



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΛΟΙΟΥ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ
ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

Ανάπτυξη μεθοδολογίας για την αναγνώριση επικίνδυνων καταστάσεων πλοίων μέσω τεχνητού ανοσοποιητικού συστήματος, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες ρίσκου για ατυχήματα προσάραξης

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Γεωργίου Π. Καλογριδάκη

Επιβλέπων : Νικόλαος Βεντικός

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2024

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, αναπτύχθηκε μια μέθοδος ανάλυσης και εκτίμησης της επικινδυνότητας καταστάσεων που μπορεί να οδηγήσει σε ατυχήματα προσάραξης, αναλύοντας τους παράγοντες ρίσκου και κάνοντας χρήση μιας μεθόδου εμπνευσμένη από μία λειτουργία του ανθρώπινου ανοσοποιητικού συστήματος. Τα βασικά πλεονεκτήματα της μεθόδου που καθιστούν την εφαρμογή ενδιαφέρουσα είναι ότι απαιτούνται δεδομένα μόνο ασφαλών καταστάσεων για τον εντοπισμό των επικίνδυνων και ότι αποφεύγεται η διαδικασία υπολογισμών πιθανοτήτων. Αρχικά, παρουσιάζεται μια ανάλυση των παραγόντων ρίσκου που μπορεί να συνεισφέρουν στην πρόκληση ατυχημάτων προσάραξης, ενώ παράλληλα χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα την επίδρασή τους. Στη συνέχεια, ακολουθεί μια σύντομη επεξήγηση της λειτουργίας του ανοσοποιητικού συστήματος του ανθρώπου και αργότερα αναφέρεται και επεξηγείται η μέθοδος που επιλέχθηκε αναφέροντας την προέλευσή της, τα χαρακτηριστικά της καθώς και ορισμένα παραδείγματα εφαρμογών. Συγκεκριμένα, η μέθοδος είναι εμπνευσμένη από τον μηχανισμό Negative Selection, ο οποίος ουσιαστικά σχετίζεται με την ικανότητα του ανθρώπινου οργανισμού να διαχωρίζει τα δικά του κύτταρα από τους ξένους εισβολείς. Η εφαρμογή βασίζεται στον παραλληλισμό των ασφαλών καταστάσεων του πλοίου με τα κύτταρα του ανθρώπου και των επικίνδυνων καταστάσεων με τους ξένους εισβολείς. Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε υπάγεται στην κατηγορία των Negative Selection Algorithms. Η διαδικασία περιλαμβάνει αρχικά την εισαγωγή των ασφαλών καταστάσεων (self) και έπειτα πραγματοποιείται η κατασκευή ανιχνευτών, που εντοπίζουν τις επικίνδυνες. Οι self καταστάσεις κατασκευάστηκαν με κατάλληλα κριτήρια, ενώ η μέθοδος εφαρμόστηκε ξεχωριστά για κάθε κατηγορία παραγόντων ρίσκου. Κατόπιν, αποδόθηκαν πληροφορίες στους ανιχνευτές ως προς τις καταστάσεις που εντοπίζουν. Τέλος, πραγματοποιείται μια εφαρμογή σε τέσσερις πραγματικές καταστάσεις λειτουργίας. Καταληκτικά, η μέθοδος φαίνεται να έχει ικανοποιητικά αποτελέσματα ως προς τα θέματα της ανίχνευσης μιας επικίνδυνης κατάστασης και της απόδοσης πληροφοριών γι' αυτήν, αλλά παράλληλα παρατηρείται ότι η μέθοδος παρουσιάζει διάφορες δυσκολίες ως προς την εφαρμογή οι οποίες απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή.

Abstract

In this diploma thesis, a method for analyzing and assessing the risk of situations that could lead to grounding accidents was developed, by analyzing risk factors and using a method inspired by a function of the human immune system. The main advantages of the method that make its application interesting are that only data from safe situations are required to identify dangerous ones and that the process of probability calculations is avoided. Initially, an analysis of the risk factors that may contribute to grounding accidents is presented, while they are also categorized according to their impact. Then, a brief explanation of the functioning of the human immune system follows, and later the chosen method is mentioned and explained, referring to its origin, characteristics, and some application examples. Specifically, the method is inspired by the Negative Selection mechanism, which is essentially related to the human body's ability to distinguish its own cells from foreign invaders. The application is based on the parallelism of the ship's safe situations with human cells and the dangerous situations with foreign invaders. The algorithm used falls under the category of Negative Selection Algorithms. The process initially involves the introduction of safe situations (self) and then the construction of detectors that identify the dangerous ones. The safe situations were constructed with appropriate criteria, while the method was applied separately for each category of risk factors. Subsequently, information was assigned to the detectors regarding the situations they identify. Finally, an application in four real operational situations is carried out. Conclusively, the method seems to have satisfactory results in terms of detecting a dangerous situation and providing information about it, but at the same time, it is observed that the method presents various difficulties in its application which require special attention.

Περιεχόμενα

Κατάλογος πινάκων.....	4
Κατάλογος σχημάτων.....	4
Κεφάλαιο 1.....	6
Κεφάλαιο 2.....	9
2.1 Ανθρώπινοι Παράγοντες.....	10
2.2 Χαρακτηριστικά του πλοίου.....	14
2.3 Χαρακτηριστικά της διαδρομής.....	16
2.4 Περιβαλλοντικοί παράγοντες και καιρικές συνθήκες.....	18
2.5 Λοιποί παράγοντες.....	22
Κεφάλαιο 3.....	22
3.1 Τεχνητό Ανοσοποιητικό Σύστημα.....	22
3.2 Βιολογικό Ανοσοποιητικό Σύστημα.....	23
3.2.1 Φυσικό ανοσοποιητικό σύστημα.....	23
3.2.2 Επίκτητο ανοσοποιητικό σύστημα.....	24
3.3 Κατηγορίες αλγορίθμων.....	27
3.3.1 Clonal Selection Principle / Algorithms.....	27
3.3.2 Immune Network Theory / Algorithms.....	28
3.3.3 Negative Selection Mechanism / Algorithms.....	28
3.4 Real-valued Negative Selection Algorithms with Variable-Sized Detectors.....	29
3.4.1 Real-valued Negative Selection Algorithms with Variable-Sized Detectors....	30
Κεφάλαιο 4.....	36
4.1 Συσχέτιση χαρακτηριστικών του αλγορίθμου με τον υπολογισμό του ρίσκου.....	36
4.2 Προβλήματα εφαρμοστικότητας αλγορίθμου.....	37
4.3 Μεθοδολογία.....	38
4.3.1 Κατασκευή παραλλαγής του αλγορίθμου RNSA.....	39
4.3.2 Προεργασίες κατασκευής των ασφαλών καταστάσεων (self).....	41
4.3.3 Προσδιορισμός της περιοχής self και κατασκευή ανιχνευτών.....	53
4.3.4 Πρόσδοση πληροφοριών στους ανιχνευτές.....	67
Κεφάλαιο 5.....	72
5.1 Ασφαλής κατάσταση λειτουργίας.....	73
5.2 Επικίνδυνη κατάσταση λειτουργίας 1.....	75
5.3 Επικίνδυνη κατάσταση λειτουργίας 2.....	79
5.4 Επικίνδυνη κατάσταση λειτουργίας 3.....	84
Κεφάλαιο 6.....	89
Παράρτημα Α.....	91

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1. Κλίμακα ανέμων και κυμάτων [14]	20
Πίνακας 2. Κατηγορίες Α,Β,Γ	45
Πίνακας 3. Παράμετροι πυκνότητας κυκλοφορίας	47
Πίνακας 4. Συνολικό επίπεδο δυσκολίας για τις παραμέτρους TCPA και CPA συνδυαστικά.	48
Πίνακας 5. Συνολικό επίπεδο ρίσκου για τον παράγοντα της πυκνότητας κυκλοφορίας.	48
Πίνακας 6. Κλίμακα ρίσκου για βοηθήματα πλοήγησης.....	48
Πίνακας 7. Κλίμακα ρίσκου πολυπλοκότητας διαδρομής.....	49
Πίνακας 8. Κατηγορίες Δ και Ε	50
Πίνακας 9. Παράμετροι, Κατηγορία Α.....	54
Πίνακας 10. Παράμετροι, Κατηγορία Β.....	56
Πίνακας 11. Παράμετροι, Κατηγορία Γ	59
Πίνακας 12. Παράμετροι, Κατηγορία Δ	61
Πίνακας 13. Παράμετροι, Κατηγορία Ε	64
Πίνακας 14. Χαρακτηριστικά επαγγελματία	72
Πίνακας 15. Ασφαλής κατάσταση λειτουργίας	73
Πίνακας 16. Επικίνδυνη κατάσταση λειτουργίας 1	75
Πίνακας 17. Αποτελέσματα επικίνδυνης κατάστασης 1	78
Πίνακας 18. Επικίνδυνη κατάσταση λειτουργίας 2.....	80
Πίνακας 19. Αποτελέσματα επικίνδυνης κατάστασης 2	82
Πίνακας 20. Επικίνδυνη κατάσταση λειτουργίας 3.....	85
Πίνακας 21. Αποτελέσματα επικίνδυνης κατάστασης 3	87
Πίνακας 22. Πίνακας Ρίσκου Κατηγορίας Α	91
Πίνακας 23. Πίνακας Ρίσκου Κατηγορίας Β	91
Πίνακας 24. Πίνακας Ρίσκου Κατηγορίας Γ	92
Πίνακας 25. Πίνακας Ρίσκου Κατηγορίας Δ	92
Πίνακας 26. Πίνακας Ρίσκου Κατηγορίας Ε	94

Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 1. Παράγοντες Ρίσκου.....	10
Σχήμα 2. Σύγκριση ανιχνευτών σταθερής ακτίνας και ανιχνευτών ποικίλου μεγέθους, [32].	33
Σχήμα 3. Τελικοί παράγοντες – Νέα ομαδοποίηση	42
Σχήμα 4. Κατηγορία Α, Εύρος ακτινών των ανιχνευτών	55
Σχήμα 5. Κατηγορία Α, Self + Detectors.....	56
Σχήμα 6. Κατηγορία Β, Αριθμός ανιχνευτών - Ακτίνα	57
Σχήμα 7. Κατηγορία Β, Εύρος ακτινών των ανιχνευτών	58
Σχήμα 8. Κατηγορία Β, Self + Detectors.....	58
Σχήμα 9. Κατηγορία Γ, Αριθμός ανιχνευτών & Ρυθμός ανίχνευσης - Ακτίνα	59
Σχήμα 10. Κατηγορία Γ, Εύρος ακτινών των ανιχνευτών	60
Σχήμα 11. Κατηγορία Γ, Self + Detectors.....	61
Σχήμα 12. Κατηγορία Δ, Αριθμός ανιχνευτών - Ακτίνα.....	62

Σχήμα 13. Κατηγορία Δ, Ρυθμός ανίχνευσης - Ακτίνα	63
Σχήμα 14. Κατηγορία Δ, Εύρος ακτινών των ανιχνευτών.....	63
Σχήμα 15. Κατηγορία Ε, Αριθμός ανιχνευτών – Ακτίνα.....	65
Σχήμα 16. Κατηγορία Ε, Ρυθμός ανίχνευσης Ρυθμός λανθασμένης ένδειξης κινδύνου - Ακτίνα	65
Σχήμα 17. Κατηγορία Ε, Εύρος ακτινών των ανιχνευτών	66
Σχήμα 18. Κατηγορία Ε, Self + Detectors.....	67
Σχήμα 19. Κατηγορία Α, Σοβαρότητα κινδύνου	69
Σχήμα 20. Κατηγορία Α, Ποσοστιαία κατανομή ανιχνευτών για την αιτία κινδύνου.....	70
Σχήμα 21. Αιτία κινδύνου, κατηγορία Α	71
Σχήμα 22. Κατηγορία Γ, Ποσοστιαία κατανομή ανιχνευτών για την αιτία κινδύνου	72
Σχήμα 23. Ασφαλές σημείο λειτουργίας, κατηγορία Α.....	74
Σχήμα 24. Επικίνδυνο σημείο λειτουργίας 1, κατηγορία Α	79
Σχήμα 25. Επικίνδυνο σημείο λειτουργίας 2, κατηγορία Γ.....	84
Σχήμα 26. Επικίνδυνο σημείο λειτουργίας 3, κατηγορία Α	88

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια το ζήτημα της ελάττωσης των ατυχημάτων στα πλοία έχει απασχολήσει ιδιαίτερα τον κλάδο της ναυπηγικής. Ένας κλασικός τρόπος αντιμετώπισης του προβλήματος είναι να γίνεται πρόληψη των ατυχημάτων και των συνθηκών δημιουργίας τους. Η βασική ιδέα είναι η ανίχνευση και αξιολόγηση του κινδύνου εκ των προτέρων προκειμένου να πραγματοποιηθούν οι αντίστοιχες ενέργειες αντιμετώπισής του. Η έγκαιρη επίγνωση μιας επικίνδυνης κατάστασης καθιστά πιο εύκολη την αντιμετώπισή της. Στο πλαίσιο αυτό, έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές – μοντέλα οι οποίες αναλύουν τους πιθανούς κινδύνους, αξιολογούν τις καταστάσεις λειτουργίας και τελικά προειδοποιούν για την επικινδυνότητα μιας κατάστασης.

Η πιο διαδεδομένη μέθοδος εκτίμησης του επιπέδου ασφαλείας ενός φυσικού, μηχανικού, οικονομικού ή οποιουδήποτε άλλου συστήματος είναι η ανάλυση διακινδύνευσης (risk analysis), [1]. Σε μία τέτοια ανάλυση συνυπολογίζονται μία σειρά από δεδομένα και στο τέλος γίνεται μια προσπάθεια ποσοτικοποίησης του ρίσκου, ή τουλάχιστον ένας ποιοτικός προσδιορισμός, ώστε να γίνεται αντιληπτός ο βαθμός του κινδύνου που υπάρχει σε ένα σύστημα ή μια κατάσταση. Τα δεδομένα που λαμβάνονται υπόψη είναι διάφοροι παράγοντες, οι λεγόμενοι παράγοντες ρίσκου (risk factors), οι οποίοι επηρεάζουν το σύστημα σημαντικά και συνεπώς μπορεί να είναι υπεύθυνοι στην πραγματοποίηση ή μη ενός ατύχηματος, [2].

Ο επικρατέστερος τρόπος υπολογισμού του ρίσκου συνδέεται με τον υπολογισμό δύο παραμέτρων, [1]:

1. Την πιθανότητα να συμβεί ένα ατύχημα
2. Την επικινδυνότητα που θα έχει το ατύχημα

Η πρώτη αφορά την εξέταση των ανεπιθύμητων συμβάντων η εκδήλωση των οποίων θα έθετε σε κίνδυνο το εξεταζόμενο σύστημα, του τρόπου με τον οποίο είναι δυνατόν να προκύψουν τέτοια συμβάντα μέσα στο πλαίσιο λειτουργίας του συστήματος και τελικά τον υπολογισμό της πιθανότητας να πραγματοποιηθούν. Η δεύτερη αφορά τις συνέπειες που μπορεί να παράγει το εκάστοτε συμβάν, οι οποίες μπορεί να σχετίζονται με, [1]:

1. Τον τραυματισμό ή την απώλεια ανθρώπινων ζώων

2. Την απώλεια εισοδήματος λόγω διακοπής της παραγωγικής διαδικασίας ή λόγω επισκευών που θα υποστεί το πλοίο
3. Τη ρύπανση του περιβάλλοντος

Για παράδειγμα, οι Mazaheri et al. [3] κατασκεύασαν ένα μοντέλο στο οποίο πραγματοποίησαν μία εκτίμηση του ρίσκου των ατυχημάτων προσάραξης εκτιμώντας αρχικά την πιθανότητα να συμβεί το οτιδήποτε που μπορεί να οδηγήσει σε ατύχημα και μετέπειτα αξιολόγησαν τις συνέπειες. Ωστόσο, ο παραδοσιακός τρόπος εκτίμησης του ρίσκου είναι ο υπολογισμός τους γινομένου των δύο παραμέτρων, [1].

Στη συγκεκριμένη εργασία αναπτύχθηκε μια εναλλακτική προσέγγιση για την εκτίμηση της επικινδυνότητας των καταστάσεων λειτουργίας λαμβάνοντας υπόψη τους παράγοντες ρίσκου και χρησιμοποιώντας μια μέθοδο εμπνευσμένη από μία λειτουργία του ανθρώπινου ανοσοποιητικού συστήματος. Η βασική ιδέα σχετίζεται με την ανίχνευση των επικίνδυνων καταστάσεων έχοντας δεδομένες μόνο ασφαλείς καταστάσεις λειτουργίας. Τα βασικά πλεονεκτήματα της μεθόδου σχετίζονται με το γεγονός ότι δεν απαιτούνται υπολογισμοί πιθανοτήτων μέσω στατιστικών στοιχείων ούτε εκτιμήσεις επικινδυνότητας μέσω σεναρίων για το τι μπορεί να συμβεί μετά το ατύχημα, αλλά χρησιμοποιούνται μόνο οι παράγοντες ρίσκου που περιγράφουν την κατάσταση λειτουργίας.

