριθμους ή τους βελτιωμένους αλγόριθμους της αποικίας των μυρμηγκιών.

## **7.2. Μελέτες εφαρμογών υπολογιστικής νοημοσύνης στα κινητά ad hoc δίκτυα**

Αξίζει να σημειωθεί ότι μεγάλη είναι και η ποικιλία αναλύσεων και μελετών που έχουν αναπτυχθεί και κάνουν χρήση αλγορίθμων της υπολογιστικής νοημοσύνης, για τη βελτιστοποίηση διαφόρων χαρακτηριστικών και παραγόντων βέλτιστης λειτουργίας των κινητών ad-hoc δικτύων. Τα MANETs είναι δίκτυα που δεν απαιτούν προ-εγκατεστημένες υποδομές, ενώ αποτελούνται από ασύρματους και ενδεχομένως κινητούς κόμβους που διοργανώνονται σε αυτόνομους ή μη σχηματισμούς.

Επιπλέον, η ιδιαίτερα δυναμική τους τοπολογία, το περιορισμένο εύρος ζώνης και η περιορισμένη ενέργεια καθιστούν το πρόβλημα της δρομολόγησης μια πρόκληση, η οποία επιδεινώνεται από την κινητικότητα των κόμβων. Έτσι, παρουσιάζεται μια νέα οικογένεια των αλγορίθμων, η οποία παρέχει μία νέα προσέγγιση, εμπνευσμένη από τη νοημοσύνη του σμήνους και τη νοημοσύνη της αποικίας των μυρμηγκιών, η οποία έχει ως στόχο την επίλυση προβλημάτων δρομολόγησης σε ad-hoc δίκτυα (Jabbehdari & Shokrani (2009)). Και ενώ, οι αλγόριθμοι παρέχουν ελπιδοφόρα αποτελέσματα, αξίζει να σημειωθεί ότι η προσεκτική εφαρμογή τους αποτελεί επιτακτική ανάγκη. Ορισμένες παράμετροι, όπως ο αριθμός των μυρμηγκιών, ο ρυθμός εξάτμισης, και άλλοι μπορεί να επηρεάσουν σε σημαντικό βαθμό τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Οπότε προκύπτει συμπερασματικά ότι αν οι παράμετροι επιλεγθούν σωστά οι αλγόριθμοι υποκαθιστούν επάξια τα παραδοσιακά πρωτόκολλα δρομολόγησης.

Ένα MANET είναι μια αυτόνομη συλλογή κινητών κόμβων που επικοινωνούν μέσω ασύρματων ζεύξεων. Αναφερόμενοι στο σχεδιασμό ενός MANET, του οποίου η τοπολογία αλλάζει συνεχώς, έχει περιορισμένο εύρος ζώνης και περιορισμένη ενέργεια, η δρομολόγηση του αποτελεί μια πρόκληση. Πρόσφατα, έχει προκύψει μια νέα κατηγορία των αλγορίθμων δρομολόγησης, που βασίζονται στη νοημοσύνη του σμήνους. Αυτοί οι αλγόριθμοι είναι εμπνευσμένοι από τα αυτο-οργανούμενα συστήματα της φύσης, όπως οι αποικίες μυρμηγκιών, τα σμήνη πουλιών και τα κοπάδια ιχθύων. Τα γενικά χαρακτηριστικά αυτών των βιολογικών συστημάτων που περιλαμβάνουν την ικανότητα της αυτο-οργάνωσης, της αντοχής και της προσαρμογής, αποτελούν μια κατάλληλη πηγή έμπνευσης για τη δρομολόγηση στα MANETs. Ενώ, οι αλγόριθμοι που προκύπτουν μετά από συγκρίσεις και έχοντας ως βάση τις πιο σημαντικές παραμέτρους χαρακτηρίζουν την υπάρχουσα κατάσταση των αλγορίθμων δρομολόγησης των MANETs (Jha, Khetarpal & Sharma).

Στη συνέχεια γίνεται λόγος για μια νέα προσέγγιση που βασίζεται στη νοημοσύνη σμήνους προκειμένου να συνθέσει έναν ad-hoc αλγόριθμο δρομολόγησης. Η συμπεριφορά αναζήτησης τροφής, που αποτελεί ικανότητα των απλών μυρμηγκιών και αφορά τη βελτιστοποίηση της αποικίας των μυρμηγκιών και των μελισσών, οι οποίες είναι υποσύνολο της νοημοσύνης σμήνους είναι δυνατόν να συμβάλουν στην επίλυση σύνθετων προβλημάτων. Καθώς, ο προτεινόμενος αλγόριθμος προσεγγίζεται από την άποψη της καθυστέρησης, της ισχύος σήματος και της ενέργειας του εκάστοτε κόμβου, είναι δυνατόν να βρεθεί ο πιο αποδοτικός κόμβος, έτσι ώστε στη συνέχεια να στέλνονται τα πακέτα δεδομένων μέσω αυτού. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι ο παρόν αλγόριθμος, μέσω των προσομοιώσεων έχει αποδειχθεί ότι έχει τη δυνατότητα να γίνει η καταλληλότερη τακτική δρομολόγησης για κινητά ad-hoc δίκτυα (Maheswari & Suguna (2012)).

Τα MANETs χαρακτηρίζονται από ένα σύνολο κινητών κόμβων σε ένα εγγενώς ανασφαλές περιβάλλον, που ταυτόχρονα έχει και περιορισμένες ικανότητες ενέργειας. Έτσι, παρουσιάζεται μια μελέτη, που κάνει σύγκριση της ασφάλειας ενός MANET σε επίπεδο δρομολόγησης χρησιμοποιώντας κρυπτογραφία και προσεγγίσεις τεχνητού ανοσοποιητικού συστήματος. Οπότε, γίνεται λόγος για το πρωτόκολλο BeeAdHoc, το οποίο είναι ένα βιο-εμπνευσμένο MANET πρωτόκολλο δρομολόγησης που βασίζεται στις αρχές της τροφής των αποικιών μελισσών. Το BeeAdHoc, κατά κύριο λόγο έχει σχεδιαστεί για ενεργειακά αποδοτική δρομολόγηση, παρουσιάζει παρόμοια ή ακόμη και καλύτερη απόδοση του δικτύου σε σχέση με το DSR (Dynamic Source Routing), και το AODV (Ad hoc On-Demand

Distance Vector), αλλά καταναλώνει σημαντικά λιγότερη ενέργεια, γεγονός που το καθιστά προτιμώμενο υποψήφιο για την προσφορά ενεργειακά αποδοτικής ασφάλειας. Ωστόσο, το πρωτόκολλο έχει χαμηλή μέση διεκπεραιωτική ικανότητα, γεγονός που οφείλεται στη συνεχώς μεταβαλλόμενη τοπολογία, όπου καλοήθεις διαδρομές μπορούν να γίνουν κακόβουλες ή και το αντίθετο (Nauman (2010)). Άρα, προκύπτει συμπερασματικά ότι αν και τα κρυπτογραφικά συστήματα ασφαλείας έχουν τη δυνατότητα να εξασφαλίσουν την εγγενώς ανασφαλή δρομολόγηση, τα υψηλά ποσοστά ελέγχου προκαλούν κατανάλωση ενέργειας, γεγονός που τα καθιστά λιγότερο κατάλληλα για τα MANETs σε σχέση με τα συστήματα ασφαλείας των τεχνητών ανοσοποιητικών συστημάτων.

Αργότερα παρουσιάζεται μια συνολική αναθεώρηση των χρησιμοποιούμενων μεθόδων μάθησης για την επίλυση διαφόρων προβλημάτων σε ad-hoc δίκτυα. Αρκετές κατηγορίες των μηχανισμών μάθησης που μπορούν να διακριθούν σε ad-hoc δίκτυα είναι η ενισχυτική μάθηση, η νοημοσύνη του σμήνους, η αυτόματη μάθηση, η εποπτευόμενη μάθηση και άλλα, όπως το τεχνητό ανοσοποιητικό σύστημα και οι γενετικοί αλγόριθμοι (Kudelski & Pacut).

Επίσης, είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί η ομαδοποίηση των μαθησιακών προσεγγίσεων από τα προβλήματα που επιλύουν, όπως προβλήματα δρομολόγησης, παροχής ποιότητας υπηρεσιών, διαχείρισης ενέργειας, ελέγχου τοπολογίας, πρόβλεψης κίνησης κόμβου, βελτιστοποίησης της αξιοπιστίας και πρόληψης κακόβουλων κόμβων. Τέλος, η μελέτη αυτή δεν καλύπτει όλες τις μαθησιακές μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται στα ad-hoc δίκτυα. Για παράδειγμα, άλλες μεθοδολογίες περιλαμβάνουν την μάθηση της προς τα πίσω διάδοσης (back propagation learning), τα εξελισσόμενα ασαφή νευρωνικά δίκτυα που χρησιμοποιούνται για την επίλυση του προβλήματος της δρομολόγησης και τα τεχνητά ανοσοποιητικά συστήματα που εφαρμόζονται σε κόμβους για ανίχνευση ανάρμοστης συμπεριφοράς.

Ένα ad hoc δίκτυο κινητής τηλεφωνίας είναι μια συλλογή κινητών κόμβων που δυναμικά και αυθαίρετα βρίσκονται σε μια τέτοια κατάσταση που οι διασυνδέσεις μεταξύ των κόμβων είναι σε θέση να αλλάζουν σε συνεχή βάση. Ο πρωταρχικός στόχος, ενός πρωτοκόλλου δρομολόγησης σε ένα MANET δίκτυο είναι η σωστή και αποδοτική εγκατάσταση διαδρομής μεταξύ ενός ζεύγους κόμβων, έτσι ώστε τα μηνύματα να μπορούν να παραδίδονται εν ευθέτω χρόνο. Οπότε η κατασκευή της διαδρομής πρέπει να γίνει με ελάχιστη κατανάλωση του εύρους ζώνης και κατά συνέπεια της επιβάρυνσης του δικτύου (Siva (2010)).

Για παράδειγμα, ο ACO αλγόριθμος έχει αποδείξει την αξία του σε διάφορα προβλήματα βελτιστοποίησης. Ενώ, ένα μέρος των πρωτοκόλλων δρομολόγησης που προτάθηκαν με βάση τον αλγόριθμο ACO, αλλά για σταθερά ενσύρματα δίκτυα παρουσίασαν πολύ ελπιδοφόρα αποτελέσματα. Επίσης, οι AntNet και ABC (Artificial Bee Colony) αλγόριθμοι δείχνουν ισχυρή και αξιόπιστη απόδοση σε μικρότερα ενσύρματα δίκτυα σταθερής τηλεφωνίας, καθώς η ανάπτυξή τους δεν προορίζεται για χρήση σε μεγάλα και πολύ δυναμικά MANETs. Αργότερα, ο ARA (Ant-Colony-Based Routing Algorithm) και ο τερμίτης (termite) θα ελεγχθούν σε μικρού μεγέθους δίκτυα όπου θα διαπιστωθεί ότι λειτουργούν πολύ καλά.

Ωστόσο, η φάση ανακάλυψης διαδρομής εξακολουθεί να βασίζεται σε πλημμύρες πακέτων. Το ARA κάνει χρήση του AODV για να βρει μια έγκυρη διαδρομή για τον προορισμό. Στον τερμίτη, το μυρμηγκί ακολουθεί μια τυχαία διαδρομή έως ότου βρεθεί στο δίκτυο ένας κόμβος που να περιέχει φερομόνη και να οδηγεί στον προορισμό. Τα πρωτόκολλα αυτά ωστόσο, δεν είναι προσαρμοσμένα ειδικά για ad hoc δίκτυα και δεν μπορούν να αντεπεξέλθουν στα βασικά χαρακτηριστικά τους, όπως είναι η συχνή αλλαγή της τοπολογίας.

Έτσι, έχουν σχεδιαστεί μερικά πρωτόκολλα δρομολόγησης για ad hoc δίκτυα που βασίζονται στην αποικία των μυρμηγκιών. Τέλος, έχουν αναπτυχθεί πολλά πρωτόκολλα που βασίζονται στην νοημοσύνη του σμήνους και ενσωματώνουν πολλές έννοιες από τα συμβατικά πρωτόκολλα όπως για παράδειγμα, διαδρομές που είναι εγκατεστημένες μόνο κατά παραγγελία (on-demand) ή και ενεργές πληροφορίες της τοπολογίας του δικτύου.

Ακόμη όμως και αν βελτιώνουν την ανθεκτικότητα των μονοπατιών και την αξιοπιστία των πρωτοκόλλων, μπορούν επίσης να κληρονομήσουν και τα μειονεκτήματα των άλλων τοπολογιών όπως τον έλεγχο της κυκλοφορίας, την κατανάλωση των περιορισμένων πόρων του δικτύου, την αποθήκευση μη χρήσιμων πλέον πληροφοριών για το δίκτυο και ούτω καθεξής. Οπότε έτσι, αποδεικνύεται ότι δεν είναι αρκετά κατάλληλα για μεγάλα δίκτυα με ιδιαίτερα δυναμική τοπολογία. Τέλος, ένα MANET είναι μια συλλογή ασύρματων κινητών κόμβων που αποτελούν ένα προσωρινό δίκτυο χωρίς τη χρήση κεντρικών σημείων πρόσβασης, υποδομής, ή κεντρικής διοίκησης.

Σε έρευνες που έχουν διεξαχθεί, έχει αποδειχθεί ότι οι αλγόριθμοι που βασίζονται στις αποικίες των μυρμηγκιών, είναι πιο ισχυροί, πιο αξιόπιστοι και πιο επεκτάσιμοι από ό, τι άλλοι συμβατικοί αλγόριθμοι δρομολόγησης των MANET και αυτό γιατί φαίνεται ότι

μπορούν να αφαιρέσουν τουλάχιστον ένα ή περισσότερα προβλήματα στην περιοχή, όπως η διάρκεια ζωής της μπαταρίας, η επεκτασιμότητα, η συντηρησιμότητα, η βιωσιμότητα, η προσαρμοστικότητα και ούτω καθεξής, γεγονός που αποδεικνύει την υπεροχή τους σε σχέση με όλο το φάσμα αλγορίθμων βελτιστοποίησης των MANETs (Ladhake & Thakare (2012)).

### **7.3. Μελέτες εφαρμογών υπολογιστικής νοημοσύνης σε διάφορους άλλους τομείς των ασύρματων δικτύων**

#### **➤ Αναλύσεις και μελέτες**

Εκτός από τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και τα MANETs μεγάλη είναι η συμμετοχή των αλγορίθμων και των πρωτοκόλλων υπολογιστικής νοημοσύνης σε διάφορους άλλους τομείς των ασύρματων δικτύων. Πάνω σ' αυτό, έχουν πραγματοποιηθεί πολλές και ποικίλες μελέτες και αναλύσεις προκειμένου να διαπιστωθούν οι βέλτιστες πρακτικές που θα προχωρήσουν σε υλοποίηση. Η επόμενη γενιά των ασύρματων δικτύων αναφέρεται, ως μια σύγκλιση διαφορετικών τεχνολογιών ασύρματης πρόσβασης, που μπορεί να μετατραπεί σε ένα αδιάλειπτης λειτουργίας περιβάλλον επικοινωνίας.

Έτσι, ο σχεδιασμός χωρίς σφάλματα και οι τεχνικές υποστήριξης που έχουν να κάνουν με τη μεταπομπή στο πλαίσιο ενός ετερογενούς ασύρματου περιβάλλοντος 4G, είναι ένα δύσκολο θέμα, για του οποίου τη διαχείριση έχει προταθεί ένας πολλαπλών κριτηρίων κάθετος αλγόριθμος απόφασης μεταβίβασης, που καλείται να επιλέξει το καλύτερο διαθέσιμο δίκτυο με τις βέλτιστες τιμές παραμέτρων (Behera & Chandralekha (2010)).

Επίσης, οι γενετικοί αλγόριθμοι και αλγόριθμοι νευρωνικών δικτύων, είναι δυνατόν να υποβοηθούν σε θέματα που αφορούν την εφαρμογή, την επεξεργασία και τη βελτιστοποίηση των πολλαπλών κριτηρίων κάθετων μετρήσεων σε αποφάσεις μεταβίβασης. Την ίδια στιγμή, χρησιμοποιείται ένα ευρύ φάσμα πληροφοριών πλαισίου σχετικά με τους χρήστες του δικτύου, τους χρήστες συσκευών ή εφαρμογών, καθώς επίσης και τους στατικούς ή κινητούς χρήστες.

Ωστόσο, η προτεινόμενη προσέγγιση πρέπει να πληρεί τις ακόλουθες απαιτήσεις μεταβίβασης σε ένα ετερογενές ασύρματο δίκτυο, που αναφέρεται σε γεγονότα όπως είναι η γρήγορη απώθηση, σε συνδυασμό και με την όσο το δυνατόν μικρότερη καθυστέρηση, έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται ο αριθμός απώθησης, βελτιώνοντας την ποιότητα του

σήματος και τον πρόσθετο φόρτο του δικτύου. Τέλος, ο αλγόριθμος θεωρείται απλός, αξιόπιστος, επιτυχημένος και με λιγότερη υπολογιστική πολυπλοκότητα. Ενώ, αξίζει να σημειωθεί ότι αυτό το σχήμα μεταβίβασης μπορεί να επεκταθεί περαιτέρω για βελτιστοποίηση της ποιότητας των υπηρεσιών, διαφορετικών τύπων πολυμεσικών εφαρμογών σε ένα ετερογενές ασύρματο περιβάλλον 4G.

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται μια νέα κατηγορία των αυτοργανούμενων αισθητήριων πρακτόρων σε σχηματισμό σμήνους, που εκπαιδεύονται μέσω μετρήσεων του επιπέδου του θορύβου από τους γειτονικούς κόμβους, για την επίλυση διαφόρων προβλημάτων. Ενώ, ο μηχανισμός εκμάθησης βασίζεται σε μια χωρική διαδικασία του Gauss. Ο προτεινόμενος, αλγόριθμος εκμάθησης έχει να κάνει με συντονισμένες κινήσεις που αναφέρονται στην αναδρομική εκτίμηση ενός άγνωστου τομέα εφαρμογής που δίνει έμφαση στα αποτελέσματα των μετρήσεων του θορύβου. Έτσι, μπορεί να εφαρμοστεί σε μια μεγάλη κατηγορία αλγορίθμων για κινητούς κόμβους σε μια κατάσταση όπου το πεδίο εφαρμογής δεν είναι γνωστό εκ των προτέρων και πρέπει να εκτιμηθεί (Choi, Lee & Oh (2008)).

Αργότερα, γίνεται λόγος για μια νέα κατηγορία αλγορίθμων δρομολόγησης, που βασίζεται στις αρχές της νοημοσύνης του σμήνους και έχει τη δυνατότητα να προσαρμόζεται καλά στις δυναμικές τοπολογίες και να αντιμετωπίζει τις προκλήσεις προβλημάτων με έναν αυτόνομο και έξυπνο τρόπο. Επίσης, οι αλγόριθμοι αυτοί διαθέτουν μια σειρά από ελκυστικά χαρακτηριστικά, συμπεριλαμβανομένης της αυτονομίας, της στιβαρότητας και της μη ανοχής σφαλμάτων, ενώ προτείνονται και θεωρούνται κατάλληλοι για ασύρματα δίκτυα αισθητήρων ή δορυφορικά δίκτυα (Das, El-Sharkawi, Kassabalidis & Marks II).

Τέλος, βιολογικά εμπνευσμένες μεθοδολογίες, όπως η εξελικτική υπολογιστική και η βελτιστοποίηση σωματιδίων σμήνους μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ταυτόχρονη μεγιστοποίηση του ρυθμού δεδομένων και την ελαχιστοποίηση της ισχύος του πομπού, παρόλο που υπόκεινται σε περιορισμούς σχετικά με το ποσοστό σφάλματος bit (BER) στα πλαίσια του δέκτη.

Για την απόδοση στα ασύρματα δίκτυα πλέγματος, προτείνεται ένας νέος αλγόριθμος που βασίζεται σε αλγόριθμο αποικίας μυρμηγκιών (ACO) και ασχολείται με τη βελτιστοποίηση της τοποθέτησης πύλης (Dang Le, Dinh, Nhung Le, Nguyen & Trong Le (2013)). Ο αλγόριθμος ACO αναφέρεται στη συμπεριφορά της αναζήτησης τροφής των μυρμηγκιών που έχουν ως βάση τους τη φερομόνη. Οπότε, πραγματοποιείται δημιουργία θέσεων πύλης

ανεξάρτητα και τυχαία, προκειμένου να υπολογιστεί η πιθανότητα και οι τιμές φερομόνης των μυρμηγκιών που θα επέλεγαν να πάνε από την τρέχουσα πύλη στον επόμενο κόμβο.

Μετά από κάθε επανάληψη, οι τιμές φερομόνης ενημερώνονται από όλα τα μυρμήγκια που έχουν φτάσει στον προορισμό με επιτυχία για να βρεθεί μια βέλτιστη λύση. Έτσι, προκύπτει από τα αριθμητικά αποτελέσματα, ότι ο αλγόριθμος που παρουσιάζεται έχει επιτύχει πολύ καλύτερα αριθμητικά αποτελέσματα από τις προηγούμενες μελέτες και πολύ καλύτερες επιδόσεις από ό, τι άλλα συστήματα (Dang Le, Dinh, Nhung Le, Nguyen & Trong Le (2012)).

Ωστόσο, έπειτα από τη σύγκριση μεταξύ PSO, ACO και GA, προκύπτει ότι η καλύτερη απόδοση έχει προκύψει από τους PSO και ACO αλγορίθμους, γιατί εμφάνισαν χαμηλότερο κόστος λειτουργίας και μικρότερο χρόνο εκτέλεσης. Με τη διαφορά ότι ο αλγόριθμος ACO δεν συγκλίνει τόσο γρήγορα και τα αποτελέσματά του είναι χειρότερα από εκείνα του PSO (Nhung Le (2013)).

Τα γνωστικά συστήματα ραδιοεπικοινωνιών, έχουν θεωρηθεί ως μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία. Ειδικότερα με ό, τι αφορά τη βελτίωση της χρήσης του φάσματος ραδιοσυχνοτήτων, προτείνονται μέθοδοι κατανομής του ραδιοφάσματος με βάση γενετικούς αλγορίθμους (GA) και αλγορίθμους βελτιστοποίησης σμήνους (PSO). Τα δύο αυτά είδη αλγορίθμων είναι σε θέση να μειώσουν το χώρο αναζήτησης μέσω μια διαδικασίας χαρτογράφησης και εκχώρησης του καναλιού με βάση τα χαρακτηριστικά της διαθεσιμότητας του καναλιού και των περιορισμών των παρεμβολών (Peng, Shang, Zhao & Zheng (2009)). Τέλος, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι προτεινόμενες μέθοδοι, παρέχουν καλύτερα αποτελέσματα και ξεπερνούν κατά πολύ τις έως τώρα χρησιμοποιούμενες μεθόδους και συγκεκριμένα τον αλγόριθμο CSGC (color sensitive graph coloring).

### ➤ **Οπτικοποίηση και σχεδιασμός**

Κάπου εδώ, δεν θα πρέπει να παραληφθεί ότι πέραν από μελέτες και αναλύσεις που διατυπώθηκαν σχετικά με τη χρήση υπολογιστικής νοημοσύνης στις ασύρματες επικοινωνίες, έχουν αναπτυχθεί και διάφορες άλλες αξιόλογες έρευνες που αναφέρονται σε οπτικοποιήσεις και σχέδια πιθανών εφαρμογών υπολογιστικής νοημοσύνης και της επιρροής που θα είχαν στις ασύρματες επικοινωνίες.

Αρχικά, συγκρίνονται εφαρμογές έξυπνων συστοιχιών κεραιών όπως UCA (Uniform Circular Array), PUCA (Planar Uniform Circular Array), UHA (Uniform Hexagonal Array), και

PUHA (Planar Uniform Hexagonal Array). Έτσι, μελετάται η επίδραση της περιστροφής του εξωτερικού δακτυλίου PUCA. Ενώ, η μέθοδος των ροπών χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της απόκρισης του ενιαίου κυκλικού και εξαγωνικού δίπολου συστοιχιών σε ένα αμοιβαίο περιβάλλον σύζευξης.

Με την ενσωμάτωση του PSO αλγορίθμου και μέσω της μεθόδου των ροπών, υπολογίζονται τα πλάτη και οι φάσεις των κεραιών. Οπότε, η σύγκριση μεταξύ κυκλικής και εξαγωνικής συστοιχίας δείχνει ότι η εξαγωνική συστοιχίας δίνει υψηλότερο κέρδος κατά περίπου 0,9 dB. Ενώ επίσης, διαπιστώνεται ότι, η περιστροφή του εξωτερικού δακτυλίου της PUCA είναι πολύ αποτελεσματική, καθώς με την περιστροφή του εξωτερικού δακτυλίου κατά 15° επιτυγχάνεται κέρδος και μηδενικό βάθος που θεωρούνται σχετικά αυξημένα σε σύγκριση με την μη περιστρεφόμενη PUCA και την προσέγγιση της απόδοσης του ομοιόμορφου επίπεδου της εξαγωνικής PUHA συστοιχίας (El-Adawy, Ibrahim & Mahmoud (2007)).

