



**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**

**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Μελέτη λύσεων στο πρόβλημα της κάλυψης φράγματος σε  
Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων**

**Αναστάσιος Θ. Γεωργιάδης**

**Επιβλέπων: κ. Νίκος Πασσάς Όνομα, ΕΔΙΠ**

**ΑΘΗΝΑ**

**ΙΟΥΛΙΟΣ 2019**



## **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Μελέτη λύσεων στο πρόβλημα της κάλυψης φράγματος σε Ασύρματα Δίκτυα  
Αισθητήρων

**Αναστάσιος Θ. Γεωργιάδης**

**A.M.: M1520**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:** κ. Νίκος Πασσάς, ΕΔΙΠ

**ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:** κ. Νίκος Πασσάς, ΕΔΙΠ

Ιούλιος 2019



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (Wireless Sensor Networks - WSN), έχουν γνωρίσει τεράστια εξέλιξη τα τελευταία δέκα χρόνια και αποτελούν μία περιοχή με μεγάλη ερευνητική δραστηριότητα. Ωστόσο, λόγω κάποιων από τις ιδιαιτερότητές τους, οι κόμβοι ενός ΑΔΑ υπόκεινται σε λειτουργικούς και σχεδιαστικούς περιορισμούς, που δημιουργούν νέες προκλήσεις και αντικείμενα έρευνας με σκοπό τη βελτιστοποίηση της απόδοσης καθώς και της διάρκειας ζωής του δικτύου.

Οι ιδιαιτερότητες των δικτύων αυτών δημιουργούν νέα πεδία εφαρμογής, όπως για παράδειγμα ιατρικά, επιστημονικά και επιχειρηματικά πεδία. Αξιοποιούνται, λοιπόν, με επιτυχία σε κάθε είδους εφαρμογές όπως και σε αυτές της ασφάλειας. Η κάλυψη φράγματος αποτελεί ένα από τα πιο κρίσιμα ζητήματα στα ΑΔΑ για τις εφαρμογές ασφάλειας που έχουν ως στόχο τον εντοπισμό των εισβολέων που προσπαθούν να εισέρθουν σε προστατευόμενες περιοχές. Παρ' όλα αυτά, είναι δύσκολο να επιτευχθεί η επιθυμητή κάλυψη φράγματος μετά από την αρχική τυχαία παράταξη των αισθητήρων επειδή η τοποθεσία τους δεν μπορεί να ελεγχθεί ή να προβλεφθεί.

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι η παρουσίαση αλγορίθμων που βελτιώνουν την ποιότητα της κάλυψης φράγματος τόσο όσον αφορά την καλύτερη κάλυψη μίας περιοχής όσο και την καλύτερη ενεργειακή απόδοση των ίδιων των αισθητήρων. Επιπλέον, οι αλγόριθμοι αυτοί κατατάσσονται με βάση τα πεδία εφαρμογής τους καθώς και με βάση τα μοναδικά τους χαρακτηριστικά. Τέλος, γίνεται αναφορά σε ποια χαρακτηριστικά ενός αλγορίθμου πρέπει να δίνεται προσοχή, τις σχεδιαστικές τους αρχές καθώς και τι επιπλέον θα μπορούσαν οι αλγόριθμοι αυτοί να υποστηρίξουν για το μέλλον.

**ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ:** Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** Κάλυψη φράγματος, Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων, ΑΔΑ, αλγόριθμοι, σχεδιασμός



## **ABSTRACT**

Wireless Sensor Networks (WSN) have seen a tremendous development over the last ten years and they are a region of great research activity. However, because of some of their peculiarities, the nodes of an WSN are subject to functional and design constraints that create new challenges and research objects to optimize performance and network life.

The peculiarities of these networks create new fields of application, such as medical, scientific and business fields. They are therefore successfully used in all kinds of security applications. Barrier coverage is one of the most critical issues in security planning applications for detecting invaders attempting to enter protected areas. However, it is difficult to achieve the desired barrier coverage after the initial random alignment of the sensors because their location cannot be controlled or predicted.

The aim of the diploma thesis is to present algorithms that improve the quality of barrier coverage both in terms of better area coverage and better energy efficiency of sensors themselves. In addition, these algorithms are ranked according to their application domains and their unique characteristics. Finally, reference is made to which features of an algorithm should be given attention, their design principles as well as what additional these algorithms could support for the future.

**SUBJECT AREA:** Wireless Sensor Networks

**KEYWORDS:** Barrier coverage, sweep coverage, Wireless Sensor Networks, WSN, algorithms, design





# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b> .....	<b>17</b>
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>18</b>
<b>2. ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ</b> .....	<b>21</b>
<b>2.1 Γενικά</b> .....	<b>21</b>
<b>2.2 Χαρακτηριστικά</b> .....	<b>22</b>
2.2.1 Αρχιτεκτονική Ad-hoc.....	22
2.2.2 Επικοινωνία .....	22
2.2.3 Ομοιογένεια.....	22
2.2.4 Περιορισμοί.....	22
2.2.5 Απόκρυψη δεδομένων .....	22
<b>2.3 Διαφορές από τα Ad-hoc</b> .....	<b>23</b>
<b>2.4 Κατηγορίες</b> .....	<b>23</b>
2.4.1 Υπέργεια ΑΔΑ.....	24
2.4.2 Υπόγεια ΑΔΑ.....	24
2.4.3 Υποθαλάσσια ΑΔΑ.....	24
2.4.4 Πολυμεσικά ΑΔΑ.....	25
2.4.5 Κινούμενα ΑΔΑ .....	25
<b>2.5 Αρχιτεκτονική επικοινωνίας</b> .....	<b>27</b>
<b>2.6 Τοπολογίες</b> .....	<b>28</b>
2.6.1 Κατανεμημένη .....	28
2.6.2 Ιεραρχική.....	29
2.6.3 Συστάδας .....	29
<b>2.7 Τρόποι επικοινωνίας</b> .....	<b>29</b>
2.7.1 Ευρυεκπομπή .....	30
2.7.2 Μονοεκπομπή.....	30
2.7.3 Συγκλίνουσα εκπομπή .....	30
2.7.4 Πολυεκπομπή .....	30
<b>2.8 Κόμβοι</b> .....	<b>30</b>
2.8.1 Αρχιτεκτονική κόμβων.....	30
2.8.2 Κύρια συστατικά.....	31
2.8.3 Εφαρμογές.....	35
<b>3. ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΚΑΛΥΨΗΣ ΣΤΑ ΑΔΑ</b> .....	<b>41</b>
<b>3.1 Εισαγωγή</b> .....	<b>41</b>
<b>3.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την κάλυψη</b> .....	<b>41</b>
3.2.1 Στρατηγική ανάπτυξης .....	42
3.2.2 Μοντέλο ανίχνευσης .....	42

3.2.3	Περιοχή ανίχνευσης.....	42
3.2.4	Εμβέλεια επικοινωνίας.....	42
3.2.5	Χαρακτηριστικά αλγορίθμων.....	43
3.2.6	Κινητικότητα των αισθητήρων.....	43
3.2.7	Άλλοι παράγοντες.....	43
<b>3.3</b>	<b>Κατηγορίες συστημάτων κάλυψης.....</b>	<b>43</b>
3.3.1	Κάλυψη περιοχής.....	43
3.3.2	Σημείο κάλυψης.....	44
3.3.3	Κάλυψη φράγματος.....	44
<b>3.4</b>	<b>Χρήση κινητών κόμβων.....</b>	<b>44</b>
<b>4.</b>	<b>ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΛΥΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΛΥΨΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΣΤΑ ΑΔΑ.....</b>	<b>45</b>
<b>4.1</b>	<b>Σημαντικοί ορισμοί.....</b>	<b>46</b>
<b>4.2</b>	<b>Αλγόριθμοι για τη δημιουργία κάλυψης φράγματος.....</b>	<b>52</b>
4.2.1	Αλγόριθμος Μονοπατιού Μέγιστης Παραβίασης.....	52
4.2.2	Αλγόριθμος Μονοπατιού Μέγιστης Υποστήριξης.....	53
4.2.3	Αλγόριθμος Μονοπατιού Μέγιστης Υποστήριξης/Παραβίασης – Βελτιωμένος.....	54
4.2.4	Αλγόριθμος Directional Barrier Coverage.....	56
4.2.5	Αλγόριθμος Greedy Movement.....	58
4.2.6	Αλγόριθμος Vertex-Disjoint Path.....	59
4.2.7	Αλγόριθμος Min-Num-Mobile(k)-Βέλτιστος.....	59
4.2.8	Αλγόριθμος Min-Num-Mobile(k)-Άπληστος.....	60
4.2.9	Αλγόριθμος Min-Num-Barrier-Βέλτιστος.....	60
4.2.10	Αλγόριθμος Max-Num-Barrier-Άπληστος.....	61
4.2.11	Πρωτόκολλο Localized Barrier Coverage (LBCP).....	61
4.2.12	Αλγόριθμος MaxSTAverageBreach.....	64
4.2.13	Αλγόριθμοι ComputeBarriers & Divide-and-Conquer.....	65
4.2.14	LRNO vs Poisson.....	67
4.2.15	Αλγόριθμος Barrier Construction.....	67
4.2.16	Αλγόριθμος Patrol Point.....	68
4.2.17	Εύρεση μονοπατιού για χρήση ελάχιστων ενεργών καμερών - Dijkstra.....	70
4.2.18	Πρωτόκολλο APBC.....	72
4.2.19	Αλγόριθμος Ελαστικού Φράγματος.....	75
4.2.20	Πρωτόκολλο k-CLBCS.....	77
4.2.21	Πρωτόκολλο k-SBCCS.....	78
4.2.22	Αλγόριθμος Learning Automata Barrier Coverage (LABC).....	78
4.2.23	Αλγόριθμος ελάχιστου κόστους ενέργειας ανίχνευσης για την κάλυψη φράγματος 1-local.....	80
4.2.24	Αλγόριθμος κατασκευής φραγμάτων k-κάλυψης καμίας διέλευσης με το ελάχιστο κόστος ενέργειας.....	80
4.2.25	Προοδευτική μέθοδος αντιμετώπισης των σφαλμάτων τοποθεσίας των κόμβων.....	81
4.2.26	Αλγόριθμος Ανάπτυξης Κινητού Φράγματος.....	83
4.2.27	Κάλυψη φράγματος με τη χρήση αυτομάτων εκμάθησης.....	86

4.2.28	Αλγόριθμος ACOSC .....	87
<b>5.</b>	<b>ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ .....</b>	<b>89</b>
5.1	<b>Συμπεράσματα .....</b>	<b>89</b>
5.2	<b>Πρόταση συνδυασμού.....</b>	<b>96</b>
5.3	<b>Επίλογος – προοπτική για το μέλλον.....</b>	<b>98</b>
	<b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ .....</b>	<b>101</b>
	<b>ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ .....</b>	<b>103</b>
	<b>ΑΝΑΦΟΡΕΣ .....</b>	<b>104</b>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Τυπική αρχιτεκτονική των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων.....	21
Εικόνα 2: Η στοίβα πρωτοκόλλων στα ΑΔΑ.....	28
Εικόνα 3: Κατανεμημένη τοπολογία .....	28
Εικόνα 4: Ιεραρχική τοπολογία .....	29
Εικόνα 5: Τοπολογία συστάδας.....	29
Εικόνα 6: Οι τρεις διαφορετικές θέσεις του κόμβου συλλέκτη .....	31
Εικόνα 7: Τα κύρια συστατικά ενός κόμβου αισθητήρα .....	31
Εικόνα 8: Διαδικασία επεξεργασίας ενός γεγονότος.....	33
Εικόνα 9: Προστατευτικά καλύμματα κόμβων αισθητήρων .....	36
Εικόνα 10: Αναγνώριση εχθρικών δυνάμεων .....	37
Εικόνα 11: Πυραίνχνευση με ΑΔΑ.....	38
Εικόνα 12: Εφαρμογή ΑΔΑ στην αμπελουργία.....	38
Εικόνα 13: Εφαρμογές ΑΔΑ στην ιατρική .....	39
Εικόνα 14: Κάλυψη περιοχής .....	44
Εικόνα 15: Κάλυψη σημείου .....	44
Εικόνα 16: Κάλυψη φράγματος .....	44
Εικόνα 17: Γενικό πρόβλημα κάλυψης φράγματος.....	45
Εικόνα 18: Κάλυψη περιοχής .....	46
Εικόνα 19: Κάλυψη φράγματος .....	47
Εικόνα 20: Περιοχή ενδιαφέροντος & Μονοπάτια.....	47
Εικόνα 21: Ασθενής κάλυψη φράγματος .....	48
Εικόνα 22: Ομογενές σύνολο αισθητήρων .....	48
Εικόνα 23: Ετερογενές σύνολο αισθητήρων.....	48
Εικόνα 24: Ασθενείς συστάδες .....	49
Εικόνα 25: Ισχυρές συστάδες.....	49

Εικόνα 26: Κατευθυντικό γράφημα για ασθενή κάλυψη φράγματος (a) και για ισχυρή κάλυψη φράγματος (b) .....	49
Εικόνα 27: : (a) Το δίκτυο αισθητήρων, (b) σταθμισμένο γράφημα ασθενούς κάλυψης φράγματος (c) σταθμισμένο γράφημα ισχυρής κάλυψης φράγματος .....	50
Εικόνα 28: Ντετερμινιστική τοποθέτηση των κόμβων αισθητήρων .....	51
Εικόνα 29: Τυχαία τοποθέτηση των κόμβων αισθητήρων .....	51
Εικόνα 30: Κεντριοποιημένος αλγόριθμος .....	51
Εικόνα 31: Κατανεμημένος αλγόριθμος .....	52
Εικόνα 32: Διάγραμμα Voronoi .....	52
Εικόνα 33: Το πεδίο αισθητήρων με το σταθμισμένο διάγραμμα Voronoi και το μέγιστο μονοπάτι παραβίασης .....	53
Εικόνα 34: Το πεδίο αισθητήρων με την τριγωνοποίηση Delaunay και το μέγιστο μονοπάτι υποστήριξης.....	53
Εικόνα 35: Το πεδίο αισθητήρων με το μέγιστο μονοπάτι παραβίασης $P(b)$ και το μέγιστο μονοπάτι υποστήριξης $P(s)$ .....	54
Εικόνα 36: (a) Γράφημα (b) Μέγιστο γεννητικό δέντρο χωρίς ρίζα .....	55
Εικόνα 37: Μέγιστο γεννητικό δέντρο με ρίζα .....	55
Εικόνα 38: : Breach Number Tree - BNT .....	56
Εικόνα 39: Δημιουργία ισχυρού φράγματος με τη χρήση κινητών αισθητήρων. Οι κινητοί αισθητήρες 1 και 2 τοποθετούνται στα κενά ανάμεσα στους σταθερούς αισθητήρες για τη δημιουργία ισχυρής κάλυψης φράγματος για την περιοχή ενδιαφέροντος.....	57
Εικόνα 40: Μονοπάτι διέλευσης σε δίκτυο που προσφέρει L-local Barrier Coverage ...	63
Εικόνα 41: Διαχωρισμός L-ζώνης σε δύο τμήματα .....	64
Εικόνα 42: Ευριστική μέθοδος σε L-local Barrier Coverage .....	64
Εικόνα 43: Υπολογισμός φραγμάτων από τον αλγόριθμο ComputeBarriers .....	65
Εικόνα 44: Παράδειγμα δικτύου ροής.....	66
Εικόνα 47: : Μετασχηματισμός μονοπατιού περιπολίας (1) .....	69
Εικόνα 48: Μετασχηματισμός μονοπατιού περιπολίας (2) .....	69
Εικόνα 49: Μεταφορά σημείου περιπολίας από μία περιοχή σε μία άλλη γειτονική.....	69

Εικόνα 50: Χρήση καμερών στα ΑΔΑ.....	70
Εικόνα 51: Παράδειγμα χρήσης περιπτών καμερών .....	71
Εικόνα 52: Το δίκτυο αισθητήρων .....	72
Εικόνα 53: Το γράφημα G που αντιστοιχεί στο παραπάνω.....	73
Εικόνα 54: Σημεία συσσώρευσης .....	73
Εικόνα 55: Μήνυμα εύρεσης επόμενου σημείου συσσώρευσης .....	74
Εικόνα 56: Μήνυμα επιλογής επόμενου κόμβου .....	75
Εικόνα 57: Μήνυμα απενεργοποίησης .....	75
Εικόνα 58: Τελικό γράφημα .....	75
Εικόνα 59: Αποκατάσταση σφάλματος στη ζώνη φράγματος .....	75
Εικόνα 60: Παράδειγμα δυναμικού αντικειμένου .....	76
Εικόνα 61: Κατανομή των αισθητήρων γύρω από το δυναμικό αντικείμενο.....	77
Εικόνα 62: Βρόγχος ανατροφοδότησης αυτομάτου – περιβάλλοντος .....	79
Εικόνα 63: Μη αποδοτική χρήση της πρότασης του Kumar.....	81
Εικόνα 64: Οι επιπτώσεις των σφαλμάτων τοποθεσίας. Με βάση τις θέσεις ύστερα από υπολογισμούς, (a) δύο κόμβοι επικαλυπτόμενοι θεωρούνται μη επικαλυπτόμενοι και (b) δύο κόμβοι μη επικαλυπτόμενοι θεωρούνται επικαλυπτόμενοι.....	82
Εικόνα 65: Απεικόνιση της προοδευτικής μεθόδου .....	83
Εικόνα 66: Το δίκτυο αισθητήρων και το σταθμισμένο γράφημα φράγματος ανεκτικό σε σφάλματα που αντιστοιχεί σε αυτό όταν μόνο οι σταθεροί κόμβοι έχουν σφάλματα θέσης.....	83
Εικόνα 67: Η απόκριση του κινητού φράγματος όταν το δυναμικό αντικείμενο κινείται. 84	84
Εικόνα 68: Οι κινητοί αισθητήρες διαμοιράζονται σε μία κατασκευή αλυσίδας φράγματος .....	85
Εικόνα 69: Η διαδικασία δημιουργίας κινητού φράγματος.....	86
Εικόνα 70: Τα αρχικά μονοπάτια πριν από τη λειτουργία διασταυρώσεων δύο σημείων .....	88
Εικόνα 71: Εφικτοί συνδυασμοί για τη μεταλλαγή {1, 2, 3, 4} στη λειτουργία διασταυρώσεων δύο σημείων.....	89



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Διαφορές μεταξύ ΑΔΑ και συμβατικών ασύρματων Ad-hoc δικτύων.....	23
Πίνακας 2: Γενικότερα κριτήρια ταξινόμησης ΑΔΑ.....	26
Πίνακας 3: Συγκεντρωτικός πίνακας αλγορίθμων.....	90



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο **«Μελέτη λύσεων στο πρόβλημα της κάλυψης φράγματος σε Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων»** εκπονήθηκε κατά το χρονικό διάστημα από τον Σεπτέμβριο 2017 ως τον Ιούνιο 2019. Τα κριτήρια επιλογής του συγκεκριμένου θέματος βασίστηκαν στην ταχύτατη ανάπτυξη των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων καθώς και στην εφαρμογή τους σε ολοένα και περισσότερους κλάδους.

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τα άτομα που με βοήθησαν στον Πανεπιστημιακό χώρο και έξω από αυτόν, ο καθένας με τις δικές του συμβουλές και παρεμβάσεις.

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να απευθύνω ιδιαίτερες ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Νίκο Πασσά για τη βοήθεια, την εμπιστοσύνη και την καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια υλοποίησης της παρούσας εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, οι οποίοι, στήριξαν τις σπουδές μου μέχρι σήμερα παρέχοντας μου τόσο την απαραίτητη υλική βοήθεια όσο και την αμέριστη συμπαράσταση τους όποτε την είχα ανάγκη.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων<sup>1</sup> (Wireless Sensor Networks) αποτελούνται από μεγάλο αριθμό αυτόνομων συσκευών με περιορισμένες δυνατότητες επικοινωνίας, αποθήκευσης, επεξεργασίας και ενέργειας, που τοποθετούνται σε μια συγκεκριμένη περιοχή ενδιαφέροντος στην οποία δεν υπάρχει καμία εκ των προτέρων εγκατεστημένη δικτυακή υποδομή και γνώση της τοπολογίας. Οι κόμβοι επικοινωνούν και συνεργάζονται μεταξύ τους και ακροάζονται το περιβάλλον με τη χρήση αισθητήρων με στόχο να φέρουν σε πέρας εφαρμογές όπως είναι ο έλεγχος κυκλοφορίας, η συλλογή μετεωρολογικών δεδομένων, η παρακολούθηση του περιβάλλοντος καθώς και εφαρμογές ασφαλείας.

Η δρομολόγηση δεδομένων στα ΑΔΑ γίνεται ως εξής: οι αισθητήρες-κόμβοι συλλέγουν δεδομένα από το περιβάλλον που ακροάζονται και τα προωθούν σε γειτονικούς κόμβους με στόχο να φτάσουν κάποια στιγμή μέσω δρομολόγησης πολλαπλών βημάτων (multi-hop routing) σε ένα κόμβο-πηγή (sink) ο οποίος έχει μεγάλο θεωρητικά αποθηκευτικό χώρο και ενέργεια.

Για την αύξηση της διάρκειας ζωής ενός ΑΔΑ έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές όπως είναι οι τεχνικές εξισορρόπησης ενέργειας. Στόχος στο πρόβλημα της εξισορρόπησης κατανάλωσης ενέργειας σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων είναι να επιτύχουμε ίση κατανάλωση ενέργειας ανά κόμβο του δικτύου ώστε να μεγιστοποιήσουμε τη διάρκεια ζωής του δικτύου αποφεύγοντας την πρόωρη αποσύνδεση του δικτύου.

Τα προτεινόμενα από τη βιβλιογραφία πρωτόκολλα για τα δίκτυα αισθητήρων έχουν αξιολογηθεί πειραματικά μέσω διεξοδικών προσομοιώσεων, χρησιμοποιώντας ποικίλες τιμές για βασικές παραμέτρους του δικτύου και συγκρίθηκαν με υπάρχουσες ευρέως αποδεκτές μεθόδους. Τα αποτελέσματα δείχνουν, ότι με τη χρήση των πρωτοκόλλων αυτών ότι τόσο ο χρόνος παράδοσης των μηνυμάτων, όσο και η ενέργεια που απαιτείται διατηρούνται σε χαμηλά επίπεδα.

Η συγκεκριμένη εργασία επικεντρώνεται στο πρόβλημα κάλυψης στα ΑΔΑ. Η κάλυψη αποτελεί ένα θεμελιώδες ζήτημα έρευνας στα ΑΔΑ επειδή μπορεί να θεωρηθεί ως η μέτρηση της ποιότητας της υπηρεσίας (Quality of Service – QoS) ανίχνευσης από ένα δίκτυο αισθητήρων. Για παράδειγμα, για την ανίχνευση ενός δάσους κάποιος μπορεί να αναρωτηθεί το πόσο καλά το δίκτυο μπορεί να παρατηρήσει την δοθείσα περιοχή και ποιες είναι οι πιθανότητες του εντοπισμού έναρξης φωτιάς σε μια συγκεκριμένη περιοχή του δάσους σε ένα δοθέν χρονικό διάστημα. Επιπλέον, η κάλυψη είναι και η προσπάθεια εύρεσης σημείων σε μία περιοχή που δεν ανιχνεύεται επαρκώς και θα πρέπει να γίνουν εισηγήσεις για βελτίωσή της στη συγκεκριμένη περιοχή. Στην πραγματικότητα, η κάλυψη περιέχει δύο βασικά σημεία:

- Πώς θα αξιολογηθεί η κάλυψη όταν οι αισθητήρες έχουν παραταχθείστην αντίστοιχη περιοχή και
- Πώς θα βελτιωθεί η κάλυψη όταν το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων δεν μπορεί να ικανοποιήσει επαρκώς τις απαιτήσεις που έχουν τεθεί.

---

<sup>1</sup> Στο εξής: ΑΔΑ

Αρκετοί ερευνητές επί του παρόντος ασχολούνται με την ανάπτυξη λύσεων που να εκπληρώνουν διαφορετικές απαιτήσεις ενώ ακόμη έχουν προταθεί πολλοί αλγόριθμοι που σχετίζονται με την κάλυψη. Κάποιοι αλγόριθμοι επικεντρώνονται καθαρά σε προβλήματα κάλυψης ενώ άλλοι ενσωματώνουν κάποιες σκέψεις για βελτιστοποίηση της χρήσης των πόρων του δικτύου ή για την υποστήριξη των ειδικών απαιτήσεων της εφαρμογής (για παράδειγμα, συνδεσιμότητα του δικτύου, κατανάλωση ενέργειας) σε προβλήματα κάλυψης. Για την προσφορά εγγυημένης κάλυψης, το βασικό σημείο είναι η επίλυση του προβλήματος κάλυψης με επαρκείς πόρους και ενδεχομένως με την ενσωμάτωση διάφορων βελτιστοποιήσεων. Μεταξύ των πολυάριθμων προκλήσεων, κατά την σχεδίαση ενός αποτελεσματικού συστήματος κάλυψης, η διατήρηση της συνδεσιμότητας και της μεγιστοποίησης της διάρκειας ζωής του δικτύου αποτελούν μόνιμα τις πιο κρίσιμες προκλήσεις.

Σκοπός, λοιπόν, της εργασίας αυτής είναι η καταγραφή, η παρουσίαση, η μελέτη και η σύγκριση αλγορίθμων που προσφέρουν λύσεις στην δημιουργία κάλυψης φράγματος μίας περιοχής ενδιαφέροντος με τη χρήση αισθητήρων, λαμβάνοντας ταυτόχρονα υπόψιν περιορισμούς όπως μη επαρκείς πόροι, συνδεσιμότητα του δικτύου και κατανάλωση ενέργειας όσο και η κατάταξή τους ανάλογα με την εφαρμογή και τα χαρακτηριστικά τους.

Με βάση τα παραπάνω τα επόμενα κεφάλαια της εργασίας διαμορφώνονται ως εξής.

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται οι βασικές έννοιες που σχετίζονται με τα ΑΔΑ. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρονται τα χαρακτηριστικά τους και οι παράγοντες στους οποίους οφείλεται η διαφοροποίηση που παρουσιάζουν έναντι των υπόλοιπων δικτύων και ακολούθως παρατίθενται τα βασικά τους στοιχεία-χαρακτηριστικά. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στην αρχιτεκτονική των ΑΔΑ καθώς και στα είδη των τοπολογιών τους και στους τρόπους επικοινωνίας σε αυτά. Επίσης, γίνεται αναφορά στην αρχιτεκτονική των κόμβων και πιο συγκεκριμένα στο υλικό, στη μνήμη και στους αισθητήρες που διαθέτουν, στην παροχή ενέργειας σε αυτούς και στην μεταξύ τους επικοινωνία. Τέλος, παρουσιάζονται συνοπτικά οι πιο διαδεδομένες κατηγορίες που εφαρμόζονται οι ασύρματοι αισθητήρες, καθώς επίσης περιγράφονται και κάποια παραδείγματα εφαρμογών.

Το κεφάλαιο 3 αποτελεί τη σύνδεση μεταξύ των γενικών στοιχείων και αναφορών που έχουν σημειωθεί στα προηγούμενα κεφάλαια σχετικά με τα ΑΔΑ και του θέματος της εργασίας αυτής που δεν είναι άλλο από αυτό της μελέτης των λύσεων και της παρουσίασης αυτών σχετικά με την κάλυψη στα ΑΔΑ. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια εισαγωγή για το τι αφορά η κάλυψη, παρουσιάζονται οι διάφοροι παράγοντες που επηρεάζουν την κάλυψη και τέλος γίνεται αναφορά στις κατηγορίες των συστημάτων κάλυψης. Ένα από τα συστήματα κάλυψης είναι και αυτό που επικεντρώνεται η παρούσα εργασία, δηλαδή αυτό της κάλυψης φράγματος στα ΑΔΑ.

Στο κεφάλαιο 4 αρχικά παρατίθενται κάποιοι σημαντικοί ορισμοί για την καλύτερη κατανόηση των διάφορων τεχνολογιών και αλγορίθμων που καταγράφονται και αναλύονται αμέσως μετά και οι οποίοι σχετίζονται με τα θέματα της παρακολούθησης και της διάρκειας της ζωής του δικτύου στο πρόβλημα της κάλυψης φράγματος στα ΑΔΑ. Επιπλέον, οι αλγόριθμοι αυτοί κατατάσσονται ανάλογα με την εφαρμογή τους και τα χαρακτηριστικά τους.

Το κεφάλαιο 5 αποτελεί το τελευταίο κεφάλαιο και σε αυτό τη γίνεται μία σύνοψη του θέματος που πραγματεύεται η εργασία αυτή. Πιο αναλυτικά, παρατίθενται τα συμπεράσματα που προκύπτουν σχετικά με τους αλγόριθμους που αναλύθηκαν όσον αφορά τη σύγκριση μεταξύ αυτών ως προς την αποδοτικότητα του δικτύου στο οποίο εφαρμόζονται καθώς επίσης και κάποια συμπεράσματα που αφορούν τα ΑΔΑ

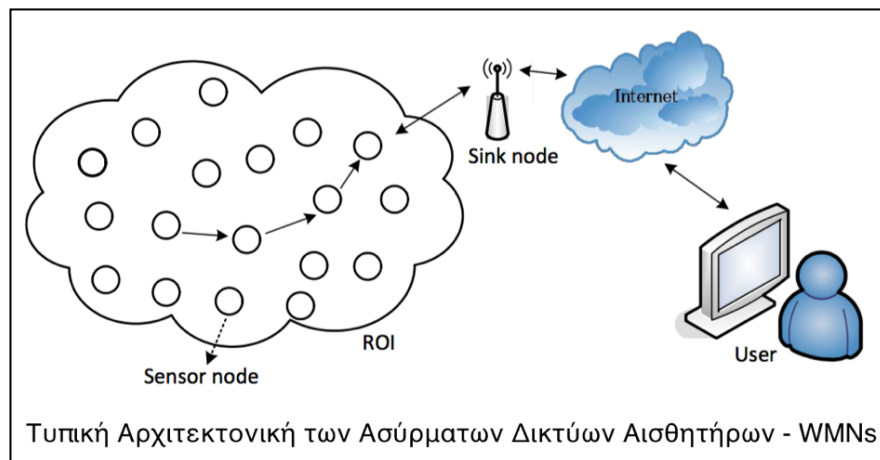
γενικότερα. Επίσης γίνεται αναφορά στις σχεδιαστικές αρχές και στο τι πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν για τη δημιουργία ενός δικτύου το οποίο να λειτουργεί αποδοτικά.

## 2. ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

### 2.1 Γενικά

Οι ραγδαίες εξελίξεις στις ασύρματες τηλεπικοινωνίες τα τελευταία χρόνια και η δυνατότητα κατασκευής κυκλωμάτων υψηλής πυκνότητας, που οδήγησε την σμίκρυνση αυτών και τη δημιουργία κυκλωμάτων χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, έχουν προσφέρει τη δυνατότητα ανάπτυξης χαμηλών σε κόστος και με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας πολύ-λειτουργικών αισθητήρων. Πρόκειται δηλαδή για αισθητήρες που είναι μικροί σε μέγεθος και ικανοί να επικοινωνούν σε μικρές αποστάσεις. Αυτοί οι μικροσκοπικοί αισθητήρες που μπορούν να επεξεργάζονται δεδομένα, να επικοινωνούν και να αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον, αποτέλεσαν τη βάση για τη δημιουργία των δικτύων αισθητήρων, τα οποία βασίζονται σε πολύ μεγάλο βαθμό στη συνεργατική προσπάθεια ενός μεγάλου συχνά αριθμού αισθητήρων.

Τα ΑΔΑ συντίθεται από έναν αριθμό, πολλές φορές σημαντικά μεγάλο, χωρικά κατανομημένων συσκευών με αισθητήρια όργανα που αναπτύσσονται με πυκνό τρόπο είτε μέσα στην περιοχή ενδιαφέροντος (Region Of Interest), είτε πολύ κοντά σε αυτή και ονομάζονται κόμβοι αισθητήρων<sup>2</sup> (nodes). Οι αισθητήρες μπορούν να «αισθανθούν» το περιβάλλον τους και τις αλλαγές που συμβαίνουν σε αυτό και να στείλουν τις πληροφορίες της περιοχής που παρακολουθούν μέσω ασύρματων συνδέσεων, συχνά μέσω άλλων κόμβων, στον κόμβο συλλέκτη ή σταθμό βάσης. Επίσης, οι αισθητήρες είναι εφοδιασμένοι με ένα μικροεπεξεργαστή και αντί να στέλνουν όλα τα δεδομένα που λαμβάνουν στον κόμβο συλλέκτη ή στους υπεύθυνους κόμβους του δικτύου, χρησιμοποιούν τις δυνατότητες τους στην επεξεργασία ώστε να πραγματοποιούν τοπικά απλούς υπολογισμούς και να μεταδίδουν μόνο τα απαιτούμενα καθώς και μερικώς επεξεργασμένα δεδομένα.



**Εικόνα 1: Τυπική αρχιτεκτονική των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων**

Ο ρόλος του κόμβου συλλέκτη είναι να συλλέγει τις πληροφορίες από όλους τους κόμβους του δικτύου και να τις επεξεργάζεται. Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα της δρομολόγησης των αποτελεσμάτων της εκάστοτε επεξεργασίας στους χρήστες του συστήματος. Επίσης τα ΑΔΑ μπορούν να λαμβάνουν και να εκτελούν εντολές από τους χρήστες αυτούς, κάτι που αλλάζει σε πολύ μεγάλο βαθμό τον τρόπο αλληλεπίδρασης των ανθρώπων με το φυσικό περιβάλλον [4].

<sup>2</sup> Στο εξής: αισθητήρες

## 2.2 Χαρακτηριστικά

Τα βασικά χαρακτηριστικά των δικτύων αισθητήρων είναι τα παρακάτω [3]:

### 2.2.1 Αρχιτεκτονική Ad-hoc

Λόγω του ότι τα ΑΔΑ βασίζονται στην αρχιτεκτονική Ad-hoc, οι κόμβοι των ΑΔΑ μπορούν να παραταχθούν τυχαία σε μία περιοχή και να οργανωθούν από μόνοι τους (self organized) έτσι ώστε να σχηματίσουν το πλέγμα του δικτύου. Εκτός όμως από αυτό, τα ΑΔΑ έχουν μεγάλη σταθερότητα και ανοχή στα σφάλματα αφού σε περίπτωση «αποτυχίας» των κόμβων ή/και εξασθένηση του σήματος, οι κόμβοι μπορούν σε πολλές περιπτώσεις να αναδιοργανώνονται μεταξύ τους (self healed) σχηματίζοντας νέες διαδρομές προώθησης.

### 2.2.2 Επικοινωνία

Η προώθηση των μηνυμάτων από έναν κόμβο που βρίσκεται στα όρια της περιοχής του δικτύου προς τον κεντρικό αποδέκτη, γίνεται μέσω ενδιάμεσων κόμβων. Οι κόμβοι αυτοί εκτός από τη συλλογή και την αποστολή των δικών τους μετρήσεων έχουν και την ιδιότητα να προωθούν και δεδομένα άλλων κόμβων εφόσον αποτελούν μέρος της διαδρομής των μηνυμάτων (multi-hop communication). Με τον τρόπο αυτό, γίνεται επαναχρησιμοποίηση του εύρους ζώνης σε αντίθεση με τη μονοαλματική (single hop) που απαιτεί μεγάλη εμβέλεια. Χρησιμοποιούνται μικρότερες αποστάσεις για την μετάδοση των μηνυμάτων που σημαίνει μικρότερη εκπομπή ισχύος και άρα εξοικονόμηση ενέργειας.

### 2.2.3 Ομοιογένεια

Συνήθως όλοι οι αισθητήρες είναι ίδιοι (δεν υπάρχει ιεραρχία και δεν απαιτείται εξωτερική επίβλεψη). Η ανάπτυξη τους είναι πυκνή, υπάρχει συνεργασία μεταξύ τους και μπορούν να διαιρεθούν σε ομάδες χωρίς να χαλάει η ομοιογένειά τους. Επιπλέον, συνήθως υπάρχει ένας σταθμός βάσης που συλλέγει και αξιολογεί τα συγκεντρωμένα στοιχεία. Ο σταθμός βάσης είναι πιο ισχυρός και περισσότερο ασφαλής από τα άλλα τμήματα του δικτύου. Οι υπόλοιποι κόμβοι δημιουργούν κανάλια επικοινωνίας με τον σταθμό βάσης.

### 2.2.4 Περιορισμοί

Οι κόμβοι των ΑΔΑ έχουν ως μόνιμες πηγές ενέργειας τις μπαταρίες τους. Από την στιγμή που η παροχή ενέργειας δεν είναι μεγάλης ισχύος και διαθέσιμη για πάντα, οι κόμβοι θα πρέπει να είναι σχεδιασμένοι έτσι ώστε να κάνουν την ανάλογη διαχείριση ενέργειας και να λειτουργούν για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα περιορισμένη υπολογιστική ισχύ, περιορισμένη μνήμη καθώς και περιορισμένο εύρος συχνοτήτων. Μία εναλλακτική περίπτωση αποτελούν τα φωτοβολταϊκά κύτταρα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο σε περιπτώσεις εφαρμογών σε εξωτερικούς χώρους αφού χρειάζονται το φως του ηλίου.

### 2.2.5 Απόκρυψη δεδομένων

Κατά το σχεδιασμό των ΑΔΑ θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η ασφάλεια. Χρήσιμη ιδιαίτερα σε στρατιωτικές εφαρμογές για την απόκρυψη δεδομένων ή ακόμα και για την προστασία λειτουργίας των ίδιων των δικτύων από κακόβουλους χρήστες. Η ασφαλής μετάδοση παρουσιάζει όμως περιορισμούς επειδή η διαδικασία απόκρυψης χρειάζεται περισσότερη υπολογιστική ισχύ που σημαίνει περισσότερους πόρους και ενέργεια.

### 2.3 Διαφορές από τα Ad-hoc

Τα περισσότερα ΑΔΑ χρησιμοποιούν τις αρχιτεκτονικές των δικτύων των ασύρματων Ad-hoc δικτύων που αποτελούνται από ένα σύνολο από ασύρματους και συνήθως κινητούς κόμβους, οι οποίοι είναι ικανοί να δημιουργήσουν ένα δίκτυο από μόνοι τους, χωρίς την ύπαρξη απ' την αρχή μιας συγκεκριμένης υποδομής. Συγκεκριμένα, οι κινητοί κόμβοι χειρίζονται τις διεργασίες που αφορούν τον έλεγχο και τη δικτύωση με έναν καταμεμημένο τρόπο. Ωστόσο διαφέρουν σε σε πολλά σημεία από τα συμβατικά ασύρματα Ad-hoc δίκτυα [4], κρίνοντας από τις διαφορετικές απαιτήσεις των αντίστοιχων εφαρμογών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, οι υπάρχουσες αρχιτεκτονικές και τα πρωτόκολλα των Ad-hoc δικτύων να μην είναι άμεσα εφαρμόσιμα και στα ΑΔΑ. Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τις βασικές διαφορές μεταξύ ΑΔΑ και συμβατικών ασύρματων Ad-hoc δικτύων.

Πίνακας 1: Διαφορές μεταξύ ΑΔΑ και συμβατικών ασύρματων Ad-hoc δικτύων

	<b>ΑΔΑ - WSN</b>	<b>Συμβατικά ασύρματα Ad-hoc δίκτυα</b>
<b>Αριθμός κόμβων</b>	Εκατοντάδες έως χιλιάδες	Μικρός μέχρι μέσος
<b>Πυκνότητα κόμβων</b>	Υψηλή	Σχετικά χαμηλή
<b>Πλεονασμός δεδομένων</b>	Υψηλός	Χαμηλός
<b>Τροφοδοτούμενη ισχύς</b>	Μη ανανεώσιμη: οι μπαταρίες δεν μπορούν να αντικατασταθούν	Ανανεώσιμη: επαναφορτιζόμενες μπαταρίες
<b>Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων</b>	Χαμηλός 1-100kbps	Υψηλός
<b>Κινητικότητα κόμβων</b>	Χαμηλή	Πιθανώς υψηλή
<b>Κατεύθυνση ροής δεδομένων</b>	Κυρίως μονή κατεύθυνση: ασύρματοι κόμβοι ⇒ σταθμός βάσης	Διπλή κατεύθυνση: από άκρη σε άκρη
<b>Πρώθηση πακέτων</b>	Προσανατολισμένη στα δεδομένα (data centric)	Προσανατολισμένη στη διεύθυνση (address centric)
<b>Τρόπος διάδοσης δεδομένων</b>	Πολύ-εκπομπή (broadcast)	Πολύ-εκπομπή ή βήμα – βήμα (hop by hop)
<b>Διευθυνσιόδοτηση</b>	Μη ύπαρξη ενιαίου identification (ID)	Ύπαρξη ενιαίου identification (ID)
<b>Ενεργό Duty cycle</b>	Μπορεί μέχρι και 1%	Υψηλό

### 2.4 Κατηγορίες

Τα ΑΔΑ με βάση τις απαιτήσεις του χώρου της εφαρμογής τους μπορούν να ταξινομηθούν σε υπέργεια, υπόγεια, υποθαλάσσια, πολυμεσικά και κινούμενα. Τα χαρακτηριστικά των κατηγοριών αυτών συνοψίζονται παρακάτω [9]:

### 2.4.1 Υπέργεια ΑΔΑ

**Ορισμός:** Το δίκτυο αποτελείται από εκατοντάδες ή χιλιάδες ασύρματους κόμβους τοποθετημένους στο έδαφος.

**Προκλήσεις:**

- Ελαχιστοποίηση ενεργειακού κόστους.
- Μείωση της ποσότητας των δεδομένων επικοινωνίας.
- Εύρεση βέλτιστης διαδρομής. Κατανομή ενεργειακής κατανάλωσης.
- Περιορισμός πλεονασμού.

**Εφαρμογές:**

- Αίσθηση και επίβλεψη περιβάλλοντος.
- Βιομηχανική επίβλεψη.
- Εξερευνήσεις επιφάνειας.

### 2.4.2 Υπόγεια ΑΔΑ

**Ορισμός:** Το δίκτυο αποτελείται από ασύρματους κόμβους τοποθετημένους υπόγεια, ή σε σπηλιές, ορυχεία.

**Προκλήσεις:**

- Ακριβή εφαρμογή και συντήρηση.
- Υψηλό κόστος εξοπλισμού.
- Απειλές για τις συσκευές (περιβάλλον ζώα).
- Οι μπαταρίες δεν μπορεί εύκολα να αντικατασταθούν.
- Προκλήσεις τοπολογίας σε περίπτωση προσχεδιασμένης εφαρμογής.
- Υψηλά επίπεδα εξασθένησης και απώλειας σήματος.

**Εφαρμογές:**

- Επίβλεψη στη γεωργία.
- Υπόγεια δομική επίβλεψη.
- Υπόγεια επίβλεψη εδάφους, ορυκτών ή υδάτων.
- Επίβλεψη στρατιωτικών συνόρων.

### 2.4.3 Υποθαλάσσια ΑΔΑ

**Ορισμός:** Το δίκτυο αποτελείται από ασύρματους κόμβους τοποθετημένους στο περιβάλλον του ωκεανού.

**Προκλήσεις:**

- Ακριβοί υποθαλάσσιοι αισθητήρες.
- Αστοχία του υλικού λόγω περιβαλλοντικών παραγόντων (π.χ. διάβρωση).
- Οι μπαταρίες δεν μπορεί εύκολα να αντικατασταθούν.
- Αραιή κατανομή κόμβων.
- Περιορισμένο εύρος ζώνης.



- Μεγάλη καθυστέρηση διάδοσης, φαινόμενα εξασθένησης του σήματος.

#### Εφαρμογές:

- Παρατήρηση περιβαλλοντικής μόλυνσης.
- Υποθαλάσσια εξερεύνηση και επιτήρηση.
- Παρατήρηση σεισμικής δραστηριότητας.
- Επιτήρηση εξοπλισμού.
- Υποθαλάσσια ρομποτική.

### **2.4.4 Πολυμεσικά ΑΔΑ**

Ορισμός: Το δίκτυο αποτελείται από ασύρματους κόμβους, ικανούς να επεξεργάζονται, να αποθηκεύουν και να εξάγουν δεδομένα (βίντεο, εικόνα, ήχο).

#### Προκλήσεις:

- Υψηλή κατανάλωση ενέργειας και υψηλές απαιτήσεις εύρους ζώνης.
- Ευέλικτη αρχιτεκτονική για την υποστήριξη ποικίλων εφαρμογών.
- Απαιτείται ενσωμάτωση ποικίλων ασύρματων τεχνολογιών.
- Δύσκολη διασφάλιση ποιότητας υπηρεσίας λόγω της χωρητικότητας της ζεύξης και των καθυστερήσεων.
- Αποτελεσματικός διαστρωματικός (cross-layer) σχεδιασμός.

#### Εφαρμογές:

- Ενίσχυση σε υπάρχουσες εφαρμογές, όπως σε εφαρμογές επίβλεψης και εντοπισμού.

### **2.4.5 Κινούμενα ΑΔΑ**

Ορισμός: Το δίκτυο αποτελείται από κινούμενους ασύρματους κόμβους

#### Προκλήσεις:

- Καθοδήγηση και έλεγχος κινούμενων κόμβων.
- Απαίτηση αυτό-οργάνωσης.
- Συνδυασμός συντεταγμένων τοποθεσίας και κινητικότητας.
- Ελαχιστοποίηση ενεργειακής κατανάλωσης.
- Διατήρηση συνδεσιμότητας δικτύου.
- Κατανομή δεδομένων.
- Διαχείριση κινητικότητας.
- Διατήρηση επαρκούς sensing κάλυψης.

#### Εφαρμογές:

- Επίβλεψη περιβαλλοντικών συνθηκών.
- Παρακολούθηση σε στρατιωτικές εφαρμογές.
- Ανίχνευση στόχων.

- Αναζήτηση και διάσωση.

Επιπλέον, τα ΑΔΑ μπορεί να ταξινομηθούν και με βάση γενικότερα κριτήρια, όπως φαίνεται στον Πίνακα 2 [4]:

**Πίνακας 2: Γενικότερα κριτήρια ταξινόμησης ΑΔΑ**

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΤΑΞΟΝΟΜΗΣΗΣ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΔΑ
Απόσταση από το σταθμό βάσης	Ενός ή πολλαπλών αλμάτων
Εξάρτηση δεδομένων	Συνάθροισης ή μη συνάθροισης
Κατανομή κόμβων	Ντετερμινιστικά ή δυναμικά
Προσέγγιση ελέγχου	Αυτοπροσδιορίσιμα ή μη αυτοπροσδιορίσιμα
Εφαρμογή	Πολυάριθμες κατηγορίες

Πιο αναλυτικά [4],

- Απόσταση από το σταθμό βάσης: Με βάση την απόσταση των κόμβων από το σταθμό βάσης, τα ΑΔΑ διακρίνονται σε συστήματα επικοινωνίας μονού άλματος (single-hop) ή πολλαπλών αλμάτων (multi-hop). Πιο συγκεκριμένα, το πρώτο είδος είναι κατάλληλο για μικρές περιοχές. Στην περίπτωση αυτή, το δίκτυο έχει σχετικά απλή δομή, μπορούν να επιτευχθούν μεγαλύτερα επίπεδα ασφάλειας και οι κόμβοι αποστέλλουν τα δεδομένα απευθείας στο σταθμό βάσης. Όσον αφορά την επικοινωνία πολλαπλών αλμάτων, αυτή είναι απαραίτητη όταν η περιοχή κάλυψης είναι πολύ μεγάλη. Οι κόμβοι αποστέλλουν τα δεδομένα τους στο σταθμό βάσης μέσω ενδιάμεσων κόμβων οι οποίοι εκτελούν τη λειτουργία της δρομολόγησης και της συγκέντρωσης των δεδομένων.
- Εξάρτηση δεδομένων: Ανάλογα με το πόσο πυκνά είναι τοποθετημένοι οι κόμβοι στην περιοχή κάλυψης αλλά και την επεξεργασία που υπόκεινται τα δεδομένα στους κόμβους, τα ΑΔΑ κατηγοριοποιούνται σε συνάθροισης ή μη συνάθροισης. Στα δίκτυα της δεύτερης κατηγορίας, οι κόμβοι αποστέλλουν τα δεδομένα τους στον προορισμό χωρίς να τα επεξεργαστούν. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα χαμηλό φόρτο υπολογισμών στους ενδιάμεσους κόμβους και υψηλή ακρίβεια στο δίκτυο. Παρόλα αυτά, στα μεγαλύτερης έκτασης δίκτυα η αυξημένη κίνηση ενδέχεται να επιφέρει συγκρούσεις δεδομένων και καθυστέρηση στο δίκτυο γενικότερα. Τα συστήματα αυτά είναι κατάλληλα για δίκτυα με χαμηλή πυκνότητα κόμβων στα οποία απαιτείται υψηλή ακρίβεια από τους χρήστες. Από την άλλη πλευρά, όταν η πυκνότητα τοποθέτησης των κόμβων είναι υψηλή σημαίνει ότι κάθε κόμβος είναι κοντά στους γειτονικούς του με αποτέλεσμα τη δημιουργία πλεονασμού δεδομένων. Έτσι, λοιπόν, είναι απαραίτητη η υλοποίηση συνεργατικών λειτουργιών συγκέντρωσης και αποστολής δεδομένων για τον περιορισμό του φαινομένου αυτού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της συμφόρησης του δικτύου και την εξοικονόμηση ενέργειας ενώ ταυτόχρονα αυξάνονται οι εκτελούμενοι υπολογισμοί.
- Κατανομή κόμβων: Με βάση το σχεδιασμό του δικτύου, τα ΑΔΑ μπορεί να διακριθούν σε ντετερμινιστικά ή δυναμικά. Στα πρώτα, η θέση των κόμβων είναι σταθερή ή προσχεδιασμένη με αποτέλεσμα τον απλούστερο έλεγχο και εφαρμογή του συστήματος. Υπάρχουν, όμως, περιπτώσεις κατά τις οποίες η θέση των κόμβων είναι άγνωστη. Έτσι, οι κόμβοι οφείλουν να λειτουργούν

δυναμικά και κατανεμημένα κάτι που δίνει δυνατότητες ευελιξίας και επεκτασιμότητας αλλά απαιτεί πολυπλοκότερους αλγορίθμους ελέγχου.