Η εν προκειμένω προσέγγιση έχει χρησιμοποιηθεί σε διάφορους κλάδους με στόχο τη πρόληψη ατυχημάτων και τον έγκαιρο εντοπισμό κινδύνων. Για παράδειγμα, το πιο σύνηθες πεδίο εφαρμογών είναι τα υπολογιστικά δίκτυα για την ανίχνευση ιών. Ωστόσο, υπάρχουν και άλλες ενδιαφέρουσες εφαρμογές, όπως των Dasgupta et al. [4] οι οποίοι ασχολήθηκαν με τον εντοπισμό ανωμαλιών σε αεροπορικά συστήματα ή του Corne [5] ο οποίος ασχολήθηκε με την ανίχνευση κινδύνων σε συστήματα ψύξης. Τέλος, οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν στα παραπάνω παραδείγματα αλλά και στην εργασία υπάγονται στην κατηγορία των Negative Selection Algorithms, η οποία πρόκειται για ειδική κατηγορία αλγορίθμων που ειδικεύεται για περιπτώσεις ανίχνευσης ανωμαλιών σε διάφορα συστήματα.

Δομή της εργασίας

Η διάρθρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας έχει ως εξής:

- Στο **Κεφάλαιο 2** πραγματοποιείται μία βιβλιογραφική περιγραφή και ανάλυση των παραγόντων ρίσκου που σχετίζονται με τα ατυχήματα προσάραξης.
- Στο **Κεφάλαιο 3** περιγράφεται η προέλευση και η λογική των τεχνητών ανοσοποιητικών συστημάτων και επεξηγούνται οι αντίστοιχοι αλγόριθμοι που τα απαρτίζουν, με έμφαση στον αλγόριθμο που χρησιμοποιήθηκε.
- Στο **Κεφάλαιο 4** ορίζονται οι παράγοντες και παράμετροι του προβλήματος, πραγματοποιείται η επεξεργασία και εισαγωγή των δεδομένων ασφαλών καταστάσεων λειτουργίας και κατασκευάζεται το ζητούμενο σύνολο των ανιχνευτών.
- Στο **Κεφάλαιο 5** γίνεται εφαρμογή του αλγορίθμου σε πραγματικές καταστάσεις και εξετάζονται τα αποτελέσματα.
- Στο **Κεφάλαιο 6** αναγράφονται τα συμπεράσματα της μελέτης, γίνεται μια σύνοψη ορισμένων μειονεκτημάτων και πλεονεκτημάτων της μεθόδου και αναφέρονται ορισμένες ιδέες για μελλοντική χρήση.

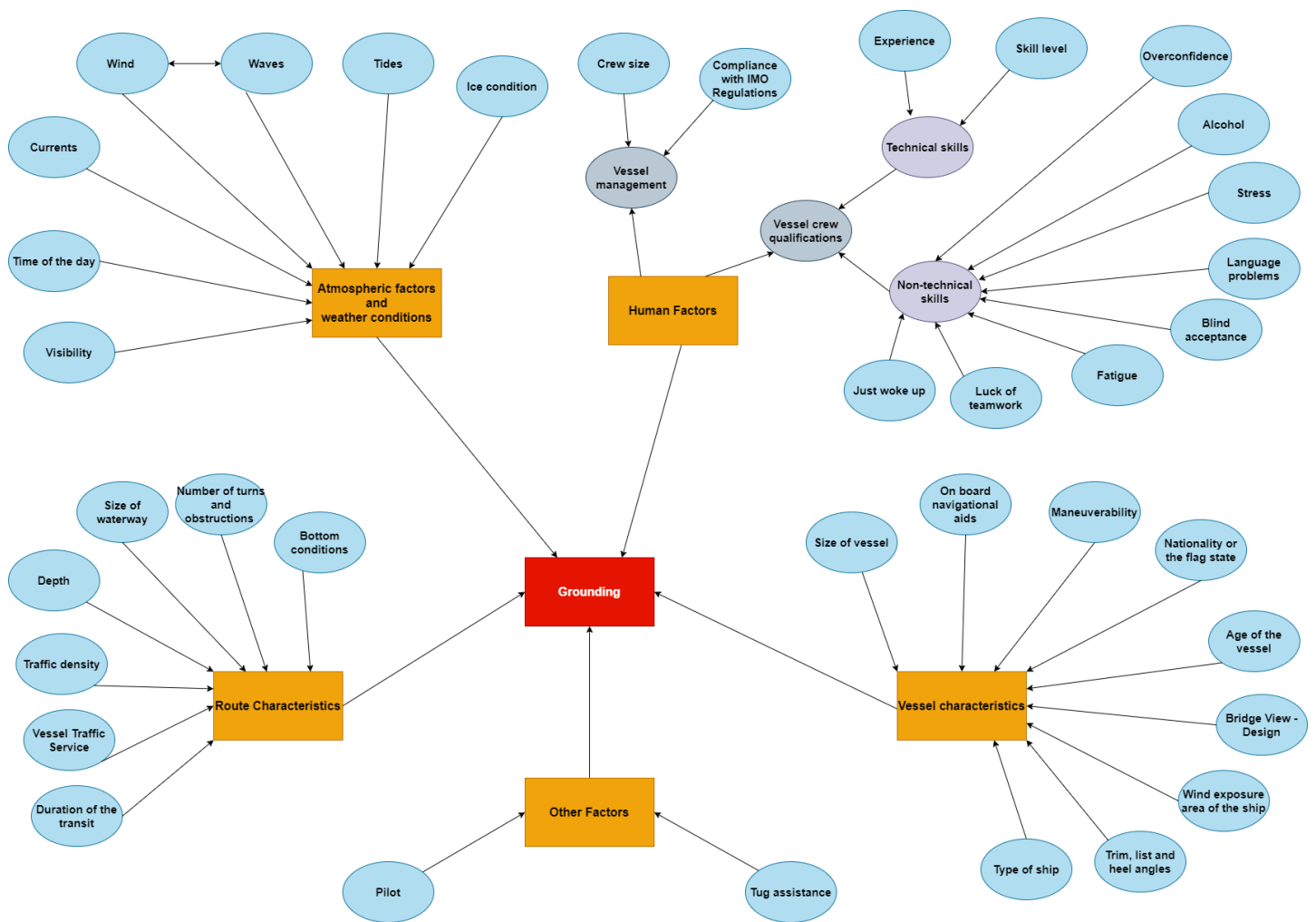
Κεφάλαιο 2

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα στο κεφάλαιο 1, η συνολική διακινδύνευση μιας κατάστασης ως προς τη προσάραξη (grounding) υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη την πιθανότητα να γίνει το ατύχημα και τις συνέπειες που θα έχει. Υπάρχουν διάφοροι εσωτερικοί και εξωτερικοί παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τόσο τη πιθανότητα όσο και την επικινδυνότητα. Οι εσωτερικοί παράγοντες σχετίζονται με το πλοίο και τα χαρακτηριστικά του ενώ οι εξωτερικοί αφορούν κυρίως περιβαλλοντικούς παράγοντες ή σχετίζονται με την διαδρομή που το πλοίο ακολουθεί.

Για την καλύτερη ανάλυση των παραγόντων χρησιμοποιήθηκε η δομή των [2], [6]. Τελικά, χωρίστηκαν στις εξής 5 μεγάλες κατηγορίες:

- Ανθρώπινοι παράγοντες
- Χαρακτηριστικά του πλοίου
- Χαρακτηριστικά της θαλάσσιας διαδρομής
- Ατμοσφαιρικοί παράγοντες και συνθήκες καιρού
- Λοιποί παράγοντες

Στο σχήμα 1 απεικονίζονται συνολικά όλοι οι παράγοντες ρίσκου με τις κατηγορίες τους, ενώ κάθε κατηγορία θα εξεταστεί λεπτομερώς παρακάτω.



Σχήμα 1. Παράγοντες Ρίσκου

2.1 Ανθρώπινοι Παράγοντες

Ανθρώπινοι παράγοντες είναι όλοι οι παράγοντες που συνδέονται με τον άνθρωπο και τις αλληλεπιδράσεις του με το πλοίο. Αφορά είτε τους ανθρώπους που βρίσκονται πάνω στο πλοίο κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού, δηλαδή το πλήρωμα, είτε τους ανθρώπους που είναι υπεύθυνοι γενικά για την διαχείριση της ασφάλειας του πλοίου. Οι ανθρώπινοι παράγοντες μπορεί να οδηγήσουν σε ανθρώπινο λάθος το οποίο κατ' επέκταση μπορεί να οδηγήσει στο ατύχημα, την προσάραξη του πλοίου.

Οι ανθρώπινοι παράγοντες θεωρούνται από τους πιο σημαντικούς παράγοντες ρίσκου για την ασφάλεια στη ναυτιλία. Από στατιστικές μελέτες έχει παρατηρηθεί ότι υπαίτιοι ενός μεγάλου ποσοστού των ατυχημάτων στη ναυτιλία (περίπου 80%) είναι ανθρώπινοι παράγοντες, [7]. Ωστόσο, ένα βασικό πρόβλημα αυτών των παραγόντων

είναι ότι είναι απρόβλεπτοι σε μεγάλο βαθμό. Κατά συνέπεια, η μοντελοποίηση και η πρόβλεψή τους είναι εξαιρετικά δύσκολη.

Σε πρώτη φάση, οι ανθρώπινοι παράγοντες θα μπορούσαν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες:

- Οι παράγοντες που σχετίζονται με τις δεξιότητες του πληρώματος του πλοίου (Vessel crew qualifications)
- Οι παράγοντες που σχετίζονται με τους ανθρώπους που είναι υπεύθυνοι για τη διαχείριση και τη συνολική οργάνωση των ζητημάτων του πλοίου. (Vessel management)

Vessel crew qualifications

Στη συγκεκριμένη υποκατηγορία περιλαμβάνονται όλοι οι παράγοντες που αφορούν τις δεξιότητες του πληρώματος οι οποίες μπορούν να χωριστούν σε τεχνικές και μη – τεχνικές, [8].

Τεχνικές Δεξιότητες

1. Εμπειρία

Κάποιος που έχει περισσότερη εμπειρία σε μία θέση έχει κληθεί να αντιμετωπίσει πολλές και διαφορετικές καταστάσεις και συνεπώς γνωρίζει πώς να ανταποκριθεί σε μια ενδεχόμενη επικίνδυνη κατάσταση καλύτερα από κάποιον νεοσύλλεκτο. Τα χρόνια εμπειρίας λοιπόν μπορεί να προσφέρουν ψυχραιμία, αυτοπεποίθηση, σιγουριά και εν τέλει μια σωστή απόφαση εν όψει ενός κινδύνου.

2. Επίπεδο ικανοτήτων

Αφορά την εκπαίδευση των μελών του πληρώματος. Είναι προφανές ότι η αύξηση της ποιότητας / του επιπέδου και της διάρκειας της εκπαίδευσης θα βελτιώσει την απόδοση του πληρώματος. Δεν είναι τυχαίο ότι υπάρχουν διάφοροι σχετικοί κανονισμοί του IMO. Για παράδειγμα, τα μέλη του πληρώματος πρέπει να είναι εξοικειωμένοι με τα ηλεκτρονικά συστήματα που υπάρχουν στην γέφυρα, βοηθήματα πλοήγησης, καθώς η σωστή χρήση τους αυξάνει σημαντικά την ασφάλεια κατά τη πλοήγηση.

Μη – Τεχνικές Δεξιότητες

Οι μη τεχνικές δεξιότητες μπορούν να χωριστούν σε 3 υποκατηγορίες, στις νοητικές, τις κοινωνικές και τους ανθρώπινους περιορισμούς, [8]. Οι νοητικές συνδέονται προφανώς με τη νοητική κατάσταση του πληρώματος, την λήψη αποφάσεων και την σωστή αντίληψη των καταστάσεων. Οι κοινωνικές αφορούν την επικοινωνία, την ομαδικότητα και την ηγεσία και οι ανθρώπινοι περιορισμοί αφορούν την σωματική και ψυχολογική κατάσταση του πληρώματος. Ξεκινώντας από τους τελευταίους αναλύονται ως εξής:

1. Υπερβολική κόπωση

Μπορεί να προκληθεί από υπερωρίες εργασίας, δυσκολία ύπνου λόγω των κινήσεων του πλοίου και λόγω του άγχους.

2. Υπερβολικό άγχος / στρες

Επηρεάζει σημαντικά την απόδοση του πληρώματος. Μπορεί να προκαλέσει απώλεια συγκέντρωσης, κόπωση και τελικά κάποιο ανθρώπινο λάθος.

Συνεχίζοντας με την υποκατηγορία των νοητικών έχουμε τους εξής παράγοντες:

1. Υπερβολική κατανάλωση αλκοόλ

Η κατανάλωση αλκοόλ οδηγεί στην επιβράδυνση της εγκεφαλικής λειτουργίας. Κατά συνέπεια, μπορεί να υπάρξει λανθασμένη κρίση σε μείζονα ζητήματα εν ώρα καθήκοντος και να μην πραγματοποιηθεί κατάλληλη αντιμετώπιση των προβλημάτων. Έχουν συμβεί διάφορα ατυχήματα τα οποία έχουν αποδοθεί στην κατανάλωση αλκοόλ. Ένα παράδειγμα είναι το ατύχημα του containership K-Wave το 2011 [9].

2. Τυφλή αποδοχή οδηγιών

Πολλές φορές ο καπετάνιος ή ο οποιοσδήποτε υπεύθυνος στη γέφυρα ακολουθεί πιστά τις οδηγίες/πληροφορίες που του δίνονται χωρίς να τις αξιολογεί. Αυτό συμβαίνει όταν για παράδειγμα υπάρχει πιλότος στη γέφυρα και βοηθάει στη λήψη αποφάσεων. Η τυφλή αποδοχή και εκτέλεση των οποιονδήποτε εντολών δεν συνίσταται. Αντιθέτως, πρέπει να υπάρχει έλεγχος και αξιολόγηση των υπεύθυνων του πληρώματος. Επιπλέον, οι διάφορες πληροφορίες που δίνονται από τα βοηθήματα πλοήγησης πρέπει να αξιολογούνται.

3. Υπερβολική σιγουριά και μη τήρηση των κανονισμών

Αν και σπάνια περίπτωση θα πρέπει να συνυπολογιστεί καθώς πολλές φορές η υπερβολική σιγουριά μπορεί να οδηγήσει σε υποτίμηση της επικινδυνότητας μιας κατάστασης και να προκύψει κάποιο ατύχημα.

4. Λάθη μετά το ξύπνημα

Συχνά, είναι δύσκολο να παρθεί μια κρίσιμη απόφαση αμέσως μετά τον ύπνο, [2].

Κλείνοντας με τους κοινωνικούς παράγοντες έχουμε:

1. Προβλήματα επικοινωνίας λόγω ομιλίας διαφορετικών γλωσσών

Συμβαίνει όταν η καταγωγή των μελών του πληρώματος ποικίλει. Εάν τα άτομα έχουν διαφορετική μητρική γλώσσα ενδεχομένως να υπάρχει δυσκολία στην επικοινωνία και τη συνεννόηση. Μπορεί να συμβεί είτε μεταξύ των μελών του πληρώματος μεταξύ τους είτε μεταξύ του πληρώματος και του πιλότου. Ο συγκεκριμένος παράγοντας θα μπορούσε να κατηγοριοποιηθεί στους παράγοντες οργάνωσης και διαχείρισης των οποίων υπεύθυνη είναι η πλοιοκτήτρια εταιρεία.

2. Έλλειψη συνεννόησης, συνεργασίας και ομαδικότητας

Προφανώς πρέπει να υπάρχει αρμονική συνεργασία μεταξύ των μελών του πληρώματος χωρίς εντάσεις.

Vessel management

1. Συμμόρφωση με τους κανονισμούς του IMO

Η εταιρεία που είναι υπεύθυνη για το πλοίο οφείλει να ακολουθεί πιστά τους κανονισμούς του IMO όχι μόνο για τα τεχνικά ζητήματα που αφορούν για παράδειγμα την αντοχή και φόρτωση του πλοίου αλλά και για τα θέματα οργάνωσης. Ο κώδικας που αναφέρεται σε τέτοια ζητήματα και πρέπει να ακολουθείται ονομάζεται ISM Code (International Safety Management Code).