Στη συνέχεια, πραγματοποιείται μια σύγκριση μεταξύ διαφόρων σύγχρονων μεθόδων βελτιστοποίησης που εφαρμόζονται στο σχεδιασμό που αφορά συστοιχίες κεραιών. Πραγματοποιείται, μια προσομοίωση όπου γίνεται προσπάθεια βελτιστοποίησης του πλάτους και της φάσης μια κυκλικής συστοιχίας κεραιών, για τη βελτίωση της απόδοσης της συστοιχίας, με χρήση γενετικών αλγορίθμων, εξελικτικών αλγορίθμων και αλγορίθμων βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων (Acosta, Balderas, Brizuela & Panduro (2009)). Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν ότι σε γενικές γραμμές ο εξελικτικός αλγόριθμος και ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης σμήνους παράγουν παρόμοια αποτελέσματα και καλύτερες αποδόσεις συγκριτικά με το γενετικό αλγόριθμο, παρόλο που δόθηκαν ίδια δεδομένα και γίνανε μετρήσεις ιδίων χρονικών διαστημάτων.

Αργότερα, αξίζει να σημειωθεί ότι η κατανομή του καναλιού, είναι ένα από τα θεμελιώδη προβλήματα στις ασύρματες επικοινωνίες και οφείλεται στο γεγονός ότι με αυτόν τον τρόπο καθορίζεται το διαθέσιμο εύρος ζώνης. Έτσι, η περιορισμένη διαθεσιμότητα των καναλιών, σε συνδυασμό με τα ολοένα και αυξανόμενα αιτήματα για προηγμένες υπηρεσίες, όπως το βίντεο πραγματικού χρόνου και άλλα, δίνουν στις στρατηγικές κατανομής έναν ιδιαίτερο ρόλο. Πληθώρα στρατηγικών κατανομής καναλιού έχουν προταθεί για την υποστήριξη φωνητικών υπηρεσιών, καθώς και υπηρεσιών πολυμέσων, ενώ σε μεγάλα δίκτυα, όπου το ηλεκτρομαγνητικό περιβάλλον, η διαχείριση εύρους ζώνης και οι συνθήκες μελλοντικής κυκλοφορίας δεν μπορούν να προβλεφθούν, έχουν εφαρμοστεί επιτυχώς ευφυείς τεχνικές,



όπως οι γενετικοί αλγόριθμοι, που έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως πριν από την κατανομή καναλιών, σε προβλήματα βελτιστοποίησης (Karras, Papademetriou & Papazoglou).

Η ραγδαία αύξηση των ασύρματων δικτύων σε συνδυασμό και με την αύξηση κινητών εφαρμογών αποτελεί μια σημαντική απειλή για την ασφάλεια. Τα τείχη προστασίας, το λογισμικό προστασίας από ιούς και η προστασία του λογισμικού δεν είναι ικανά να προστατεύσουν το δίκτυο για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα, επειδή η χρήση και η κακή συμπεριφορά αυξάνεται συνεχώς, καθώς το δίκτυο βρίσκεται σε διαρκή λειτουργία. Προτείνεται, μια νέα προσέγγιση που έχει ως στόχο να εντοπίσει και να προστατεύσει τα δίκτυα με τη χρήση ενός τεχνητού ανοσοποιητικού συστήματος, που πραγματοποιεί ανίχνευση εισβολής σε όλους τους κόμβους του δικτύου, ενώ ταυτόχρονα παρέχει και υψηλή απόδοση τόσο στο ασύρματο τοπικό δίκτυο, όσο και στο δικτυακό εξοπλισμό περισσότερο από κάθε άλλη κλασική μέθοδο (Akbal & Ergen (2007)).

Έπειτα, γίνεται λόγος, για τους αλγορίθμους ελέγχου αποδοχής στα CDMA συστήματα. Η χωρητικότητα, ενός συστήματος CDMA εξαρτάται από τις παρεμβολές σε επίπεδο συστήματος. Δηλαδή, υπάρχουν RRM (Radio Resources Management) λειτουργίες, οι οποίες είναι υπεύθυνες για την παροχή βέλτιστης κάλυψης, που εξασφαλίζει την αποτελεσματική χρήση των φυσικών πόρων και την παροχή της μέγιστης προγραμματιστικής ικανότητας (Hanus & Kejik).

Παρουσιάζονται και συγκρίνονται διάφοροι αλγόριθμοι ασαφούς λογικής και γενετικών αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο εισόδου σε συστήματα UMTS. Οι προτεινόμενοι ασαφείς αλγόριθμοι, εμφανίζονται να έχουν καλύτερη απόδοση από τους γενετικούς αλγορίθμους, ενώ από τις τρεις εκδόσεις αλγορίθμων που προσομοιώθηκαν η AC-F2 έκδοση φαίνεται να έχει την καλύτερη απόδοση, γεγονός που αντιστοιχεί στο ότι χρησιμοποιεί πολύ ακριβείς πληροφορίες σχετικά με το σύστημα.

Ένα έξυπνο δίκτυο ορίζεται ως ένα ηλεκτρικό σύστημα που χρησιμοποιεί πληροφορίες, τόσο αμφίδρομης ασφάλειας τεχνολογιών επικοινωνίας, όσο και υπολογιστικής νοημοσύνης με ολοκληρωμένο τρόπο σε όλο το φάσμα του ενεργειακού συστήματος. Ενώ, τα δίκτυα επικοινωνιών διαδραματίζουν έναν κρίσιμο ρόλο στον έξυπνο δίκτυο, ο σχεδιασμός του δικτύου επικοινωνίας περιλαμβάνει λεπτομερή ανάλυση των απαιτήσεων, συμπεριλαμβανομένης της επιλογής των πλέον κατάλληλων τεχνολογιών για κάθε μελέτη περίπτωσης και αρχιτεκτονικής που αφορά το προκύπτον ετερογενές σύστημα. Οπότε,

μεταξύ άλλων προτείνεται το SG (Smart Grid) που είναι ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, που μπορεί να ενσωματώσει έξυπνα τις δράσεις όλων των χρηστών που συνδέονται με αυτό, προκειμένου να παραδώσει μια αποτελεσματική βιώσιμη, οικονομική και ασφαλή προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας (Bakmaz & Bojkovic).

Παρουσιάζεται δε, μια αυτόνομη προγραμματιστική πηγή που έχει σαν βάση της γενετικούς αλγορίθμους, που ενσωματώνονται σε αυτόνομες βελτιστοποιήσεις υβριδικών TDD ασύρματων δικτύων. Ένα υβριδικό σενάριο ασύρματου δικτύου, το οποίο χρησιμοποιεί ένα μείγμα κυτταρικών και ad-hoc δρομολόγησης πολλαπλών αλμάτων, ανακουφίζει συγκεκριμένους σταθμούς βάσης από την πρόσθετη επιβάρυνση της κυκλοφορίας που παρουσιάζεται. Συγκεκριμένα, η TDD ανερχόμενης και κατερχόμενης ζεύξης ασύμμετρη κίνηση διαμοιράζεται στους αυτόνομους σταθμούς βάσης, χρησιμοποιώντας αλγορίθμους υπολογιστικής νοημοσύνης. Έπειτα δε από τα πειράματα, που έχουν διεξαχθεί φαίνεται ότι μια υβριδική ασύρματη δομή έχει τη δυνατότητα αύξησης της απόδοσης του συστήματος, μειώνοντας παράλληλα τον κεντρικό έλεγχο και την από άκρο εις άκρον καθυστέρηση (Shen, Pesch & Irvine (2005)).

Τα αποτελέσματα επίσης δείχνουν ότι ο γενετικός προγραμματισμός είναι σε θέση να οργανώσει και να βελτιστοποιήσει ένα πακέτο αλληλουχιών επιτρέποντας την εφαρμογή αυτόνομων εννοιών για την TDD διαχείριση των ραδιοσυχνοτήτων. Συνεπώς, προτείνεται η χρήση της ασαφούς λογικής για την αναπαράσταση πληροφοριών πολλαπλών επιπέδων και την εφαρμογή βελτιστοποιημένων στρατηγικών, σε γνωστικά δίκτυα ραδιοεπικοινωνιών, ως ένα αποτελεσματικό μέσο για την αντιμετώπιση προκλήσεων και περιορισμών ανακρίβειας, επεκτασιμότητας, πολυπλοκότητας και ελέγχου χρηστικότητας της αρχιτεκτονικής (Baldo N. & Zorzi M. (2008)).

#### ➤ **Στρατηγικές και τεχνικές**

Μεγάλο είναι το πλήθος των τεχνικών και των στρατηγικών που έχουν καταγραφεί παγκοσμίως και αφορούν την χρήση αλγορίθμων, πρωτοκόλλων και διαφόρων άλλων μεθόδων υπολογιστικής νοημοσύνης, σε ποικίλους τομείς των ασύρματων δικτύων. Αρχικά, παρουσιάζεται ο σχεδιασμός των μη-ομοιόμορφων κυκλικών συστοιχιών κεραιών, με τη βέλτιστη μείωση της πλευράς που αφορά το επίπεδο του λοβού (Alipour, Es'haghi & Mallahzadeh (2009)).

Ο αλγόριθμος PSO, αντιπροσωπεύει μια νέα προσέγγιση για τα προβλήματα βελτιστοποίησης στον ηλεκτρομαγνητισμό και χρησιμοποιείται στη διαδικασία βελτιστοποίησης, για τον προσδιορισμό ενός βέλτιστου συνόλου βαρών και το διαχωρισμό της κεραίας σε στοιχεία που παρέχουν ένα διάγραμμα ακτινοβολίας με τη μέγιστη μείωση της πλευράς του επιπέδου του λοβού με περιορισμό, που αναφέρεται σε ένα σταθερό εύρος δέσμης λοβού. Τέλος, γίνεται αντιληπτό και μέσω των αποτελεσμάτων ότι ο σχεδιασμός μη-ομοιόμορφων κυκλικών συστοιχιών κεραιών χρησιμοποιώντας PSO παρέχει μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα από εκείνη που λαμβάνεται με χρήση γενετικών αλγορίθμων.

Στη συνέχεια, το ενδιαφέρον επικεντρώνεται σε μια νέα προσέγγιση, που ονομάζεται MTS αλγόριθμος και έχει χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη ενός βέλτιστου FLPI (Fuzzy Logic based Proportional Integral) ελεγκτή. Η προτεινόμενη τεχνική, βοηθά στην εξοικονόμηση χρόνου και για το σχεδιασμό δεν απαιτεί ειδικούς ελεγκτές ασαφούς λογικής. Ενώ, ο MTS (Multiple Tabu Search) αλγόριθμος εισάγει πρόσθετες τεχνικές για τη βελτίωση της διαδικασίας αναζήτησης, όπως η προετοιμασία της προσαρμοστικής αναζήτησης, οι πολλαπλές αναζητήσεις, ο ανασυνδυασμός και η διαδικασία της επανεκκίνησης (Ngamroo, Pothiya, Runggeratigul & Tantaswadi (2006)).

Τέλος, έπειτα από μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί με τον προτεινόμενο FLPI ελεγκτή για την αποτελεσματικότητα και την ευρωστία, τα αποτελέσματα δείχνουν σαφώς ότι η απόδοση του προτεινόμενου FLPI ελεγκτή είναι ανώτερη από τους συμβατικούς PI και FLPI ελεγκτές από την άποψη της υπέρβασης και του χρόνου. Επιπλέον, η ευρωστία του προτεινόμενου ελεγκτή FLPI στα πλαίσια παραλλαγών του συστήματος παραμέτρων αλλά και η αλλαγή φορτίου είναι υψηλότερη από εκείνη των συμβατικών PI και FLPI ελεγκτών. Ως εκ τούτου, ο προτεινόμενος ελεγκτής FLPI είναι αποτελεσματικός, αποδοτικός και ισχυρός στα πλαίσια πάντα ενός καθορισμένου φάσματος συνθηκών λειτουργίας.

Η συνεχώς αυξανόμενη πολυπλοκότητα των κινητών δικτύων, η οποία ακολούθησε την εισαγωγή της UMTS τεχνολογίας, έχει μειώσει τη χρησιμότητα των παραδοσιακών εργαλείων σχεδιασμού, καθιστώντας τα αναξιόπιστα. Έτσι, προτείνεται ένα νέο εργαλείο για τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού των UMTS που βασίζεται σε γενετικούς αλγορίθμους (Cusani, Garzia & Perna (2010)).

Ειδικότερα, παρουσιάζονται ορισμένα βοηθητικά προγράμματα για σχεδιασμό δικτύων 3G, στα οποία κρίνεται απαραίτητη η χρήση και η τήρηση περιβαλλοντικών περιορισμών του δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Τέλος, ακόμη και αν πραγματοποιήθηκαν ορισμένες απλουστεύσεις, η εξεταζόμενη τεχνική είναι ικανή να εξασφαλίσει καλά αποτελέσματα από κάθε άποψη, αναδεικνύοντας ένα χρήσιμο εργαλείο για τη βελτιστοποίηση των UMTS.

Αναφερόμενοι στο σχεδιασμό και την υλοποίηση πολλαπλών κριτηρίων κάθετων αλγορίθμων απόφασης σε ετερογενή ασύρματα δίκτυα ευρείας περιοχής και ασύρματα τοπικά δίκτυα, προτείνεται η χρήση εννοιών ασαφούς λογικής που είναι αποδοτικές και ταυτόχρονα εξαιρετικά χρήσιμες, καθώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το συνδυασμό πολλαπλών μετρήσεων από το δίκτυο και μ'αυτό τον τρόπο ο χρήστης να αποκτήσει χρήσιμες πληροφορίες, ώστε να πάρει αποφάσεις απώθησης (Agbinya & Nkansah-Gyekye (2007)).

Τέλος, προτείνεται μια αρχιτεκτονική για ένα ασύρματο δίκτυο που διευκολύνει τις κινητές συσκευές για την επίλυση καθηκόντων όπως η εκμετάλλευση της ενέργειας των άλλων συσκευών του δικτύου που όμως κατέχουν εύκολα διαθέσιμους πόρους (Bhagyanati & Kurkovsky).

Σε ένα κυψελοειδές δίκτυο, η κατανομή αυτή επιτυγχάνεται εύκολα από τον σταθμό βάσης, που μπορεί να παρέχει υπηρεσίες διαμεσολάβησης, για τη διευκόλυνση της επικοινωνίας μεταξύ κινητών συσκευών, ώστε να ολοκληρώσουν τις υπολογιστικές εργασίες πιο γρήγορα και με λιγότερο κόστος σε σύγκριση με αυτό που θα σπαταλούσαν ως μεμονωμένες συσκευές, επιτρέποντας έτσι την δημιουργία ενός πραγματικού περιβάλλοντος πανταχού παρούσας υπολογιστικής. Έτσι, υφίσταται η ύπαρξη ενός δικτύου που είναι ευέλικτο, αυτορυθμιζόμενο και δυναμικό, ενώ ταυτόχρονα απαρτίζεται από ανεξάρτητους κινητούς ευφυείς πράκτορες που χρησιμοποιούν τους πόρους των άλλων κόμβων σε μια συνεργατική προσπάθεια επίλυσης μιας κοινής υπολογιστικής εργασίας.

Παρουσιάζεται δε, κατά τους, μια εκτίμηση βάση μετρήσεων και μέσω της χρήσης νευρωνικού δικτύου, της ποιότητας εμπειρίας (QoE) και της ποιότητας υπηρεσίας ( QoS ) σε δίκτυα WiMAX ((Costa, et al., 2011)). Έπειτα από, τα αποτελέσματα που προέκυψαν κατά την ανάλυση, παρατηρήθηκε ότι το νευρωνικό δίκτυο του εν λόγω σεναρίου είχε μια πολύ καλή πρόβλεψη. Τα λάθη δοκιμών και της επικύρωσης των δεδομένων, είχαν ικανοποιητικές τιμές, ενώ η χρήση δυναμικού βίντεο και ένα πλήθος κόμβων που γινόταν αντιληπτοί από το σύστημα, επέτρεπαν τη μελέτη διαφόρων συνδυασμών, προκειμένου να

υπάρχει μια εκτεταμένη βάση δεδομένων που μπορεί να χρησιμεύει ως είσοδος στο νευρωνικό δίκτυο.

#### **7.4. Συμπεράσματα**

Ανακεφαλαιώνοντας, δίνεται μια περιεκτική επισκόπηση των διαφόρων εμπνευσμένων από τη φύση και τη γενετική αναλύσεων και μελετών που αφορούν τις ασύρματες επικοινωνίες. Είναι μελέτες σχεδιασμένες για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, τα κινητά ad hoc δίκτυα και διάφορους άλλους τομείς των ασύρματων επικοινωνιών, ενώ μέσω της δημιουργίας και της εφαρμογής τεχνικών, στρατηγικών, οπτικοποιήσεων και αναλύσεων ή συγκρίσεων, επιτυγχάνεται η επίλυση προβλημάτων που αναφέρονται σε κυκλικές συστοιχίες κεραιών, σε UMTS συστήματα, σε ετερογενή ασύρματα δίκτυα, δίκτυα κινητής τηλεφωνίας και δορυφορικά δίκτυα.

Κάποια από τα χαρακτηριστικά, των ασύρματων δικτύων επικοινωνιών, έχουν να κάνουν με χαμηλή ποιότητα των υπηρεσιών, την ασφάλεια, την επιβάρυνση δρομολόγησης, την τοποθέτηση των ασύρματων κόμβων, την υψηλή ενεργειακή κατανάλωση, την μειωμένη διάρκεια ζωής του δικτύου και το κόστος επικοινωνίας, σε μια προσπάθεια να δοθούν λύσεις που ικανοποιούν τους περιορισμούς της απόδοσης, της αξιοπιστίας, της επεκτασιμότητας, της συντηρησιμότητας, της προσαρμοστικότητας, της βιωσιμότητας και της αποτελεσματικότητας.

Έτσι, οι μελέτες που εξετάζονται, εμπίπτουν στις τεχνολογίες των ασαφών συστημάτων, της βελτιστοποίησης της αποικίας μυρμηγκιών, της νοημοσύνης σμήνους, των νευρωνικών δικτύων, των εξελικτικών και των γενετικών αλγορίθμων ξεχωριστά, αλλά σε συνδυασμό μεταξύ τους και παρέχουν μια σειρά από ιδιότητες, μέσω των οποίων δίνεται η δυνατότητα της βελτιστοποίησης σε σημαντικές παραμέτρους της υπάρχουσας κατάστασης, που σχετίζονται με τη δρομολόγηση, την ιεράρχηση της κυκλοφορίας, την ασφάλεια, την αύξηση της διάρκειας ζωής του δικτύου και το σχεδιασμό των κόμβων ενός δικτύου αισθητήρων.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8<sup>ο</sup>

## ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗΣ ΣΤΙΣ ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ



Το παρόν κεφάλαιο διασαφηνίζει τη σχέση μεταξύ των εφαρμογών υπολογιστικής νοημοσύνης και των ασύρματων επικοινωνιών. Ως αναφορές ορίζονται υλοποιημένες προτάσεις σε συστήματα που λειτουργούν και έχουν εφαρμοστεί επιτυχώς ή μη. Αρχικά, περιγράφεται, αναλύεται και συγκρίνεται η συμπεριφορά της ασαφούς λογικής στις ασύρματες επικοινωνίες, ενώ πραγματοποιείται η ίδια διαδικασία, και για εφαρμογές που υιοθετούν τη λογική των βιολογικών συστημάτων. Τέλος, εξετάζονται εφαρμογές διάφορων άλλων τομέων της υπολογιστικής νοημοσύνης στις ασύρματες επικοινωνίες, απ' όπου προκύπτουν και τα τελικά συμπεράσματα.

## 8. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗΣ ΣΤΙΣ ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

### 8.1. Εφαρμογές ασαφούς λογικής στις ασύρματες επικοινωνίες

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία εφαρμογών που κάνουν χρήση ασαφούς λογικής προκειμένου να βελτιστοποιήσουν επιμέρους τομείς και ιδιότητες των ασύρματων δικτύων επικοινωνιών. Αρχικά, διατυπώνεται ένα μοντέλο εμπιστοσύνης ασαφούς λογικής για την ασφαλή επικοινωνία μεταξύ των κόμβων που αναφέρονται στην πηγή και τον προορισμό εντός του ασύρματου δικτύου αισθητήρων. Η εμπιστοσύνη, είναι η συγκέντρωση μιας σειράς αλληλεπιδράσεων μεταξύ των αισθητήρων. Οπότε, προτείνεται αυτό το μοντέλο στα δίκτυα αισθητήρων για να δείξει πώς η εμπιστοσύνη των μηχανισμών που εμπλέκονται στον αλγόριθμο ενός δικτύου επικοινωνίας μπορεί να συμβάλλει στην επιλογή του κατάλληλου μονοπατιού από την πηγή στον προορισμό, ώστε να πραγματοποιείται αποστολή και λήψη δεδομένων με ασφάλεια ((Kim & Seo (2008))).

Στη συνέχεια προτείνεται ένα νέο ασαφές συνδυαστικό σχήμα για τις τεχνικές ανίχνευσης φάσματος σε γνωστικά συστήματα ραδιοεπικοινωνιών. Στο σύνθετο και δυναμικό επιχειρησιακό περιβάλλον, τα μελλοντικά γνωστικά συστήματα ραδιοεπικοινωνιών θα χρειαστούν εξελιγμένες τεχνικές λήψης αποφάσεων και συνειδητοποίησης του περιβάλλοντος που θα πρέπει να είναι σε θέση να χειρίζονται πολυδιάστατα, αντικρουόμενα και συνήθως μη προβλέψιμα προβλήματα, στα οποία δεν θα μπορούν να βρεθούν κατ'αναγκη βέλτιστες λύσεις (Harjula, Mammela, Matinmikko, Mustonen, Rauma & Sarvanko (2009)).

Από τα αποτελέσματα γίνεται φανερό ότι η ασαφής λογική μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα συνεργατικό φάσμα ανίχνευσης για να παρέχει πρόσθετη ευελιξία στις υπάρχουσες συνδυαστικές μεθόδους. Παρουσιάζεται, μια έρευνα ασαφούς λογικής, σχετικά με τις αρχές των ασύρματων επικοινωνιών, με στόχο την προβολή της επιτυχούς χρήσης της ασαφούς λογικής σε διάφορες τεχνικές των τηλεπικοινωνιών (Erman, Mohammed & Rakus-Andersson (2009)).

Πρόκειται ουσιαστικά για μια μελέτη που επικεντρώνεται στην επιτυχή διάδοση της ασαφούς λογικής σε υβριδικές προσεγγίσεις στους τομείς που αφορούν την εκτίμηση του καναλιού, την εξισορρόπηση του καναλιού και την αποκωδικοποίηση. Επιπλέον,

παρουσιάζονται τα κύρια οφέλη από τη χρήση ασαφούς λογικής. Έτσι, με τη χρήση της ασαφούς λογικής παρατηρούνται ιδιαίτερα καλές επιδόσεις σε μη-γραμμικά συστήματα και σε χρονικά μεταβλητές συνθήκες, όπου απαιτείται η χρήση προσαρμοστικών τεχνικών. Επίσης, γίνεται αναφορά και σε περίπλοκα μοντέλα που δεν είναι εντελώς γνωστά και μεταβάλλονται με το χρόνο.

Η χρήση ασαφούς λογικής επιτυγχάνει ταχύτερη σύγκλιση και μειώνει την πολυπλοκότητα με μια μικρή υποβάθμιση στην απόδοση σε σύγκριση με εκείνη των τυποποιημένων μεθόδων. Επιπρόσθετα, όταν η ανθρώπινη γνώση είναι διαθέσιμη, μια συγκεχυμένη προσέγγιση ασαφούς λογικής είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για να ενσωματώσει αυτή τη γνώση συμπληρώνοντας τα διαθέσιμα αριθμητικά δεδομένα. Καθώς η ζήτηση για υψηλή ποιότητα μετάδοσης αυξάνει με την αύξηση της αποδοτικότητας του ραδιοφάσματος, έτσι και η βελτίωση της απόδοσης σφάλματος στα συστήματα ασύρματης επικοινωνίας αποκτά ιδιαίτερη σημασία.

Μια από τις υποσχόμενες προσεγγίσεις της τεχνολογίας 4G είναι η προσαρμοστική OFDM (Adaptive OFDM). Χρησιμοποιώντας, μια διασύνδεση ασαφούς λογικής και μια εκτίμηση SNR (signal-to-noise ratio) που δεν κάνει ενίσχυση των δεδομένων της, η προσαρμοστική διαμόρφωση για το OFDM αυξάνει την απόδοση του συστήματος, δεδομένου ότι ανταποκρίνεται στην κατάσταση του καναλιού και διατηρεί την καλή απόδοση όσον αφορά στο ποσοστό σφάλματος ανά δυαδικό ψηφίο (bit) και την ταχύτητα του συστήματος χρησιμοποιώντας αποτελεσματικά τη συνήθη λογική ελέγχου (Baby & Sastry (2010)). Τέλος, σύμφωνα και με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης προκύπτει ότι η μεθοδολογία που προτείνεται είναι δυνατόν να προσφέρει βελτίωση της ικανότητας του συστήματος.