## 2.5 Αρχιτεκτονική επικοινωνίας

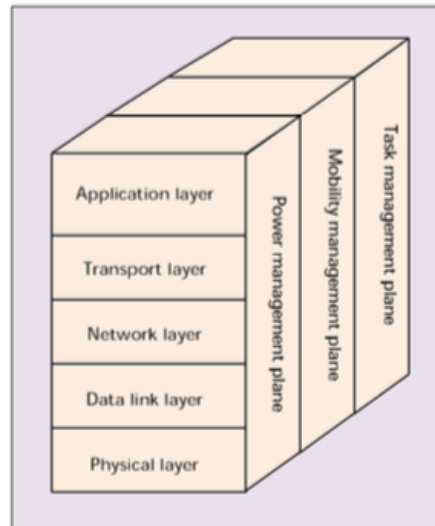
Οι κόμβοι αισθητήρων είναι συνήθως διεσπαρμένοι σε ένα πεδίο αισθητήρων. Καθένας από αυτούς τους αισθητήρες έχει τη δυνατότητα να συλλέγει δεδομένα από το περιβάλλον και να τα στέλνει πίσω στον κόμβο συλλέκτη ή σταθμό βάσης (sink node) και από εκεί στους τελικούς χρήστες. Τα δεδομένα δρομολογούνται στους τελικούς χρήστες με τη χρήση μίας πολλαπλών αλμάτων χωρίς υποδομή αρχιτεκτονικής μέσω του σταθμού βάσης ο οποίος μπορεί να επικοινωνεί με τον τελικό χρήστη μέσω Διαδικτύου (Internet) ή δορυφόρου.

Αυτό συνδυάζει τη δύναμη και τη δρομολόγηση, ενσωματώνει δεδομένα σε πρωτόκολλα δικτύων, επιτυγχάνει ενεργειακή αποδοτικότητα μέσω του ασύρματου μέσου και προάγει προσπάθειες συνεργασίας μεταξύ των δικτύων αισθητήρων. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 2, το πρωτόκολλο δεδομένων αποτελείται από το επίπεδο εφαρμογών (application layer), το επίπεδο μεταφοράς (transport layer), το επίπεδο δικτύου (network layer), το επίπεδο σύνδεσης στοιχείων (data link layer), το πεδίο διαχείρισης ενέργειας (power management plane), το πεδίο διαχείρισης κινητικότητας (mobility management plane) και το πεδίο διαχείρισης στόχων (task management plane). Εξαρτώμενοι από τις μετρήσεις των αισθητήρων, μπορούν να κατασκευαστούν και να χρησιμοποιηθούν στο επίπεδο εφαρμογών διαφορετικά είδη λογισμικού εφαρμογών. Το επίπεδο μεταφοράς βοηθάει να διατηρηθεί η ροή των δεδομένων εάν οι εφαρμογές του δικτύου αισθητήρων το απαιτούν. Το επίπεδο δικτύου φροντίζει για τη δρομολόγηση των δεδομένων που λαμβάνονται από το επίπεδο μεταφοράς. Εφόσον το περιβάλλον είναι θορυβώδες και οι αισθητήρες κινητοί, το πρωτόκολλο ελέγχου πρόσβασης μέσου (MAC: Media Access Control and address) πρέπει να είναι ενημερωμένο για την ενέργεια και να είναι ικανό να μειώσει τις συγκρούσεις όσον αφορά την αναμετάδοση των γειτονικών κόμβων. Το φυσικό επίπεδο αναφέρεται στις ανάγκες ενός απλού αλλά γερού μοντέλου διαμόρφωσης, μετάδοσης και τεχνικής λήψης. Επιπλέον, το πεδίο διαχείρισης της ενέργειας, της κινητικότητας και του στόχου ελέγχουν την ενέργεια, την κίνηση και τον στόχο που διανέμονται ανάμεσα στους κόμβους αισθητήρων, αντίστοιχα. Αυτά τα πεδία βοηθούν τους κόμβους αισθητήρων να διαχειριστούν τα αποτελέσματα των μετρήσεων και να μειώσουν την συνολική κατανάλωση ενέργειας.

Το επίπεδο διαχείρισης ισχύος/ενέργειας (Εικόνα 2) διαχειρίζεται το πώς ένας αισθητήρας χρησιμοποιεί την ενέργειά του. Για παράδειγμα, ο αισθητήρας μπορεί να σταματήσει να λαμβάνει αφότου λάβει ένα αντίστοιχο μήνυμα από κάποιον από τους γειτονικούς του κόμβους. Επιπλέον τα επίπεδα διαχείρισης ισχύος, κινητικότητας και έργου ελέγχουν την ενέργεια, την κίνηση και την διάδοση πληροφοριών ανάμεσα στους κόμβους αισθητήρων. Αυτά τα πεδία βοηθούν τους κόμβους αισθητήρων να συνεργάζονται όταν λαμβάνουν μετρήσεις από το περιβάλλον και μειώνουν την συνολική κατανάλωση ενέργειας. Επίσης όταν η ενέργεια ενός κόμβου αισθητήρα είναι χαμηλή, τότε ο κόμβος αναμεταδίδει στους γείτονές του ότι η ενέργεια του είναι χαμηλή και ότι δεν μπορεί να συμμετάσχει στην δρομολόγηση των μηνυμάτων. Το υπόλοιπο της ενέργειας που του έχει απομείνει χρησιμοποιείται για να λαμβάνει μετρήσεις από το περιβάλλον.

Το επίπεδο διαχείρισης κινητικότητας (Εικόνα 2) ανιχνεύει και καταγράφει την κίνηση των αισθητήρων έτσι ώστε να επιτυγχάνεται πάντα μια δρομολόγηση των δεδομένων πίσω στον χρήστη και οι αισθητήρες να γνωρίζουν ποιοι είναι οι γειτονικοί τους ώστε να μπορούν να κρατήσουν ισορροπία όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας. Το επίπεδο

διαχείρισης έργου ισορροπεί και προγραμματίζει τις μετρήσεις των αισθητήρων που γίνονται σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Δεν χρειάζεται όλοι οι αισθητήρες να λαμβάνουν μετρήσεις στην συγκεκριμένη περιοχή την ίδια στιγμή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, μερικοί αισθητήρες να εκτελούν ένα στόχο πιο εύκολα από άλλους που εξαρτώνται από το ποσό ενέργειάς τους. Αυτά τα επίπεδα διαχείρισης χρειάζονται, έτσι ώστε οι αισθητήρες να μπορούν να συνεργάζονται και να καταναλώνουν χαμηλά ποσά ενέργειας, να δρομολογούν τα δεδομένα σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων καθώς και να μοιράζονται τους πόρους μεταξύ των αισθητήρων. Χωρίς αυτούς, κάθε αισθητήρας θα έπρεπε να εργάζεται χωριστά. Ολόκληρο το δίκτυο αισθητήρων, είναι πιο αποδοτικό εάν οι αισθητήρες συνεργάζονται μεταξύ τους. Επίσης, αυτό έχει ως αποτέλεσμα την επιμήκυνση της διάρκειας ζωής του δικτύου.



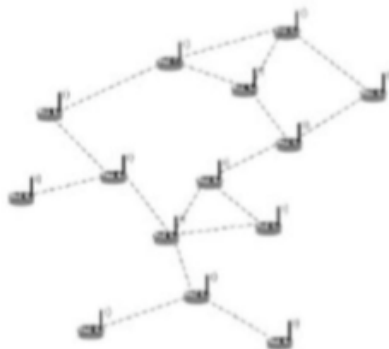
Εικόνα 2: Η στοίβα πρωτοκόλλων στα ΑΔΑ

## 2.6 Τοπολογίες

Στα ΑΔΑ η τοπολογία του δικτύου βασίζεται κατά πολύ μεγάλο βαθμό στην εφαρμογή που καλείται να εφαρμόσει το δίκτυο. Ανάλογα, λοιπόν, με το στόχο της εκάστοτε εφαρμογής που υλοποιεί το δίκτυο γίνεται και η αντίστοιχη τοποθέτηση των κόμβων μέσα σε αυτό. Οι βασικότερες τοπολογίες είναι οι εξής:

### 2.6.1 Κατανεμημένη

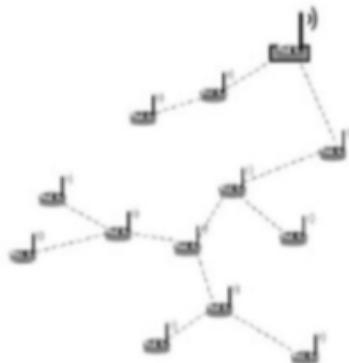
Στην περίπτωση της κατανεμημένης τοπολογίας (distributed topology), όλοι οι κόμβοι είναι ομότιμοι και επικοινωνούν με όλους. Δεν υπάρχει δηλαδή, κάποιος κόμβος ο οποίος να παίζει το ρόλο του κεντρικού κόμβου συλλέκτη.



Εικόνα 3: Κατανεμημένη τοπολογία

## 2.6.2 Ιεραρχική

Στην ιεραρχική τοπολογία (hierarchical topology), όλοι οι κόμβοι επικοινωνούν και προωθούν την πληροφορία προς έναν κεντρικό κόμβο, ο οποίος παίζει το ρόλο του κεντρικού κόμβου συλλέκτη. Ενδεχομένως μία από τις λειτουργίες του είναι και ο καθορισμός της δρομολόγησης της πληροφορίας από τους υπόλοιπους κόμβους, ώστε να γίνεται ισοκατανομή του φόρτου μετάδοσης της πληροφορίας.



Εικόνα 4: Ιεραρχική τοπολογία

## 2.6.3 Συστάδας

Στην τοπολογία συστάδας (clustered topology) οι αισθητήρες είναι χωρισμένοι σε ομάδες - συστάδες με σκοπό την καλύτερη δρομολόγηση και κατανομή της πληροφορίας. Σε κάθε συστάδα υπάρχει ένας κόμβος συλλέκτης που παίζει το ρόλο του κεντρικού κόμβου για τη συστάδα στην οποία ανήκει. Αυτός και μόνο αυτός από κάθε συστάδα συγκεντρώνει όλες τις πληροφορίες από τους υπόλοιπους κόμβους της συστάδας και αναλαμβάνει την επεξεργασία και την αποστολή τους στον κεντρικότερο κόμβο συλλέκτη. Αυτή η τοπολογία είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στις περιπτώσεις όπου υπάρχει πολύ μεγάλος αριθμός κόμβων και ιδιαίτερα στον τομέα της εξοικονόμησης ενέργειας. Όλοι οι κόμβοι μίας συστάδας εκτός από τον κεντρικό κόμβο, μπορούν να είναι μικρής ισχύος, τέτοιας ώστε να είναι δυνατή η επικοινωνία μέχρι τον κεντρικό κόμβο. Ο μόνος κόμβος υψηλής ισχύος είναι ο κεντρικός που ενδεχομένως να έχει και ισχυρότερη υπολογιστική ισχύ.



Εικόνα 5: Τοπολογία συστάδας

## 2.7 Τρόποι επικοινωνίας

Υπάρχουν τέσσερις τρόποι-τύποι επικοινωνίας στα ΑΔΑ: η ευρυεκπομπή (broadcast), η συγκλίνουσα εκπομπή (convergecast), η πολυεκπομπή (multicast) και η μονοεκπομπή (unicast ή local gossip) (Bougard et.al., 2007).

### 2.7.1 Ευρυεκπομπή

Η ευρυεκπομπή χρησιμοποιείται γενικά από έναν κόμβο συλλέκτη προκειμένου να διαβιβάσει κάποιες πληροφορίες σε όλους τους κόμβους αισθητήρων του δικτύου. Οι πληροφορίες που μεταδίδονται με τον τρόπο αυτό μπορεί να αφορούν ερωτήσεις σχετικά με τις αρχιτεκτονικές επεξεργασίας των ερωτήσεων των αισθητήρων, με την ενημέρωση του προγράμματος για τους κόμβους αισθητήρων ή με τα πακέτα ελέγχου για ολόκληρο το σύστημα.

### 2.7.2 Μονοεκπομπή

Σε μερικές εφαρμογές, οι αισθητήρες που ανιχνεύουν ένα γεγονός, επικοινωνούν ο ένας με τον άλλον τοπικά. Αυτό το είδος επικοινωνίας κατά το οποίο ένας αισθητήρας στέλνει ένα μήνυμα στους γειτονικούς κόμβους, καλείται μονοεκπομπή.

### 2.7.3 Συγκλίνουσα εκπομπή

Υπάρχουν περιπτώσεις κατά τις οποίες όταν οι αισθητήρες αντιληφθούν ένα γεγονός, πρέπει να αποστείλουν την αντίστοιχη πληροφορία στον κόμβο προορισμού. Αυτός ο τύπος επικοινωνίας, κατά τον οποίο μια ομάδα αισθητήρων επικοινωνεί με ένα συγκεκριμένο αισθητήρα, ονομάζεται συγκλίνουσα εκπομπή. Ο κόμβος προορισμού μπορεί να είναι ο επικεφαλής μίας συστάδας, ο σταθμός βάσης ή ένας κόμβος-πύλη.

### 2.7.4 Πολυεκπομπή

Στα πρωτόκολλα, τα οποία περιλαμβάνουν δημιουργία συστάδας, οι επικεφαλής των συστάδων επικοινωνούν με τα μέλη τους και έτσι οι προοριζόμενοι δέκτες μπορεί να μην είναι όλοι οι γειτονικοί κόμβοι του αποστολέα αλλά ακριβώς ένα υποσύνολο των γειτόνων του. Αυτό το είδος επικοινωνίας, όπου ένας αισθητήρας στέλνει μήνυμα σε ένα συγκεκριμένο υποσύνολο των αισθητήρων, ονομάζεται πολυεκπομπή.

## 2.8 Κόμβοι

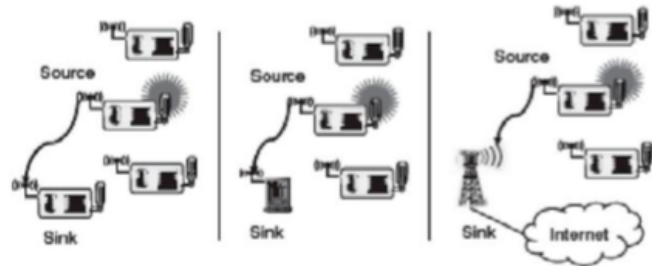
### 2.8.1 Αρχιτεκτονική κόμβων

Στα ΑΔΑ η αρχιτεκτονική του δικτύου βασίζεται κατά πολύ μεγάλο βαθμό στην εφαρμογή που καλείται να εφαρμόσει το δίκτυο. Ανάλογα, λοιπόν, με το λόγο για τον οποίο χρησιμοποιείται το δίκτυο, εφαρμόζεται και διαφορετική δομή για να ανταπεξέλθει καλύτερα στις απαιτήσεις που προκύπτουν. Η πυκνότητα των κόμβων εξαρτάται από το είδος της εφαρμογής ενώ είναι απαραίτητη η επικοινωνία μεταξύ τους, η οποία πραγματοποιείται με τη μέθοδο πολλαπλών αλμάτων. Όλες, όμως, οι δομές αποτελούνται από δύο είδη κόμβων:

- Πηγή δεδομένων: η οντότητα του δικτύου που αντιλαμβάνεται, επεξεργάζεται, επικοινωνεί ασύρματα και αλληλεπιδρά με το φυσικό περιβάλλον συλλέγοντας μετρήσεις για φυσικές παραμέτρους με σκοπό την παραγωγή δεδομένων.
- Δρομολογητής δεδομένων: η οντότητα του δικτύου που διαβιβάζει τα στοιχεία από έναν κοντινό κόμβο σε έναν άλλο και ως τον τελικό προορισμό δηλαδή στον κόμβο συλλέκτη ή κόμβο πύλη, όπου σε αυτόν γίνεται η επεξεργασία και η ανάλυση των δεδομένων που συλλέχθηκαν από τους κόμβους του δικτύου.

Συνήθως, υπάρχουν περισσότερες πηγές δεδομένων από ότι σταθμοί (sinks) ενώ πρέπει να τονιστεί ότι οι τελευταίοι δεν ενδιαφέρονται για την ταυτότητα των πηγών-αποστολέων αλλά μόνο για τα ίδια τα δεδομένα. Όσον αφορά τον κόμβο συλλέκτη,

υπάρχουν τρεις επιλογές για τη θέση του που ως ένα βαθμό διαφοροποιεί τη λειτουργία του. Μπορεί να είναι είτε κόμβος σαν τους άλλους εντός του δικτύου είτε μία μονάδα εκτός του δικτύου είτε ένας ενδιάμεσος κόμβος μεταξύ του δικτύου αισθητήρων και ενός μεγαλύτερου δικτύου, όπως είναι το Διαδίκτυο. Στην τελευταία περίπτωση, ο κόμβος συλλέκτης ονομάζεται κόμβος πύλη (gateway) και είναι πιο απομακρυσμένος από το υπόλοιπο δίκτυο. Ακόμη,

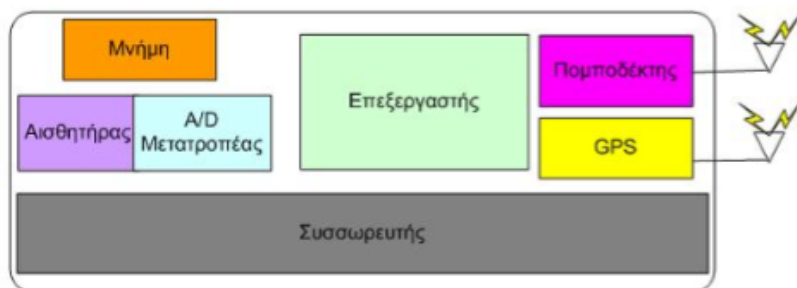


έχει μεγαλύτερα αποθέματα ενέργειας από τους άλλους κόμβους και συνδέεται σε κάποιον φορητό υπολογιστή στον οποίο έχει πρόσβαση ο άνθρωπος. Πολλές φορές ο κόμβος αυτός αναφέρεται και ως βάση ή σταθμός βάσης με την έννοια του σταθμού συγκέντρωσης των δεδομένων.

Εικόνα 6: Οι τρεις διαφορετικές θέσεις του κόμβου συλλέκτη

### 2.8.2 Κύρια συστατικά

Ένας αισθητήρας αποτελείται από έναν πομποδέκτη RF που είναι υπεύθυνος για την επικοινωνία, έναν μικροεπεξεργαστή CPU, μία μνήμη τυχαίας προσπέλασης<sup>3</sup> (RAM) για επεξεργασία δεδομένων (μερικοί κόμβοι αισθητήρες διαθέτουν και μνήμη μόνιμης αποθήκευσης δεδομένων) και μία μικρή μπαταρία για την παροχή ενεργειακής αυτονομίας. Επίσης, περιέχει τους κατάλληλους αισθητήρες (sensing units ή sensors) μέσω των οποίων συλλέγονται ανάλογα δεδομένα (π.χ. θερμοκρασία, υγρασία, αντικείμενα κτλ.) Ακόμη, ενσωματώνει μία μονάδα μετατροπής ADC (Analog to Digital Converter) η οποία μετατρέπει τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες από την αναλογική στην ψηφιακή τους μορφή ώστε να μπορούν να επεξεργαστούν περαιτέρω από τον επεξεργαστή του κόμβου πριν τα αποστείλει στον κόμβο συλλέκτη μέσω του ασύρματου δικτύου. Επιπρόσθετα, ένας κόμβος μπορεί να εξοπλίζεται με μία μονάδα εύρεσης γεωγραφικού στίγματος GPS για την εύρεσή του μέσα στην περιοχή ανάπτυξης του δικτύου και για την αντιστοίχιση της ακριβούς θέσης του. Στην περίπτωση του κινητού κόμβου, όπως είναι φυσικό, εξοπλίζεται και με μονάδα κίνησης (mobile unit) για την δυνατότητα μετακίνησης του. Τέλος, μπορεί να διαθέτει μία εναλλακτική μορφή ενέργειας (π.χ. φωτοβολταϊκά κύτταρα για τη συλλογή ηλιακής ενέργειας) ώστε να του παρέχεται η δυνατότητα επαναφόρτισης της μπαταρίας του.



Εικόνα 7: Τα κύρια συστατικά ενός κόμβου αισθητήρα

<sup>3</sup> Στο εξής: RAM

## 1.Ελεγκτής

Ο ελεγκτής αποτελεί τον πυρήνα ενός ασύρματου κόμβου αισθητήρα. Συλλέγει τα δεδομένα από τους αισθητήρες, τα επεξεργάζεται, αποφασίζει πότε και πού θα τα στείλει, λαμβάνει δεδομένα από άλλους κόμβους και αποφασίζει σχετικά με τη συμπεριφορά του αισθητήρα. Ακόμη, εκτελεί διάφορα προγράμματα που κυμαίνονται από την κρίσιμη στο χρόνο επεξεργασία σήματος και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας μέχρι και τα προγράμματα εφαρμογής. Επίσης, αποτελεί τη μονάδα κεντρικής επεξεργασίας του κόμβου. Μία τέτοια ποικιλία καθηκόντων μπορεί να εκτελεστεί σε διάφορες αρχιτεκτονικές ελεγκτών, που αντιπροσωπεύουν τις ανταλλαγές μεταξύ της ευελιξίας, της απόδοσης, της ενεργειακής αποδοτικότητας και των δαπανών. Μία λύση είναι η χρήση επεξεργαστών γενικού σκοπού, όπως αυτούς που συναντάμε στους υπολογιστές γραφείου. Αυτοί οι επεξεργαστές, όμως, τροφοδοτούνται με μεγάλα ποσά ενέργειας και έτσι η κατανάλωση είναι απαγορευτική για τα ΑΔΑ. Η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη λύση είναι οι μικροελεγκτές που διαθέτουν χαρακτηριστικά όπως είναι η ευελιξία σύνδεσής τους με άλλες συσκευές (όπως αισθητήρες), το σύνολο εντολών τους είναι κατάλληλο για επεξεργασία σήματος ευαίσθητη στο χρόνο και το πιο σημαντικό ότι δεν απαιτούν μεγάλα ποσά ενέργειας. Στο τελευταίο χαρακτηριστικό αξίζει να προστεθεί το γεγονός ότι μπορούν να εισέρχονται σε μία κατάσταση ύπνου (sleep-state) στην οποία βρίσκονται σε λειτουργία μόνο κάποια κομμάτια του ελεγκτή, καταναλώνοντας ακόμα λιγότερη ενέργεια. Χαρακτηριστικά, δηλαδή, που τους καθιστούν κατάλληλους για τα ενσωματωμένα συστήματα. Επίσης, έχουν ενσωματωμένη μνήμη καθώς και μπορούν να προγραμματιστούν εύκολα, κάτι που τους προσφέρει ιδιαίτερη ευελιξία. Συμπεραίνουμε, λοιπόν, ότι οι μικροελεγκτές είναι κατάλληλοι για τα ΑΔΑ.

## 2.Μνήμη

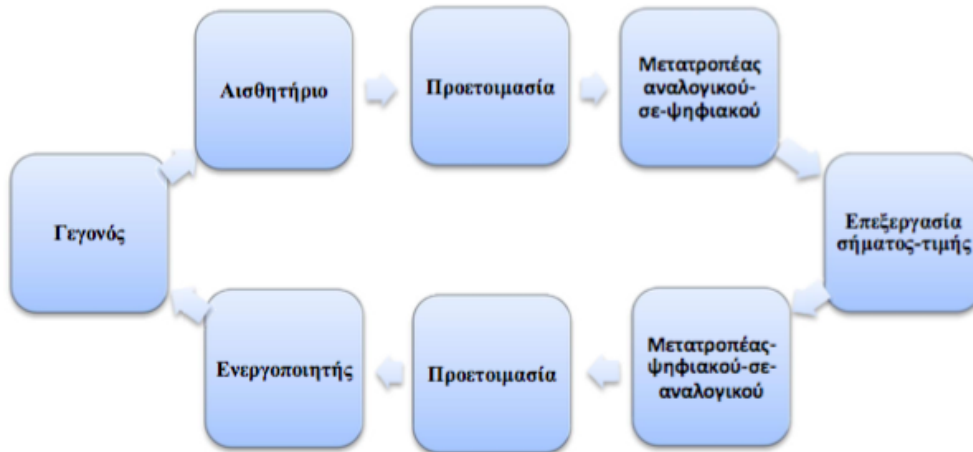
Όσον αφορά τη μνήμη, προφανώς ο κόμβος αισθητήρων χρειάζεται μια μνήμη τυχαίας προσπέλασης για να αποθηκεύει τα δεδομένα που ανιχνεύει, τα πακέτα από άλλους κωδικούς κ.τ.λ. Αν και η RAM είναι γρήγορη, το κύριο μειονέκτημά της είναι ότι χάνει τα περιεχόμενά της αν διακοπεί η τροφοδοσία ενέργειας. Ο κώδικας του προγράμματος μπορεί να αποθηκευτεί στη ROM ή πιο τυπικά στην EEPROM ή στη μνήμη flash. Η μνήμη flash μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως ενδιάμεσος αποθήκη για τα δεδομένα σε περίπτωση που η RAM είναι ανεπαρκής ή η τροφοδοσία έχει διακοπεί για κάποιο χρονικό διάστημα. Οι καθυστερήσεις προσπέλασης της μνήμης flash και η υψηλή απαίτηση ενέργειας πρέπει να ληφθούν υπόψη στις επιλογές μνήμης. Η σωστή επιλογή του μεγέθους των μνημών, ειδικά της RAM, μπορεί να είναι κρίσιμη αναφορικά με το κόστος παραγωγής και την κατανάλωση ενέργειας. Εντούτοις, δεν μπορούν να διατυπωθούν γενικοί κανόνες σχετικά με το κατάλληλο μέγεθος της μνήμης, καθώς οι απαιτήσεις της εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την εκάστοτε εφαρμογή. (Karl και Willing, 2005).

## 3.Αισθητήρες

Η αίσθηση είναι μία τεχνική που χρησιμοποιούμε για να συγκεντρώσουμε πληροφορίες για ένα φυσικό αντικείμενο που περιλαμβάνει την εμφάνιση ενός γεγονότος, για παράδειγμα την αλλαγή κάποιας κατάστασης όπως η άνοδος της θερμοκρασίας ή της υγρασίας ή την έναρξη πυρκαγιάς. Οι αισθητήρες αποτελούν την πραγματική διεπαφή με το φυσικό κόσμο και είναι συσκευές που χρησιμοποιούνται για την παρατήρηση ή τον έλεγχο των φυσικών παραμέτρων του περιβάλλοντος. Ένας άλλος όρος που χρησιμοποιείται είναι αυτός του μορφοτροπέα (transducer) που χρησιμοποιείται συχνά για να περιγράψει μία συσκευή η οποία μετατρέπει ενέργεια από μία μορφή σε μία άλλη. Ο αισθητήρας, λοιπόν, μπορούμε να πούμε ότι είναι ένα είδος μορφοτροπέα που μετατρέπει την ενέργεια του φυσικού κόσμου σε ηλεκτρική, δηλαδή σε ενέργεια που



μπορεί να αντιληφθεί ένα σύστημα υπολογισμού όπως είναι ένας ελεγκτής. Το αποτέλεσμα αυτού του ηλεκτρικού σήματος συνήθως δεν είναι έτοιμο για άμεση επεξεργασία και χρειάζεται μια προετοιμασία, π.χ. ένα φίλτρο θορύβου. Μετά την προετοιμασία αυτή το αναλογικό αυτό σήμα έχει πλέον μετατραπεί σε ψηφιακό χρησιμοποιώντας έναν μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακού σήματος (ADC). Μερικοί αισθητήρες περιλαμβάνουν επίσης ενεργοποιητές (actuators) που τους επιτρέπουν να ελέγχουν τον φυσικό κόσμο (π.χ. ένας ενεργοποιητής μπορεί να είναι μία βαλβίδα που ελέγχει τη ροή του νερού ανάλογα με την θερμοκρασία του) (Dargie και Poellabauer, 2010).



Εικόνα 8: Διαδικασία επεξεργασίας ενός γεγονότος

Κατά την επιλογή ενός αισθητήρα είναι πολύ σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη οι απαιτήσεις της εφαρμογής για την οποία θα αναπτυχθεί το δίκτυο, ο ρυθμός δειγματοληψίας του αισθητήρα και οι απαιτήσεις σε τάση και ενέργεια.

Οι αισθητήρες μπορεί να χωριστούν σε τρεις κύριες κατηγορίες:

1. Παθητικοί πανκατευθυντικοί αισθητήρες: Αυτοί οι αισθητήρες είναι σε θέση να μετρήσουν μία φυσική ποσότητα χωρίς να εμβαθύνουν στη μελέτη του περιβάλλοντος και έτσι από την άποψη αυτή είναι παθητικοί. Κάποιοι από αυτούς τους αισθητήρες είναι επίσης αυτό-τροφοδοτούμενοι με την έννοια ότι αντλούν την ενέργεια που χρειάζονται από το περιβάλλον. Σε αυτές τις μετρήσεις των κόμβων αυτών δεν υπάρχει η ιδέα της κατεύθυνσης. Τυπικά παραδείγματα τέτοιων αισθητήρων αποτελούν τα θερμόμετρα, οι αισθητήρες φωτός, τα μικρόφωνα, οι χημικοί αισθητήρες που είναι ευαίσθητοι σε συγκεκριμένες ουσίες, οι ανιχνευτές καπνού κ.τ.λ.
2. Παθητικοί στενής δέσμης αισθητήρες: Αυτοί οι αισθητήρες είναι παθητικοί, όμως σε αντίθεση με την προηγούμενη κατηγορία έχουν την αίσθηση της κατεύθυνσης στις μετρήσεις τους. Ένα τυπικό παράδειγμα είναι η κάμερα η οποία «παίρνει μετρήσεις» με βάση μια συγκεκριμένη κατεύθυνση, αλλά μπορεί και να περιστραφεί αν αυτό είναι απαραίτητο.
3. Ενεργοί αισθητήρες: Η τελευταία κατηγορία αισθητήρων μελετά ενεργά το περιβάλλον όπως για παράδειγμα ένας αισθητήρας sonar ή ένας αισθητήρας ραντάρ και κάποιοι τύποι αισθητήρων σεισμού που παράγουν κύματα δονήσεων με τη βοήθεια μικρών εκρήξεων.

Πρακτικά οι αισθητήρες όλων των παραπάνω τύπων είναι διαθέσιμοι σε πολλές διαφορετικές μορφές και παρουσιάζουν ιδιαιτερότητες. Κάποια προφανή μειονεκτήματα είναι η ακρίβεια αίσθησης, η κατανάλωση ενέργειας, το κόστος και το μέγεθος.

Γενικότερα, η περισσότερη θεωρητική δουλειά σε ΑΔΑ θεωρεί παθητικούς μη κατευθυντικούς αισθητήρες. Μια υπόθεση που υπάρχει γενικότερα στην υπάρχουσα βιβλιογραφία είναι ότι κάθε κόμβος έχει μια περιοχή κάλυψης όπου μπορεί αξιόπιστα και με ακρίβεια να αναφέρει την πληροφορία που ανίχνευσε. Αν και αυτή η υπόθεση μπορεί να θεωρηθεί υπερβολική, μπορεί να είναι και αρκετά πρακτική. Είναι πολλές φορές δυνατόν να υποθέσουμε με βάση τις γνώσεις για κάποια εφαρμογή, ότι κάποιες φυσικές ποσότητες μεταβάλλονται γρηγορότερα ή λιγότερο γρήγορα με την απόσταση. Για παράδειγμα, η θερμοκρασία ή η πίεση είναι αδύνατον στις περισσότερες φορές να είναι διαφορετικές σε απόσταση μερικών μέτρων. Έτσι, επιτρέποντας κάποιες αναπόφευκτες ανακρίβειες κατά τις μετρήσεις, μπορούμε να θεωρήσουμε μία ακτίνα κάλυψης μέσα στην οποία οι τιμές του κόμβου αισθητήρων θεωρούνται έγκυρες.

#### 4. Παροχή ενέργειας

Δεδομένου ότι συνήθως δεν είναι διαθέσιμη κάποια πηγή που παρέχει μόνιμα ενέργεια, κρίνεται αναγκαία η χρήση κάποιας μορφής μπαταριών για να συνεχιστεί η παροχή ενέργειας. Υπάρχουν οι απλές μπαταρίες που μπορεί να είναι ή να μην είναι επαναφορτιζόμενες και οι μη συμβατικές ενεργειακές αποθήκες. Μερικές φορές, είναι δυνατόν ο κόμβος, εφόσον φυσικά διαθέτει την κατάλληλη υποδομή, να λάβει ενέργεια από το περιβάλλον (π.χ. μέσω ηλιακών κυττάρων, φωτοβολταϊκών και ροής του αέρα/υγρών). Καθώς οι απαιτήσεις των κόμβων σε ενέργεια μειώνονται, να μπορούν να αναπληρώνουν την ενέργεια που καταναλώνουν αντλώντας την από το περιβάλλον. Ήδη πολλά σχήματα έχουν προταθεί για να μετατρέπουν την ενέργεια του περιβάλλοντος σε ηλεκτρική. Η ενέργεια που θα συσσωρεύεται με αυτό τον τρόπο μπορεί να χρησιμοποιείται και να αποθηκεύεται στα ηλεκτρικά κυκλώματα του κόμβου και έτσι δεν θα υπάρχει πλέον η ανάγκη για χρήση μπαταριών. Κάποιες από τις δημοφιλείς πηγές ενέργειας από το περιβάλλον περιλαμβάνουν την ηλιακή ενέργεια και τις μηχανικές δονήσεις (Armitrtharajah και Chandrakasan, 1998). Στους περισσότερους τύπους δικτύων αισθητήρων, τα στοιχεία που προσφέρουν ενέργεια σε έναν κόμβο αισθητήρων θεωρούν τα σημαντικότερα στοιχεία του κόμβου, δεδομένου ότι αυτά καθορίζουν τη διάρκεια ζωής του. Κατά συνέπεια, είναι ουσιαστικό να χρησιμοποιηθούν ενεργειακά αποδοτικοί αλγόριθμοι, προκειμένου να παρατείνεται η διάρκεια ζωής των δικτύων αισθητήρων (Kredo και Mohapatra, 2007). Κάθε ένα από τα μέρη αυτά πρέπει να λειτουργεί εξισορροπώντας από τη μία την ανάγκη για όσο το δυνατόν μικρότερη κατανάλωση ενέργειας και, από την άλλη την ανάγκη για εκπλήρωση των καθηκόντων τους. Π.χ. τόσο η συσκευή επικοινωνίας, όσο και ο ελεγκτής πρέπει να παραμένουν άνεργοι για όσο δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Το πρώτο μέλημα είναι ο διαχωρισμός των καθηκόντων και των λειτουργιών σε έναν κόμβο, η αρχιτεκτονική δηλαδή του λειτουργικού συστήματος ή το runtime περιβάλλον. Αυτό το περιβάλλον πρέπει να υποστηρίζει την ανάθεση νέων καθηκόντων, την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των επιπέδων και τη διαμόρφωση που θα καθιστά δυνατή την απλή συντήρηση. Αυτή η αρχιτεκτονική λογισμικού σε έναν κόμβο πρέπει να επεκταθεί σε μία δικτυακή αρχιτεκτονική, όπου στόχος τώρα θα είναι κατανομή καθηκόντων μεταξύ των κόμβων, όχι μόνο μέσα σε ένα κόμβο, και η εύρεση καθηκόντων σε ερωτήματα του τύπου πώς πρέπει να δομηθούν οι διεπαφές για τους προγραμματιστές εφαρμογών (Kredo και Mohapatra, 2007).

#### 5. Επικοινωνία

Η συσκευή επικοινωνίας (communication device) είναι απαραίτητη για την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των κόμβων του δικτύου. Σε σπάνιες περιπτώσεις μπορεί να προτιμάται η ενσύρματη επικοινωνία .

Ο ασύρματος τρόπος επικοινωνίας παρουσιάζει μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Η πρώτη επιλογή που πρέπει να κάνουμε σε αυτή την περίπτωση είναι αυτή του ασύρματου

μέσου. Η επιλογή αυτή περιλαμβάνει τις ραδιοσυχνότητες, την οπτική επικοινωνία ή τον υπέρηχο. Άλλα μέσα όπως η μαγνητική επαγωγή χρησιμοποιούνται σε πολύ ειδικές περιπτώσεις. Από τις παραπάνω επιλογές η επικοινωνία με ραδιοσυχνότητες (RF) ταιριάζει περισσότερο σε εφαρμογές ΑΔΑ. Για την επικοινωνία σε πραγματικές συνθήκες, ένας κόμβος αισθητήρων πρέπει να διαθέτει ένα πομπό και ένα δέκτη. Ουσιαστικά, ο στόχος είναι να μετατραπεί μια αλληλουχία από bit, η οποία παρέχεται από έναν μικροελεγκτή, σε ραδιοκύματα και το αντίστροφο. Για πρακτικούς λόγους, είναι συνήθως καταλληλότερο να χρησιμοποιείται μία συσκευή που συνδυάζει και τους δύο αυτούς στόχους σε μία έννοια οντότητα. Αυτές οι σύνθετες συσκευές ονομάζονται πομποδέκτες. Συνήθως, πραγματοποιείται ημιαμφίδρομη λειτουργία, καθώς η ταυτόχρονη λήψη και εκπομπή είναι πρακτική στα ασύρματα μέσα. Πολλοί πομποδέκτες μπορεί να βρεθούν στις εξής λειτουργικές καταστάσεις:

- 1.Κατάσταση εκομπής:** Στην κατάσταση αυτή, το τμήμα μετάδοσης του πομποδέκτη είναι ενεργό και η κεραία ακτινοβολεί ενέργεια.
- 2.Κατάσταση λήψης:** Στην κατάσταση αυτή, είναι ενεργό μόνο το τμήμα λήψης του πομποδέκτη.
- 3.Μερικώς ενεργή λήψη:** Στην κατάσταση αυτή, ενώ ο πομποδέκτης είναι ενεργός και συνεπώς έτοιμος να λάβει δεδομένα, δεν λαμβάνει τίποτα. Στην κατάσταση αυτή, πολλά μέρη του κινήματος λήψης του κυκλώματος παραμένουν ενεργά, ενώ εκείνα που έχουν στόχο τον εντοπισμό μπορούν να παραμένουν κλειστά και να ενεργοποιηθούν μόνο σε περίπτωση λήψης.

### 2.8.3 Εφαρμογές

Η ραγδαία ανάπτυξη των μικροηλεκτρονικών συστημάτων και της ασύρματης επικοινωνίας έχει δημιουργήσει φθηνούς αισθητήρες χαμηλής κατανάλωσης. Αυτοί οι αισθητήρες είναι ικανοί να ανιχνεύσουν διάφορες φυσικές πληροφορίες, όπως θερμοκρασία, πίεση, κίνηση κ.α. Ένα τυπικό δίκτυο αισθητήρων αποτελείται από εκατοντάδες ως χιλιάδες τέτοιους κόμβους που συνδέονται είτε με ενσύρματο είτε με ασύρματο μέσο.

Τα δίκτυα αισθητήρων έχουν δημιουργήσει καινούρια παραδείγματα αξιόπιστων παρακολούθησεων. Τα ασύρματα δίκτυα υπερτερούν των ενσύρματων στη χρησιμοποίηση πιο φθηνών αισθητήρων και στην έλλειψη καλωδίωσης. Ορισμένα από τα πλεονεκτήματα των ΑΔΑ παρουσιάζονται παρακάτω:

- Ανάπτυξη οπουδήποτε και οποτεδήποτε. Τα ασύρματα δίκτυα περιέχουν κόμβους που δεν χρειάζονται ανθρώπινη παρακολούθηση για τη σωστή λειτουργία τους. Η τοποθέτηση των κόμβων μπορεί να γίνει και στις πιο επικίνδυνες περιοχές, ενώ η αποστολή τους μπορεί να επιτευχθεί σε οποιοδήποτε χρόνο.
- Μεγαλύτερη αντοχή στα σφάλματα: Αυτό επιτυγχάνεται με την πυκνή ανάπτυξη του δικτύου ΑΔΑ. Αν ένα μικρό ποσοστό κόμβων σταματήσει να λειτουργεί, τότε το δίκτυο μπορεί ακόμα να παράγει ικανοποιητικά αποτελέσματα.
- Βελτιωμένη ακρίβεια: Ένας μικρός αριθμός μικροσκοπικών κόμβων μπορεί να έχει μεγαλύτερη ακρίβεια από έναν μεγαλύτερο κόμβο.
- Μικρότερο κόστος: Λόγω του μικρότερου μεγέθους και της χαμηλότερης τιμής, ένα δίκτυο ΑΔΑ είναι πιο οικονομικό από τα ενσύρματα δίκτυα αισθητήρων. Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει την τιμή του δικτύου είναι η ευκολία ανάπτυξής τους.

Τα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να ελέγχουν μια μεγάλη ποικιλία φυσικών χαρακτηριστικών, όπως είναι [1]:

- Θερμοκρασία
- Υγρασία
- Φωτεινότητα
- Πίεση
- Κίνηση αντικειμένου
- Σύσταση εδάφους
- Επίπεδο θορύβου
- Παρουσία συγκεκριμένου αντικειμένου

Χαρακτηριστικά αντικειμένου όπως βάρος, μέγεθος, ταχύτητα, κατεύθυνση κίνησης και την τελευταία θέση.

Λόγω της αξιοπιστίας, της αυτοδυναμίας, της ευελιξίας και της ευκολίας της επέκτασης των ΑΔΑ, υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία από εφαρμογές. Σε αυτό συμβάλλει ιδιαίτερα και το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό τους, ότι δηλαδή μπορούν εφαρμοστούν σε περιβάλλον με σχεδόν οποιοσδήποτε συνθήκες, όπως σε πεδία μάχης, σε βαθείς ωκεανούς κ.α. Για το λόγο αυτό, πολλές φορές κρίνεται αναγκαία η χρήση προστατευτικών καλυμμάτων (Εικόνα 9).



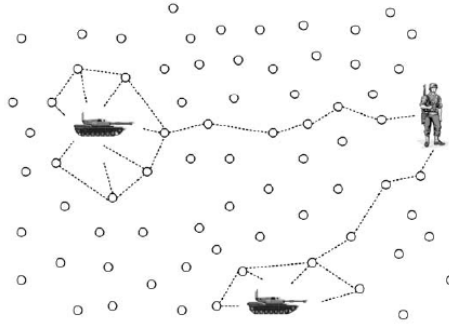
**Εικόνα 9: Προστατευτικά καλύμματα κόμβων αισθητήρων**

### **Στρατιωτικές εφαρμογές**

Τα δίκτυα αισθητήρων έχουν γίνει αναπόσπαστο κομμάτι των στρατιωτικών επιχειρήσεων στα συστήματα διαταγών, ελέγχου, επικοινωνιών, υπολογισμών, πληροφοριών, επίβλεψης, αναγνώρισης και στόχευσης. Στο πεδίο της μάχης, δημιουργείται μια τάση οι στόχοι να γίνονται μικρότεροι σε μέγεθος, λιγότερο αναγνωρίσιμοι, με μεγαλύτερη ταχύτητα και να κινούνται συνήθως σε πολύ εχθρικό περιβάλλον. Για να μπορέσουμε να γνωρίζουμε τη θέση και τη δύναμη των εχθρικών δυνάμεων, μπορούμε να τοποθετήσουμε πυκνές παρατάξεις αισθητήρων κοντά στον υποτιθέμενο στόχο. Λόγω των ικανοτήτων τους να είναι μη ελεγχόμενοι από ανθρώπους, της εύκολης ανάπτυξης, της αυτό-οργάνωσης αλλά και της αντοχής σε σφάλματα, τα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να παρέχουν άφθονα και διασταυρωμένα δεδομένα χωρίς την υποστήριξη φίλιων δυνάμεων. Επίσης, οι αισθητήρες μπορεί να διασπαρθούν με αεροπορικά μέσα, με πυραύλους και τορπίλες ώστε να ξεπεράσουν κάποια εμπόδια και να οδηγηθούν στο ακριβές σημείο ανίχνευσης για την πιο αποτελεσματική εκπλήρωση της αποστολής τους. Η καταστροφή ορισμένων από τους αισθητήρες δεν επηρεάζει τη στρατιωτική επιχείρηση σε τέτοιο βαθμό, λόγω της πυκνής ανάπτυξης και της δυνατότητας αυτό-οργάνωσης. Ορισμένες χαρακτηριστικές εφαρμογές των δικτύων αισθητήρων είναι οι παρακάτω:

- Παρακολούθηση εξοπλισμού και πυρομαχικών των φίλιων δυνάμεων.
- Παρακολούθηση του πεδίου της μάχης.
- Αναγνώριση των εχθρικών δυνάμεων και του εδάφους.