2. Απαιτούμενος αριθμός πληρώματος και υπερφόρτωση εργασιών

Αν και καθορίζεται πλήρως από τους κανονισμούς του IMO αξίζει μια ξεχωριστή αναφορά. Πρέπει να καθορίζονται σωστά οι αρμοδιότητες του πληρώματος έχοντας παράλληλα έναν ικανοποιητικό αριθμό εργαζομένων για να μην υπάρχουν προβλήματα υπερφόρτωσης εργασίας. Για παράδειγμα, η ενασχόληση με άλλες δουλειές μπορεί να αποσπάσουν την προσοχή ενός watch – keeper από έναν ενδεχόμενο κίνδυνο.

2.2 Χαρακτηριστικά του πλοίου

Σε αυτή τη κατηγορία περιλαμβάνονται όλοι οι παράγοντες που είναι άμεσα σχετιζόμενοι με το πλοίο. Ορισμένοι από τους πιο σημαντικούς συνοψίζονται παρακάτω:

1. Μέγεθος του πλοίου και διαστάσεις

Ο ισχυρισμός ότι το μέγεθος του πλοίου επηρεάζει το ρίσκο προσάραξης δεν είναι αποδεδειγμένος, ενώ διάφορες μελέτες παρουσιάζουν αντικρουόμενα αποτελέσματα ([2], [10]). Ωστόσο, είναι γνωστό ότι η ικανότητα του πλοίου για ελιγμούς εξαρτάται από το βύθισμα του πλοίου. Για παράδειγμα εάν ένα πλοίο έχει μεγάλο βύθισμα τότε σε ρηγά νερά θα υπάρχουν πολλές δυσκολίες κατά τη διαδικασία των ελιγμών. Επιπλέον, όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος του πλοίου τόσο μεγαλύτερη απόσταση χρειάζεται να διανύσει προκειμένου να στρίψει και να επιτύχει μία αποφυγή. Συνεπώς, με βάση αυτούς τους ισχυρισμούς θα μπορούσε κανείς να υποστηρίξει ότι τα μεγαλύτερα πλοία είναι πιο επιρρεπή σε ατυχήματα προσάραξης.

Παρ' όλ' αυτά στη στατιστική μελέτη [10], διαπιστώθηκε ότι τα μικρότερα πλοία αντιμετωπίζουν μεγαλύτερα προβλήματα ως προς τα ατυχήματα προσάραξης σε σχέση με τα μεγαλύτερα. Αυτό αιτιολογήθηκε από το γεγονός ότι τα μικρότερα πλοία πλέουν συχνότερα κοντά σε λιμάνια και ακτές από ότι τα μεγαλύτερα, περιοχές που η πιθανότητα να συμβεί προσάραξη είναι μεγαλύτερη. Επίσης, ένας άλλος λόγος είναι ότι τα μεγάλα πλοία έχουν συνήθως βοηθήματα πλοήγησης υψηλής τεχνολογίας με αποτέλεσμα να έχουν καλύτερο έλεγχο και μεγαλύτερη ασφάλεια.

Εν κατακλείδι, δεν είναι σίγουρο ποια είναι η ακριβής επιρροή του μεγέθους του πλοίου και των διαστάσεών του στο ρίσκο προσάραξης. Φαίνεται όμως να υπάρχει μια συσχέτιση τόσο με το ίδιο το ρίσκο όσο και με άλλους παράγοντες ρίσκου.

2. Ικανότητα ελιγμών (Maneuverability)

Ο συγκεκριμένος παράγοντας σχετίζεται κυρίως με την ενδεχόμενη αποφυγή ενός κινδύνου. Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα υπάρχει αναμφισβήτητα μία εξάρτηση από τις διαστάσεις του πλοίου (κυρίως με το βύθισμα) αλλά και από το βάθος της θάλασσας.

3. Τύπος του πλοίου

Σύμφωνα με τη στατιστική μελέτη [10], η οποία πραγματοποιήθηκε σε βάση ατυχημάτων Ελληνικών πλοίων, τα πλοία που εμπλέκονται περισσότερο σε ατυχήματα προσάραξης είναι τα πλοία ξηρού φορτίου.

4. Διαγωγή και εγκάρσια κλίση

Παράγοντας που συνδέεται με την ευστάθεια του πλοίου. Μεγάλες εγκάρσιες ή διαμήκεις κλίσεις μπορεί να οδηγήσουν στην απώλεια του πλήρη ελέγχου του πλοίου και μετέπειτα σε κάποιο ατύχημα.

5. Περιοχή έκθεσης στον άνεμο

Οι δυνάμεις των ανέμων μεγαλώνουν όσο μεγαλώνει η επιφάνεια του πλοίου ή μέρους του πλοίου που βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Πρόκειται για τον λόγο για τον οποίο τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων αντιμετωπίζουν προβλήματα σε υψηλούς ανέμους.

6. Σημαία του πλοίου

Οι σημαίες ανάλογα με την επίδοση – αποδοτικότητά τους (flag performance) χωρίζονται σε black, grey ή white σημαίες, [11]. Αν διαπιστωθεί ότι τα πλοία που φέρουν μια σημαία εμπλέκονται συχνά σε ατυχήματα τότε η σημαία αυτή θα χαρακτηριστεί ως «μαύρη» και αυτό θα υποδηλώνει ότι αν και εφόσον ένα πλοίο φέρει αυτή τη σημαία τότε το ρίσκο για κάποιο ατύχημα αυξάνεται. Ο συγκεκριμένος παράγοντας μπορεί να θεωρηθεί και ανθρώπινος παράγοντας, [6].

7. Ηλικία του πλοίου

Σύμφωνα με τη στατιστική μελέτη [10], τα μεγαλύτερα σε ηλικία πλοία υποφέρουν περισσότερο από ατυχήματα προσάραξης. Ο λόγος για τον οποίο συμβαίνει αυτό είναι ίσως γιατί τα νεότερα πλοία έχουν υψηλότερης τεχνολογίας βοηθήματα πλοήγησης ή ότι είναι πιο αξιόπιστα μηχανολογικά.

8. Βοηθήματα πλοήγησης

Τα βοηθήματα πλοήγησης συμβάλλουν σημαντικά στην ασφαλή πλοήγηση. Οι πληροφορίες που λαμβάνουν οι άνθρωποι που βρίσκονται στη γέφυρα του πλοίου ποικίλουν. Αρχικά, παρέχονται πληροφορίες για τη γεωμετρία του βυθού γύρω από το πλοίο μέσω των ηλεκτρονικών χαρτών ECDIS και των ναυτικών χαρτών. Επιπλέον, παρέχονται πληροφορίες σχετικά με το βάθος του νερού που είναι πολύ σημαντικό στοιχείο για τα ατυχήματα προσάραξης. Επίσης, παρέχονται πληροφορίες μέσω του GPS και του Radar σχετικά με την ακριβή θέση του πλοίου στη θάλασσα αλλά και των υπολοίπων

τριγύρω. Είναι ένας από τους βασικούς παράγοντες που βοηθάει στη πρόληψη των ατυχημάτων καθώς συνεισφέρει στην έγκαιρη ανίχνευση του κινδύνου.

9. Σχεδίαση γέφυρας

Η σχεδίαση της γέφυρας έχει καθοριστική σημασία καθώς μια καλή σχεδίαση μπορεί να οδηγήσει στην έγκαιρη ανίχνευση ενός κινδύνου. Οι κανονισμοί γύρω από τη σχεδίαση της γέφυρας με στόχο την διευκόλυνση του καπετάνιου και την βελτίωση της ορατότητας του είναι πολυάριθμοι [12]. Αρχικά, απαιτείται η θέση του καπετάνιου να βρίσκεται κοντά στο κεντρικό παράθυρο έτσι ώστε να έχει πλήρη εικόνα της διαδρομής πλεύσης και να του παρέχονται όλες οι απαραίτητες πληροφορίες για να μπορέσει να εξασφαλίσει ένα ασφαλές ταξίδι σε κατάλληλη ταχύτητα σε οποιαδήποτε περιοχή βρίσκεται. Επιπλέον, πρέπει να υπάρχει άμεση πρόσβαση στις λειτουργικές διαδικασίες που σχετίζονται με την ώθηση του πλοίου, τους ελιγμούς, την πηδαλιουχία και την έλικα (πρακτικά από την ίδια θέση ο καπετάνιος να είναι σε θέση να εκτελεί αυτά τα καθήκοντα). Σε περίπτωση που υπάρχουν εμπόδια, όπως κατάρτια ή γερανοί που ελαττώνουν την ορατότητα θα πρέπει να υπάρχουν 2 θέσεις (conning positions) που να παρέχουν πλήρη εικόνα μπροστά, η μία στη δεξιά πλευρά και η άλλη στη πλευρά του λιμανιού. Οι θέσεις αυτές πρέπει να βρίσκονται σχετικά κοντά μεταξύ τους. Επίσης, ο καπετάνιος πρέπει να έχει άμεση πρόσβαση στα βοηθήματα πλοήγησης για να λαμβάνει τις πληροφορίες που χρειάζεται οποτεδήποτε κρίνει ότι είναι απαραίτητες. Ακολούθως, ο επιβλέπων πρέπει να έχει πεδίο ορατότητας 360 μοιρών όταν βρίσκεται εντός της γέφυρας. Σε περίπτωση που αυτό δεν είναι εφικτό πρέπει στα σημεία που δεν υπάρχει ορατότητα να υπάρχουν κάμερες ή αισθητήρες. Τέλος, υπάρχουν διάφορες προτάσεις για τις διαστάσεις των παραθύρων.

2.3 Χαρακτηριστικά της διαδρομής

Είναι προφανές ότι ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά της διαδρομής είναι η απόσταση της περιοχής πλεύσης από την ακτή. Ανάλογα με αυτήν γίνεται ένας διαχωρισμός σε 5 κατηγορίες, [2], οι οποίες είναι οι εξής:

- **Open Sea:** Αφορά τη πλεύση μακριά από ακτές.
- **Offshore:** Αφορά τη πλεύση σε απόσταση 100 – 300 nm από την ακτή.
- **Coastal:** Αφορά τη πλεύση σε απόσταση 20 – 30 nm από την ακτή.

- **Inner Coastal / Inshore:** Αφορά τη πλευση μέχρι 12 nm από την ακτή.
- **Port / Enclosed:** Αφορά τη πλευση σε λιμάνια, κόλπους και ποτάμια.

Ωστόσο, κάθε περιοχή έχει διάφορα χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την διακινδύνευση. Τα πιο σημαντικά από αυτά, που θεωρούνται ως παράγοντες ρίσκου, είναι τα παρακάτω.

1. Μέγεθος της θαλάσσιας διαδρομής (μήκος, πλάτος)

Το μέγεθος της διαδρομής σχετίζεται άμεσα με την απόσταση από την ακτή. Είναι προφανές ότι όσο πιο στενή είναι μια θαλάσσια διαδρομή (πλάτος) λόγω ύπαρξης ακτής κοντά στο πλοίο τόσο πιο πιθανό είναι να γίνει μια προσάραξη. Το μήκος σχετίζεται με το πόσο μεγάλη είναι η διαδρομή με άμεση συνέπεια τη μεγαλύτερη χρονική διάρκεια του πλοίου σε κίνδυνο.

2. Βάθος του νερού

Το βάθος του νερού έχει μεγάλη σημασία, καθώς σε περίπτωση που πραγματοποιείται πλευση σε ρηγά νερά υπάρχει μεγάλος κίνδυνος για προσάραξη. Οι πληροφορίες σχετικά με το βάθος του νερού δίνονται συνήθως στους ναυτικούς χάρτες. Ωστόσο πολύ συχνά υπάρχουν αβεβαιότητες και είναι πιθανό να συμβούν ατυχήματα προσαράξεων λόγω αυτού.

3. Σύνθεση, συνοχή και κλίση του βυθού

Προσάραξη συμβαίνει όταν ο πυθμένας του πλοίου χτυπάει τον βυθό της θάλασσας. Συνεπώς, η μορφολογία του βυθού έχει σημασία καθώς μπορεί να ευνοεί ή όχι το ατύχημα. Επιπλέον, η σύνθεση του βυθού έχει καθοριστική σημασία καθώς θα επηρεάσει την επικινδυνότητα του ατυχήματος.

4. Υποχρεωτικές αλλαγές διαδρομής - Εμπόδια

Εδώ περιλαμβάνονται όλοι οι λόγοι για τους οποίους το πλοίο αναγκάζεται να κάνει ελιγμούς λόγω της ιδιομορφίας την εκάστοτε διαδρομής. Για παράδειγμα, όσο μεγαλύτερος είναι ο απαιτούμενος αριθμός των στροφών σε μία διαδρομή τόσο πιο περίπλοκη την κάνει. Επίσης, το ίδιο συμβαίνει και με τον αριθμό των εμποδίων. Φυσικά, όσο πιο κοντά στην ακτή πλέει ένα πλοίο (ισθμούς, διώρυγες, ποτάμια), τόσο πιο πιθανό είναι να συναντήσει εμπόδια και να χρειαστεί να κάνει ελιγμούς.

5. Διάρκεια διαδρομής

Όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια μιας διαδρομής, ή αλλιώς όσο περισσότερη χρονική διάρκεια το πλοίο είναι εκτεθειμένο σε κινδύνους τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα για κάποιο ατύχημα. Σημειώνεται ότι το μήκος της διαδρομής και η διάρκεια σχετίζονται άμεσα αλλά δεν ταυτίζονται ως παράγοντες. Μια διαδρομή μπορεί να έχει μεγάλη διάρκεια χωρίς απαραίτητα να είναι εκτενής, όπως όταν απαιτούνται ελιγμοί ή υπάρχουν καθυστερήσεις.

6. Πυκνότητα κυκλοφορίας πλοίων (Traffic Density)

Ο συγκεκριμένος παράγοντας αφορά την πυκνότητα κυκλοφορίας πλοίων σε μια θαλάσσια περιοχή – διαδρομή. Συμβάλλει στην αύξηση ή μείωση της πιθανότητας του να συμβεί ένα ατύχημα. Ένα πλοίο που βρίσκεται σε μια θαλάσσια περιοχή υψηλής κυκλοφοριακής συμφόρησης έχει λιγότερη ελευθερία ως προς τις κινήσεις και τους ελιγμούς του και αυτό μπορεί να έχει διάφορες αρνητικές συνέπειες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η προσάραξη του πλοίου «Maersk Kendal», τον Σεπτέμβριο του 2009, το οποίο αναγκάστηκε να αλλάξει πορεία προκειμένου να βοηθήσει στην έξοδο άλλων τριών πλοίων από το Jong Channel [13]. Στη συνέχεια έγιναν κάποιοι κακοί χειρισμοί και το πλοίο προσάραξε.

7. VTS zone (Vessel Traffic Service)

Πρόκειται για θαλάσσιο σύστημα ελέγχου, το οποίο βρίσκεται στα λιμάνια. Στόχος είναι η καλύτερη οργάνωση κατά την άφιξη των πλοίων στα λιμάνια, καθώς η κυκλοφορία εκεί είναι αυξημένη και απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή. Έχει αποδειχθεί ότι μειώνει σημαντικά την πιθανότητα ατυχήματος αλλά υπάρχει μόνο σε συγκεκριμένα μέρη ανά τον κόσμο.

Σημειώνεται η διαφορά μεταξύ παραγόντων ρίσκου και δεικτών ρίσκου. Οι πρώτοι αφορούν μεγέθη που γενικώς επηρεάζουν το ρίσκο ενώ οι δεύτεροι είναι τρόποι ποσοτικοποίησης και περιγραφής των παραγόντων ρίσκου. Για παράδειγμα, το μήκος και το πλάτος χαρακτηρίζουν και περιγράφουν τον παράγοντα του μεγέθους της θαλάσσιας διαδρομής και αποτελούν δείκτες ρίσκου.

2.4 Περιβαλλοντικοί παράγοντες και καιρικές συνθήκες

Καιρός

Ο καιρός είναι πολύ σημαντικός παράγοντας και συχνά είναι η κύρια αιτία ενός ατυχήματος. Ανάλογα με τα κατάσταση του καιρού που επικρατεί επηρεάζονται διάφοροι παράγοντες οι οποίοι μπορούν να αναλυθούν ως εξής:

1. Ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου
2. Ύψος και διεύθυνση κύματος
3. Ορατότητα

Οι επιρροές του καιρού στο ρίσκο ουσιαστικά εκφράζονται από τους 3 παραπάνω παράγοντες. Συνεπώς, μπορεί να παραληφθεί και να συμπεριληφθούν μόνο οι επιδράσεις του ανέμου, των κυμάτων και της ορατότητας ως αποτελέσματα των καιρικών συνθηκών.