Τα ασύρματα αισθητήρων / ενεργοποιητών δίκτυα (Wireless Sensor/Actuator Networks) αναδύονται με ταχείς ρυθμούς ως μια νέα γενιά δικτύων αισθητήρων. Έτσι, προτείνεται μια προσέγγιση που κάνει χρήση ελέγχου ασαφούς λογικής που βασίζεται στη διαχείριση της ποιότητας της υπηρεσίας (Quality of Service) και έχει προταθεί για WSANs. Με την προσέγγιση αυτή, η περίοδος δειγματοληψίας του κάθε κόμβου αισθητήρα πηγής ρυθμίζεται δυναμικά έτσι ώστε ο δείκτης που σχετίζεται με τη σχετική μετάδοση δεδομένων από τον αισθητήρα προς τον ενεργοποιητή να διατηρείται σε ένα επιθυμητό επίπεδο. Με τον τρόπο αυτό, οι απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσιών, όσον αφορά την επικαιρότητα, την αξιοπιστία, και την ευρωστία μπορούν να ικανοποιηθούν. Ενώ και μέσω των



αποτελεσμάτων της προσομοίωσης έχει αποδειχθεί ότι η προτεινόμενη προσέγγιση, μεταξύ άλλων παρέχει μεγάλη αποτελεσματικότητα στην υποστήριξη QoS στα WSNs (Sun, Tian, Xia & Zhao (2007)).

Γίνεται σαφές ότι όταν πραγματοποιείται μία μεταβίβαση ανάμεσα σε WLANs τότε η ποιότητα των υπηρεσιών χειροτερεύει. Έτσι, προτείνεται μια λύση ασαφούς λογικής για τον έλεγχο των αποφάσεων μεταβίβασης. Οπότε, έχουν σχεδιαστεί ασαφείς ελεγκτές για να τη βελτίωση της διαχείρισης της μεταβίβασης, που αφορά στην ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών σε δίκτυα WLANs. Η απόδοση του ασαφούς ελεγκτή έναντι των παραδοσιακών μεθόδων βελτιώνει τον μέσο όρο του λαμβανόμενου σήματος χάρη στον ασαφή σχεδιασμό. Έτσι, το κύριο πλεονέκτημα αυτής της πλατφόρμας είναι οι υψηλές δυνατότητες αυτοματοποίησης που επιτρέπουν την αυτόματη εκτέλεση, τη συλλογή και την επεξεργασία δεδομένων πολλών επαναλήψεων, τόσο ενσύρματων, όσο και ασύρματων σε διάφορα περιβάλλοντα δικτύωσης (Perez-Neira & Pubill (2006)).

Αργότερα, γίνεται λόγος για ένα σύστημα παρακολούθησης ευημερίας ηλικιωμένου που ζει ανεξάρτητος. Το παρόν σύστημα, φαίνεται πως έχει τη δυνατότητα να ελέγχει τις καθημερινές του δραστηριότητες και να του προσφέρει βοήθεια και υποστήριξη. Έτσι, ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων έχει κατασκευαστεί για τη συλλογή των απαιτούμενων στοιχείων πληρότητας ενώ, τα δεδομένα των μεμονωμένων κόμβων συνδυάζονται για να σχηματίσουν μια πληρότητα όσον αφορά τη χρονική αλληλουχία των συμβάντων. Οπότε, αναφέρονται κάποιες τεχνικές όπως οι EFP (Evolving Fuzzy Predictor), ARMA (Auto Regressive Moving Average), ANFIS (Adaptive-Neuro-based Fuzzy Inference System) και TWNFI (Transductive Neuro-Fuzzy Inference model with Weighted data normalization), που χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη και την πληρότητα της χρονικής σειράς των ενεργειών συγκρίνοντας παράλληλα και τους διάφορους περιβαλλοντικούς παράγοντες (Akhlaghinia, Langensiepen, Lotfi & Sherkat (2008)).

Τα πειραματικά αποτελέσματα, παρουσιάζονται με βάση το περιβάλλον του σπιτιού, στο οποίο διακρίνονται τέσσερις ξεχωριστές περιοχές, όπου κάθε περιοχή είναι εξοπλισμένη με ένα ασύρματο παθητικών υπερύθρων ανιχνευτή κίνησης που συνδέεται με μία κεντρική μονάδα επεξεργασίας. Ενώ, για την ασύρματη επικοινωνία του δικτύου αισθητήρων, χρησιμοποιούνται ασύρματες μονάδες τεχνολογίας ZigBee, σε ένα πρωτότυπο ευφυές περιβάλλον.

Τέλος, γίνεται μια έρευνα στα επίπεδα ασύρματων δικτύων αισθητήρων, όπου διερευνάται το πρόβλημα βελτιστοποίησης της διαδρομής δρομολόγησης με βάση τις μετρήσεις που έχουν να κάνουν με την απόσταση, τη δύναμη και τη χρήση συνδέσμων για τη μεγιστοποίηση της διάρκειας ζωής του δικτύου αισθητήρων. Έτσι, γίνεται χρήση του πρωτοκόλλου δρομολόγησης FIS (Fuzzy Inference System), που αναφέρεται στην επιλογή των καλύτερων κόμβων, μεταξύ των υποψηφίων, που θα διαβιβάσουν τα πακέτα στον προορισμό. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν ότι με τη χρήση του βελτιστοποιημένου πρωτοκόλλου δρομολόγησης, μπορεί να βελτιωθεί η διάρκεια ζωής του δικτύου (Azim & Jamalipour).

## **8.2. Εφαρμογές λογικής βιολογικών συστημάτων στις ασύρματες επικοινωνίες**

Αξίζει να σημειωθεί ότι πολλοί είναι οι τομείς των ασύρματων επικοινωνιών που κάνουν χρήση της λογικής των βιολογικών συστημάτων προκειμένου να βελτιστοποιήσουν διάφορα χαρακτηριστικά και ιδιότητες τους. Αρχικά, η ασφάλεια και η προστασία προσωπικών δεδομένων είναι δύο σημαντικές παράμετροι που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όταν πρόκειται για ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, που λειτουργούν σε ένα περιβάλλον χωρίς επιτήρηση και μεταφέρουν ευαίσθητες πληροφορίες ζωτικής σημασίας για διάφορες εφαρμογές.

Μία από τις μεγαλύτερες επιθέσεις στο δίκτυο αισθητήρων είναι η επίθεση άρνησης εξυπηρέτησης (Denial of Service) που όχι μόνο μειώνει την ικανότητα του δικτύου, αλλά και επηρεάζει την αξιοπιστία των πληροφοριών που μεταδίδονται. Έτσι, παρουσιάζεται ένας νέος μηχανισμός πρόληψης ενάντια στην επίθεση DDoS που βασίζεται στην αποικία των μυρμηγκιών και έχει να κάνει με την ανάλυση υπογραφής. Η προσέγγιση αυτή, βοηθά στον εντοπισμό της πηγής της επίθεσης, ενώ παράλληλα κάνει την καλύτερη δυνατή διαχείριση των πόρων της εφαρμογής. Οπότε, οδηγεί στο μπλοκάρισμα της κυκλοφορίας της επίθεσης σταδιακά ακόμη από την πηγή, ενώ η ομαλή λειτουργία του δικτύου συνεχίζει να διεξάγεται κανονικά (Aroga & Juneja).

Με τον όρο δρομολόγηση, γίνεται αναφορά στην διαδικασία διακίνησης πληροφοριών από έναν κόμβο πηγής σε έναν κόμβο προορισμού. Για τα κινητά ad hoc δίκτυα συγκεκριμένα, η πολυπλοκότητα της δρομολόγησης αυξάνεται λόγω των χαρακτηριστικών

της, τα οποία είναι η δυναμική τοπολογία, η απουσία κεντρικής αρχής και η ποιότητα της υπηρεσίας. Η μεγαλύτερη πρόκληση σε αυτό το είδος δικτύων είναι να βρεθεί ένα μονοπάτι μεταξύ των τελικών σημείων επικοινωνίας που ταυτόχρονα να ικανοποιεί τις απαιτήσεις του χρήστη σε ποιότητα υπηρεσιών παρά τις συχνές βλάβες των διαδρομών λόγω της κινητικότητας των κόμβων.

Έτσι, προτείνεται ο AMQR (ant-based multi-objective QoS routing), ένας αλγόριθμος δρομολόγησης βασισμένος στην αποικία των μυρμηγκιών που καλείται να ανταποκριθεί στην απαίτηση κάλυψης της ποιότητας των υπηρεσιών των κινητών ad hoc δικτύων για την υποστήριξη της κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο. Έτσι, ο παρόν αλγόριθμος φαίνεται να παρέχει καλή αναλογία παράδοσης πακέτων, μικρότερη καθυστέρηση και jitter σε σύγκριση με AODV και AntHocNet σε όλες τις περιπτώσεις, αλλά και στο κόστος της αυξημένης δρομολόγησης γενικά. Τέλος, αποδεικνύεται επίσης ότι είναι ιδιαίτερα προσαρμοστικός, αποτελεσματικός, επεκτάσιμος και κυρίως μειώνει την από άκρο εις άκρον καθυστέρηση σε καταστάσεις μεγάλης κινητικότητας (Deeralakshmi & Radhakrishnan (2011)).

Αργότερα μελετάται η ομοιότητα μεταξύ του πολλαπλασιασμού των ιών και των σκουληκιών σε δίκτυα υπολογιστών και του πολλαπλασιασμού των παθογόνων μικροοργανισμών σε κυτταρικούς οργανισμούς. Έτσι, εισάγονται αρκετοί βιολογικοί μηχανισμοί που χρησιμοποιούνται σε οργανισμούς για την προστασία έναντι παθογόνων μικροοργανισμών και παρουσιάζονται εμπνευσμένα μοντέλα ασφάλειας για δικτυωμένους υπολογιστές. Επιπλέον, η μελέτη των επιδημιολογικών μοντέλων για τον έλεγχο μιας νόσου μπορεί να εμπνεύσει μεθόδους για τον έλεγχο της εξάπλωσης των παθογόνων παραγόντων σε πολλαπλούς κόμβους του δικτύου (Bush & Goel (2004)).

Τα πρότυπα ασφαλείας για την ανίχνευση και την εξάλειψη των παθογόνων παραγόντων που εισβάλλουν στα δίκτυα υπολογιστών έχουν γίνει με βάση κάποιες παραμέτρους άμυνας. Τέτοιες άμυνες όμως, αποδεικνύονται ως ανίκανες εναντίον της γρήγορης εξάπλωσης ιών και σκουληκιών (worms). Τα σημερινά εργαλεία γενικά, είναι σε θέση να εγγυηθούν την επαρκή προστασία των δεδομένων και την απρόσκοπτη πρόσβαση σε υπηρεσίες, αλλά προκύπτει ως επιτακτική η ανάγκη συμπλήρωσης των υπαρχόντων προτύπων ασφαλείας με αντιδραστικά συστήματα που είναι σε θέση να ανιχνεύσουν νέα στελέχη απειλών αξιόπιστα και να τα καταστρέψουν πριν καταφέρουν να προκαλέσουν ζημιές και να διαδοθούν περαιτέρω.

Έτσι, προκύπτει ότι έχει γίνει μια προσπάθεια που αφορά σε χρήση του ανοσοποιητικού και επιδημιολογικών μοντέλων, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι μοντέλα όπως παραδείγματος χάριν τα γονιδιωματικά δεν θα ήταν αρκετά δραστικά παρέχοντας μια επεκτάσιμη, ανθεκτική και οικονομικά αποδοτική λύση που θα μπορούσε να συμβαδίσει με τις συνεχώς εξελισσόμενες ανάγκες της ασφάλειας.

Έπειτα γίνεται λόγος για την ανάγκη που προκύπτει για μια νέα προσέγγιση λήψης αποφάσεων, που έχει να κάνει με την επιλογή διαδρομών επικοινωνίας σε ένα βιομετρικό δίκτυο αισθητήρων που υποστηρίζει αιτήσεις πρόσβασης σε ένα κτίριο. Οπότε, προτείνεται η νοημοσύνη του σμήνους προκειμένου να επιλεγεί η βέλτιστη διαδρομή σε ένα καταναμημένο, χρονικά μεταβαλλόμενο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων στα πλαίσια ενός κτιρίου, ενώ την ίδια στιγμή γίνεται χρήση μερικώς διατεταγμένων συνόλων POSets (Partially ordered sets), τα οποία έχουν ως αρμοδιότητα να σταθμίσουν σωστά τις παραμέτρους απόδοσης με βάση τις χρονικές ανάγκες πρόσβασης (Muraleedharan & Osadciw).

Εστιάζοντας στο πρόβλημα της ενεργειακής απόδοσης στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, προτείνεται μια βελτιστοποίηση του σμήνους σωματιδίων και μια προσομοίωση αναδιάταξης, που αναφέρεται στη βελτιστοποίηση της ανάπτυξης του δικτύου. Σε ένα δίκτυο, που αποτελείται από σταθερούς και κινητούς ασύρματους κόμβους αισθητήρων, η σωστή τοποθέτηση των κινητών κόμβων αποτελεί μείζον ζήτημα για την κάλυψη και την κατανάλωση ενέργειας. Η μετρική που αφορά την ενεργειακή κάλυψη ορίζεται χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο του Dijkstra, ο οποίος παρέχει τις βέλτιστες διαδρομές επικοινωνίας για τα δεδομένα αναφοράς. Ο αλγόριθμος τώρα που αφορά τη βελτιστοποίηση των σωματιδίων ενός σμήνους και η προσομοίωση της αναδιάταξης συνδυάζονται για να βρεθεί η βέλτιστη συνολική λύση, η οποία έχει υπολογιστεί από τη συνάρτηση καταλληλότητας και έχει σχεδιαστεί για να ελαχιστοποιήσει την ενέργεια που ορίζεται από το ποσοστό κάλυψης (Bi, Ma, Wang & Wang (2007)).

Τέλος, και μέσω πειραματικών αποτελεσμάτων αποδεικνύεται ότι οι επιδόσεις κάλυψης μπορεί να είναι εγγυημένες, η κατανάλωση ενέργειας της επικοινωνίας διατηρείται μετά τη βελτιστοποίηση της εγκατάστασης και η βελτιστοποίηση των επιδόσεων ενισχύεται από καταναμημένους αλγόριθμους. Επιπλέον, έχει αποδειχθεί ότι η ενεργειακή απόδοση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων ενισχύεται από τον προτεινόμενο αλγόριθμο βελτιστοποίησης κυρίως σε εφαρμογές εντοπισμού στόχου.

Με τον όρο αυτόνομη δικτύωση γίνεται αναφορά σε συστήματα, που αποτελούνται από πολλές ανεξάρτητες οντότητες, οι οποίες εκτελούν μια προκαθορισμένη εργασία. Η συμπεριφορά, του παγκόσμιου συστήματος είναι ένα αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης του συνόλου των αυτόνομων οντοτήτων, ενώ η αυτο-οργάνωση αποτελεί λύση για τη διαχείριση αυτών των περιβαλλόντων. Έτσι, περιγράφονται βιολογικά εμπνευσμένοι μηχανισμοί για την αποτελεσματική και κλιμακούμενη επικοινωνία σε αυτόνομα δίκτυα, σε συνδυασμό με γνωστές μεθόδους από την ευφυΐα του σμήνους. Οπότε τα ζητήματα αυτό-οργάνωσης υπόσχονται την παροχή απαντήσεων για την κατασκευή μεγάλων και σύνθετων συστημάτων που καλύπτουν διάφορες εργασίες από πολλές απλές και ανεξάρτητες αυτόνομες οντότητες (Dressler (2005)).

Τέτοια συστήματα μπορεί να βρεθούν αρκετά συχνά στη δικτύωση υπολογιστών, ενώ, απαιτούν πράξεις και μηχανισμούς που βασίζονται στο σχηματισμό ομάδας, στην προσαρμοστική επικοινωνία και στον εντοπισμό και τη διαχείριση πόρων. Οι μηχανισμοί, που είναι γνωστοί από την κυτταρική βιολογία για τον προσδιορισμό των πόρων και την αποτελεσματικότερη διασύνδεση των κόμβων επικοινωνίας σε συνδυασμό με τις προσεγγίσεις που αφορούν τη νοημοσύνη του σμήνους για τον προσαρμοστικό σχηματισμό ομάδας είναι οι κατάλληλες λύσεις για τα διάφορα προβλήματα.

Απ'την άλλη μεριά, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι κατάλληλα για πολλές νέες και υπάρχουσες εφαρμογές, όπως είναι η περιβαλλοντική παρακολούθηση, η υγειονομική περίθαλψη, η διαχείριση υποδομών, η δημόσια ασφάλεια, οι μεταφορές, καθώς και η στρατιωτική στρατηγική, αλλά εξακολουθούν να παρουσιάζουν σημαντικές προκλήσεις της επικοινωνίας του δικτύου, που αφορούν κυρίως τη χρήση μεγάλου αριθμού κόμβων με περιορισμένους πόρους που λειτουργούν χωρίς επιτήρηση και εκτίθενται σε πιθανές τοπικές αποτυχίες. Προκειμένου, να μεγιστοποιηθεί η διάρκεια ζωής του δικτύου, εφαρμόζεται η γενετική βελτιστοποίηση σμήνους (Genetical Swarm Optimization), η οποία, είναι μια κατηγορία των υβριδικών εξελικτικών τεχνικών που αναπτύχθηκαν, ώστε να αξιοποιηθεί με τον πλέον αποτελεσματικό τρόπο η μοναδικότητα και οι ιδιαιτερότητες των δύο κλασικών προσεγγίσεων βελτιστοποίησης, δηλαδή της βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων (PSO) και των γενετικών αλγορίθμων (GA). Η διαδικασία αυτή εφαρμόζεται για τη βελτιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας σε ένα ασύρματο δίκτυο, επιλέγοντας τη βέλτιστη διαδρομή, που προκύπτει μέσω των συστημάτων δρομολόγησης πολλαπλών αλμάτων, επιβεβαιώνοντας τις κριτικές που τη θέλουν να αποτελεί ένα ευέλικτο και χρήσιμο εργαλείο για εφαρμογές μηχανικής (Caputo, Grimaccia, Mussetta & Zich (2010)).

Οι αλγόριθμοι νοημοσύνης του σμήνους, είναι αποτελεσματικά συστήματα που εύκολα μπορούν να εκτελούνται παράλληλα, γεγονός που τα καθιστά ιδανικά για εφαρμογή στο υλικό φθηνών αλλά και άφθονων επεξεργαστικών συσκευών, όπως είναι οι FPGAs (field-programmable gate array), οι GPUs (graphics processing unit) αλλά και σε συστήματα υπολογιστικής πλέγματος (Grid Computing), καθώς εκμεταλλεύονται την ιδιότητα τους για γρήγορο υπολογισμό και ανέξοδη κατασκευή (Johnson, Palangrour & Venayagamoorthy (2008)). Επίσης, η φύση της εύκολης μεταφοράς τους, προσφέρεται και για εφαρμογή σε κινητά ρομποτικά σμήνη ή στον ασύρματο έλεγχο ενός δικτύου αισθητήρων. Τέλος, αρκετές πρόσφατες και πολλά υποσχόμενες εφαρμογές έχουν επισημανθεί, αποδεικνύοντας τη δύναμη και την ευελιξία του παρόντος αλγόριθμου, ενώ οι υλοποιήσεις του υλικού ενισχύουν σε μεγάλο βαθμό την ταχύτητα και την απόδοση αυτού του είδους των συστημάτων.

Αργότερα, γίνεται λόγος για την ανάγκη ύπαρξης ενός ευέλικτου και οικονομικά αποτελεσματικού βιομετρικού συστήματος ασφαλείας. Η ευελιξία του ασύρματου δικτύου αισθητήρων καθιστά μια φυσική επιλογή για τη μετάδοση δεδομένων. Ενώ, η νοημοσύνη του σμήνους χρησιμοποιείται για τη βελτιστοποίηση της διαδρομής στο χρονικά μεταβαλλόμενο δίκτυο. Επίσης, απαιτείται η ύπαρξη ενός αποδεκτού ποσοστού σφάλματος (Bit Error Rate), το οποίο για ποικίλες συνθήκες καναλιού, θα καταναλώνει ελάχιστη ενέργεια.

Προτείνεται επομένως, ένα ειδικό βιομετρικό σύστημα αναγνώρισης προσώπου, το οποίο χρησιμοποιεί το σύστημα των μυρμηγκιών για τη δρομολόγηση των εικόνων προσώπου προς το κέντρο επεξεργασίας, κάνοντας χρήση της ελάχιστης δυνατής κατανάλωσης ενέργειας, ενώ προσφέρει αξιόπιστη μετάδοση, υψηλή απόδοση και ακρίβεια που αγγίζει το 94%. Κατ' αυτόν τον τρόπο, το ασύρματο κανάλι κάνει το σύστημα αναγνώρισης πιο ευέλικτο, πιο αποτελεσματικό και ακόμη πιο ισχυρό. Ενώ επιθέσεις παρεμβολών (jamming) που θα μπορούσαν να θέσουν έναν αισθητήρα ακατάλληλο για οποιοδήποτε είδος μετάδοσης, τώρα αντιμετωπίζονται με επιλογές τύπου FHSS (Frequency-hopping spread spectrum) και DSSS (direct-sequence spread spectrum), που επιτυγχάνουν αποφυγή επίθεσης άρνησης εξυπηρέτησης (Muraleedharan, Osadciw & Yan).

Πρόσφατα, διάφορες πολύπλοκες στρατηγικές προσαρμοσμένες στις τρέχουσες συνθήκες δικτύων έχουν προταθεί για την κατανομή καναλιών με βάση ευφυείς τεχνικές,

όπως οι εξελικτικοί και οι γενετικοί αλγόριθμοι. Αυτές οι προσεγγίσεις αποτελούν ευρετικές λύσεις στα προβλήματα διαχείρισης πόρων σε σύγχρονα συστήματα κινητής τηλεφωνίας. Ενώ, σε μεγάλης κλίμακας ασύρματα δίκτυα, ακόμη και μικρές διαφορές κατά τη διαδικασία κατανομής καναλιού μπορούν να επηρεάσουν σε μεγάλο βαθμό την απόδοση του δικτύου (Karras, Papademetriou & Papazoglou).

Προτείνεται μια ολοκληρωμένη και αποτελεσματική ευρετική προσέγγιση για την επίλυση του προβλήματος κατανομής καναλιού, που αφορά μεγάλης κλίμακας ασύρματα συστήματα επικοινωνίας και βασίζεται στις έξυπνες τεχνικές και ιδιαίτερα στην μεθοδολογία της ενσωμάτωσης πολλαπλών πρακτόρων και στις στρατηγικές βελτιστοποίησης της αποικίας των μυρμηγκιών. Τέλος, μέσω και των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης έχει διαπιστωθεί βελτίωση της απόδοσης του αλγορίθμου βελτιστοποίησης της αποικίας των μυρμηγκιών, καθώς και της προσέγγισης που αφορά την μοντελοποίηση πολλαπλών πρακτόρων σε σχέση με τις παραδοσιακές στατιστικές απόδοσης του δικτύου.

Στη συνέχεια, γίνεται μια προσπάθεια προσδιορισμού των τοποθεσιών των χρηστών σε ένα κυψελοειδές δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Μια στρατηγική που χρησιμοποιείται στη διαχείριση της τοποθεσίας όπου είναι να διαχωριστεί το δίκτυο σε περιοχές θέσης, κατά τέτοιο τρόπο ώστε το συνολικό κόστος που προκύπτει από το άθροισμα του κόστους μεταπομπής και του κόστους τηλεειδοποίησης να είναι το μικρότερο δυνατό. Έτσι, χρησιμοποιείται η μέθοδος βελτιστοποίησης της αποικίας των μυρμηγκιών για να βρεθεί ο βέλτιστος αριθμός περιοχών τοπικά και η αντίστοιχη διαμόρφωση κατανομής του δικτύου. Ενώ σύμφωνα και με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης προκύπτει ότι το συνολικό κόστος αρχίζει να μειώνεται καθώς ο αριθμός των περιοχών αυξάνεται μέχρι τον βέλτιστο αριθμό και στη συνέχεια αρχίζει να μειώνεται. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι το παρόν έργο θα μπορούσε επίσης να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο για τον προσδιορισμό της θέσης των κόμβων αισθητήρων σε ένα ασύρματο δίκτυο (Agrawal, Kim, Kim, Kim & Mani (2010)).