- Κατάδειξη στόχων.
- Εκτίμηση ζημιών.
- Ανίχνευση και αναγνώριση μολυσμένης περιοχής



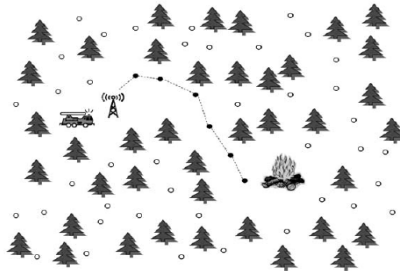
Εικόνα 10: Αναγνώριση εχθρικών δυνάμεων

### Περιβαλλοντικές εφαρμογές

Με τη διασπορά χιλιάδων μικροσκοπικών αισθητήρων σε μια γεωγραφική περιοχή, μπορούμε να παρακολουθούμε ή να ελέγχουμε το περιβάλλον. Έτσι μπορούμε να ανιχνεύουμε πλημμύρες, να επιβλέπουμε τον αέρα και την παροχή νερού, να ελέγχουμε τοπικά το κλίμα, να επιβλέπουμε τις καλλιέργειες για πιθανό κίνδυνο καταστροφών, να ανιχνεύουμε πυρκαγιές, να εξερευνούμε για αποθέματα μεταλλευμάτων κ.ά. Ορισμένα αντιπροσωπευτικά παραδείγματα είναι τα παρακάτω:

- Έλεγχος οικοσυστήματος. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των δικτύων αισθητήρων (αυτό-οργάνωση, έλλειψη ελέγχου από τον άνθρωπο, πυκνή ανάπτυξη) επιτρέπουν την χρησιμοποίησή τους στον έλεγχο των οικοσυστημάτων γιατί παρέχουν πληροφορίες σε πολλές περιβαλλοντολογικές καταστάσεις. Εξασφαλίζεται έτσι η μακροχρόνια αναγνώριση, καταγραφή και ανάλυση των ενδιαφερόμενων γεγονότων. Η μακροχρόνια συλλογή δεδομένων μπορεί να βοηθήσει τους επιστήμονες να αναγνωρίσουν, εντοπίσουν και ανιχνεύσουν φαινόμενα σε περιοχές ενδιαφέροντος.
- Έλεγχος κλίματος σε μεγάλα κτηριακά συγκροτήματα. Η συνεχής δημιουργία όλο και μεγαλύτερων κτηρίων και εγκαταστάσεων (όπως εμπορικών κέντρων, ουρανοξυστών κ.ά.), έχει δημιουργήσει την ανάγκη για καλύτερο έλεγχο του κλίματος στο εσωτερικό τους. Έτσι, μία περιήγηση σε ένα μεγάλο εμπορικό κέντρο μας δείχνει ότι η θερμοκρασία δεν είναι παντού ιδανική, π.χ. αλλού είναι χαμηλή και αλλού υψηλή, αλλού έχει υψηλότερη υγρασία και αλλού όχι. Για αυτούς και για άλλους λόγους υγιεινής πρέπει να εξασφαλίσουμε ένα ευχάριστο χώρο. Η δημιουργία τόσο ενσύρματων όσο και ασύρματων δικτύων σε αυτούς τους χώρους είναι ένας τρόπος ανίχνευσης και αντιμετώπισης των προβλημάτων που αναφέραμε. Συνήθως προτιμάται η ανάπτυξη ΑΔΑ διότι είναι πιο εύκαμπτα από τα ενσύρματα.
- Ανίχνευση φωτιάς σε ακαλλιέργητο έδαφος. Παρόλα τα σημαντικά μέτρα που λαμβάνονται για την ανίχνευση φωτιάς, οι φωτιές σε ακαλλιέργητες και δασικές περιοχές δημιουργούν κάθε χρόνο μεγάλες καταστροφές, τόσο σε άψυχο όσο και έμψυχο υλικό. Επειδή οι καιρικές συνθήκες κατά τη διάρκεια μιας φωτιάς είναι προβλέψιμες, μπορούμε εύκολα να προβλέψουμε την ύπαρξη μιας πυρκαγιάς κατά την περίοδο επικινδυνότητας για φωτιά. Λόγω της τυχαίας και της πυκνής ανάπτυξής τους, τα δίκτυα αισθητήρων είναι μια καλή επιλογή για την ανίχνευση και την αναφορά για φωτιά. Διασκορπίζοντας μαζικά δίκτυα

αισθητήρων σε επικίνδυνες περιοχές μπορεί να γίνει πιο αποδοτική η ειδοποίηση για φωτιά και η προέλευσή της.

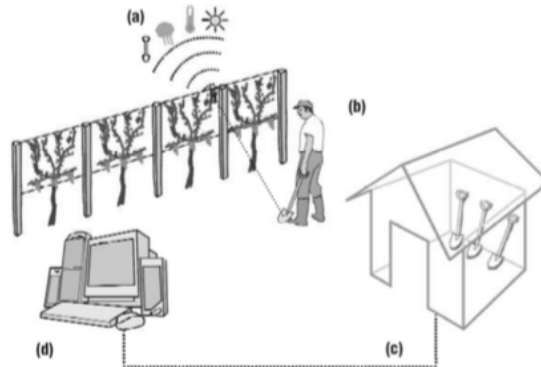


Εικόνα 11: Πυρανίχνευση με ΑΔΑ

### Γεωργικές εφαρμογές

Μερικές σημαντικές εφαρμογές των ασύρματων δικτύων αισθητήρων στην γεωργία σχετίζονται με την ποιοτική και ποσοτική αναβάθμιση της αγροτικής παραγωγής. Μπορούν να χρησιμοποιούν αισθητήρες, που τους επιτρέπουν να παρακολουθούν τα ακριβή επίπεδα του πόσιμου νερού, τη διάβρωση του εδάφους, τη θερμοκρασία, την υγρασία και το βαθμό μόλυνσης του αέρα σε πραγματικό χρόνο. Παίρνοντας αποφάσεις για την ορθολογική ρίψη στις φυτείες λιπασμάτων, εντομοκτόνων, νερού όποτε, όπου και σε όση ποσότητα κρίνεται αναγκαίο.

Μια εφαρμογή στην αμπελουργία είναι ο έξυπνος αμπελώνας. Στον έξυπνο αμπελώνα, οι αισθητήρες ελέγχουν τις θρεπτικές ουσίες σε φυτά και έδαφος, κρατούν τις αμπέλους απαλλαγμένες από τα παράσιτα, εντοπίζουν την υγρασία και ειδοποιούν για τις περιοχές όπου απαιτείται πότισμα. Επίσης, το πρόγραμμα λαμβάνει πληροφορίες από εκείνους που φροντίζουν τα αμπέλια, καλλιεργούν το χώμα και μαζεύουν τα σταφύλια καθώς και δεδομένα για τις ανάγκες των ιδιοκτητών των αμπελώνων, των οινοπαραγωγών και των πωλητών κρασιού. ε τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται, τόσο η αύξηση της παραγωγής, όσο και η ποιοτική βελτίωση του παραγόμενου κρασιού.



Εικόνα 12: Εφαρμογή ΑΔΑ στην αμπελουργία

### Εφαρμογές πρόληψης καταστροφών

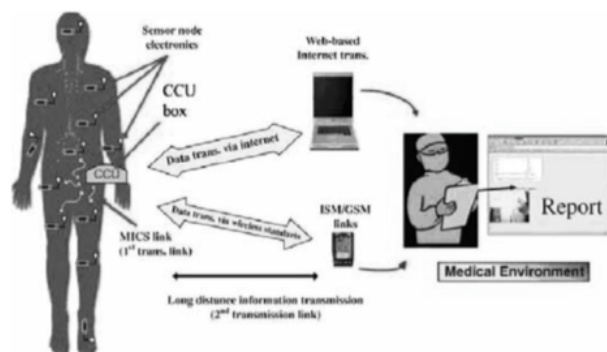
Τα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να είναι αποτελεσματικά σε επείγουσες καταστάσεις και σε περιοχές που έχουν καταστραφεί. Η ακριβής ανίχνευση μιας περιοχής που εκτελείται από τα δίκτυα αισθητήρων μπορεί να είναι κρίσιμη σε επιχειρήσεις διάσωσης, όπως για την ανεύρεση θυμάτων, την εκτίμηση κινδύνου και την αναγνώριση ή τον εντοπισμό παγιδευμένου προσωπικού. Για παράδειγμα, τα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να αναπτυχθούν σε μεγάλα κτίρια κατά την κατασκευή των κτιρίων, να ριχτούν στην περιοχή διάσωσης, ή να χρησιμοποιηθούν ήδη τοποθετημένοι αισθητήρες σε μια περιοχή που έχει καταστραφεί. Είναι επίσης χρήσιμο να αναπτυχθούν δίκτυα αισθητήρων για αποστολές ανίχνευσης μακράς διάρκειας, όπως για την ανίχνευση και

παρακολούθηση αστοχίας υλικού, ώστε να παρθούν κατάλληλα μέτρα για την αποφυγή ατυχημάτων. Ένα άλλο παράδειγμα είναι οι υδατοστεγείς υποβρύχιοι αισθητήρες (underwater sensors), οι οποίοι μπορούν να ανιχνεύσουν την τοποθεσία βυθισμένων σκαφών και μπορούν να δώσουν σημαντικές πληροφορίες για τη διάσωση πληρωμάτων. Επίσης, οι υποβρύχιοι αισθητήρες μπορούν να αναφέρουν διαρροή πετρελαίου ή άλλων τοξικών ουσιών στην θάλασσα από κάποιο παρακείμενο ναυάγιο.

### Ιατρικές εφαρμογές

Τα δίκτυα αισθητήρων είναι χρήσιμα στην παροχή άμεσης και αποτελεσματικής ιατρικής βοήθειας και θα οδηγήσουν σε ένα πιο υγιές περιβάλλον για τον άνθρωπο. Ορισμένες από τις χρήσεις σ' αυτό το πεδίο περιλαμβάνουν:

- Απομακρυσμένη ανίχνευση ιών. Πολλές περιοχές, βασανιζόμενες από ασθένειες, είναι φτωχές σε αξιόπιστες τηλεπικοινωνίες. Η ανάπτυξη μεγάλου αριθμού ασύρματων αισθητήρων σε τέτοιες περιοχές, μπορεί να βοηθήσει στη συλλογή και μετάδοση σημαντικών πληροφοριών, όπως μια ασθένεια και τα χαρακτηριστικά του μολυσμένου πληθυσμού, η αναγνώριση χαρακτηριστικών της περιοχής, ο έλεγχος περιβαλλοντολογικών συνθηκών όπως η υγρασία και το ύψος της βροχής που επιτρέπουν την εξάπλωση ιών και νοσογόνων οργανισμών. Τα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη ξεσπάσματος πολλών μεταδοτικών ασθενειών, όπως είναι η ελονοσία.
- Ολοκληρωμένη παρακολούθηση ασθενών. Η χρήση συσκευών αισθητήρων για την ανίχνευση πιθανών μολυσμένων ατόμων μπορεί να είναι μια αποτελεσματική μέθοδος για την αποφυγή εξάπλωσης μεταδοτικών ασθενειών. Επιπλέον, οι γηραιότεροι πολίτες μπορούν να φέρουν ασύρματους αισθητήρες οι οποίοι παρακολουθούν συνεχώς τους χτύπους της καρδιάς, την πίεση κ.ά. Σε αντικανονικές καταστάσεις, ένας προειδοποιητικός ήχος υπενθυμίζει τον ασθενή να ειδοποιήσει τον γιατρό του ή μία αυτόματη υπενθύμιση στέλνεται στο κέντρο υγείας. Επιπλέον τα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση της εύρυθμης λειτουργίας ενός νοσοκομείου ή ενός κέντρου υγείας. Έτσι, αισθητήρες τοποθετούνται σε καίρια σημεία των κτιρίων ώστε να ελέγχουν την παροχή ρεύματος, την παροχή οξυγόνου, την θερμοκρασία δωματίων κ.ά.



Εικόνα 13: Εφαρμογές ΑΔΑ στην ιατρική

### Οικιακές εφαρμογές

Τα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο στη δημιουργία ενός πιο βολικού και έξυπνου χώρου διαμονής για τον άνθρωπο. Ορισμένες χρήσιμες εφαρμογές δίδονται παρακάτω:



- Καταμέτρηση αγαθών από απόσταση: Τα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην καταμέτρηση εξ' αποστάσεως των αγαθών γενικής χρήσης (όπως το νερό, ο ηλεκτρισμός κ.ά.) και στη συνέχεια να μεταδώσουν τα αποτελέσματα μέσω ασύρματων συνδέσεων. Ένα απλό παράδειγμα αυτής της χρήσης είναι η τοποθέτηση ασύρματων αισθητήρων στα παρκόμετρα που θα ειδοποιούν τους χρήστες τους για την λήξη του χρόνου παρκαρίσματος.
- Έξυπνος χώρος: Με τις σύγχρονες τεχνολογικές ανακαλύψεις, γίνεται δυνατή η ενσωμάτωση διάφορων ασύρματων αισθητήρων σε έπιπλα και οικιακές συσκευές, οι οποίοι να συνεργάζονται μεταξύ τους και να δημιουργούν ένα αυτόνομο δίκτυο. Για παράδειγμα, ένα έξυπνο ψυγείο μπορεί δημιουργήσει ένα μενού ανάλογα με τα υπάρχοντα αγαθά που υπάρχουν και να μεταδώσει τις σχετικές παραμέτρους ψησίματος σε ένα έξυπνο φούρνο ο οποίος θα επιλέξει την κατάλληλη θερμοκρασία και τον χρόνο ψησίματος.

### **Εφαρμογές επίβλεψης**

Η άμεση και από απόσταση επίβλεψη αποτελεί έναν σημαντικό τομέα όπου έχουν εφαρμογή τα συστήματα αισθητήρων. Για παράδειγμα, ένας μεγάλος αριθμός ακουστικών αισθητήρων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ανιχνευθούν και να ανακαλυφθούν στόχοι και εισβολείς σ' έναν ορισμένο χώρο ασφαλείας. Τα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να αναπτυχθούν σε μεγάλα κτίρια, κατοικημένες περιοχές, αεροδρόμια, σιδηροδρομικούς σταθμούς κ.α. για να ανιχνεύουν εισβολείς και να αναφέρουν στο κέντρο ελέγχου άμεσα ώστε η ανακάλυψη τους να γίνει γρήγορα. Παρόμοια, η ανάπτυξη αισθητήρων καπνού σε στρατηγικά επιλεγμένες θέσεις των σπιτιών, γραφείων ή εργοστασίων είναι σημαντική στην πρόληψη κατά των πυρκαγιών και στην ανίχνευση της εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς.

### **Εφαρμογές στις συγκοινωνίες**

Στον χώρο των μεταφορών και συγκοινωνιών τα τελευταία χρόνια παρατηρούμε μια μεγάλη αξιοποίηση των τεχνολογιών της ηλεκτρονικής και πληροφορικής όπως τα ΑΔΑ. Υπάρχουν πολλές έρευνες για το πώς τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον καλύτερο έλεγχο της κυκλοφορίας οχημάτων στις λεγόμενες έξυπνες λεωφόρους καθώς και μια αυξανόμενη τάση τα οχήματα να ενσωματώνουν όλο και περισσότερους αισθητήρες. Τα οχήματα ανταλλάσσουν πληροφορίες για διάφορες συνθήκες που συναντά ο προπορευόμενος όπως: ολισθηρό οδόστρωμα, απότομο φρενάρισμα, μπουτιλιαρίσματα, έργα στο οδόστρωμα κτλ. με σκοπό την προώθηση της ασφαλούς οδήγησης, της μείωσης των ατυχημάτων, του ελέγχου των ορίων ταχύτητας και του συγκοινωνιακού φόρτου, αλλά και της πιο ξεκούραστης οδήγησης. Προσδοκώμενο αποτέλεσμα είναι το κάθε όχημα να μετακινείται από μόνο του χωρίς να χρειάζεται η ανθρώπινη παρέμβαση σε συνεργασία με τα υπάρχοντα δίκτυα GPS.

### **Άλλες εφαρμογές**

Τα αυτο-ρυθμιζόμενα ΑΔΑ μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε πολλούς άλλους τομείς, όπως ο έλεγχος ρομπότ και εργοστασιακών λειτουργιών, στην έρευνα και αλλού. Σε αυτό συμβάλλουν πάλι τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά αυτών των δικτύων που τα κάνουν να υπερέχουν έναντι άλλων.



### 3. ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΚΑΛΥΨΗΣ ΣΤΑ ΑΔΑ

#### 3.1 Εισαγωγή

Η συγκεκριμένη εργασία επικεντρώνεται στο πρόβλημα κάλυψης στα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων. Η κάλυψη αποτελεί ένα θεμελιώδες ζήτημα έρευνας στα ΑΔΑ επειδή μπορεί να θεωρηθεί ως η μέτρηση της ποιότητας της υπηρεσίας ανίχνευσης από ένα δίκτυο αισθητήρων. Για παράδειγμα, για την ανίχνευση ενός δάσους κάποιος μπορεί να αναρωτηθεί το πόσο καλά το δίκτυο μπορεί να παρατηρήσει την δοθείσα περιοχή και ποιες είναι οι πιθανότητες του εντοπισμού έναρξης φωτιάς σε μια συγκεκριμένη περιοχή του δάσους στο δοθέν χρονικό διάστημα. Επιπλέον, η κάλυψη είναι και η προσπάθεια εύρεσης σημείων σε μία περιοχή που δεν ανιχνεύεται επαρκώς και θα πρέπει να γίνουν εισηγήσεις για βελτίωσή της στη συγκεκριμένη περιοχή. Στην πραγματικότητα, η κάλυψη περιέχει δύο βασικά σημεία [23]:

- Πώς θα αξιολογηθεί η κάλυψη όταν αισθητήρες έχουν παραταχθεί στην αντίστοιχη περιοχή και
- Πώς θα βελτιωθεί η κάλυψη όταν το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων δεν μπορεί να ικανοποιήσει επαρκώς τις απαιτήσεις που έχουν τεθεί.

Αρκετοί ερευνητές επί του παρόντος ασχολούνται με την ανάπτυξη λύσεων που να εκπληρώνουν διαφορετικές απαιτήσεις ενώ ακόμη έχουν προταθεί πολλοί αλγόριθμοι που σχετίζονται με την κάλυψη. Κάποιοι αλγόριθμοι επικεντρώνονται καθαρά σε προβλήματα κάλυψης ενώ άλλοι ενσωματώνουν κάποιες σκέψεις για βελτιστοποίηση της χρήσης των πόρων του δικτύου ή για την υποστήριξη των ειδικών απαιτήσεων της εφαρμογής (για παράδειγμα, συνδεσιμότητα του δικτύου, κατανάλωση ενέργειας) σε προβλήματα κάλυψης. Για την προσφορά εγγυημένης κάλυψης, το βασικό σημείο είναι η επίλυση του προβλήματος κάλυψης με επαρκείς πόρους και ενδεχομένως με την ενσωμάτωση διάφορων βελτιστοποιήσεων. Μεταξύ των πολυάριθμων προκλήσεων, κατά την σχεδίαση ενός αποτελεσματικού συστήματος κάλυψης, η διατήρηση της συνδεσιμότητας και της μεγιστοποίησης της διάρκειας ζωής του δικτύου αποτελούν μόνιμα τις πιο κρίσιμες προκλήσεις.

Το πρόβλημα της κάλυψης επικεντρώνεται σε μία θεμελιώδη ερώτηση [23]: «Πόσο καλά οι αισθητήρες παρατηρούν τον φυσικό χώρο;» Σε ορισμένες περιπτώσεις, πρέπει να εξετάσουμε την  $k$ -κάλυψη ( $k$ -coverage), δηλαδή δεδομένου ενός ακέραιου αριθμού  $k$ , η περιοχή ανιχνεύεται από το ΑΔΑ αν και μόνο αν κάθε σημείο της περιοχής αυτής καλύπτεται από το λιγότερο  $k$  στον αριθμό αισθητήρες. Για παράδειγμα, στα ΑΔΑ, η εξάντληση ενέργειας, οι άσχημες περιβαλλοντικές συνθήκες και οι κακόβουλες επιθέσεις μπορεί να οδηγήσουν σε σφάλματα ή να καταστήσουν το δίκτυο εκτός λειτουργίας οποιαδήποτε στιγμή. Για αυτό και είναι επιθυμητό να υπάρχουν υψηλά ποσοστά κάλυψης.

#### 3.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την κάλυψη

Ο στόχος είναι κάθε σημείο του φυσικού περιβάλλοντος να βρίσκεται εντός του εύρους ανίχνευσης από το λιγότερο έναν αισθητήρα. Λόγω των διαφορετικών στόχων και απαιτήσεων κάθε εφαρμογής υπάρχουν και διαφορετικοί τρόποι στο σχεδιασμό των συστημάτων κάλυψης. Για αυτό, λοιπόν, μια σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών τρόπων στη δημιουργία κάλυψης για να είναι δίκαιη θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι οι παράγοντες αυτοί επηρεάζουν την απόδοση καλύψεις ενός ΑΔΑ. Γενικά, υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση αυτή. Καθώς είναι αδύνατο να καλύψουμε όλους τους πιθανούς αυτούς παράγοντες μερικοί απ' αυτούς είναι οι εξής [23]:

- Στρατηγική ανάπτυξης (Deployment Strategy)
- Μοντέλο ανίχνευσης (Sensing Model)
- Περιοχή ανίχνευσης (Sensing Area)
- Εμβέλεια Επικοινωνίας (Communication Range)
- Χαρακτηριστικά αλγορίθμων (Algorithm Characteristics)
- Κινητικότητα των κόμβων (Sensor Mobility)

### 3.2.1 Στρατηγική ανάπτυξης

Τυχαία εναντίον ντετερμινιστικής ανάπτυξης. Η ντετερμινιστική ανάπτυξη είναι που και πόσοι από τους αισθητήρες που τοποθετούνται μπορούν να προκαθοριστούν. Μπορεί να εφαρμοστεί από μικρά μέχρι και σε μεσαία δίκτυα αισθητήρων σε φιλικά περιβάλλοντα. Σε απομακρυσμένες και αφιλόξενες περιοχές ή για στρατιωτικές εφαρμογές ή το μέγεθος του δικτύου είναι μεγάλο, οι ακριβείς θέσεις και ο αριθμός των αισθητήρων δεν μπορεί να προκαθοριστεί. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να απαιτείται αποκλειστικά η τύχη ανάπτυξη, κατά την οποία οι αισθητήρες διανέμονται εντός του πεδίου-περιοχής στοχαστικά και ανεξάρτητα (π.χ. με ρίψη από αεροπλάνο).

### 3.2.2 Μοντέλο ανίχνευσης

Υπάρχουν δύο κυρίως διαφορετικά μοντέλα ανίχνευσης. Το ένα είναι το Boolean μοντέλο (Boolean model) όπου κάθε αισθητήρας περιορίζεται σε μια συγκεκριμένη περιοχή και μπορεί να ανιχνεύσει μόνο το περιβάλλον της συγκεκριμένης περιοχής ή να εντοπίσει διάφορα συμβάντα στο εύρος αυτό. Το μοντέλο αυτό υποθέτει ότι οι καταγραφές των αισθητήρων δεν είναι αβέβαιες. Στην πραγματικότητα, οι ανιχνεύσεις των αισθητήρων είναι ασαφής και πρέπει να εκφράζονται με όρους πιθανοτήτων που ουσιαστικά αποτελεί το δεύτερο μοντέλο ανίχνευσης και είναι το μοντέλο πιθανολογικής ανίχνευσης (Probabilistic Model), στο οποίο η πιθανότητα ανίχνευσης ενός αντικειμένου ή συμβάντος και η ευαισθησία του αισθητήρα μειώνεται όσο η απόσταση αυξάνεται.

### 3.2.3 Περιοχή ανίχνευσης

Αποτελεί την περιοχή στην οποία ένας αισθητήρας μπορεί να εντοπίσει ένα αντικείμενο ή κάποιο φαινόμενο εντός του εύρους ανίχνευσης του ντετερμινιστικά (ο αισθητήρας μπορεί να εντοπίσει το αντικείμενο όσο αυτό βρίσκεται εντός του εύρους ανίχνευσης) ή πιθανά (η πιθανότητα ανίχνευσης ενός αντικειμένου αποτελεί συνάρτηση της απόστασης μεταξύ αυτού και του αισθητήρα) και βασίζεται στο μοντέλο ανίχνευσης. Γενικά, οι αισθητήρες έχουν το ίδιο εύρος ανίχνευσης. Για παράδειγμα, η περιοχή ανίχνευσης θεωρείται ότι είναι ισοτροπική. Επίσης, υπάρχουν πολλοί μηχανισμοί που μπορούν να επεκταθούν για οποιοδήποτε είδος περιοχής.

### 3.2.4 Εμβέλεια επικοινωνίας

Υπάρχουν αισθητήρες που έχουν αμετάβλητη εμβέλεια εκπομπής, μερικών όμως ο πομποδέκτης είναι ικανός να αλλάζει την ενέργεια μεταδόσεις για να πετυχαίνει κάθε φορά διαφορετικό εύρος επικοινωνίας. Πρακτικά, τα πραγματικά εύρη επικοινωνίας μπορούν να επηρεαστούν από πολλούς εξωγενείς παράγοντες όπως το ύψος που βρίσκεται ο αισθητήρας και τα αντικείμενα που βρίσκονται γύρω από αυτόν.

### 3.2.5 Χαρακτηριστικά αλγορίθμων

Ένα σύστημα κάλυψης μπορεί να λειτουργήσει είτε κεντρικά είτε κατακευμεμένα. Στην πρώτη περίπτωση ο αλγόριθμος κάλυψης εκτελείται σε έναν κεντρικό κόμβο. Στην περίπτωση αυτή, οι πληροφορίες από όλους τους κόμβους πρέπει να μεταφερθούν στο κεντρικό κόμβο. Στην περίπτωση του κατακευμεμένου συστήματος, ο αλγόριθμος κάλυψης εκτελείται με βάση τις πληροφορίες από μόνο μερικούς κόμβους (π.χ. ένας γειτονικός κόμβος που απέχει συγκεκριμένο αριθμό βημάτων) στο ΑΔΑ και η απόφαση λαμβάνεται τοπικά. Αν και η προσέγγιση της πρώτης περίπτωσης μπορεί να δώσει πιο ακριβείς πληροφορίες για το σύστημα κάλυψης, απαιτεί μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας και περισσότερη επικοινωνία.

### 3.2.6 Κινητικότητα των αισθητήρων

Η απόδοση της κάλυψης ενός δικτύου που αποτελείται από σταθερούς αισθητήρες μπορεί να προσδιοριστεί από την αρχική διαμόρφωση του δικτύου και παραμένει αμετάβλητη διαχρονικά μετά την ανάπτυξη του. Αντίθετα λόγω των κινητών αισθητήρων που τοποθετούνται σε μια κινητή πλατφόρμα, το δίκτυο αυτό που αποτελείται από κινητούς αισθητήρες μπορεί να βελτιώσει ή έχει να διατηρήσει την απόδοση στην κάλυψη που παρέχει λόγω της κινητικότητας των αισθητήρων. Αυτό είναι εξαιρετικά πολύτιμο σε περιπτώσεις όπου οι μηχανισμοί ανάπτυξης αποτυγχάνουν. Η κάλυψη το δίκτυο που αποτελείται από κινητούς κόμβους δεν εξαρτάται μόνο από την αρχική διαμόρφωση αλλά και από τη συμπεριφορά της κινητικότητας των αισθητήρων.

### 3.2.7 Άλλοι παράγοντες

Επιπλέον, οι πληροφορίες τοποθεσίας, ο συγχρονισμός, η επεκτασιμότητα, η ευρωστία, η προσαρμοστικότητα και πολλά ακόμα είναι επίσης παράγοντες που επηρεάζουν την κάλυψη στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων.

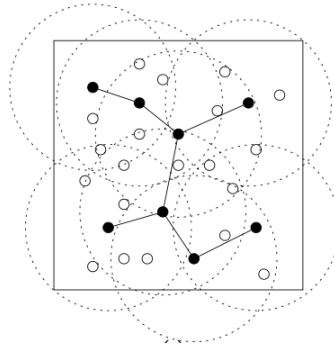
## 3.3 Κατηγορίες συστημάτων κάλυψης

Αρκετές προσπάθειες έχουν γίνει για την ανάπτυξη ενεργειακά αποδοτικών συστημάτων που ενσωματώνουν την κάλυψη και τη συνδεσιμότητα για τα ΑΔΑ. Με βάση τους στόχους και τις εφαρμογές της κάλυψης, μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις κατηγορίες [23][28]:

- Κάλυψη περιοχής (Area coverage)
- Κάλυψη σημείου (Point coverage)
- Κάλυψη φράγματος (Barrier coverage)

### 3.3.1 Κάλυψη περιοχής

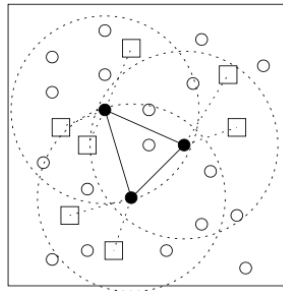
Όπου ο κύριος στόχος του δικτύου αισθητήρων είναι να καλύψει (ανιχνεύσει) μια περιοχή (όλα τα σημεία του χώρου εντός το πεδίου του αισθητήρα) και κάθε σημείο της περιοχής αυτής πρέπει να ανιχνεύεται [28].



Εικόνα 14: Κάλυψη περιοχής

### 3.3.2 Σημείο κάλυψης

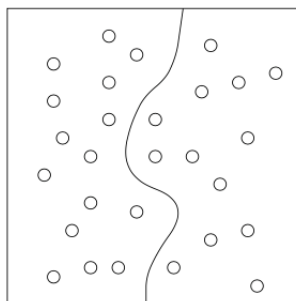
Όπου κύριος στόχος είναι να καλύψει ένα σύνολο σημείων (στόχων) με γνωστή την τοποθεσία τους τα οποία πρέπει να παρακολουθούνται. Η κάλυψη αυτή επικεντρώνεται στον καθορισμό των ακριβών θέσεων των αισθητήρων, όπου διασφαλίζεται έτσι η αποτελεσματική εφαρμογή της κάλυψης για έναν περιορισμένο αριθμό ακινητών σημείων (στόχων) [28].



Εικόνα 15: Κάλυψη σημείου

### 3.3.3 Κάλυψη φράγματος

Όπου ο στόχος είναι η ελαχιστοποίηση ή η μεγιστοποίηση της πιθανότητας να γίνει μια διείσδυση στην περιοχή απαραίτητα δηλαδή πρόκειται για την ανίχνευση των εισβολέων καθώς διασχίζουν ή πρόκειται να παρεισφρήσουν σε μια ζώνη εδάφους (belt region). Επινοήθηκε για ΑΔΑ που αναπτύσσονται σε συνοριακές γραμμές μήκους αρκετών χιλιομέτρων. Ονομάζεται κάλυψη φράγματος επειδή οι κόμβοι του ΑΔΑ διατάσσονται έτσι ώστε να σχηματίζουν φράγμα ανίχνευσης και παρακολούθησης [28].



Εικόνα 16: Κάλυψη φράγματος

## 3.4 Χρήση κινητών κόμβων

Σε κάποιες περιπτώσεις στις οποίες η γνώση του εδάφους είναι διαθέσιμη από πριν, οι κόμβοι μπορούν να τοποθετηθούν ντετερμινιστικά, ενώ σε άλλες περιπτώσεις που

εξαιτίας της μεγάλης κλίμακας του δικτύου ή της μη προσβασιμότητας του εδάφους, η τυχαία τοποθέτηση των κόμβων είναι η μόνη λύση. Παρόλα αυτά, όπως διαπιστώνεται, η τυχαία τοποθέτηση των κόμβων δεν εγγυάται την πλήρη κάλυψη. Αυτό μπορεί να συμβεί διότι υπάρχει πιθανότητα οι κόμβοι να συσσωρευτούν σε ορισμένα τμήματα του πεδίου ανίχνευσης ενώ παράλληλα σε άλλα τμήματα να μην υπάρχουν καθόλου.

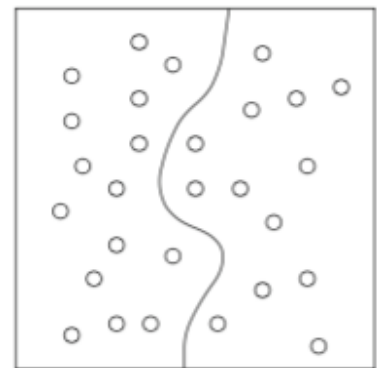
Για την αντιμετώπιση του προβλήματος της ύπαρξης ακάλυπτων ζωνών, μπορούμε είτε να τοποθετήσουμε περισσότερους στατικούς κόμβους κάνοντας έτσι το δίκτυο πιο πυκνό ή να αυξήσουμε την ευαισθησία των αισθητήρων, αυξάνοντας δηλαδή το εύρος ανίχνευσής τους. Η πρώτη επιλογή σημαίνει υψηλά κόστη και ύπαρξη μεγάλων παρεμβολών, ενώ η δεύτερη επιλογή δεν μπορεί να είναι εφικτή είτε λόγω των χαρακτηριστικών διάδοσης του σήματος που εκπέμπεται από ένα γεγονός στο περιβάλλον είτε λόγω της πιθανής αύξησης των ποσοστών των εσφαλμένων συναγερμών του συστήματος. Μια εναλλακτική προσέγγιση για την επίλυση αυτού του προβλήματος αποτελούν οι κινητοί κόμβοι (π.χ. τοποθέτηση κόμβων σε ρομπότ).

Παραδοσιακά, τα ΑΔΑ θεωρούνται ως δίκτυα που αποτελούνται από σταθερούς αισθητήρες στα οποία η κάλυψη μπορεί να προσδιοριστεί από την αρχική διαμόρφωση του δικτύου και να παραμείνει αμετάβλητη σε οποιαδήποτε στιγμή. Παρόλα αυτά, έχει πρόσφατα αναγνωριστεί το γεγονός ότι οι κινητοί αισθητήρες μπορούν να μετατραπούν σε ένα χρήσιμο σύμμαχο και η κάλυψη να αλλάζει [23]. Οι κινητοί κόμβοι δηλαδή μπορούν να κινούνται μετά την αρχική διαμόρφωση αλλάζοντας κάθε φορά την κάλυψη που προσφέρει το δίκτυο. Αν και ένας κινητός κόμβος είναι πιο ακριβός από ένα σταθερό, μπορεί να προσφέρει περισσότερες λειτουργίες και να συμβάλλει στην βελτίωση όλων δυνατοτήτων του δικτύου.

Οι κινητοί κόμβοι αισθητήρες μπορούν να παρατείνουν τη διάρκεια ζωής του δικτύου και να αυξήσουν την συνδεσιμότητα μεταξύ των κόμβων, δηλαδή να διατηρήσουν και να βελτιώσουν την κάλυψη που προσφέρουν τα ΑΔΑ. Για παράδειγμα, ένα σημείο μπορεί ποτέ να μην καλύπτεται ή ένας στόχος ποτέ να μην εντοπίζεται όταν το δίκτυο αποτελείται μόνο από σταθερούς κόμβους αισθητήρες αλλά με την ύπαρξη κινητών κόμβων αυτό πλέον δεν μπορεί να συμβεί.

#### 4. ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΛΥΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΛΥΨΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΣΤΑ ΑΔΑ

Η βιβλιογραφία έχει εξετάσει σε μεγάλο βαθμό τις τεχνικές με τις οποίες από τη μία θα εξασφαλίσει σε την ομαλή λειτουργία των ΑΔΑ ενώ από την άλλη θα επιτυγχάνεται η πλήρης κάλυψη της περιοχής ενδιαφέροντος με τη χρήση της μεθόδου φράγματος. Οι μελέτες που πραγματοποιούνται πρέπει να αντιμετωπίσουν εκτός των άλλων και το ενεργειακό πρόβλημα που προκύπτει καθώς οι ενεργειακοί πόροι δεν είναι ανεξάντλητοι. Έτσι, ανάλογα το είδος εφαρμογής για το οποίο εφαρμόζεται το ΑΔΑ επιλέγεται και η ανάλογη τεχνική για τη δημιουργία της κάλυψης φράγματος. Για το λόγο αυτό αναπτύσσονται τεχνικές που έχουν ως στόχο την ελαχιστοποίηση της ενέργειας που καταναλώνεται και ταυτόχρονα τη μεγιστοποίηση της διάρκειας ζωής του δικτύου.



Εικόνα 17: Γενικό πρόβλημα κάλυψης φράγματος

Οι αλγόριθμοι κάλυψης που προτείνονται είναι είτε κεντροποιημένοι ή κατανεμημένοι και τοπικοί. Στους κατανεμημένους αλγορίθμους, η διαδικασία λήψης αποφάσεων είναι αποκεντρωμένη. Με τους κατανεμημένους και τους τοπικούς αλγορίθμους, γίνεται αναφορά σε μία κατανεμημένη διαδικασία λήψης

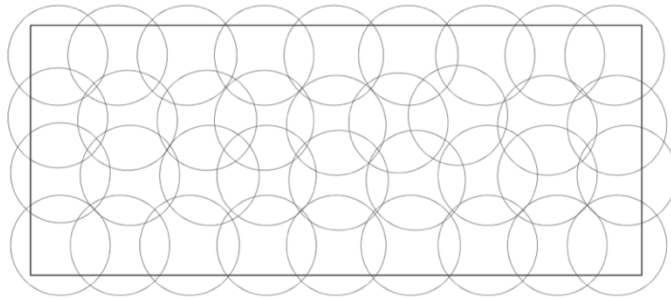
απόφασης από κάθε κόμβο που χρησιμοποιεί μόνο πληροφορίες από γειτονικούς τους κόμβους (εντός ενός συγκεκριμένου αριθμού αλμάτων). Επειδή τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων έχουν δυναμική τοπολογία και χρειάζεται να φιλοξενήσουν μεγάλο αριθμό αισθητήρων, οι αλγόριθμοι και τα πρωτόκολλα πρέπει να είναι κατανοητά και τοπικά ώστε να προσαρμόζονται καλύτερα σε μία αρχιτεκτονική μεγαλύτερης κλίμακας.

#### 4.1 Σημαντικοί ορισμοί

Στο σημείο αυτό δίνονται κάποιοι σημαντικοί ορισμοί [6] για καλύτερη κατανόηση των εννοιών που αναφέρονται στην επόμενη ενότητα.

- (k-) Area coverage

Το δίκτυο αισθητήρων παρέχει κάλυψη περιοχής για την περιοχή ενδιαφέροντος (Region Of Interest, ROI) αν και μόνο αν κάθε σημείο της περιοχής αυτής καλύπτεται από έναν το λιγότερο αισθητήρα, δηλαδή το σημείο να βρίσκεται στην περιοχή που καλύπτει ο κάθε αισθητήρας. Επομένως, ο δίκτυο αισθητήρων παρέχει k-area coverage για την περιοχή ενδιαφέροντος αν και μόνο αν κάθε σημείο της περιοχής αυτής καλύπτεται από k διαφορετικούς αισθητήρες. Η κάλυψη περιοχής αποτελεί το παλαιότερο μοντέλο κάλυψης που προτάθηκε για τα ΑΔΑ.



Εικόνα 18: Κάλυψη περιοχής

- Full Coverage

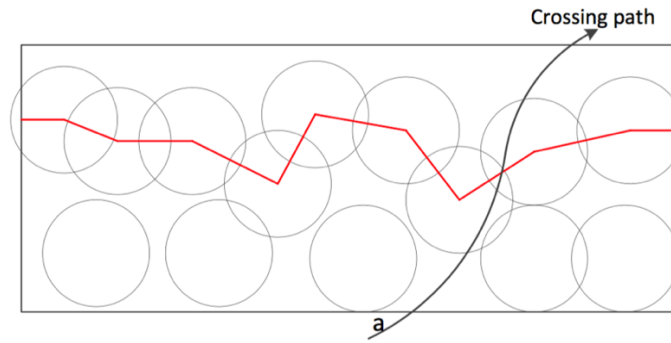
Πλήρη κάλυψη έχουμε όταν οι αισθητήρες που τοποθετούνται σε μία περιοχή, ανιχνεύουν συνεχώς ολόκληρη την περιοχή και εξασφαλίζεται ότι κάθε σημείο της περιοχής αυτής καλύπτεται τουλάχιστον από έναν ή k αισθητήρες. Η πλήρη κάλυψη σε μία περιοχή απαιτείται όταν οι χρήστες επιθυμούν την πλήρη καταγραφή ολόκληρου του περιβάλλοντος της συγκεκριμένης περιοχής.

- Static Coverage

Συνεχής κάλυψη (all time coverage) = Full coverage + Barrier Coverage

- (k-) Barrier Coverage

Το δίκτυο αισθητήρων παρέχει barrier κάλυψη φράγματος για την περιοχή ενδιαφέροντος αν και μόνο αν ο εισβολέας μπορεί να εντοπιστεί από τουλάχιστον έναν αισθητήρα ανεξαρτήτως από το πως ο εισβολέας διαπερνά την περιοχή ενδιαφέροντος.



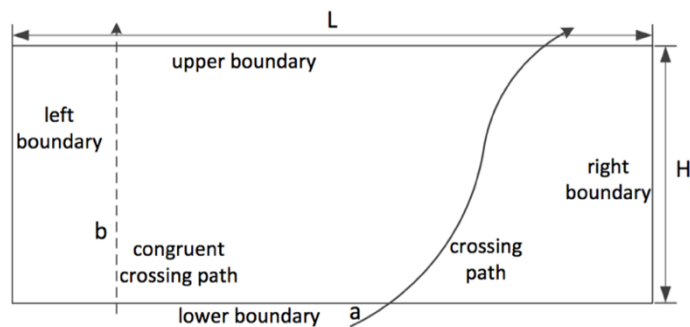
**Εικόνα 19: Κάλυψη φράγματος**

Όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα, οι περιοχές ανίχνευσης των αισθητήρων χρώματος γκρι δημιουργούν ένα εικονικό φράγμα που συμβολίζεται με την κόκκινη γραμμή και εκτείνεται από το αριστερό όριο μέχρι το δεξιό όριο της περιοχής ενδιαφέροντος. Μπορούμε εύκολα να διαπιστώσουμε ότι ανεξαρτήτως από το πώς ο εισβολέας διαπερνά την περιοχή αυτή, θα ανιχνευθεί από τουλάχιστον έναν αισθητήρα. Επομένως, ο δίκτυο αισθητήρων παρέχει κάλυψη φράγματος για την συγκεκριμένη περιοχή ενδιαφέροντος. Το δίκτυο αισθητήρων παρέχει  $k$ -barrier coverage για την περιοχή ενδιαφέροντος αν όλα τα μονοπάτια διέλευσης καλύπτονται από  $k$  αισθητήρες.

- Μονοπάτι διέλευσης

Ένα μονοπάτι διέλευσης (crossing path) είναι ένα οποιοδήποτε μονοπάτι που διασχίζει ολόκληρο το πλάτος της περιοχής ενδιαφέροντος.

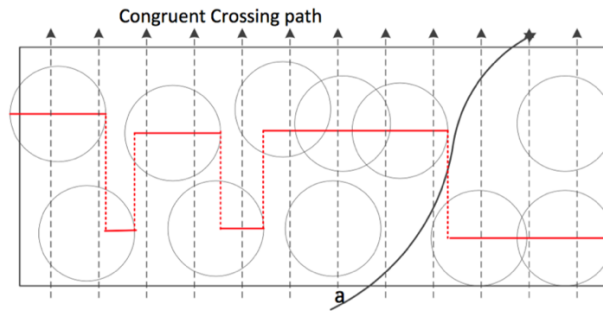
- Παράλληλο μονοπάτι διέλευσης



**Εικόνα 20: Περιοχή ενδιαφέροντος & Μονοπάτια**

- Ασθενής κάλυψη φράγματος

Όταν αναφερόμαστε σε ασθενή κάλυψη φράγματος (weak barrier coverage) εννοείται η δημιουργία ενός εικονικού φράγματος σε οριζόντια διάταξη από το αριστερό άκρο στο δεξιό της περιοχής ενδιαφέροντος, ώστε κάθε εισβολέας κινούμενος σε ένα από τα παράλληλα μονοπάτια να μπορεί να ανιχνευθεί. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα, οι γκρι αισθητήρες δημιουργούν ένα οριζόντιο φράγμα που εκτείνεται σε όλο το φάσμα της περιοχής ενδιαφέροντος. Παρατηρούμε όμως ότι η ασθενή κάλυψη φράγματος δεν εγγυάται την ανίχνευση των εισβολέων που ακολουθούν ένα οποιοδήποτε μονοπάτι.



**Εικόνα 21: Ασθενής κάλυψη φράγματος**

- Ισχυρή κάλυψη φράγματος

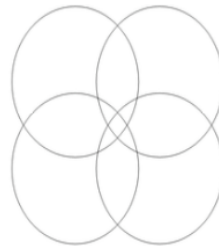
Αντίθετα, η ισχυρή κάλυψη φράγματος προϋποθέτει την δημιουργία ενός εικονικού φράγματος που εκτείνεται σε όλη την έκταση της περιοχής ενδιαφέροντος ώστε να μπορεί να ανιχνευθεί οποιοσδήποτε εισβολέας ανεξάρτητα το μονοπάτι που ακολουθεί.

- Πρόβλημα κάλυψης φράγματος

Για τον εντοπισμό των εισβολέων που διεισδύουν τις περιοχές ενδιαφέροντος, είναι αναγκαία η ανάπτυξη ενός συνόλου αισθητήρων που μπορούν να παρέχουν κάλυψη της περιοχής αυτής. Αυτό είναι ένα πρόβλημα που συχνά αναφέρεται ως κάλυψη φράγματος όπου οι αισθητήρες δημιουργούν φράγμα για να εμποδίσουν τους εισβολείς να διασχίσουν την περιοχή ενδιαφέροντος.

- Ομογενές δίκτυο αισθητήρων

Το δίκτυο αισθητήρων καλείται ομογενές όταν το σύστημα ανίχνευσης των εισβολέων αποτελείται από μόνο έναν τύπο αισθητήρων όπου όλοι οι αισθητήρες έχουν το ίδιο εύρος ανίχνευσης και γωνίας κάλυψης.



**Εικόνα 22: Ομογενές σύνολο αισθητήρων**

- Ετερογενές δίκτυο αισθητήρων

Το δίκτυο αισθητήρων καλείται ετερογενές όταν το σύστημα ανίχνευσης των εισβολέων αποτελείται από διαφορετικά είδη αισθητήρων με διαφορετικά εύρη ανίχνευσης, γωνίας κάλυψης και κόστους. Ουσιαστικά το ομογενές δίκτυο αισθητήρων αποτελεί μία ειδική περίπτωση του αντίστοιχου ετερογενούς δικτύου.

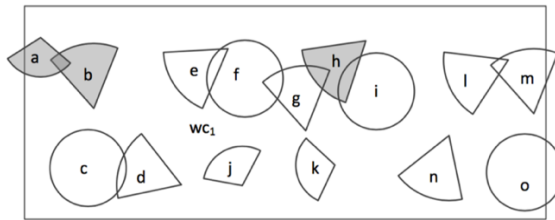


**Εικόνα 23: Ετερογενές σύνολο αισθητήρων**



• Ασθενείς συστάδες

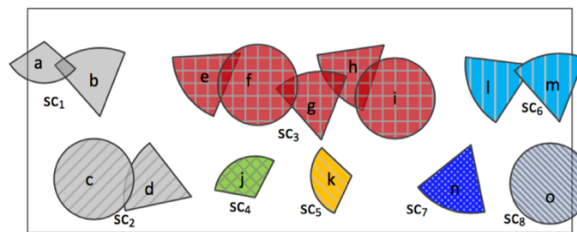
Ασθενής συστάδα είναι η ένωση ενός συνόλου αισθητήρων όπου κάθε αισθητήρας συνδέεται ασθενώς με τους υπόλοιπους αισθητήρες είτε απευθείας είτε μέσω άλλων αισθητήρων.



Εικόνα 24: Ασθενείς συστάδες

• Ισχυρές συστάδες

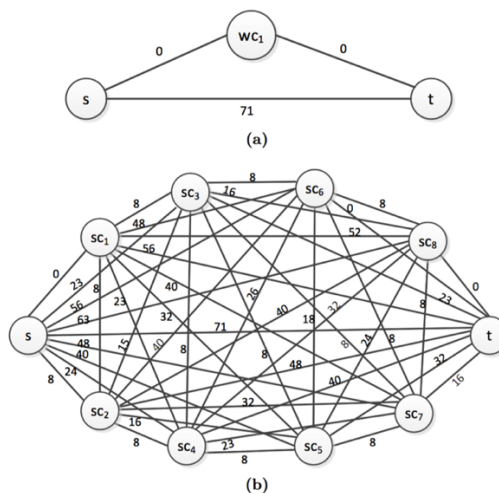
Ισχυρή συστάδα είναι η ένωση ενός συνόλου αισθητήρων όπου κάθε αισθητήρας συνδέεται ισχυρά με τους υπόλοιπους αισθητήρες είτε απευθείας είτε μέσω άλλων αισθητήρων.