1. Άνεμος

Ο άνεμος έχει καθοριστική σημασία ως παράγοντας. Επηρεάζει σε αρκετά μεγάλο βαθμό την ελεγχσιμότητα του πλοίου (controllability). Σε περίπτωση ισχυρών ανέμων μπορεί να χαθεί ο έλεγχος και το πλοίο να χάσει τη πορεία του και τελικά να προσαράξει στην ακτή.

2. Κύματα

Τα κύματα έχουν περίπου την ίδια επίδραση που έχουν οι άνεμοι. Δυσκολεύουν κατά πολύ τον έλεγχο του πλοίου και μπορεί εύκολα να το παρασύρουν από τη πορεία του. Υπάρχει προφανώς μια συσχέτιση των κυμάτων με τον καιρό που θα επικρατεί σε κάθε κατάσταση και συνεπώς με την δύναμη/ταχύτητα του ανέμου. Αυτή απεικονίζεται αναλογικά με το ύψος κύματος στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Κλίμακα ανέμων και κυμάτων [14]

Wind Scale	Wind Name	State of the Sea	Sea Wave Height, m		Equivalent Wind Velocity		
			General	Highest	n mile/h	km/h	m/s
0	No wind	As a mirror			<1	<1	0
1	No wind	Wavelet	0.1	0.1	1~3	1~5	0.3~1.5
2	Breeze	Small wave	0.2	0.3	4~6	6~11	1.6~3.3
3	Gentle breeze	Small wave	0.3	1.0	7~10	12~19	3.4~5.4
4	Moderate breeze	Light waves	1.0	1.5	11~16	20~28	5.5~7.9
5	Cool breeze	Waves	2.0	2.5	17~21	29~38	8.0~10.7
6	Strong breeze	Big Wave	3.0	4.0	22~27	39~49	10.8~13.8
7	Moderate breeze	Billow	4.0	5.5	28~33	50~61	13.9~17.1
8	Gale	Wild waves	5.5	7.5	34~40	62~74	17.2~20.7
9	Strong gale		7.0	10.0	41~47	75~88	20.8~24.4
10	Whole gale	Turbulent	9.0	12.5	48~55	89~102	24.5~28.4
11	Storm wind	Can't imagine	11.0	16.0	56~63	103~117	28.5~32.6
12	Hurricane		14.0	>16.0	64~71	118~133	32.7~36.9
13			>14.0		72~80	134~149	37.0~41.4
14					81~89	150~166	41.5~46.1
15					90~99	167~183	46.2~50.9
16					100~108	184~201	51.0~56.0
17					109~118	202~220	56.1~61.2

Note: 1 n mile = 1852 m.

Ωστόσο, δεν είναι απαραίτητο ότι σε οποιοδήποτε μέρος υπάρχουν υψηλοί άνεμοι θα υπάρχουν και υψηλά κύματα. Ένα απλό παράδειγμα είναι στα κανάλια όπου η θαλάσσια περιοχή είναι περιφραγμένη και δεν υπάρχουν κύματα, ενώ άνεμοι υπάρχουν κανονικά ανάλογα με τον καιρό.

3. Ορατότητα

Η ορατότητα καθορίζει την ανίχνευση του κινδύνου και αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς παράγοντες. Επίσης, οι περιβαλλοντικές συνθήκες επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την ορατότητα, ενώ οι απόψεις δίστανται αναφορικά με το τι θεωρείται καλή ορατότητα και τι θεωρείται περιορισμένη. Για παράδειγμα, οι Kite-Powell, Jin [15], θεωρούν ότι η ορατότητα άνω των 2 χιλιομέτρων είναι ικανοποιητική, ενώ οι Rolf

– Asbjorn [16], θεωρούν καλή ορατότητα αυτή που ξεπερνά τα 5 ναυτικά μίλια. Σε κάθε περίπτωση είναι από τους παράγοντες που χρήζουν ιδιαίτερη προσοχή.

Επιπλέον, υπάρχουν διάφοροι περιβαλλοντικοί παράγοντες που αξίζουν αναφορά.

4. Ρεύματα

Πρόκειται για παράγοντα που επηρεάζει την ελεγχσιμότητα του πλοίου. Σε περιοχές με μεγάλα ρεύματα υπάρχουν αρκετές δυσκολίες κατά τη διάρκεια στροφών ή ελιγμών. Τα ρεύματα της θάλασσας χωρίζονται στις εξής κατηγορίες ανάλογα με τον λόγο δημιουργίας τους:

- Άνεμοι
- Παλίρροιες
- Βαρύτητα
- Πυκνότητα, θερμοκρασία και αλμυρότητα νερού
- Κύματα

Πολλές φορές συνυπάρχουν ρεύματα που προέρχονται από διαφορετικές κατηγορίες.

5. Time of the day

Έχει διαπιστωθεί ότι τη νύχτα η πιθανότητα για προσάραξη είναι μεγαλύτερη τη νύχτα από ότι κατά τη διάρκεια της ημέρας, διότι η ορατότητα είναι χαμηλότερη, [2].

6. Παλίρροιες

Η υποχώρηση του νερού λόγω παλιρροιών είναι ένα φαινόμενο που μπορεί να οδηγήσει σε προσαράξεις. Φυσικά, είναι γνωστές οι περιοχές που δρα το φαινόμενο και επίσης είναι εύκολο να προβλεφθεί πότε θα δράσει.

7. Πάγοι

Η ύπαρξη πάγων αυξάνει τη πολυπλοκότητα της θαλάσσιας διαδρομής και συνεπώς τη πιθανότητα ατυχήματος προσάραξης.

2.5 Λοιποί παράγοντες

Σε αυτή τη κατηγορία υπάγονται ορισμένοι ειδικοί παράγοντες οι οποίοι δεν μπορούν να συμπεριληφθούν σε άλλη κατηγορία. Στο πλαίσιο της εφαρμογής αγνοούνται αλλά είναι σκόπιμο να αναφερθούν για λόγους πληρότητας.

1. Χρήση ρυμουλκών

Τα ρυμουλκά βοηθούν τα μεγάλα πλοία να κάνουν διάφορους ελιγμούς ιδίως σε περιορισμένα νερά όπου χρειάζεται προσεκτικός χειρισμός. Επιπλέον, η αξιοπιστία και η δύναμη των ρυμουλκών μπορεί να μειώσει τη πιθανότητα να γίνει κάποιο ατύχημα. Τέλος, είναι ιδιαίτερα θετικό να υπάρχει ικανοποιητική διαθεσιμότητα ρυμουλκών για περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης.

2. Ύπαρξη πιλότων

Οι πιλότοι υπάρχουν τοπικά σε διάφορα λιμάνια όπου η πλεύση και οι ελιγμοί είναι επικίνδυνοι πόσο μάλλον όταν ο καπετάνιος και το πλήρωμα δεν γνωρίζουν καλά την περιοχή που βρίσκονται. Αντιθέτως, εκείνοι έχουν πλήρη επίγνωση των κινδύνων της περιοχής και συνεπώς μερικές φορές η παρουσία τους είναι απαραίτητη. Επίσης, η επίδοση του πιλότου εξαρτάται από την εμπειρία του και τον εξοπλισμό που χρησιμοποιεί. Τέλος, είναι απαραίτητο να υπάρχει επικοινωνία και συνεννόηση μεταξύ του καπετάνιου και του πιλότου για να αποφευχθούν λάθη που μπορεί να αποβούν μοιραία.

Κεφάλαιο 3

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μια λεπτομερής ανάλυση του συστήματος που χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση του ρίσκου. Παρουσιάζονται η προέλευση του, τα χαρακτηριστικά του, η λογική και ο τρόπος εφαρμογής του στο πεδίο της ασφάλειας, οι διάφορες τεχνικές που περιλαμβάνει καθώς και οι αντίστοιχες λογικές των αλγορίθμων που βοηθούν στην εφαρμογή. Το σύστημα υπάγεται στην ευρύτερη κατηγορία των Τεχνητών Ανοσοποιητικών Συστημάτων (Artificial Immune Systems).

3.1 Τεχνητό Ανοσοποιητικό Σύστημα

Στο Τεχνητό Ανοσοποιητικό Σύστημα (AIS) υπάγεται οποιοδήποτε υπολογιστικό σύστημα το οποίο είναι εμπνευσμένο από το ανοσοποιητικό σύστημα του ανθρώπου. Η ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων ανάλογα την εφαρμογή μπορούν να χωριστούν σε 2

βασικές κατηγορίες: την επίλυση διαφόρων προβλημάτων ή την κατασκευή μοντέλων και προσομοιώσεων με στόχο τη θεωρητική μελέτη του ανοσοποιητικού συστήματος ([17], [18]).

Οι λειτουργίες του ανοσοποιητικού συστήματος του ανθρώπου είναι πολυάριθμες και διαφέρουν μεταξύ τους. Κάθε Τεχνητό Ανοσοποιητικό Σύστημα περιλαμβάνει τη κατασκευή ενός αλγορίθμου ο οποίος συσχετίζεται με έναν μηχανισμό του ανοσοποιητικού συστήματος. Ανάλογα με τον μηχανισμό που μιμούνται οι αλγόριθμοι χωρίζονται σε 3 μεγάλες κατηγορίες:

- Artificial Immune Networks
- Clonal Selection Algorithms
- Negative Selection Algorithms

Στη συνέχεια, θα ακολουθήσει αρχικά μια συνοπτική αναφορά στις βασικές λειτουργίες του ανοσοποιητικού συστήματος του ανθρώπου και έπειτα θα αναλυθούν οι 3 κατηγορίες αλγορίθμων.

3.2 Βιολογικό Ανοσοποιητικό Σύστημα

Το ανοσοποιητικό σύστημα είναι ένα πολύπλοκο δίκτυο το οποίο συνεισφέρει στην βελτίωση της άμυνας του οργανισμού και τη προστασία του από παθογόνους μικροοργανισμούς, όπως οι ιοί, τα βακτήρια, και τα παράσιτα. Αποτελείται από ένα σύνολο εξειδικευμένων κυττάρων και μορίων και διαφόρων οργάνων τα οποία λειτουργούν αρμονικά με στόχο την ανίχνευση, την αναγνώριση και έπειτα την καταπολέμηση των ξένων εισβολέων στο σώμα. [18]

Το ανοσοποιητικό σύστημα συνήθως χωρίζεται σε δύο βασικές κατηγορίες: το φυσικό (ή έμφυτο) και το επίκτητο (ή αποκτηθέν).

3.2.1 Φυσικό ανοσοποιητικό σύστημα

Το φυσικό ανοσοποιητικό σύστημα είναι το πρωταρχικό σύστημα άμυνας του οργανισμού. Σύμφωνα με [19], περιλαμβάνει τους εξής μηχανισμούς:

- Ανατομικοί φραγμοί, όπως για παράδειγμα η επιδερμίδα, οι οποίοι εμποδίζουν την είσοδο των μικροοργανισμών στο σώμα.
- Μηχανισμοί ενδοκυττάρωσης και κυτταροφαγίας, δηλαδή τα φαγοκύτταρα, τα οποία καταπίνουν και καταστρέφουν τους μικροοργανισμούς.

- Φυσιολογικοί φραγμοί, όπως η θερμοκρασία, το pH και η πίεση.
- Φλεγμονώδης αντίδραση, όπως η διαστολή αγγείων ή η αύξηση διαπερατότητας των τριχοειδών αγγείων των ιστών.

Οι παραπάνω μηχανισμοί αποτελούν γενικούς αμυντικούς μηχανισμούς οι οποίοι συμβάλλουν στην συνολική προστασία και δεν απευθύνονται στην καταπολέμηση συγκεκριμένων εισβολέων. Υπάρχουν εκ γενετής, δεν προσαρμόζονται και δεν αλλάζουν καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής. Τέλος, είναι σαφές ότι η συνεισφορά του έμφυτου ανοσοποιητικού συστήματος στην προστασία του ανθρώπου είναι καθοριστική.

3.2.2 Επίκτητο ανοσοποιητικό σύστημα

Στη περίπτωση που κάποιος παθογόνος μικροοργανισμός καταφέρει να αποφύγει με επιτυχία την έμφυτη απόκριση, τότε ξεκινά η λειτουργία του δεύτερου επιπέδου προστασίας, αυτού της επίκτητης ανοσολογικής απόκρισης. Το επίκτητο ανοσοποιητικό σύστημα, σε αντίθεση με το έμφυτο, έχει τη δυνατότητα να προσαρμόζεται ανάλογα με τον παθογόνο παράγοντα που αντιμετωπίζει κάθε φορά. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω ενός μηχανισμού μάθησης που λαμβάνει χώρα καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής του οργανισμού. Ουσιαστικά αναπτύσσεται ανοσολογική μνήμη η οποία επιτρέπει στο ανοσοποιητικό σύστημα να «θυμάται» κάποιον παθογόνο παράγοντα που έχει αντιμετωπίσει παλαιότερα και σε περίπτωση που κληθεί να τον αντιμετωπίσει ξανά μπορεί πλέον να πραγματοποιεί ταχύτερες και ισχυρότερες επιθέσεις εναντίον του. Τέλος, προκειμένου να υπάρχει αποτελεσματικότητα στη καταπολέμηση των ξένων εισβολέων θα πρέπει το ανοσοποιητικό σύστημα να έχει την ικανότητα να ξεχωρίζει τα ξένα μόρια από τα μόρια του οργανισμού.

Ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί το σύστημα και επιτυγχάνει τις παραπάνω λειτουργίες παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με Read et al. [18]:

«Τα ανοσοποιητικά κύτταρα περιέχουν πρωτεϊνικά μόρια στην επιφάνειά τους και λειτουργούν σαν υποδοχείς για άλλα εξωκυτταρικά μόρια. Όταν βρεθεί ένας επαρκώς δυνατός χημικός δεσμός μεταξύ του υποδοχέα και ενός μορίου τότε ο υποδοχέας ενεργοποιείται. Με αυτό τον τρόπο πραγματοποιείται ο μηχανισμός της αναγνώρισης στο μοριακό επίπεδο. Υπάρχουν δύο τύποι ανοσοποιητικών κυττάρων-υποδοχέων: οι εσωτερικοί υποδοχείς οι οποίοι αναγνωρίζουν ειδικά

μόρια και οι μοναδικοί υποδοχείς των λεμφοκυττάρων οι οποίοι δημιουργούνται κατά τη διάρκεια της ζωής του οργανισμού και εκπαιδεύονται για να αναγνωρίζουν μόρια αντιγόνων που ο οργανισμός δεν είχε αντιμετωπίσει στο παρελθόν.»

Το επίκτητο ανοσοποιητικό σύστημα περιλαμβάνει τα λεμφοκύτταρα και πιο συγκεκριμένα τα κύτταρα Β και τα κύτταρα Τ. Τόσο τα κύτταρα Β όσο και τα κύτταρα Τ έχουν υποδοχείς στην επιφάνειά τους και προσφέρουν αντίσταση σε μελλοντικές μολύνσεις (ανοσολογική μνήμη). Οι υποδοχείς αντιγόνων των Β κυττάρων λέγονται αντισώματα και αυτοί των Τ κυττάρων λέγονται απλώς T-cell receptors (TCR). Τέλος, παράγονται από μία στοχαστική διαδικασία και η συνεισφορά τους είναι ζωτικής σημασίας. [18]

Χαρακτηριστικά επίκτητου ανοσοποιητικού συστήματος – πηγή έμπνευσης

Ο τρόπος λειτουργίας του επίκτητου ανοσοποιητικού συστήματος και ορισμένα χαρακτηριστικά του αποτελούν τις κύριες πηγές έμπνευσης των τεχνητών ανοσοποιητικών συστημάτων. Συνοπτικά, τα χαρακτηριστικά που προσελκύουν το ενδιαφέρον των μηχανικών για κάποια εφαρμογή στο δικό τους πεδίο σύμφωνα με τον Read [18] είναι:

- **Διανομή και αυτοοργάνωση.** Το ανοσοποιητικό σύστημα καλείται να διαχειρίζεται δισεκατομμύρια κύτταρα και μόρια που υπάρχουν διασκορπισμένα στο σώμα. Η ικανότητα να οργανώνει όλα αυτά τα στοιχεία που δεν έχουν κάποια άμεση σχέση μεταξύ τους και να καταφέρνει να αποδίδει μια συνολική οργανωμένη απόκριση και να αντιμετωπίζει ένα πρόβλημα, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον.
- **Μάθηση, προσαρμογή και μνήμη.** Η ικανότητα του ανοσοποιητικού συστήματος όταν αντιμετωπίζει πρώτη φορά έναν παθογόνο μικροοργανισμό να μαθαίνει τα χαρακτηριστικά του και να τα αποθηκεύει έτσι ώστε την επόμενη φορά που θα κληθεί να αντιμετωπίσει τον ίδιο, να γνωρίζει με ποιο τρόπο να αποκριθεί είναι εντυπωσιακή.
- **Αναγνώριση μοτίβων.** Ο κάθε υποδοχέας έχει την δυνατότητα να ανιχνεύει ένα είδος αντιγόνου. Η ποικιλία όμως αυτών είναι πολύ μεγάλη. Επιπλέον, υπάρχουν πάρα πολλά μόρια που το σύστημα οφείλει να αναγνωρίζει. Συνεπώς,

η ικανότητα του ανοσοποιητικού συστήματος να αναγνωρίζει έναν πολύ μεγάλο αριθμό διαφορετικών μοτίβων και να τα ξεχωρίζει μεταξύ τους είναι αξιοσημείωτη.