Έπειτα γίνεται λόγος για μια νέα μέθοδο επικοινωνίας, που αφορά τη διαβίβαση πληροφοριών ελέγχου στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Έχει αποδειχθεί ότι αναξιόπιστες διαδρομές και χρονικές μεταβολές επηρεάζουν την αξιοπιστία των παραδοσιακών πρωτοκόλλων και οδηγούν σε αδικαιολόγητα υψηλό κόστος μεταφοράς ή σε ανέφικτη επικοινωνία. Έτσι, προτείνεται ένας νέος μηχανισμός βρόγχων ανάδρασης που κάνει χρήση προσαρμοσμένων μεθόδων από τη βιολογία κυττάρων. Πρόκειται για έναν επιπλέον παράγοντα, στον οποίο βασίζεται η συνολική αξιοπιστία μιας συγκεκριμένης μετάδοσης,

καθώς σε δίκτυα αισθητήρων με λίγους πόρους, επιτυγχάνεται μια πολύ αποτελεσματική χρήση τους, γεγονός που κάνει το σύστημα πιο αποδοτικό. Επίσης, οι βιολογικά εμπνευσμένες αρχιτεκτονικές δικτύωσης είναι δυνατόν να συμβάλουν στην αντιμετώπιση πολλών ζητημάτων αυτο-οργάνωσης και προσαρμογής στις περιβαλλοντικές αλλαγές. Οπότε καθίσταται δυνατή η αναδυόμενη συμπεριφορά ενός συστήματος που αποτελείται από πολλαπλούς, πιθανώς ετερογενείς, αυτόνομους κόμβους εργασίας (Dressler, Fuchs, German & Krüger).

Στο πλαίσιο, των ασύρματων δικτύων αισθητήρων, έχουν δημιουργηθεί πιο αποδοτικοί αλγόριθμοι, οι οποίοι έχουν σχεδιαστεί με βρόχο ανάδρασης, επιτυγχάνοντας λειτουργικότητα ακόμη και σε περιπτώσεις που απαιτείται εξοικονόμηση πόρων, όπως η κατανάλωση ενέργειας.

### **8.3. Εφαρμογές διαφόρων τομέων της υπολογιστικής νοημοσύνης στις ασύρματες επικοινωνίες**

Είναι ενδιαφέρον το γεγονός, ότι εξετάζονται οι προσπάθειες που αφορούν τον τομέα των τεχνητών ανοσοποιητικών συστημάτων (AIS) και τις εφαρμογές τους στα ad hoc ασύρματα δίκτυα σε ό,τι αφορά την ανίχνευση ανωμαλιών. Τα τεχνητά ανοσοποιητικά συστήματα, βασίζονται στις ιδιότητες του ανθρώπινου ανοσοποιητικού συστήματος, όπως είναι η αναγνώριση, η ανοσία και η απόκριση (Drozda & Szczerbicka).

Το βασικό ερώτημα ενός σχεδίου AIS είναι ποιες από τις ιδιότητες των ad hoc ασύρματων δικτύων θα πρέπει να διατηρηθούν. Αυτές οι ιδιότητες, περιλαμβάνουν παραμέτρους όπως η συνδεσιμότητα, η καθυστέρηση, η απόδοση και ο αριθμός των πακέτων που λαμβάνονται. Τέλος, αξίζει να γίνει αντιληπτό το γεγονός ότι τα AIS δεν πρέπει ποτέ να καταστεί αποδεκτό, ότι θα καταστείλουν έναν υπερβολικά μεγάλο αριθμό προβλημάτων ανάρμοστης συμπεριφοράς. Επομένως, κατά τη δοκιμή και την κατάρτιση ενός τέτοιου συστήματος, η ικανότητα της σωστής λειτουργίας των κόμβων θα πρέπει να ορίζεται με σαφήνεια.

Οι αρχές, οι αλγόριθμοι και η εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση ενός κατανεμημένου ασύρματου δικτύου αισθητήρων. Οπότε είναι δυνατόν να εφαρμοστεί μια λύση που επιτρέπει σε ένα δίκτυο αισθητήρων να συμπεριφέρεται ως ένα έξυπνο σύστημα πολλαπλών πρακτόρων μέσω του προτεινόμενου



μοντέλου λόγω του ότι χρησιμοποιεί πολλαπλούς πράκτορες σε συνδυασμό με μια αρχιτεκτονική πολλαπλών επιπέδων για τη διευκόλυνση της προσομοίωσής του (Montoya, Ovalle & Restrepo).

Επιπλέον, το προτεινόμενο μοντέλο δίνει έμφαση στη λειτουργία και την ευφυΐα ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων. Από τη σκοπιά των τεχνητών πολλαπλών πρακτόρων, ένα κατανεμημένο δίκτυο αισθητήρων μπορεί να εγκατασταθεί με ένα αποτελεσματικό τρόπο και να επιτύχει τους προτεινόμενους στόχους για τη λήψη μέτρων που αφορούν τις απαιτήσεις παρακολούθησης των φυσικών μεταβλητών.

Με τον όρο γνωστικά συστήματα ραδιοεπικοινωνιών (cognitive radio), γίνεται λόγος για την περιοχή, κατά την οποία επικρατεί αποδοτική χρήση ραδιοφάσματος λόγω μη ανίχνευσης λευκών διαστημάτων. Η τεχνητή νοημοσύνη είναι ο πυρήνας του ευφυούς κινητήρα που τηρεί τις εξωτερικές και τις εσωτερικές παραμέτρους του περιβάλλοντος και ενεργεί για την αύξηση της ποιότητας των υπηρεσιών του συστήματος επικοινωνίας.

Πραγματοποιούνται δε περαιτέρω έρευνες του πώς τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη αυτού του ευφυούς πυρήνα, μέσω διαφόρων τεχνικών όπως είναι η αυτόματη διαμόρφωση, η αναγνώριση προτύπων με βάση την ευφυΐα σε πομπό και δέκτη, καθώς επίσης και η χρήση ANN (Artificial Neural Networks) που βασίζεται στην εκμάθηση. Γνωστικά συστήματα ραδιοεπικοινωνιών, μπορούν να εφαρμοστούν σε διάφορους τομείς όπως είναι η αεροναυπηγική εδάφους και η διαχείριση των καταστροφών (Nandi, Pattanayak & Venkateswaran).

Στον τομέα της αεροναυτικής ειδικότερα, το σημερινό σύστημα κατανομής του φάσματος είναι σταθερό και παραχωρεί το κανάλι σε συγκεκριμένο αεροσκάφος, ανάλογα με τη γεωγραφική περιοχή και την οργάνωση, οπότε έχουν προταθεί γνωστικά συστήματα ραδιοεπικοινωνιών για να συλλέγουν πληροφορίες του αεροσκάφους, όπως η θέση του, τα τρέχοντα ελεύθερα διαθέσιμα κανάλια και άλλα, γεγονότα που βοηθούν στη δυναμική κατανομή χρήσης του καναλιού. Τέλος, γνωστικά συστήματα ραδιοεπικοινωνιών μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης για τη διαχείριση καταστροφών και την παροχή ασύρματων υπηρεσιών.

Η ανάπτυξη των νέων τεχνολογιών, όπως οι ασύρματες τεχνολογίες, οι κινητές συσκευές και το ενσωματωμένο λογισμικό ανοίγει τις πόρτες σε νέες εφαρμογές, όπου με την ανάπτυξη παραδείγματος χάριν των ασύρματων δικτύων αισθητήρων, εμφανίζεται και η

έννοια της διάχυτης νοημοσύνης. Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων, μπορεί να συλλέγει δεδομένα από το περιβάλλον και στη συνέχεια να τα χρησιμοποιεί για την ανάπτυξη των ευφυών συστημάτων, καθώς προσαρμόζονται αυτόματα σύμφωνα με τα εκάστοτε περιβαλλοντικά πλαίσια και τις πληροφορίες που αποκτώνται από τους αισθητήρες. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων, είναι δυνατόν να καταστήσει δυνατή την επικοινωνία με τους ενεργοποιητές μέσω της δυνατότητας του να εκτελεί φυσικές αλλαγές στο περιβάλλον (Blasco, Fernández, Hernández & Montón).

#### **8.4. Συμπεράσματα**

Ανακεφαλαιώνοντας, δίνεται μια περιεκτική επισκόπηση των διαφόρων εμπνευσμένων από τη φύση και τη γενετική εφαρμογών που αφορούν τις ασύρματες επικοινωνίες. Πρόκειται για εφαρμογές που βασίζονται στην ασαφή λογική, τη λογική των βιολογικών συστημάτων όπως τη νοημοσύνη σμήνους ή τη βελτιστοποίηση της αποικίας μυρμηγκιών και άλλες τεχνολογίες της υπολογιστικής νοημοσύνης όπως τα νευρωνικά δίκτυα, τα τεχνητά ανοσοποιητικά συστήματα και οι εξελικτικοί – γενετικοί αλγόριθμοι, που υλοποιούνται σε διάφορους τομείς των ασύρματων επικοινωνιών, όπως τα γνωστικά συστήματα ραδιοεπικοινωνιών, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων / ενεργοποιητών, τα κυψελωτά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας και σε συστήματα δρομολόγησης ή αναγνώρισης προσώπων.

Κάποια από τα χαρακτηριστικά, των ασύρματων δικτύων επικοινωνιών, έχουν να κάνουν με τεχνικές ανίχνευσης φάσματος, παράλληλη εκτέλεση συστημάτων, υποστήριξη της κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο, χαμηλή ποιότητα των υπηρεσιών, ασφάλεια, δρομολόγηση, υψηλή ενεργειακή κατανάλωση, συλλογή και επεξεργασία δεδομένων, μειωμένη διάρκεια ζωής του δικτύου και κόστος επικοινωνίας, σε μια προσπάθεια βελτιστοποίησης σημαντικών παραμέτρων της υπάρχουσας κατάστασης, που ικανοποιούν ωστόσο, τους περιορισμούς της απόδοσης, της αξιοπιστίας, της ακρίβειας και της αποτελεσματικότητας.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9<sup>ο</sup>

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ



Στο παρόν κεφάλαιο, αναδεικνύονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της εφαρμογής των τεχνικών υπολογιστικής νοημοσύνης σε ασύρματα δίκτυα και σε κινητά υπολογιστικά συστήματα. Παράλληλα, δίνονται προτάσεις βελτίωσης των ήδη υπαρχόντων υλοποιήσεων, όπως και προτάσεις ανάδειξης νέων, που έχουν να προσφέρουν σημαντικά οφέλη τόσο στον κλάδο των ασύρματων επικοινωνιών, όσο και στην ανθρωπότητα.

## 9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

### 9.1. Σύνοψη

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία, ολοκληρώνοντας την διαδικασία ανασκόπησης θεμάτων εφαρμογής τεχνικών υπολογιστικής νοημοσύνης, στο χώρο των ασύρματων επικοινωνιών διερευνώνται εφαρμογές που βασίζονται στην ασαφή λογική, τα νευρωνικά δίκτυα, τα τεχνητά ανοσοποιητικά συστήματα, τους εξελικτικούς αλγορίθμους, αλλά και άλλες τεχνολογίες της υπολογιστικής νοημοσύνης, όπως, η νοημοσύνη σμήνους ή η βελτιστοποίηση της αποικίας των μυρμηγκιών, που υλοποιούνται σε διάφορους τομείς των ασύρματων επικοινωνιών, όπως τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, τα κινητά ad hoc δίκτυα και διάφορα άλλα είδη ασύρματων δικτύων πρόσβασης.

Οι τεχνολογίες υπολογιστικής νοημοσύνης υλοποιούνται και στα πλαίσια διάφορων στοιχείων των ασύρματων δικτύων, όπως είναι ο σταθμός βάσης και τα κινητά κέντρα μεταγωγής, καθώς επίσης και σε τεχνολογίες 3G ή 4G και συστήματα των ασύρματων επικοινωνιών, όπως είναι τα γνωστικά συστήματα ραδιοεπικοινωνιών, τα ασύρματα δίκτυα πλέγματος, τα κυψελωτά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, τα συστήματα δρομολόγησης ή αναγνώρισης προσώπων, τα WiMAX δίκτυα, τα ATM δίκτυα και τα CDMA, OFDMA και TDD συστήματα.

Κάποια από τα χαρακτηριστικά των ασύρματων δικτύων επικοινωνιών, που χρίζουν βελτίωσης ή επαναπροσδιορισμού, έχουν να κάνουν με τις τεχνικές ανίχνευσης φάσματος, την παράλληλη εκτέλεση συστημάτων, την υποστήριξη της κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο, την χαμηλή ποιότητα των υπηρεσιών, την ασφάλεια, τη δρομολόγηση και την ιεράρχηση της κυκλοφορίας, τον αποδοτικό σχεδιασμό των κόμβων ενός δικτύου αισθητήρων, την υψηλή ενεργειακή κατανάλωση, τη μειωμένη διάρκεια ζωής του δικτύου, το υψηλό κόστος επικοινωνίας και πλήθος άλλων σημαντικών παραμέτρων της υπάρχουσας κατάστασης, των ασύρματων δικτύων επικοινωνιών. Έτσι, προτείνονται διάφορες τεχνολογίες της υπολογιστικής νοημοσύνης, είτε μεμονωμένα, είτε σε συνδυασμούς μεταξύ τους, προκειμένου να παρέχουν λύσεις στα προβλήματα των ασύρματων επικοινωνιών.

Η τεχνολογία της ασαφούς λογικής, έχει χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά, σε ασαφείς ελεγκτές 802.11 ασύρματων τοπικών δικτύων, παρέχοντας μείωση ρυθμού απώλειας

πακέτων, μείωση διακύμανσης καθυστέρησης και καθυστέρησης σε πραγματικό χρόνο, σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, για την ενεργειακά αποδοτική εκλογή κεφαλής συμπλέγματος, τον εντοπισμό ελαττωματικών κόμβων και τη διατήρηση ενέργειας σε επίπεδο κόμβου αισθητήρα, σε κινητά ad hoc δίκτυα, για τη ρύθμιση της κυκλοφορίας, σε συστήματα αναγνώρισης δακτυλικών αποτυπωμάτων, σε εσωτερικά συστήματα εντοπισμού θέσης, σε συστήματα αναγνώρισης προτύπων, στην επίλυση προβλημάτων μεταπομπής, δρομολόγησης, καθώς επίσης και στο σχεδιασμό και την υλοποίηση πολλαπλών κριτηρίων κάθετων αλγορίθμων απόφασης, σε ετερογενή δίκτυα ευρείας περιοχής και ασύρματα τοπικά δίκτυα, σε τεχνικές ανίχνευσης φάσματος, στα γνωστικά συστήματα ραδιοεπικοινωνιών και στον έλεγχο μεταβίβασης με βάση το QoS στα WLANs. Η εφαρμογή της ασαφούς λογικής σε διάφορους τομείς των ασύρματων επικοινωνιών παρουσιάζεται και στον πίνακα 9.1.

**Πίνακας 9. 1 – Εφαρμογή ασαφούς λογικής σε διάφορους τομείς των ασύρματων επικοινωνιών**

<b>ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΣΑΦΟΥΣ ΛΟΓΙΚΗΣ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΤΟΜΕΙΣ ΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ</b>		
<b>Τομέας ασύρματων επικοινωνιών</b>	<b>Βελτίωση από την εφαρμογή της ασαφούς λογικής</b>	<b>Αναφορά</b>
Ασαφείς ελεγκτές 802.11 ασύρματων τοπικών δικτύων	Μείωση ρυθμού απώλειας πακέτων, μείωση διακύμανσης καθυστέρησης και καθυστέρησης σε πραγματικό χρόνο	Clement, Dawoud, Fangyan, Kaoru & Negnevitsky (2010)
Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων	Ενεργειακά αποδοτική εκλογή κεφαλής συμπλέγματος, εντοπισμός ελαττωματικών κόμβων, διατήρηση ενέργειας σε επίπεδο κόμβου αισθητήρα και ασφάλεια	Gong, Ran & Zhang (2010) Haider & Yusuf (2009) Al Haddad, Karimi & Zarafshar (2012) Dastgheib, Ebrahimi, Gholamishiri & Oulia (2012) Kim & Seo (2008)
Κινητά ad hoc δίκτυα	Ρύθμιση της κυκλοφορίας, για να διαπιστωθεί η απόδοση υπό διαφορετικές συνθήκες κινητικότητας και συνθηκών κυκλοφορίας	Cherkaoui & Khoukhi (2008)
Ετερογενή δίκτυα ευρείας περιοχής και ασύρματα τοπικά δίκτυα	Επίλυση προβλημάτων μεταπομπής και δρομολόγησης. Σχεδιασμός και υλοποίηση πολλαπλών κριτηρίων κάθετων αλγορίθμων απόφασης	Agbinya & Nkansah-Gyekye (2007)
WLANs	Έλεγχο αποφάσεων μεταβίβασης με βάση το QoS	Perez-Neira & Pubill (2006)
Γνωστικά συστήματα ραδιοεπικοινωνιών	Βελτίωση τεχνικών ανίχνευσης φάσματος και τεχνικών λήψης αποφάσεων και συνειδητοποίησης του περιβάλλοντος	Harjula, Mammela, Matinmikko, Mustonen, Rauma & Sarvanko (2009)

Οι εξελικτικοί αλγόριθμοι αποδίδουν στη βελτίωση απόδοσης κυκλικών συστοιχιών κεραιών, στην κατανομή καναλιών σε προβλήματα βελτιστοποίησης, στο σχεδιασμό UMTS και δικτύων 3G με τήρηση των περιβαλλοντικών περιορισμών, στα κινητά ad hoc δίκτυα, σε CDMA, TDMA και TDD συστήματα, για μετάδοση δεδομένων χωρίς συγκρούσεις και δυναμικό δανεισμό καναλιού· στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, για την επιλογή καλύτερων θέσεων των κόμβων, στα βέλτιστης διαδρομής συστήματα δρομολόγησης πολλαπλών αλμάτων, για εφαρμογές μηχανικής, αλλά και στην επέκταση της διάρκειας ζωής του

δικτύου, σε συνεργασία ωστόσο, με αλγορίθμους βιολογικών συστημάτων. Επιπρόσθετα, οι εξελικτικοί αλγόριθμοι παρέχουν βέλτιστες λύσεις σε συνδυαστικά προβλήματα και στην παράλληλη επεξεργασία δεδομένων σε συστήματα ραδιοεπικοινωνιών, ενώ επίσης συμβάλουν στη βελτίωσης χρήσης φάσματος σε γνωστικά συστήματα ραδιοεπικοινωνιών. Η εφαρμογή των εξελικτικών αλγορίθμων σε διάφορους τομείς των ασύρματων επικοινωνιών παρουσιάζεται και στον πίνακα 9.2.

**Πίνακας 9. 2 - Εφαρμογή εξελικτικών αλγορίθμων σε διάφορους τομείς των ασύρματων επικοινωνιών**

<b>ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΞΕΛΙΚΤΙΚΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΤΟΜΕΙΣ ΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ</b>		
<b>Τομέας ασύρματων επικοινωνιών</b>	<b>Βελτίωση από την εφαρμογή των εξελικτικών αλγορίθμων</b>	<b>Αναφορά</b>
Κυκλικές συστοιχίες κεραιών	Βελτίωση πλάτους, φάσης και απόδοσης	Acosta, Balderas, Brizuela & Panduro (2009)
UMTS και 3G	Σχεδιασμός δικτύων UMTS και 3G με τήρηση των περιβαλλοντικών περιορισμών	Cusani, Garzia & Perna (2010)
Μεγάλα ασύρματα δίκτυα	Διαχείριση εύρους ζώνης, κατανομή καναλιών, προβλήματα βελτιστοποίησης	Karras, Papademetriou & Papazoglou
CDMA, TDMA και TDD συστήματα	Μετάδοση δεδομένων χωρίς συγκρούσεις, δυναμικό δανεισμό καναλιού, αύξηση της απόδοσης του συστήματος και μείωση της από άκρο εις άκρον καθυστέρησης	Shen, Pesch & Irvine (2005)
Κινητά ad hoc δίκτυα	Επιτρέπεται στους κόμβους ενός Ad hoc δικτύου να κάνουν κρατήσεις χρονομεριδίων για να μεταδώσουν δεδομένα στους γείτονες χωρίς συγκρούσεις	Corson & Zhu
Γνωστικά συστήματα ραδιοεπικοινωνιών	Βελτίωση χρήσης φάσματος	Peng, Shang, Zhao & Zheng (2009)
Βέλτιστης διαδρομής συστήματα δρομολόγησης πολλαπλών αλμάτων	Επέκταση της διάρκειας ζωής του δικτύου, σε συνεργασία ωστόσο, με αλγορίθμους βιολογικών συστημάτων.	Caputo, Grimaccia, Mussetta & Zich (2010)

Η μέθοδος βελτιστοποίησης της αποικίας μυρμηγκιών, έχει εφαρμοστεί αποτελεσματικά στην επίλυση προβλημάτων, στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, προσφέροντας μείωση στην κατανάλωση ενέργειας, βελτίωση στην ποιότητας σύνδεσης, αποφυγή συμφόρησης, μεγιστοποίηση ρυθμού μετάδοσης δεδομένων και παράταση κύκλου ζωής του δικτύου, ενώ ταυτόχρονα έχει προταθεί και για μικρού μεγέθους στοιχεία υλικού, όπως είναι τα chip δρομολογητή, που αφορούν τον σχεδιασμό κόμβων στα WSN.

Η μέθοδος έχει επίσης εφαρμοστεί σε ασύρματα δίκτυα πλέγματος για τη βελτίωση τοποθέτησης πύλης, σε OFDMA πολλαπλών κυψελών σύστημα για τη μείωση της πολυπλοκότητας, αλλά και στα κινητά ad hoc δίκτυα, για τη βελτίωση επιμέρους χαρακτηριστικών. Τέλος, η τεχνολογία της βελτιστοποίησης της αποικίας των μυρμηγκιών, έχει εφαρμοστεί στην επίλυση προβλημάτων που περιλαμβάνουν σύνθετα σενάρια δικτύου, λόγω της εύκολης προσαρμοστικότητας και της δυναμικής φύσης της, σε βιομετρικά συστήματα αναγνώρισης προσώπου, στην επίλυση προβλημάτων κατανομής καναλιών και στην εύρεση βέλτιστου αριθμού περιοχών, σε μια κατανομή δικτύου, που αφορά την προσπάθεια προσδιορισμού των τοποθεσιών των χρηστών, σε ένα κυψελοειδές δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Η εφαρμογή της βελτιστοποίησης της αποικίας μυρμηγκιών σε διάφορους τομείς των ασύρματων επικοινωνιών παρουσιάζεται και στον πίνακα 9.3.



**Πίνακας 9. 3 - Εφαρμογή βελτιστοποίησης της αποικίας μυρμηγκιών σε διάφορους τομείς των ασύρματων επικοινωνιών**

<b>ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΠΟΙΚΙΑΣ ΜΥΡΜΗΓΚΙΩΝ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΤΟΜΕΙΣ ΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ</b>		
<b>Τομέας ασύρματων επικοινωνιών</b>	<b>Βελτίωση από την εφαρμογή της βελτιστοποίησης αποικίας των μυρμηγκιών</b>	<b>Αναφορά</b>
Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων	Μείωση στην κατανάλωση ενέργειας, βελτίωση στην ποιότητας σύνδεσης, αποφυγή συμφόρησης, μεγιστοποίηση ρυθμού μετάδοσης δεδομένων και παράταση κύκλου ζωής του δικτύου. Έχει προταθεί και για μικρού μεγέθους στοιχεία υλικού, όπως είναι τα chip δρομολογητή, που αφορούν τον σχεδιασμό κόμβων στα WSN.	Karaboga & Okdem (2009)
OFDMA πολλαπλών κυψελών σύστημα	Μείωση της πολυπλοκότητας, καλή φασματική απόδοση και δικαιοσύνη σε όλους τους χρήστες	He, Lin, Niu & Xu
Ασύρματα δίκτυα πλέγματος	Βελτίωση τοποθέτησης πύλης, καλύτερα αριθμητικά αποτελέσματα από τις προηγούμενες μελέτες και πολύ καλύτερες επιδόσεις	Dang Le, Dinh, Nhung Le, Nguyen & Trong Le (2013) Dang Le, Dinh, Nhung Le, Nguyen & Trong Le (2012)
Κυψελοειδές δίκτυο κινητής τηλεφωνίας	Επίλυση προβλημάτων κατανομής καναλιών και εύρεση βέλτιστου αριθμού περιοχών, σε μια κατανομή δικτύου, που αφορά την προσπάθεια προσδιορισμού των τοποθεσιών των χρηστών	Agrawal, Kim, Kim, Kim & Mani (2010)

Ακολούθως, γίνεται λόγος για την τεχνολογία νοημοσύνης σμήνους και την εφαρμογή της σε τομείς, όπως τα κινητά ad hoc δίκτυα για δρομολόγηση, ή ορισμένα είδη εφαρμογών πολυμέσων, καθώς επίσης και στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων για την επίλυση RNP προβλημάτων και την τοποθέτηση κόμβων σε ψηφιακά μοντέλα εδάφους. Επίσης, η νοημοσύνη σμήνους χρησιμοποιείται και για να δώσει λύσεις σε προβλήματα θορύβου σε κυψελωτά δίκτυα, προσαρμογής παραμέτρων σε γνωστικά συστήματα ραδιοεπικοινωνιών, δρομολόγησης, συμφόρησης, περιορισμένης επεκτασιμότητας, σύνθετων προβλημάτων και προβλημάτων βελτιστοποίησης, αλλά και για το σχεδιασμό μη-ομοιόμορφων κυκλικών συστοιχιών κεραιών. Η εφαρμογή της νοημοσύνης σμήνους σε διάφορους τομείς των ασύρματων επικοινωνιών παρουσιάζεται και στον πίνακα 9.4.