Εικόνα 25: Ισχυρές συστάδες

• Κατευθυντικό γράφημα κάλυψης

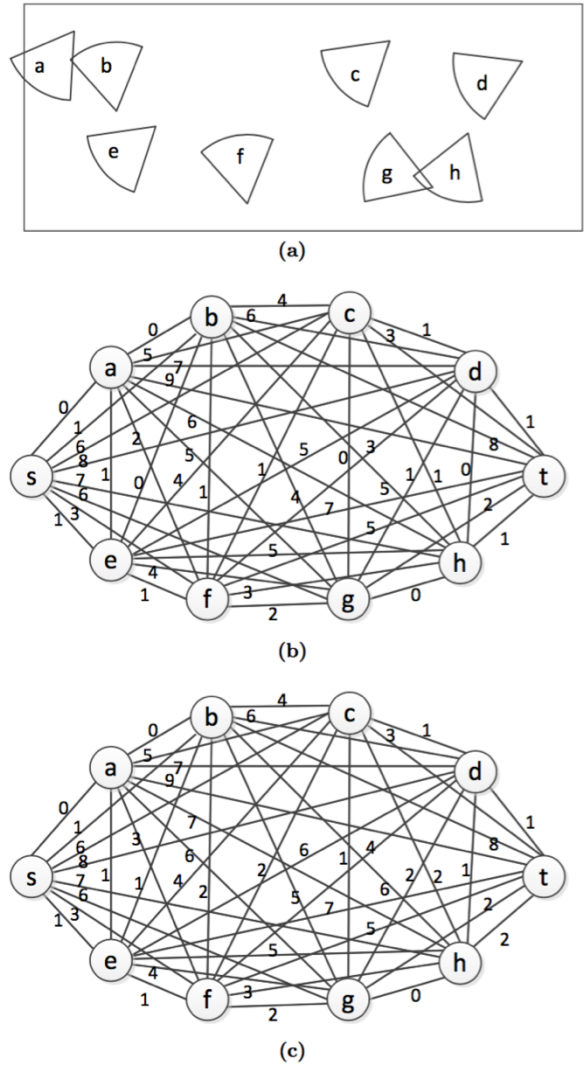
Το κατευθυντικό γράφημα κάλυψης ενός δικτύου αισθητήρων ορίζεται ως  $G=(V,E,W)$ . Με  $V$  συμβολίζεται το σύνολο των κορυφών που αντιστοιχούν στο αριστερό όριο ( $s$ ), οι συστάδες με  $C$  και το δεξιό όριο με ( $t$ ), δηλαδή,  $V=\{u_1, u_2, \dots, u_{(\pi+2)}\}=\{S \cup C \cup t\}$ .  $E=\{e(u_i, u_j)\}$  είναι το σύνολο των ακμών ανάμεσα σε οποιαδήποτε ζευγάρια κορυφών.  $W:E \rightarrow R$  είναι το σύνολο των βαρών κάθε ακμής, όπου το βάρος  $w(u_i, u_j)$  κάθε ακμής  $e(u_i, u_j)$  είναι το ελάχιστο κόστος των κινητών αισθητήρων που χρειάζονται για τη σύνδεση του  $u_i$  και  $u_j$ .



Εικόνα 26: Κατευθυντικό γράφημα για ασθενή κάλυψη φράγματος (a) και για ισχυρή κάλυψη φράγματος (b)

- Σταθμισμένο γράφημα κάλυψης

Το σταθμισμένο γράφημα κάλυψης ενός δικτύου αισθητήρων ορίζεται ως  $G=(V,E,W)$ . Με  $V$  συμβολίζεται το σύνολο των κορυφών που αντιστοιχούν στο αριστερό όριο ( $s$ ), όλοι οι σταθεροί αισθητήρες ( $S$ ) και το δεξί όριο με ( $t$ ), το οποίο είναι,  $V=\{u_1, u_2, \dots, u_{(n+2)}\} = \{s \cup S \cup t\}$ .  $E=\{e(u_i, u_j)\}$  είναι το σύνολο των ακμών ανάμεσα σε οποιαδήποτε ζευγάρια κορυφών.  $W: E \rightarrow \mathbb{R}$  είναι το σύνολο των βαρών κάθε ακμής, όπου το βάρος  $w(u_i, u_j)$  κάθε ακμής  $e(u_i, u_j)$  είναι το ελάχιστο κόστος των κινητών αισθητήρων που χρειάζονται για τη σύνδεση του  $u_i$  και  $u_j$ .



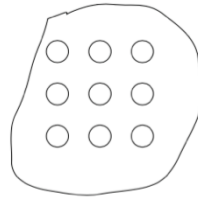
Εικόνα 27: : (a) Το δίκτυο αισθητήρων, (b) σταθμισμένο γράφημα ασθενούς κάλυψης φράγματος  
(c) σταθμισμένο γράφημα ισχυρής κάλυψης φράγματος

- Beacon node

Είναι ένας κόμβος-αισθητήρας που γνωρίζει την θέση του μέσα στο δίκτυο.

- Ντετερμινιστική τοποθέτηση των αισθητήρων

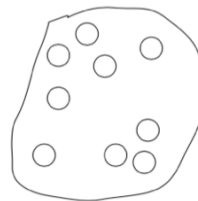
Αν οι αισθητήρες μπορούν τοποθετηθούν ακριβώς εκεί που πρέπει, η αντίστοιχη μέθοδος ανάπτυξης είναι η ντετερμινιστική.



**Εικόνα 28: Ντετερμινιστική τοποθέτηση των κόμβων αισθητήρων**

- Τυχαία τοποθέτηση των αισθητήρων

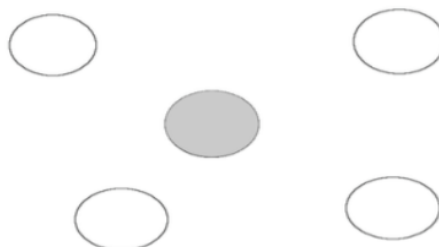
Στην τυχαία τοποθέτηση των αισθητήρων οι θέσεις τους δεν είναι γνωστές εκ των προτέρων. Η λειτουργία αυτή απαιτείται όταν η τοποθέτηση κάθε αισθητήρα ξεχωριστά είναι αδύνατη, για παράδειγμα σε πεδία μάχης ή σε κατεστραμμένες περιοχές. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται περισσότεροι αισθητήρες από αυτούς που απαιτούνται κάτι που αντισταθμίζει την έλλειψη ακριβούς θέσης και βελτιώνει την ανοχή σε σφάλματα.



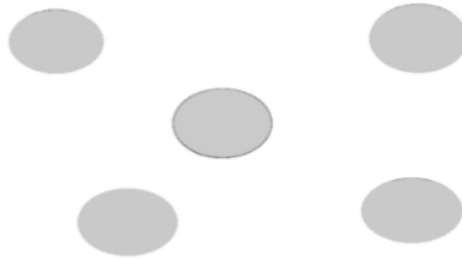
**Εικόνα 29: Τυχαία τοποθέτηση των κόμβων αισθητήρων**

- Κεντριοποιημένοι/Κατανεμημένοι αλγόριθμοι

Ένας κεντριοποιημένος αλγόριθμος «τρέχει» σε έναν ή περισσότερους κόμβους που βρίσκονται σε μία κεντρική τοποθεσία συνήθως κοντά στη δεξαμενή δεδομένων, δηλαδή που συγκεντρώνονται όλα τα δεδομένα. Ένας κατανεμημένος ή localized αλγόριθμος «τρέχει» σε κόμβους σε όλο το δίκτυο. Για την επίλυση ενός υπολογιστικού προβλήματος, οι κατανεμημένοι αλγόριθμοι χρησιμοποιούν πολλαπλούς κόμβους που συνεργάζονται μεταξύ τους ενώ οι localized αλγόριθμοι «τρέχουν» σε πολλούς ή όλους τους κόμβους του δικτύου ξεχωριστά χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που έχει συλλέξει ο κάθε κόμβος. Και οι δύο αυτοί τύποι αλγορίθμων κατανέμουν τον φόρτο εργασίας πιο ομοιόμορφα από ότι οι κεντριοποιημένοι αλγόριθμοι αλλά από τη στιγμή που «τρέχουν» σε κόμβους όλου του δικτύου είναι πιο πολύπλοκοι.



**Εικόνα 30: Κεντριοποιημένος αλγόριθμος**



Εικόνα 31: Κατανεμημένος αλγόριθμος

- Παγκόσμιο Σύστημα Τοποθεσίας

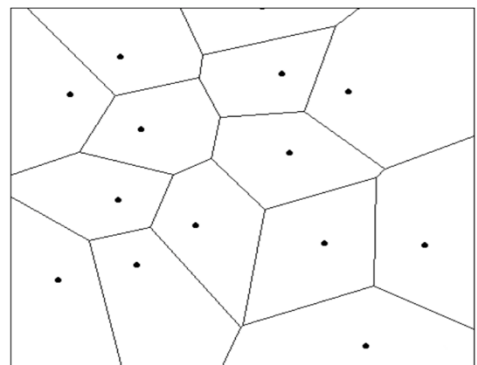
Το Παγκόσμιο Σύστημα Τοποθεσίας (Global Positioning System - GPS) [8] αποτελεί μία μέθοδο που σχεδιάστηκε και ελέγχεται από το Υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ. Το σύστημα GPS αποτελείται από το λιγότερο 24 δορυφόρους σε τροχιά γύρω από τον πλανήτη Γη, με τέσσερις δορυφόρους το λιγότερο να είναι ορατοί από οποιοδήποτε σημείο της Γης. Ο καθένας από αυτούς αναμεταδίδει μηνύματα χρονοσήμανσης (time-stamped messages) σε τακτά χρονικά διαστήματα. Κάθε συσκευή που μπορεί να λάβει τα μηνύματα αυτά από τέσσερις ή περισσότερους δορυφόρους μπορεί να εκτιμήσει την απόστασή του από τον καθένα και, έτσι, μέσω τριπλευρισμού (trilateration) μπορεί να υπολογίσει την θέση στο χώρο.

## 4.2 Αλγόριθμοι για τη δημιουργία κάλυψης φράγματος

Στο σημείο αυτό και εφόσον έχουν διατυπωθεί οι απαραίτητοι ορισμοί θα παρουσιαστούν και θα αναλυθούν οι αλγόριθμοι για τη δημιουργία κάλυψης φράγματος που έχει μελετήσει η βιβλιογραφία. Η παρουσίαση και η ανάλυση αυτή γίνεται με χρονολογική σειρά ώστε να διακρίνεται ο εξελικτικός τρόπος με τον οποίο ο ένας αλγόριθμος διαδέχεται τον άλλο. Επίσης, οι αλγόριθμοι που αναλύονται αναφέρονται στις διαφορετικές προσεγγίσεις για τη δημιουργία κάλυψης φράγματος με βάση τις εκάστοτε συνθήκες. Για παράδειγμα, υπάρχουν αλγόριθμοι που στοχεύουν στην εύρεση μονοπατιών μέγιστης παραβίασης ή μέγιστης υποστήριξης. Ακόμη, αλγόριθμοι που εστιάζουν στην ελαχιστόπιση του κόστους και στην αποφυγή συγκρούσεων όταν πρόκειται για χρήση κινητών αισθητήρων. Επίσης, γίνεται ανάλυση των αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται όταν πρόκειται για περιοχές που έχουν ακανόνιστο σχήμα ή για κάλυψη αντικειμένων που αλλάζουν σχήμα με την πάροδο του χρόνου ή ακόμα για αντικείμενα που κινούνται (κινητή κάλυψη φράγματος). Τέλος, γίνεται αναφορά στην αντιμετώπιση σφαλμάτων κατά την τοποθέτηση των αισθητήρων.

### 4.2.1 Αλγόριθμος Μονοπατιού Μέγιστης Παραβίασης

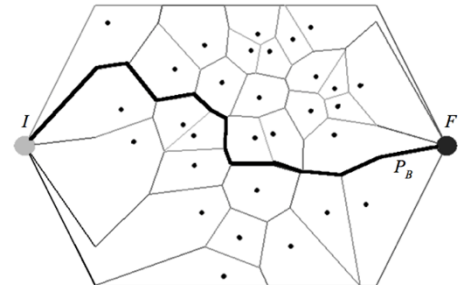
Ο αλγόριθμος αυτός [2][15][17][31] αναλαμβάνει την εύρεση, με τη χρήση του διαγράμματος Voronoi, του μονοπατιού μέγιστης παραβίασης (Maximal Breach Path) σε ένα δίκτυο αποτελούμενο από αισθητήρες που ουσιαστικά σημαίνει την εύρεση της χειρότερης περίπτωσης κάλυψης (worst case coverage). Πιο συγκεκριμένα, θέλουμε να βρούμε την πλησιέστερη απόσταση από τους αισθητήρες που ένας εισβολέας που κινείται σε οποιοδήποτε μονοπάτι του πεδίου αισθητήρων, να αντιμετωπιστεί τουλάχιστον μία φορά. Η κύρια ιδέα εδώ είναι ότι η πλησιέστερη απόσταση από τους αισθητήρες είναι ένας



Εικόνα 32: Διάγραμμα Voronoi

παράγοντας που χαρακτηρίζει την κάλυψη του πεδίου των αισθητήρων. Το σύστημα είναι «χειρότερης περίπτωσης» από τη στιγμή που καθορίζουμε την πιο κοντινή απόσταση από τους αισθητήρες ακόμα και όταν ο εισβολέας προσπαθεί να τους αποφύγει [8].

Πιο αναλυτικά, σε πρώτη φάση, ο αλγόριθμος δημιουργεί το διάγραμμα Voronoi που αντιστοιχεί σε όλους τους αισθητήρες του πεδίου. Στη συνέχεια, κατασκευάζεται το σταθμισμένο και μη κατευθυνόμενο γράφημα με τη δημιουργία κόμβων για κάθε κορυφή και ακμών για κάθε ευθύγραμμο τμήμα που αντιστοιχεί στο διάγραμμα Voronoi. Σε κάθε ακμή του γραφήματος δίνεται ένα βάρος που είναι ίσο με την ελάχιστη απόσταση από τον κοντινότερο αισθητήρα. Μετέπειτα ο αλγόριθμος πραγματοποιεί δυαδική αναζήτηση (Binary-Search) μεταξύ του ελάχιστου και του μέγιστου βάρους των αντίστοιχων ακμών στο γράφημα. Σε κάθε βήμα χρησιμοποιείται η Αναζήτηση-κατά-πλάτος (Breadth-First-Search) για τον έλεγχο της ύπαρξης μονοπατιού από την αρχική (I) μέχρι την τελική θέση (F) του πεδίου χρησιμοποιώντας μόνο τις ακμές που έχουν βάρος μεγαλύτερα από το κριτήριο αναζήτησης. Αν το μονοπάτι υπάρχει, το κριτήριο αναζήτησης αυξάνεται για να περιορίσει περαιτέρω τις ακμές που θα θεωρηθούν στην επόμενη επανάληψη. Αν όμως δεν υπάρχει, το κριτήριο αναζήτησης θα μειωθεί ώστε η αναζήτηση να είναι λιγότερο περιορισμένη. Με την ολοκλήρωση του αλγορίθμου έχει βρεθεί το μέγιστο μονοπάτι παραβίασης, το οποίο είναι αυτό, από την αρχική μέχρι την τελική θέση του πεδίου, με ακμές που έχουν το υψηλότερο δυνατό βάρος.

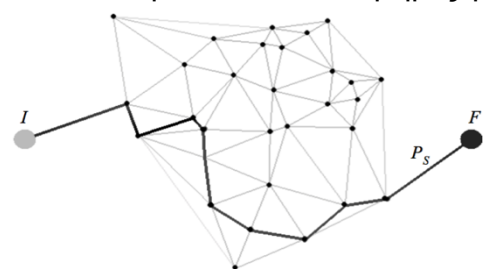


**Εικόνα 33: Το πεδίο αισθητήρων με το σταθμισμένο διάγραμμα Voronoi και το μέγιστο μονοπάτι παραβίασης**

Αξίζει να σημειωθεί ότι το μέγιστο μονοπάτι παραβίασης δεν είναι μοναδικό. Στην πραγματικότητα, υπάρχουν πολλά μονοπάτια που μπορούν να θεωρηθούν ως μέγιστα μονοπάτια παραβίασης.

#### 4.2.2 Αλγόριθμος Μονοπατιού Μέγιστης Υποστήριξης

Ο αλγόριθμος αυτός [2][15][17][31] αναλαμβάνει την εύρεση, του μέγιστου μονοπατιού υποστήριξης (Maximal Support Path) σε ένα δίκτυο αποτελούμενο από αισθητήρες με τη χρήση της τριγωνοποίησης Delaunay. Αυτό πρακτικά σημαίνει σημαίνει την εύρεση της βέλτιστης περίπτωσης κάλυψης (best-case-coverage). Πιο συγκεκριμένα, θέλουμε να βρούμε την πιο μακρινή απόσταση από τους αισθητήρες που πρέπει να έχει ένας εισβολέας που κινείται στο πεδίο αισθητήρων ακόμα και όταν προσπαθεί να παραμείνει όσο το δυνατόν πιο κοντά σε αυτούς. Σαφώς, σε κάποιες περιπτώσεις, ο εισβολέας πρέπει να κινείται μακριά από τους αισθητήρες ώστε να διασχίσει το πεδίο. Αν και τα δύο αυτά προβλήματα φαίνονται όμοια έχουν πολύ διαφορετικές φυσικές ερμηνείες [8].

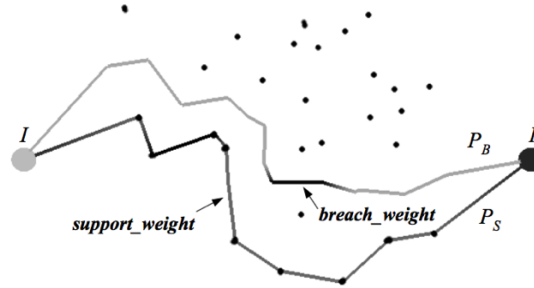


**Εικόνα 34: Το πεδίο αισθητήρων με την τριγωνοποίηση Delaunay και το μέγιστο μονοπάτι υποστήριξης**

Για την εύρεση του μονοπατιού αυτού χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος εύρεσης του μέγιστου μονοπατιού παραβίασης (ενότητα 4.2.1) με τη μόνη διαφορά να βρίσκεται στη χρήση της τριγωνοποίησης Delaunay αντί του διαγράμματος Voronoi αλλά και στο

γεγονός ότι τα βάρη που αντιστοιχούν στις ακμές του γραφήματος είναι ίσα με το μήκος των αντίστοιχων ευθυγράμμων τμημάτων στο διάγραμμα αυτό. Και σε αυτή την περίπτωση μέγιστο μονοπάτι υποστήριξης δεν είναι μοναδικό.

Τα μονοπάτια μέγιστης παραβίασης και μέγιστης υποστήριξης που προκύπτουν από τους δύο παραπάνω αλγόριθμους αντίστοιχα, για το ίδιο πεδίο αισθητήρων, φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.



**Εικόνα 35: Το πεδίο αισθητήρων με το μέγιστο μονοπάτι παραβίασης  $P(b)$  και το μέγιστο μονοπάτι υποστήριξης  $P(s)$**

Με τους δύο παραπάνω αλγόριθμους, μέσω της εύρεσης των μέγιστων μονοπατιών παραβίασης και υποστήριξης, δίνεται η δυνατότητα διαμόρφωσης των κόμβων του δικτύου για την βελτίωση της κάλυψης που παρέχει καθώς επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον σχεδιασμό των μονοπατιών του δικτύου, την παρατήρηση στόχων κτλ. Παρόλα αυτά δεν πρέπει να παραλειφθεί το γεγονός ότι ως κεντρικοποιημένοι αλγόριθμοι οι θέσεις των κόμβων πρέπει να είναι γνωστές εκ των προτέρων και ότι σε πιθανή παρεμβολή κάποιου αντικειμένου, του περιβάλλοντος και του θορύβου αυτή δεν λαμβάνεται υπόψη [23].

#### 4.2.3 Αλγόριθμος Μονοπατιού Μέγιστης Υποστήριξης/Παραβίασης – Βελτιωμένος

Παρά το γεγονός της δυνατότητας εύρεσης των μέγιστων μονοπατιών παραβίασης και υποστήριξης με τη χρήση των διαγραμμάτων Voronoi και της τριγωνοποίησης Delaunay αντίστοιχα, ήταν αναγκαίο να βρεθεί ένας νέος τρόπος εύρεσής τους ώστε να μειωθεί ο χρόνος υπολογισμού τους. Αυτό θα είχε αποτέλεσμα την καλύτερη δυνατή λειτουργία του ΑΔΑ και τη μείωση της πιθανότητας μη εύρεσης εισβολέων.

Σε σχέση με τους αλγόριθμους που προτείνονται στα [2][15][17][31], οι συγγραφείς αυτού του άρθρου [3] περιγράφουν βελτιωμένους αλγόριθμους για τον υπολογισμό και την εύρεση μέγιστων μονοπατιών παραβίασης και υποστήριξης. Στόχος λοιπόν είναι:

- 1) Ο χρόνος επεξεργασίας να είναι  $O(n \log n)$ ,
- 2) Ο χρόνος υπολογισμού του μέγιστου μονοπατιού παραβίασης/υποστήριξης να είναι  $O(|P|)$ , όπου το  $|P|$  είναι ο αριθμός των ακμών της βέλτιστου μονοπατιού και
- 3) Ο χρόνος υπολογισμού της τιμής (όχι του μονοπατιού) του μέγιστου μονοπατιού παραβίασης/υποστήριξης να είναι  $O(1)$ .

Γίνεται, δηλαδή, αναφορά κυρίως στο πρόβλημα εύρεσης μέγιστου μονοπατιού παραβίασης αφού είναι όμοιο με αυτό της εύρεσης του μέγιστου μονοπατιού υποστήριξης.

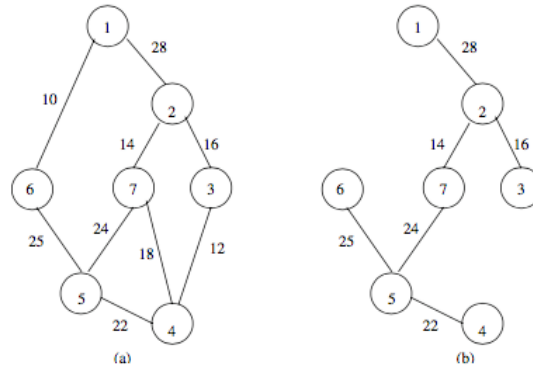
Ισχυρίζονται, λοιπόν, ότι για ένα ζευγάρι κορυφών  $I$  και  $F$  στο διάγραμμα Voronoi,  $Vor(S)$ , το μοναδικό μονοπάτι μεταξύ αυτών στο μέγιστο γεννητικό δέντρο του  $Vor(S)$  δίνει το βέλτιστο μονοπάτι παραβίασης μεταξύ του  $I$  και  $F$ . Ο παραπάνω αυτός ισχυρισμός αποδεικνύεται ως εξής:



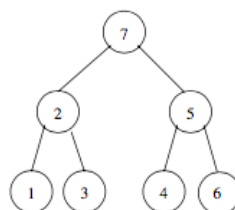
Ένα μέγιστο γεννητικό δέντρο μπορεί να υπολογιστεί τροποποιώντας τον αλγόριθμο του Kruskal έτσι ώστε οι ακμές να προστίθενται σε μη αύξουσα σειρά βάρους όσο δεν δημιουργούν κύκλο. Θεωρούμε ένα μέγιστο μονοπάτι παραβίασης  $Q$  μεταξύ ενός ζευγαριού κορυφών του διαγράμματος Voronoi, ώστε τουλάχιστον μία από τις κορυφές να μην ανήκει στο μέγιστο γεννητικό δέντρο  $\text{MaxST}$  του  $\text{Vor}(S)$ . Οι ακμές συμβολίζονται με  $e$ . Εισάγοντας την ακμή  $e$  στο  $\text{MaxST}$  πρέπει να δημιουργεί έναν κύκλο έτσι ώστε οι άλλες ακμές μέσα στον κύκλο (συμβολίζονται με  $C_e$ ) να έχουν βάρη μεγαλύτερα ή ίσα από αυτό της ακμής  $e$ . Έτσι, μπορούμε να αντικαταστήσουμε την ακμή  $e$  στο  $Q$  με το  $C_e$ . Η λύση αυτή δεν είναι χειρότερη από το  $Q$ . Επαναλαμβάνοντας αυτό με όλες τις άλλες ακμές στο  $Q$  που δεν ανήκουν στο  $\text{MaxST}$  θα έχει ως αποτέλεσμα ένα μονοπάτι ίδιου κόστους που χρησιμοποιεί μόνο ακμές του  $\text{MaxST}$ . Είναι ξεκάθαρο, ότι υπάρχει μόνο ένα (απλό) μονοπάτι στο  $\text{MaxST}$  μεταξύ οποιουδήποτε ζευγαριού κορυφών.

Επιπλέον, ισχύει ότι η τιμή του  $\text{maxbreach}$  για ένα μονοπάτι από το  $I$  στο  $F$  αντιστοιχεί στην τιμή του μικρότερου βάρους ακμής που υπάρχει στο μονοπάτι από το  $I$  στο  $F$  στο μέγιστο γεννητικό δέντρο  $\text{MaxST}$ .

Το μέγιστο γεννητικό δέντρο μπορεί να υπολογιστεί σε χρόνο  $O(n \log n)$ . Προκειμένου να δοθούν, αποτελεσματικά, απαντήσεις σχετικά με ερωτήματα που αφορούν τα μονοπάτια, το μέγιστο γεννητικό δέντρο χωρίς ρίζα μετατρέπεται σε μέγιστο γεννητικό δέντρο με ρίζα. Η μετατροπή αυτή γίνεται καθορίζοντας αυθαίρετα οποιαδήποτε κορυφή του  $\text{MaxST}$  ως ρίζα και στη συνέχεια με αφετηρία τη ρίζα αυτή πραγματοποιείται αναζήτηση πρώτα σε βάθος (Depth First Search – DFS). Το επιθυμητό δέντρο είναι απλά το δέντρο που προκύπτει ως αποτέλεσμα από την αναζήτηση πρώτα σε βάθος. Η Εικόνα 36 δείχνει ένα παράδειγμα γραφήματος και το μέγιστο γεννητικό δέντρο που προήλθε από αυτό χωρίς ρίζα. Ενώ η Εικόνα 37, δείχνει το αντίστοιχο μέγιστο γεννητικό δέντρο με ρίζα.



Εικόνα 36: (a) Γράφημα (b) Μέγιστο γεννητικό δέντρο χωρίς ρίζα



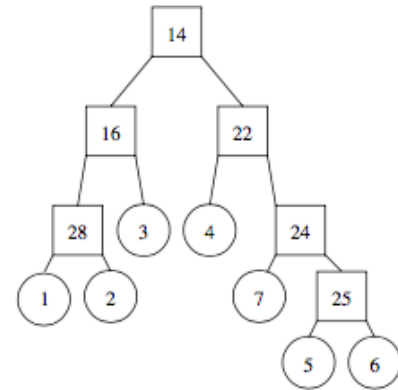
Εικόνα 37: Μέγιστο γεννητικό δέντρο με ρίζα

Λαμβάνοντας υπόψη ένα ζευγάρι κορυφών, μπορούμε να υπολογίσουμε το μέγιστο μονοπάτι παραβίασης ως εξής: ξεκινώντας από τους κόμβους του δέντρου που αντιστοιχούν στις δύο κορυφές, εναλλακτικά διασχίζονται οι δείκτες των γονέων. Όταν ο κόμβος συναντάται για πρώτη φορά, ένα σήμα bit το οποίο αρχικά είναι 0, γίνεται 1.

Όταν ένας κόμβος που συναντηθεί έχει σήμα bit που είναι ήδη 1, σημαίνει ότι έχει επιλεγεί μέσω της άλλης κορυφής. Αυτός ο κόμβος είναι ο λιγότερο κοινός πρόγονος των δύο κορυφών. Οι ακμές στα μονοπάτια από τις δύο κορυφές στον ελάχιστο κοινό πρόγονο αποτελούν τη μέγιστη διαδρομή παραβίασης. Αυτή υπολογίζεται σε χρόνο  $O(|P|)$ , από τη στιγμή που οι δείκτες των γονέων διασχίζονται το πολύ  $2|P|$  φορές.

Για να υπολογιστεί το  $\max_{\text{breach}}$  σε χρόνο  $O(1)$  για ένα ζευγάρι κορυφών Voronoi, δημιουργείται ένα άλλο δέντρο που ονομάζεται breach number tree (BNT)

τροποποιώντας τον αλγόριθμο του Kruskal. Το BNT είναι ένα δυαδικό δέντρο του οποίου τα φύλλα και οι εσωτερικοί κόμβοι αντιστοιχούν στις κορυφές του γραφήματος Voronoi και στις ακμές του μέγιστου γεννητικού δέντρου, αντίστοιχα. Κάθε εσωτερικό κόμβος περιέχει το βάρος της ακμής με την οποία σχετίζεται. Το BNT δημιουργείται από κάτω προς τα πάνω (bottom-up) ως εξής: Αρχικά, ξεκινάμε με τα δέντρα που δεν έχουν καθόλου ακμές, κάθε ένα από τα οποία αντιστοιχεί σε μία κορυφή στο γράφημα Voronoi. Κατά τον τερματισμό του αλγορίθμου, αυτά θα αποτελούν τα φύλλα στο BNT. Κάθε δέντρο, αντιστοιχεί σε ένα σετ από κορυφές του γραφήματος Voronoi που σχηματίζουν μια συνδεδεμένη οντότητα χρησιμοποιώντας τις ακμές που έχουν εισαχθεί μέχρι στιγμής από τον αλγόριθμο του Kruskal. Αρχικά, καμία ακμή δεν έχει εισαχθεί και κάθε κορυφή στο γράφημα Voronoi σχηματίζει μία οντότητα που αποτελείται από ένα μόνο στοιχείο. Όταν μία ακμή εισέρχεται από τον αλγόριθμο του Kruskal, ενώνει δύο ξεχωριστές οντότητες σε μία συνδεδεμένη. Ένας νέος (εσωτερικός) κόμβος αντιστοιχεί στην ακμή που δημιουργείται. Τα δύο της παιδιά είναι οι ρίζες των υποδέντρων που αντιστοιχούν στις δύο ανεξάρτητες συνδεδεμένες οντότητες. Αυτή η λειτουργία γίνεται σε χρόνο  $O(1)$  με την προϋπόθεση ότι γνωρίζουμε ποιες δύο συνδεδεμένες οντότητες ενώνονται από μία ακμή. Αυτό έχει ήδη καθοριστεί από τον αλγόριθμο του Kruskal. Συσχετίζοντας κάθε υποδέντρο με ένα ασυνεχές σύνολο, η πληροφορία αυτή είναι άμεσα διαθέσιμη. Το αποτέλεσμα του αλγορίθμου αυτού, λοιπόν, φαίνεται στην παραπάνω εικόνα.



Εικόνα 38: : Breach Number Tree - BNT

Με την χρήση της παραπάνω διαδικασίας, οι συγγραφείς [3] πετυχαίνουν την επιθυμητή βελτίωση ως προς την απόδοση και το χρόνο εκτέλεσης του αλγορίθμου για την εύρεση εύρεση των μέγιστων μονοπατιών παραβίασης και υποστήριξης σχετικά με τον αλγόριθμο που προτείνεται από τους συγγραφείς στα [2][17]. Πιο συγκεκριμένα, ύστερα από μετρήσεις που έγιναν, επιτυγχάνεται βελτίωση έως και 30%.

#### 4.2.4 Αλγόριθμος Directional Barrier Coverage

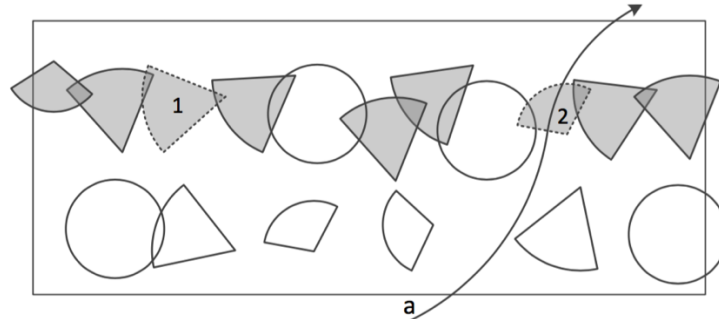
Για την επίλυση του προβλήματος της ελαχιστοποίησης του κόστους των κινητών αισθητήρων που χρειάζονται για την δημιουργία ασθενούς/ισχυρής κάλυψης φράγματος, προτείνεται ο Directional Barrier Coverage Αλγόριθμος [6] ο οποίος θα αναλυθεί παρακάτω.

Προτού προχωρήσουμε στην περιγραφή του παραπάνω αλγορίθμου, είναι σημαντικό και αναγκαίο να γίνει μια εισαγωγή στη δημιουργία κάλυψης φράγματος με τη χρήση κινητών κόμβων-αισθητήρων σε ένα ετερογενές δίκτυο αισθητήρων [6]. Συγκεκριμένα, αυτό μπορεί να γίνει σε δύο φάσεις. Σε πρώτη φάση, αφού οι σταθεροί αισθητήρες έχουν ήδη τοποθετηθεί στο δίκτυο, τα κενά φράγματος ανάμεσα τους μπορούν να εντοπιστούν και έτσι να υπολογιστεί το κόστος των κινητών αισθητήρων που



χρειάζονται για την τοποθέτησή τους σε αυτά. Σε δεύτερη φάση, οι κινητοί αισθητήρες αναπτύσσονται και τοποθετούνται στις αντίστοιχες περιοχές για την δημιουργία φράγματος.

Ένα παράδειγμα δημιουργίας ισχυρής κάλυψης φράγματος με τη χρήση κινητών αισθητήρων φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



**Εικόνα 39: Δημιουργία ισχυρού φράγματος με τη χρήση κινητών αισθητήρων. Οι κινητοί αισθητήρες 1 και 2 τοποθετούνται στα κενά ανάμεσα στους σταθερούς αισθητήρες για τη δημιουργία ισχυρής κάλυψης φράγματος για την περιοχή ενδιαφέροντος.**

Όσον αφορά τα προβλήματα στην εισαγωγή κινητών αισθητήρων, τα πιο σημαντικά είναι τα εξής [6]:

1. Είναι δύσκολο να προσδιοριστεί αν ανάμεσα σε δύο αισθητήρες επικαλύπτει ο ένας τον άλλο και να υπολογιστεί η απόσταση μεταξύ τους αφού διαφορετικά είδη αισθητήρων σημαίνει διαφορετικές περιοχές ανίχνευσης και γωνιών κάλυψης.
2. Από τη στιγμή που οι αισθητήρες είναι τυχαία τοποθετημένοι στην περιοχή, είναι δύσκολο να προσδιοριστεί αν ήδη δημιουργείται φράγμα ή όχι αμέσως μετά την αρχική τοποθέτησή τους.
3. Το κόστος παραγωγής των κινητών αισθητήρων είναι συνήθως πολύ υψηλότερο από αυτό των σταθερών. Αυτό μας παρακινεί στην ελαχιστοποίηση του κόστους των κινητών αισθητήρων που χρειάζονται για την δημιουργία φράγματος.
4. Οι κινητοί αισθητήρες πρέπει να κινηθούν στις επιθυμητές θέσεις που υπάρχουν τα κενά ανάμεσα στους σταθερούς αισθητήρες. Παρ' όλα αυτά η κίνηση των αισθητήρων έχει υψηλό κόστος σε ενέργεια και συχνά οι κινητοί αισθητήρες σταματούν την λειτουργία της εξαιτίας της έλλειψης ενέργειας. Επομένως, ένα ακόμα δύσκολο θέμα είναι η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους κίνησης των αισθητήρων.

Στο σημείο αυτό μπορούμε να προχωρήσουμε στην περιγραφή [6] του παραπάνω αλγορίθμου. Αρχικά, αφού οι αισθητήρες παραταχθούν στην περιοχή, αναφέρουν το είδος τους, την τοποθεσία τους και την κατεύθυνση τους στον αντίστοιχο εξυπηρετητή<sup>4</sup> (server). Ο server μόλις λάβει τις πληροφορίες αυτές, ομαδοποιεί τους αισθητήρες σε ασθενείς ή ισχυρές συστάδες ανάλογα αν πρόκειται για ασθενή ή ισχυρή κάλυψη φράγματος. Στη συνέχεια, υπολογίζεται το ελάχιστο κόστος των κινητών αισθητήρων που απαιτούνται για την ένωση δύο οποιονδήποτε συστάδων και κατασκευάζεται το Directional Barrier Γράφημα G. Μετέπειτα, για την εύρεση του συντομότερου

<sup>4</sup> Στο εξής: server

μονοπατιού, χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος Dijkstra, το μήκος του οποίου είναι το ελάχιστο κόστος των κινητών αισθητήρων που χρειάζονται για την δημιουργία αναλόγως ασθενούς ή ισχυρού φράγματος.

Στο σημείο αυτό είναι αναγκαίο να περιγραφούν οι αλγόριθμοι με βάση τους τους οποίους ομαδοποιούνται οι αισθητήρες για τη δημιουργία, αναλόγως με την περίπτωση, των ασθενών και οι ισχυρών συστάδων. Αρχικά, για την δημιουργία ασθενών συστάδων, πρώτα υπολογίζεται η περιοχή κάλυψης κάθε αισθητήρα σε οριζόντια διάταξη. Δεύτερον, οι αισθητήρες ταξινομούνται κατά αύξουσα σειρά ανάλογα με την περιοχή που καλύπτουν με βάση το αριστερό όριο. Τρίτον, κάθε αισθητήρας σε κάθε σετ ταξινόμησης ελέγχεται, τοποθετείται σε μία αδύναμη συστάδα αν συμπίπτει με την αδύναμη συστάδα σε οριζόντια διάταξη και στη συνέχεια ενημερώνεται το δεξί όριο φράγματος της συστάδας. Σε διαφορετική περίπτωση, μια νέα αδύναμη συστάδα δημιουργείται. Το τρίτο βήμα επαναλαμβάνεται μέχρι και να ελεγχθεί ο τελευταίος αισθητήρας στο ταξινομημένο σετ.

Όσον αφορά τη δημιουργία ισχυρών συστάδων, για καλύτερη κατανόηση ορίζουμε έναν αισθητήρα ως εκχωρημένο αν ανήκει σε μία συστάδα αλλιώς το ορίζουμε ως ανεκχώρητο. Αρχικά, αρχικοποιείται μία συστάδα με έναν ανεκχώρητο αισθητήρα. Δεύτερον, για κάθε νέο προστιθέμενο αισθητήρα στην συστάδα, ελέγχονται όλοι οι ανεκχώρητοι αισθητήρες και όσοι συμπίπτουν με αυτόν τοποθετούνται στην συστάδα. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται διαδικασία εύρεσης γείτονα. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι να μην είναι δυνατή η εισαγωγή αισθητήρα στην συστάδα. Ο αλγόριθμος τερματίζει όταν δεν υπάρχει κανένας αισθητήρας.

Στο κομμάτι αυτό παρουσιάζεται η διαδικασία εύρεσης του βάρους κάθε ακμής στο DBG, που αποτελεί το ελάχιστο κόστος των κινητών αισθητήρων που χρειάζονται για τη σύνδεση οποιονδήποτε συστάδων. Η απόσταση μεταξύ δύο συστάδων ορίζεται ως  $\tilde{d}$  και αναλόγως αν αναφερόμαστε σε ασθενές ή ισχυρό φράγμα το  $\tilde{d}$  συμβολίζει την ασθενή ή την ισχυρή απόσταση αντίστοιχα.  $l_r(j)$  είναι το μεγαλύτερο εύρος κάλυψης ενός αισθητήρα  $j$  και  $c(j)$  το κόστος του.  $n(j)$  είναι το πλήθος των αισθητήρων τύπου  $j$ . Τότε το πρόβλημα μορφοποιείται ως εξής:

$$\begin{aligned} & \text{Minimize } \sum_{j=1}^k c(j)n(j) \\ & \text{Subject to } \sum_{j=1}^k l_r(j)n(j) \geq \tilde{d} \\ & \quad n(j) \geq 0 \ \& \ n(j) \in \mathbb{Z} \end{aligned}$$

Το πρόβλημα αυτό αν και είναι πρόβλημα ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού μπορεί να επιλυθεί με τη χρήση του αλγορίθμου Branch και Bound.

#### 4.2.5 Αλγόριθμος Greedy Movement

Για την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους της κίνησης των αισθητήρων για την τοποθέτηση τους στις κατάλληλες θέσεις και την αποτελεσματική δημιουργία φράγματος, προτείνεται ο Greedy Movement Αλγόριθμος [6], ο οποίος αναλύεται παρακάτω.

Η βασική ιδέα του συγκεκριμένου αλγορίθμου είναι η μετακίνηση του εκάστοτε κινητού αισθητήρα στο κοντινότερο κενό για την δημιουργία φράγματος. Για κάθε ευθύγραμμο τμήμα AB, το αρχικό σημείο τοποθέτησης είναι το σημείο A. Άπαξ και ένας αισθητήρας κινείται στο AB το σημείο τοποθέτησης θα γίνει το αριστερότερο σημείο στο AB που δεν έχει καλυφθεί ακόμα. Ως εκ τούτου, μπορεί να υπολογιστεί η απόσταση μεταξύ των αισθητήρων και της εκάστοτε κοντινότερης θέσης για τοποθέτηση αυτού

#### 4.2.6 Αλγόριθμος Vertex-Disjoint Path

Με βάση τους παραπάνω αλγόριθμους, το επόμενο βήμα αφορά το πως μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποδοτικά οι κινητοί αισθητήρες για την δημιουργία κάλυψης  $k$ -φραγμάτων. Πιο συγκεκριμένα, λόγω του μεγάλου κόστους των κινητών αισθητήρων γίνεται προσπάθεια εύρεσης του ελάχιστου αριθμού αυτών που απαιτούνται για την δημιουργία κάλυψης  $k$ -φραγμάτων όταν ήδη έχουν τοποθετηθεί σταθεροί αισθητήρες και δεύτερον γίνεται προσπάθεια εύρεσης του μέγιστου αριθμού φραγμάτων που είναι δυνατόν να δημιουργηθούν όταν υπάρχουν ήδη και σταθεροί και κινητοί αισθητήρες στο δίκτυο.

Έτσι, λοιπόν, εστιάζουμε στα εξής προβλήματα:

- Πρόβλημα Min-Num-Mobile(k): Ποιος είναι ο ελάχιστος αριθμός κινητών αισθητήρων που απαιτούνται για την δημιουργία  $k$ -barrier coverage, αν αυτή δεν επιτυγχάνεται, όταν ήδη υπάρχουν σταθεροί αισθητήρες στην περιοχή ενδιαφέροντος;
- Πρόβλημα Max-Num-Barrier(k): Ποιος είναι ο μέγιστος αριθμός φραγμάτων που μπορούν να δημιουργηθούν όταν υπάρχουν ήδη σταθεροί και κινητοί αισθητήρες στην περιοχή ενδιαφέροντος;

Για την επίλυση του πρώτου προβλήματος Min-Num-Mobile(k), ο αλγόριθμος που παρουσιάζεται απαιτεί την εύρεση μονοπατιών που δεν έχουν καμία κοινή εσωτερική κορυφή (vertex-disjoint paths) και για αυτό τον λόγο παρουσιάζεται πρώτα ο αλγόριθμος Vertex-Disjoint Path [6].

Κύρια λειτουργία αυτού του αλγόριθμου είναι η εύρεση ενός συνόλου μονοπατιών,  $P^*_q$ , χωρίς καμία κοινή εσωτερική κορυφή (vertex-disjoint paths) και με το ελάχιστο συνολικό μήκος στο γράφημα. Με δεδομένο το  $P^*_i$ , ο αλγόριθμος ξεκινά την προσπάθεια εύρεσης του  $P^*_{(i+1)}$ .

Με βάση το  $P^*_i$  το αρχικό γράφημα μετατρέπεται με βάση τα ακόλουθα βήματα. **ΒΗΜΑ 1: Μετατροπή του γραφήματος** Αρχικά, γίνεται αντικατάσταση των ακμών των ξένων μονοπατιών από τόξα που κατευθύνονται απευθείας στην πηγή, το μήκος των οποίων παίρνει αρνητική τιμή. Στη συνέχεια, κάθε κορυφή (εκτός των τελικών) κάθε ξένου μονοπατιού, χωρίζεται σε δύο κορυφές που ενώνονται μέσω ενός τόξου με μηδενικό μήκος. Το τόξο αυτό το κατευθύνουμε κατευθείαν στην πηγή. Αντικαθιστούμε κάθε εξωτερική ακμή που συνδέεται στην κορυφή του συντομότερου μονοπατιού με τα δύο τόξα ίδιου μήκους, όπου το ένα κατευθύνεται στην μία υπο-κορυφή και το άλλο στην άλλη. **ΒΗΜΑ 2: Εύρεση συντομότερου μονοπατιού** Με τη βοήθεια του αλγορίθμου του Dijkstra βρίσκεται το συντομότερο μονοπάτι στο νέο γράφημα που προήλθε από το ΒΗΜΑ 1. **ΒΗΜΑ 3: Ενημέρωση των μονοπατιών** Μετατροπή στο αρχικό γράφημα και διαγραφή οποιονδήποτε ακμών, του συντομότερου αυτού μονοπατιού, που συμπίπτουν με το προηγούμενο σύνολο  $P^*_i$ . Εύρεση του νέου συνόλου το  $P^*_{(i+1)}$  αφού αφαιρεθούν οι κορυφές που συμπίπτουν.

Η αρχικοποίηση του αλγορίθμου είναι το  $P^*_1$  που είναι το συντομότερο μονοπάτι στο γράφημα. Αφού το  $P^*_1$  βρεθεί, τότε μπορεί να βρεθεί και το  $P^*_2$ , το  $P^*_3$  και ούτω καθεξής.

#### 4.2.7 Αλγόριθμος Min-Num-Mobile(k)-Βέλτιστος

Ο αλγόριθμος αυτός αποτελεί επέκταση του Vertex-Disjoint Path αλγορίθμου αφού αποτελεί την βάση για τον σχεδιασμό του Min-Num-Mobile(k)-Βέλτιστου αλγορίθμου.

Πιο αναλυτικά ο αλγόριθμος λειτουργεί ως εξής: Αρχικά, με τη χρήση του αλγορίθμου του Dijkstra βρίσκεται το συντομότερο μονοπάτι του γραφήματος, π.χ.  $P^*_1$ . Στη συνέχεια, με την επαναλαμβανόμενη χρήση του του Min-Num-Mobile(k)-Βέλτιστου αλγορίθμου (που περιεγράφηκε εκτενώς παραπάνω) βρίσκονται όλα τα  $P^*_q$  μονοπάτια που αποτελούν το σύνολο των μονοπατιών χωρίς καμία κοινή εσωτερική κορυφή (vertex-disjoint paths). Μετέπειτα, αφού βρεθούν όλα τα k-βοηθητικά σύνολα μονοπατιών, επιλέγεται αυτό με το ελάχιστο συνολικό μήκος και τέλος, ελέγχεται αν είναι το βέλτιστο.

#### 4.2.8 Αλγόριθμος Min-Num-Mobile(k)-Άπληστος

Ο Vertex-Disjoint Path αλγόριθμος [6] περιέχει πολλές πράξεις, όπως ο μετασχηματισμός του εκάστοτε γραφήματος (διαχωρισμός και συγχώνευση κόμβων) με αποτέλεσμα να είναι αρκετά πολύπλοκος και ιδιαίτερα χρονοβόρος όταν ειδικά πρόκειται για δίκτυα μεγάλης κλίμακας. Έτσι, λοιπόν, και ο Min-Num-Mobile(k)-Βέλτιστος αλγόριθμος που ενσωματώνει τον Vertex-Disjoint Path αλγόριθμο παρουσιάζει το ίδιο μειονέκτημα. Για τον λόγο αυτό παρουσιάζεται ο Min-Num-Mobile(k)-Άπληστος αλγόριθμος, ο οποίος είναι πιο γρήγορος από τον τελευταίο που αναφέρθηκε.

Η βασική ιδέα του αλγορίθμου αυτού είναι εύρεση κάθε φορά του συντομότερου μονοπατιού μέχρι να βρεθούν k στον αριθμό μονοπάτια ή το τελευταίο που θα βρεθεί να είναι μεγαλύτερο από το  $\lfloor L/l_r \rfloor$ , L το μήκος της περιοχής και  $l_r$  το μεγαλύτερο εύρος κάλυψης του κάθε αισθητήρα ή κανένα μονοπάτι άλλο δεν μπορεί να βρεθεί. Στο τέλος, αν ο αριθμός των μονοπατιών που έχουν βρεθεί είναι μικρότερος από k τότε προστίθενται φράγματα για την δημιουργία k στον αριθμό φραγμάτων.

Πιο αναλυτικά, ο αλγόριθμος λειτουργεί ως εξής: Αρχικά, με τη χρήση του Dijkstra αλγορίθμου, βρίσκεται το συντομότερο μονοπάτι από τον αριστερότερο στον δεξιότερο κόμβο του γραφήματος. Αν είναι μεγαλύτερο από το  $\lfloor L/l_r \rfloor$ , απορρίπτεται και ο αλγόριθμος τερματίζει με την προσθήκη φραγμάτων στο αρχικό σύνολο που έχει αρχικοποιηθεί στο μηδέν. Διαφορετικά, το μονοπάτι αυτό προστίθεται στο σύνολο, και κρατούνται τα μονοπάτια που θα αποτελέσουν τα φράγματα. Αν είναι το τελευταίο μονοπάτι, ο αλγόριθμος τερματίζει. Διαφορετικά, αφαιρούνται όλες οι κορυφές (εκτός s και t) του μονοπατιού που βρέθηκε από το γράφημα και ο αλγόριθμος επαναλαμβάνει τη διαδικασία για την εύρεση της επόμενου σύντομου μονοπατιού. Τέλος, αν q είναι ο αριθμός των μονοπατιών που έχει βρεθεί, τότε k-q φράγματα προστίθενται στο σύνολο.