- **Ταξινόμηση.** Το σύνολο των ξένων παραγόντων που ενδεχομένως να εισέλθουν στον οργανισμό είναι άγνωστο. Γνωρίζει μόνο τα στοιχεία που ανήκουν στον οργανισμό. Παρ' όλ' αυτά το ανοσοποιητικό σύστημα έχει την ικανότητα να ξεχωρίζει και να ταξινομεί σε δύο ομάδες τα στοιχεία που ελέγχει. Η μία ομάδα αφορά αυτά που ανήκουν στον οργανισμό και η άλλη αυτά που είναι ξένα ως προς αυτόν (επιβλαβή).

3.3 Κατηγορίες αλγορίθμων

3.3.1 Clonal Selection Principle / Algorithms

Σύμφωνα με τον Malim [17], οι αλγόριθμοι επιλεκτικής κλωνοποίησης βασίζονται στον αντίστοιχο μηχανισμό του βιολογικού ανοσοποιητικού συστήματος που εξηγεί τον τρόπο με τον οποίο αυτό αντιμετωπίζει έναν εισβολέα παθογόνο μικροοργανισμό. Αρχικά, όταν εισέρχεται ένας παθογόνος παράγοντας στον οργανισμό, θα πρέπει να βρεθούν τα λεμφοκύτταρα που έχουν τον καλύτερο βαθμό συνάφειας με εκείνον, από το σύνολο των λεμφοκυττάρων που έχουν παραχθεί με τυχαίο τρόπο. Στη συνέχεια, τα κύτταρα αυτά επιδέχονται μια μετάλλαξη προκειμένου να βελτιώσουν ακόμη περισσότερο τον βαθμό συνάφειας με τον παθογόνο παράγοντα. Κατά την αρχικά τυχαία δημιουργία λεμφοκυττάρων, αν δημιουργηθούν λεμφοκύτταρα τα οποία «αναγνωρίζουν» στοιχεία του ιδίου του οργανισμού (self-reaction) τότε αυτά διαγράφονται πριν ξεκινήσει η διαδικασία της μετάλλαξης. Τέλος, πραγματοποιείται κλωνοποίηση των κυττάρων που προκύπτουν ότι έχουν έναν ικανοποιητικό βαθμό συνάφειας. Η παραπάνω διαδικασία ουσιαστικά συνοψίζει τον τρόπο παραγωγής αντισωμάτων. Ανάμεσα σε αυτά, τα περισσότερα είναι πλασματοκύτταρα τα οποία δρουν πάνω στο αντιγόνο και το καταστρέφουν, ενώ δημιουργούνται λίγα Β λεμφοκύτταρα μνήμης τα οποία αναπτύσσουν την ανοσολογική μνήμη.

Οι κύριες εφαρμογές των αλγορίθμων αυτής της κατηγορίας είναι για επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης, αναγνώρισης μοτίβων, σχεδίασης, προγραμματισμού, TSP (πρόβλημα πλανόδιου πωλητή), αλλά και διάφορων βιομηχανικών προβλημάτων [20]. Ορισμένα ενδιαφέροντα παραδείγματα εφαρμογής είναι:

1. Εφαρμογή στο πρόβλημα εκχώρησης συχνοτήτων το οποίο αποτελεί ένα γνωστό πρόβλημα αριθμητικής βελτιστοποίησης [21].
2. Αναγνώριση διαφορετικών μοτίβων χειρόγραφων αριθμών [22].
3. Σχεδίαση επαναδιαμορφώσιμης διάταξης γραμμικής κεραίας διπλής δέσμης [23].
4. Εφαρμογές σε προβλήματα δυναμικού προγραμματισμού και στο πρόβλημα πλανόδιου πωλητή [24] και [25].

3.3.2 Immune Network Theory / Algorithms

Σύμφωνα με τον Malim [17], η θεωρία των ανοσοποιητικών δικτύων, που αναπτύχθηκε από τον Jerne, εξηγεί τον τρόπο με τον οποίο το ανοσοποιητικό σύστημα καταφέρνει να αναπτύξει αυτό που έχει αναφερθεί και νωρίτερα ως «ανοσολογική μνήμη». Ο Jerne ισχυρίζεται ότι:

«Το ανοσοποιητικό σύστημα διατηρεί ένα ιδιότυπο δίκτυο διασυνδεδεμένων Β-κυττάρων για αναγνώριση. Επιπλέον, τα κύτταρα διεγείρονται και καταστέλλονται με συγκεκριμένο τρόπο με τον οποίο επιτυγχάνεται η σταθεροποίηση του δικτύου. Κάθε Β-κύτταρο ή αντίσωμα λέγεται ότι έχει ένα συγκεκριμένο ιδιότυπο. Ανάμεσα στα διαφορετικών ιδιότυπων Β-κύτταρα αναδύεται ένα λειτουργικό δίκτυο κοινής διέγερσης και καταστολής (ιδιότυπο δίκτυο). Το δίκτυο θεωρείται ότι συνεισφέρει στη λειτουργικότητα του ανοσοποιητικού συστήματος ως ανοσολογική μνήμη.»

Τα αντισώματα και τα Β-κύτταρα που αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους θα πρέπει να αναγνωρίζονται μεταξύ τους αλλά και να αναγνωρίζουν τα αντιγόνα για να λειτουργεί σωστά το δίκτυο.

Υπάρχουν διάφορα υπολογιστικά συστήματα τα οποία λειτουργούν με βάση την λειτουργία των ανοσολογικών δικτύων. Η πρώτη ιδέα ήταν η ανάπτυξη του μοντέλου AINet με βασικό στόχο την ανάλυση δεδομένων, ενώ ακολούθησε η δημιουργία μιας βέλτιστης εκδοχής του, το opt-AINet. Το τελευταίο βρίσκει πολλές εφαρμογές όπως σε προβλήματα ηλεκτρομαγνητισμού [26] και σε μαθηματικά προβλήματα [27].

3.3.3 Negative Selection Mechanism / Algorithms

Ο μηχανισμός negative selection σχετίζεται με την ικανότητα του οργανισμού να διαχωρίζει τα δικά του κύτταρα από άλλα που δεν ανήκουν σε αυτόν (self/non self-discrimination). Τα κύτταρα T έχουν υψηλό βαθμό «συνάφειας» με τα αντιγόνα για να μπορούν να αναγνωρίσουν τον κίνδυνο και να ενεργοποιηθούν και ταυτόχρονα δεν ενεργοποιούνται για κύτταρα που ανήκουν στον οργανισμό. Κατά συνέπεια, όταν τα

κύτταρα αυτά δημιουργούνται, θα πρέπει να πληρούν τις δύο παραπάνω προϋποθέσεις, αλλιώς είτε δεν θα ενεργοποιούνται σε περίπτωση κινδύνου είτε θα προκαλούν καταστροφές ζωτικών κυττάρων στον οργανισμό. Πράγματι, κατά την διαδικασία παραγωγής τους, πραγματοποιείται ένας έλεγχος ο οποίος καθορίζει αν το αναπτυσσόμενο κύτταρο T θα καταστραφεί ή θα κρατηθεί από τον οργανισμό. Σύμφωνα με Malim [17], μόλις το 5% των δημιουργηθέντων κυττάρων T γίνονται τελικά «ώριμα», πληρούν δηλαδή τις προϋποθέσεις και τελικά αποθηκεύονται. Τέλος, τα «ώριμα» κύτταρα κυκλοφορούν στο σώμα και προσφέρουν ανοσολογικές λειτουργίες και προστατεύουν από ξένα αντιγόνα.

Ο μηχανισμός *negative selection* αποτελεί έμπνευση για την επίλυση διαφόρων προβλημάτων σε υπολογιστικά συστήματα. Οι κύριες εφαρμογές του αφορούν την ανάπτυξη αλγορίθμων με στόχο την ασφάλεια των υπολογιστών και την δημιουργία κατάλληλων αμυντικών συστημάτων για την αποτελεσματική αντιμετώπιση ξένων εισβολών ή ιών [28]. Οι πρώτοι αλγόριθμοι που αναπτύχθηκαν είναι οι Binary Negative Selection Algorithms (BSA), οι οποίοι αναπαριστούν τα δεδομένα και ζητούμενα σε δυαδική μορφή. Ακολούθως οι Gonzalez et al. [29] ανέπτυξαν τους Real-valued Negative Selection Algorithms (RNS), οι οποίοι χρησιμοποιούν πραγματικές τιμές για την αντίστοιχη αναπαράσταση των δεδομένων και ζητούμενων τους. Τέλος, έχουν αναπτυχθεί κι άλλοι αλγόριθμοι - παραλλαγές οι οποίοι παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Οι διαφορές τους έγκειται κυρίως στην προσέγγιση του ζητήματος της δημιουργίας των ανιχνευτών (αντισωμάτων). Ανάμεσα σε αυτούς είναι οι Randomized Real-valued Negative Selection Algorithms (RNS) [30], οι Self-Adaptive Evolutionary Negative Selection for Anomaly Detection (SANSAD) [31] και οι Real-valued Negative Selection Algorithms with Variable-Sized Detectors [32].

3.4 Real-valued Negative Selection Algorithms with Variable-Sized Detectors

Στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί Negative Selection Algorithm, διότι διαπιστώθηκε ότι ταιριάζει καλύτερα με το ζητούμενο και τον τελικό στόχο της. Συγκεκριμένα, κατασκευάστηκε αλγόριθμος ο οποίος βασίζεται στη λογική των Real-valued Negative Selection Algorithms with Variable-Sized Detectors, που αναπτύχθηκε από τους Zhou et. al [32], και έχει κάποιες μικρές

τροποποιήσεις/βελτιστοποιήσεις για την διευκόλυνση της εφαρμογής. Ακολουθεί μια σύντομη επεξήγηση της λογικής των παραπάνω αλγορίθμων.

3.4.1 Real-valued Negative Selection Algorithms with Variable-Sized Detectors

Ο βασικός στόχος των αλγορίθμων Real-valued Negative Selection Algorithms είναι η κατασκευή ενός συνόλου ανιχνευτών οι οποίοι μιμούνται τα λεμφοκύτταρα και θα ανιχνεύουν ό,τι υπάγεται στην nonself περιοχή. Το σύνολο των self στην εκάστοτε εφαρμογή θεωρείται δεδομένο και με βάση αυτό κατασκευάζεται το ζητούμενο σύνολο ανιχνευτών. Τι ορίζεται όμως ως self και nonself;

Ορισμός Self: Αφορά οποιοδήποτε σημείο ή κατάσταση που βρίσκεται στην ασφαλή αποδεκτή περιοχή. Ανάλογα την εφαρμογή, το self διαφέρει σημαντικά και είναι το πρώτο πράγμα που θα πρέπει να προσδιορίζεται. Όλα μαζί τα σημεία που θεωρούνται self δομούν την λεγόμενη ασφαλή περιοχή (self-region). Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένα παραδείγματα για την καλύτερη κατανόηση της λογικής του self.

Στο βιολογικό ανοσοποιητικό σύστημα που αποτελεί έμπνευση του αλγορίθμου, το self είναι ουσιαστικά το σύνολο των κυττάρων που ανήκουν στον οργανισμό, τα οποία επιτελούν μια λειτουργία ζωτικής σημασίας και δεν πρέπει να καταστραφούν. Στο nonself υπάγονται όλοι οι ξένοι εισβολείς που εισέρχονται στον οργανισμό και προκαλούν προβλήματα στην ομαλή λειτουργία του. Ο οργανισμός δεν γνωρίζει τι είδους μικροοργανισμός θα εισβάλλει στο σώμα κάθε φορά, συνεπώς το nonself είναι ένα σύνολο εξ' ορισμού άγνωστο, σε αντίθεση με το self που είναι γνωστό. Η παραγωγή των T λεμφοκυττάρων αντιστοιχεί στην παραγωγή ανιχνευτών με στόχο τον εντοπισμό του κινδύνου. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, οι περιοχές self και nonself αποτελούν ένα σύνολο από στοιχεία που βρίσκονται στην ασφαλή και στην επικίνδυνη περιοχή αντίστοιχα.

Οι Dasgupta και KrishnaKumar [4] είχαν ως στόχο την βελτίωση ενός Intelligent Flight Controller, χρησιμοποιώντας την οικογένεια αλγορίθμων που έχει αναλυθεί. Αρχικά, εφάρμοσαν τον αλγόριθμο με σκοπό την ανίχνευση σφαλμάτων σε αεροπορικά συστήματα και υποσυστήματα. Σε αυτή τη περίπτωση, το self αποτελούσε όλα τα σημεία λειτουργίας τα οποία οδηγούσαν σε μια ασφαλή πτήση, ενώ η περιοχή nonself ήταν το σύνολο των μη αποδεκτών καταστάσεων πτήσης στις οποίες είχε προκύψει

κάποιο σφάλμα. Σε αυτή τη περίπτωση, οι περιοχές self και nonself αποτελούνταν από ένα σύνολο καταστάσεων λειτουργίας. Κάθε κατάσταση διαμορφωνόταν με βάση τον προσδιορισμό των κατάλληλα επιλεγμένων παραγόντων που επηρέαζαν. Στόχος ήταν μέσω της γνώσης των ασφαλών καταστάσεων λειτουργίας να προσδιοριστεί το ευρύ φάσμα των σφαλμάτων που μπορούν να οδηγήσουν σε επικίνδυνες καταστάσεις καθώς και η βελτίωση των δυνατοτήτων ανοχής σφαλμάτων στην υπάρχουσα αρχιτεκτονική του Intelligent Flight Controller.

Ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό του υπό μελέτη αλγορίθμου είναι το μέτρο για την αξιολόγηση της συνάφειας. Στους αλγορίθμους Real-valued Negative Selection, το μέτρο συνάφειας είναι συνήθως η απόσταση μεταξύ των σημείων των δεδομένων υπό αξιολόγηση και των ανιχνευτών. Υπάρχουν διάφορα μέτρα αποστάσεων, τα οποία εξαρτώνται από τη μορφή των δεδομένων που έχουμε. Φυσικά, το πιο διαδεδομένο είναι η Ευκλείδεια απόσταση.

Παρακάτω επεξηγείται αναλυτικά η λογική του αλγορίθμου. Αρχικά, ο αλγόριθμος ζητά την εισαγωγή των σημείων self τα οποία ουσιαστικά σχηματίζουν και οριοθετούν την self περιοχή. Οι τιμές τους αντιστοιχούν στις συντεταγμένες του σημείου στο χώρο. Τα σημεία αυτά είναι δείγματα, δεν καλύπτουν όλη την ασφαλή περιοχή, καθώς η self περιοχή ποτέ δεν είναι εξ' ολοκλήρου γνωστή. Επιπλέον, γίνεται η παραδοχή ότι τα σημεία που βρίσκονται πολύ κοντά σε αυτά των δειγμάτων, έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά με αυτά και μαζί με το δείγμα σχηματίζουν μια μικρή περιοχή self. Γίνεται η θεώρηση ότι ένα σημείο βρίσκεται στη περιοχή αυτή αν η απόσταση από το δείγμα είναι μικρότερη από μια οριακή τιμή, η οποία πρακτικά είναι μία ακτίνα r . Τελικά, η ένωση των περιοχών που σχηματίζουν τα δείγματα, με τα σημεία γύρω τους, συνθέτει την συνολική self περιοχή.

Ακολούθως, ο αλγόριθμος θα πρέπει να κατασκευάσει ανιχνευτές οι οποίοι θα καλύπτουν το χώρο εκτός της περιοχής self. Για να συμβεί αυτό, κατασκευάζει επαναληπτικά τυχαίους ανιχνευτές, υπολογίζει την Ευκλείδεια απόσταση από κάθε σημείο της self περιοχής, και τελικά ελέγχει αν βρίσκεται μέσα σε αυτήν ή όχι. Αν είναι, τότε αμέσως τερματίζει τον κύκλο επανάληψης και περνάει στον επόμενο με νέο τυχαίο ανιχνευτή. Αν δεν είναι, τότε κατασκευάζει τον ανιχνευτή με την αντίστοιχη σταθερή επιλεχθείσα ακτίνα, η οποία είναι συνήθως ίδια με αυτή των self σημείων. Φυσικά, η τομή των περιοχών που σχηματίζουν οι ανιχνευτές με την ασφαλή περιοχή θα πρέπει

πάντα να είναι μηδέν, αλλιώς θα ανιχνεύονται ως επικίνδυνα τα σημεία που είναι στην ασφαλή περιοχή. Τελικά, με κάποιο κατάλληλο κριτήριο, ο αλγόριθμος διαπιστώνει ότι έχει γεμίσει πλήρως την nonself περιοχή και τερματίζει.