**Πίνακας 9. 4 - Εφαρμογή νοημοσύνης σμήνους σε διάφορους τομείς των ασύρματων επικοινωνιών**

<b>ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗΣ ΣΜΗΝΟΥΣ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΤΟΜΕΙΣ ΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ</b>		
<b>Τομέας ασύρματων επικοινωνιών</b>	<b>Βελτίωση από την εφαρμογή της νοημοσύνης σμήνους</b>	<b>Αναφορά</b>
Κινητά ad hoc δίκτυα	Αποτελεσματικές αποφάσεις δρομολόγησης, καλύτερα ποσοστά καθυστέρησης, διεκπεραιωτικής ικανότητας και κατανάλωσης πόρων	Rajagopalan & Shen
Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων	Επίλυση RNP προβλημάτων και την τοποθέτηση κόμβων σε ψηφιακά μοντέλα εδάφους	Hanning, Kunyuan, Tao & Yunlong (2011)
Κυκλικές συστοιχίες κεραιών	Προβλήματα δρομολόγησης, συμφόρησης, περιορισμένης επεκτασιμότητας, σύνθετα προβλήματα και προβλήματα βελτιστοποίησης. Σχεδιασμός μη-ομοιόμορφων κυκλικών συστοιχιών κεραιών	Alipour, Es'haghi & Mallahzadeh (2009)

Η σχετική βιβλιογραφία των τεχνητών ανοσοποιητικών συστημάτων, παρουσιάζει εφαρμογές στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και συγκεκριμένα στα ετερογενή, αναδεικνύοντας το πλεονέκτημά τους, μέσω της δημιουργίας αντιγράφων ασφαλείας. Ταυτόχρονα, έχουν συμβάλει στην αποτελεσματική εφαρμογή μηχανισμών ανάδρασης, για τον εντοπισμό ύπαρξης κακόβουλων κόμβων, σε σαφώς καθορισμένα συστήματα και στην ανίχνευση εισβολής σε όλους τους κόμβους ενός ασύρματου δικτύου και του δικτυακού εξοπλισμού. Η εφαρμογή των τεχνητών ανοσοποιητικών συστημάτων σε διάφορους τομείς των ασύρματων επικοινωνιών παρουσιάζεται και στον πίνακα 9.5.

**Πίνακας 9. 5 - Εφαρμογή τεχνητών ανοσοποιητικών συστημάτων σε διάφορους τομείς των ασύρματων επικοινωνιών**

<b>ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΕΧΝΙΤΩΝ ΑΝΟΣΟΠΟΙΗΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΤΟΜΕΙΣ ΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ</b>		
<b>Τομέας ασύρματων επικοινωνιών</b>	<b>Βελτίωση από την εφαρμογή των τεχνητών ανοσοποιητικών συστημάτων</b>	<b>Αναφορά</b>
Κινητά ad hoc δίκτυα	Εντοπισμός ύπαρξης εισβολής, αστοχίας υλικού ή λογισμικού, βελτίωση ενεργειακής απόδοσης, αύξησης της αποτελεσματικότητας. Ενεργοποίηση μηχανισμών ανάδρασης σε περίπτωση εντοπισμού κόμβων που παρουσιάζουν κακή συμπεριφορά	Drozda, Schaust, Schildt, & Szczerbicka (2010)  Barton, Becker, Bessey, Drozda & Szczerbicka
Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και συγκεκριμένα στα ετερογενή	Δημιουργία αντιγράφων ασφαλείας, αποτελεσματική εφαρμογή μηχανισμών ανάδρασης, εντοπισμός ύπαρξης κακόβουλων κόμβων και ανίχνευση εισβολής σε όλους τους κόμβους ενός ασύρματου δικτύου και του δικτυακού εξοπλισμού	Kuangrong, Yifan & Yongsheng (2011)
WLANs και δικτυακό εξοπλισμό	Ανίχνευση εισβολής στο δίκτυο και υψηλή απόδοση	Akbal & Ergen (2007)

Τέλος, μια ακόμη σημαντική τεχνολογία είναι αυτή των νευρωνικών δικτύων, καθώς σημαντική είναι η χρήση της στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων όσον αφορά την ομαδοποίηση των κόμβων, την βελτίωση της απόδοσης του δικτύου, το μικρότερο κόστος επικοινωνίας, την εξοικονόμηση της ενέργειας και την αποτελεσματική λειτουργία ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων, ως μια παράλληλη και κατανεμημένη υπολογιστική πλατφόρμα, που έχει ρυθμιστεί για να λύνει οποιοδήποτε στατικό πρόβλημα βελτιστοποίησης. Επίσης, τεχνητά νευρωνικά δίκτυα, έχουν χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση QoS και QoE σε WiMAX δίκτυα, αλλά και για την ανάπτυξη του ευφυούς πυρήνα, των γνωστικών συστημάτων ραδιοεπικοινωνιών, τα οποία εφαρμόζονται σε τομείς όπως η αεροναυπηγική εδάφους, η διαχείριση καταστροφών και η παροχή ασύρματων υπηρεσιών. Η εφαρμογή των νευρωνικών δικτύων σε διάφορους τομείς των ασύρματων επικοινωνιών παρουσιάζεται και στον πίνακα 9.6.

**Πίνακας 9. 6 - Εφαρμογή νευρωνικών δικτύων σε διάφορους τομείς των ασύρματων επικοινωνιών**

<b>ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΝΕΥΡΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΤΟΜΕΙΣ ΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ</b>		
<b>Τομέας ασύρματων επικοινωνιών</b>	<b>Βελτίωση από την εφαρμογή των νευρωνικών δικτύων</b>	<b>Αναφορά</b>
Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων	Ομαδοποίηση των κόμβων, βελτίωση της απόδοσης του δικτύου, μικρότερο κόστος επικοινωνίας, εξοικονόμηση ενέργειας και αποτελεσματική λειτουργία ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων	Malarkan, Subhai & Vaithinathan
Παράλληλη και κατανεμημένη υπολογιστική πλατφόρμα	Λύση σε οποιοδήποτε στατικό πρόβλημα βελτιστοποίησης	Li & Serpen (2011)
Γνωστικά συστήματα ραδιοεπικοινωνιών	Ανάπτυξη ευφυούς πυρήνα	Nandi, Pattanayak & Venkateswaran

## **9.2. Πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα εφαρμογής των τεχνικών υπολογιστικής νοημοσύνης στις ασύρματες επικοινωνίες**

Η ασαφής λογική παρέχει καλύτερη απόδοση από τους παραδοσιακούς αλγόριθμους και τα νευρωνικά δίκτυα, γιατί επιτρέπει σε ένα οργανωμένο πλήθος παραμέτρων μεταβίβασης, να παρέχουν μια ισορροπημένη συσχέτιση μεταξύ των διαφόρων χαρακτηριστικών ενός φουτουριστικού κινητού τηλεφωνικού συστήματος (Kolte & Patil (2011)). Επίσης, προκύπτει ότι τα πρωτόκολλα που βασίζονται στη νοημοσύνη του σμήνους, υπερτερούν σε σχέση με τα πρωτόκολλα που βασίζονται στην αποικία των μυρμηγκιών γιατί, μπορούν να αφαιρέσουν τουλάχιστον ένα ή περισσότερα προβλήματα στην περιοχή των ασύρματων δικτύων (Celik, Cobanoglu, Tuncel & Zengin).

Επιπλέον, η υπολογιστική νοημοσύνη σε αντίθεση με την κλασσική τεχνητή νοημοσύνη συμβάλει αποτελεσματικότερα, στην επίλυση ενεργειακών προβλημάτων δρομολόγησης στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, καθώς υλοποιεί τεχνικές δρομολόγησης με βάση το χρόνο εκτέλεσης και χαρακτηριστικά που προσφέρουν αυθεντικότητα και παρέχουν πιο ντετερμινιστικά και βελτιστοποιημένα αποτελέσματα (Iram, Jabbar, Minhas & Sheikh (2011)). Έπειτα, ένας συνδυαστικός αλγόριθμος που περιλαμβάνει γενετικό αλγόριθμο και

αλγόριθμο βελτιστοποίησης της αποικίας μυρμηγκιών χρησιμοποιείται για παράλληλη αναζήτηση σε αντίθετες κατευθύνσεις. Πρόκειται για έναν αποτελεσματικό αλγόριθμο, ο οποίος μειώνει το χρόνο κατασκευής λύσης, τη διατήρηση του πληθυσμού, βελτιώνοντας την ταχύτητα αναζήτησης και σύγκλισης, ενώ παρέχει καλύτερη απόδοση από τα μεμονωμένα μυρμηγκία ή τους εξελικτικούς (Tian & Yang Sun (2010)).

Οι αλγόριθμοι νοημοσύνης σμήνους και βελτιστοποίησης της αποικίας μυρμηγκιών, χρησιμοποιούνται για την επίλυση προβλημάτων δρομολόγησης σε ad hoc δίκτυα, δίνοντας έμφαση σε παραμέτρους, όπως ο αριθμός των μυρμηγκιών ή ο ρυθμός εξάτμισης, με αποτέλεσμα να υποκαθιστούν επάξια τα παραδοσιακά πρωτόκολλα δρομολόγησης (Jabbehdari & Shokrani (2009)). Επίσης, δεν θα πρέπει να παραληφθεί ότι η νοημοσύνη σμήνους θεωρείται ακατάλληλη για ασφαλή και ενεργειακά αποδοτική δρομολόγηση, σε σχέση με τα τεχνητά ανοσοποιητικά συστήματα, γιατί τα κρυπτογραφικά συστήματα ασφάλειας, εξασφαλίζουν ανασφαλή δρομολόγηση και τα υψηλά ποσοστά ελέγχου, προκαλούν κατανάλωση ενέργειας (Mazhar Nauman (2010)).

Οι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης της αποικίας μυρμηγκιών υπερτερούν έναντι των αλγορίθμων νοημοσύνης σμήνους στα κινητά ad hoc δίκτυα, λόγω του ότι δεν μπορούν να ανταπεξέλθουν σε συχνές αλλαγές τοπολογίας. Έτσι, οι αλγόριθμοι εμφανίζονται να είναι πιο ισχυροί, αξιόπιστοι και επεκτάσιμοι, απ'ότι άλλοι συμβατικοί αλγόριθμοι δρομολόγησης MANET, ενώ αφαιρούν τουλάχιστον ένα ή περισσότερα προβλήματα, όπως η διάρκεια ζωής της μπαταρίας, η επεκτασιμότητα, η συντηρησιμότητα, η βιωσιμότητα και η προσαρμοστικότητα (Ladhake & Thakare (2012)). Μέσα από μελέτες και προσομοιώσεις, γίνεται σαφές ότι όσον αφορά τη βελτίωση πλάτους, φάσης και απόδοσης μιας κυκλικής συστοιχίας κεραιών, οι εξελικτικοί αλγόριθμοι και οι αλγόριθμοι νοημοσύνης σμήνους παράγουν ίδια αποτελέσματα, τα οποία είναι σαφώς καλύτερα από τα αντίστοιχα των γενετικών αλγορίθμων (Acosta, Balderas, Brizuela & Panduro (2009)).

Αναφορικά με τον έλεγχο εισόδου σε UMTS συστήματα, έχει αποδειχθεί, ότι οι αλγόριθμοι ασαφούς λογικής, παρέχουν καλύτερη απόδοση από τους γενετικούς αλγορίθμους (Hanus & Petr Kejik). Τέλος, αναφορικά με το σχεδιασμό μη-ομοιόμορφων κυκλικών συστοιχιών κεραιών, οι αλγόριθμοι νοημοσύνης σμήνους, παρέχουν μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα, από εκείνη που επιτυγχάνουν οι γενετικοί αλγόριθμοι (Alipour, Es'haghi & Mallahzadeh (2009)). Οι συγκρίσεις μεταξύ των τεχνολογιών υπολογιστικής νοημοσύνης, σε συστήματα και εφαρμογές παρουσιάζονται και στον πίνακα 9.7.

Πίνακας 9. 7 – Συγκρίσεις τεχνολογιών υπολογιστικής νοημοσύνης σε συστήματα και εφαρμογές

Συγκρίσεις τεχνολογιών υπολογιστικής νοημοσύνης σε συστήματα και εφαρμογές			
Τεχνολογία πρωτεύουσας σημασίας	Τεχνολογία δευτερεύουσας σημασίας	Σύστημα ή περιοχή εφαρμογής που εμφανίζεται υπεροχή	Αναφορές
Ασαφής λογική	Παραδοσιακοί αλγόριθμοι και νευρωνικά δίκτυα	Φουτουριστικό κινητό τηλεφωνικό σύστημα (καλύτερη απόδοση, γιατί επιτρέπει σε ένα οργανωμένο πλήθος παραμέτρων μεταβίβασης, να παρέχουν μια ισορροπημένη συσχέτιση μεταξύ των διαφόρων χαρακτηριστικών του συστήματος)	Kolte & Patil (2011)
Νοημοσύνη σμήνους	Αποικία μυρμηγκιών	Ασύρματα δίκτυα (αφαιρεί τουλάχιστον ένα ή περισσότερα προβλήματα στην περιοχή των ασύρματων δικτύων)	Celik, Cobanoglu, Tuncel & Zengin
<u>Συνδυασμός</u> γενετικών αλγορίθμων και αλγορίθμων αποικίας μυρμηγκιών	Μεμονωμένη αποικία μυρμηγκιών ή μεμονωμένοι γενετικοί αλγόριθμοι	Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (χρησιμοποιείται για παράλληλη αναζήτηση σε αντίθετες κατευθύνσεις, καθώς μειώνει το χρόνο κατασκευής λύσης, τη διατήρηση του πληθυσμού, βελτιώνοντας την ταχύτητα αναζήτησης και σύγκλισης, ενώ παρέχει καλύτερη απόδοση)	Tian & Yang Sun (2010)
Νοημοσύνη σμήνους και αποικία μυρμηγκιών	Παραδοσιακά πρωτόκολλα δρομολόγησης	Κινητά ad hoc δίκτυα (επίλυση προβλημάτων δρομολόγησης σε ad hoc δίκτυα, δίνοντας έμφαση σε παραμέτρους, όπως ο αριθμός των μυρμηγκιών ή ο ρυθμός εξάτμισης)	Jabbehdari & Shokrani (2009)
Τεχνητά ανοσοποιητικά συστήματα	Νοημοσύνη σμήνους	Κινητά ad hoc δίκτυα (ασφαλής και ενεργειακά αποδοτική δρομολόγηση)	Mazhar Nauman (2010)
Αποικία μυρμηγκιών	Νοημοσύνη σμήνους	Κινητά ad hoc δίκτυα (οι αλγόριθμοι εμφανίζονται να είναι πιο ισχυροί, αξιόπιστοι και επεκτάσιμοι, απ'ότι άλλοι συμβατικοί αλγόριθμοι δρομολόγησης MANET, ενώ αφαιρούν τουλάχιστον ένα ή	Ladhake & Thakare (2012)

		περισσότερα προβλήματα, όπως η διάρκεια ζωής της μπαταρίας, η επεκτασιμότητα, η συντηρησιμότητα, η βιωσιμότητα και η προσαρμοστικότητα)	
Εξελικτικοί αλγόριθμοι και νοημοσύνη σμήνους	Γενετικοί αλγόριθμοι	Κυκλική συστοιχία κεραιών (καλύτερα αποτελέσματα στη βελτίωση πλάτους, φάσης και απόδοσης)	Acosta, Balderas, Brizuela & Panduro (2009)
Ασαφής λογική	Γενετικοί αλγόριθμοι	Έλεγχο εισόδου σε UMTS συστήματα (παροχή καλύτερης απόδοσης)	Hanus & Petr Kejik
Νοημοσύνη σμήνους	Γενετικοί αλγόριθμοι	Σχεδιασμό μη-ομοιόμορφων κυκλικών συστοιχιών κεραιών (παροχή μεγαλύτερης αποτελεσματικότητας)	Alipour, Es'haghi & Mallahzadeh (2009)

Συμπερασματικά, η υπολογιστική νοημοσύνη φαίνεται να έχει προσφέρει πολλά οφέλη στις ασύρματες επικοινωνίες παγκοσμίως και συνεχίζει να προσφέρει ποικιλοτρόπως, είτε μέσω βελτιώσεων στις ήδη υπάρχουσες εφαρμογές, είτε με τη δημιουργία νέων, που προσβλέπουν στην βελτίωση της υπάρχουσας κατάστασης.

### 9.3. Μελλοντικές προτάσεις

Στην παρούσα ενότητα, παρατίθενται ορισμένες νέες προτάσεις ή βελτιώσεις υπαρχόντων προτάσεων, εφαρμογών ή υλοποιήσεων που αφορούν αλγορίθμους, πρωτόκολλα, προσεγγίσεις ή εφαρμογές για το μέλλον. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, προκύπτει ότι σε ορισμένους τομείς ασύρματων επικοινωνιών, η εφαρμογή τεχνικών υπολογιστικής νοημοσύνης φαίνεται να είναι από σπάνια έως και ανύπαρκτη, παρόλο που δείχνει να παρέχει σημαντικά οφέλη σε σημαντικά ποσοστά των περιπτώσεων εφαρμογής της.

Οπότε σε αυτό το στάδιο η αναζήτηση προχωρά ακόμη ένα βήμα πιο πέρα τόσο σε επιμέρους δίκτυα, γενιές και τεχνολογίες ασύρματων επικοινωνιών, όσο και σε γενικότερες έννοιες όπως αυτές που παρουσιάζονται στον πίνακα 9.8 και αφορούν την πυραμίδα, τα βιομετρικά συστήματα αναγνώρισης προσώπου, τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους και την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και των επιπτώσεων των ασύρματων επικοινωνιών στον άνθρωπο, προκειμένου να εκφραστούν νέες ιδέες εφαρμογής τεχνικών υπολογιστικής νοημοσύνης στις ασύρματες επικοινωνίες, που αναμένεται να αλλάξουν τόσο το μέλλον των δύο τομέων, όσο και το μέλλον όλων μας.

**1<sup>η</sup> πρόταση:** Βέλτιστη δυνατή λειτουργία ασύρματων δικτύων αισθητήρων στα πλαίσια των ψηφιακών μοντέλων εδάφους, με χρήση συνδυαστικού αλγορίθμου που περιλαμβάνει εξελικτικό αλγόριθμο, ο οποίος διοχετεύει την εξοδό του, είτε σε αλγόριθμο νοημοσύνης σμήνους, είτε σε αλγόριθμο αποικίας μυρμηγκιών.

Αρχικά, γίνεται λόγος για τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους (DEMs) και τη βελτίωση της κάλυψης, που προκύπτει μέσω των ασύρματων δικτύων αισθητήρων που εφαρμόζονται σε αυτά. Καθώς, στην ήδη υπάρχουσα εφαρμογή, γίνεται ενεργοποίηση ενός αλγορίθμου ασύρματων επικοινωνιών που κάνει χρήση νοημοσύνης σμήνους (Wenli Li).

Μια άλλη, ίσως καλύτερη προσέγγιση, θα αποτελούσε η εφαρμογή ενός συνδυαστικού αλγορίθμου, που περιλαμβάνει σε πρώτο στάδιο την εφαρμογή ενός εξελικτικού αλγορίθμου, με στόχο την αυτό-οργάνωση του ασύρματου δικτύου αισθητήρων και καλύτερη τοποθέτηση κόμβων, που θα βελτιώσει τον τρόπο λειτουργίας των κόμβων αισθητήρων. Αυτό θα επιτευχθεί μέσω της ομαδοποίησης συστημάτων, της χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης στους κόμβους και της βελτίωσης παραμέτρων συνδεσιμότητας, σήματος και εύρους μετάδοσης (Bhondekar, Ghanshyam, Kapur, Singla & Vig (2009)). Σε δεύτερο στάδιο, θα εφαρμόζεται πάνω στην καλύτερη λύση που έχει προκύψει στο προηγούμενο στάδιο, από τον εξελικτικό αλγόριθμο, κάποιος αλγόριθμος που θα κάνει χρήση της λογικής των βιολογικών συστημάτων. Ποιο συγκεκριμένα, μπορεί αν χρησιμοποιηθεί είτε νοημοσύνη σμήνους, όπως ήδη έχει προταθεί και λειτουργεί αποτελεσματικά για περιπτώσεις βελτίωσης της κάλυψης (Wenli Li), είτε αλγόριθμος αποικίας μυρμηγκιών σε μια προσπάθεια, για αφαίρεση περισσοτέρων του ενός προβλημάτων στην περιοχή των ασύρματων δικτύων αισθητήρων (Celik, Cobanoglu, Tuncel & Zengin).

Επίσης, ο συνδυαστικός αλγόριθμος που προτείνεται, θα μπορούσε να υποστηρίξει και παράλληλη αναζήτηση σε αντίθετες κατευθύνσεις, μειώνοντας έτσι το χρόνο δημιουργίας λύσης, βελτιώνοντας την ταχύτητα αναζήτησης και σύγκλισης, όσον αφορά τη βελτίωση της κάλυψης (Tian & Yang Sun (2010)). Τέλος, ο συνδυαστικός αλγόριθμος που προτείνεται,



αναμένεται να επιφέρει καλύτερη απόδοση από μεμονωμένους εξελικτικούς αλγορίθμους ή αλγορίθμους βιολογικών συστημάτων.

**2η πρόταση:** Βελτίωση της ασφάλειας ασύρματου δικτύου αισθητήρων, που εφαρμόζεται σε βιομετρικό σύστημα αναγνώρισης προσώπου. Γίνεται χρήση συνδυαστικού αλγορίθμου, που περιλαμβάνει αλγόριθμο αποικίας μυρμηγκιών, ο οποίος διοχετεύει την εξοδό του, σε αλγόριθμο που κάνει χρήση ανοσοποιητικών συστημάτων.

Η δεύτερη πρόταση αναφέρεται σε βιομετρικά συστήματα αναγνώρισης προσώπου και τη βελτίωση της ασφάλειας των ασύρματων δικτύων αισθητήρων που εφαρμόζονται σε αυτά.

Αρχικά, θεωρείται ως δεδομένη η ύπαρξη ενός ειδικού βιομετρικού συστήματος αναγνώρισης προσώπου, το οποίο χρησιμοποιεί βελτιστοποίηση αποικίας μυρμηγκιών για τη δρομολόγηση των εικόνων προσώπου προς το κέντρο επεξεργασίας. Έτσι, κάνει χρήση της ελάχιστης δυνατής κατανάλωσης ενέργειας, προσφέροντας αξιόπιστη μετάδοση, υψηλή απόδοση και ακρίβεια που αγγίζει το 94%, με αποτέλεσμα, το σύστημα αναγνώρισης να γίνεται πιο ευέλικτο, πιο αποτελεσματικό και ακόμη πιο ισχυρό, ενώ επιθέσεις παρεμβολών (jamming) που θα μπορούσαν να καταστήσουν έναν αισθητήρα ακατάλληλο για οποιοδήποτε είδος μετάδοσης, αντιμετωπίζονται με επιλογές τύπου FHSS (Frequency-hopping spread spectrum) και DSSS (direct-sequence spread spectrum), που επιτυγχάνουν αποφυγή επίθεσης άρνησης εξυπηρέτησης (Muraleedharan, Osadciw & Yan).

Ωστόσο, όλα αυτά δεν θεωρούνται αρκετά, καθώς τα προηγούμενα σενάριο, έχει εξεταστεί αποκλειστικά σε ένα εγγενώς ασφαλές περιβάλλον το οποίο δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα. Για τη βελτίωσή της, προτείνεται ένας συνδυαστικός αλγόριθμος, ο οποίος θα κάνει χρήση της μεθοδολογίας βελτιστοποίησης αποικίας μυρμηγκιών για τη διατήρηση της υπάρχουσας κατάστασης, ενώ πάνω στη βελτιστη λύση, θα ενσωματώνει και τη λειτουργικότητα της χρήσης τεχνητών ανοσοποιητικών συστημάτων για την περαιτέρω βελτίωση της ασφάλειας.

Γενικά, αναμένεται ότι η χρήση τεχνητών ανοσοποιητικών συστημάτων θα μπορεί να αποφέρει υψηλό βαθμό επιβίωσης του δικτύου και αποτελεσματική εφαρμογή μηχανισμών ανάδρασης σε περίπτωση που εντοπιστεί η ύπαρξη κόμβων που εμφανίζουν κακή συμπεριφορά (Balachandran, Dasgupta & Wang) (Shanmugam & Sundararajan (2009)). Επίσης, ασφάλεια αναμένεται να ληφθεί και από τη χρήση χαρακτηριστικών που θα περιλαμβάνει ο αλγόριθμος, όπως η κατανεμημένη ανίχνευση, η αυτόματη ανάκαμψη και η προσαρμοστικότητα (Azween & Yasir Abdelgadir (2009)). Τέλος, ένας αλγόριθμος τεχνητών ανοσοποιητικών συστημάτων θεωρείται κατάλληλος για μια ενεργειακά αποδοτική δρομολόγηση (Mazhar Nauman (2010)). Ενώ επίσης, υποστηρίζεται ότι μέσω ενός αλγορίθμου τεχνητών ανοσοποιητικών συστημάτων επιτυγχάνεται υψηλή απόδοση και ανίχνευση εισβολής σε όλους τους κόμβους ενός δίκτυου (Akbal & Ergen (2007)).