Είναι εύκολο να παρατηρήσει κανείς ότι ο Greedy αλγόριθμος είναι πολύ πιο γρήγορος και αποδοτικός από τον προηγούμενο αφού δεν απαιτεί τον μετασχηματισμό του αρχικού γραφήματος, κάτι που είναι ιδιαίτερα πολύπλοκο όταν πρόκειται για μεγάλης κλίμακας δίκτυα.

Η βέλτιστη λύση του δεύτερου προβλήματος που ακούει στο όνομα Max-Num-Barrier (k) Problem, βασίζεται στην βέλτιστη λύση του Min-Num-Mobile(k) Problem. Για την επίλυση του προβλήματος αυτό παρουσιάζεται τόσο ένας βέλτιστος (optimal) αλγόριθμος όσο και ένας πιο γρήγορος (greedy) από αυτόν.

#### 4.2.9 Αλγόριθμος Min-Num-Barrier-Βέλτιστος

Ο αλγόριθμος αυτός [6] είναι ουσιαστικά ο Min-Num-Mobile(k)-Βέλτιστος Αλγόριθμος με την μοναδική διαφορά να εντοπίζεται στο ότι το k αυξάνεται μέχρι το σύνολο των αισθητήρων που αποτελούν τα φράγματα αυξανόμενο κατά 1 να είναι μεγαλύτερο του αριθμού των κινητών αισθητήρων που υπάρχουν στο δίκτυο. Ο μέγιστος αριθμός φραγμάτων είναι k.

#### 4.2.10 Αλγόριθμος Max-Num-Barrier-Απληστος

Η βασική ιδέα του αλγορίθμου αυτού [6] είναι εύρεση κάθε φορά του συντομότερου μονοπατιού μέχρι να έχουν ελεγχθεί όλοι οι κινητοί αισθητήρες ή να μην υπάρχει κάποιο μονοπάτι ή το τελευταίο που θα βρεθεί να είναι μεγαλύτερο από το  $\lfloor L/l_r \rfloor$ ,  $L$  το μήκος της περιοχής και  $l_r$  το μεγαλύτερο εύρος κάλυψης του κάθε αισθητήρα. Στο τέλος, αν έχουν απομείνει κάποιοι κινητοί αισθητήρες, χρησιμοποιούνται για την κατασκευή φραγμάτων.

Πιο αναλυτικά, ο αλγόριθμος λειτουργεί ως εξής: Αρχικά, με τη χρήση του Dijkstra αλγορίθμου, βρίσκεται το συντομότερο μονοπάτι από τον αριστερότερο ( $s$ ) στον δεξιότερο ( $t$ ) κόμβο του γραφήματος. Αν είναι μεγαλύτερο από το  $\lfloor L/l_r \rfloor$ , απορρίπτεται και ο αλγόριθμος τερματίζει έχοντας βρει τον μέγιστο αριθμό φραγμάτων. Διαφορετικά, όλες οι κορυφές του μονοπατιού αφαιρούνται (εκτός  $s$  και  $t$ ), το μονοπάτι προστίθεται στο αρχικό άδαιο σύνολο και στη συνέχεια η διαδικασία επαναλαμβάνεται για την εύρεση κάθε φορά του επόμενου μονοπατιού.

#### 4.2.11 Πρωτόκολλο Localized Barrier Coverage (LBCP)

Εκτός όμως από την επιτυχή δημιουργία κάλυψης φράγματος, ένα ακόμη φλέγον ζήτημα σε συνδυασμό με αυτό της κάλυψης είναι η επιμήκυνση της διάρκειας ζωής του δικτύου. Ο αλγόριθμος Localized Barrier Coverage Protocol [9] που παρουσιάζεται και αναλύεται παρακάτω αναλαμβάνει τη μεγιστοποίηση της διάρκειας ζωής του δικτύου καθώς επίσης και, ταυτοχρόνως την παροχή κάλυψης φράγματος και επιπλέον, βασίζεται στην εκτέλεση ενός αλγορίθμου που ονομάζεται Randomized Independent Sleeping (RIS).

Προϋπόθεση των παραπάνω, είναι η χρήση του L-local Barrier Coverage που δίνει τη δυνατότητα ανάπτυξης αλγορίθμων που λειτουργούν τοπικά. Η χρήση L-local barrier coverage δίνει, πιο συγκεκριμένα, τη δυνατότητα να ελέγχεται τοπικά αν ένας αισθητήρας του δικτύου εξασφαλίζει ότι καμία κίνηση δεν μπορεί να διασχίσει το δίκτυο χωρίς να εντοπιστεί [9].

Αρχικά, είναι απαραίτητο να γίνουν κάποιες υποθέσεις. Πιο συγκεκριμένα, υποθέτουμε ότι:

1. Κάθε κόμβος έχει ένα μοναδικό ID.
2. Το δίκτυο λειτουργεί τοπικά και ο κάθε κόμβος γνωρίζει την τοποθεσία του.
3. Σε περίπτωση ανακριβιών εντοπισμού, η αναγνωρισμένη 2d-ζώνη(1) ενός κόμβου μπορεί να μην περιέχει την πραγματική 2d-ζώνη του κόμβου αυτού. Παρ' όλα αυτά, το σφάλμα της τοποθεσίας επηρεάζει μόνο ελάχιστα την απόδοση του LBCP.
4. Ο κόμβος μπορεί να επικοινωνεί με όλους τους κόμβους που βρίσκονται μέσα στην 2d-ζώνη.
5. Οι κόμβοι είναι σε θέση να εκτιμήσουν το υπόλοιπο της διάρκειας ζωής τους παρατηρώντας τα επίπεδα της μπαταρίας που διαθέτουν.
6. Όλα τα LBCP πακέτα στέλνονται και λαμβάνονται σχεδόν αμέσως. (Το πρωτόκολλο MAC δεν εισάγει καθυστερήσεις).

Σε πρώτο στάδιο με βάση την επιθυμητή τιμή  $L$ , υπολογίζεται η τιμή  $d$ . Σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, κάθε κόμβος βρίσκεται σε μία από τις εξής καταστάσεις: ενεργός (active), λειτουργία ύπνου (sleeping) ή λειτουργία ενεργοποίησης (waking-up). Υποθέτουμε ότι στην αρχή, κάθε κόμβος είναι ενεργός και εκτελεί την ευριστική μέθοδο για να εντοπίσει την 2d-ζώνη του. Αν κάποιος κόμβος αναφέρει ότι η 2d-ζώνη ενός

κόμβου δεν καλύπτεται από  $k$  φράγματα ( $k$ -barrier covered), ο αλγόριθμος τερματίζει λόγω αποτυχίας. Στην περίπτωση αυτή η τιμή  $L$  πρέπει να μειωθεί ή περισσότεροι αισθητήρες να προστεθούν στην περιοχή. Σε αντίθετη περίπτωση, κάθε κόμβος  $u$  υπολογίζει την τιμή  $\gamma_u = \max\{d(u,v) : v \in 2d \text{ zone}(u) \text{ ή } u \in 2d \text{ zone}(v)\}$ . Στη συνέχεια, όλοι οι κόμβοι επιστρέφουν στην κατάσταση ύπνου και ενεργοποιούνται μετά από μία μικρή τυχαία καθυστέρηση.

Αφού κάθε κόμβος επανέλθει σε λειτουργία ενεργοποίησης, εκτελεί την παρακάτω διαδικασία που ονομάζεται WAKEUP για να αποφασίσει αν θα γίνει ενεργός ή θα επιστρέψει στην λειτουργία ύπνου. Στο πρωτόκολλο, η τιμή  $T$  είναι προκαθορισμένη.

1. Ο κόμβος  $u$  κατά τη λειτουργία ενεργοποίησης αναμεταδίδει ένα Query\_W πακέτο στην περιοχή του  $\gamma_u$ .
2. Όταν ένας ενεργός κόμβος  $v$  λαμβάνει το Query\_W πακέτο από τον κόμβο  $u$ , αν ο  $u$  είναι στην  $2d \text{ zone}(v)$  και ο τελευταίος δεν καλύπτεται προς το παρόν από  $k$ -φράγματα, τότε ο  $v$  απαντάει με ένα Required\_W μήνυμα που περιέχει το ID του, την τοποθεσία του και την διάρκεια ζωής του. Διαφορετικά, ο κόμβος  $v$  απαντάει με ένα Not\_Required\_W μήνυμα που επίσης περιέχει το ID του, την τοποθεσία του και την διάρκεια ζωής του.
3. Αν ο κόμβος  $u$  λάβει κάποιο Required\_W πακέτο τότε γίνεται ενεργός. Αν όμως δεν λάβει κάποιο Required\_W ή Not\_Required\_W πακέτο που σημαίνει ότι δεν υπάρχουν ενεργοί κόμβοι στην  $2d \text{ zone}(u)$  τότε και πάλι ο κόμβος  $u$  γίνεται ενεργός. Διαφορετικά, επιστρέφει σε κατάσταση ύπνου. Οποτεδήποτε ο  $u$  λάβει ένα Required\_W ή Not\_Required\_W πακέτο, τότε καταγράφει το ID, τις αντίστοιχες θέσεις και διάρκειες ζωής που περιέχονται στο αντίστοιχο πακέτο.
4. Αν ο κόμβος  $u$  αποφασίσει να επιστρέψει σε κατάσταση ύπνου, τότε «κοιμάται» μέχρι  $T$  μονάδες χρόνου ή μέχρι ο πρώτος ενεργός κόμβος στο εύρος  $\gamma_u$  τερματίσει τη λειτουργία του, όποιο από τα δύο συμβεί νωρίτερα. (Η ενεργοποίηση μετά από χρόνο  $T$  είναι για την προστασία από απρόβλεπτες αποτυχίες αισθητήρων ή αν είναι ανακριβής η εκτίμηση της υπολειπόμενης διάρκειας ζωής.)
5. Αν ο κόμβος  $u$  αποφασίσει να γίνει ενεργός, τότε μεταδίδει στο εύρος  $\gamma_u$  ένα Decision\_Active πακέτο που περιέχει το ID του, την τοποθεσία του και τη διάρκεια ζωής του.
6. Όταν ένας ενεργός κόμβος  $v$  λάβει στο Decision\_Active πακέτο του κόμβου  $u$ , ο  $v$  καταγράφει το ID του  $u$  καθώς και την τοποθεσία του και τη διάρκεια ζωής του

Κάθε ενεργός κόμβος περιοδικά εκτελεί την παρακάτω διαδικασία που ονομάζεται ACTIVE για να αποφασίσει αν θα επιστρέψει σε κατάσταση ύπνου. Ανεπίσημα, ένας κόμβος  $u$  μπορεί να επιστρέψει σε κατάσταση ύπνου αν για κάθε ενεργό κόμβο  $v$  τέτοιο ώστε  $u \in 2d \text{ zone}(v)$  η  $2d \text{ zone}(v)$  θα καλύπτεται από  $k$  φράγματα χωρίς τον  $u$ . Ωστόσο, υπάρχει κίνδυνος να προκληθεί ζημιά στην κάλυψη φράγματος αν δύο επιλέξιμοι κόμβοι επιστρέψουν σε κατάσταση ύπνου ταυτόχρονα. Αφήνουμε κάθε κόμβο  $u$  να διατηρεί ένα σύνολο  $A(u)$  λόγω αυτού του λεπτού ζητήματος που αναφέρθηκε προηγουμένως. Αρχικά,  $\forall u, A(u) = \emptyset$ .

1. Ένας ενεργός κόμβος  $u$ , αφού έχει παραμείνει ενεργός για  $T$  μονάδες χρόνου, μεταδίδει ένα Query\_A πακέτο στο εύρος  $\gamma_u$  αν η  $2d \text{ zone}(u)$  συνεχίζει να καλύπτεται από  $k$  φράγματα ( $k$ -barrier covered) χωρίς τους κόμβους στο  $A(u) \cup \{u\}$ .
2. Οποτεδήποτε ένας ενεργός κόμβος  $v$  λαμβάνει από τον κόμβο  $u$  το Query\_A πακέτο, αν η  $2d \text{ zone}(v)$  καλύπτεται από  $k$  φράγματα χωρίς χωρίς τον κόμβο  $u$

και του κόμβους που βρίσκονται στο σύνολο  $A(v)$ , τότε ο  $v$  προσθέτει τον  $u$  στο  $A(v)$  και απαντάει με ένα `Not_Required_A` μήνυμα. Σε διαφορετική περίπτωση ο  $v$  απαντάει με ένα `Required_A` μήνυμα.

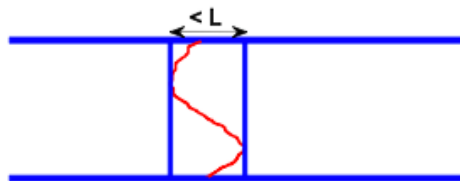
3. Μετά την έκδοση του `Query_A` πακέτου, αν ο κόμβος  $u$  λάβει ένα `Not_Required_A` πακέτο από κάθε ενεργό κόμβο στο εύρος  $\gamma_u$  και δεν λάβει κανένα `Required_A` πακέτο, τότε αποφασίζει να μεταβεί σε κατάσταση ύπνου. Σε αυτή την περίπτωση, ο  $u$  μεταδίδει ένα `Decision_Sleep` πακέτο στο εύρος  $\gamma_u$  και μεταβαίνει σε κατάσταση ύπνου για  $T$  μονάδες χρόνου ή μέχρι ο πρώτος ενεργός κόμβος στο εύρος  $\gamma_u$  τερματίσει τη λειτουργία του, όποιο από τα δύο συμβεί νωρίτερα. Διαφορετικά, ο κόμβος  $u$  παραμένει ενεργός και μεταδίδει στο εύρος  $\gamma_u$  ένα `Decision_Continue` πακέτο που περιέχει το ID του, την τοποθεσία του και τη διάρκεια ζωής του.
4. Οποτεδήποτε ένας ενεργός κόμβος  $v$  λάβει από έναν κόμβο  $u$  ένα `Decision_Sleep` πακέτο, ο  $v$  αφαιρεί τον  $u$  από το σύνολο με τους ενεργούς κόμβους και από το  $A(v)$ . Οποτεδήποτε ένας ενεργός κόμβος  $v$  λάβει από έναν κόμβο  $u$  ένα `Decision_Continue` πακέτο, ο  $v$  καταγράφει το ID του  $u$ , την τοποθεσία του και τη διάρκεια ζωής του αν ο  $u$  δεν ανήκει στο σύνολο με τους ενεργούς κόμβους. Επιπλέον, ο  $v$  αφαιρεί τον  $u$  από το  $A(v)$ .
5. Αν ο κόμβος  $u$  παραμείνει ενεργός, τότε κάθε  $T$  μονάδες χρόνου ελέγχει αν έχουν προστεθεί νέοι ενεργοί κόμβοι στην  $2d$  zone( $u$ ) σε χρόνο  $T$  (ή από την τελευταία φορά που μεταδόθηκε ένα `Query_A` πακέτο. Αν είναι έτσι, και αν η  $2d$  zone( $u$ ) καλύπτεται από  $k$  φράγματα χωρίς τους κόμβους στο  $A(u) \cup \{u\}$ , τότε ο κόμβος  $u$  μεταδίδει ξανά ένα `Query_A` πακέτο.

Στόχος του πρωτοκόλλου αυτού είναι να εξασφαλίσει ότι κάθε  $2d$ -ζώνη κάθε ενεργού κόμβου καλύπτεται από  $k$  φράγματα (είναι δηλαδή  $k$ -barrier covered) και έτσι και ολόκληρη η περιοχή της ζώνης είναι  $L$ -local  $k$ -barrier covered. Το πρωτόκολλο αυτό επίσης προσπαθεί να μεγιστοποιήσει τη διάρκεια ζωής του δικτύου. Η απόδοση του εξαρτάται από τις τιμές  $d$  και  $T$ .

Παρατήρηση: Υποθέτουμε ότι η  $2d$ -ζώνη κάθε κόμβου είναι  $k$ -barrier covered αν όλοι οι κόμβοι είναι ενεργοί. Ο στόχος του LBCP πρωτοκόλλου είναι να εξασφαλίσει η  $2d$ -ζώνη κάθε ενεργού κόμβου είναι  $k$ -barrier covered και έτσι ολόκληρη η περιοχή είναι  $L$ -local  $k$ -barrier covered. Επίσης, το πρωτόκολλο αυτό προσπαθεί να μεγιστοποιήσει τη διάρκεια ζωής του δικτύου. Η απόδοση του εξαρτάται από τις τιμές  $d$  και  $T$ .

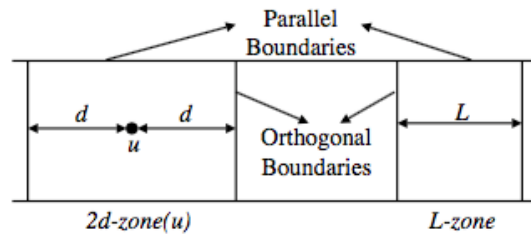
Κάποια σημαντικά στοιχεία για την καλύτερη κατανόηση του παραπάνω πρωτοκόλλου είναι:

- Αν το δίκτυο προσφέρει  $L$ -local Barrier Coverage ( $L$ -local κάλυψη φράγματος), τότε το μονοπάτι διέλευσης που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα είναι σίγουρο ότι θα ανιχνευθεί από τη στιγμή που το πλαίσιο οριοθέτησης του έχει μικρότερο μήκος από το  $L$ .



Εικόνα 40: Μονοπάτι διέλευσης σε δίκτυο που προσφέρει  $L$ -local Barrier Coverage

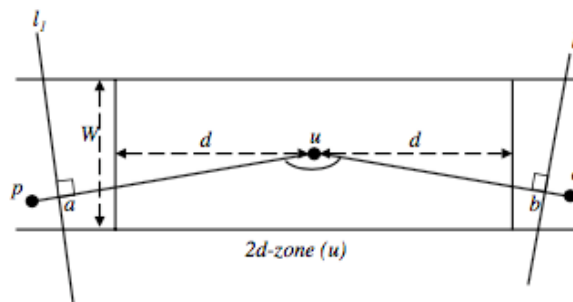
- Για μία θετική τιμή  $d$ , η  $2d$ -ζώνη ενός κόμβου  $u$  ( $2d$ -zone( $u$ )) είναι μία  $L$ -ζώνη με  $L=2d$ , στην οποία το κάθετο μονοπάτι διέλευσης που διέρχεται από τον κόμβο  $u$ , χωρίζει την  $L$ -ζώνη σε δύο τμήματα ίσου μήκους (κάθε ένα μήκους  $d$ ).



Εικόνα 41: Διαχωρισμός  $L$ -ζώνης σε δύο τμήματα

- Ευριστική μέθοδος (λίγα λόγια)

Για την εύρεση της  $2d$ -ζώνης ενός κόμβου  $u$ , αρχικά η τιμή  $r_1$  επιλέγεται να είναι επαρκώς μεγάλη τέτοια ώστε ολόκληρη η  $2d$  zone( $u$ ) να περικλείεται από τον κύκλο  $C_1$  ακτίνας  $r_1$  με κέντρο τον κόμβο  $u$ . Στη συνέχεια, οι γραμμές  $l_1$  και  $l_2$  είναι αυτές που εφάπτονται στον κύκλο  $C_1$  στις αντίθετες πλευρές του κάθετου μονοπατιού που διέρχεται από τον κόμβο  $u$  και κάθε μία τέμνει τα δύο μεγάλα όρια της περιοχής. Το τμήμα  $S$  της περιοχής μεταξύ  $l_1$  και  $l_2$  είναι φυσικό να περιέχει την  $2d$ -ζώνη του κόμβου  $u$ , όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 42: Ευριστική μέθοδος σε  $L$ -local Barrier Coverage

Εφόσον, λοιπόν, οριστεί η τιμή  $r_1$  πρέπει στη συνέχεια να επιλεχθούν οι κατάλληλες  $l_1$  και  $l_2$  γραμμές. Για να γίνει αυτό, επιλέγονται δύο κόμβοι  $p$  και  $q$  αντίστοιχα οι οποίοι βρίσκονται από τα κάθετα μονοπάτια που διέρχονται από τον κόμβο  $u$  και ικανοποιούν τις εξής συνθήκες:  $-d(p,u) \geq r_1$  και  $d(q,u) \geq r_1$ . Έτσι, ισχυριζόμαστε ότι κομμάτι  $S$  της ζώνης περιοχής μεταξύ των γραμμών  $l_1$  και  $l_2$  περιέχει την  $2d$ -ζώνη του κόμβου  $u$ , δηλαδή την  $2d$  zone( $u$ ).

#### 4.2.12 Αλγόριθμος MaxSTAverageBreach

Μέχρι αυτό το σημείο, το αντικείμενο των μελετών ήταν η μέγιστη παραβίαση μονού ζεύγους (single-pair maximal breach). Λόγω της μη σημαντικότητας του υπολογισμού αυτού μεταξύ οποιονδήποτε ζευγαριών από την αρχή μέχρι το τέλος της περιοχής ενδιαφέροντος, προτείνεται ένα νέο είδος μέτρησης, αυτό του μέσου όρου όλων των ζευγών (all-pairs average maximal breach) [14].

Προτείνεται δηλαδή μία απλή αλλά πολύ σημαντική επέκταση της μέτρησης της μέγιστης παραβίασης (maximal breach measure). Πιο συγκεκριμένα, η τελική τιμή της μέτρησης αυτής προτείνεται να προέρχεται από τον μέσο όρο των τιμών που μετρούνται και όχι από κάθε τιμή ξεχωριστά.



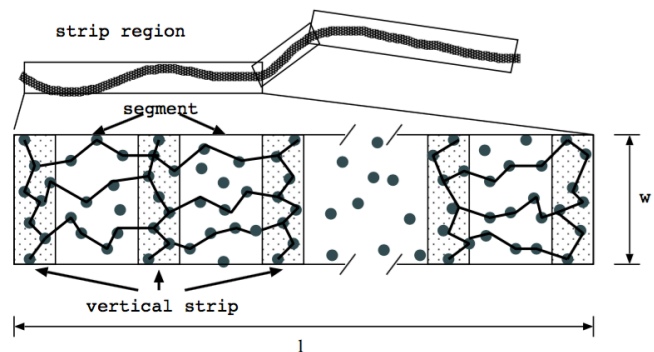
Ο αλγόριθμος, λοιπόν, που προτείνεται [14] βασίζεται στον αλγόριθμο του Kruskal. Πιο συγκεκριμένα, είναι ο ίδιος ο αλγόριθμος του Kruskal αλλά κάθε φορά «επιλέγεται» το μέγιστο βάρος κάθε ακμής σε αντίθεση με τον αλγόριθμο του Kruskal που επιλέγεται το ελάχιστο βάρος. Έτσι, υπολογίζεται το δέντρο επικάλυψης μέγιστου κόστους. Αρχικά, το σύνολο των ακμών είναι άδειο και με την πρόοδο του χρόνου προστίθενται μία προς μία κατά φθίνουσα σειρά, νέες ακμές. Ανά πάσα στιγμή, οι γράφοι που σχηματίζονται από τις κορυφές του αρχικού γραφήματος και του συνόλου των ακμών αποτελούν ενδεχομένως περισσότερα από ένα συνδεδεμένα δένδρα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, οι ακμές του συνόλου των ακμών που περιλαμβάνονται σε κάθε ένα από αυτά αποτελούν τα μέγιστα συνδεδεμένα δένδρα για το σύνολο των κορυφών του εκάστοτε τμήματος. Στο τέλος του αλγορίθμου, λαμβάνεται ένα μόνο συνδεδεμένο τμήμα και έτσι το σύνολο των ακμών που πλέον έχει γεμίσει αποτελεί το μέγιστο επικάλυπτον δέντρο του αρχικού γραφήματος. Επιπλέον, για τη δημιουργία όλο και μεγαλύτερων ανεξάρτητων συνδεδεμένων τμημάτων, εξετάζονται οι ακμές του αρχικού γραφήματος κατά φθίνουσα σειρά. Αν μία ακμή ενώνει δύο κορυφές από διαφορετικά τμήματα, τότε εισάγεται στο σύνολο των ακμών και τα δύο τμήματα γίνονται ένα ενιαίο τμήμα. Σε διαφορετική περίπτωση, η ακμή απορρίπτεται διότι η συμπερίληψη της στο σύνολο των ακμών θα δημιουργούσε κύκλο.

Εκτός λοιπόν από την παραμετροποίηση του αλγορίθμου του Kruskal ώστε να βρίσκεται το δέντρο επικάλυψης μέγιστου κόστους, γίνεται και μία προσθήκη. Πιο αναλυτικά, η προσθήκη αυτή αφορά, τον καθορισμό της κρίσιμης ακμής (critical edge) ανάμεσα σε ένα ζεύγος κόμβων.

#### 4.2.13 Αλγόριθμοι ComputeBarriers & Divide-and-Conquer

Ένα πολύ φλέγον ζήτημα είναι αυτό της δημιουργίας κάλυψης φράγματος σε μία περιοχή που έχει ακανόνιστο σχήμα. Κύρια φιλοσοφία, λοιπόν, είναι ο διαχωρισμός της περιοχής αυτής σε μικρότερα τμήματα με στόχο την επιτυχημένη δημιουργία κάλυψης φράγματος. Ακόμη στο σημείο αυτό, προτείνονται καλύτερες λύσεις από αυτές στο [7] και στο [10]. Πιο συγκεκριμένα, σε σχέση με την πρώτη αναφορά ο συγκεντρωτικός (centralized) αλγόριθμος που προτείνεται μπορεί να προκαλέσει υψηλή υπερφόρτωση κατά την επικοινωνία καθώς και υψηλά κόστη σε μεγάλης κλίμακας δίκτυα, συνθήκες που δημιουργούν πρόβλημα για την επιτυχή κάλυψη φράγματος. Ακόμη, συγκριτικά με το δεύτερη αναφορά που αναφέρθηκε προηγουμένως, οι συγγραφείς αυτού δεν λαμβάνουν υπόψιν την προστασία του δικτύου από εισβολείς που μπορεί να κινηθούν πέρα από το εύρος των περιοχών που ορίζονται.

Έτσι, λοιπόν, για την αποφυγή της καθυστέρησης, της υπερφόρτωσης κατά την επικοινωνία και του υψηλού κόστους των υπολογισμών, η περιοχή που πρέπει να προστατευθεί καλύπτεται από λωρίδες και η κάθε λωρίδα χωρίζεται σε μικρότερα τμήματα που τέμνονται από κάθετες λωρίδες. Σε κάθε τμήμα και κάθε κάθετη λωρίδα τα φράγματα υπολογίζονται ανεξάρτητα, όπου για κάθε τμήμα υπολογίζονται τα οριζόντια φράγματα και για κάθε κάθετη λωρίδα υπολογίζονται και τα «οριζόντια» και τα «κάθετα» φράγματα (προφανώς αυτά τα φράγματα δεν είναι ευθείες γραμμές), όπως φαίνεται στην εικόνα 43.



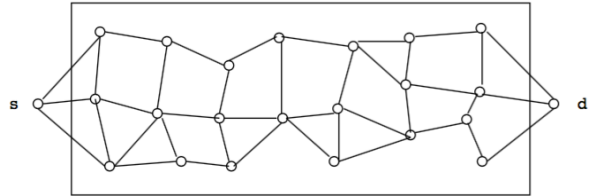
Εικόνα 43: Υπολογισμός φραγμάτων από τον αλγόριθμο ComputeBarriers

Ο αλγόριθμος ComputeBarriers αφορά την εύρεση όλων των ανεξάρτητων φραγμάτων (disjoint barriers) για ένα τμήμα λωρίδας (strip segment).

Αρχικά, κάθε κόμβος αναμεταδίδει την τοποθεσία του και το εύρος ανίχνευσης σε όλους τους κόμβους-αισθητήρες του αντίστοιχου τμήματος. Εναλλακτικά, κάθε τμήμα μπορεί να ορίσει έναν κόμβο ως εκπρόσωπο όλου του τμήματος και κάθε κόμβος να αναμεταδίδει την τοποθεσία του και το εύρος ανίχνευσης του στον συγκεκριμένο κόμβο.

Η τοποθεσία κάθε κόμβου μπορεί να βρεθεί από το ενσωματωμένο σε αυτό GPS ή να υπολογιστεί από το σύστημα εντοπισμού του κόμβου. Αφού, λοιπόν, γίνει λήψη των πληροφοριών τοποθεσίας από τους άλλους κόμβους του τμήματος, κάθε κόμβος (ή ο

κόμβος-εκπρόσωπος) κατασκευάζει ένα δίκτυο ροής κάνοντας κάθε αισθητήρα μία κορυφή με χωρητικότητα ίση με 1. Αν για οποιοσδήποτε δύο κορυφές, η περιοχή ανίχνευσης επικαλύπτεται τότε ενώνονται με ακμή χωρητικότητας ίση με 1. Στη συνέχεια προστίθενται οι κόμβοι s και d. Αν η περιοχή ανίχνευσης του αντίστοιχου κόμβου τέμνει το αριστερό όριο τότε ο κόμβος αυτό ενώνεται με τον s με ακμή



Εικόνα 44: Παράδειγμα δικτύου ροής

χωρητικότητας ίση με 1, αν όμως περιοχή ανίχνευσης τέμνει το δεξιό όριο τότε ενώνεται με τον d με ακμή χωρητικότητας ίση με 1. Ένα παράδειγμα δικτύου ροής φαίνεται στην διπλανή εικόνα. Η χωρητικότητα κάθε κορυφής σημειώνεται για να εξασφαλιστεί ότι κάθε αισθητήρας θα χρησιμοποιηθεί το πολύ μία φορά για την εύρεση της μέγιστης ροής από το s στο d. Μετέπειτα, χρησιμοποιείται ένας standard αλγόριθμος όπως ο Edmond-Karp ή ο relabel-to-front για την εύρεση της μέγιστης ροής από το s στο d και όλων των μονοπατιών που χρησιμοποιήθηκαν για την μέγιστη ροή. Με βάση την παραπάνω κατασκευή, οι κόμβοι του ίδιου μονοπατιού δημιουργούν φράγμα που ενώνει το αριστερό και το δεξιό όριο του τμήματος και η μέγιστη ροή είναι ο αριθμός των διαθέσιμων ξένων φραγμάτων (available disjoint barriers).

Αφού βρέθηκε ο αριθμός όλων των ξένων φραγμάτων, στη συνέχεια παρουσιάζεται ο αλγόριθμος **Divide-and-Conquer** για την κατασκευή αυτών σε δίκτυα αισθητήρων μεγάλης κλίμακας.

Αρχικά η λωρίδα χωρίζεται σε μικρά τμήματα από λεπτές κάθετες λωρίδες. Στη συνέχεια, σε κάθε κάθετη λωρίδα, οι αισθητήρες με τη βοήθεια του αλγορίθμου ComputeBarriers βρίσκουν όλα τα διαφορετικά (ξένα) κάθετα και οριζόντια φράγματα που συνδέουν τα κάθετα φράγματα μεταξύ τους. Ο υπολογισμός αυτός γίνεται σε κάθε κάθετο τμήμα ξεχωριστά. Τέλος, για κάθε τμήμα λωρίδας, με τη χρήση του αλγορίθμου ComputeBarriers βρίσκονται όλα τα οριζόντια φράγματα που τέμνουν τα κάθετα και στα δύο άκρα του αντίστοιχου τμήματος. Ο υπολογισμός αυτός γίνεται παράλληλα σε κάθε τμήμα λωρίδας.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι οι παραπάνω αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται σε περίπτωση που το δίκτυο δεν προσφέρει ισχυρή κάλυψη. Αυτό διαπιστώνεται από την πλάτος-προς-μήκος αναλογία (width-to-length ration) που εισάχθηκε σαν έννοια στο κομμάτι αυτό. Πιο συγκεκριμένα, αν το πλάτος μίας περιοχής είναι ασυμπτωτικά μικρότερο από τον λογάριθμο του μήκους, τότε η πιθανότητα να μην προσφέρεται ισχυρή κάλυψη, ανεξάρτητα από την πυκνότητα του δικτύου σε αισθητήρες, τείνει στο 1. Σε αντίθετη περίπτωση, το δίκτυο προσφέρει ισχυρή κάλυψη. Έτσι, με βάση την αναλογία αυτή, προτείνονται και οι παραπάνω αλγόριθμοι για την δημιουργία φραγμάτων που προσφέρουν ισχυρή κάλυψη.

#### 4.2.14 LRNO vs Poisson

Στο σημείο αυτό γίνεται περιγραφή του μοντέλου της παράταξης των κόμβων σε μία περιοχή με τη line-based μέθοδο [20] η οποία και αποτελεί ένα πιο ρεαλιστικό μοντέλο τοποθέτησης κόμβων από αυτό της διαδικασίας Poisson. Επίσης, επισημαίνεται το γεγονός ότι διαφορετικές στρατηγικές παράταξης των κόμβων σε μία περιοχή οδηγούν και σε διαφορετική κάλυψη φράγματος. Αυτό συμβαίνει διότι οι στρατηγικές αυτές έχουν άμεσο αντίκτυπο στην κάλυψη φράγματος των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Οι αισθητήρες για το συγκεκριμένο μοντέλο είναι στατικοί και η ακριβής τοποθεσία τους είναι γνωστή είτε από το GPS, αν διαθέτουν, είτε μέσω άλλων μηχανισμών εντοπισμού. Επιπλέον, υποθέτουμε ότι η τυχαία μετατόπιση κάθε αισθητήρα από το επιθυμητό σημείο τοποθέτησης ακολουθεί κανονική κατανομή. Για ευκολία, η αναφορά σε αυτή την κατανομή θα είναι η εξής Line-based Normal Random Offset, δηλαδή LNRO.

Η μελέτη, λοιπόν, που έγινε για τη σύγκριση μεταξύ της κατανομής LRNO και της κατανομής Poisson, βασίστηκε κυρίως σε προσομοιώσεις, πάνω στην κάλυψη φράγματος ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων στο οποίο όλοι οι αισθητήρες παρατάσσονται σε γραμμές και οι μετατοπίσεις τους (σφάλμα) είναι τυχαίες και ακολουθούν κανονική κατανομή. Στη συνέχεια, καθιερώθηκε από τους μελετητές ένα κάτω φράγμα για την ύπαρξη κάλυψης φράγματος κάτω από το LRNO. Διαπιστώθηκε ότι οι διαφορετικές στρατηγικές παράταξης των κόμβων σε μία περιοχή έχουν άμεσο αντίκτυπο στην κάλυψη φράγματος των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Πιο συγκεκριμένα, διαπιστώθηκε ότι όταν η διακύμανση της τυχαίας μετατόπισης στην LRNO είναι σχετικά μικρή σε σχέση με το εύρος ανίχνευσης του αισθητήρα, η κάλυψη φράγματος με τη διαδικασία LRNO επιτυγχάνεται πολύ καλύτερα σε σχέση με την κάλυψη φράγματος της διαδικασίας Poisson. Αυτό συμβαίνει διότι, με την LRNO, οι αισθητήρες συγκεντρώνονται κατά μήκος των γραμμών τοποθέτησης τους και όχι κατανεμημένα ομοιόμορφα όπως συμβαίνει με την Poisson, παρέχοντας έτσι καλύτερη ευκαιρία ώστε να δημιουργηθούν φράγματα.

#### 4.2.15 Αλγόριθμος Barrier Construction

Ως συνέχεια της προηγούμενης σύγκρισης, εκτός από τις προσομοιώσεις για την απόδειξη του παραπάνω ισχυρισμού τους, παρουσιάστηκε και ένας αλγόριθμος για τον υπολογισμό του αριθμού των φραγμάτων σε ένα δίκτυο αισθητήρων [20]. Κύρια υπόθεση είναι ότι η θέση του κάθε αισθητήρα γίνεται γνωστή πριν τον υπολογισμό των φραγμάτων. Πρώτα κατασκευάζεται ένα γράφημα με βάση τις τοποθεσίες των αισθητήρων και στη συνέχεια υπολογίζεται η μέγιστη ροή του.

- 1) Κατασκευή ενός διαγράμματος ροής  $G(V,E)$  ως εξής. Κάθε κορυφή στο  $V$  αναπαριστά έναν αισθητήρα. Για κάθε δύο κορυφές  $u$  και  $v$  στο  $V$ , αν οι περιοχές ανίχνευσης τους επικαλύπτονται, τότε η ακμή  $(u,v)$  προστίθεται στο  $E$ .
- 2) Από το  $G(V,E)$ , κατασκευάζεται ένα κατευθυντηνικό γράφημα με κόστη  $G^*(V^*,E^*)$  ως εξής. Για κάθε κόμβο  $n_i$  στο  $V$ , προστίθεται ο  $n_{i'}^*$  και ο  $n_{i''}^*$  στο  $V^*$  και η ακμή  $[(n_i)_{i'},n_{i''}^*]$  στο  $E^*$ . Αν η ακμή  $(n_i,n_j)$  υπάρχει στο  $E$ , προστίθενται οι ακμές  $(n_{i''}^*,n_{j'}^*)$  και  $(n_{j''}^*,n_{i'}^*)$  στο  $E^*$ . Στη συνέχεια προστίθενται δύο νέες κορυφές  $s$  και  $d$  στο  $V^*$ . Για κάθε κόμβο  $n_i$  στο  $V$ , αν το εύρος ανίχνευσης τέμνει το αριστερό όριο της περιοχής, προστίθεται η ακμή  $(s,n_{i'}^*)$  στο  $E^*$ , αν το εύρος ανίχνευσης τέμνει το δεξιό όριο της περιοχής, προστίθεται η ακμή  $[(n_i)_{i''}^*,d]$ . Η χωρητικότητα κάθε ακμής στο  $E^*$  τίθεται στην τιμή 1. Για κάθε ακμή στο  $E^*$ , προστίθεται

η αντίστροφη ακμή στο  $E^*$  και η τιμή της χωρητικότητας αυτής της ακμής τίθεται στο 0.

- 3) Υπολογίζεται η μέγιστη ροή από τον κόμβο  $s$  στον  $d$  στο γράφημα  $G^*$  ( $V^*, E^*$ ) με τη χρήση ενός πρότυπου αλγορίθμου (π.χ. Ford- Fulkerson, Edmond-Karp κτλ.).

Στο δεύτερο βήμα, κάθε αισθητήρας αντιστοιχεί σε 2 γραφήματα κόμβων με μία ακμή ανάμεσα τους. Αυτό γίνεται για να εγγυηθεί ότι κάθε αισθητήρας χρησιμοποιείται μόνο μία φορά στην κατασκευή φραγμάτων. Στο τρίτο βήμα, κάθε αυξανόμενο μονοπάτι δημιουργεί ένα φράγμα στο δίκτυο αισθητήρων. Η μέγιστη ροή του  $G^*$  θα δώσει τον αριθμό των διαφορετικών φραγμάτων στο αρχικό δίκτυο αισθητήρων.

#### 4.2.16 Αλγόριθμος Patrol Point

Σε αυτό το σημείο της εργασίας αυτής ερευνάται η sweep κάλυψη και η ικανότητά της να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό ανάφλεξης που μπορεί να συμβεί σε ένα χώρο, όταν εύφλεκτο αέριο συσσωρεύεται φτάνοντας στα ανώτατα όρια του σε συνδυασμό με τον αέρα του περιβάλλοντος. Αυτό έχει άμεσο αντίκτυπο για την υγεία του προσωπικού που τυχαιίνει να βρίσκεται στον χώρο αυτό καθώς έχει χαμηλή πιθανότητα επιβίωσης λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται, για αυτό λοιπόν και είναι αναγκαίος ο εντοπισμός της μέσα σε ένα σύντομο χρονικό διάστημα.

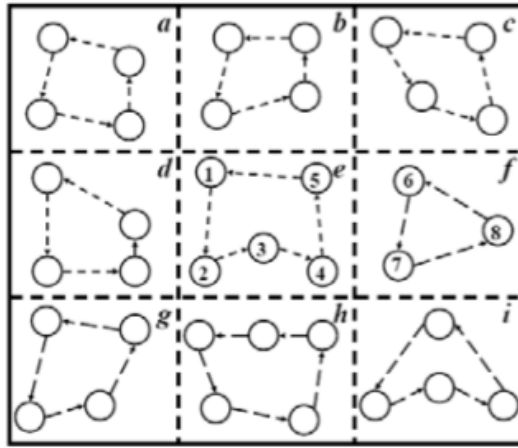
Ένα πρόβλημα που σχετίζεται με την sweep κάλυψη είναι αυτό των χρόνων «περιπολίας» (patrol times) [22]. Πιο συγκεκριμένα, αφορά την ασυνέπεια των κινητών κόμβων στους χρόνους περιπολίας τους. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να λυθεί με τον αλγόριθμο Patrol Point που παρουσιάζεται παρακάτω και ο οποίος αποτελεί μία προσεγγιστική λύση.

Σε πρώτο στάδιο, γίνονται οι εξής υποθέσεις:

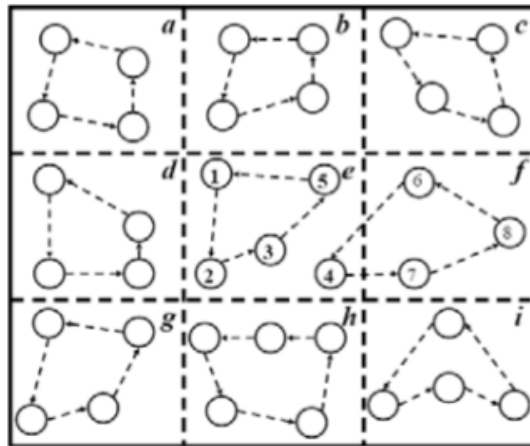
- Η περιοχή που ανιχνεύεται είναι δύο διαστάσεων.
- Η κάθε υπο-περιοχή που ανιχνεύεται από τον αντίστοιχο κόμβο είναι ιδανική (κύκλος).
- Η παρεμβολή σήματος, η εξασθένηση, η διάχυση και η σκέδαση δεν λαμβάνονται υπόψη.
- Η κατανάλωση ενέργειας των κινητών κόμβων δεν λαμβάνεται υπόψη και επίσης μπορούν να κινηθούν στην καθορισμένη θέση εντός της περιοχής ανίχνευσης.

Αρχικά, ο αλγόριθμος υπολογίζει τον χρόνο περιπολίας  $T_i$ , τον μέσο χρόνο περιπολίας  $T_{avg}$  και το κατώφλι  $Th_L$ . Στη συνέχεια, ελέγχει αν ο αντίστοιχος κάθε φορά κινητός κόμβος περιλαμβάνει ή εξαιρεί το αντίστοιχο σημείο περιπολίας (σημεία περιπολίας = οι θέσεις των αισθητήρων σε μία υπο-περιοχή) και τέλος βρίσκει έναν κατάλληλο κινητό κόμβο να συμπεριλάβει το σημείο περιπολίας.

Πιο αναλυτικά, προκειμένου να αποφευχθεί αυτό το πρόβλημα και να μειωθεί ο αριθμός των κινητών κόμβων, τέσσερις γειτονικές υπο-περιοχές θα συγχωνευθούν σε μια ομάδα, επιτρέποντας έτσι στους κινητούς κόμβους να επισκέπτονται όλα τα σημεία περιπολίας της αντίστοιχης ομάδας. Αν ο χρόνος περιπολίας των κινητών κόμβων είναι μεγαλύτερος από τον μέσο χρόνο περιπολίας, ένα σημείο περιπολίας της υπο-περιοχής αυτής θα απελευθερωθεί και θα συμπεριληφθεί στη γειτονική της υπο-περιοχή. Για παράδειγμα, όπως φαίνεται παρακάτω στις εικόνες 44 και 45, η υπο-περιοχή  $e$  έχει το μονοπάτι περιπολίας  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 1$  και η υπο-περιοχή  $f$  έχει το  $6 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 6$ . Παρατηρούμε, λοιπόν, ότι το σημείο περιπολίας 4 που ενώ αρχικά ανήκει στην υπο-περιοχή  $e$  απελευθερώνεται και συμπεριλαμβάνεται στην υπο-περιοχή  $f$ .

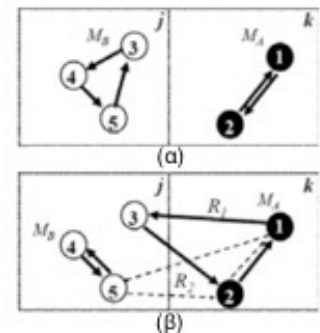


Εικόνα 45: : Μετασχηματισμός μονοπατιού περιπολίας (1)



Εικόνα 46: Μετασχηματισμός μονοπατιού περιπολίας (2)

Παρόλα αυτά, η υπο-περιοχή f βασίζεται στον χρόνο μετ' επιστροφής (round-trip time) για να αποφασίσει αν θα συμπεριλάβει το σημείο περιπολίας 4 στο μονοπάτι περιπολίας της. Ο χρόνος αυτός (RTT) ορίζεται ως ο επιπλέον χρόνος περιπολίας αν ο κινητός κόμβος συμπεριλάβει το σημείο περιπολίας που βρίσκεται στη γειτονική του υπο-περιοχή. Για παράδειγμα, στην εικόνα 46(α) φαίνεται το εξής: Ο κινητός κόμβος  $M_A$  είναι υπεύθυνος για το μονοπάτι περιπολίας  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 1$  και ο κινητός κόμβος  $M_B$  για το μονοπάτι  $3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 3$ . Υποθέτουμε ότι ο μέσος χρόνος περιπολίας είναι μεγαλύτερος από το χρόνο περιπολίας του κινητού κόμβου  $M_B$  και μικρότερος από το χρόνο περιπολίας του  $M_A$ . Επομένως, η υπο-περιοχή j απελευθερώνει το σημείο περιπολίας 3 ή 5 στην γειτονική της υπο-περιοχή k. Ο κινητός κόμβος  $M_A$  στην υπο-περιοχή k υπολογίζει το RTT για να αποφασίσει αν θα συμπεριλάβει το σημείο περιπολίας 3 ή 5 στο μονοπάτι περιπολίας του. Αν το  $RTT(3)$  είναι μικρότερο από το  $RTT(5)$  και ο συνολικός χρόνος περιπολίας του  $M_A$  είναι μικρότερος από το κατώτατο όριο χρόνου, τότε το σημείο περιπολίας 3 θα συμπεριληφθεί στο μονοπάτι περιπολίας του  $M_A$ , εικόνα 46(β).



Εικόνα 47: Μεταφορά σημείου περιπολίας από μία περιοχή σε μία άλλη γειτονική

Η ένταξη και ο αποκλεισμός του σημείου περιπολίας καθορίζεται από το κατώφλι  $Th_L$  και το μέσο χρόνο περιπολίας  $T_{avg}$ , αντίστοιχα. Αν ο χρόνος περιπολίας του κινητού κόμβου είναι μεγαλύτερος από το μέσο χρόνο περιπολίας  $T_{avg}$ , οι κινητοί κόμβοι



επιτρέπεται να αποκλείσουν το σημείο περιπολίας. Αν ο χρόνος περιπολίας του κινητού κόμβου είναι μικρότερος από το κατώφλι  $T_{h\_L}$ , επιτρέπεται να εντάξουν ένα επιπλέον σημείο περιπολίας. Αντίθετα, όταν ο νέος χρόνος περιπολίας  $T\_f$  ενός κινητού κόμβου είναι μεγαλύτερος από το κατώφλι, τότε απαγορεύεται η ένταξη του επιπλέον σημείου περιπολίας.

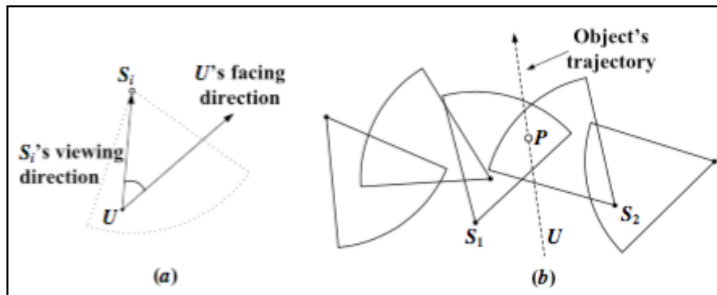
$$T_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n}, Th_L = T_{avg} + T_w, T_f = T_i + T_w + RTT_j$$

όπου  $T\_avg$  είναι ο μέσος χρόνος περιπολίας,  $T\_w$  ο χρόνος παραμονής σε ένα σημείο περιπολίας,  $n$  ο αριθμός των κινητών κόμβων και  $T\_f$  ο νέος χρόνος περιπολίας που περιλαμβάνει και το νέο σημείο περιπολίας που προστέθηκε στο μονοπάτι.