Αφού έχει κατασκευαστεί ένα αποδεκτό σύνολο ανιχνευτών, αυτοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο καινούριων καταστάσεων. Αν κάποιος από τους υπάρχοντες ανιχνευτές ανιχνεύει το εκάστοτε σημείο τότε σημαίνει ότι το σημείο είναι στην επικίνδυνη περιοχή. Αναλόγως με την εφαρμογή μπορεί να ληφθούν κι άλλες πληροφορίες πέραν της απλής ανίχνευσης του προβλήματος, όπως το είδος του προβλήματος και η σοβαρότητά του.

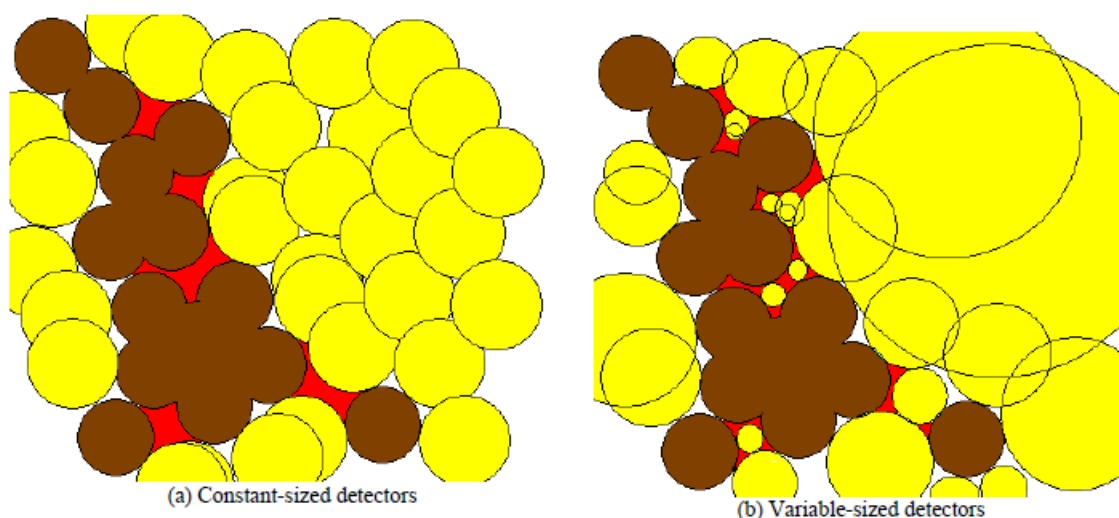
Παράμετροι αλγορίθμου

Ο αλγόριθμος, για να λειτουργήσει, απαιτεί τον προσδιορισμό ορισμένων παραμέτρων. Αυτές προσδιορίζονται είτε με απλές λογικές παραδοχές, είτε μέσω δοκιμών, δηλαδή κάνοντας την εφαρμογή και εξετάζοντας την καλύτερη περίπτωση. Οι παράμετροι επεξηγούνται παρακάτω:

- 1) **Σύνολο self.** Χρειάζονται δείγματα self για να προσδιοριστεί η self περιοχή και με βάση αυτή να κατασκευαστούν οι ανιχνευτές.
- 2) **Ακτίνα self (r).** Η επιλογή της ακτίνας προκύπτει συνήθως μετά από βελτιστοποίηση με βάση τα δεδομένα και τις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής. Το μέγεθός της δεν θα πρέπει να είναι πολύ μικρό γιατί θα χρειάζεται ένας πολύ μεγάλος αριθμός από δείγματα self για να πραγματοποιηθεί μια αποδεκτή κάλυψη της self περιοχής, αλλά ούτε και πολύ μεγάλο για να μην γίνεται υπερεκτίμηση αυτής. Το πεδίο τιμών είναι συνήθως από 0,05 μέχρι 0,5, [32].
- 3) **Αριθμός ανιχνευτών (m).** Θα πρέπει να γίνει μια υπόθεση για τον απαιτούμενο αριθμό ανιχνευτών εκ των προτέρων, ο οποίος λειτουργεί ως κριτήριο τερματισμού του αλγορίθμου.
- 4) **Ακτίνα r_1 , ως το κάτω όριο των επιτρεπόμενων ακτινών των ανιχνευτών.** Αν δεν υπάρχει κάτω όριο, θα επιτρέπεται η δημιουργία υπερβολικά μικρών ανιχνευτών γύρω από την self περιοχή και θα υπάρχει πρόβλημα. Συχνά το κάτω όριο λαμβάνεται ίσο με την ακτίνα του self.

Η παραπάνω διαδικασία συνοψίζει την γενική φιλοσοφία των Real-valued Negative Selection αλγορίθμων. Οι Ji και Dasgupta [32] πρότειναν μια παραλλαγή σχετικά με

τον τρόπο κατασκευής των ανιχνευτών, στην οποία οι ανιχνευτές δεν είναι απαραίτητο να έχουν σταθερή ακτίνα και ίδιες βασικές ιδιότητες όσο αναφορά το μέτρο συνάφειας. Συγκεκριμένα η ακτίνα τους ποικίλει ανάλογα με την απόσταση του σημείου από την ασφαλή περιοχή και λαμβάνει την οριακή τιμή εκεί όπου οι περιοχές εφάπτονται μεταξύ τους. Ακόμα και τα σχήματα των ανιχνευτών μπορούν να ποικίλουν αλλά και το μέτρο συνάφειας. Στο σχήμα 2 παρουσιάζονται 2 απεικονίσεις με ανιχνευτές σταθερού και ποικίλου μεγέθους.



Σχήμα 2. Σύγκριση ανιχνευτών σταθερής ακτίνας και ανιχνευτών ποικίλου μεγέθους, [32]

Τα διαγράμματα αφορούν την απεικόνιση στον δισδιάστατο χώρο. Οι κύκλοι με καφέ χρώμα αναπαριστούν την self περιοχή, ενώ αυτοί με το κίτρινο απεικονίζουν τους ανιχνευτές. Η κόκκινη περιοχή αναπαριστά επικίνδυνη περιοχή η οποία δεν καλύπτεται από ανιχνευτή και ουσιαστικά υποδηλώνει το σφάλμα της διαδικασίας, δηλαδή επικίνδυνες περιοχές που δεν ανιχνεύονται. Στο σχήμα στα δεξιά παρατηρείται ότι όλοι οι κύκλοι των ανιχνευτών εφάπτονται στην πιο κοντινή περιοχή self που συναντάνε. Το σύνολο self και η ακτίνα παραμένουν ως παράμετροι που θα πρέπει να προσδιοριστούν, ενώ διαφοροποιούνται τα κριτήρια τερματισμού ως εξής:

- Εισάγεται ο συντελεστής c_0 (coverage), ο οποίος αντικατοπτρίζει την απαιτούμενη κάλυψη της nonself περιοχής σε ποσοστό. Συνήθως, απαιτείται κάλυψη 99% και άνω. Συγκεκριμένα το κριτήριο τερματισμού λειτουργεί ως εξής: Κάθε φορά που το τυχαίο σημείο που επέλεξε ο αλγόριθμος στην επανάληψη, βρίσκεται σε περιοχή ενός ήδη υπάρχοντος ανιχνευτή τότε ένας

μετρητής t αυξάνεται κατά ένα. Ο αλγόριθμος τερματίζει όταν ο μετρητής t ξεπεράσει την τιμή που προκύπτει από τη σχέση: $\frac{1}{1-c_0}$. Όμως, κάθε φορά που βρίσκεται σημείο το οποίο δεν ανιχνεύεται από κάποιον ανιχνευτή, αλλά ούτε από κάποια self περιοχή, δημιουργείται νέος ανιχνευτής και ο μετρητής t μηδενίζεται. Αν στο μεταξύ, βρεθεί σημείο σε self περιοχή τότε το κριτήριο αυτό δεν επηρεάζεται, δηλαδή ο αλγόριθμος συνεχίζει στην επόμενη επανάληψη χωρίς να αλλάξει τη τιμή του t . Για παράδειγμα, εάν θεωρηθεί 99% κάλυψη αποδεκτή, τότε για να τερματίσει ο αλγόριθμος θα πρέπει το τυχαίο σημείο για 100 επαναλήψεις συνεχόμενα να βρεθεί μέσα σε περιοχή ανιχνευτή. (Σημειώνεται ότι δεν προσμετρούνται οι επαναλήψεις που το τυχαίο σημείο βρέθηκε σε self περιοχή).

- Εισάγεται ο συντελεστής m_{sc} , ο οποίος έχει ακριβώς ίδια λογική με αυτή του c_0 με τη διαφορά ότι ο αντίστοιχος μετρητής του t , έστω T , προσμετρά μόνο τις επαναλήψεις όπου τα τυχαία σημεία βρέθηκαν σε self περιοχή και μηδενίζεται όταν δημιουργηθεί νέος ανιχνευτής.
- Ορίζεται αυθαίρετα ένας μέγιστος αριθμός ανιχνευτών T_{max} , προκειμένου να τερματίζει ο αλγόριθμος σε περιπτώσεις λαθών. Δεν έχει ιδιαίτερη σημασία, καθώς πολύ σπάνια θα τερματίσει ο αλγόριθμος λόγω αυτού του κριτηρίου και μάλιστα όταν συμβαίνει αυτό, συνήθως υπάρχει κάποιο λάθος είτε στα δεδομένα self είτε στην επιλογή των παραπάνω παραμέτρων.

Τέλος, μελετώντας τα δύο σχήματα, συμπεραίνουμε ότι οι ανιχνευτές ποικίλου μεγέθους έχουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- 1) Χρειάζονται σαφώς λιγότεροι ανιχνευτές για να καλύψουν το ζητούμενο χώρο. Αυτό συμβαίνει προφανώς γιατί επιτρέπεται η δημιουργία μεγαλύτερων ανιχνευτών που καλύπτουν περισσότερο χώρο.
- 2) Καλύπτονται καλύτερα τα κενά κοντά στα σύνορα, ασφαλούς και επικίνδυνης περιοχής. Αντίστοιχα, αυτό συμβαίνει γιατί επιτρέπεται η κατασκευή ανιχνευτών μικρότερης ακτίνας.
- 3) Δεν χρειάζεται να είναι γνωστός ο ακριβής αριθμός των απαραίτητων ανιχνευτών εκ των προτέρων, καθώς το κριτήριο τερματισμού είναι η κάλυψη του χώρου (c_0).

Ωστόσο, η μέθοδος φαίνεται να έχει ορισμένα μειονεκτήματα.

1. Μία περιοχή μπορεί να καλύπτεται ταυτόχρονα από πολλούς ανιχνευτές. Αυτό ονομάζεται overlapping και είναι μη επιθυμητό. Χωρίς κάποια τροποποίηση είναι εφικτό ακόμα και ολόκληρος ανιχνευτής να εμπεριέχεται σε άλλον, κάτι που τον καθιστά αχρείαστο.
2. Ο στόχος σε πολλές εφαρμογές, μεταξύ των οποίων και στην εν προκειμένω διπλωματική, δεν είναι απλά ο εντοπισμός της nonself περιοχής. Πολλές φορές θα ήταν χρήσιμο να υπάρχει αναγνώριση του κινδύνου με στόχο την αντιμετώπιση του, αλλά και πληροφορία σχετικά με την σοβαρότητα του κινδύνου. Αυτό μπορεί να συμβεί δίνοντας πληροφορίες στους ανιχνευτές, έτσι ώστε όταν ένας ανιχνευτής ενεργοποιείται, να παραπέμπει σε κάποια χαρακτηριστικά του κινδύνου. Το παρόν μειονέκτημα της μεθόδου βασίζεται στο γεγονός ότι δεν μπορούν να δοθούν πληροφορίες σε ορισμένους ανιχνευτές, καθώς σε περιπτώσεις που οι ακτίνες είναι μεγάλες, παύουν όλα τα σημεία της περιοχής να έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά.

Όσο αναφορά την αξιολόγηση του αλγορίθμου, θα πρέπει να γίνουν κατάλληλοι έλεγχοι σε σημεία των οποίων το αποτέλεσμα είναι γνωστό εκ των προτέρων και έπειτα να αξιολογηθεί το αποτέλεσμα του αλγορίθμου. Γενικώς, χρησιμοποιούνται 2 δείκτες, το detection rate και το false alarm rate. Αυτοί καθορίζονται από τις εξής σχέσεις, [32]:

$$DR = \frac{TP}{TP + FN} \quad \text{και} \quad FA = \frac{FP}{FP + TN}$$

, όπου TP, FN, FP, TN σημαίνουν True Positive, False Negative, False Positive και True Negative. Τα μεγέθη αυτά εκφράζουν το αποτέλεσμα του αλγορίθμου ως προς τη πραγματικότητα και σημαίνουν για τα σημεία που ελέγχθηκαν τα εξής:

- 1) True positive, τα σημεία που ορθώς ανιχνεύθηκαν ως επικίνδυνα,
- 2) False Negative, τα σημεία που δεν ανιχνεύθηκαν ως επικίνδυνα λανθασμένα,
- 3) False Positive, τα σημεία που ανιχνεύθηκαν ως επικίνδυνα λανθασμένα,
- 4) True Negative, τα σημεία που ορθώς δεν ανιχνεύθηκαν ως επικίνδυνα.

Τα δύο αυτά κριτήρια, το detection rate και το false alarm rate, είναι ουσιαστικά κριτήρια των ανιχνευτών. Το πρώτο αφορά τη σωστή και πλήρη κάλυψη της nonself περιοχής και το δεύτερο δείχνει το κατά πόσο έχουν φτιαχτεί ανιχνευτές εντός της self περιοχής και σηματοδοτείται κίνδυνος λανθασμένα. Συνεπώς, ο στόχος είναι ο αλγόριθμος να πετυχαίνει υψηλό detection rate και χαμηλό false alarm rate.

Κεφάλαιο 4

Στο παρόν κεφάλαιο επεξηγείται ο τρόπος με τον οποίο έγινε η σύνδεση των παραγόντων ρίσκου των ατυχημάτων προσάραξης με τον αλγόριθμο που χρησιμοποιήθηκε, αναλύονται τα βήματα της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκαν, σημειώνονται οι υποθέσεις και οι παραδοχές που έγιναν και καθορίζονται οι παράμετροι που απαιτούνται.

4.1 Συσχέτιση χαρακτηριστικών του αλγορίθμου με τον υπολογισμό του ρίσκου

Πριν ξεκινήσει η ανάλυση και επεξήγηση της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε είναι απαραίτητη η συσχέτιση των χαρακτηριστικών και παραμέτρων του αλγορίθμου με τα μεγέθη που σχετίζονται με τον τελικό στόχο, τον υπολογισμό του ρίσκου. Παρακάτω ακολουθεί η αντιστοίχιση των στοιχείων του αλγορίθμου.

1. Σημεία στο χώρο και συντεταγμένες

Κάθε σημείο στο χώρο αναπαριστά μια κατάσταση λειτουργίας του πλοίου αναφορικά με το ρίσκο ατυχήματος προσάραξης. Οι συντεταγμένες των σημείων αντιστοιχούν στις τιμές των δεικτών ρίσκου, που αντιστοιχούν στους παράγοντες ρίσκου. Ουσιαστικά κάθε παράγοντας ρίσκου αντιστοιχεί τελικά σε μια διάσταση στον n -διάστατο χώρο μελέτης.

2. Περιοχή self και nonself

Η περιοχή self αφορά όλα τα σημεία, δηλαδή όλες τις ασφαλείς καταστάσεις λειτουργίας, στις οποίες δεν υπάρχει κίνδυνος προσάραξης. Αντιθέτως, η περιοχή nonself περιλαμβάνει όλα τα σημεία που αφορούν επικίνδυνες καταστάσεις και μπορεί να οδηγήσουν σε ατύχημα.

3. Ανιχνευτές

Πρόκειται για συγκεκριμένες τιμές του διανύσματος κατάστασης που περιγράφει τον κίνδυνο έναντι προσάραξης. Οι ανιχνευτές καλύπτουν την nonself περιοχή με στόχο να εντοπίζουν και να ενημερώνουν για ενδεχόμενες επικίνδυνες καταστάσεις.