**3<sup>η</sup> πρόταση:** Σύστημα ανίχνευσης πυρκαγιών εξωτερικού περιβάλλοντος, μέσω ενός ή περισσότερων ασύρματων δικτύων αισθητήρων, που λειτουργούν βέλτιστα με χρήση τεχνολογιών υπολογιστικής νοημοσύνης.

Η συγκεκριμένη πρόταση κάνει αναφορά στην ανίχνευση πυρκαγιών εξωτερικού περιβάλλοντος, είτε αυτό είναι δασική έκταση, είτε κατοικημένη περιοχή. Προτείνεται μια νέα αρχιτεκτονική προσέγγιση, που περιλαμβάνει την ύπαρξη ευφυών κόμβων ενεργοποιητών, διάσπαρτων σε ακτίνα μέχρι και μερικών χιλιομέτρων, οι οποίοι ταυτόχρονα ενσωματώνουν περιστρεφόμενες κάμερες και έχουν τεθεί σε λειτουργία για τον έλεγχο καθορισμένων περιοχών παρακολούθησης. Οι κόμβοι αυτοί είναι σε θέση να λαμβάνουν δεδομένα εικόνων ή και βίντεο μια περιοχής παρακολούθησης από την κάμερα που θα διαθέτουν και να τα δρομολογούν σε ένα σταθμό βάσης.

Σε περίπτωση, που σε μικρή απόσταση χρειάζεται μεγαλύτερη ασφάλεια και για κάποιο λόγο έχει στηθεί παραδείγματος χάριν ένα επιπλέον δίκτυο αισθητήρων, οι κόμβοι αυτοί θα είναι σε θέση να δέχονται και να δρομολογούν και δεδομένα αυτού του δικτύου ή ακόμη και τα δεδομένα γειτονικών κόμβων που παρέχουν την ίδια λειτουργικότητα με αυτούς, για δρομολόγηση προς τον σταθμό βάσης.

Κάπου εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι οι κόμβοι θα λειτουργούν με ενέργεια ενσωματωμένων φωτοβολταϊκών συστημάτων, θα παίρνουν δεδομένα από την κάμερα κάθε μισή ώρα, ενώ στο εσωτερικό τους θα υλοποιούν συνδυαστικό αλγόριθμο υπολογιστικής νοημοσύνης. Ο αλγόριθμος αυτός θα υλοποιείται μέσω της χρήσης εξελικτικού αλγορίθμου αρχικά, όπου και θα παρέχεται ποιότητα υπηρεσιών, μέσω ενός πρωτοκόλλου, που υποστηρίζει ιεράρχιση κυκλοφορίας και θεωρείται κατάλληλο για μεγάλα δίκτυα ή και δίκτυα διαφόρων μεγεθών. Μέσω κρατήσεων χρονομεριδίων θα είναι δυνατή η μετάδοση δεδομένων προς τους γείτονες χωρίς συγκρούσεις, κάτι που στην παρούσα εφαρμογή εξυπηρετεί σε μεγάλο βαθμό τη διαδικασία της δρομολόγησης (Corson & Zhu). Έπειτα, πάνω στην καλύτερη λύση του εξελικτικού αλγορίθμου, που θα έχει προκύψει από το προηγούμενο στάδιο, θα εφαρμόζεται αλγόριθμος αποικίας μυρμηγκιών που αναμένεται να εξασφαλίζει υψηλό δείκτη παράδοσης πακέτων, υψηλή διεκπαιραιοτική ικανότητα, μικρή από άκρον εις άκρον καθυστέρηση και ανακάλυψη διαδρομής με δυναμικές αλλαγές (Asokan, Natarajan & Venkatesh). Επιπλέον, ο αλγόριθμος θα περιλαμβάνει μηχανισμό πρόληψης ενάντια σε επίθεση άρνησης εξυπηρέτησης, για μπλοκάρισμα της κυκλοφορίας της επίθεσης, παρόλο που η ομαλή λειτουργία του δικτύου θα συνεχίζει να διεξάγεται κανονικά, με αποτέλεσμα τη μείωση κατανάλωσης ενέργειας και την παράταση του κύκλου ζωής του δικτύου (Agora & Juneja). Τέλος, γίνεται αντιληπτό ότι ο αλγόριθμος αποικίας των μυρμηγκιών, ανάλογα με τις απαιτήσεις θα μπορεί να ενσωματώσει και λειτουργικότητα που έχει χρησιμοποιηθεί συγκεκριμένα για chip δρομολογητή και προτείνεται, για τον ιδανικό σχεδιασμό κόμβων ασύρματων δικτύων αισθητήρων (Karaboga & Okdem (2009)).

Σε επίπεδο σταθμού βάσης, θα συλλέγονται δεδομένα εικόνων και έπειτα από τη σύγκρισή τους με τις υπάρχουσες εικόνες των ιδίων περιοχών για τις ίδιες εποχές και την συχνότητα εμφάνισης κόκκινου χρώματος και γκρί στην ανάλυσή τους, θα στέλνεται ή όχι σχετικό μήνυμα συναγερμού στον υπεύθυνο πυρανίχνευσης, του εκάστοτε παραρτήματος της πυροσβεστικής υπηρεσίας. Εκείνος, θα είναι σε θέση να πραγματοποιήσει επιπλέον παρακολούθηση μέσω της χρήσης βίντεο πραγματικού χρόνου ή και συχνότερης παρακολούθησης μέσω εικόνων της δεδομένης περιοχής, που φέρεται να αποκτά αλλαγμένη όψη, ανάλογα πάντα και με τα ποσοστά αποθηκευμένης ενέργειας των κόμβων.

Όσον αφορά το λειτουργικό κομμάτι του σταθμού βάσης, θα περιλαμβάνει αλγόριθμο υπολογιστικής νοημοσύνης και συγκεκριμένα τεχνητών ανοσοποιητικών συστημάτων, έτσι ώστε, να μειώνεται το κόστος συντήρησης, να βελτιώνεται η ενεργειακή απόδοση και να αυξάνεται η αποτελεσματικότητα, μέσω αποδείξεων από τη σχέση ανάμεσα στην

ενεργειακή απόδοση και τα γενικά ποσοστά των επιδόσεων, για ύπαρξη εισβολής, αστοχίας υλικού ή λογισμικού (Drozda, Schaust, Schildt & Szczerbicka (2010)). Επίσης, θα είναι δυνατόν να επιβάλεται υψηλός βαθμός επιβίωσης του δικτύου, καθιστώντας δυνατή την αποτελεσματική εφαρμογή μηχανισμών ανάδρασης, σε περίπτωση που εντοπιστεί η ύπαρξη κόμβων που εμφανίζουν κακή συμπεριφορά, πριν ακόμη εκδηλωθούν ζημιές (Drozda, Barton, Becker, Bessey & Szczerbicka).

Τέλος, αναφορικά με συγγενικά συστήματα πυρόσβεσης, έχει διαπιστωθεί ότι κατά καιρούς έχουν υπάρξει διάφορα συστήματα που έχουν χρησιμοποιήσει ασύρματα δίκτυα αισθητήρων στατικά ή μη, κάμερες, αισθητήρες επάνω σε ζώα, δορυφορική μετάδοση δεδομένων και πολλές άλλες μεθόδους, χωρίς όμως να έχουν επιτευχθεί αξιόλογα αποτελέσματα (Baturone, De San Bernabe Clemente & Mart´inez-de Dios (2012)).

Η παρούσα προσέγγιση, διαφέρει στη λογική της τοποθέτησης, της αρχιτεκτονικής προσέγγισης, τη ενσωμάτωσης υπολογιστικής νοημοσύνης και ιδιαίτερα στην συμβολή του ανθρώπινου παράγοντα. Καθώς, το όλο σύστημα έχει ως στόχο την εν μέρει παρατήρηση και την ενημέρωση της αρμόδιας αρχής για οποιοδήποτε συμβάν ανίχνευσης πυρκαγιάς, εθελημένης ή μη και έπειτα την εκτενή παρακολούθηση της περιοχής από την πυροσβεστική υπηρεσία, μέσω του συστήματος, για να διαπιστωθεί η εγκυρότητα της ενεργοποίησης της κατάστασης συναγερμού από το σύστημα και η εξέλιξη του συμβάντος· προκειμένου να γίνει η ενεργοποίηση των μηχανισμών πυρόσβεσης, μέσω εδάφους ή αέρος, ανάλογα πάντα με το μέγεθος του προβλήματος που έχει προκύψει. Οπότε γίνεται αντιληπτό ότι πέραν της μέγιστης δυνατής εξασφάλισης της καλής λειτουργίας του συστήματος, βαρύτητα δίνεται και στην ύπαρξη ενός ελεγκτή πυρανίχνευσης, εντός της πυροσβεστικής υπηρεσίας που θα έχει τον έλεγχο του συστήματος.

**4<sup>η</sup> πρόταση:** Σύστημα ανίχνευσης ραδιενεργών και τοξικών συστατικών εξωτερικού περιβάλλοντος, μέσω ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων, που λειτουργεί με χρήση συνδυαστικού αλγορίθμου, που περιλαμβάνει εξελικτικό αλγόριθμο, ο οποίος διοχετεύει την εξοδό του, σε αλγόριθμο τεχνητού ανοσοποιητικού συστήματος.

Η συγκεκριμένη πρόταση, αφορά την ισορροπία των οικοσυστημάτων και τη ζωή πάνω στον πλανήτη γενικά, εξετάζοντας τους παράγοντες, οι οποίοι επηρεάζονται σε σημαντικό βαθμό από απειλές που έχουν να κάνουν με ραδιενεργά και τοξικά συστατικά.

Δεδομένης της επικινδυνότητας αυτού του είδους των συστατικών, των συνεχών ατυχημάτων που προκαλούνται σε περιβάλλοντα ύπαρξης πυρηνικών αντιδραστήρων, της ανάγκης που υπάρχει για ανίχνευση εργαλείων ανίχνευσης βλαβερών στοιχείων και συστατικών, προτείνεται μια νέα προσέγγιση, η οποία έχει ως στόχο την ανίχνευση επιμέρους βλαβερών χημικών, τοξικών ή και ραδιενεργών στοιχείων σε καθορισμένες περιοχές, στις οποίες παρατηρείται αύξηση κρουσμάτων καρκίνου ή γενικότερες μη φυσιολογικές συμπεριφορές ανθρώπων, ζώων ή φυτών, που ωστόσο παραπέμπουν στην ύπαρξη τέτοιων στοιχείων στο έδαφος, το νερό ή και στον αέρα.

Προτείνεται επομένως, η εγκατάσταση ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων, που είτε θα συλλέγει και θα επεξεργάζεται δεδομένα από τα επιμέρους ασύρματα δίκτυα αισθητήρων του εδάφους, του αέρα και των υδάτων αντίστοιχα, είτε θα λειτουργεί αυτόνομα και κάθε κόμβος του θα παρέχει δεδομένα από την περιοχή που ανήκει. Οι περιορισμοί έχουν να κάνουν τόσο με την περιοχή έκτακτης ανάγκης η οποία θα υποστεί παρακολούθηση, όσο και με παραμέτρους που έχουν να κάνουν με το μέγεθος του δικτύου, την ενδεχόμενη ιδιαιτερότητα των περιοχών προς εξερεύνηση ή ακόμα και των στοιχείων που καλούνται να εξετασθούν.

Όσον αφορά τη λειτουργικότητα του δικτύου, αυτή θα περιέχει ένα σύνθετο αλγόριθμο υπολογιστικής νοημοσύνης, που θα περιλαμβάνει εξελικτικό αλγόριθμο και αλγόριθμο τεχνητού ανοσοποιητικού συστήματος. Μέσω του εξελικτικού αλγορίθμου, θα παρέχεται αυτό-οργάνωση στο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων και τοποθέτηση των ασύρματων κόμβων που θα βελτιστοποιεί τον τρόπο λειτουργίας τους, μέσω ταυτόχρονα της ομαδοποίησης συστημάτων, της ενεργειακής κατανάλωσης των κόμβων και των παραμέτρων συνδεσιμότητας και εύρους μετάδοσης (Bhondekar, Ghanshyam, Kapur, Singla & Vig (2009)). Επίσης, ο αλγόριθμος τεχνητού ανοσοποιητικού συστήματος, θα παρέχει ασφάλεια, μέσω της χρήσης χαρακτηριστικών όπως η κατανεμημένη ανίχνευση, η αυτόματη ανάκαμψη και η προσαρμοστικότητα (Azween & Yasir Abdelgadir (2009)).

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι οι μέχρι τώρα αναλύσεις και υλοποιήσεις έχουν εστιαστεί εντός του βιομηχανικού περιβάλλοντος, αλλά και στα πλαίσια του υπεδάφους, ενώ η παρούσα προσέγγιση έχει προταθεί για να λειτουργήσει ανά πάσα στιγμή σε οποιοδήποτε

περιβάλλον εγκατασταθεί, παρέχοντας μάλιστα δεδομένα από υπολογισμούς διαφόρων περιβαλλόντων (έδαφος, ύδατα, αέρας), αλλά και διαφόρων στοιχείων (Carlsen, Petersen, Reza Akhondi & Talevski (2010), Osunmakinde (2013)).

**5<sup>η</sup> πρόταση:** Σύστημα παροχής υγιεινής, ασφάλειας και γενικότερου ελέγχου σε κτηριακές εγκαταστάσεις, μέσω ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων, που λειτουργεί με χρήση συνδυαστικού αλγορίθμου, που περιλαμβάνει αλγόριθμο νοημοσύνης σμήνους, ο οποίος διοχετεύει την εξοδό του, σε αλγόριθμο τεχνητού ανοσοποιητικού συστήματος.

Η συγκεκριμένη πρόταση ασχολείται με τομείς όπως είναι η υγιεινή, η ασφάλεια και ο γενικός έλεγχος, που αφορά την προστασία σε πρώτο στάδιο οικιακών χώρων και έπειτα οποιασδήποτε άλλης κτηριακής εγκατάστασης περιλαμβάνει παρόμοια χαρακτηριστικά. Πρόκειται για τον καθορισμό μια εφαρμογής η οποία αποτελείται από ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων, το οποίο εγκαθίσταται είτε εξ αρχής, είτε εκ των προτέρων σε κάθε οικία και παρέχει ενημερώσεις στους ιδιοκτήτες, έπειτα από μετρήσεις ή ενεργοποιήσεις των αντίστοιχων αισθητήρων που το αποτελούν.

Ενδεικτικά, το παρόν δίκτυο θα είναι δυνατόν να παρέχει αισθητήρα που θα ενημερώνει τους ιδιοκτήτες για τη στάθμη της σηπτικής δεξαμενής, ενώ την ίδια στιγμή κάποιοι άλλοι αισθητήρες θα πραγματοποιούν μετρήσεις θερμοκρασίας, ή ανίχνευση για την εύρεση του ποσοστού μονοξειδίου ή διοξειδίου του άνθρακα, ενδείξεις που έχουν να κάνουν τόσο με την εν μέρει πυρανίχνευση στο εσωτερικό του κτηρίου, όσο και απλά με τον αερισμό του χώρου, που αφορά στην ομαλή διαβίωση. Επίσης, άλλοι αισθητήρες, μπορεί να ασχολούνται με διάφορες άλλες μετρήσεις ή ανιχνεύσεις όπως οι διακοπές ρεύματος ή υδροδότησης, η στάθμη της δεξαμενής πετρελαίου, μια πιθανή διάρρηξη, ρογμές των τείχων ή ακόμη και σύνδεση με συστήματα παρακολούθησης.

Η λειτουργικότητα, που θα υπάρχει πίσω από την εφαρμογή θα περιλαμβάνει μεταξύ άλλων, έναν συνδυαστικό αλγόριθμο υπολογιστικής νοημοσύνης, που θα αποτελείται από αλγόριθμο νοημοσύνης σμήνους, ο οποίος θα δίνει την εξοδό του σε αλγόριθμο ανοσοποιητικών συστημάτων. Αρχικά, η χρήση νοημοσύνης σμήνους στο ασύρματο δίκτυο

μέσω αλγορίθμου, θεωρείται ιδανική για εφαρμογή στο υλικό φθηνών αλλά και άφθονων επεξεργαστικών συσκευών, καθώς θα επιτυγχάνεται παράλληλη εκτέλεση και εκμετάλλευση των ιδιοτήτων του γρήγορου υπολογισμού, της ανέξοδης κατασκευής, της εύκολης μεταφοράς, της ενίσχυσης της ταχύτητας και της απόδοσης του συστήματος στο οποίο υλοποιείται (Johnson, Palangpour & Venayagamoorthy (2008)). Έπειτα, η έξοδος του αλγορίθμου που κάνει χρήση νοημοσύνης σμήνους, θα διοχετεύεται σε έναν αλγόριθμο τεχνητού ανοσοποιητικού συστήματος, μέσω του οποίου, θα παρέχεται ασφάλεια, από τη χρήση χαρακτηριστικών όπως η κατανεμημένη αντίχνευση, η αυτόματη ανάκαμψη και η προσαρμοστικότητα (Azween & Yasir Abdelgadir (2009)).

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως οι μέχρι τώρα αναλύσεις και υλοποιήσεις σχετικά με την οικιακή υγειονομική περίθαλψη, έχουν να κάνουν με διάχυτη νοημοσύνη που βοηθά τους ανθρώπους σε περιπτώσεις ανάγκης μέσω ενός ψηφιακού προσωπικού περιβάλλοντος που τους ακολουθεί σε όλες τους τις ενέργειες (Joya, Sandoval & Urdiales). Όπως επίσης και με δίκτυα αισθητήρων που αναφέρονται στην προστασία ασθενών, μέσω παρακολούθησης της λειτουργίας των οργάνων του σώματός τους ή της κατάστασης τους σε συγκεκριμένους χώρους του σπιτιού, στους οποίους μπορεί να πάθουν ατυχήματα (Abd Rashid, Adib Sarijari, Faisal & Mohd Nasir).

Στη συνέχεια οι μελλοντικές προτάσεις που τίθενται προς υλοποίηση παρουσιάζονται συνοπτικά και στον πίνακα 9.8.

Πίνακας 9. 8 – Μελλοντικές προτάσεις προς υλοποίηση

ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΠΡΟΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ				
	Προϋπάρχουσα λειτουργικότητα	Αλγόριθμοι που θα υλοποιηθούν σε πρώτο στάδιο	Αλγόριθμοι που θα υλοποιηθούν σε δεύτερο στάδιο	Λειτουργικότητα νέα και πρόσθετες βελτιώσεις
<p><b>Πρόταση 1<sup>η</sup>:</b> <b>Βελτίωση λειτουργίας ψηφιακών μοντέλων εδάφους</b></p>	<p>Αλγόριθμος νοημοσύνης σμήνους που παρέχει κάλυψη στο ψηφιακό μοντέλο εδάφους</p>	<p>Εξελικτικός αλγόριθμος:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• αυτό-οργάνωση του ασύρματου δικτύου αισθητήρων</li> <li>• καλύτερη τοποθέτηση κόμβων</li> </ul>	<p>Αλγόριθμος βελτιστοποίησης αποικίας μυρμηγκιών:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• αφαίρεση περισσότερων του ενός προβλημάτων στην περιοχή των ασύρματων δικτύων αισθητήρων</li> </ul> <p>ή</p> <p>Αλγόριθμος νοημοσύνης σμήνους:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• κάλυψη</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Βελτιστοποίηση του τρόπου λειτουργίας των κόμβων αισθητήρων, μέσω της ομαδοποίησης συστημάτων, της χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης στους κόμβους και τη βελτιστοποίηση παραμέτρων συνδεσιμότητας, σήματος και εύρους μετάδοσης,</li> <li>• παράλληλη αναζήτηση σε αντίθετες κατευθύνσεις, μειώνοντας έτσι το χρόνο κατασκευής λύσης, βελτιώνοντας την ταχύτητα αναζήτησης και σύγκλισης, όσον αφορά τη βελτίωση της κάλυψης,</li> <li>• καλύτερη απόδοση από μεμονωμένους εξελικτικούς αλγορίθμους ή αλγορίθμους βιολογικών συστημάτων.</li> </ul>



<p style="text-align: center;"><b>Πρόταση 2<sup>η</sup>:</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Βελτίωση λειτουργίας συστήματος αναγνώρισης δακτυλικών αποτυπωμάτων</b></p>	<p>Βελτιστοποίηση αποικίας μυρμηγκιών:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• χρήση ελάχιστης δυνατής κατανάλωσης ενέργειας, προσφέροντας αξιόπιστη μετάδοση, υψηλή απόδοση και ακρίβεια 94%,</li> <li>• το σύστημα αναγνώρισης γίνεται πιο ευέλικτο, πιο αποτελεσματικό και πιο ισχυρό</li> <li>• επιθέσεις παρεμβολών, αντιμετωπίζονται με επιλογές τύπου FHSS και DSSS που επιτυγχάνουν αποφυγή επίθεσης άρνησης εξυπηρέτησης</li> </ul>	<p>Διατήρηση υπάρχουσας κατάστασης από τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης της αποικίας των μυρμηγκιών</p>	<p>Αλγόριθμος τεχνητών ανοσοποιητικών συστημάτων:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• υψηλό βαθμό επιβίωσης του δικτύου</li> <li>• κατάλληλος για μια ενεργειακά αποδοτική δρομολόγηση</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αποτελεσματική εφαρμογή μηχανισμών ανάδρασης σε περίπτωση που εντοπιστεί η ύπαρξη κόμβων που εμφανίζουν ανάρμοστη συμπεριφορά,</li> <li>• ασφάλεια από τη χρήση χαρακτηριστικών όπως κατανεμημένη ανίχνευση, αυτόματη ανάκαμψη και προσαρμοστικότητα</li> <li>• υψηλή απόδοση και ανίχνευση εισβολής σε όλους τους κόμβους ενός δικτύου.</li> </ul>
--	---	--	--	--

<p style="text-align: center;"><u>Πρόταση 3<sup>η</sup>:</u> Σύστημα ανίχνευσης πυρκαγιάς εξωτερικού περιβάλλοντος</p>	<p>■</p>	<p>Αλγόριθμος αποικίας μυρμηγκιών:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• περιλαμβάνει μηχανισμό πρόληψης ενάντια σε επίθεση άρνησης εξυπηρέτησης,</li> <li>• ενσωματώνει λειτουργικότητα που έχει χρησιμοποιηθεί συγκεκριμένα για chip δρομολογητή, στο σχεδιασμό κόμβων ασύρματων δικτύων αισθητήρων.</li> </ul>	<p>Εξελικτικός αλγόριθμος:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• παρέχεται ποιότητα των υπηρεσιών,</li> <li>• θεωρείται κατάλληλος για μεγάλα δίκτυα ή και δίκτυα διαφόρων μεγεθών,</li> <li>• η μετάδοση δεδομένων προς τους γείτονες θα γίνεται χωρίς συγκρούσεις.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μειώνεται το κόστος συντήρησης, βελτιώνεται η ενεργειακή απόδοση, αυξάνεται η αποτελεσματικότητα και παρατείνεται η διάρκεια ζωής του δικτύου,</li> <li>• Παρατηρείται υψηλός δείκτης παράδοσης πακέτων, υψηλή διεκπαιρωτική ικανότητα, μικρή από άκρον εις άκρον καθυστέρηση και ανακάλυψη διαδρομής με δυναμικές αλλαγές.</li> </ul>
--	----------	--	--	---

**Πρόταση 4<sup>η</sup>:**  
**Σύστημα ανίχνευσης ραδιενεργών**  
**και τοξικών στοιχείων σε εξωτερικά περιβάλλοντα**

■

Εξελικτικός  
αλγόριθμος:

- παρέχεται αυτό-οργάνωση στο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων και τοποθέτηση των ασύρματων κόμβων που θα βελτιστοποιεί τον τρόπο λειτουργίας τους, μέσω ταυτόχρονα της ομαδοποίησης συστημάτων, της ενεργειακής κατανάλωσης των κόμβων και των παραμέτρων συνδεσιμότητας και εύρους μετάδοσης.

Αλγόριθμος  
τεχνητού  
ανοσοποιητικού  
συστήματος:

- παρέχει ασφάλεια, μέσω της χρήσης χαρακτηριστικών όπως η κατανεμημένη ανίχνευση, η αυτόματη ανάκαμψη και η προσαρμοστικότητα.

- Έχει προταθεί για να λειτουργήσει ανά πάσα στιγμή σε οποιοδήποτε περιβάλλον εγκατασταθεί, παρέχοντας μάλιστα δεδομένα από υπολογισμούς διαφόρων περιβαλλόντων (έδαφος, ύδατα, αέρας), αλλά και διαφόρων στοιχείων.