#### 4.2.17 Εύρεση μονοπατιού για χρήση ελάχιστων ενεργών καμερών - Dijkstra

Οι περισσότερες έρευνες μέχρι στιγμής έχουν εστιάσει στα παραδοσιακά δίκτυα αισθητήρων. Στο συγκεκριμένο σημείο θα γίνει μια παρουσίαση και ανάλυση της κάλυψης φράγματος στα δίκτυα αισθητήρων με τη χρήση καμερών [25]. Μία θεμελιώδης διαφορά μεταξύ αυτών των δύο είναι ότι τα δεύτερα μπορούν να διαμορφώσουν από διαφορετικά σημεία και επιπλέον διαφορετικές οπτικές του αντικειμένου. Αυτό ουσιαστικά σημαίνει ότι συνδυάζοντας απλώς το εύρος ανίχνευσης των δικτύων καμερών δε σημαίνει ότι θα δημιουργείται και ένα αποτελεσματικό φράγμα από τη στιγμή που δεν έχει γίνει πλήρως η καταγραφή της πρόσοψης του αντικειμένου, όπως και φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Παρόλα αυτά, για να διατηρηθεί η εποπτεία της περιοχής σε υψηλό επίπεδο, ένα καλό σύστημα κάλυψης με κάμερες πρέπει να εγγυάται ότι ανεξάρτητα από το προς τα που «κοιτάει» το αντικείμενο, θα υπάρχει πάντα μία κάμερα που θα συλλαμβάνει αποτελεσματικά την πρόσοψη του.

Οι περισσότερες έρευνες μέχρι στιγμής έχουν εστιάσει στα παραδοσιακά δίκτυα αισθητήρων. Στο συγκεκριμένο σημείο θα γίνει μια παρουσίαση και ανάλυση της κάλυψης φράγματος στα δίκτυα αισθητήρων με τη χρήση καμερών [25]. Μία θεμελιώδης διαφορά μεταξύ αυτών των δύο είναι ότι τα δεύτερα μπορούν να



Εικόνα 48: Χρήση καμερών στα ΑΔΑ

και φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Παρόλα αυτά, για να διατηρηθεί η εποπτεία της περιοχής σε υψηλό επίπεδο, ένα καλό σύστημα κάλυψης με κάμερες πρέπει να εγγυάται ότι ανεξάρτητα από το προς τα που «κοιτάει» το αντικείμενο, θα υπάρχει πάντα μία κάμερα που θα συλλαμβάνει αποτελεσματικά την πρόσοψη του.

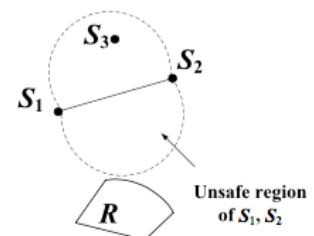
Έστω, λοιπόν, ότι η περιοχή ενδιαφέροντος έχει ένα σημείο έναρξης  $s$  και ένα σημείο τερματισμού  $t$  (το αριστερό και το δεξί όριο αντίστοιχα). Είναι αναγκαίο να δημιουργηθεί το κατάλληλο φράγμα ώστε κάθε εισβολέας που επιθυμεί να διασχίσει τη διαδρομή  $s-t$  να εντοπίζεται ανεξάρτητα από τη γωνία λήψης κάθε κάμερας. Κάθε μονοπάτι από το σημείο  $s$  στο σημείο  $t$ , αντιστοιχεί σε μία σειρά από υπο-περιοχές που καλύπτονται πλήρως και συνδέονται μεταξύ τους, δημιουργώντας έτσι φράγμα καμερών (camera

barrier). Ανάμεσα, λοιπόν, σε αυτά τα μονοπάτια (φράγματα), ο στόχος είναι να επιλεγεί αυτό που απαιτεί τον ελάχιστο αριθμό ενεργών καμερών [25].

Παρόλα αυτά, ο αριθμός των μονοπατιών από το  $s$  στο  $t$  μπορεί να είναι μία εκθετική συνάρτηση του αριθμού των κόμβων. Ως εκ τούτου η αναζήτηση όλων των πιθανών μονοπατιών για την εύρεση αυτού που χρησιμοποιεί τον ελάχιστο αριθμό καμερών δεν είναι ο πλέον αποδοτικός τρόπος. Στην πραγματικότητα, ακόμα και αν ήταν δυνατή η εύρεση του μονοπατιού αυτού, το μονοπάτι αυτό δεν σημαίνει ότι αποτελεί και το βέλτιστο καθώς μπορεί να υπάρχει κάποιος πλεονασμός στον αριθμό των καμερών. Έτσι, για την εύρεση του συντομότερου μονοπατιού [25] μεταξύ του  $s$  και του  $t$  χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος Dijkstra. Υπενθυμίζεται ότι στον αλγόριθμο αυτό, ξεκινάμε από το σημείο  $s$  και σταδιακά βρίσκουμε την ελάχιστη απόσταση από τους άλλους κόμβους. Μία μεταβλητή  $dist_i$  αρχικοποιείται στο άπειρο και ενημερώνεται προοδευτικά για κάθε κόμβο  $i$  κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης του αλγορίθμου. Καταγράφει την συντομότερη κάθε φορά διαδρομή από τον κόμβο  $s$ . Ένα υποσύνολο κόμβων  $B$  των οποίων το  $dist_i$  έχει καθοριστεί (π.χ. δεν θα αλλάξει στο μέλλον) διατηρείται. Κάθε φορά που ένας νέος κόμβος  $j$  που δεν βρίσκεται στο υποσύνολο και έχει το μικρότερο  $dist_j$  επιλέγεται και προστίθεται στο υποσύνολο. Εν τω μεταξύ, για κάθε γειτονικό κόμβο  $k$ , αν  $dist_k > dist_j + cost(j,k)$  τότε το  $dist_k$  παίρνει την τελευταία τιμή, όπου το  $cost(j,k)$  είναι το κόστος μετάβασης από το  $j$  στο  $k$ . Στην συγκεκριμένη περίπτωση, το κόστος κάθε ακμής είναι 1, αν και κάποια βελτιστοποίηση μπορεί να γίνει όπως θα δούμε αργότερα. Ο αλγόριθμος τερματίζει αν το  $t$  επιλεγεί και προστεθεί στο σύνολο, που σημαίνει ότι το συντομότερο μονοπάτι από το  $s$  στο  $t$  έχει βρεθεί.

Υπάρχει όμως κάποια βελτιστοποίηση που μπορεί να γίνει στον αλγόριθμο. Παρατηρούμε ότι δύο κόμβοι είναι γειτονικοί αν οι δύο υπο-περιοχές μοιράζονται ένα κοινό όριο. Αυτό σημαίνει ότι τα δύο σύνολα καμερών που καλύπτουν αυτές τις δύο υπο-περιοχές διαφέρουν μόνο κατά ένα στοιχείο, από το οποίο περαιτέρω υπονοείται ότι το ένα από τα δύο σύνολα περιέχει το άλλο. Έτσι, αν η υπο-περιοχή που καλύπτεται από από το μεγαλύτερο σύνολο επιλεγεί να λειτουργεί, η άλλη υπο-περιοχή μπορεί να καλυφθεί χωρίς επιπλέον κόστος. Κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του αλγορίθμου Dijkstra, θέτουμε το κόστος της ακμής από τον κόμβο με την κάμερα μεγαλύτερης κάλυψης στον κόμβο με το μικρότερο υποσύνολο να είναι 0 και όλων των άλλων ακμών το κόστος να είναι 1. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στον αλγόριθμο να επιλέγει τον κόμβο που καλύπτεται από κάμερες που χρησιμοποιούνται ήδη.

Είναι απαραίτητο να σημειωθεί ότι η μεθοδολογία που περιεγράφηκε προηγουμένως έχει ένα μειονέκτημα. Αυτό είναι η πιθανότητα ύπαρξης αρκετών περιττών καμερών οι οποίες και σε περίπτωση απενεργοποίησης τους δεν θα επηρεάσουν καθόλου το φράγμα. Στην προτεινόμενη μεθοδολογία [25], για κάθε υπο-περιοχή του φράγματος, όλες οι κάμερες που καλύπτουν τη συγκεκριμένη υπο-περιοχή ενεργοποιήθηκαν αν και μερικές μπορεί να μην ήταν απαραίτητες. Για παράδειγμα, στο διπλανό σχήμα φαίνεται ότι οι κάμερες  $S_1, S_2, S_3$  καλύπτουν την υπο-περιοχή  $R$  όπου η κάμερα  $S_3$  μπορεί να απενεργοποιηθεί αν οι άλλες δύο είναι ταυτόχρονα ενεργοποιημένες. Το πρόβλημα αυτό γίνεται έντονο όταν σε ένα χώρο υπάρχει μεγάλος αριθμός καμερών. Επομένως, προτείνεται η ακόλουθη μεθοδολογία για τη μείωση του ποσοστού χρήσης περιττών καμερών. Δεν πρέπει να παραλειφθεί ότι αυτό δεν είναι ένα εύκολο πρόβλημα από τη στιγμή που μία κάμερα μπορεί να είναι περιττή για μια υπο-περιοχή αλλά απαραίτητη για μία άλλη.



**Εικόνα 49: Παράδειγμα χρήσης περιττών καμερών**

Αρχικά, εντοπίζονται οι περιττές κάμερες σε κάθε υπο-περιοχή [25]. Μία κάμερα  $S_i$  είναι περιττή για μία υπο-περιοχή  $R$  όταν η υπο-περιοχή αυτή συνεχίζει να καλύπτεται πλήρως ακόμα και όταν η κάμερα αυτή απενεργοποιηθεί. Αν η μη ασφαλής περιοχή των δύο γειτονικών καμερών δεν τέμνει την περιοχή  $R$  τότε οι κάμερες αυτές είναι περιττές. Οι δύο αυτές κάμερες ονομάζονται εξαρτημένες κάμερες του συνόλου  $S_i$ . Για να είναι το φράγμα έγκυρο, οι εξαρτημένες κάμερες πρέπει να λειτουργούν όταν το  $S_i$  είναι απενεργοποιημένο. Για παράδειγμα, θεωρούμε την κάμερα  $S_3$  στην παραπάνω εικόνα. Αν η μη ασφαλής περιοχή των  $S_1$  και  $S_2$  δεν τέμνει την περιοχή  $R$ , η κάμερα  $S_3$  μπορεί να απενεργοποιηθεί και οι κάμερες  $S_1$  και  $S_2$  είναι οι εξαρτημένες κάμερες. Η απόφαση αυτή μπορεί να γίνει κατά τη διάρκεια της διαδικασίας επιλογής των καμερών που περιεγράφηκε προηγουμένως. Επίσης πρέπει να γίνει ξεχωριστά για κάθε κομμάτι καθώς οι γείτονες κάθε κάμερας μπορεί να είναι διαφορετικοί από το ένα κομμάτι στο άλλο. Τέλος, μία κάμερα είναι υποψήφια για απενεργοποίηση αν είναι περιττή σε σχέση με όλες τις υπο-περιοχές που βρίσκονται στο πεδίο ανίχνευσης της και έχει επιλεγεί να είναι μέρος του φράγματος κάλυψης (το μονοπάτι από το  $s$  στο  $t$ ). Όλες οι περιττές κάμερες πρέπει να καταγράφονται κατά την παραπάνω διαδικασία.

Τέλος, ακολουθεί η διαδικασία αφαίρεσης των καμερών αυτών. Δεν γίνεται να αφαιρεθούν όλες ταυτόχρονα διότι σε μερικές από αυτές μπορεί να εξαρτώνται κάποιες άλλες με αποτέλεσμα να επηρεαστεί το φράγμα. Για το λόγο αυτό δημιουργείται το αντίστοιχο γράφημα  $G$ .

#### 4.2.18 Πρωτόκολλο APBC

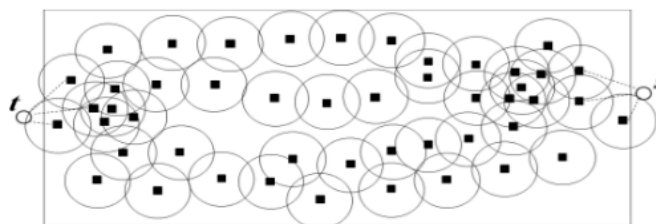
Στο συγκεκριμένο σημείο θα αναφερθούμε στο fault tolerant k-barrier coverage πρωτόκολλο που ονομάζεται APBC [29]. Κύριο χαρακτηριστικό του πρωτοκόλλου αυτού είναι η διατήρηση της ενέργειας των κόμβων προκειμένου να παρατείνεται η διάρκεια ζωής του δικτύου. Επίσης, αποτελεί έναν τρόπο για την παροχή κάλυψης k-φραγμάτων χωρίς την επανεκτέλεση του αλγορίθμου ακόμα και όταν οι κόμβοι αποτύχουν στο να δημιουργήσουν κάλυψη φράγματος.

Το κυρίως πρόβλημα για να επιλυθεί περιλαμβάνει την παροχή ενός γραφήματος που να αναπαριστά τα φράγματα (γράφημα k-φραγμάτων) το οποίο δημιουργεί και περιγράφει την κάλυψη από k-φράγματα μιας περιοχής. Ως αποτέλεσμα, όλα τα μονοπάτια που διέρχονται από την περιοχή αυτή καλύπτονται k-φορές από τους αισθητήρες του δικτύου.

Η προτεινόμενη μέθοδος αποτελείται από τρεις (3) φάσεις, την φάση εκκίνησης, την φάση δημιουργίας k-κάλυψης και τη φάση συντήρησης και ανάκτησης.

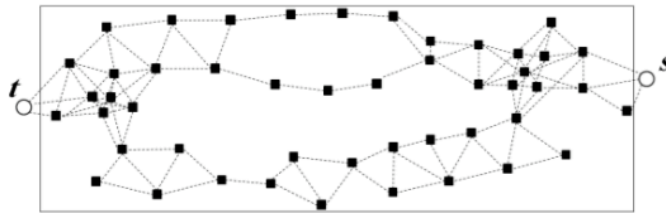
##### 1. Φάση Εκκίνησης

Στη φάση αυτή, οι κόμβοι αναγνωρίζουν τους γείτονές τους και δημιουργείται το γράφημα κάλυψης  $G = (V, E)$ .



Εικόνα 50: Το δίκτυο αισθητήρων

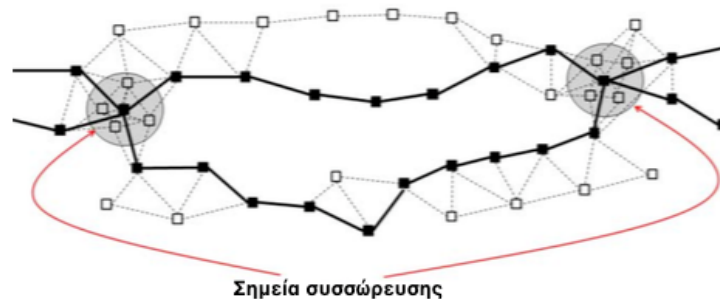




Εικόνα 51: Το γράφημα  $G$  που αντιστοιχεί στο παραπάνω

Για το σκοπό αυτό, με την αποστολή ενός μηνύματος «hello», ο κάθε κόμβος συστήνεται στους γειτονικούς του κόμβους. Μετά την λήψη αυτού του μηνύματος, κάθε κόμβος γνωρίζει τους γειτονικούς του και στη συνέχεια με την αποστολή ενός ειδικού πακέτου (οι γείτονες μου) παρουσιάζει τη λίστα με τους γειτονικούς του κόμβους σε όλους τους γείτονές του. Έτσι, μετά την λήψη της λίστας αυτής από όλους τους γείτονες, κάθε κόμβος μπορεί να μάθει αν είναι μέλος ενός ή πολλών σημείων συσσώρευσης.

*Σημείο συσσώρευσης:* Ένα σημείο συσσώρευσης είναι ένα υπο-γράφημα  $G_a = (V_a, E_a)$  ενός γραφήματος φραγμάτων ενός δικτύου αισθητήρων,  $G = (V, E)$ .



Εικόνα 52: Σημεία συσσώρευσης

*Κατάσταση κόμβου:* Κάθε κόμβος, σχετικά με το αν είναι μέλος του γραφήματος  $k$ -φραγμάτων και είναι μέλος ενός σημείου συσσώρευσης ή όχι, θα βρίσκεται σε μία από τις εξής καταστάσεις:

- Ενεργός-Συσσωρευτικός
- Ενεργός-μη Συσσωρευτικός
- Κατάσταση ύπνου-Συσσωρευτικός
- Κατάσταση ύπνου-μη Συσσωρευτικός
- Αυτό το πρότυπο

## 2. Φάση δημιουργίας $k$ -κάλυψης

Σε αυτή τη φάση, δημιουργείται το γράφημα  $k$ -φραγμάτων,  $G_b = (V_b, E_b)$ . Έτσι, δημιουργούνται και οι ζώνες  $k$ -φραγμάτων. Για τον σκοπό αυτό, ένας από τους αριστερότερους κόμβους που είναι γείτονας του εικονικού κόμβου  $s$ , στο γράφημα της κάλυψης του δικτύου αισθητήρων,  $G = (V, E)$ , επιλέγεται ως ο πρώτος κόμβος της ζώνης φράγματος. Ύστερα, ο επιλεγμένος κόμβος επιλέγει τον επόμενο ανάμεσα στους γειτονικούς του για να δημιουργήσει τη ζώνη φράγματος. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να επιλεγθεί ο τελευταίος εικονικός κόμβος  $t$ .

Έτσι, κάθε φορά που η προτεινόμενη μέθοδος εκτελείται, ένας κόμβος επιλέγεται για να δημιουργήσει μία ζώνη κάλυψης μεταξύ των δύο εικονικών κόμβων  $s$  και  $t$ . Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται  $k$  φορές και τελικά το σύνολο αυτών των κόμβων δημιουργεί ένα

γράφημα k-φραγμάτων,  $G_b=(V_b, E_b)$ . Για την επιλογή του επόμενου κόμβου για τη δημιουργία της ζώνης φράγματος, κάθε κόμβος (εκτός από τους ενεργούς-μη συσσωρευτικούς) επιλέγει τον επόμενο από τους γειτονικούς του ως εξής:

- Αν ο κόμβος δεν ανήκει στο σημείο συσσώρευσης, θα επιλέξει τον επόμενο κόμβο ανάμεσα στους γειτονικούς του που ανήκουν στο σημείο αυτό, ώστε ο επιλεγμένος κόμβος να έχει την ελάχιστη απόσταση από τον εικονικό κόμβο  $t$ . Αν, όμως, δεν υπάρχει κάποιος γειτονικός κόμβος στο σημείο συσσώρευσης, τότε ο κόμβος θα επιλέξει ως επόμενο κόμβο, έναν γειτονικό του, τέτοιοι ώστε να απέχει την ελάχιστη απόσταση από τον εικονικό κόμβο  $t$ .
- Αν ο κόμβος ανήκει στο σημείο συσσώρευσης, θα επιλέξει ως επόμενο κόμβο, έναν γειτονικό του, τέτοιοι ώστε να απέχει την ελάχιστη απόσταση από τον εικονικό κόμβο  $t$ .

Κάθε κόμβος, μετά την επιλογή του επόμενου κόμβου, θα τον ενημερώσει στέλνοντας του ένα μήνυμα «σε διάλεξα». Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να επιλεγθεί ο τελευταίος εικονικός κόμβος  $t$ .

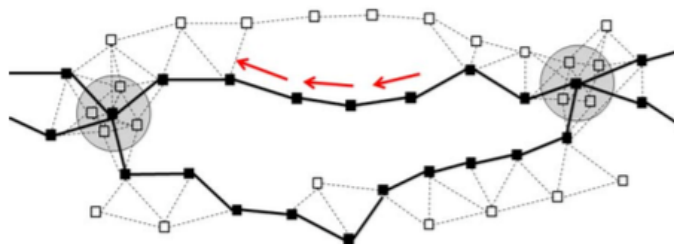
### 3. Φάση συντήρησης και ανάκτησης

Σε αυτή τη φάση, θα προσπαθήσουμε να διατηρήσουμε και να ανακτήσουμε το γράφημα κάλυψης k-φραγμάτων,  $G=(V_b, E_b)$  κάνοντας χρήση των σημείων συσσώρευσης που δημιουργήθηκαν στο γράφημα k-φραγμάτων. Η φάση αυτή αποτελείται από δύο επιμέρους φάσεις: πρώτα, τη δημιουργία μίας νέας ζώνης φράγματος και στη συνέχεια, την ανάκτηση της ζώνης φράγματος που έχει υποστεί κάποια βλάβη.

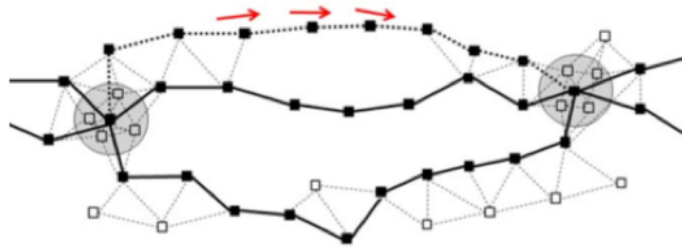
#### A. Δημιουργία νέας ζώνης φράγματος

Κάθε ενεργός-συσσωρευτικός κόμβος δημιουργεί μία νέα ζώνη φράγματος σε συγκεκριμένες περιόδους μέχρι τον επόμενο ενεργό-συσσωρευτικό κόμβο.

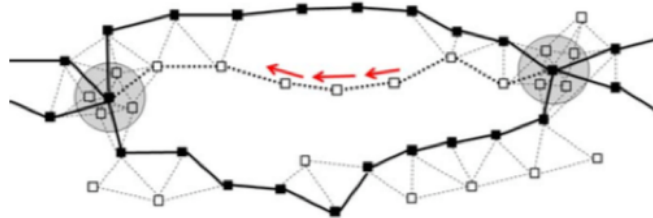
Έτσι, οι ζώνες φράγματος αλλάζουν συνεχώς κατά τη διάρκεια ζωής του δικτύου με τρόπο τέτοιο ώστε όλοι οι αισθητήρες του δικτύου να χρησιμοποιούνται ίσα. Για το σκοπό αυτό, κάθε ενεργός-συσσωρευτικός κόμβος στέλνει ένα μήνυμα, σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους, «εύρεσηΕπόμενουΣΣ» (εύρεση Επόμενου Σημείου Συσσώρευσης) στον επόμενο ενεργό κόμβο. Το μήνυμα αυτό περιλαμβάνει την τοποθεσία του κόμβου και το ID του. Κάθε κόμβος, αφού λάβει το μήνυμα αυτό, το στέλνει στον επόμενο ενεργό κόμβο μέχρι το μήνυμα να φτάσει στον επόμενο ενεργό-συσσωρευτικό κόμβο. Ο δεύτερος ενεργός-συσσωρευτικός κόμβος, αφού λάβει το μήνυμα αυτό, ξεκινάει την δημιουργία της ζώνης φράγματος μεταξύ του ίδιου και του πρώτου σημείου συσσώρευσης, κάνοντας χρήση του αλγορίθμου όπως στη φάση της δημιουργίας κάλυψης k-φραγμάτων. Παρακάτω φαίνεται κάθε βήμα της παραπάνω διαδικασίας.



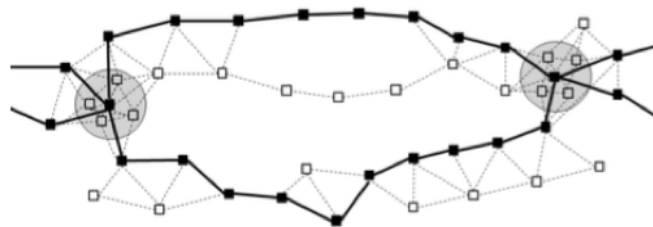
Εικόνα 53: Μήνυμα εύρεσης επόμενου σημείου συσσώρευσης



Εικόνα 54: Μήνυμα επιλογής επόμενου κόμβου



Εικόνα 55: Μήνυμα απενεργοποίησης



Εικόνα 56: Τελικό γράφημα

Η παραπάνω διαδικασία αποτελεί τη δημιουργία νέας ζώνης φράγματος.

### B. Αποκατάσταση βλάβης στη ζώνη φράγματος

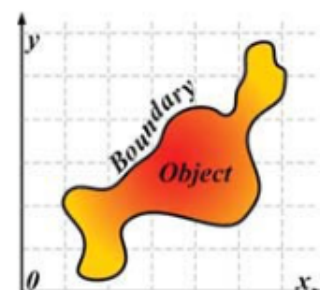
Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι το μήνυμα να φτάσει στον πρώτο ενεργό-συσσωρευτικό κόμβο. Στη συνέχεια, μετά τη λήψη αυτού του μηνύματος, ο επόμενος ενεργός-συσσωρευτικός κόμβος ξεκινάει τη δημιουργία μίας ζώνης φράγματος μεταξύ του ίδιου και του προηγούμενου σημείου συσσώρευσης. Αυτό γίνεται με τη χρήση του αλγορίθμου όπως στη φάση της δημιουργίας κάλυψης k-φραγμάτων. Γραφικά φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 57: Αποκατάσταση σφάλματος στη ζώνη φράγματος

### 4.2.19 Αλγόριθμος Ελαστικού Φράγματος

Μέχρι στιγμής η κάλυψη φράγματος ταξινομείται στις εξής κατηγορίες:



- Σταθεροί αισθητήρες για την κάλυψη σταθερών αντικειμένων όπως δημιουργία φραγμάτων για κάλυψη συνόρων κτλ.
- Κινητοί αισθητήρες για την κάλυψη σταθερών αντικειμένων όπως προγραμματισμός κινούμενων ρομπότ και τοποθέτηση σε αυτά αισθητήρες για δημιουργία φραγμάτων και κάλυψη συνόρων κτλ.
- Κινητοί αισθητήρες για την κάλυψη κινούμενων/δυναμικών αντικειμένων [27] (που είναι και το θέμα το οποίο παρουσιάζεται στο σημείο αυτό της παρούσας εργασίας). Στην **Εικόνα 58: Παράδειγμα συγκεκριμένη κατηγορία τα αντικείμενα δυναμικού αντικειμένου μετακινούνται ή μετασχηματίζονται και οι αισθητήρες διαμορφώνονται κατάλληλα έτσι ώστε να συνεχίζουν την καταγραφή αυτών, δηλαδή του ορίου τους. Ένα παράδειγμα δυναμικού αντικειμένου φαίνεται στην διπλανή εικόνα. Εστιάζουμε μόνο στην αλλαγή που συμβαίνει στο όριο που περιβάλλει το δυναμικό αντικείμενο.**

Πάνω στο θέμα αυτό, λοιπόν, όσες θεωρητικές αναλύσεις και να γίνουν για τον μέγιστο αριθμό φραγμάτων που μπορούν να δημιουργηθούν αλλά και για τη δημιουργία ενός βέλτιστου μοτίβου κίνησης των αισθητήρων δεν θα έχουν ως αποτέλεσμα μία πρακτική λύση για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Αρχικά, το βέλτιστο μοτίβο κίνησης προέρχεται όταν δίνεται η τροχιά κίνησης του δυναμικού αντικειμένου. Στην πράξη, ωστόσο, είναι αδύνατο να γνωρίζουμε την μελλοντική κίνηση του δυναμικού αντικειμένου από τη στιγμή που μπορεί να επηρεαστεί από πολλούς παράγοντες του περιβάλλοντος. Δεύτερον, ο αλγόριθμος υποθέτει τις γενική πληροφόρηση. Για τη συλλογή όλης αυτής της πληροφορίας από κάθε αισθητήρα το κόστος είναι απαγορευτικό. Τρίτον, ακόμη και με την πληροφορία αυτή διαθέσιμη, ο αλγόριθμος είναι πολύ περίπλοκος για την ενσωμάτωση του στους αισθητήρες.

Έτσι, προτείνεται ένας πρακτικός, κατανεμημένος αλγόριθμος για τα κινητά δίκτυα αισθητήρων [27] που παρέχει συνεχή κινητή κάλυψη φράγματος (Mobile Barrier Coverage – MBC) ενώ παράλληλα μειώνει τις αποστάσεις που κινούνται οι αισθητήρες. Δεδομένου ότι η μελλοντική κίνηση του δυναμικού αντικειμένου δεν μπορεί να προβλεφθεί, ο κατανεμημένος αλγόριθμος είναι από την φύση του ευρεστικός.

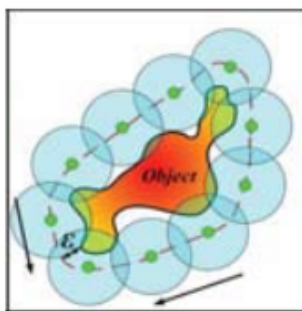
Ο προτεινόμενος, λοιπόν, αλγόριθμος με όνομα, Αλγόριθμος Ελαστικού Φράγματος (Elastic Barrier Algorithm – EBA) [27] μιμείται μία ελαστική ζώνη εισάγοντας εικονική δύναμη ανάμεσα στους αισθητήρες. Η δύναμη αυτή μιμείται την ένταση μεταξύ των ελαστικών μορίων στην ελαστική ζώνη. Με τέτοια εικονική δύναμη, οι αισθητήρες μπορούν να σχηματίσουν ένα κυρτό περίβλημα και να διανεμηθούν ομοιόμορφα σε αυτό. Παρόλα αυτά, αγνοούμε την τριβή ανάμεσα στο ελαστικό περιτύλιγμα και στο αντικείμενο.

Πιο συγκεκριμένα, οι κινήσεις των αισθητήρων ρυθμίζονται με την εισαγωγή τεσσάρων κανόνων.

1. Οι αισθητήρες θα πρέπει να κινούνται κοντά στο σύνορο-όριο του δυναμικού αντικειμένου
2. Η εσωτερική γωνία του αισθητήρα δεν θα πρέπει να ξεπερνάει τις 180 μοίρες. Ένας αισθητήρας με δύο άμεσους γείτονες μπορεί να σχηματίσει δύο γωνίες. Η εσωτερική γωνία είναι αυτή που είναι στραμμένη προς στο σύνορο.
3. Ο αισθητήρας θα πρέπει να κινηθεί σε τέτοιο σημείο ώστε να ισαπέχει από τους δύο άμεσους γείτονές του. (Ο κανόνας αυτός «αναγκάζει» κάθε αισθητήρα να έχει μία τοπική κατάσταση ισορροπίας.)

4.Ο αισθητήρας θα πρέπει να κινηθεί προς την κατεύθυνση που δεν υπάρχει κανένας γείτονας.

Ύστερα από τη διαδοχική εφαρμογή των παραπάνω κανόνων, η τελική κατανομή των αισθητήρων γύρω από το δυναμικό αντικείμενο είναι η εξής:



**Εικόνα 59: Κατανομή των αισθητήρων γύρω από το δυναμικό αντικείμενο**

Συνδυάζοντας τους τέσσερις αυτούς κανόνες προκύπτει ο κατανεμημένος αλγόριθμος ελαστικού φράγματος που εκτελείται σε κάθε αισθητήρα. Ο κάθε αισθητήρας αποφασίζει την κίνηση του συνδυάζοντας και τους τέσσερις παραπάνω κανόνες. Ο αλγόριθμος ελαστικού φράγματος είναι ένας «ελαφρύς» αλγόριθμος με τον οποίο κάθε αισθητήρας λαμβάνει τις αποφάσεις του μόνο με τοπικές πληροφορίες. Λόγω της κατανεμημένης φύσης του αλγορίθμου, κάθε αισθητήρας μπορεί να υποβληθεί σε πολλαπλές προσαρμογές θέσης πριν φτάσει στην τελική του θέση, σε περίπτωση που το δυναμικό αντικείμενο παραμείνει στάσιμο σε κάποια χρονική στιγμή.

Με τον αλγόριθμο αυτό [27] κάθε αισθητήρας επαναλαμβάνει μία σειρά από ενέργειες. Όταν η θέση των άμεσων γειτόνων αλλάζει ή εντοπίζεται αλλαγή στο σύνορο του αντικειμένου, ο αντίστοιχος αισθητήρας υπολογίζει τη νέα θέση προς την οποία πρέπει να κινηθεί. Αρχικά, ο αλγόριθμος παίρνει ως είσοδο το εύρος ανίχνευσης του αισθητήρα και τη μικρότερη απόσταση που μπορεί να βρεθεί ο εισβολέας από το αντικείμενο και στην οποία πρέπει να ανιχνευθεί. Ο κάθε αισθητήρας, λοιπόν, εντοπίζει τους δύο γειτονικούς του και ανταλλάζει με αυτούς τις πληροφορίες θέσης του. Στη συνέχεια εντοπίζει το δυναμικό αντικείμενο και την απόσταση του από αυτό. Αν ο αισθητήρας έχει δύο γείτονες τότε μεταβαίνει σε τέτοια θέση ώστε να ισαπέχει και από τους δύο. Στην ίδια επίσης θέση μεταβαίνει και η απόσταση από το δυναμικό αντικείμενο είναι μεγαλύτερη από το εύρος ανίχνευσης του. Αν έχει μόνο έναν γείτονα, μετακινείται προς την αντίθετη κατεύθυνση από αυτόν και σε απόσταση όχι μεγαλύτερη από το διπλάσιο εύρος ανίχνευσης του. Η απόφαση μετακίνησης εξαρτάται από τοπικές πληροφορίες μέσω των μηνυμάτων τοποθεσίας για αυτό και ο αλγόριθμος είναι κατανεμημένος. Επίσης είναι «ελαφρύς» καθώς η πολυπλοκότητα εκτέλεσης του είναι  $O(1)$ . Επιπλέον, είναι πολύ μικρή η απαίτηση για αποθήκευση δεδομένων καθώς απαιτείται μόνο η αποθήκευση και η ενημέρωση των δύο άμεσων γειτόνων του αντίστοιχου κόμβου.

#### 4.2.20 Πρωτόκολλο k-CLBCS

Η προτεινόμενη μέθοδος [30] βασίζεται στην μέθοδο εξοικονόμησης ενέργειας που χρησιμοποιείται από τον αλγόριθμο RIS και αποτελείται από τρεις στόχους ελαχιστοποίησης και έναν μεγιστοποίησης. Πιο συγκεκριμένα, την ελαχιστοποίηση της καταμέτρησης των ενεργών κόμβων, την ελαχιστοποίηση της συνολικής ενέργειας που χρησιμοποιείται σε έναν κύκλο, την ελαχιστοποίηση της αναλογίας μεταξύ της ενέργειας που καταναλώνει ένας ενεργός κόμβος σε έναν κύκλο και της εναπομένουσας ενέργειας και την μεγιστοποίηση της ελάχιστης αναλογίας της εναπομένουσας ενέργειας ενός ενεργού κόμβου και της αρχικής του ενέργειας.

Αρχικά, με τη χρήση του πρωτοκόλλου k-CLBCS (Constructing Local k-Barrier with Coordinated Sensors) [30] γίνεται υπολογισμός της χωρητικότητας κάθε ακμής και κατασκευάζεται το γράφημα κάλυψης. Στη συνέχεια, γίνεται αναζήτηση των  $k$  στον αριθμό ασύνδετων μονοπατιών από το  $s$  (αριστερότερος κόμβος δικτύου, συνήθως πρόκειται για εικονικό κόμβο) στο  $t$  (αριστερότερος κόμβος δικτύου, συνήθως πρόκειται για εικονικό κόμβο) στο γράφημα κάλυψης. Αν τα  $k$  μονοπάτια αυτά βρεθούν, τότε επιστρέφονται τα IDs των κόμβων που θα σχηματίσουν το φράγμα αλλιώς επιστρέφεται μήνυμα αποτυχίας.

#### 4.2.21 Πρωτόκολλο k-SBCCS

Με βάση το σύστημα διαίρει και βασίλευε και το παραπάνω πρωτόκολλο k-CLBCS, προτείνεται ένα άλλο πρωτόκολλο που ονομάζεται k-SBCCS [30]. Υπάρχουν  $n$  στον αριθμό κόμβοι και ένας αποδέκτης δεδομένων και αρχικά όλοι οι κόμβοι είναι ενεργοί. Η κύρια ιδέα του k-SBCCS πρωτοκόλλου περιγράφεται ως εξής:

- [Βήμα 1] Αρχικά, η ζώνη διαιρείται σε  $n$  στον αριθμό ίσου πλάτους υπο-περιοχές και μεταδίδεται η τιμή του πλάτους κάθε υπο-περιοχής, το πλάτος της επικαλυπτόμενης ζώνης (overlapped strip) και ο αριθμός των υπο-περιοχών.
- [Βήμα 2] Στη συνέχεια, κάθε κόμβος υπολογίζει σε ποια υπο-περιοχή ανήκει, κρίνει αν βρίσκεται στην επικαλυπτόμενη ζώνη και στέλνει τις πληροφορίες του στον αισθητήρα που έχει τη μέγιστη ενέργεια.
- [Βήμα 3] Ύστερα, σε κάθε υπο-περιοχή, ο αισθητήρας με τη μέγιστη ενέργεια τρέχει το πρωτόκολλο k-CLBCS. Αν τα  $k$  ασύνδετα μονοπάτια βρεθούν, ενεργοποιεί αυτούς τους αισθητήρες, διαφορετικά, στέλνει μήνυμα αποτυχίας στον αποδέκτη.
- [Βήμα 4] Στο επόμενο βήμα, ο ενεργοποιημένος αισθητήρας που έχει τη μέγιστη ενέργεια σε κάθε επικαλυπτόμενη ζώνη ελέγχει αν η επικαλυπτόμενη ζώνη έχει ισχυρή κάλυψη ή όχι. Αν δεν έχει ισχυρή κάλυψη, κάποιοι άλλοι κόμβοι θα ενεργοποιηθούν για τη δημιουργία ισχυρής κάλυψης. Αν όλοι οι αισθητήρες στην επικαλυπτόμενη ζώνη δεν μπορούν να δημιουργήσουν ισχυρή κάλυψη, ο παραπάνω αισθητήρας στέλνει μήνυμα λάθους στον αποδέκτη.
- [Βήμα 5] Τέλος, επαναλαμβάνονται τα βήματα 3 και 4 μέχρι όλοι οι αισθητήρες να «πεθάνουν».

Τέλος, η μέθοδος διαίρει και βασίλευε που προτείνεται έχει τα εξής πλεονεκτήματα. Πιο συγκεκριμένα:

- Χαμηλά κόστη υπολογισμών και επικοινωνίας λόγω του γεγονότος ότι η περιοχή διαιρείται σε μικρότερα τμήματα. Έτσι, η τοποθεσία του κόμβου και η περιοχή ανίχνευσης του μεταδίδονται μόνο εντός του τμήματος ζώνης στο οποίο ο κόμβος βρίσκεται.
- Βελτιωμένη ανθεκτικότητα του φράγματος κάλυψης. Στη μεθοδολογία που προτείνεται, η αρχική ζώνη διαιρείται σε τμήματα από κάθετα φράγματα. Έτσι σε περίπτωση αποτυχίας ενός κόμβου, αυτά τα κάθετα φράγματα λειτουργούν ως τείχη προστασίας και αποτρέπουν την είσοδο σε εισβολείς [30].

#### 4.2.22 Αλγόριθμος Learning Automata Barrier Coverage (LABC)

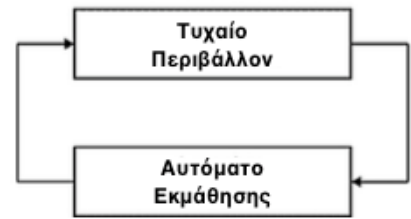
Στο σημείο αυτό προτείνεται μία ενεργειακά αποδοτική μέθοδος χρονοπρογραμματισμού που βασίζεται στα αυτόματα εκμάθησης (learning automata)



[33], όπου ο κάθε κόμβος είναι εξοπλισμένος με ένα αυτόματο εκμάθησης (learning automaton) με τη βοήθεια του οποίου επιλέγει τον καλύτερο κόμβο για τη βεβαίωση της ύπαρξης της κάλυψης φράγματος σε οποιαδήποτε στιγμή. Ο αλγόριθμος αυτός προσπαθεί να επιλέξει τον ελάχιστο αριθμό κόμβων που χρειάζονται για την παρακολούθηση των φραγμάτων στο δίκτυο.

Το αυτόματο εκμάθησης που προτείνεται βασίζεται στον αλγόριθμο που εγγυάται την ισχυρή κάλυψη φράγματος στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Για την εξασφάλιση της κάλυψης φράγματος, αρκεί η εύρεση ενός μονοπατιού από το αριστερότερο στο δεξιότερο άκρο του δικτύου. Έτσι, η προτεινόμενη μέθοδος προσπαθεί να βρει το συντομότερο μονοπάτι (μονοπάτι που δημιουργεί το φράγμα κάλυψης) από το αριστερότερο στο δεξιότερο άκρο του δικτύου μέσω των αυτομάτων εκμάθησης.

Λίγα λόγια για τα αυτόματα εκμάθησης. Ένα αυτόματο εκμάθησης είναι ουσιαστικά μία μηχανή ή μηχανισμός που λειτουργεί αυτόνομα και αποκρίνεται σε μία ακολουθία οδηγιών με συγκεκριμένο τρόπο ώστε να επιτευχθεί ένας συγκεκριμένος στόχος. Ο όρος «εκμάθηση» αναφέρεται στη διαδικασία απόκτησης γνώσης από την εκτέλεση μίας απλής μηχανής (αυτόματο) και στη χρήση της γνώσης που αποκτήθηκε για την απόφαση ποιων δράσεων θα ληφθούν στο μέλλον. Το αυτόματο εκμάθησης έχει τρία κύρια μέρη: το αυτόματο, το περιβάλλον και τη δομή ποιινής/ανταμοιβής. Το αυτόματο αναφέρεται στο μηχανισμό αυτοδιδασκαλίας. Το μέσο στο οποίο αυτή η μηχανή λειτουργεί, ονομάζεται περιβάλλον. Το αυτόματο εκτελεί συνεχώς ενέργειες στο περιβάλλον, και αυτό με τη σειρά του ανταποκρίνεται στις ενέργειες αυτές. Η απόκριση του περιβάλλοντος μπορεί να είναι είτε θετική είτε αρνητική και στέλνει την ανάλογη ανάδραση<sup>5</sup> (feedback) στο αυτόματο το οποίο έχει ως αποτέλεσμα το αυτόματο είτε να επιβραβεύεται είτε να τιμωρείται. Το αυτόματο βρίσκει εφαρμογή σε προβλήματα βελτιστοποίησης στα οποία μία βέλτιστη δράση πρέπει να καθοριστεί από ένα σύνολο ενεργειών. Πρέπει να σημειωθεί ότι σε αυτό το πλαίσιο, η εκμάθηση είναι η καλύτερη βοήθεια μόνο όταν υπάρχουν υψηλά επίπεδα αβεβαιότητας στο σύστημα στο οποίο το αυτόματο λειτουργεί. Σε συστήματα με χαμηλά επίπεδα αβεβαιότητας, το αυτόματο εκμάθησης μπορεί να μην αποτελεί κατάλληλο εργαλείο [37].



**Εικόνα 60: Βρόγχος ανατροφοδότησης αυτομάτου – περιβάλλοντος**

Στον προτεινόμενο αλγόριθμο που ονομάζεται LABC [33], οι δραστηριότητες του δικτύου χωρίζονται σε διαφορετικούς γύρους και το προτεινόμενο αυτόματο εκμάθησης που βασίζεται στον αλγόριθμο χρονοπρογραμματισμού (scheduling algorithm) αποτελούνται από τρεις κυρίως φάσεις, την αρχικοποίηση, την εκμάθηση και την παρακολούθηση. Κάθε γύρος ξεκινά με τη φάση της αρχικοποίησης και συνεχίζει με τη φάση της εκμάθησης και τη φάση της παρακολούθησης. Κατά τη διάρκεια της αρχικοποίησης, κατασκευάζεται το γράφημα κάλυψης των αισθητήρων του δικτύου και κάθε αισθητήρας βρίσκει τους εξωτερικούς γειτονικούς του κόμβους. Στο τέλος αυτής της φάσης, κάθε αισθητήρας του δικτύου γνωρίζει τους γειτονικούς του και κάθε εξωτερική ακμή ενός αισθητήρα είναι και μία από τις ενέργειες αυτού του αυτόματου εκμάθησης. Η επιλογή των αισθητήρων για τη δημιουργία του φράγματος κάλυψης γίνεται στην φάση της εκμάθησης. Κάθε αισθητήρας με τη βοήθεια του αυτόματου προσπαθεί να βρει τους καλύτερους εξωτερικούς αισθητήρες για την κατασκευή του

<sup>5</sup> Στο εξής: feedback

φράγματος κάλυψης. Στο τέλος αυτής της φάσης, αποτιμάται το διάνυσμα πιθανότητας δράσης κάθε αισθητήρα που επιλέγεται από τον αρχικό μέχρι τον τελικό κόμβο. Στην τρίτη και τελευταία φάση, την παρακολούθηση, γίνεται προγραμματισμός των στιγμών που οι αισθητήρες είναι ενεργοί. Στο τέλος αυτής της φάσης, κάθε αισθητήρας λειτουργεί με βάση την καλύτερη ενέργεια που σημαίνει αν θα είναι μέρος του φράγματος κάλυψης ή όχι.

#### 4.2.23 Αλγόριθμος ελάχιστου κόστους ενέργειας ανίχνευσης για την κάλυψη φράγματος 1-local

Όσον αφορά τον αλγόριθμο ελάχιστου κόστους ενέργειας ανίχνευσης για την κάλυψη φράγματος 1-local (Minimum sensing energy cost 1-local barrier coverage algorithm) [38], αρχικά σε κάθε αισθητήρα ανατίθεται μία τιμή που δείχνει το ελάχιστο επίπεδο ισχύος ανίχνευσης του. Η τιμή αυτή αυξάνεται προοδευτικά και διατηρείται μία Boolean μεταβλητή με το όνομα Flag η οποία χρησιμοποιείται για να μπορούν να ρυθμίζουν από μόνοι τους το επίπεδο ισχύος της ανίχνευσης τους. Η μεταβλητή Flag είναι αρχικά αληθής (true). Στο βήμα\_1, ο αισθητήρας  $u$ , του οποίου η μεταβλητή Boolean είναι αληθής, προσπαθεί να αυξήσει το επίπεδο ανίχνευσης του και ελέγχει εάν υπάρχει νέος γείτονας. Αν το εύρος ανίχνευσης του  $u$  καλύπτει το αριστερό (δεξί) όριο της περιοχής ελέγχου-ανίχνευσης, ο εικονικός κόμβος  $s(t)$  θεωρείται ως ο νέος γείτονας του  $u$ . Αν το εύρος ανίχνευσης του  $u$  καλύπτει έναν νέο αισθητήρα  $v$ , το προσθέτει στη λίστα με τους γείτονές του και του στέλνει ένα μήνυμα αιτήματος (Request Message). Αν ο  $u$  δεν καλύπτει κανέναν από τους νέους αισθητήρες, παραμένει στο ίδιο επίπεδο ανίχνευσης και περιμένει τον επόμενο γύρο. Όταν ο αριθμός των γειτόνων του  $u$  είναι ίσος ή μεγαλύτερος του 2, η boolean μεταβλητή του τίθεται ψευδής (false) που σημαίνει ότι στον επόμενο γύρο δεν θα αλλάξει το επίπεδο ανίχνευσής του. Επειδή ο αισθητήρας  $u$  μαζί με τους γειτονικούς του έχουν δημιουργήσει πλέον ισχυρό φράγμα κάλυψης, δεν υπάρχει λόγος να αυξήσει το επίπεδο ανίχνευσης του για την εύρεση επιπλέον γειτόνων.

Στο βήμα\_2, κάθε αισθητήρας διαχειρίζεται τα μηνύματα που έχει λάβει. Υπάρχουν τρία είδη μηνυμάτων: μήνυμα αιτήματος, θετικό μήνυμα, αρνητικό μήνυμα. Το μήνυμα αιτήματος χρησιμοποιείται για να γίνει ένα ερώτημα στη λίστα με τους γείτονες του αντίστοιχου αισθητήρα. Το θετικό και το αρνητικό μήνυμα αποτελούν τις απαντήσεις στο μήνυμα αιτήματος. Μετά τη λήψη ενός μηνύματος αιτήματος, αν ο αριθμός των γειτόνων του  $u$  είναι μικρότερος του 2, τότε ο  $u$  ξεκινά να ρυθμίζει το επίπεδο δύναμης της επικοινωνίας με τον αποστολέα και στη συνέχεια τον προσθέτει ως το νέο γείτόνά του και του επιστρέφει θετικό μήνυμα. Σε διαφορετική περίπτωση του επιστρέφει το αρνητικό μήνυμα. Όταν ο  $u$  λάβει ένα θετικό μήνυμα, προσθέτει τον αποστολέα στη λίστα με τους γείτονες του ενώ όταν λάβει ένα αρνητικό μήνυμα δεν πραγματοποιεί καμία αλλαγή στη λίστα αυτή. Μετά από αυτό το βήμα, κάθε αισθητήρας επιστρέφει στο βήμα\_1 και συνεχίζει στον επόμενο γύρο.