4. Ακτίνες self και ανιχνευτών

Όπως αναλύθηκε στην ενότητα 3.5.1, η ακτίνα ομαδοποιεί ορισμένα σημεία που βρίσκονται πολύ κοντά και επομένως έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά. Δεν

υπάρχει κάποια φυσική ερμηνεία. Απλώς με τη βοήθεια της ακτίνας γίνεται ομαδοποίηση των καταστάσεων/σημείων για να γίνει η εφαρμογή.

5. Παράμετροι c_0 , m_{sc} , T_{max}

Δεν έχουν φυσική ερμηνεία. Αποτελούν απλώς κριτήρια τερματισμού του αλγορίθμου.

4.2 Προβλήματα εφαρμοστικότητας αλγορίθμου

Στην έρευνα των Zhou Li και Dipankar Dasgupta [33] εξετάστηκαν λεπτομερώς οι αλγόριθμοι Negative Selection και διαπιστώθηκαν ορισμένα προβληματικά σημεία κατά την εφαρμογή τους. Παρακάτω αναγράφονται τα πιο σημαντικά προβλήματα των αλγορίθμων NSA, δίνοντας έμφαση σε αυτά που έφεραν δυσκολίες στην εφαρμογή της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Αρχικά, ένα από τα βασικότερα προβλήματα τέτοιου είδους αλγορίθμων είναι τα δεδομένα μεγάλων διαστάσεων. Αν και υπάρχει η δυνατότητα λειτουργίας σε υψηλές διαστάσεις, η απόδοση των αλγορίθμων πέφτει σημαντικά, καθώς όσο αυξάνονται, ο χώρος αναζήτησης αυξάνεται εκθετικά και γίνεται δύσκολη η αναπαράστασή του. Για παράδειγμα, στην προς μελέτη περίπτωση, οι παράγοντες ρίσκου που αναλύθηκαν στο 2^ο κεφάλαιο είναι πολυάριθμοι και η ιδέα να αντιστοιχούν ο κάθε ένας σε μία διάσταση δε λειτουργεί. Είναι υποχρεωτικό να γίνει είτε κάποια ομαδοποίηση των παραγόντων είτε να αγνοηθεί η επίδραση ορισμένων. Επιπλέον, οι υψηλές διαστάσεις οδηγούν στην απαίτηση πολλών δειγμάτων self για την επίτευξη μιας αξιόλογης περιγραφής της self περιοχής. Συχνά, δεν υπάρχουν τόσα δεδομένα και η εφαρμογή δεν είναι εφικτή. Επίσης, είναι ιδιαίτερα δύσκολη η αξιολόγηση της σωστής λειτουργίας του αλγορίθμου. Τα κριτήρια αξιολόγησης απαιτούν δεδομένα ελέγχου ορθώς διασκορπισμένα στο χώρο για να συμπεράνουν αναφορικά με τη συνολική λειτουργικότητά του. Σε υψηλές διαστάσεις αυτό είναι αδύνατο, καθώς ο χρήστης δεν μπορεί ποτέ να γνωρίζει αν τα δεδομένα ελέγχου που κατέχει είναι αντιπροσωπευτικά ως προς το σύνολο του n -διάστατου χώρου που κάνει την εφαρμογή. Τέλος, η σοβαρότητα του προβλήματος εξαρτάται από το είδος της εφαρμογής και από τις ιδιαιτερότητες των δεδομένων, ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι το πρόβλημα των υψηλών διαστάσεων δεν είναι αρνητικό χαρακτηριστικό κάποιου συγκεκριμένου αλγορίθμου ή

μιας ειδικής τεχνικής αλλά χαρακτηρίζει τη πλειοψηφία των αλγορίθμων της κατηγορίας που εξετάζουμε [33].

Ακολούθως, ένα δεύτερο ζήτημα του αλγορίθμου, το οποίο αφορά συγκεκριμένα τους αλγορίθμους με real-value representation, είναι η αδυναμία ένταξης μεγεθών που δεν ποσοτικοποιούνται. Ακόμα και αν δοθούν σε αυτά κάποιες αυθαίρετες τιμές και ένα συγκεκριμένο σύνολο τιμών με ένα ελάχιστο και ένα μέγιστο ο αλγόριθμος δεν λειτουργεί σωστά, καθώς χάνεται το νόημα της απόστασης των σημείων. Για παράδειγμα, στο 2^ο κεφάλαιο αναφέρθηκε ως παράγοντας ρίσκου η κατάσταση της ημέρας με τις επιλογές μέρα ή νύχτα. Αν δοθούν αυθαίρετα οι τιμές 0 στην νύχτα και 1 στη μέρα προκειμένου να ενταχθούν στο σύστημα, οι αποστάσεις διαφοροποιούνται αντίστοιχα με έναν αυθαίρετο τρόπο και η έννοια του να βρίσκεται ένα σημείο κοντά ή μακριά από το self αλλοιώνεται.

Ολοκληρώνοντας, ένα άλλο ζήτημα που προβληματίζει είναι το θέμα του προσδιορισμού των παραμέτρων του αλγορίθμου. Η επιλογή της ακτίνας του self για παράδειγμα έχει καθοριστική σημασία, καθώς ανάλογα με αυτήν διαφοροποιούνται τα όρια της self περιοχής και οι απαιτήσεις για μια κατάσταση να βρίσκεται στην ασφαλή περιοχή αλλάζουν. Τέλος, το βασικό θέμα είναι ότι δεν υπάρχει κάποιος αυτόματος μηχανισμός υπολογισμού της κατάλληλης ακτίνας και συνεπώς η σωστή επιλογή αποτελεί πρόκληση για τον χρήστη.

Συμπεραίνοντας, ο αλγόριθμος έχει διάφορους περιορισμούς οι οποίοι δεν σχετίζονται με την εκτίμηση ρίσκου, που είναι ο στόχος της διπλωματικής, αλλά θα πρέπει να ληφθούν υπόψη προκειμένου να γίνουν οι σωστές παραδοχές και υποθέσεις και τελικά να επιτευχθεί μια αξιόλογη εφαρμογή.

4.3 Μεθοδολογία

Παρακάτω αναγράφεται μια συνοπτική παρουσίαση των βημάτων μεθοδολογίας, ενώ αργότερα αναλύεται το κάθε μέρος της:

1. Κατασκευή παραλλαγής του αλγορίθμου Negative Selection Algorithm με Real-valued Representation (RNSA)
2. Προεργασίες κατασκευής των ασφαλών καταστάσεων (self)
3. Προσδιορισμός της περιοχής self
4. Κατασκευή των ανιχνευτών

5. Πρόσδοση πληροφοριών στους ανιχνευτές
6. Εισαγωγή των τεστ σημείων για την αξιολόγηση του αλγορίθμου
7. Εξέταση αποτελεσμάτων σε σχέση με το αναμενόμενο αποτέλεσμα

4.3.1 Κατασκευή παραλλαγής του αλγορίθμου RNSA

Ο αλγόριθμος Negative Selection με Real-valued Representation και Variable sized detectors έχει ως κύριο στόχο την πλήρη κάλυψη του χώρου γύρω από το self, μειώνοντας όσο το δυνατόν τον αριθμό των ανιχνευτών. Αυτό συμβαίνει, επιτρέποντας την κατασκευή πολύ μεγάλων ανιχνευτών οι οποίοι καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος του χώρου. Ως αποτέλεσμα, τα σημεία που βρίσκονται εντός των ανιχνευτών παύουν να έχουν κοινά χαρακτηριστικά και ιδιότητες και τελικά δεν υπάρχει η δυνατότητα πρόσδοσης πληροφοριών στους ανιχνευτές και χρησιμεύουν μόνο για την απλή ανίχνευση [34]. Ο αποκλεισμός αυτής της δυνατότητας οδήγησε στην ιδέα της εφαρμογής μιας τροποποίησης στον αλγόριθμο.

Τροποποίηση υπολογισμού ακτίνας ανιχνευτών

Εάν η ακτίνα των ανιχνευτών καταχωρείται ως η απόσταση από το πιο κοντινό self, όπως γίνεται στον πρωτότυπο αλγόριθμο Variable sized detectors [32], τότε δεν μπορεί να υπάρξει περιορισμός στο μέγεθός τους και τελικά απόδοση πληροφοριών. Συνεπώς, στην εργασία εφαρμόστηκε μια τροποποίηση στον υπολογισμό της ακτίνας. Αρχικά, η διαδικασία δεν αλλάζει. Εφόσον το τυχαίο σημείο που επιλέγεται δεν βρίσκεται εντός περιοχής self ή ανιχνευτή, φτιάχνεται ανιχνευτής με κέντρο το σημείο αυτό και ακτίνα την απόσταση από το κοντινότερο σημείο self. Αυτή ωστόσο δεν είναι η τελική ακτίνα. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται έλεγχος των αποστάσεων του σημείου με όλους τους ανιχνευτές και καταχωρείται εκ νέου η ακτίνα ως η απόσταση από τον κοντινότερο ανιχνευτή, με βασική προϋπόθεση η απόσταση αυτή να είναι μικρότερη από την αρχική ακτίνα. Τέλος, γίνεται έλεγχος του μεγέθους της ακτίνας. Αν η ακτίνα βρίσκεται εκτός των επιτρεπόμενων ορίων, το σημείο απορρίπτεται και η διαδικασία επαναλαμβάνεται από την αρχή.

Αξίζει να σημειωθούν οι παρακάτω λεπτομέρειες:

- Όπως αναφέρθηκε, η αρχική ακτίνα ορίζεται ως η απόσταση από το κοντινότερο self. Αν d_1 θεωρηθεί η απόσταση του τυχαίου επιλεχθέντος

σημείου από το δείγμα self τότε η αρχική ακτίνα r_{d1} του ανιχνευτή λαμβάνει την τιμή:

$$r_{d1} = d_1 - r_s$$

όπου r_s η ακτίνα του self σημείου.

Αν θεωρηθεί λανθασμένα ότι $r_{d1} = d_1$, θα υπάρχει overlapping στην περιοχή self.

- Η ίδια λογική στην διορθωμένη ακτίνα δε λειτουργεί. Αν δεν επιτραπεί ένα μικρό overlapping μεταξύ των ανιχνευτών, ο αλγόριθμος δεν τερματίζει ποτέ σε ορισμένες περιπτώσεις. Ακόμα και στον δισδιάστατο χώρο παρουσιάζει πρόβλημα λόγω των περιορισμών που επιβάλλονται. Για παράδειγμα, διάφοροι μικροί χώροι δεν καλύπτονται ποτέ. Λόγω της μηδενικής ανεκτικότητας σε overlapping, η ακτίνα μικραίνει πολύ και πέφτει εκτός των ορίων, με αποτέλεσμα την απόρριψη του ανιχνευτή. Παράλληλα δεν έχει καλυφθεί ο απαιτούμενος χώρος και ο αλγόριθμος δεν τερματίζει. Κατά συνέπεια, είναι απαραίτητο να επιτραπεί ένα μικρό overlapping. Αυτό μπορεί να γίνει πολλαπλασιάζοντας την απόσταση με έναν συντελεστή m . Γίνεται η θεώρηση ότι οι τιμές του συντελεστή μπορούν να κινούνται στο διάστημα $[1,2-1,5]$. Η σχέση γίνεται:

$$r_{d2} = m * (d_2 - r_{dp})$$

όπου r_{d2} η διορθωμένη ακτίνα, d_2 η απόσταση των κέντρων των ανιχνευτών και r_{dp} η ακτίνα του ήδη υπάρχοντος ανιχνευτή.

Συνολική Λειτουργία Αλγορίθμου

Παρακάτω συνοψίζονται όλα τα βήματα του αλγορίθμου.

1. Εισαγωγή σημείων self και παραμέτρων αλγορίθμου
2. Επιλογή τυχαίου σημείου στο χώρο και έλεγχος της θέσης του
3. Καταχώρηση αρχικής ακτίνας με βάση το self
4. Υπολογισμός της απόστασης από κάθε υπάρχον ανιχνευτή
5. Διόρθωση ακτίνας με βάση τους υπόλοιπους ανιχνευτές
6. Έλεγχος του μεγέθους της ακτίνας
7. Επανάληψη της διαδικασίας μέχρι να ικανοποιηθούν τα κριτήρια τερματισμού
8. Καθορισμός συνόλου των ανιχνευτών – Τερματισμός βασικού μέρους αλγορίθμου

9. Αξιολόγηση αλγορίθμου με τα κριτήρια detection rate και false alarm rate
10. Πρόσδοση πληροφοριών στους ανιχνευτές

4.3.2 Προεργασίες κατασκευής των ασφαλών καταστάσεων (self)

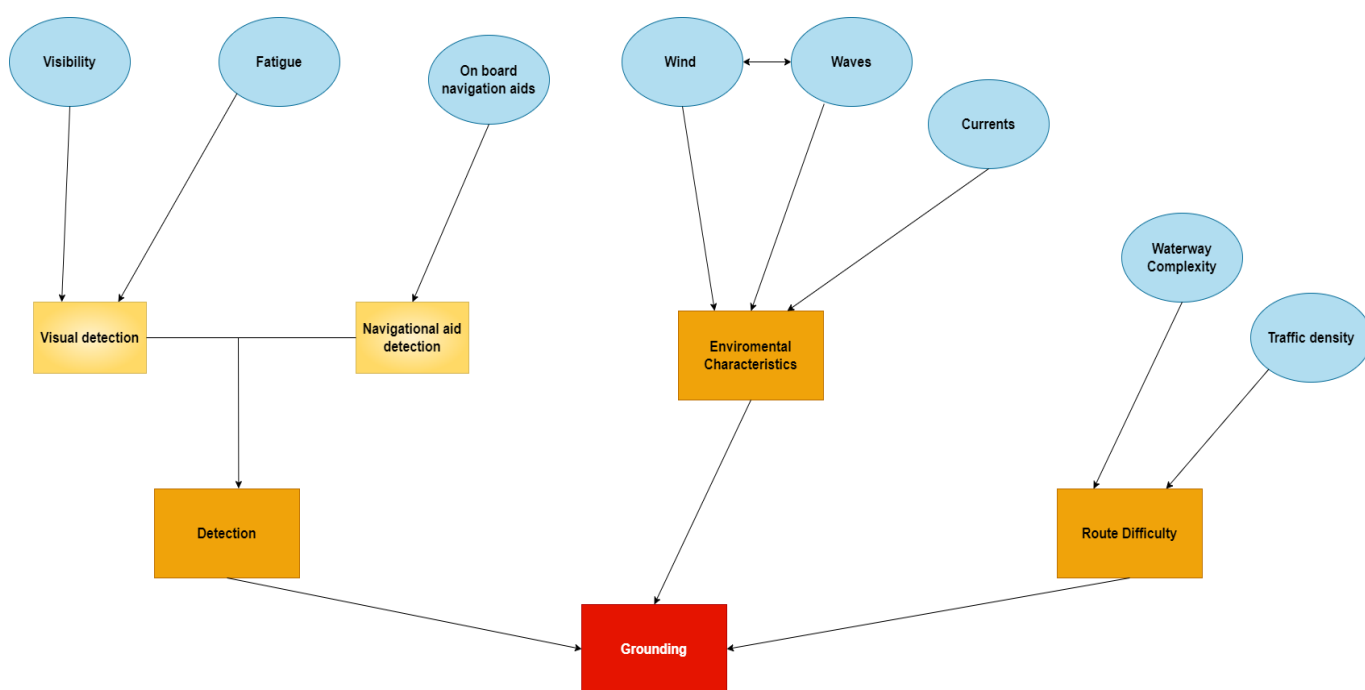
Προκειμένου να γίνει η ζητούμενη εφαρμογή, θα πρέπει να προηγηθεί μια προεργασία, η οποία αφορά τον καθορισμό των παραμέτρων που δέχεται ως δεδομένα ο αλγόριθμος. Η πιο σημαντική παράμετρος είναι το self. Το πρώτο βήμα αφορά τους παράγοντες, από τους οποίους θα πρέπει να καθοριστούν όσοι θα ληφθούν υπόψιν, να προσδιοριστούν τα σύνολα τιμών τους και οι μονάδες μέτρησης, να γίνει μια ορθολογική κατηγοριοποίηση, να ποσοτικοποιηθούν καταλλήλως για να ενταχθούν στον αλγόριθμο και τέλος να οριστούν τα κριτήρια κατασκευής του self.