<p style="text-align: center;"><u>Πρόταση 5<sup>η</sup>:</u> Σύστημα ανίχνευσης, παρακαλούθησης και ενημέρωσης για προβλήματα εσωτερικών χώρων</p>	<p>■</p>	<p>Αλγόριθμος νοημοσύνης σμήνους:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• θεωρείται ιδανική για εφαρμογή στο υλικό φθηνών αλλά και άφθονων επεξεργαστικών συσκευών.</li> </ul>	<p>Αλγόριθμος τεχνητού ανοσοποιητικού συστήματος:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• παρέχεται ασφάλεια, από τη χρήση χαρακτηριστικών όπως η κατανεμημένη ανίχνευση, η αυτόματη ανάκαμψη και η προσαρμοστικότητα.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Επιτυγχάνεται παράλληλη εκτέλεση και εκμετάλλευση των ιδιοτήτων του γρήγορου υπολογισμού, της ανέξοδης κατασκευής, της εύκολης μεταφοράς, της ενίσχυσης της ταχύτητας και της απόδοσης των συστημάτων στα οποία υλοποιούνται.</li> </ul>
--	----------	---	--	---

Καταλήγοντας, αξίζει να σημειωθεί ότι η υπολογιστική νοημοσύνη έχει επηρεάσει καταλυτικά τον τομέα των ασύρματων επικοινωνιών και με τη συμβολή της έχει βελτιώσει σημαντικές πτυχές του, χωρίς ωστόσο, αυτό να σημαίνει ότι όλα τελειώνουν εδώ. Έτσι προκύπτει ότι τόσο ο τομέας της υπολογιστικής νοημοσύνης, όσο και ο τομέας των ασύρματων επικοινωνιών είναι ανεξάντλητοι και κάθε δυνατή προσπάθεια διεύρυνσής τους, μπορεί να συμβάλει σε ένα καλύτερο μέλλον για όλους μας.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Acosta, Balderas, Brizuela & Panduro (2009). A comprison of genetic algorithms, particle swarm optimization and the differential evolution method for the design of scannable circular antenna arrays. Retrieved July 12, 2013, from <http://jpier.org/PIERB/pierb13/09.09011308.pdf>
- Agbinya J. & Nkansah-Gyekye Y. (2007). Vertical Handoff Decision Algorithms Using Fuzzy Logic. Retrieved July 12, 2013, from [http://epress.lib.uts.edu.au/research/bitstream/handle/10453/19638/24.2\\_Nkansah.pdf?sequence=1](http://epress.lib.uts.edu.au/research/bitstream/handle/10453/19638/24.2_Nkansah.pdf?sequence=1)
- Aggarwal S. & Jaiswal U. (2011). Ant Colony Optimization. Retrieved January 23, 2014, from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.301.1091&rep=rep1&type=pdf>
- Agrawal, Kim, Kim, Kim & Mani (2010). Partitioning of mobile network into location areas using ant colony optimization. Retrieved July 14, 2013, from <http://www.ijcic.org/elb10-0517.pdf>
- Ahmed, Baharudin, Fisal, Hafizah, Kamilah & Saleem. Ant Colony inspired Self-Optimized Routing Protocol based on Cross Layer Architecture for Wireless Sensor Networks. Retrieved July 13, 2013, from <http://trg.fke.utm.my/members/kashif/88-413.pdf>
- Ajay, J. Ant Colony Optimization for Mobile Ad-hoc Networks. Retrieved June 15, 2013, from <http://www.ece.rutgers.edu/~parashar/Classes/05-06/ece572/pr/acsolai-jawahar.pdf>
- Akbal E. & Ergen B. (2007). A Performance Comparison of User and Access Point based Artificial Immune Systems for intrusion detection on a Wireless Local Area Network. Retrieved July 13, 2013, from [http://paper.ijcsns.org/07\\_book/200705/20070520.pdf](http://paper.ijcsns.org/07_book/200705/20070520.pdf)
- Akhlaghinia, Langensiepen, Lotfi & Sherkat (2008). Occupant Behaviour Prediction in Ambient Intelligence Computing Environment. Retrieved July 26, 2013, from [http://www.lotfi.net/download/papers/Occupant\\_Behaviour\\_Prediction\\_in\\_Ambient\\_Intelligence\\_Computing\\_Environment.pdf](http://www.lotfi.net/download/papers/Occupant_Behaviour_Prediction_in_Ambient_Intelligence_Computing_Environment.pdf)
- Akhondi, Carlsen, Petersen & Talevski (2010). Applications of Wireless Sensor Networks in the Oil, Gas and Resources Industries. Retrieved February 15, 2014, from <http://ieeexplore.ieee.org>
- Al-Haddad, Karimi & Zarafshan (2012). A Novel Fuzzy Diffusion Approach for Improving Energy Efficiency in Wireless Sensor Networks. Retrieved May 11, 2013, from <http://www.ijmlc.org/papers/177-L044.pdf>
- Alipour, Es'haghi & Mallahzadeh (2009). Design of an e-shaped mimo antenna using iwo algorithm for wireless application at 5.8 GHz. Retrieved July 12, 2013, from <http://www.jpier.org/PIER/pier90/13.08122704.pdf>
- Arabshahi, Das, Gray, Kassabalidis, Marks, Narayanan & Sharkawi (2001). Adaptive routing in wireless communication networks using swarm intelligence. Retrieved July 14, 2013, from <http://trs-new.jpl.nasa.gov/dspace/bitstream/2014/12434/1/01-0565.pdf>

- Arora N. & Juneja D. An Ant Based Framework for Preventing DDoS Attack in Wireless Sensor Networks. Retrieved May 11, 2013, from <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1007/1007.0413.pdf>
- Asar, Baseer, Qureshi & Rehman (2011). Swarm Intelligence based Detection of Malicious Beacon Node for Secure Localization in Wireless Sensor Networks. Retrieved July 15, 2013, from <http://jeteas.scholarlinkresearch.org/>
- Asokan, Natarajan & Nivetha (2007). A Swarm-based Distance Vector Routing to Support Multiple Quality of Service (QoS) Metrics in Mobile Adhoc Networks. Retrieved July 13, 2013, from <http://thescipub.com/abstract/10.3844/jcssp.2007.700.707>
- Asokan, Natarajan & Venkatesh. Ant Based Dynamic Source Routing Protocol to Support Multiple Quality of Service (QoS) Metrics in Mobile Ad Hoc Networks. Retrieved July 13, 2013, from <http://www.cscjournals.org/csc/manuscript/Journals/IJCSS/Volume2/Issue3/IJCSS-43.pdf>
- Atlassis, Pedrycz, Saltouros & Vasilakos (2003). Optimizing QoS Routing in Hierarchical ATM Networks Using Computational Intelligence Techniques. Retrieved July 15, 2013, from [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=1238672](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1238672)
- Augusto, Cook & Jakkula (2009). Ambient intelligence: Technologies, applications, and opportunities. Retrieved January 13, 2014, from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S157411920900025X>
- Ayman, Chan, Mahamod, Mark & Viknesh (2009). Particle swarm optimization for mobile network design. Retrieved June 15, 2013, from [https://www.jstage.jst.go.jp/article/elex/6/17/6\\_17\\_1219/article](https://www.jstage.jst.go.jp/article/elex/6/17/6_17_1219/article)
- Azim A. & Jamalipour A. Optimized Forwarding for Wireless Sensor Networks by Fuzzy Inference System. Retrieved July 12, 2013, from [http://epress.lib.uts.edu.au/research/bitstream/handle/2100/127/164\\_Azim.pdf?...](http://epress.lib.uts.edu.au/research/bitstream/handle/2100/127/164_Azim.pdf?...)
- Azween A. & Yasir Abdelgadir M.(2009). Immune Inspired Approach for Securing Wireless Ad hoc Networks. Retrieved July 13, 2013, from [http://paper.ijsns.org/07\\_book/200907/20090728.pdf](http://paper.ijsns.org/07_book/200907/20090728.pdf)
- Azween A. & Yasir Abdelgadir M. (2009). SECURITY MECHANISM FOR MANETS. Retrieved July 13, 2013, from [http://jestec.taylors.edu.my/Vol%204%20Issue%202%20June%2009/Vol\\_4\\_2\\_231-242\\_YASIR%20ABDELGADIR%20MOHAMED.pdf](http://jestec.taylors.edu.my/Vol%204%20Issue%202%20June%2009/Vol_4_2_231-242_YASIR%20ABDELGADIR%20MOHAMED.pdf)
- Babu P. & Sastry S. (2010). Fuzzy logic based Adaptive Modulation Using Non Data Aided SNR Estimation for OFDM system. Retrieved July 12, 2013, from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.168.143&rep=rep1&type=pdf>
- Baburaj, E & Vasudevan, V (2008). An Intelligent Mesh Based Multicast Routing Algorithm for MANETs using Particle Swarm Optimization. Retrieved June 15, 2013, from [http://paper.ijsns.org/07\\_book/200805/20080532.pdf](http://paper.ijsns.org/07_book/200805/20080532.pdf)
- Back, Hammel & Schwefel (2002). Evolutionary computation: comments on the history and current state. Retrieved January 13, 2014, from <http://ieeexplore.ieee.org>
- Baek, Fogel & Michalewicz (2000). Evolutionary Computation 1: Basic Algorithms and Operators. Retrieved January 15, 2014, from [books.google.com](http://books.google.com)

- Bakmaz B. & Bojkovic Z. Smart Grid Communications Architecture: A Survey and Challenges. Retrieved May 11, 2013, from <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2012/Rovaniemi/ACACOS/ACACOS-12.pdf>
- Balachandran, Dasgupta & Wang. A Hybrid Approach for Misbehavior Detection in Wireless Ad-Hoc Networks. Retrieved June 13, 2013, from <http://seclab1.cs.memphis.edu/files/papers/Wireless-pap06.pdf>
- Baldo N. & Zorzi M. (2008). Fuzzy Logic for Cross-layer Optimization in Cognitive Radio Networks. Retrieved July 15, 2013, from [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=4481342](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4481342)
- Baras, J & Mehta, H (2010). A Probabilistic Emergent Routing Algorithm for Mobile Ad Hoc Networks. Retrieved June 15, 2013, from <http://hal.inria.fr/docs/00/46/66/00/PDF/mehta-probabilistic.pdf>
- Barton, Becker, Bessey, Drozda & Szczerbicka. Approaching Ad Hoc Wireless Networks with Autonomic Computing: A Misbehavior Perspective. Retrieved July 13, 2013, from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.68.4016&rep=rep1&type=pdf>
- Basagni, Conti, Giordano & Stojmenovic (2004). Mobile Ad Hoc Networking. Retrieved February 05, 2014, from [books.google.com](http://books.google.com)
- Baturone, Clemente, De Dios (2012). A WSN-Based Tool for Urban and Industrial Fire-Fighting. Retrieved February 15, 2014, from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3522951/>
- Begum, Nazma & Sharmin (2010). Energy-Efficient Target Coverage in Wireless Sensor Networks Based on Modified Ant Colony Algorithm. Retrieved July 14, 2013, from <http://airccse.org/journal/ijasuc/papers/1210ijasuc03.pdf>
- Behera K. & Chandralekha (2010). An optimized vertical handoff decision strategy using genetic algorithm in heterogeneous wireless networks. Retrieved May 11, 2013, from <http://www.jgrcs.info/index.php/jgrcs/article/view/188>
- Behera K. & Chandralekha (2010). Minimization of Number of Handoff Using Genetic Algorithm in Heterogeneous Wireless Networks. Retrieved May 11, 2013, from <http://ijlct.excelingtech.co.uk/vol1issue2/05-vol1issue2.pdf>
- Bhagyavati & Kurkovsky S. Wireless Grid Enables Ubiquitous Computing. Retrieved May 11, 2013, from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.93.110&rep=rep1&type=pdf>
- Bhondekar, Ghanshyam, Kapur, Singla & Vig (2009). Genetic Algorithm Based Node Placement Methodology For Wireless Sensor Networks. Retrieved July 12, 2013, from [http://www.iaeng.org/publication/IMECS2009/IMECS2009\\_pp106-112.pdf](http://www.iaeng.org/publication/IMECS2009/IMECS2009_pp106-112.pdf)
- Bi, Ma, Wang & Wang (2007). Distributed Particle Swarm Optimization and Simulated Annealing for Energy-efficient Coverage in Wireless Sensor Networks. Retrieved July 13, 2013, from <http://www.mdpi.com/1424-8220/7/5/628>
- Bidgoli, Nikdel & Yektaie (2011). A new Scheduling Mechanism Inspired of Artificial Immune System Algorithm for Wireless Sensor Networks. Retrieved July 13, 2013, from [http://www.sersc.org/journals/IJSH/vol5\\_no4\\_2011/1.pdf](http://www.sersc.org/journals/IJSH/vol5_no4_2011/1.pdf)

- Blasco, Fernández, Hernández & Montón. Wireless Sensor Networks in Ambient Intelligence. Retrieved July 26, 2013, from <https://www.tsb.upv.es/eventos/workshophealthcare/documentos/D1-1.pdf>
- Bostian, Le, Rieser & Rondeau. COGNITIVE RADIOS WITH GENETIC ALGORITHMS: INTELLIGENT CONTROL OF SOFTWARE DEFINED RADIOS. Retrieved May 11, 2013, from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.124.5628&rep=rep1&type=pdf>
- Bougiouklis, T & Weilian, S (2007). Data Fusion Algorithms in Cluster-based Wireless Sensor Networks Using Fuzzy Logic Theory. Ανακτήθηκε Ιούλιος 14, 2013 από <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2007cscc/papers/561-244.pdf>
- Bush S. & Goel S. (2004). Biological models of security for virus propagation in computer networks. Retrieved July 13, 2013, from <http://www.research.ge.com/~bushsf/pdfpapers/bionets.pdf>
- Braun T. & Heissenbüttel M. Ants-Based Routing in Large Scale Mobile Ad-Hoc Networks. Retrieved July 14, 2013, from <http://cds.unibe.ch/publications/HeissenBraunAntsBasedRouting.pdf>
- Caputo, Grimaccia, Mussetta & Zich (2010). Genetical Swarm Optimization of Multihop Routes in Wireless Sensor Networks. Retrieved May 11, 2013, from <http://www.hindawi.com/journals/acisc/2010/523943/>
- Celal, Dervis & Gorkemli (2011). Probabilistic Dynamic Deployment of Wireless Sensor Networks by Artificial Bee Colony Algorithm. Retrieved July 14, 2013, from <http://www.mdpi.com/1424-8220/11/6/6056>
- Celik, Cobanoglu, Tuncel & Zengin. A Survey on Swarm Intelligence based Routing Protocols in Wireless Sensor Networks. Retrieved July 13, 2013, from [http://eprints.ibu.edu.ba/542/1/issd2010\\_science\\_book\\_p434-p438.pdf](http://eprints.ibu.edu.ba/542/1/issd2010_science_book_p434-p438.pdf)
- Chang, Chen, Jia & Tan (2009). Energy efficient coverage control in wireless sensor networks based on multi-objective genetic algorithm. Retrieved July 14, 2013, from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S089812210800552X>
- Chen, Cheng, Huang, Lin & Su (2011). Applications of Cellular Neural Networks to Noise Cancellation in Gray Images Based on Adaptive Particle-swarm Optimization. Retrieved July 15, 2013, from <http://link.springer.com/article/10.1007/s00034-011-9269-x>
- Chen, Hwang, Tseng, Wu & Yang (2010). An Indoor Positioning Technique Based on Fuzzy Logic. Retrieved July 12, 2013, from [http://www.iaeng.org/publication/IMECS2010/IMECS2010\\_pp854-857.pdf](http://www.iaeng.org/publication/IMECS2010/IMECS2010_pp854-857.pdf)
- Chen H., Gui C., Sun B. & Zhang Q. (2009). Fuzzy Controller Based QoS Routing Algorithm with a Multiclass Scheme for MANET. Retrieved July 12, 2013, from [http://pdf.aminer.org/000/339/633/fuzzy\\_controllers\\_based\\_qos\\_routing\\_algorithm\\_with\\_a\\_multiclass\\_scheme.pdf](http://pdf.aminer.org/000/339/633/fuzzy_controllers_based_qos_routing_algorithm_with_a_multiclass_scheme.pdf)
- Cherkaoui S. & Khoukhi L. (2008). Experimenting with Fuzzy Logic for QoS Management in Mobile Ad Hoc Networks. Retrieved July 12, 2013, from [http://paper.ijcsns.org/07\\_book/200808/20080853.pdf](http://paper.ijcsns.org/07_book/200808/20080853.pdf)



- Clement, Dawoud, Fangyan, Kaoru & Negnevitsky (2010). A Fuzzy Multiobjective Particle Swarm Optimized TS Fuzzy Logic Congestion Controller for Wireless Local Area Networks. Retrieved June 15, 2013, from <http://ecite.utas.edu.au/75264>
- Corson S. & Zhu C. An Evolutionary-TDMA Scheduling Protocol for Mobile Ad Hoc Networks. Retrieved July 13, 2013, from <http://drum.lib.umd.edu/handle/1903/5985>
- Crow, Kim, Sakai & Widjaja (2002). IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks. Retrieved February 05, 2014, from <http://ieeexplore.ieee.org>
- Cusani, Garzia & Perna (2010). Optimization of UMTS Network Planning Using Genetic Algorithms. Retrieved May 11, 2013, from <http://scirp.org/>
- Das, El-Sharkawi, Kassabalidis & Marks II. Intelligent Routing and Bandwidth Allocation in Wireless Networks. Retrieved July 13, 2013, from [http://pdf.aminer.org/000/253/837/intelligent\\_routing\\_for\\_global\\_broadband\\_satellite\\_internet.pdf](http://pdf.aminer.org/000/253/837/intelligent_routing_for_global_broadband_satellite_internet.pdf)
- Dastgheib, Ebrahimi, Gholamishiri & Oulia (2012). A proposed fuzzy method to detect faulty nodes in wireless sensor network clustering structure. Retrieved May 11, 2013, from <http://www.ijtp.com/IJTPE/IJTPE-2012/IJTPE-Issue11-Vol4-No2-Jun2012/11-IJTPE-Issue11-Vol4-No2-Jun2012-pp71-75.pdf>
- Deepalakshmi, P & Radhakrishnan, S (2009). Ant Colony Based QoS Routing Algorithm For Mobile Ad Hoc Networks. Retrieved June 15, 2013, from <http://www.academypublisher.com/ijrte/vol01/no01/ijrte0101459462.pdf>
- Deepalakshmi P. & Radhakrishnan S. (2011). An Ant Colony Based Multi Objective Approach to Source-Initiated QoS Multicasting Method for Ad Hoc Networks. Retrieved July 13, 2013, from [http://home.ijasca.com/data/documents/vol.3.2.2.July.11\\_An-Ant-Colony-Based-Multi-Objective.pdf](http://home.ijasca.com/data/documents/vol.3.2.2.July.11_An-Ant-Colony-Based-Multi-Objective.pdf)
- Choi, Lee & Oh (2008). Biologically-inspired Navigation Strategies for Swarm Intelligence using Spatial Gaussian Processes. Retrieved July 13, 2013, from [http://cpslab.snu.ac.kr/publications/papers/ifac08\\_sGP.pdf](http://cpslab.snu.ac.kr/publications/papers/ifac08_sGP.pdf)
- Costa, Frances, Hirata, Machado, Melo, Oliveira, Silva, Silva & Vijaykumar (2011). A New Proposal to Provide Estimation of QoS and QoE over WiMAX Networks. Retrieved May 11, 2013, from <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6107419>
- Dang Le, Dinh, Nhung Le, Nguyen & Trong Le (2013). Optimizing Gateway Placement in Wireless Mesh Networks Based on ACO Algorithm. Retrieved February 15, 2014, from <http://www.ijcce.org/papers/157-S016.pdf>
- Dang Le, Dinh, Nhung Le, Nguyen & Trong Le (2012). ACO and PSO Algorithms Applied to Gateway Placement Optimization in Wireless Mesh Networks. Retrieved February 15, 2014, from [http://www.researchgate.net/publication/236936366\\_ACO\\_and\\_PSO\\_Algorithms\\_Applied\\_to\\_Gateway\\_Placement\\_Optimization\\_in\\_Wireless\\_Mesh\\_Networks](http://www.researchgate.net/publication/236936366_ACO_and_PSO_Algorithms_Applied_to_Gateway_Placement_Optimization_in_Wireless_Mesh_Networks)
- De Castro LN. & Von Zuben FJ. (1999). Artificial Immune Systems: Part I – Basic theory and applications. Retrieved January 20, 2014, from <http://sci2s.ugr.es/docencia/bioinformatica/bio/ficheros/Apoyo/Tema%2015/01%20-%20ARTIFICIALIMMUNESYSTEMSBASI.pdf>

- Deepalakshmi P. & Radhakrishnan S.(2011). An ant colony-based multi objective quality of service routing for mobile ad hoc networks. Retrieved May 11, 2013, from <http://jwcn.eurasipjournals.com/content/pdf/1687-1499-2011-153.pdf>
- Dhurandher, Gupta, Misra & Obaidat (2008). An ant colony optimization approach for reputation and quality-of-service-based security in wireless sensor networks. Retrieved July 13, 2013, from <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sec.75/abstract>
- Di Caro, Ducatelle & Gambardella (2004). AntHocNet: An Adaptive Nature-Inspired Algorithm for Routing in Mobile Ad Hoc Networks. Retrieved June 15, 2013, from <http://www.idsia.ch/idsiareport/IDSIA-27-04.pdf>
- Di Caro, Ducatelle & Gambardella. Swarm intelligence for routing in mobile ad hoc networks. Retrieved July 14, 2013, from <http://www.idsia.ch/~gianni/Papers/SwarmIntelligence/Papers/IEEE SwarmIntelligence.pdf>
- Dressler Falko (2005). Efficient and Scalable Communication in Autonomous Networking using Bio-inspired Mechanisms – An Overview. Retrieved July 13, 2013, from [http://www.informatica.si/PDF/29-2/06\\_Dressler-Efficient%20and%20Scalable%20Communication...pdf](http://www.informatica.si/PDF/29-2/06_Dressler-Efficient%20and%20Scalable%20Communication...pdf)
- Dressler, Fuchs, German & Krüger. Self-Organization in Sensor Networks using Bio-Inspired Mechanisms. Retrieved July 12, 2013, from <http://organic-computing.info/conferences/arcs2005/dressler-article.pdf>
- Drozda M. & Szczerbicka H. Artificial Immune Systems: Survey and Applications in Ad Hoc Wireless Networks. Retrieved July 13, 2013, from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.70.5391&rep=rep1&type=pdf>
- Drozda, Schaust, Schildt & Szczerbicka (2010). An Immuno-Inspired Approach to Misbehavior Detection in Ad Hoc Wireless Networks. Retrieved July 13, 2013, from <http://arxiv.org/pdf/1001.3113v2.pdf>
- Eberhart R. & Kennedy J. (2001). Swarm Intelligence. Retrieved January 18, 2014, from [books.google.com](http://books.google.com)
- El-Adawy, Ibrahim & Mahmoud (2007). A comparison between circular and hexagonal array geometries for smart antenna systems using particle swarm optimization algorithm. Retrieved July 13, 2013, from <http://onlinewww.ipier.org/PIER/pier72/06.07030904.Mahmoud.EIBZ.pdf>
- Eissfeller B. & Teuber A. WLAN Indoor Positioning Based on Euclidean Distances and Fuzzy Logic. Retrieved July 13, 2013, from [http://www.wpnc.net/fileadmin/WPNC06/Proceedings/31\\_WLAN\\_Indoor\\_Positioning\\_Based\\_on\\_Euclidean\\_Distances\\_and\\_Fuzzy\\_Logic.pdf](http://www.wpnc.net/fileadmin/WPNC06/Proceedings/31_WLAN_Indoor_Positioning_Based_on_Euclidean_Distances_and_Fuzzy_Logic.pdf)
- Elssfeler B., Pany T. & Teuber A.(2006). A Two-Stage Fuzzy Logic Approach for Wireless LAN Indoor Positioning. Retrieved July 12, 2013, from <http://ieeexplore.ieee.org>
- Erman, Mohammed & Rakus-Andersson (2009). Fuzzy Logic Applications in Wireless Communications. Retrieved May 11, 2013, from [www.eusflat.org](http://www.eusflat.org)