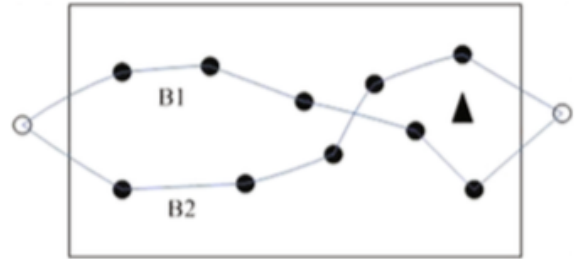
Μετά το πέρας του αλγορίθμου, έχει δημιουργηθεί το φράγμα κάλυψης με το ελάχιστο κόστος ενέργειας, αφού κάθε κόμβος ξεχωριστά χρησιμοποιεί την ελάχιστη ενέργεια ανίχνευσης.

#### 4.2.24 Αλγόριθμος κατασκευής φραγμάτων k-κάλυψης καμίας διέλευσης με το ελάχιστο κόστος ενέργειας

Ο Kumar στη μελέτη του, για τη μεγιστοποίηση της διάρκειας ζωής των φραγμάτων στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, υιοθετεί τον πρότυπο αλγόριθμο μέγιστης ροής (the standard max-flow algorithm) για τον υπολογισμό του μέγιστου αριθμού κόμβων για



μονοπάτια και τον προγραμματισμό αυτών για την κατασκευή κάλυψης k-φραγμάτων. Ένα μονοπάτι από ξένους κόμβους δημιουργεί κάλυψη 1-φράγματος. Παρόλα αυτά, ο αλγόριθμος μέγιστης ροής δεν εγγυάται την μη παραβίαση της περιοχής. Στο διπλανό σχήμα, τα B\_1 και B\_2 αναπαριστούν δύο φράγματα. Σύμφωνα με τον βέλτιστο αλγόριθμο προγραμματισμού του Kumar, το B\_1 θα λειτουργεί μέχρι να εξαντληθεί και θα αντικατασταθεί τότε από το B\_2. Όμως, το B\_1 και το B\_2 αποτελούν φράγματα διέλευσης, αν ο εισβολέας I βρίσκεται στο σημείο όπως φαίνεται στο σχήμα παραπάνω, τότε το B\_2 δεν μπορεί να εμποδίσει τη διέλευση του. Αυτό συμβαίνει διότι αφού το B\_1 έχει εξαντληθεί, ο εισβολέας I βρίσκεται κάτω από το B\_2 το οποίο δεν μπορεί να τον εντοπίσει. Με αυτό το μειονέκτημα, η διάρκεια ζωής του δικτύου μειώνεται. Ο στόχος μας είναι η κατασκευή φράγματος κάλυψης με το ελάχιστο κόστος ενέργειας.



Αρχικά, καλείται ο προηγούμενος αλγόριθμος για τον υπολογισμό του φράγματος B του οποίου οι αισθητήρες διατηρούν το ελάχιστο επίπεδο ενέργειας ανίχνευσης. Όταν η πυκνότητα των κόμβων είναι αρκετά καλή, η τοπική κάλυψη φράγματος μπορεί να εγγραφεί την γενική κάλυψη της περιοχής. Στη συνέχεια [38], χωρίζουμε τους περιπτώσεις αισθητήρες σε δύο ομάδες με βάση το φράγμα B. Για κάθε ομάδα, καλούμε αναδρομικά τον αλγόριθμο αυτό ώστε να υπολογιστεί το επόμενο φράγμα μέχρις ότου οι αισθητήρες της αντίστοιχης ομάδας να μην μπορούν να δημιουργήσουν φράγμα.

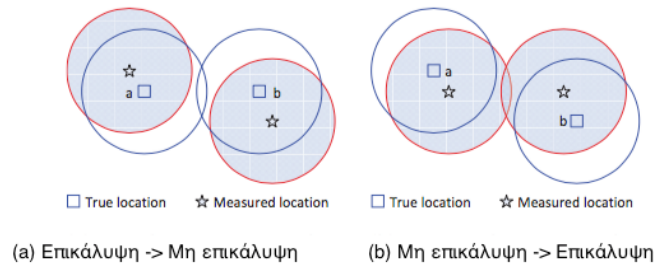
Εικόνα 61: Μη αποδοτική χρήση της πρότασης του Kumar

Μετά το πέρας του αλγορίθμου [38] έχει προκύψει κάλυψη k-φραγμάτων καμίας διέλευσης (None crossing k-barrier coverage) με το ελάχιστο κόστος.

#### 4.2.25 Προοδευτική μέθοδος αντιμετώπισης των σφαλμάτων τοποθεσίας των κόμβων

Στο συγκεκριμένο σημείο της εργασίας αυτής εξετάζεται το πρόβλημα της κάλυψης φράγματος όταν υπάρχουν σφάλματα της τοποθεσίας (ακριβούς θέσης) των αισθητήρων και για το λόγο αυτό προστίθεται νέοι κινητοί αισθητήρες για τη βελτίωση του φράγματος κάλυψης μετά την αρχική ανάπτυξη τους [35]. Πιο συγκεκριμένα, αναλύεται η σχέση μεταξύ της πραγματικής και της μετρημένης απόστασης δύο σταθερών αισθητήρων και εξάγεται ο ελάχιστος αριθμός κινητών αισθητήρων που χρειάζεται ώστε τελικά οι κόμβοι αυτοί να «ενωθούν».

Η ύπαρξη σφαλμάτων της τοποθεσίας των αισθητήρων μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την ποιότητα κάλυψης φράγματος. Στην πραγματικότητα γνωρίζουμε τη θέση του κάθε αισθητήρα ύστερα από υπολογισμούς και μετρήσεις (measured location) και όχι την αυτή καθαυτή πραγματική του θέση (true location). Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η επίπτωση που μπορεί να έχει στην κάλυψη φράγματος όταν υπάρχει σφάλμα στη μέτρηση της ακριβούς τοποθεσίας δύο αισθητήρων.



**Εικόνα 62: Οι επιπτώσεις των σφαλμάτων τοποθεσίας. Με βάση τις θέσεις ύστερα από υπολογισμούς, (a) δύο κόμβοι επικαλυπτόμενοι θεωρούνται μη επικαλυπτόμενοι και (b) δύο κόμβοι μη επικαλυπτόμενοι θεωρούνται επικαλυπτόμενοι.**

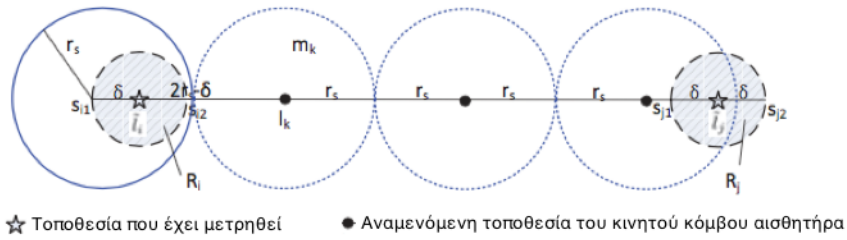
Στην περίπτωση, λοιπόν, κατά την οποία μόνο οι σταθεροί αισθητήρες έχουν σφάλματα τοποθεσίας, πρώτα αναλύουμε τις επιπτώσεις των σφαλμάτων τοποθεσίας στον ελάχιστο αριθμό κινητών αισθητήρων που απαιτείται για τη σύνδεση ενός ζευγαριού σταθερών αισθητήρων και ύστερα, προτείνεται μία προοδευτική μέθοδος που χρησιμοποιεί ακριβώς το άνω όριο του πραγματικού ελάχιστου αριθμού κινητών αισθητήρων που απαιτείται για τη σύνδεση ενός ζευγαριού σταθερών αισθητήρων με εγγύηση. Τέλος, μοντελοποιούμε το πρόβλημα κάλυψης φράγματος ως ένα σταθμισμένο γράφημα φράγματος ανεκτικό έναντι βλαβών και αποδεικνύουμε ότι ο ελάχιστος αριθμός κινητών αισθητήρων που απαιτείται για τη δημιουργία φράγματος με εγγύηση είναι το μήκος του συντομότερου μονοπατιού στο γράφημα αυτό.

Αφού, λοιπόν, γίνουν οι απαραίτητες αναλύσεις, αποδεικνύεται ότι τα σφάλματα τοποθεσίας δεν επηρεάζουν τον ελάχιστο αριθμό των κινητών κόμβων που απαιτούνται για τη σύνδεση δύο σταθερών κόμβων. Επίσης, αποδεικνύεται ότι το πολύ δύο επιπλέον κινητοί αισθητήρες χρειάζονται σε σχέση με τον πραγματικό αριθμό κινητών κόμβων που χρειάζεται για τη σύνδεση ενός ζευγαριού σταθερών αισθητήρων όταν μόνοι μόνο οι σταθεροί αισθητήρες έχουν σφάλματα τοποθεσίας.

Η βασική ιδέα της προοδευτικής μεθόδου [35] είναι η παράταξη κινητών κόμβων διαδοχικά από τον αριστερό στο δεξί σταθερό κόμβο. Δοθέντος δύο σταθερών κόμβων  $s_i$  και  $s_j$  και των θέσεων τους ύστερα από μέτρηση,  $\Gamma_i$  και  $\Gamma_j$  αντίστοιχα, η μέθοδος αυτή περιγράφεται ως εξής:

- Βήμα 1: Παράταξη ενός κινητού κόμβου στο ευθύγραμμο τμήμα  $\Gamma_i \Gamma_j$  ώστε να επικαλύπτει όλους τους κόμβους που βρίσκονται στην περιοχή του  $s_i$  και η απόσταση μεταξύ του κινητού κόμβου και του  $\Gamma_i$  είναι η μέγιστη.
- Βήμα 2: Έλεγχος αν ο νέος κινητός κόμβος επικαλύπτει όλους τους κόμβους βρίσκονται στην περιοχή του  $s_i$  ή όχι, Αν ναι, σταμάτα. Αλλιώς, πήγαινε στο βήμα 3.
- Βήμα 3: Παράταξη ενός νέου κινητού κόμβου στο ευθύγραμμο τμήμα  $\Gamma_i \Gamma_j$  που να είναι  $2r_s$  ( $r_s$ , το εύρος ανίχνευσης του κόμβου  $s$ ) μακριά από τον προηγούμενο κινητό κόμβο που προστέθηκε σε αυτό το ευθύγραμμο τμήμα.

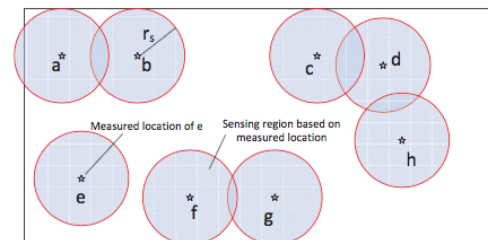
Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται μια απεικόνιση της προοδευτικής μεθόδου που περιεγράφηκε στα παραπάνω βήματα.



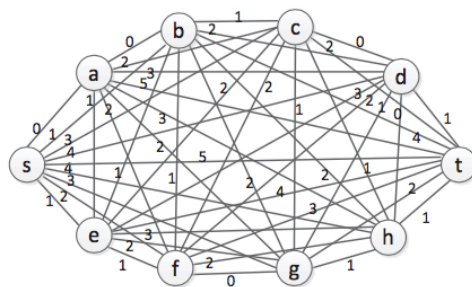
Ο μπλε κύκλος με ακτίνα  $r(s)$  υποδηλώνει το εύρος ανίχνευσης του  $s(i)$  που βρίσκεται στο  $s(i)$ . Οι μπλε διακεκομμένοι κύκλοι με ακτίνα  $r(s)$  υποδηλώνουν κάθε φορά το εύρος ανίχνευσης των κινητών κόμβων.

**Εικόνα 63: Απεικόνιση της προοδευτικής μεθόδου**

Στη συνέχεια, γίνεται εύρεση του ελάχιστου αριθμού κινητών κόμβων που απαιτούνται για τη δημιουργία φράγματος κάλυψης. Αν και υπάρχουν πολλοί τρόποι ανάπτυξης/παράταξης των κινητών κόμβων ωστόσο αποτελεί μία πρόκληση η εύρεση ενός βέλτιστου τρόπου για τον υπολογισμό του ελάχιστου αριθμού αυτών. Για το λόγο αυτό, μοντελοποιείται το πρόβλημα κάλυψης φράγματος με σφάλματα θέσης ως ένα σταθμισμένο γράφημα φράγματος. Μέσω του γραφήματος αυτού βρίσκεται ο ελάχιστος αριθμός κινητών κόμβων που απαιτούνται για τη δημιουργία φράγματος κάλυψης. Αποδεικνύεται ότι ο αριθμός αυτός είναι ακριβώς το μήκος του συντομότερου μονοπατιού από τον αρχικό κόμβο  $s$  μέχρι τον τελικό κόμβο  $t$  του γραφήματος. Η εύρεση του συντομότερου μονοπατιού γίνεται μέσω του αλγορίθμου Dijkstra. Όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα, το συντομότερο μονοπάτι είναι το  $s \rightarrow a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow t$  με μήκος  $0+0+1+0+1=2$ . Επομένως, στην περιοχή ενδιαφέροντος δεν παρέχεται κάλυψη φράγματος μετά την αρχική τυχαία τοποθέτηση των κόμβων και για αυτό χρειάζονται 2 κινητοί κόμβοι μεταξύ του  $b$  και  $c$  και μεταξύ του  $d$  και του δεξιού ορίου ( $t$ ).



(a) Δίκτυο αισθητήρων



(b) Σταθμισμένο γράφημα φράγματος ανεκτικό σε σφάλματα

**Εικόνα 64: Το δίκτυο αισθητήρων και το σταθμισμένο γράφημα φράγματος ανεκτικό σε σφάλματα που αντιστοιχεί σε αυτό όταν μόνο οι σταθεροί κόμβοι έχουν σφάλματα θέσης.**

#### 4.2.26 Αλγόριθμος Ανάπτυξης Κινητού Φράγματος

Ως συνέχεια του αλγορίθμου ελαστικού φράγματος που παρουσιάζεται στο [27] και αναλύεται παραπάνω, στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται ο αλγόριθμος ανάπτυξης κινητού φράγματος (MBDA: Mobile Barrier Deployment Algorithm) [36], ο οποίος μπορεί

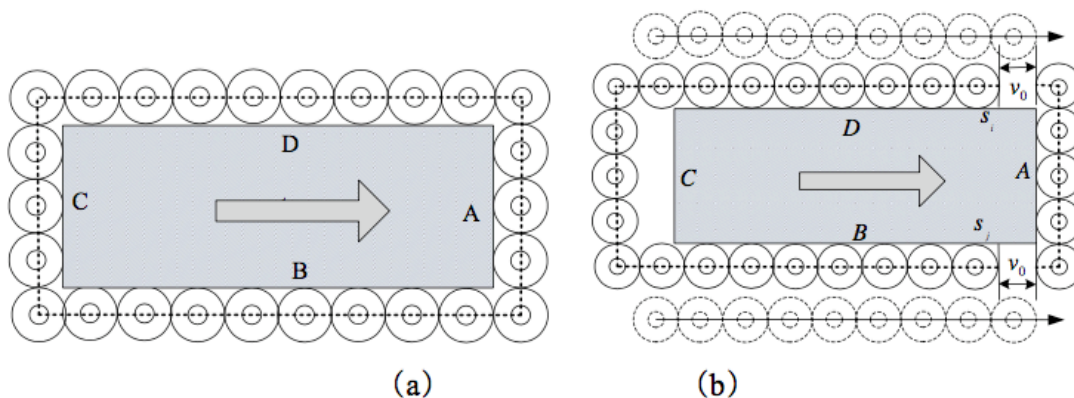
να επιτύχει κινητή κάλυψη οποιουδήποτε δυναμικού αντικειμένου ρυθμίζοντας τη θέση των κινητών αισθητήρων.

Υπάρχουν δύο είδη κατηγοριών για τα δυναμικά αντικείμενα: η μη διαφυγή του αντικειμένου από το εσωτερικό και η προστασία εισβολής από το εξωτερικό. Ένα παράδειγμα όσον αφορά το πρώτο είδος είναι όταν το κινητό φράγμα μπορεί να εντοπίσει την περιοχή που έχει καλύψει μία πετρελαιοκηλίδα στον ωκεανό και να εμποδίσει τη διάχυση των ρύπων. Στη συνέχεια, μπορεί να προειδοποιήσει οποιονδήποτε συμμετέχοντα, όπως τα ψάρια να φύγουν από την περιοχή. Όσον αφορά την εξωτερική προστασία εισβολής, το κινητό φράγμα μπορεί να συνεχίσει να κινείται γύρω από ένα κινούμενο στράτευμα ώστε να εμποδίσει εξωτερική διείσδυση.

Λόγω των χαρακτηριστικών των δυναμικών αντικειμένων, η συμβατική δημιουργία φράγματος δεν μπορεί να ανταποκριθεί στις νέες ανάγκες που δημιουργούνται. Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό της δημιουργίας κινητού φράγματος, για τα δυναμικά αντικείμενα, είναι ότι μπορεί να μεταμορφώνεται με βάση τις αλλαγές που συμβαίνουν στα ίδια τα δυναμικά αντικείμενα.

Ο αλγόριθμος αυτός, λοιπόν, που προτείνεται πετυχαίνει την κάλυψη φράγματος για τα δυναμικά αντικείμενα, είναι κατανοητός και κάθε απόφαση λαμβάνεται με βάση τοπικές πληροφορίες (neighborhood information). Επίσης είναι αποδοτικός, αφού η κύρια ιδέα του αλγορίθμου αυτού είναι ότι ελαχιστοποιεί το μήκος του φράγματος και μεγιστοποιεί τον αριθμό αυτών.

Η ανάπτυξη ενός κινητού φράγματος σημαίνει ουσιαστικά το γεγονός ότι οι κινητοί αισθητήρες αυτό-οργανώνονται με σκοπό την κατασκευή κινητού φράγματος για μία περιοχή ενδιαφέροντος. Το παρακάτω σχήμα δείχνει την απόκριση του κινητού φράγματος όταν το αντικείμενο κινείται. Οι αισθητήρες στην ακμή A κινούνται προς τα δεξιά με το όριο του δυναμικού αντικειμένου σε πραγματικό χρόνο. Οι αισθητήρες στην πλευρά C θα υστερούν σε σχέση με την κίνηση του δυναμικού αντικειμένου. Οι αισθητήρες στις ακμές B και D δεν αναγνωρίζουν την κίνηση του δυναμικού αντικειμένου και δεν κινούνται. Καθώς, λοιπόν, το αντικείμενο κινείται, θα εμφανιστούν κάποια κενά στη διασταύρωση της ακμής A με την B και με την D. Το κενό αυτό αντισταθμίζεται από τους αισθητήρες στις ακμές B και D όταν κινούνται προς τα δεξιά. Το πως κινούνται οι αισθητήρες είναι το πρώτο πράγμα που χρειάζεται μελέτη σε αυτό το σημείο.



Εικόνα 65: Η απόκριση του κινητού φράγματος όταν το δυναμικό αντικείμενο κινείται

Οι αισθητήρες  $s_i$  και  $s_j$  στο διάκενο στέλνουν μήνυμα στον επόμενο κόμβο ενημερώνοντας τον για το κενό που υπάρχει καθώς το εντοπίζουν. Έτσι, όλοι οι αισθητήρες στην πλευρά B και D κινούνται προς τα δεξιά. Όπως είναι φυσικό, το μεγαλύτερο ρόλο στην συνολική καθυστέρηση παίζει η καθυστέρηση στην επικοινωνία μεταξύ των αισθητήρων αλλά και το μήκος του φράγματος. Παρόλα αυτά, αν υπάρχουν

φράγματα πολλαπλών στρωμάτων, οι πλεονάζοντες αισθητήρες θα μπορούν γρήγορα να καλύψουν το κενό που δημιουργείται από την κίνηση του δυναμικού αντικειμένου.

Ο αριθμός των φραγμάτων ( $K$ ) αποτελεί έναν ακέραιο αριθμό. Με την αλλαγή των ορίων λόγω της κίνησης του αντικειμένου, το  $K$  μπορεί να μην είναι ακέραιος που σημαίνει ότι οι αισθητήρες θα αποτύχουν να ολοκληρώσουν τη διαδικασία δημιουργίας κινητού φράγματος.

Υπάρχουν δύο βήματα για να επιτευχθεί η ανάπτυξη φράγματος για τα δυναμικά αντικείμενα: η αναγνώριση/εντοπισμός του ορίου και η κατασκευή του φράγματος [36].

### Βήμα 1: αναγνώριση/εντοπισμός του ορίου

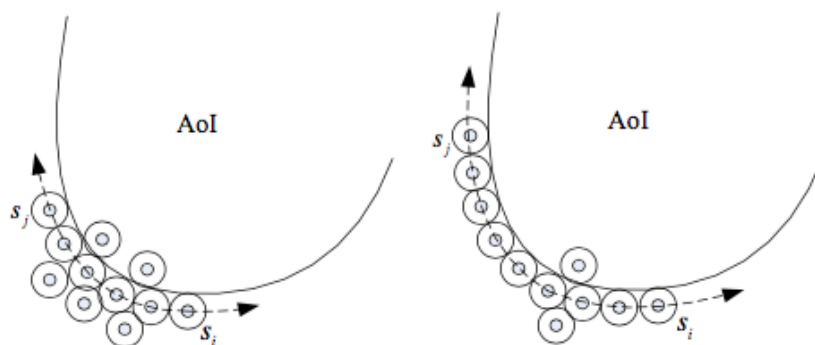
Λόγω του γεγονότος ότι το αντικείμενο είναι δυναμικό, το πρώτο πράγμα για την ανάπτυξη του φράγματος είναι η αναζήτηση του ορίου (boundary seeking). Σε αυτό το βήμα, λαμβάνεται υπόψη η απορρόφηση της ιδέας του αλγορίθμου AFSA (Artificial Fish Swarm Algorithm). Ο αλγόριθμος αυτός είναι ένας εξελιγμένος αλγόριθμος που βασίζεται στη νοημοσύνη σμήνους προσομοιώνοντας την κοινωνική συμπεριφορά των ψαριών. Υπάρχουν τρία βασικά είδη (στρατηγικής) συμπεριφοράς: αναζήτηση λείας (prey), ακολούθηση (follow), συνωστισμός (swarm). Στη διαδικασία αναζήτησης του ορίου, η διαδικασία προσέγγισης αυτού από τους αισθητήρες είναι όμοια με αυτή της αναζήτησης της τροφής από τα ψάρια.

Ο αισθητήρας  $s_j$  εκτελεί τα παρακάτω βήματα με βάση τη δική του κατάσταση και τις πληροφορίες των γειτονικών του αισθητήρων:

- Αρχικά, ο αισθητήρας εντοπίζει ότι δεν ανήκει στο όριο. Οι αισθητήρες εκτελούν τη συμπεριφορά της αναζήτησης λείας (prey) λόγω της οποίας μετακινήθηκαν σε μία νέα θέση. Όποτε οι αισθητήρες κινούνται προς μία νέα θέση, επικοινωνούν με τους γείτονες και ανιχνεύουν τις πληροφορίες του ορίου. Αν το όριο βρεθεί, σημαίνει ότι η αναζήτηση λείας επετεύχθη, αλλιώς συνεχίζεται.
- Εάν υπάρχουν οποιεσδήποτε πληροφορίες ορίου γύρω από αυτούς ή τους γείτονές τους, οι αισθητήρες συνεχίζουν με την συμπεριφορά της ακολούθησης.

### Βήμα 2: κατασκευή του φράγματος

Οι αισθητήρες κινούνται προς το όριο του δυναμικού αντικειμένου όταν το όριο βρεθεί και παρατάσσονται κατά μήκος της ακμής του ορίου. Οι κόμβοι κάθε άκρης κινούνται ευθεία μπροστά ώστε οι αισθητήρες που είναι συγκεντρωμένοι να ενωθούν σαν αλυσίδα. Κάθε αλυσίδα συνοδεύεται από αισθητήρες και η πληροφορία αυτή διαδίδεται σε όλη την αλυσίδα.

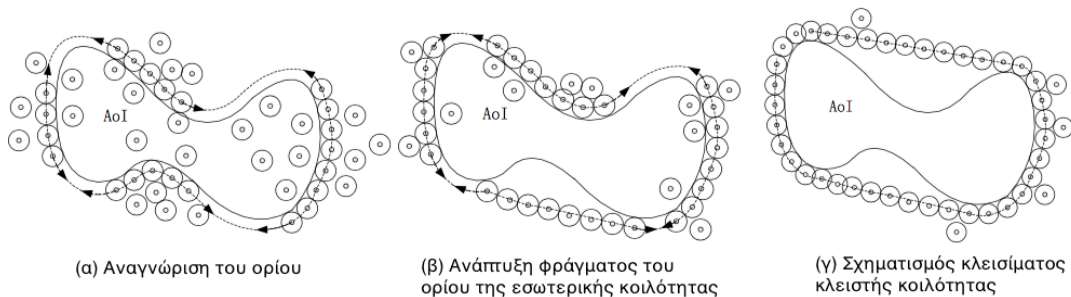


**Εικόνα 66: Οι κινητοί αισθητήρες διαμοιράζονται σε μία κατασκευή αλυσίδας φράγματος**



Με τις αλυσίδες επιμηκυμένες, διαφορετικές αλυσίδες ενώνονται σε μία μακριά αλυσίδα. Κατά τη διάρκεια της κατασκευής των αλυσίδων, η ζώνη φραγμάτων δεν ολοκληρώνεται μέχρις ότου μία αλυσίδα να ενωθεί από άκρη-σε-άκρη.

Με βάση τα παραπάνω, προτείνεται ο αλγόριθμος ανάπτυξης κινητού φράγματος (MBDA: Mobile Barrier Deployment Algorithm) [36]. Ο αλγόριθμος αυτός «τρέχει» σε κάθε αισθητήρα που βρίσκεται στην περιοχή ανίχνευσης. Καθώς ο αλγόριθμος εκτελείται, οι αισθητήρες κινούνται προς την εύρεση του ορίου. Όταν το όριο βρεθεί, οι αισθητήρες μεταδίδουν στην γύρω περιοχή και οι γειτονικοί κόμβοι κινούνται προς τα εκεί με βάση τις παραπάνω στρατηγικές. Υπάρχουν διάφορες αλυσίδες φράγματος κατά μήκος του ορίου του αντικειμένου. Οι αισθητήρες στα δύο άκρα κάθε αλυσίδας φράγματος κινούνται ευθεία μπροστά. Διαφορετικές αλυσίδες φράγματος συγχωνεύονται όταν συναντιούνται.



**Εικόνα 67: Η διαδικασία δημιουργίας κινητού φράγματος**

#### 4.2.27 Κάλυψη φράγματος με τη χρήση αυτομάτων εκμάθησης

Εκτός από τους παραπάνω τρόπου που μπορεί να επιτευχθεί κάλυψη φράγματος στα ΑΔΑ σε μία περιοχή ενδιαφέροντος, κάλυψη φράγματος μπορεί να επιτευχθεί και μέσω των αυτομάτων εκμάθησης με την εύρεση των συντομότερων μονοπατιών που δημιουργούν φράγματα [37].

Ο αλγόριθμος, λοιπόν, που προτείνεται βασίζεται στα αυτόματα εκμάθησης και σκοπός του είναι εύρεση φραγμάτων στα ΑΔΑ.

Αρχικά, κάθε κόμβος στο δίκτυο ανιχνεύει το περιβάλλον και μεταδίδει ένα πακέτο στους γείτονές του. Μετά από αυτό το στάδιο, κάθε κόμβος τοπικά καθορίζει τους γείτονές του, και ως αποτέλεσμα, κατασκευάζεται το γράφημα κάλυψης του δικτύου. Κάθε κόμβος στην προτεινόμενη μέθοδο έχει την ακόλουθη δομή δεδομένων: αναγνωριστικό (ID) κόμβου, διάνυσμα πιθανότητας ενεργειών  $P = \{p_1(n), p_2(n), \dots, p_r(n)\}$ , και λίστα εξωτερικών και εσωτερικών γειτόνων. Αν ένας γειτονικός κόμβος βρίσκεται στα αριστερά ενός κόμβου, που σημαίνει ότι η συντεταγμένη  $x$  είναι μικρότερη από τον τρέχοντα κόμβο, τότε εισέρχεται στη λίστα εσωτερικών γειτόνων. Η ίδια διαδικασία γίνεται για τη λίστα εξωτερικών γειτόνων. Για τον υπολογισμό αυτό γίνεται χρήση της Ευκλείδειας απόστασης. Στον αλγόριθμο, λοιπόν, που προτείνεται το γράφημα του δικτύου παίζει τον ρόλο του τυχαίου περιβάλλοντος για το αυτόματο εκμάθησης. Η δράση του είναι μία ακολουθία ενεργειών που απεικονίζει ένα φράγμα στο γράφημα. Το περιβάλλον χρησιμοποιεί το επιλεγέν μήκος αυτού του φράγματος για να παραγάγει την απάντησή του. Με βάση την απάντηση από το περιβάλλον, οι ενέργειες κατά μήκος του εμποδίου επιβραβεύονται ή τιμωρούνται.

Στο γράφημα κάλυψης του δικτύου, κάθε κόμβος είναι ένα αυτόματο εκμάθησης και κάθε εξερχόμενη ακμή αυτού του κόμβου είναι μία από τις ενέργειες  $\{a_1, a_2, \dots, a_r\}$  αυτού του αυτόματου εκμάθησης που επιλέγεται από τη λίστα των εξωτερικών γειτόνων. Κάθε στοιχείο μέσα στο διάνυσμα  $P$  αναπαριστά την πιθανότητα επιλογής της

αντίστοιχης ενέργειας. Όλα τα στοιχεία στο δiάνυσμα αυτό, έχουν αρχική τιμή ίση με το ένα διά τον αριθμό των εξωτερικών ακμών. Για παράδειγμα, αν ένας κόμβος έχει τρεις εξερχόμενες ακμές (τρεις πιθανές ενέργειες), το δiάνυσμα πιθανοτήτων ενεργειών είναι {0.33, 0.33, 0.33}. Κατόπιν, στο στάδιο  $k$ , το αυτόματο εκμάθησης του κόμβου-πηγής (αριστερός κόμβος), ο εικονικός κόμβος  $S$  επιλέγει μία από τις ενέργειες του, έστω την ενέργεια  $a_i$ . Η ενέργεια αυτή ενεργοποιεί το αυτόματο  $A_i$ . Η διαδικασία επιλογής μίας ενέργειας και η ενεργοποίηση του αυτόματου επαναλαμβάνεται μέχρις ότου το αυτόματο εκμάθησης του κόμβου-προορισμού (δεξιός κόμβος), ο εικονικός κόμβος  $T$  να προσεγγιστεί.

Στην προτεινόμενη προσέγγιση, η αντίστοιχη ακμή προστίθεται στο μονοπάτι φράγματος μόλις η δράση/ενέργεια που αντιστοιχεί σε αυτή επιλεγεί από το αυτόματο εκμάθησης. Στο τέλος κάθε σταδίου, το μήκος του επιλεγμένου μονοπατιού φράγματος συγκρίνεται με ένα δυναμικό όριο. Τα αυτόματα εκμάθησης όλων των ενεργών κόμβων στο μονοπάτι φράγματος επιβραβεύονται για τις ενέργειες τους αν το μήκος του επιλεγμένου μονοπατιού φράγματος είναι μικρότερο από το όριο αυτό. Σε αντίθετη περίπτωση, τιμωρούνται με κάποιου είδους ποινή (πέναλτι). Η διαδικασία κατασκευής του μονοπατιού φράγματος, μαζί με την ενημέρωση του διανύσματος πιθανοτήτων των δράσεων, συνεχίζεται μέχρι η πιθανότητα επιλογής του κατασκευασμένου μονοπατιού φράγματος να είναι μεγαλύτερη από ένα συγκεκριμένο όριο που ονομάζεται όριο τερματισμού. Στην προσέγγιση που παρουσιάζεται, η πιθανότητα επιλογής του μονοπατιού φράγματος ορίζεται ως το προϊόν της πιθανότητας της επιλογής των επιλεγμένων κόμβων. Το επιλεγμένο μονοπάτι φράγματος ακριβώς πριν τον τερματισμό του αλγορίθμου είναι αυτό με τον ελάχιστο αριθμό κόμβων για τη λειτουργία επιτήρησης στα όρια του δικτύου.

#### 4.2.28 Αλγόριθμος ACOSC

Στις υπάρχουσες μελέτες σχετικά με την sweep κάλυψη στα ΑΔΑ, ένα πρόβλημα το οποίο δεν λαμβάνεται υπόψη στην αρχική sweep κάλυψη που έχει ήδη προταθεί σε υπάρχουσες μελέτες, είναι αυτό της μεταφοράς των δεδομένων στο σταθμό βάσης του δικτύου για επεξεργασία. Λύση στο πρόβλημα αυτό έρχεται να δώσει ο αλγόριθμος ACOSC [39] ο οποίος λαμβάνει υπόψη την περιοδική κάλυψη των σημείων ενδιαφέροντος και την ταυτόχρονη μεταφορά των δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, ο αλγόριθμος αυτός εστιάζει στη χρήση ελάχιστου αριθμού αισθητήρων και στη συλλογή των δεδομένων από αυτούς μαζί με την αποστολή των δεδομένων αυτών στον σταθμό βάσης για επεξεργασία.

Προτού προχωρήσουμε στην ανάλυση του προτεινόμενου αλγορίθμου είναι σημαντικό να σημειώσουμε ότι η έρευνα πάνω στο πρόβλημα της sweep κάλυψης, από τους συγκεκριμένους συγγραφείς, γίνεται χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης αποικιών μυρμηγκιών (Ant Colony Optimization algorithm - ACO). Ο αλγόριθμος αυτός αποτελεί μία πιθανολογική τεχνική για την επίλυση υπολογιστικών προβλημάτων που μπορούν να περιοριστούν στην εύρεση καλών μονοπατιών μέσω γραφημάτων και αποτελεί τη βάση του προτεινόμενου αλγορίθμου.

Ο αλγόριθμος ACOSC, λοιπόν, αναζητεί λύσεις ελαχιστοποιώντας τον αριθμό των αισθητήρων όσο το δυνατόν περισσότερο. Με τον αλγόριθμο αυτό, λοιπόν, μία αποικία μυρμηγκιών λειτουργεί ως εξής: γίνεται ανάλυση κάθε σημείου ενδιαφέροντος όσον αφορά τους περιορισμούς που επιβάλλονται από το πρότυπο. Κάθε μυρμηγκί κατασκευάζει έναν κατάλογο εφικτών μετακινήσεων και επιλέγει τη μία από αυτές με τη βοήθεια ενός πιθανολογικού κανόνα. Προκειμένου να αποδειχθεί η απόδοση του αλγορίθμου ACO στην sweep κάλυψη, γίνεται χρήση ενός τοπικού αλγορίθμου

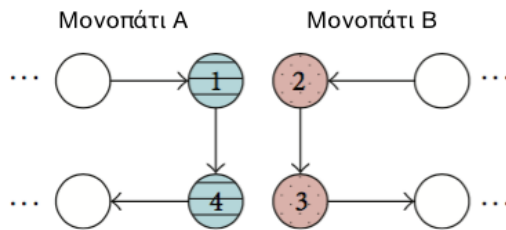
αναζήτησης σε ACOSC. Το πρώτο βήμα του αλγορίθμου βρίσκει μία εφικτή λύση μέσω μίας ευρεστικής μεθόδου που βασίζεται στον κοντινότερο γείτονα.

**1. Κατασκευή διαδρομών.**

Κάθε μυρμήγκι ξεκινά από τον σταθμό βάσης, κατασκευάζει τη διαδρομή του επιλέγοντας κάθε φορά νέα σημεία ενδιαφέροντος και επιστρέφει στο σταθμό βάσης. Σε περίπτωση που ο buffer του αισθητήρα έχει γεμίσει πλήρως με δεδομένα που έχουν συλλεχθεί κατά την κατασκευή της διαδρομής, το μυρμήγκι πρέπει να επιστρέψει στο σταθμό βάσης και να ξεκινήσει την κατασκευή μίας νέας διαδρομής.

**2. Τοπική αναζήτηση.**

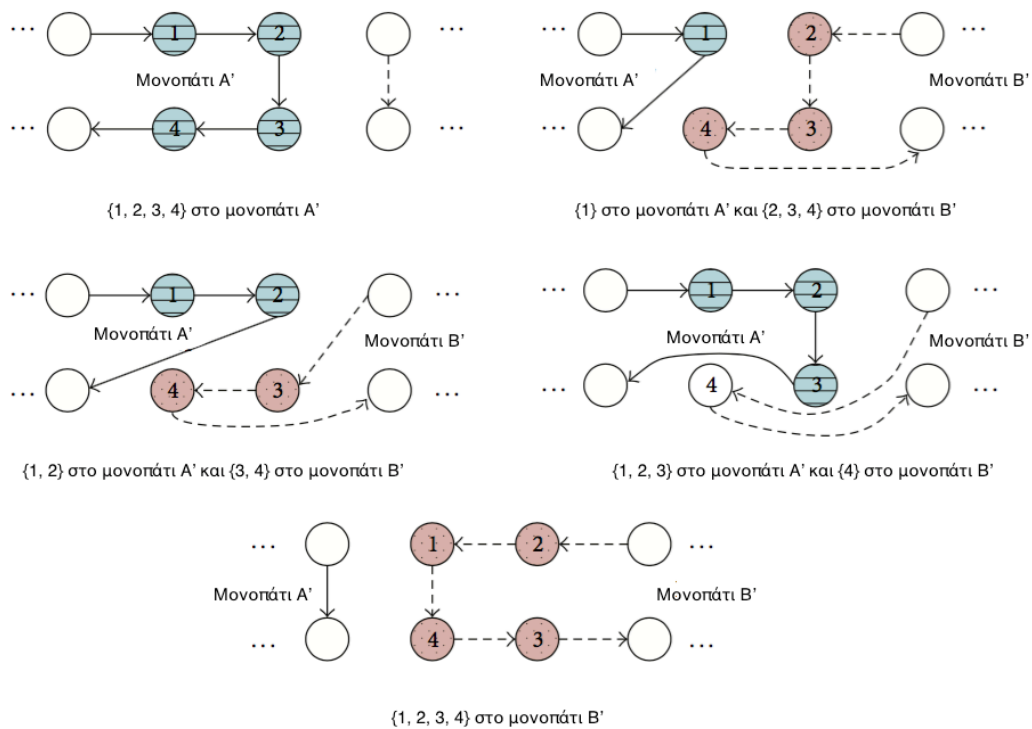
Στο στάδιο αυτό υιοθετείται η λειτουργία διασταυρώσεων δύο-σημείων που παρουσιάζεται και αναλύεται στο «An ant colony optimization model: the period vehicle routing problem with time windows» από τους B. Yu και Z. Z. Yang. Στη λειτουργία αυτή, επιλέγονται δύο μονοπάτια από τη λύση και στη συνέχεια επιλέγονται δύο σημεία ενδιαφέροντος από κάθε μονοπάτι. Τα επιλεγμένα σημεία ενδιαφέροντος ονομάζονται σύνολο σημείων διασταυρώσεων. Όλα τα σύνολα αυτά, που αποτελούνται από τέσσερα σημεία, βρίσκουν το τοπικό βέλτιστο. Το καλύτερο σύνολο, που μπορεί να μειώσει το μεγαλύτερο μέρος του αριθμού των αισθητήρων της λύσης, επιλέγεται από όλα τα εφικτά σύνολα των σημείων διασταυρώσεων για να κατασκευάσει νέα μονοπάτια. Για παράδειγμα, υπάρχουν δύο μονοπάτια A και B όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



**Εικόνα 68: Τα αρχικά μονοπάτια πριν από τη λειτουργία διασταυρώσεων δύο σημείων**

Το POI ID {1, 4} στο μονοπάτι A και το POI ID στο μονοπάτι B {2, 3} επιλέγονται να είναι τα σημεία διασταυρώσεων και το σύνολο των σημείων διασταυρώσεων είναι {1, 2, 3, 4}. Επιπλέον, υιοθετείται η μέθοδος από τους B. Yu και Z. Z. Yang για τη μείωση του χρόνου υπολογισμού των τεσσάρων σημείων. Ο αριθμός των μεταλλαγών του συνόλου των σημείων διασταυρώσεων είναι 6, αυτές είναι, {1, 4, 2, 3} {1, 2, 4, 3}, {1, 2, 3, 4}, {2, 1, 4, 3} και {2, 1, 3, 4}. Σε κάθε μεταλλαγή, υπάρχουν πέντε εφικτοί συνδυασμοί για τα νέα μονοπάτια A' και B' αντίστοιχα. {A': 1, 2, 3, 4 / B': κανένα}, {A': 1 / B': 2, 3, 4}, {A': 1, 2 / B': 3, 4}, {A': 1, 2, 3 / B': 4} και {A': κανένα / B': 1, 2, 3, 4}. Οι συνδυασμοί φαίνονται στο παρακάτω σχήμα:





**Εικόνα 69: Εφικτοί συνδυασμοί για τη μεταλλαγή {1, 2, 3, 4} στη λειτουργία διασταυρώσεων δύο σημείων**

### 3. Κανόνες τέλους.

Αφού ολοκληρωθούν όλες οι αναζητήσεις και δεν υπάρχει κάποια βελτίωση στη λύση ύστερα από πολλές επαναλήψεις ή ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων έχει επιτευχθεί, ο αλγόριθμος ACOSC τερματίζει τη λειτουργία του.

### 4. Λύση

Ο αλγόριθμος ολοκληρώνεται και εμφανίζει τη λύση.

## 5. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

### 5.1 Συμπεράσματα

Όπως συμπεραίνουμε από τη συγκέντρωση των λύσεων που παρουσιάζονται και αναλύονται στην εργασία αυτή, έχει αναπτυχθεί ένα μεγάλο εύρος αλγορίθμων και τεχνικών δημιουργίας κάλυψης φράγματος με διάφορους τρόπους. Σε γενικές γραμμές, η κάλυψη φράγματος μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση μόνο σταθερών αισθητήρων, με την προσθήκη κινούμενων αισθητήρων σε ένα δίκτυο που αποτελείται μόνο από σταθερούς, με τη χρήση μόνο καμερών αλλά και με τη χρήση μόνο κινητών αισθητήρων για τα δυναμικά αντικείμενα δηλαδή αυτά που αλλάζουν θέση και μορφή με την πάροδο του χρόνου. Αξίζει να σημειωθεί ότι όλοι αυτοί οι τρόποι εκτός από την επιτυχή δημιουργία κάλυψης φράγματος, λαμβάνουν υπόψη τη μεγιστοποίηση της διάρκειας ζωής του δικτύου αλλά και την ελαχιστοποίηση του κόστους με όσο το δυνατό τον περιορισμό του αριθμού των αισθητήρων που χρησιμοποιούνται. Σκοπός των αλγορίθμων αυτών είναι να κάνουν τα ΑΔΑ πιο λειτουργικά, αποτελεσματικά και

αποδοτικά όσον αφορά το θέμα της δημιουργίας κάλυψης φράγματος. Η επιλογή του αλγορίθμου εξαρτάται κυρίως από τα εξής χαρακτηριστικά:

- Επιτυχή δημιουργία κάλυψης φράγματος
- Μεγιστοποίηση της διάρκειας ζωής του ΑΔΑ
- Ελαχιστοποίηση του κόστους τόσο λόγω του αριθμού των αισθητήρων που θα χρησιμοποιηθούν όσο και των αντικαταστάσεων τους που θα χρειαστεί να γίνουν.

Έτσι, λοιπόν, η ενέργεια που καταναλώνεται και το κόστος των αισθητήρων που χρησιμοποιούνται αποτελούν τα βασικά χαρακτηριστικά που συνηθώς απασχολούν τους μελετητές της βιβλιογραφίας. Έτσι, λόγω της φύσης των ΑΔΑ, τα οποία δεν διαθέτουν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και οι μπαταρίες από τις οποίες τροφοδοτούνται εξαντλούνται γρήγορα αν δεν υπάρχει κάποιος περιορισμός στην κατανάλωση της ενέργειας κύριος στόχος είναι η εξοικονόμηση ενέργειας και για αυτό το λόγο πολλές έρευνες επιδιώκουν την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης. Από την άλλη πλευρά οι αισθητήρες θα πρέπει να έχουν χαμηλό κόστος καθώς σε μεγάλες περιοχές παρακολούθησης το κόστος αυτό θα είναι απαγορευτικό για τη χρήση των ΑΔΑ. Για αυτό το λόγο, επειδή οι αισθητήρες έχουν περιορισμένες ικανότητες επεξεργασίας και αποθήκευσης δεδομένων, χρησιμοποιείται ένας (ή το πολύ δύο) σταθμός βάσης που αναλαμβάνει την επεξεργασία και αποθήκευση αυτών χωρίς να αυξάνεται το συνολικό κόστος του ΑΔΑ. Επιπλέον, υπάρχει και μια κατηγορία αλγορίθμων που έχουν ως στόχο, όχι την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας αλλά την ελαχιστοποίηση των αισθητήρων που χρησιμοποιούνται καθώς και των νέων (συνήθως κινητών) που προστίθενται για την επιτυχή δημιουργία της κάλυψης φράγματος στην περιοχή ενδιαφέροντος.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένας πίνακας στον οποίο συγκεντρώνονται όλοι οι αλγόριθμοι που αναλύθηκαν στην εργασία αυτή. Πιο συγκεκριμένα, περιλαμβάνει το όνομα του αλγορίθμου, τον τύπο του, το πρόβλημα που λύνει καθώς και την αναφορά που χρησιμοποιήθηκε για την παρουσίασή του στην εργασία αυτή.

**Πίνακας 3: Συγκεντρωτικός πίνακας αλγορίθμων**

Αλγόριθμος	Τύπος Αλγορίθμου	Πρόβλημα που λύνει	Αναφορά
Maximal Breach Path	Κεντρικοποιημένος	Εύρεση μονοπατιού μέγιστης παράβασης.	[2][15][17][31]
Maximal Support Path	Κεντρικοποιημένος	Εύρεση μονοπατιού μέγιστης υποστήριξης.	[2][15][17][31]
Maximal Beach/Support Path – Βελτιωμένη μέθοδος	Κεντρικοποιημένος	Βελτιωμένος τρόπος εύρεσης μονοπατιού μέγιστης παράβασης/υποστήριξης.	[3]
Directional Barrier Coverage	Κατανεμημένος	Ελαχιστοποίηση του κόστους των κινητών αισθητήρων που απαιτούνται για τη δημιουργία ισχυρής κάλυψης.	[6]
Greedy Movement	Τοπικός/ Κατανεμημένος	Ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους της κίνησης των αισθητήρων για την τοποθέτησή τους στις	[6]

		κατάλληλες θέσεις και την αποτελεσματική δημιουργία φράγματος.	
Vertex-Disjoint Path	Κατανεμημένος	Αποδοτική χρήση των κινητών αισθητήρων για τη δημιουργία κάλυψης $k$ -φραγμάτων.	[6]
Min-Num-Mobile( $k$ ) – Βέλτιστος	Κατανεμημένος	Επέκταση του αλγορίθμου Vertex-Disjoint Path	[6]
Min-Num-Mobile( $k$ ) – Απληστος	Κατανεμημένος	Αποτελεί βελτιωμένη έκδοση του Min-Num-Mobile( $k$ ) – Βέλτιστου αλγορίθμου καθώς ο τελευταίος ενσωματώνει τον Vertex-Disjoint Path ο οποίος μειονεκτεί στο ότι περιέχει πολλές πράξεις, όπως ο μετασχηματισμός του εκάστοτε γραφήματος με αποτέλεσμα να είναι αρκετά πολύπλοκος και ιδιαίτερα χρονοβόρος όταν ειδικά πρόκειται για δίκτυα μεγάλης κλίμακας.	[6]
Min-Num-Barrier – Βέλτιστος	Κατανεμημένος	Αποτελεί τον Min-Num-Mobile( $k$ ) – Βέλτιστο αλγόριθμο με τη διαφορά ότι επιτυγχάνει την εύρεση του μέγιστου αριθμού φραγμάτων όταν υπάρχουν στο δίκτυο και κινητοί και σταθεροί αισθητήρες.	[6]
Min-Num-Barrier – Απληστος	Κατανεμημένος	Εύρεση κάθε φορά του συντομότερου μονοπατιού μέχρι να έχουν ελεγχθεί όλοι οι κινητοί αισθητήρες ή να μην υπάρχει κάποιο μονοπάτι.	[6]
Barrier Coverage Protocol	Τοπικός	Αναλαμβάνει τη μεγιστοποίηση της διάρκειας ζωής του δικτύου καθώς επίσης και, ταυτοχρόνως, την παροχή κάλυψης φράγματος.	[9]
MaxSTAverageBreach	Κατανεμημένος	Αποτελεί μία απλή αλλά πολύ σημαντική επέκταση της μέτρησης της μέγιστης παραβίασης (maximal breach measure). Η τελική τιμή της μέτρησης αυτής προτείνεται να προέρχεται από τον μέσο	[14]

		όρο των τιμών που μετρούνται (all-pairs average maximal breach) και όχι από κάθε τιμή ξεχωριστά (single-pair maximal breach).	
ComputeBarriers	Κατανεμημένος	Δημιουργίας κάλυψης φράγματος σε μία περιοχή που έχει ακανόνιστο σχήμα. Ο αλγόριθμος ComputeBarriers αφορά την εύρεση όλων των ανεξάρτητων φραγμάτων (disjoint barriers) για ένα τμήμα λωρίδας (strip segment).	[17]
Divide-and-Conquer	Κατανεμημένος	Δημιουργίας κάλυψης φράγματος σε μία περιοχή που έχει ακανόνιστο σχήμα. Ο αλγόριθμος Divide-and-Conquer αφορά την κατασκευή όλων των ξένων φραγμάτων σε δίκτυα αισθητήρων μεγάλης κλίμακας (ο αριθμός τους υπολογίζεται τον ComputeBarriers αλγόριθμο)	[17]
LRNO vs Poisson	Κατανεμημένος	Περιγραφή του μοντέλου της παράταξης των κόμβων σε μία περιοχή με τη line-based μέθοδο η οποία και αποτελεί ένα πιο ρεαλιστικό μοντέλο τοποθέτησης κόμβων από αυτό της διαδικασίας Poisson.	[20]
Barrier Construction	Τοπικός/ Κατανεμημένος	Υπολογισμός του αριθμού των φραγμάτων σε ένα δίκτυο αισθητήρων. (Κύρια υπόθεση είναι ότι η θέση του κάθε αισθητήρα γίνεται γνωστή πριν τον υπολογισμό των φραγμάτων).	[20]
Naive Sweep	Τοπικός	Δρομολόγηση της κίνησης στα POIs μόνο με τις τοπικές πληροφορίες, δηλαδή όταν δεν υπάρχει κάποιος κεντρικός έλεγχος και κάθε κινητός κόμβος δεν έχει πλήρη εικόνα της γενικής κατάστασης του δικτύου.	[19]

Anti-collision Sweep	Τοπικός/ Κατανεμημένος	Το πώς οι κινητοί κόμβοι θα συντονίσουν τις κινήσεις του ώστε να αποφεύγουν τις συγκρούσεις.	[19]
Patrol Point	Κατανεμημένος	Ασυνέπεια των κινητών κόμβων στους χρόνους περιπολίας τους. Π.χ. άμεσος εντοπισμός ανάφλεξης που μπορεί να συμβεί σε ένα χώρο.	[22]
Εύρεση μονοπατιού που απαιτεί τον ελάχιστο αριθμό ενεργών καμερών με χρήση αλγορίθμου Dijkstra	Κατανεμημένος	Κάλυψη φράγματος στα δίκτυα αισθητήρων με τη χρήση καμερών.	[25]
APBC πρωτόκολλο	Τοπικός	Διατήρηση της ενέργειας των κόμβων προκειμένου να παρατείνεται η διάρκεια ζωής του δικτύου και παροχή κάλυψης κ-φραγμάτων χωρίς την επανεκτέλεση του αλγορίθμου ακόμα και όταν οι κόμβοι αποτύχουν στο να δημιουργήσουν κάλυψη φράγματος.	[29]
Elastic Barrier	Κατανεμημένος	Χρήση κινητών αισθητήρων για την κάλυψη κινούμενων/δυναμικών αντικειμένων, δηλαδή αντικείμενα που μετακινούνται ή μετασχηματίζονται και οι αισθητήρες πρέπει να διαμορφώνονται κατάλληλα έτσι ώστε να συνεχίζουν την καταγραφή των αντικειμένων αυτών.	[27]
k-CLBCS πρωτόκολλο	Κατανεμημένος	Ελαχιστοποίηση της καταμέτρησης των ενεργών κόμβων, της συνολικής ενέργειας που χρησιμοποιείται σε έναν κύκλο, της αναλογίας μεταξύ της ενέργειας που καταναλώνει ένας ενεργός κόμβος σε έναν κύκλο και της εναπομένουσας ενέργειας και την μεγιστοποίηση της ελάχιστης αναλογίας της	[30]

		εναπομένουσας ενέργειας ενός ενεργού κόμβου και της αρχικής του ενέργειας.	
k-SBCCS πρωτόκολλο	Κατανεμημένος	Δημιουργία ισχυρής κάλυψης φράγματος με χρήση επικαλυπτόμενων ζωνών.	[30]
LABC	Τοπικός/ Κατανεμημένος	Επιλογή ελάχιστου αριθμού κόμβων που χρειάζονται για την παρακολούθηση των φραγμάτων στο δίκτυο.	[33]
Ελάχιστου κόστους ενέργειας ανίχνευσης για κάλυψη φράγματος 1-local	Κατανεμημένος	Δημιουργία κάλυψης φράγματος με την ελάχιστη ενέργεια ανίχνευσης από κάθε κόμβο.	[38]
Ελάχιστου κόστους ενέργειας κατασκευής φραγμάτων k-κάλυψης	Τοπικός/ Κατανεμημένος	Δημιουργία κάλυψη k-φραγμάτων καμίας διέλευσης με το ελάχιστο κόστος.	[38]
Προοδευτική μέθοδος αντιμετώπισης των σφαλμάτων τοποθεσίας των κόμβων	Τοπικός/ Κατανεμημένος	Προσθήκη κινητών αισθητήρων για δημιουργία κάλυψης φράγματος λόγω της ύπαρξης σφαλμάτων τοποθεσίας (ακριβούς θέσης) των κόμβων που έχουν τοποθετηθεί αρχικά.	[35]
Ανάπτυξης κινητού φράγματος	Κατανεμημένος	Επιτυχής κάλυψη οποιουδήποτε δυναμικού αντικειμένου ρυθμίζοντας ανάλογα κάθε φορά τη θέση των κινητών αισθητήρων.	[36]
Κάλυψη φράγματος με τη χρήση αυτομάτων εκμάθησης	Κατανεμημένος	Δημιουργία κάλυψης φράγματος μέσω των αυτομάτων εκμάθησης με την εύρεση των συντομότερων μονοπατιών που δημιουργούν φράγματα.	[37]
ACOSC	Κεντριοποιημένος	Χρήση ελάχιστου αριθμού αισθητήρων και στη συλλογή των δεδομένων από αυτούς μαζί με την αποστολή των δεδομένων αυτών τους στον σταθμό βάσης του δικτύου για επεξεργασία.	[39]

Σύμφωνα με τον παραπάνω συγκεντρωτικό πίνακα, μπορούμε εύκολα να παρατηρήσουμε ότι η βιβλιογραφία προτείνει αρκετές λύσεις για τα διάφορα είδη προβλημάτων που υπάρχουν στο θέμα της κάλυψης φράγματος στα ΑΔΑ. Πιο συγκεκριμένα, προτείνονται αλγόριθμοι για δημιουργία επιτυχούς κάλυψης φράγματος με χρήση όχι μόνο σταθερών αισθητήρων (π.χ. Maximal Breach Path, Maximal Support

Path) [2][15][17][31] αλλά και με το συνδυασμό των σταθερών και των κινητών αισθητήρων (π.χ. Min-Num-Barrier) [6]. Ακόμη, προτείνεται ένας αλγόριθμος για δημιουργία κάλυψης φράγματος με τη χρήση καμερών (π.χ. βασίζεται στον αλγόριθμο Dijkstra) [25]. Επιπλέον, προτείνονται οι αντίστοιχοι αλγόριθμοι όταν πρόκειται για δημιουργία κάλυψης φράγματος σε δυναμικά αντικείμενα ή αντικείμενα που αλλάζουν σχήμα με την πάροδο του χρόνου (π.χ. Αλγόριθμος Ανάπτυξης Κινητού Φράγματος) [36] καθώς και αλγόριθμοι για τη δημιουργία κάλυψης φράγματος με τη χρήση αυτομάτων εκμάθησης [37]. Εκτός βέβαια από τους παραπάνω αλγόριθμους, προτείνονται και αρκετοί άλλοι οι οποίοι πετυχαίνουν κάλυψη φράγματος ενσωματώνοντας κάθε φορά διαφορετική μεθοδολογία. Όλοι αυτοί οι αλγόριθμοι έχουν αναλυθεί και περιγραφεί στο παραπάνω κεφάλαιο. Τέλος, οι αλγόριθμοι που προτείνονται από τη βιβλιογραφία, λαμβάνουν υπόψη τόσο το κόστος από τη χρήση των κινητών αισθητήρων για αυτό και η χρήση τους είναι όσο το δυνατόν μικρότερη όσο και την μεγιστοποίηση της διάρκειας ζωής του ΑΔΑ προσπαθώντας, για το λόγο αυτό, να μειώσουν τα ενεργειακά κόστη. Ακόμη, δεν θα γινόταν να μην λαμβάνονται υπόψη πιθανά σφάλματα των μετρήσεων της αρχικής τοποθεσίας των κόμβων για αυτό και προτείνονται οι αντίστοιχοι αλγόριθμοι (π.χ. Προοδευτική μέθοδος αντιμετώπισης των σφαλμάτων τοποθεσίας των κόμβων) [35].

Στη συνέχεια, γίνονται κάποιες συγκρίσεις μεταξύ των αλγορίθμων όσον αφορά την απόδοση τους αλλά και πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν έναντι άλλων. Όσον αφορά τους αλγόριθμους Max-Num-Barrier-Βέλτιστος και Max-Num-Barrier-Άπληστος καθώς και τους Min-Num-Mobile(k)- Βέλτιστος και Min-Num-Mobile(k)-Άπληστος αυτοί δίνουν λύσεις στα αντίστοιχα προβλήματα που παρατέθηκαν. Σε κάθε περίπτωση μετά από πειράματα και μετρήσεις που έγιναν, οι βέλτιστοι αλγόριθμοι εμφάνιζαν καλύτερα αποτελέσματα χωρίς ωστόσο να διαφέρουν σημαντικά από τα αποτελέσματα των άπληστων αλγορίθμων. Για τον λόγο αυτό, αλλά και για το γεγονός ότι οι άπληστοι αλγόριθμοι εμφανίστηκαν να είναι πιο αποδοτικοί και ιδιαίτερα σε δίκτυα μεγάλης κλίμακας, προτιμήθηκαν οι τελευταίοι. Όσον αφορά το LBCP πρωτόκολλο σε προσομοιώσεις παρατηρήθηκε ότι για μικρές ζώνες περιοχών το δίκτυο πρόσφερε γενική κάλυψη φράγματος (global barrier coverage) οποτεδήποτε πρόσφερε και τοπική κάλυψη φράγματος (local barrier coverage). Οι συγκεκριμένοι μελετητές έδειξαν ότι αντί για τη χρήση global coverage, μπορούσε να εξασφαλιστεί η συνδετικότητα, υπό κάποιες προϋποθέσεις, και με τη χρήση local barrier coverage. Αυτό μπορούσε να επιτευχθεί με τη χρήση localized sleep-wakeup αλγορίθμων για την ανίχνευση της κίνησης στο δίκτυο που επιπλέον πρόσφερε και βελτιώσεις στη διάρκεια ζωής του [10].

Λόγω του γεγονότος ότι οι αλγόριθμοι Anti-collision Sweep και DSweep (Sweep Coverage with Mobile Sensors) παρουσιάζουν αρκετές ομοιότητες, η σύγκριση μεταξύ τους αποτελεί ένα αναπόφευκτο γεγονός. Πιο αναλυτικά, επειδή ο συγκεκριμένος DSweep αλγόριθμος προτείνεται για συστήματα με σταθερά POIs, προκειμένου να γίνει η σύγκριση με τον Anti-collision Sweep αλγόριθμο, γίνονται δύο παραμετροποιήσεις σε αυτόν. Η πρώτη αφορά την ικανότητα ενός κινητού κόμβου να γνωρίζει κάθε νέο POI που έχει δημιουργηθεί σε εύρος διπλάσιο από το εύρος επικοινωνίας του και η δεύτερη αφορά την δυνατότητα κάθε κινητός κόμβος να γνωρίζει τις πληροφορίες κάθε νέου POI μόλις δημιουργηθεί. Τα αποτελέσματα από προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν έδειξαν ότι ο αλγόριθμος Anti-collision Sweep είναι πιο αποδοτικός από τον DSweep αλγόριθμο. Αυτό συμβαίνει διότι ο DSweep χρησιμοποιεί μόνο το δίκτυο των κινητών κόμβων για την λήψη αποφάσεων σχετικά με την κατεύθυνση που πρέπει να ακολουθήσουν οι κόμβοι και υπάρχουν περιπτώσεις κατά τις οποίες το δίκτυο αυτό δεν είναι συνδεδεμένο και ως εκ τούτου οι πληροφορίες για την δρομολόγηση των σωστών κόμβων δεν είναι οι κατάλληλες. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε σχέση με τον παραμετροποιημένο DSweep αλγόριθμο, ο συγκεκριμένος έχει χειρότερη απόδοση

εξαιτίας του γεγονότος ότι ο πρώτος γνωρίζει επακριβώς τις πληροφορίες του δικτύου που σημαίνει και την λήψη καλύτερων αποφάσεων δρομολόγησης κάτι όμως που είναι πολύ δύσκολο να εφαρμοστεί στην πράξη [19].

Ακόμη, όπως έχει αναλυθεί στην εργασία αυτή, κάλυψη φράγματος στα ΑΔΑ μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση καμερών. Για αυτό και δεν θα μπορούσε να παραλειφθεί μία σύγκριση μεταξύ της πλήρους κάλυψης φράγματος και αυτής με τη χρήση καμερών. Η κύρια διαφορά εντοπίζεται στο κόστος που απαιτεί η κάθε κάλυψη. Η πλήρης κάλυψη σημαίνει ότι κάθε σημείο μιας περιοχής καλύπτεται από πολλαπλές κάμερες ενώ η κάλυψη φράγματος σημαίνει τη δημιουργία ενός φράγματος μέσα στην περιοχή από κάμερες για εντοπισμό πιθανής παραβίασης της περιοχής ανεξάρτητα από την κίνηση του εισβολέα. Όπως εύκολα μπορεί να διαπιστωθεί, η πρώτη απαιτεί πολύ πιο μεγάλο αριθμό καμερών σε σχέση με την δεύτερη. Επιπλέον, με τη μεθοδολογία που προτείνεται καθώς επίσης και της διαδικασίας αφαίρεσης περιττών καμερών στην κάλυψη φράγματος, ο αριθμός των απαιτούμενων καμερών μειώνεται και άλλο [25].

Τέλος, όσον αφορά τον αλγόριθμο ACOSC που προτείνεται, αυτός αποδίδει καλύτερα σε σχέση τόσο με τον OSweep και τον VRPSC. Γενικά, η sweep κάλυψη είναι ένα αρκετά υποσχόμενο σχέδιο που μπορεί να μειώσει το κόστος της κάλυψης με τη χρησιμοποίηση κινητών αισθητήρων. Επίσης, έρχεται αντιμέτωπο με νέες προκλήσεις όπως την ελαχιστοποίηση των κινητών αισθητήρων και τον σχεδιασμό της διαδρομής τους. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων έδειξαν ότι ο αλγόριθμος ACOSC αποδίδει πολύ καλύτερα σε σχέση με τους άλλους αλγορίθμους και μπορεί να προσαρμόζεται καλά κάτω από διαφορετικές συνθήκες, ένα χαρακτηριστικό που του δίνει μεγάλο πλεονέκτημα έναντι των άλλων αλγορίθμων.

## 5.2 Πρόταση συνδυασμού

Κατά το σχεδιασμό των αλγορίθμων πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στους περιορισμούς που προκύπτουν τόσο λόγω των ιδιοτήτων του εκάστοτε αλγορίθμου όσο και στα περιβάλλοντα που αυτοί θα εφαρμοσθούν. Υπάρχουν, λοιπόν, σημεία τα οποία απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή.

Αρχικά, μεγάλο ρόλο στην απόδοση ενός αλγορίθμου διαδραματίζει τόσο η στρατηγική ανάπτυξης που ακολουθείται, αν είναι τυχαία ή ντετερμινιστική, όσο και ο τρόπος λειτουργίας του συστήματος, αν αυτό δηλαδή λειτουργεί κεντρικά ή κατακεντρωμένα. Επίσης, η απόδοση του αλγορίθμου εξαρτάται και από την περιοχή ανίχνευσης που θα επιλεγεί (συνήθως είναι ισοτροπική) καθώς και από την ενέργεια που απαιτείται τόσο για την επικοινωνία των αισθητήρων όσο και για την κινητικότητα τους.

Με βάση τη μελέτη των αλγορίθμων που έχουν παρουσιαστεί καθώς και τις βελτιώσεις αυτών συμπεραίνουμε ότι εξακολουθούν να παρουσιάζουν μειονεκτήματα ως προς τον τρόπο λειτουργίας τους. Τέτοια μειονεκτήματα είναι η καθυστέρηση στην αναγνώριση ενός συμβάντος και στην επεξεργασία των δεδομένων, η συνεχή λειτουργία τους χωρίς εξοικονόμηση ενέργειας καθώς και η λανθασμένη αποστολή της ακριβούς τοποθεσίας τους.

Είναι αναγκαίο, λοιπόν, να ελαχιστοποιηθεί η κατανάλωση ενέργειας που απαιτείται για την κίνηση των αισθητήρων, για την επεξεργασία των δεδομένων που λαμβάνουν αλλά και για τον εντοπισμό των διάφορων συμβάντων. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την αύξηση της επεξεργαστικής ισχύς όταν αυτό απαιτείται να γίνει. Έτσι, θα γίνεται καλύτερη διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας αλλά και θα μειωθεί ο χρόνος επεξεργασίας των δεδομένων. Επίσης, η χρήση καλύτερων συστημάτων μέτρησης αποστάσεων σε μία περιοχή θα δώσει τη δυνατότητα να χρησιμοποιούνται λιγότεροι κόμβοι μειώνοντας έτσι μόνο το κόστος και όχι την αξιοπιστία του δικτύου.



Για την αντιμετώπιση των μειονεκτημάτων που αναφέρθηκαν, μπορούμε να αντλήσουμε τα πλεονεκτήματα από τους αλγόριθμους που μελετήθηκαν ώστε να προκύψει ένας νέος αλγόριθμος. Έστω, λοιπόν, ότι ο αλγόριθμος που θα προκύψει θα έχει στόχο τη δημιουργία κάλυψης φράγματος σε μία περιοχή με συγκεκριμένο σχήμα και θα απαιτεί τη χρήση τόσο σταθερών όσο και κινητών αισθητήρων για την καλύτερη δυνατή κάλυψη. Στόχος του, εκτός από την επιτυχημένη κάλυψη φράγματος θα είναι και η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Βάση του αλγόριθμου αυτού θα είναι ο αλγόριθμος Directional Barrier Coverage στόχος του οποίου είναι εφόσον έχουν τοποθετηθεί οι σταθεροί κόμβοι στην περιοχή, να προστεθούν οι κινητοί για τη δημιουργία ισχυρής κάλυψης αλλά ταυτόχρονα, όποτε αυτό είναι δυνατό, η κίνηση τους να είναι η ελάχιστη δυνατή τόσο για την εξοικονόμηση ενέργειας όσο και για τη μείωση του κόστους συντήρησης.

Αρχικά, αφού οι αισθητήρες παραταχθούν στην περιοχή, θα αναφέρουν το είδος τους, την τοποθεσία τους και την κατεύθυνση τους στον αντίστοιχο εξυπηρετητή (server). Ο server μόλις λάβει τις πληροφορίες αυτές, ομαδοποιεί τους αισθητήρες σε συστάδες. Στη συνέχεια, υπολογίζεται το ελάχιστο κόστος των κινητών αισθητήρων που απαιτούνται για την ένωση δύο οποιονδήποτε συστάδων και κατασκευάζεται το Directional Barrier Γράφημα G. Μετέπειτα, για την εύρεση του συντομότερου μονοπατιού, χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος Dijkstra, το μήκος του οποίου είναι το ελάχιστο κόστος των κινητών αισθητήρων που χρειάζονται για την δημιουργία αναλόγως ασθενούς ή ισχυρού φράγματος.

Ένα πρόβλημα που δημιουργείται σε αυτή την περίπτωση είναι οι πιθανές συγκρούσεις μεταξύ των κινητών κόμβων. Λύση σε αυτό το πρόβλημα θα μπορούσαν να δώσουν οι Naive Sweep και Anti-Collision Sweep αλγόριθμοι. Κύρια λειτουργία τους είναι η χρήση ετικετών για τους κόμβους που έχουν εντοπίσει κάποιο συμβάν με αποτέλεσμα να μετατρέπονται σε POIs και μέσω της αντίστοιχης συνάρτησης να δρομολογείται κίνηση του κινητού αισθητήρα, για να αποφευχθεί οποιαδήποτε σύγκρουση κάθε κινητός αισθητήρας «στέλνει» ένα μήνυμα χαιρετισμού στη διαδρομή που θα ακολουθήσει.

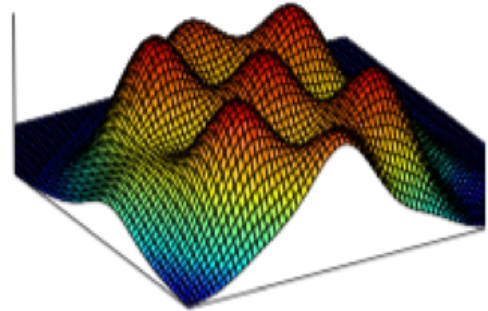
Απαιτείται, λοιπόν, να δοθεί απάντηση σε δύο ερωτήσεις. Πρώτον, πώς θα δημιουργηθούν οι δυναμικές των αισθητήρων ώστε να δρομολογούν την κίνηση των κινητών κόμβων αποδοτικά και δεύτερον πώς οι κινητοί κόμβοι θα συντονίσουν τις κινήσεις του ώστε να αποφεύγουν τις συγκρούσεις.

Για την απάντηση στο πρώτο ερώτημα προτείνεται ο Naive Sweep αλγόριθμος [19]. Αρχικά, πρέπει να σημειωθεί ότι θεωρείται δεδομένη η δυνατότητα (potential) ενός αισθητήρα αλλάζει δυναμικά κάθε χρονική στιγμή. Η διαδικασία, λοιπόν, αλλαγής της δυνατότητας δρομολόγησης μπορεί να χωριστεί σε τρεις φάσεις:

- Φάση αρχικοποίησης: Όταν το σύστημα ξεκινάει, η δυνατότητα δρομολόγησης όλων των αισθητήρων τίθεται στην τιμή 0, που σημαίνει ότι ο τρισδιάστατος χάρτης είναι επίπεδος.
- Φάση κατασκευής της δυνατότητας δρομολόγησης: Όταν ένας αισθητήρας ανιχνεύει ένα φαινόμενο, μετατρέπεται σε POI και θέτει την τιμή της δυνατότητας δρομολόγησης σε τέτοια ώστε να είναι μεγαλύτερη από αυτή των άλλων γειτονικών του κόμβων. Στη συνέχεια, αυξάνει περιοδικά την τιμή ενός εντός χρονικού διαστήματος με τη βοήθεια μίας συνάρτησης  $\gamma(t)$  που παίρνει ως είσοδο τη χρονική διάρκεια μεταξύ της τωρινής ώρας και της ώρας ανίχνευσης του συμβάντος. Για έναν μη-POI αισθητήρα, ενημερώνει την τιμή της δυνατότητας δρομολόγησης με βάση την τιμή που έχουν οι γειτονικοί του αισθητήρες.

- Οπισθοδρόμηση: Όταν ένας κινητός κόμβος φτάνει στο POI, τα δεδομένα που έχει καταγράψει το POI συλλέγονται από αυτό και η τιμή της δυνατότητας δρομολόγησης του τίθεται στο 0.

Η συνάρτηση  $\gamma$  αποφασίζει πόσο γρήγορα ένας αισθητήρας POI αυξάνει τη δυνατότητα δρομολόγησης. Μπορεί να θεωρηθεί ως ο βαθμός της έκτακτης ανάγκης του POI. Αν το POI δεν έχει σαρωθεί για αρκετό χρονικό διάστημα, η δυνατότητα δρομολόγησης του αυξάνεται συνεχώς, που σημαίνει ότι υπάρχει επιτακτική ανάγκη συλλογής των δεδομένων από το συγκεκριμένο POI. Η συνάρτηση  $\beta$  αποφασίζει τον τρόπο υπολογισμού της τιμής της δυνατότητας δρομολόγησης ενός μη-POI αισθητήρα. Για την δημιουργία του τρισδιάστατου χάρτη, η συνάρτηση αυτή πρέπει να ακολουθεί τους εξής δύο κανόνες:



- Ο POI αισθητήρας πρέπει να έχει τη μέγιστη τιμή δυνατότητας δρομολόγησης μεταξύ όλων των γειτόνων του.
- Ο μη-POI αισθητήρας που βρίσκεται κοντά σε έναν POI αισθητήρα πρέπει η τιμή δυνατότητας δρομολόγησης του να είναι μεγαλύτερη από αυτή των άλλων μη-POI αισθητήρων που βρίσκονται μακριά από το συγκεκριμένο POI. Έτσι, οι τιμή που έχει ο POI και οι γείτονες του δημιουργούν έναν «λόφο» που στην κορυφή βρίσκεται ο αισθητήρας POI.

Η προσέγγιση που παρουσιάστηκε παραπάνω δεν είναι σε θέση να χειριστεί τη σύγκρουση των κινητών κόμβων. Οι συγκρούσεις συμβαίνουν όταν πολλαπλοί κινητοί κόμβοι κινούνται προς το ίδιο POI. Η λύση σε αυτό το πρόβλημα ακούει στο όνομα ενός βελτιωμένου αλγορίθμου, Anti-Collision Sweep αλγόριθμου [19].

Ο αλγόριθμος αυτός χρησιμοποιεί την ίδια ιδέα με τον αλγόριθμο που περιεγράφηκε προηγουμένως. Η μόνη διαφορά είναι ότι κάθε κινητός κόμβος χρησιμοποιεί ένα «μέσο» για να σηματοδοτήσει την πορεία του και ακολουθεί τα σημάδια μέχρι το POI. Το «μέσο» ουσιαστικά είναι ένα μήνυμα ελέγχου που μεταδίδεται στο δίκτυο που αποτελείται από του σταθερούς αισθητήρες. Το μέσο χρησιμοποιεί τον naive sweep αλγόριθμο για τη δρομολόγηση της κίνησης του. Με το που φτάσει στο POI, επαναφέρει την τιμή της δυνατότητας δρομολόγησης του σε 0. Από τη στιγμή που κινείται πιο γρήγορα από τον αντίστοιχο κινητό κόμβο, οι άλλοι κινητοί κόμβοι με κατεύθυνση το συγκεκριμένο POI θα αλλάξουν τη διαδρομή τους αφού η τιμή του POI θα έχει τεθεί στο 0. Έτσι, οι άσκοπες κινήσεις των κινητών κόμβων μειώνονται σημαντικά. Αν και υπάρχει η πιθανότητα σύγκρουσης των «μέσων», αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα διότι κάθε κινητός κόμβος ακολουθεί πάντα τα νεότερα σημάδια που δημιουργούνται από το «μέσο» του. Από τη στιγμή που τα «μέσα» χρησιμοποιούν τον naive sweep αλγόριθμο για τη δρομολόγηση της κίνησης τους, είναι εγγυημένο ότι θα κινηθούν στις σωστές κατευθύνσεις, πότε δεν θα κολλήσουν σε κάποιον αισθητήρα μέχρι να φτάσουν στο POI και τέλος δεν θα μπορούν να σχηματιστούν μονοπάτια βρόγχων.

### 5.3 Επίλογος – προοπτική για το μέλλον

Η ραγδαία εξέλιξη στον τομέα των ασύρματων επικοινωνιών την τελευταία δεκαετία έχει ως αποτέλεσμα την ανάγκη για συνεχή μελέτη πάνω στις νέες τεχνολογίες. Η επιστημονική κοινότητα πραγματοποιώντας γοργά βήματα προτείνει διαρκώς νέες λύσεις για τα προβλήματα και τις ανάγκες των καταναλωτών. Στα πλαίσια της εξέλιξης

αυτής, έχει παρατηρηθεί τα τελευταία χρόνια ιδιαίτερη κινητικότητα στην έρευνα πάνω σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, τα οποία καλούνται να καλύψουν πολλές ιδιαίτερες ανάγκες σε πληθώρα εφαρμογών.

Είναι, λοιπόν, σωστό να σταθούμε λίγο στις προοπτικές εξέλιξης και μελλοντικής έρευνας που συνοδεύουν την παρούσα εργασία. Στις αρχές του 21<sup>ου</sup> αιώνα, η επιστημονική κοινότητα έχει πλέον στραφεί σε μεγάλο βαθμό στα ΑΔΑ. Η έρευνα πάνω στην νέα αυτή τεχνολογία αναπτύσσεται με ταχύτατους ρυθμούς, ενώ πλέον τα αποτελέσματά της αρχίζουν να αποκτούν και υπαρκτή διάσταση, καθώς σχετικά προϊόντα είναι διαθέσιμα από γραμμές παραγωγής. Η εξέλιξη αυτή προκαλεί ταυτόχρονη διεύρυνση και των εφαρμογών των ΑΔΑ, τα οποία καλούνται να δώσουν λύσεις σε όλο και περισσότερες περιπτώσεις. Συμπερασματικά, θα μπορούσαμε άφοβα να διατυπώσουμε την άποψη ότι στο άμεσο μέλλον, δίκτυα αποτελούμενα από αισθητήρες θα χρησιμοποιούνται σε πολύ μεγάλο βαθμό τόσο σε επιχειρήσεις όσο και για οικιακή χρήση.

Επίσης, η ανάπτυξη ενεργειακά αποδοτικών τεχνικών αποτελεί κρίσιμο παράγοντα, και η ανάγκη συνέχισης των εργασιών που αποτέλεσαν αντικείμενο της συγκεκριμένης μελέτης κρίνεται επιτακτική. Έτσι, θα είναι εφικτή και η περαιτέρω εξάπλωση της νέας αυτής τεχνολογίας, με την σχεδίαση και κατασκευή ακόμα μικρότερων αισθητήρων ικανών να ανταπεξέλθουν σε ακόμα πιο απαιτητικές εφαρμογές.

Συγκεκριμένα, η διεθνής ερευνητική κοινότητα πλέον στρέφεται στη μελέτη νέων συνεργατικών τεχνικών μετάδοσης, μέσω των οποίων είναι εφικτή η πλήρης εκμετάλλευση των ενεργειακών αποθεμάτων του κάθε κόμβου. Οι τεχνικές αυτές πλέον τείνουν να ξεφύγουν από τα στενά όρια των στρωμάτων λειτουργίας του δικτύου, και αντιμετωπίζονται σαν διαστρωματικά προβλήματα, με σκοπό την συνολική βελτίωση της λειτουργίας και της απόδοσής τους. Κατ' αυτόν τον τρόπο, η βιωσιμότητα των δικτύων αναμένεται να αυξηθεί ακόμα περισσότερο.

Επιπλέον, η χρήση περισσότερων της μίας κεραιών πάνω σε έναν κόμβο – αισθητήρα ήδη μελετάται διεξοδικά, και πρότυποι αισθητήρες με ενσωματωμένες δύο ή και περισσότερες κεραιές έχουν κατασκευαστεί. Η επέκταση της τεχνολογίας αυτής στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων ανοίγει νέους ορίζοντες όσον αφορά στις τεχνικές μετάδοσης της πληροφορίας, καθώς πλέον είναι δυνατή η δόμηση πραγματικών συστημάτων πολλαπλών εισόδων – πολλαπλών εξόδων. Συνδυασμός αυτού του τρόπου μετάδοσης, θα μπορούσε να αποτελέσει μια νέα ερευνητική πρόκληση για το άμεσο μέλλον της εξέλιξης των δικτύων αισθητήρων.

Μια ακόμα ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα προοπτική εξέλιξης για τα ΑΔΑ η οποία ήδη μελετάται από την παγκόσμια ερευνητική κοινότητα, είναι ο συνδυασμός της τεχνολογίας αυτής με ρομποτικά συστήματα, με σκοπό την δημιουργία «έξυπνων» ρομποτικών δικτύων. Η προσπάθεια αυτή συνεπάγεται ποικίλες ενδιαφέρουσες προκλήσεις, καθώς τα ρομποτικά συστήματα εξ ορισμού απαιτούν σημαντικά ποσά ενέργειας για τη λειτουργία τους. Η σχεδίαση λοιπόν τέτοιων συστημάτων με γνώμονα την ενεργειακή αποδοτικότητα είναι ιδιαίτερα δύσκολη.

Όλες αυτές οι τεχνολογικές προοπτικές εξέλιξης για τα ΑΔΑ συνεπάγονται άμεσα την ευρεία διεύρυνση των εφαρμογών για τις οποίες τα δίκτυα αυτά είναι χρηστικά, οδηγώντας έτσι με ακρίβεια στην άμεση εξάπλωση της συγκεκριμένης τεχνολογίας στον τομέα παραγωγής από ποικιλία εταιριών. Αναμένεται κατά συνέπεια σε σύντομο χρονικό διάστημα τα ΑΔΑ να κατακλύσουν την σχετική αγορά, λύνοντας σημαντικά προβλήματα της καθημερινής ζωής και όχι μόνο.

Αδιαμφισβήτητα, η ευρύτητα που χαρακτηρίζει τον τομέα των ασύρματων επικοινωνιών κάνει δυνατή τη συνεχή ανάπτυξη των παραπάνω τεχνικών και καθιστά

πραγματοποιήσιμη την υπόσχεση συνέχισης των προσπαθειών μας για ανταπόκρισή μας στις επιταγές της συνεχώς εξελισσόμενης τεχνολογίας.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ

Ξενόγλωσσος όρος	Ελληνικός Όρος
Wireless Sensor Networks	Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων
Multi-hop routing	Δρομολόγησης πολλαπλών βημάτων
Sink	Κόμβος-πηγή
Quality of Service	Ποιότητα της υπηρεσίας
Region of Interest	Περιοχή ενδιαφέροντος
Nodes	Κόμβοι αισθητήρων
Ad hoc network	Δίκτυο κατ' απαίτηση
Self-organized	Αυτοοργανώμενοι
Self-healed	Αυτοθεραπευόμενοι
Multi-hop Communication	Επικοινωνία πολλαπλών αλμάτων
Single-hop Communication	Επικοινωνία μονού άλματος
Data centric	Προσανατολισμός στα δεδομένα
Address centric	Προσανατολισμός στη διεύθυνση
Broadcast	Ευρυεκπομπή
Hop by hop	Βήμα προς βήμα
Identification	Ταυτότητα
Duty cycle	Κύκλος καθκόντων
Cross layer	Διαστρωματικός σχεδιασμός
Sinks	Σταθμοί
Sink node	Κόμβος συλλέκτης ή σταθμός βάσης
Internet	Διαδίκτυο
Application layer	Επίπεδο εφαρμογών
Transport layer	Επίπεδο μεταφοράς
Network layer	Επίπεδο δικτύου
Data link layer	Επίπεδο σύνδεσης στοιχείων
Power management plane	Επίπεδο διαχείρισης ενέργειας
Mobility management plane	Επίπεδο διαχείρισης κινητικότητας
Task management plane	Επίπεδο διαχείρισης στόχων
MAC	Πρωτόκολλο πρόσβασης μέσου
Distributed Topology	Κατανεμημένη τοπολογία
Hierarchical Topology	Ιεραρχική τοπολογία
Clustered Topology	Τοπολογία συστάδας
Convergecast	Συγκλίνουσα εκπομπή
Multicast	Πολυεκπομπή
Unicast / Local gossip	Μονοεκπομπή
Gateway Node	Κόμβος πύλη
Sensing units	Αισθητήρες
Monile unit	Μονάδα κίνησης
Transducer	Μορφοτροπέας
Actuator	Ενεργοποιητής
Communication device	Συσκευή επικοινωνίας
Underwater sensors	Υποβρύχιοι αισθητήρες
Coverage	Κάλυψη
Deployment strategy	Στρατηγική ανάπτυξης
Sensing model	Μοντέλο ανίχνευσης
Sensing area	Περιοχή ανίχνευσης
Communication range	Εμβέλεια επικοινωνίας

Algorithm Characteristics	Χαρακτηριστικά αλγόριθμων
Boolean model	Boolean μοντέλο
Probabilistic model	Μοντέλο πιθανολογικής ανίχνευσης
Area coverage	Κάλυψη περιοχής
Point coverage	Κάλυψη σημείου
Barrier coverage	Κάλυψη φράγματος
Belt region	Ζώνη εδάφους
All time coverage	Συνεχής κάλυψη
Crossing path	Μονοπάτι διέλευσης
Weak barrier coverage	Ασθενής κάλυψη φράγματος
Time-stamped messages	Μηνύματα χρονοσήμανσης
Trilateration	Τριπλευρισμός
Maximal Breach Path	Μονοπάτι μέγιστης παραβίασης
Worst case coverage	Χειρότερη περίπτωση κάλυψης
Binary-Search	Διαδική αναζήτηση
Breadth-First-Search	Αναζήτηση-κατά-πλάτος
Maximal Support Path	Μέγιστο μονοπάτι υποστήριξης
Best-case-coverage	Βέλτιστη περίπτωση κάλυψης
Depth First Search	Αναζήτηση πρώτα σε βάθος
Bit	Διαδικό ψηφίο
Server	Εξυπηρετητής
Single-pair maximal breach	Μέγιστη παραβίαση μονού ζεύγους
All-pairs average maximal breach	Μέγιστη παραβίαση μέσου όρου όλων των ζευγών
Maximal breach measure	Μέτρηση της μέγιστης παραβίασης
Critical edge	Κρίσιμη ακμή
Centralized algorithm	Συγκεντρωτικός αλγόριθμος
Disjoint barriers	Ανεξάρτητα φράγματα
Strip segment	Τμήμα λωρίδας
Available disjoint barriers	Διαθέσιμα ξένα φράγματα
Potential	Δυνατότητα
Patrol times	Χρόνοι «περιπολίας»
Camera barrier	Φράγμα καμερών
Mobile Barrier Coverage	Κινητή κάλυψη φράγματος
Elastic Barrier Algorithm	Αλγόριθμος ελαστικού φράγματος
Learning automata	Αυτόματα εκμάθησης
Feedback	Ανάδραση
Scheduling algorithm	Αλγόριθμος χρονοπρογραμματισμού
True	Αληθής
Request Message	Μήνυμα αιτήματος
False	Ψευδής
The standard max-flow algorithm	Αλγόριθμος μέγιστης ροής
None crossing k-barrier coverage	Κάλυψη k-φραγμάτων καμίας διέλευσης
True location	Αυτή καθαυτή πραγματική θέση αισθητήρα
Mobile Barrier Deployment Algorithm	Αλγόριθμος ανάπτυξης κινητού φράγματος
Neighborhood information	Τοπικές πληροφορίες
Boundary seeking	Αναζήτηση του ορίου
Prey	Αναζήτηση λείας
Follow	Ακολουθήση
Swarm	Συνωστισμός

## ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

WSN	Wireless Sensor Networks
ΑΔΑ	Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων
TCP/IP	Transmission Control Protocol/ Internet Protocol
QoS	Quality of Service
RoI	Region of Interest
Kbps	Kilobit pes second
ID	Identification
MAC	Media Access Control
CPU	Central Processing Unit
RAM	Random Access Memory
ADC	Analog to Digital Converter
GPS	Global Positioning System
ROM	Read Only Memory
EEPROM	Electrically Erasable Programmable ROM
RF	Radio Frequency
DFS	Depth First Search
RIS	Randomized Independent Sleeping
LNRO	Line-based Normal Random Offset
MBC	Mobile Barrier Coverage
ELA	Elastic Barrier Algorithm
k-CLBCS	Constructing Local k-Barrier with Coordinated Sensors
LABC	Learning Automata Barrier Coverage
MBDA	Mobile Barrier Deployment Algorithm
AFSA	Artificial Fish Swarm Algorithm
ACO	Ant Colony Optimization algorithm

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Wireless sensor networks: a survey. *Computer Networks*, 2002.
- [2] Seapahn Meguerdichian, Farinaz Koushanfar, Miodrag Potkonjak, Mani B. Srivastava. Coverage Problems in Wireless Ad-hoc Sensor Networks. Computer Science Department/ Electrical Engineering Department, University of California, Los Angeles, 2003.
- [3] Mario A. Lopez, Dinesh P. Mehta, Lan Lin. Optimal Coverage Paths in Ad-hoc Sensor Networks. Dept of Computer Science, University of Denver, 2003.
- [4] Erdal Cayirci, Taieb Znati, Eylem Ekici. Sensor Network Protocols and Application. Egan Convention Center, Anchorage, Alaska. IEEE, 2003.
- [5] M. Ilyas, I. Mahgoub. Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing System, CRC Press, 2004.
- [6] Zhibo Wang. Barrier Coverage in Wireless Sensor Networks. University of Tennessee - Knoxville, 2005.
- [7] Santosh Kumar, Ten H. Lai, Anish Arora. Barrier Coverage With Wireless Sensors. *MobiCom*, 2005.
- [8] Anirvan Duttagupta, Arijit Bishnu, Indranil Sengupta, Vandstone. Optimisation Problems Based on the Maximal Breach Path Measure for Wireless Sensor Network Coverage. Department of Computer Science and Engineering Indian Institute of Technology, Kharagpur - 721302, India, 2006.
- [9] Seapahn Megerian, Farinaz Koushanfar, Miodrag Potkonjak, Mani B. Srivastava. Worst and Best-Case Coverage in Sensor Networks. IEEE, 2005.
- [10] Ai Chen, Santosh Kumar, Ten H. Lai. Designing Localized Algorithms for Barrier Coverage. *MobiCom'07*, 2007.
- [11] Anthony Man-Cho So, Yinyu Ye. On Solving Coverage Problems in a Wireless Sensor Network Using Voronoi Diagrams. Department of Computer Science, Stanford University, Stanford, CA 94305, USA, 2007.
- [12] J. Yick, B. Mukherjee, D. Ghosal. Wireless sensor network survey. *Computer Networks*, 2008.
- [13] Weifang Cheng, Mo Li, Kebin Liu, Yunhao Liu, Xiangyang Li, Xiangke Liao. Sweep Coverage with Mobile Sensors. 973 WSN Joint Lab, 2008.
- [14] Ai Chen, Ten H. Lai, Dong Xuan. Measuring and Guaranteeing Quality of Barrier-Coverage in Wireless Sensor Networks. Department of Computer Science and Engineering The Ohio State University Columbus, 2008.
- [15] Anirvan DuttaGupta, Arijit Bishnu, Indranil Sengupta. Maximal Breach in Wireless Sensor Networks. Geometric Characterization and Algorithms. Nucleodyne Systems Inc., CA 95014, USA, 2008.
- [16] Anirvan DuttaGupta, Arijit Bishnu, Indranil Sengupta. Maximal Breach and Support: Geometric Characterization and Algorithms. Nucleodyne Systems Inc., CA 95014, USA, 2008
- [17] Benyuan Liu, Olivier Dousse, Jie Wang, Anwar Saipulla. Strong Barrier Coverage of Wireless Sensor Networks. *MobiHoc'08*, May 26-30, 2008.
- [18] Amitabha Ghosh, Sajal K. Das. Coverage and connectivity issues in wireless sensor networks: A survey. University of Southern California, Los Angeles, CA 90007, United States, 2008.
- [19] Min Xi, Kui Wu, Yong Qi, Jizhong Zhao, Yunhao Liu, Mo Li. Run to Potential: Sweep Coverage in Wireless Sensor Networks. Department of Computer Science and Engineering, Hong Kong University of Science and Technology, 2009.
- [20] Anwar Saipulla, Cedric Westphal, Benyuan Liu, Jie Wang. Barrier Coverage of Line-Based Deployed Wireless Sensor Networks. Department of Computer Science, University of Massachusetts Lowell, MA 01854, USA, 2009.
- [21] Raymond Mulligan, Habib M. Ammari. Coverage in Wireless Sensor Networks: A Survey. Department of Computer Science, Hofstra University, USA, 2009.
- [22] Hung-Chi Chu, Wei-Kai Wang, Yong-Hsun Lai. Sweep Coverage Mechanism for Wireless Sensor Networks with Approximate Patrol Times. Department of Information and Communication Engineering, Chaoyang University of Technology, 2010.
- [23] Jun Chang, Jiang Yu, Juan Ke, Jingsong Hu. Simulation of Worst and Best-Case Coverage for Wireless Sensor Network. International Conference on Information, Networking and Automation (JCINA), 2010.
- [24] GaoJun Fan, ShiYao Jin. Coverage Problem in Wireless Sensor Network: A Survey. National University of Defense Technology, ChangSha, China, 2010.
- [25] Yi Wang, Guohong Cao. Barrier Coverage in Camera Sensor Networks. Department of Computer Science and Engineering, The Pennsylvania State University, University Park, PA, 16802, USA, 2011.
- [26] Bang Wang. Coverage Problems in Sensor Networks: A Survey. Huazhong University of Science and Technology, 2011.



- [27] Linghe Kong, Yanmin Zhu, Min-You Wu, Wei Shu. Mobile Barrier Coverage for Dynamic Objects in Wireless Sensor Networks. Shanghai Jiao Tong University, China, 2012.
- [28] Mihaela Cardei, Jie Wu. Coverage in Wireless Sensor Networks. Department of Computer Science and Engineering, Florida Atlantic University, Boca Raton, FL 33431, 2012.
- [29] Majid Masoudi Nezhad, Mohammad Kherandish, Mohammad Mosleh. A Novel Protocol for Barrier K-Coverage in Wireless Sensor Networks. Islamic Azad University, Dezfoul Branch, Dezfoul, Iran, 2012.
- [30] Sunil Kumar C A. Local Maximum Lifetime Algorithms for Strong Barrier Using Coordinated Sensors. International Journal of Emerging Science and Engineering (IJESE), 2013.
- [31] Sharifa Rania Mahmud, Marzia Sultana, Nazia Majadi. Coverage in Wireless Sensor Network Using Voronoi Diagram. Proc. of Int. Conf. on Advances in Information Technology and Mobile Communication, 2013.
- [32] Barun Gorain, Partha Sarathi Mandal. Point and Area Sweep Coverage in Wireless Sensor Networks. Department of Mathematics Indian Institute of Technology Guwahati, Guwahati-781039, India, 2013.
- [33] Habib Mostafaei, Mohammad Reza Meybodi. An Energy Efficient Barrier Coverage Algorithm for Wireless Sensor Networks. Springer Science and Business Media New York 2014, 2014.
- [34] Zhibo Wang. Barrier Coverage in Wireless Sensor Networks. University of Tennessee, Knoxville, 2014.
- [35] Zhibo Wang, Honglong Chen, Qing Cao, Hairong Qi, Zhi Wang. Fault Tolerant Barrier Coverage for Wireless Sensor Networks. Department of Control Science and Engineering, Zhejiang University, Hangzhou, P.R. China, 2014.
- [36] Jun Liu, Lianglun Cheng, Tao Wang, Jianhua Wang. Mobile Barrier Deployment in Wireless Sensor Networks. School of Automation, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006 China, 2014.
- [37] Habib Mostafei. Stochastic Barrier Coverage in Wireless Sensor Networks based on Distributed Learning Automata. Department of Computer Engineering, Urmia Branch, Islamic Azad University, Urmia, Iran, 2014.
- [38] Haiming Luo, Hongwei Du, Hejiao Huang, QiangYe, Jing Zhang. Barrier Coverage with Discrete Levels of Sensing and Transmission Power in Wireless Sensor Networks. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015.
- [39] Peng Huang, Feng Lin, Chang Liu, Jian Gao, Ji-liu Zhou, Vandstone. ACO-Based Sweep Coverage Scheme in Wireless Sensor Networks. College of Mechanical and Electrical Engineering, Sichuan Agricultural University, Yaan 625014, China, 2015.