- Fisal, Hafizah, Kamilah, Rashid & Saleem (2009). A Self-Optimized Multipath Routing Protocol for Wireless Sensor Networks. Retrieved July 13, 2013, from <http://academypublisher.com/ijrte/vol02/no01/ijrte02019397.pdf>
- Fisal, Hafizah, Kamilah, Rashid & Saleem, (2009). Ant based Self-organized Routing Protocol for Wireless Sensor Networks. Retrieved July 13, 2013, from <http://ijcnis.org/index.php/ijcnis/article/viewFile/13/13>
- Fisal, Nasir, Rashid & Sarijari. ECG Monitoring System Using Wireless Sensor Network (WSN) for Home Care Environment. Retrieved February 15, 2014, from <http://trg.fke.utm.my/members/rozeha/publication2008/6.pdf>
- Forster, Kulkarni & Venayagamoorthy (2011). Computational Intelligence in Wireless Sensor Networks: A Survey. Retrieved May 11, 2013, from <http://ieeexplore.ieee.org>
- Goel A. & Sharma A. Performance Analysis of Mobile Ad-hoc Network Using AODV Protocol. Retrieved July 13, 2013, from <http://www.cscjournals.org/csc/manuscript/Journals/IJCSS/volume3/Issue5/IJCSS-137.pdf>
- Goldsmith A. (2005). Wireless Communications. Retrieved January 24, 2014, from <books.google.com>
- Gong, Ran & Zhang (2010). Improving on LEACH Protocol of Wireless Sensor Networks Using Fuzzy Logic. Retrieved July 13, 2013, from [http://www.ioics.com/publishedpapers/2010\\_7\\_3\\_767\\_775.pdf](http://www.ioics.com/publishedpapers/2010_7_3_767_775.pdf)
- Gorkemli, Karaboga & Ozturk (2011). Artificial bee colony algorithm for dynamic deployment of wireless sensor networks. Retrieved July 14, 2013, from <http://journals.tubitak.gov.tr/elektrik/issues/elk-12-20-2/elk-20-2-6-1101-1030.pdf>
- Govil J. (2007). 4G Mobile Communication Systems: Turns, Trends and Transition. Retrieved February 09, 2014, from <http://ieeexplore.ieee.org>
- Guofang N & Minqiang L. Evolutionary Based Approaches in Wireless Sensor Networks: A Survey. Retrieved May 20, 2013, from <http://ieeexplore.ieee.org>
- Haider T & Yusuf M (2009). A Fuzzy Approach to Energy Optimized Routing for Wireless Sensor Networks. Retrieved July 12, 2013, from <http://www.ccis2k.org/iajit/PDF/vol.6,no.2/10FAEORWSN179.pdf>
- Hanning, Kunyuan, Tao & Yunlong (2011). RFID network planning using a multi-swarm optimizer. Retrieved July 15, 2013, from <http://ieeexplore.ieee.org/>
- Hanus S. & Petr Kejik P. Comparison of Fuzzy Logic and Genetic Algorithm Based Admission Control Strategies for UMTS System. Retrieved July 12, 2013, from [http://radioeng.cz/fulltexts/2010/10\\_01\\_006\\_010.pdf](http://radioeng.cz/fulltexts/2010/10_01_006_010.pdf)
- Harjula, Mammela, Matinmikko, Mustonen, Rauma & Sarvanko (2009). Application of Fuzzy Logic to Cognitive Radio Systems. Retrieved July 12, 2013, from [http://search.ieice.org/bin/pdf\\_link.php?category=B&fname=e92-b\\_12\\_3572&lang=&year=2009](http://search.ieice.org/bin/pdf_link.php?category=B&fname=e92-b_12_3572&lang=&year=2009)
- Harris, Murphy & Venkatachalaiah. Improving Handoff in Wireless Networks using Grey and Particle Swarm Optimisation. Retrieved July 13, 2013, from <http://www->

[ist.massey.ac.nz/rharris/PublicationFiles/2004/ImprovingHandoffWirelessGreySwarm-CCCT\(7\).pdf](http://ist.massey.ac.nz/rharris/PublicationFiles/2004/ImprovingHandoffWirelessGreySwarm-CCCT(7).pdf)

- He, Lin, Niu & Xu. A Two-level Distributed Sub-carrier Allocation Algorithm Based on Ant Colony Optimization in OFDMA Systems. Retrieved July 15, 2013, from [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=5494103&tag=1](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5494103&tag=1)
- Jabbar, Iram, Minhas & Sheikh (2011). Computational Intelligence Based Optimization of Energy Aware Routing in WSN. Retrieved May 11, 2013, from [http://www.iaeng.org/publication/WCECS2011/WCECS2011\\_pp457-462.pdf](http://www.iaeng.org/publication/WCECS2011/WCECS2011_pp457-462.pdf)
- Jabbehdari S. & Shokrani H. (2009). Survey of Ant-Based Routing Algorithms for Mobile Ad-hoc Networks. Retrieved May 20, 2013, from <http://ieeexplore.ieee.org>
- Jacobsen, Toftegaard & Zhang (2011). Bioinspired Principles for Large-Scale Networked Sensor Systems: An Overview. Retrieved July 13, 2013, from <http://www.mdpi.com/1424-8220/11/4/4137>
- Janacik, Kao & Rerrer. An approach combining routing and resource sharing in wireless ad hoc networks using swarm-intelligence. Retrieved July 13, 2013, from [http://www2.cs.uni-paderborn.de/cs/ag-kao/de/persons/rerrer/pdfpapers/2004\\_MSWiM\\_StigmergyRouting.pdf](http://www2.cs.uni-paderborn.de/cs/ag-kao/de/persons/rerrer/pdfpapers/2004_MSWiM_StigmergyRouting.pdf)
- Jha, Khetarpal & Sharma. A Survey of Nature Inspired Routing Algorithms for MANETs. Retrieved May 20, 2013, from <http://ieeexplore.ieee.org>
- Jing, Mai, Xu & Zhao (2010). A Multipath Routing Protocol Based on Clustering and Ant Colony Optimization for Wireless Sensor Networks. Retrieved July 13, 2013, from <http://www.mdpi.com/1424-8220/10/5/4521>
- Johnson, Palangpour & Venayagamoorthy (2008). Hardware Implementations of Swarming Intelligence – A Survey. Retrieved May 20, 2013, from <http://ieeexplore.ieee.org>
- Jovanov, Milenkovic, Otto & Sanders (2006). System architecture of a wireless body area sensor network for ubiquitous health monitoring. Retrieved February 06, 2014, from [http://www.eng.uah.edu/~jovanov/papers/coamej\\_jmm06.pdf](http://www.eng.uah.edu/~jovanov/papers/coamej_jmm06.pdf)
- Joya, Sandoval & Urdiales. Ambient intelligence: Digital personal environment for health and well being. Retrieved February 15, 2014, from από <http://mashs08.u-pec.fr/plenieres/sandoval.pdf>
- Karaboga D. & Okdem S. (2009). Routing in Wireless Sensor Networks Using an Ant Colony Optimization (ACO) Router Chip. Retrieved July 13, 2013, from <http://www.mdpi.com/1424-8220/9/2/909>
- Karras, Papademetriou & Papazoglou. A Critical overview on the recent advances in channel allocation strategies for voice and multimedia services in wireless communication systems and the Applicability of Computational Intelligence Techniques. Retrieved July 13, 2013, from <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2008/corfu/mnw/mnw49.pdf>
- Karras, Papademetriou & Papazoglou. On Integrated Ant Colony Optimization Strategies for Improved Channel Allocation in Large Scale Wireless Communications. Retrieved May 11, 2013, from <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2008/corfu/mnw/mnw47.pdf>

- Kim K. & Seo S. (2008). A Trust Model using Fuzzy Logic in Wireless Sensor Network. Retrieved July 11, 2013, from <http://www.waset.org/journals/waset/v18/v18-13.pdf>
- Kolte M.& Patil C.(2011). AN APPROACH FOR OPTIMIZATION OF HANDOFF ALGORITHM USING FUZZY LOGIC SYSTEM. Retrieved July 12, 2013, from [http://www.csjournals.com/IJCSC/PDF2-1/Article\\_20.pdf](http://www.csjournals.com/IJCSC/PDF2-1/Article_20.pdf)
- Kuangrong, Yifan &Yongsheng (2011). An Immune Cooperative Particle Swarm Optimization Algorithm for Fault-Tolerant Routing Optimization in Heterogeneous Wireless Sensor Networks. Retrieved July 13, 2013, from <http://www.hindawi.com/journals/mpe/2012/743728/>
- Kudelski M. & Pacut A. Learning methods in ad-hoc networks: a review. Retrieved July 13, 2013, from <https://exact.ipipan.waw.pl/pdf/kaeiog/KAEiOG2007.16.pdf>
- Kulkarni R. & Venayagamoorthy G. (2011). Particle Swarm Optimization in Wireless-Sensor Networks: A Brief Survey. Retrieved May 19, 2013, from <http://ieeexplore.ieee.org>
- Kumar Siva (2010). Review: Swarm Intelligent based routing Protocols for Mobile Adhoc Networks. Retrieved July 13, 2013, from <http://www.ijest.info/docs/IJEST10-02-12-142.pdf>
- Kumar, Singh & Singh (2010). Swarm intelligence based approach for routing in mobile Ad Hoc networks. Retrieved July 13, 2013, from <http://www.academicjournals.org/ijster/PDF/Pdf2010/Dec/Singh%20et%20al.pdf>
- Ladhake S. & Thakare S. (2012). A Review: Ant Based Ad hoc Routing Protocols. Retrieved May 16, 2013, from [http://www.ijetae.com/files/Volume2Issue1/IJETAE\\_0112\\_64.pdf](http://www.ijetae.com/files/Volume2Issue1/IJETAE_0112_64.pdf)
- Le Dac-Nhuong (2013). A Comparatives Study of Gateway Placement Optimization in Wireless Mesh Network using GA, PSO and ACO. Retrieved February 15, 2014, from <http://iaesjournal.com/online/index.php/IJINS/article/view/3733>
- Lei, Ren & Wang (2012). A Study on Energy-saving Routing Algorithms for Wireless Sensor Networks Based on Particle Swarm Optimization. Retrieved May 20, 2013, from <http://ieeexplore.ieee.org>
- Levesque, A.H. & Pahlavan, K. (2002). Wireless data communications. Retrieved February 07, 2014, from <http://ieeexplore.ieee.org>
- Li F. & Wang Y. (2009). Vehicular Ad Hoc Networks. Retrieved February 06, 2014, from [http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-84800-328-6\\_20](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-84800-328-6_20)
- Li J. & Serpen G. (2011). Parallel and distributed computations of maximum independent set by a Hopfield neural net embedded into a wireless sensor network. Retrieved May 11, 2013, from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050911005382>
- Lin, Wang & Wang (2007). An Improved Co-evolutionary Particle Swarm Optimization for Wireless Sensor Networks with Dynamic Deployment. Retrieved July 13, 2013, from <http://www.mdpi.com/1424-8220/7/3/354>
- Linnartz Jean-Paul (1995). Jean Paul Linnartz' Reference Website. Chapter: Capita Selecta. Historical Setting. Retrieved December 13, 2013, from <http://www.wirelesscommunication.nl/reference/chaptr07/history.htm>

- Lizhong, Song, Wang, Xiaofang & Yang (2010). A Differential Evolution-Based Routing Algorithm for Environmental Monitoring Wireless Sensor Networks. Retrieved July 13, 2013, from <http://www.mdpi.com/1424-8220/10/6/5425>
- Lobiyal K. & Singh B (2012). A novel energy-aware cluster head selection based on particle swarm optimization for wireless sensor networks. Retrieved May 19, 2013, from <http://link.springer.com/article/10.1186%2F2192-1962-2-13>
- Maheswari U. & Suguna K. (2012). Comparative Analysis of Bee-Ant Colony Optimized Routing (BACOR) with Existing Routing Protocols for Scalable Mobile Ad Hoc Networks (MANETs) based on Pause Time. Retrieved July 14, 2013, from [http://paper.ijcsns.org/07\\_book/201204/20120402.pdf](http://paper.ijcsns.org/07_book/201204/20120402.pdf)
- Malarkan, Subhai & Vaithinathan. A Survey On Energy Efficient Neural Network Based Clustering Models In Wireless Sensor Networks. Retrieved May 20, 2013, from <http://ieeexplore.ieee.org>
- Malloy, Snow & Varshney (2002). Reliability and survivability of wireless and mobile networks. Retrieved February 08, 2014, from <http://ieeexplore.ieee.org>
- Manvi, Shirodkar & Umbarkar (2009). Multicast Routing for Mobile Ad-Hoc Networks using Swarm Intelligence. Retrieved July 13, 2013, from <http://academypublisher.com/ijrte/vol01/no01/ijrte0101036040.pdf>
- Mazhar Nauman (2010). Energy Efficient Security in MANETs: A Comparison of Cryptographic and Artificial Immune Systems. Retrieved July 13, 2013, from <http://uet.edu.pk/export/sites/UETWebPortal/research/researchinfo/6-RJ-JULY-2010/6-Art-9.pdf>
- Minoli, Sohraby & Znati (2007). Wireless sensor networks: Technology, Protocols and Applications. Retrieved January 26, 2014, from [books.google.com](http://books.google.com)
- Minsky M. (2007). Steps toward Artificial Intelligence. Retrieved January 14, 2014, from <http://ieeexplore.ieee.org>
- Montoya, Ovalle & Restrepo. Artificial Intelligence for Wireless Sensor Networks Enhancement. Retrieved May 11, 2013, from [http://cdn.intechopen.com/pdfs/12444/InTech-Artificial\\_intelligence\\_for\\_wireless\\_sensor\\_networks\\_enhancement.pdf](http://cdn.intechopen.com/pdfs/12444/InTech-Artificial_intelligence_for_wireless_sensor_networks_enhancement.pdf)
- Muller, Reinhardt & Strickland. Neural Networks: An Introduction. Retrieved January 15, 2014, from [books.google.com](http://books.google.com)
- Muraleedharan R και Osadciw L (2003). Balancing The Performance of a Sensor Network Using an Ant System. Retrieved July 14, 2013, from <http://surface.syr.edu/eecs/67/>
- Muraleedharan R και Osadciw L (2003). Sensor Communication Network Using Swarm Intelligence. Retrieved July 13, 2013, from <http://surface.syr.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1103&context=eecs>
- Muraleedharan R. & Osadciw L. Decision Making In a Building Access System Using Swarm Intelligence & POSETS. Retrieved July 13, 2013, from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.80.7642&rep=rep1&type=pdf>

- Muraleedharan, Osadciw & Yan. Increased Efficiency of Face Recognition System using Wireless Sensor Network. Retrieved July 13, 2013, from [http://www.researchgate.net/publication/228624982\\_Increased\\_efficiency\\_of\\_face\\_recognition\\_system\\_using\\_wireless\\_sensor\\_network](http://www.researchgate.net/publication/228624982_Increased_efficiency_of_face_recognition_system_using_wireless_sensor_network)
- Naganathan, E & Sivajothi, M (2008). An Ant Colony Based Routing Protocol to Support Multimedia Communication in Ad Hoc Wireless Networks. Retrieved June 15, 2013, from [http://paper.ijcsns.org/07\\_book/200807/20080704.pdf](http://paper.ijcsns.org/07_book/200807/20080704.pdf)
- Nandi, Pattanayak & Venkateswaran. Artificial Neural Networks for Cognitive Radio: A Preliminary Survey. Retrieved May 20, 2013, from <http://ieeexplore.ieee.org>
- Neonakis Aggelou, G. & Tafazolli, R. (2002). On the relaying capability of next-generation GSM cellular networks. Retrieved February 08, 2014, from <http://ieeexplore.ieee.org>
- Newell A. & Simon H. (2011). Computer Simulation of Human Thinking. Retrieved January 14, 2014, from <http://www.cogsci.ucsd.edu/~coulson/203/newell-simon.pdf>
- Ngamroo, Pothiya, Runggeratigul & Tantaswadi (2006). Design of Optimal Fuzzy Logic based PI Controller using Multiple Tabu Search Algorithm for Load Frequency Control. Retrieved July 12, 2013, from [http://pdf.aminer.org/000/315/122/optimal\\_design\\_of\\_variable\\_structure\\_load\\_frequency\\_controller\\_with\\_nonlinearities.pdf](http://pdf.aminer.org/000/315/122/optimal_design_of_variable_structure_load_frequency_controller_with_nonlinearities.pdf)
- Osunmakinde I. (2013). Towards Safety from Toxic Gases in Underground Mines Using Wireless Sensor Networks and Ambient Intelligence. Retrieved February 15, 2014, from <http://www.hindawi.com/journals/ijdsn/2013/159273/>
- Peng, Shang, Zhao & Zheng (2009). Cognitive Radio Spectrum Allocation using Evolutionary Algorithms. Retrieved July 15, 2013, from [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=5285159&tag=1](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5285159&tag=1)
- Perez-Neira I. & Pubill D. (2006). Handoff Optimization with Fuzzy Logic in 802.11 Networks. Retrieved July 12, 2013, from <http://www.cttc.es/publication/handoff-optimization-with-fuzzy-logic-in-802-11-networks/>
- Prasad, Rai & Singh (2009). Swarm Based Intelligent Routing for MANETs. Retrieved June 15, 2013, from <http://ijrte.academypublisher.com/vol01/no01/ijrte0101153158.pdf>
- Rajagopalan S. & Shen C. ANSI: A Unicast Routing Protocol for Mobile Ad hoc Networks Using Swarm Intelligence. Retrieved July 13, 2013, from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.75.5059&rep=rep1&type=pdf>
- Rice Michael. Computational Intelligence Algorithms for Optimized Vehicle Routing Applications in Geographic Information Systems. Retrieved July 11, 2013, from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.86.643&rep=rep1&type=pdf>
- Rongbo, Wang & Yingying (2011). Energy-Aware Distributed Intelligent Data Gathering Algorithm in Wireless Sensor Networks. Retrieved July 15, 2013, from <http://www.hindawi.com/journals/ijdsn/2011/235724/abs/>
- Samukic, A. (1998). UMTS Universal Mobile Telecommunications System: development of standards for the third generation. Retrieved February 09, 2014, from <http://ieeexplore.ieee.org>

- Selvakenedy, Sinnappan & Shang. Data Dissemination Based on Ant Swarms for Wireless Sensor Networks. Retrieved July 14, 2013, from <http://sydney.edu.au/engineering/it/~skennedy/papers/CCNC2006.pdf>
- Shang J., Xu S. Zhao Z. & Zheng S. (2009). Cognitive radio adaptation using particle swarm optimization. Retrieved July 15, 2013, from <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/wcm.633/abstract>
- Shanmugam A.& Sundararajan P. (2009). Behavior Based Anomaly Detection Technique to Mitigate the Routing Misbehavior in MANET. Retrieved July 13, 2013, from [http://pdf.aminer.org/000/289/709/data\\_caching\\_in\\_selfish\\_manets.pdf](http://pdf.aminer.org/000/289/709/data_caching_in_selfish_manets.pdf)
- Shen, Pesch & Irvine (2005). Autonomic TDD link Optimising Using Hybrid Wireless Network and Genetic Algorithms. Retrieved July 15, 2013, from <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=01557512>
- Sikdar, Yang & Ye. SIMPLE: using Swarm Intelligence Methodology to design data acquisition Protocol in sEnor networks with mobile sinks. Retrieved July 13, 2013, from <http://ieeexplore.ieee.org>
- Sindhanaiselvan K. & Syed Ali F. (2013). Ant Colony Optimization Based Routing in Wireless Sensor Networks. Retrieved July 13, 2013, from <http://ijana.in/papers/V4I4-8.pdf>
- Sun, Tian, Xia & Zhao (2007). Fuzzy Logic Control Based QoS Management in Wireless Sensor/Actuator Networks. Retrieved May 15, 2013, from <http://www.mdpi.com/1424-8220/7/12/3179>
- Tian J. & Yang Sun Y. (2010). WSN Path Optimization Based on Fusion of Improved Ant Colony Algorithm and Genetic Algorithm. Retrieved July 14, 2013, from [http://www.iofcis.com/publishedpapers/2010\\_6\\_5\\_1591\\_1599.pdf](http://www.iofcis.com/publishedpapers/2010_6_5_1591_1599.pdf)
- Wang Y. (2011). Hierarchical Genetic Algorithm for dynamic time slot allocation in TD-CDMA TDD systems. Retrieved July 15, 2013, from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1967977>
- Wenli Li. PSO Based Wireless Sensor Networks Coverage Optimization on DEMs. Retrieved July 15, 2013, from [http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-25944-9\\_48](http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-25944-9_48)
- Αγαπίου, Γ., Βασιλόπουλος, Χ., Βούδδας, Π., Δούκογλου, Τ., Κωτούλας, Δ., Ξενικός, Δ. & Χελιώτης, Γ. (2009). Δίκτυα πρόσβασης νέας γενιάς (Ed.). Αθήνα: Εκδόσεις Κλειδάριθμος.
- Βασιλειάδης, Ν., Βλαχάβας, Ι., Κεφαλάς, Π., Κόκκορας, Φ. & Σακελλαρίου Η.(2011). Τεχνητή Νοημοσύνη, (3rd ed.). Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Πανεπιστημίου Μακεδονίας.
- Τζαφέστας, Σ.(2008). Υπολογιστική νοημοσύνη (2nd ed.). Αθήνα: Τζαφέστας.



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΟΡΟΙ ΚΑΙ ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ

### ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΠΕΞΗΓΗΣΗΣ ΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΤΜΗΣΕΩΝ

ΣΥΝΤΜΗΣΗ	ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ
3G	3rd Generation
3GPP	3rd Generation Partnership Project
4G	4rd Generation
ABC	Artificial Bee Colony
ACO	Ant Colony Optimization
ADSR	Ant Dynamic Source Routing
AIS	Artificial Immune Systems
AMPS	Advanced Mobile Phone System
AMQR	Ant-based Multi-objective QoS Routing
ANFIS	Adaptive-Network-based Fuzzy Inference System
ANN	Artificial Neural Networks
ANSI	Ad hoc Networking with Swarm Intelligence
ANT-DSR	Dynamic Source Routing (DSR) protocol using Ant Colony Optimization (ACO)
AntHocNet	Adaptive Nature-Inspired Algorithm for Routing in Mobile Ad Hoc Networks
AODV	Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing
AP	Access Point
ARA	Ant-Colony-Based Routing Algorithm
ARMA	Auto Regressive Moving Average
ARMAN	Ant Routing for Mobile Ad Hoc Networks
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BER	Bit Error Rate
BSC	Base Station Controller
BSN	Body Sensor Network
BTS	Base Transceiver Station
CDMA	Code division multiple access
DDoS	Distributed Denial of Service
DE-LEACH	Differential Evolution - Low Energy Adaptive Cluster Hierarchy
DEMs	Digital Elevation Model
CHSM	Case History Scheduling Mechanism
DIDGA	Distributed Intelligent Data Gathering Algorithm
DPSO	Dissipative Particle Swarm Optimization
DSR	Dynamic Source Routing
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
E-TDMA	Evolutionary-Time Division Multiple Access
EDGE	Exchanged Data rates for GSM Evolution
EFP	Evolving Fuzzy Predictor
FHSS	Frequency-Hopping Spread Spectrum

FIS	Fuzzy Inference System
FLPI	Fuzzy Logic based Proportional Integral
FPGAs	Field-Programmable Gate Array
FQRA	Fuzzy controller based QoS Routing Algorithm
FuzzyMARS	Fuzzy Multivariate Adaptive Regression Splines
GA	Genetic Algorithms
GC	Grid Computing
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GPUs	Graphics Processing Unit
GSM	Groupe Special Mobile or Global System for Mobile communication
HSPA	High Speed Downlink Packet Access
ICPSOA	Immune Cooperative Particle Swarm Optimization Algorithm
IP	Internet Protocol
IWD	Intelligent Water Drops
Leach-FL	LEACH with Fuzzy Logic
LTE	Long Term Evolution
MAC	Media Access Control
MANETs	Mobile Ad-hoc NETwork
MAP	Mobile Application Part
MRP	Multipath Routing Protocol
MSC	Mobile Switching Center
MTS	Multiple Tabu Search
NS2	Network Simulator version 2
O - AODV	Optimized - Ad-hoc On-demand Distance Vector
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
PAR	Probabilistic Ant Routing
PDAAs	Personal Digital Assistant
PERA	Probabilistic Emergent Routing Algorithm
POSets	Partially Ordered Sets
PSO	Particle Swarm Optimization
PSO-ODMRP	PSO based On Demand Multicast Routing Protocol
PSTN	Public Switched Telephone Network
PUCA	Planar Uniform Circular Array
PUHA	Planar Uniform Hexagonal Array
QDV	Quality-based Distance Vector routing protocol
QoE	Quality of Experience
QoS	Quality of Service
RFID	Radio Frequency Identification
RNP	Required Navigation Performance
RRM	Radio Resources Management
RSS	Rich Site Summary
SDVR	Sequenced Distance Vector Routing protocol
SG	Smart Grid
SIM	Subscriber Identity Module
SNR	Signal-to-Noise Ratio
SQMP	Source initiated Mesh based QoS Probabilistic multicast routing protocol
T-ANT	Time controlled clustering algorithm - ANT
TDD	Time Division Duplexing
TSFLCD	Takagi-Sugeno Fuzzy Logic Congestion Detection
TWNFI	Transductive Neuro-Fuzzy Inference model with Weighted data normalization

UCA	Uniform Circular Array
UHA	Uniform Hexagonal Array
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
USB	Universal Serial Bus
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
VANET	Vehicular Ad hoc NETWORK
VFCPSO	Virtual Force Co-evolutionary Particle Swarm Optimization
WBAN	Wireless Body Area Network
W-CDMA	Wideband Code Division Multiple Access
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLANs	Wireless Local Area Network
WSGA	Wireless System Genetic Algorithm
WSN	Wireless Sensor Networks or Wireless Sensor/Actuator Networks



*« Η επιστήμη ανακαλύπτει αυτά που υπάρχουν.  
Η τεχνολογία μετατρέπει αυτήν τη γνώση σε  
πράγματα που δεν υπήρξαν ποτέ...»*

**Theodore Von Karman**