4.3.2.1 Παράγοντες ρίσκου

Η εύρεση και η ανάλυση των παραγόντων ρίσκου έχει προηγηθεί στο 2^ο κεφάλαιο. Ωστόσο, όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, η ένταξη όλων των παραγόντων ρίσκου στο σύστημα παρουσιάζει δυσκολίες λόγω των υψηλών διαστάσεων. Σύμφωνα με τους Zhou et al. [33], όταν οι διαστάσεις είναι πάνω από 5 υπάρχει πρόβλημα στην αποτελεσματικότητα του αλγορίθμου. Συνεπώς, πρέπει να γίνει μία κατάλληλη επιλογή με τους πιο σημαντικούς παράγοντες και να επιλεγθούν 2-5 παράγοντες ανά σύστημα. Για τη διευκόλυνση της επιλογής πραγματοποιήθηκε μια νέα κατηγοριοποίηση των παραγόντων. Παρατηρήθηκε ότι οι παράγοντες ανάλογα με την συνεισφορά τους μπορούν να χωριστούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

1. **Δυσκολία διαδρομής:** Είναι οι παράγοντες που σχετίζονται με την γεωγραφική περιοχή που πλέει το πλοίο και τα χαρακτηριστικά της.
2. **Ατμοσφαιρικοί - περιβαλλοντικοί παράγοντες:** Αφορά τους παράγοντες που συνδέονται με το περιβάλλον και δυσκολεύουν την κατάσταση πλεύσης του πλοίου. Μπορεί να προκαλέσουν απώλεια ελεγχσιμότητας του πλοίου και να το παρασύρουν εκτός πορείας.
3. **Ανίχνευση κινδύνου:** Αφορά όλους τους παράγοντες που συνεισφέρουν στην έγκαιρη ή μη ανίχνευση του κινδύνου.

Αναφορικά με τις τρεις κατηγορίες επιλέχθηκαν ορισμένοι παράγοντες, υποθέτοντας με βάση τη βιβλιογραφία αλλά και τη κοινή λογική τους πιο σημαντικούς. Σημειώνεται ότι η δημιουργία της νέας κατηγοριοποίησης αποσκοπεί στην εφαρμογή του αλγορίθμου τρεις φορές, παράγοντας τρία ανεξάρτητα μεταξύ τους συστήματα. Η ιδέα της δημιουργίας πολλών self κατασκευάζοντας σύνολα ανιχνευτών ίδιου αριθμού, [35], αντιμετωπίζει επιτυχώς το πρόβλημα των υψηλών διαστάσεων. Στο σχήμα 3 απεικονίζεται η νέα κατηγοριοποίηση.



Σχήμα 3. Τελικοί παράγοντες – Νέα ομαδοποίηση

Δυσκολία διαδρομής

Στην Κατηγορία Α η εφαρμογή είναι εύκολη, καθώς οι παράγοντες είναι μόνο δύο και είναι οι εξής:

1. Πολυπλοκότητα διαδρομής
2. Πυκνότητα κυκλοφορίας πλοίων

Η πολυπλοκότητα διαδρομής πρόκειται για το αποτέλεσμα ενός συνόλου παραγόντων ρίσκου και προκύπτει από την εκτίμηση ειδικών. Η ερμηνεία του παράγοντα διαλευκαίνεται περισσότερο στην επόμενη υποενότητα όπου επεξηγείται ο τρόπος ποσοτικοποίησής του.

Ατμοσφαιρικοί - περιβαλλοντικοί παράγοντες

Στην Κατηγορία Β περιλαμβάνονται οι ατμοσφαιρικοί – περιβαλλοντικοί παράγοντες και είναι οι εξής:

1. Άνεμοι
2. Κύματα
3. Ρεύματα

Οι παράγοντες είναι μόνο τρεις και δεν υπάρχει πρόβλημα στη λειτουργία του αλγορίθμου. Συνεπώς μπορούν να συνυπολογιστούν όλοι.

Ανίχνευση κινδύνου

Η ανίχνευση του κινδύνου μπορεί να γίνεται είτε οπτικά είτε με τη βοήθεια ειδικού εξοπλισμού στη γέφυρα. Οι παράγοντες που συνεισφέρουν στον εντοπισμό του κινδύνου οπτικά είναι:

1. Ορατότητα
2. Οπτικό πεδίο από τη γέφυρα – σχεδίαση
3. Αριθμός ατόμων στη γέφυρα
4. Κούραση και άγχος των επιβλεπόντων
5. Ώρα της ημέρας

Οι παράγοντες που συνεισφέρουν στον εντοπισμό του κινδύνου με τη βοήθεια εξοπλισμού εμπεριέχονται όλοι μαζί σε έναν παράγοντα, τα βοηθήματα πλοήγησης του πλοίου.

Συνολικά οι παράγοντες είναι αρκετοί και όπως αναλύθηκε, ο αλγόριθμος παρουσιάζει προβλήματα σε υψηλές διαστάσεις. Ανάμεσα σε αυτούς, σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση του κεφαλαίου 1, υπάρχουν δύο παράγοντες που υπάγονται στους ανθρώπινους παράγοντες, δύο είναι ατμοσφαιρικοί παράγοντες και δύο παράγοντες που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά του πλοίου. Αποφασίστηκε να συνυπολογιστούν μόνο ένας από κάθε κατηγορία. Οι παράγοντες που επιλέχθηκαν τελικά να συνθέσουν την Κατηγορία Γ είναι:

1. Ορατότητα
2. Κούραση και άγχος επιβλεπόντων
3. Βοηθήματα πλοήγησης

Ωστόσο, ο τελικός στόχος, η εκτίμηση του ρίσκου, είναι μια συνάρτηση όλων των παραγόντων. Με άλλα λόγια, τα τρία συστήματα συνυπάρχουν και συνεισφέρουν όλα μαζί στο κοινό αποτέλεσμα. Συνεπώς, είναι σκόπιμο να δημιουργηθούν κι άλλα συστήματα τα οποία θα επιτρέπουν την αλληλεπίδραση παραγόντων από διαφορετικές κατηγορίες. Τελικά, επιλέχθηκε η δημιουργία των παρακάτω 2 συστημάτων-κατηγοριών:

Κατηγορία Δ (A+B)

1. Πολυπλοκότητα διαδρομής
2. Πυκνότητα κυκλοφορίας πλοίων
3. Άνεμοι
4. Κύματα
5. Ρεύματα

Κατηγορία Ε (A+Γ1)

1. Πολυπλοκότητα διαδρομής
2. Πυκνότητα κυκλοφορίας πλοίων
3. Ορατότητα

Η κατηγορία Δ συνδυάζει τους παράγοντες που σχετίζονται με την δυσκολία της διαδρομής με τους ατμοσφαιρικούς παράγοντες, ενώ η κατηγορία Ε συνδυάζει τους παράγοντες που σχετίζονται με την δυσκολία της διαδρομής με την ορατότητα, η οποία με τη σειρά της σχετίζεται με την ανίχνευση του κινδύνου.

4.3.2.2 Ποσοτικοποίηση παραγόντων και καθορισμός ορίων self

Σε αυτήν την υποενότητα παρουσιάζεται η ποσοτικοποίηση των παραγόντων, η οποία περιλαμβάνει την απόδοση τιμών στα μεγέθη, τον προσδιορισμό των μονάδων μέτρησης, τον καθορισμό του συνόλου τιμών τους και τη συσχέτιση των τιμών με το ρίσκο, η οποία βοηθάει τον προσδιορισμό των ασφαλών καταστάσεων λειτουργίας. Πρόκειται για ιδιαίτερος απαραίτητο μέρος της προεργασίας για να γίνει η εφαρμογή στον αλγόριθμο. Παρακάτω ακολουθεί ο Πίνακας 2 με όλα τα στοιχεία συνολικά για όλους τους παράγοντες.

Πίνακας 2. Κατηγορίες Α,Β,Γ

Κατηγορία	Παράγοντας ρίσκου	Μονάδα μέτρησης	Σύνολο τιμών	Κλίμακα ρίσκου	Άνω όριο	Συνδυαστικά όρια
Α	Waterway Complexity	-	[0,10]	[0,3] Low [3-5] Moderate [5,7] High [7,10] Very High	WCI > 7 Danger	Av $5 \leq \text{WCI} \leq 7$ && $5 \leq \text{TD} \leq 7$ → Danger
	Traffic density	-	[0,10]	[0,3] Low (3,5) Moderate [5,7] High (7,10) Very High	TD > 7 Danger	
Β	Wind	knots	[0,50]	[0,10] Low [11,21] Moderate [22,33] High [33,50] Very High	W > 33 Danger	Av $22 \leq W \leq 33$ H $3,5 \leq \text{Wa} \leq 5,5$ && $0,5 \leq \text{Curr} < 1,5$ → Danger
	Waves	m	[0,10]	[0,1.2] Low [1.2,3] Moderate [3,5.5] High [5.5,10] Very High	Wa > 5.5 Danger	
	Currents	m/s	[0,3]	[0.05,0.15] Low [0.2,0.5] Moderate [0.5,1.5] High [1.5,3] Very High	Curr ≥ 1.5 Danger	
Γ	Visibility	km	[0,6]	[4,6] Low [2,4] Moderate [1,2] High [0,1] Very High	Vis < 1 Danger	Av Vis < 2 && Obna < 8 → Danger
	On board navigation aids	-	[0,10]	[8,10] Low [5,8] Moderate [0,5] High	Obna < 5 Danger	
	Fatigue	Rest hours	[0,12]	[10,12] No Risk [0,10] High	F < 10 Danger	

Σημειώσεις – Διευκρινήσεις:

- Κλίμακα ρίσκου

Τα διαστήματα των συνόλων τιμών χωρίζονται ανάλογα με την εκτίμηση ρίσκου. Η κλίμακα έχει κατά κανόνα 4 υποδιαστήματα, Low, Moderate, High, Very High Risk. Οι εκτιμήσεις των ορίων των διαστημάτων έγιναν με βάση τη βιβλιογραφία αλλά και τη λογική.

- Οι δύο τελευταίες στήλες του Πίνακα 3 αποτελούν τα κριτήρια κατασκευής του self. Πρόκειται για το άνω όριο και τα συνδυαστικά όρια μεταξύ των παραγόντων.

- Άνω όριο

Κάθε παράγοντας έχει ένα άνω όριο. Αν σε μια κατάσταση λειτουργίας ένας παράγοντας υπερβαίνει το άνω όριο τότε η κατάσταση θεωρείται αυτομάτως επικίνδυνη. Τα άνω όρια προέκυψαν από βιβλιογραφία και λογικές υποθέσεις.

- Συνδυαστικά όρια

Οι παράγοντες που ανήκουν στην ίδια κατηγορία έχουν κοινή συνεισφορά ως προς την εκτίμηση του ρίσκου. Συνεπώς, είναι εφικτό να προκύψει επικίνδυνη κατάσταση, αν 2 ή 3 παράγοντες έχουν υψηλές τιμές/οριακά επικίνδυνες, χωρίς να υπερβαίνουν τα άνω όριά τους. Στη τελευταία στήλη αναγράφονται τα συνδυαστικά όρια που υποτέθηκαν για κάθε κατηγορία. Τονίζεται ότι τα συνδυαστικά όρια πρόκειται για λογικές υποθέσεις που έγιναν στο πλαίσιο της εργασίας με στόχο την καλύτερη περιγραφή της ασφαλούς και επικίνδυνης περιοχής.

- Άνεμοι και κύματα

Για την επιλογή του άνω ορίου σε αυτούς τους παράγοντες χρησιμοποιήθηκε η κλίμακα Beaufort και η αντιστοιχία της με τα warning flags, [36].

- Θαλάσσια ρεύματα

Για τα θαλάσσια ρεύματα έγινε μια υπόθεση ότι για ταχύτητες άνω των 1,5 m/s έχουμε επικίνδυνη κατάσταση ενώ για τιμές από 0,5 μέχρι 1,5 θεωρήθηκε επικίνδυνη κατάσταση υπό συνθήκες (συνδυαστικό όριο).

- Ορατότητα

Δεν υπάρχει ένα κοινώς αποδεκτό όριο για την ορατότητα στη βιβλιογραφία. Λαμβάνοντας υπόψιν διάφορες απόψεις,(βλ. για παράδειγμα [15], [16]), τελικά επιλέχθηκε να οριστεί ρητά ως μη αποδεκτή η ορατότητα

κάτω του ενός χιλιομέτρου και υπό συνθήκες (συνδυαστικό όριο) μη αποδεκτή η ορατότητα μεταξύ ενός και δύο χιλιομέτρων.

- Πυκνότητα κυκλοφορίας

Η πυκνότητα κυκλοφορίας καθορίζεται για ένα δεδομένο πλοίο αναφορικά με τη τοποθεσία του και σύμφωνα με Montewka et. al [37], σχετίζεται με τις εξής τρεις παραμέτρους:

1. Την απόσταση από το κοντινότερο πλοίο, (CPA, Closest Point of Approach)
2. τον αντίστοιχο χρόνο που χρειάζεται το πλοίο για να διανύσει την παραπάνω απόσταση, (TCPA, Time to the Closest Point of Approach),
3. τον αριθμό των πλοίων που βρίσκονται τριγύρω.

Αρχικά, θεωρήθηκε ότι η περιοχή που μας απασχολεί αναφορικά με την πυκνότητα κυκλοφορίας είναι μέχρι και 6 ναυτικά μίλια μακριά από το υπό μελέτη πλοίο, [37]. Επίσης, σημειώνεται ότι στη μελέτη [37], γίνεται διάκριση αναφορικά με τον τύπο της προβλεπόμενης συνάντησης των πλοίων (γωνία συνάντησης), όμως στην παρούσα εργασία αγνοείται η επιρροή της γωνίας συνάντησης.

Οι τιμές των ορίων των δύο πρώτων παραμέτρων σχετικά με το επίπεδο δυσκολίας (ρίσκου) παρουσιάζονται στον Πίνακα 3, [37].

Πίνακας 3. Παράμετροι πυκνότητας κυκλοφορίας

Level of difficulty (Lod)	CPA	TCPA
1	CPA > 1 NM	TCPA > 18 min
2	1 NM >= CPA > 0,5 NM	18 min >= TCPA > 12 min
3	0,5 NM >= CPA > 0,1 NM	12 min >= TCPA > 6 min
4	0,1 NM >= CPA	6 min >= TCPA

Οι παράμετροι CPA, TCPA συνδέονται μεταξύ τους αλλά δεν είναι απαραίτητο να βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο δυσκολίας. Με άλλα λόγια, είναι εφικτό σε μία κατάσταση λειτουργίας οι δύο παράμετροι να βρίσκονται σε άλλο επίπεδο δυσκολίας. Το συνολικό επίπεδο δυσκολίας (Level of Difficulty, LoD) συσχετίζεται με τις δύο παραμέτρους και προκύπτει σύμφωνα με τον Πίνακα 4, [37].

Πίνακας 4. Συνολικό επίπεδο δυσκολίας για τις παραμέτρους TCPA και CPA συνδυαστικά.

TCPA, CPA	1	2	3	4
1	LoD I	LoD I	LoD I	LoD I
2	LoD I	LoD II	LoD II	LoD II
3	LoD I	LoD II	LoD III	LoD IV
4	LoD I	LoD III	LoD IV	LoD V

Τέλος, το συνολικό επίπεδο ρίσκου για τον παράγοντα προκύπτει συνυπολογίζοντας την τρίτη παράμετρο και καθορίζεται σύμφωνα με τον Πίνακα 5, [37].

Πίνακας 5. Συνολικό επίπεδο ρίσκου για τον παράγοντα της πυκνότητας κυκλοφορίας.

Παράμετροι	Επίπεδο ρίσκου	Τιμές Παράγοντα
Απουσία πλοίων εντός των 6 ναυτικών μιλίων ή ύπαρξη πλοίων στο LoD I.	Πολύ χαμηλό Ρίσκο	0-1
Ύπαρξη πλοίων στο LoD II.	Χαμηλό Ρίσκο	1-3
Ύπαρξη 1-5 πλοίων στο LoD III.	Μεσαίο Ρίσκο	3-5
Ύπαρξη 5-10 πλοίων στο LoD III και/ή ύπαρξη 1-5 πλοίων στο LoD IV.	Υψηλό Ρίσκο	5-8
Όλες οι υπόλοιπες περιπτώσεις όπως για παράδειγμα, ύπαρξη άνω των 10 πλοίων στο LoD III ή LoD IV ή ύπαρξη 1+ πλοίων στο LoD V.	Πολύ Υψηλό Ρίσκο	8-10

- Βοηθήματα πλοήγησης

Τα βοηθήματα πλοήγησης είναι ένας παράγοντας που δεν μπορεί να μετρηθεί με τη βοήθεια κάποιου φυσικού μεγέθους. Συνεπώς, υποτέθηκε ένα σύνολο τιμών [0-10], το οποίο πρόκειται ουσιαστικά για τη βαθμολογία τους ως προς τη λειτουργικότητά τους. Φυσικά, η εκτίμηση της ποιότητας των βοηθημάτων πλοήγησης γίνεται από κάποιον ειδικό. Στον Πίνακα 6 σημειώνεται ένας ενδεικτικός τρόπος αξιολόγησης των βοηθημάτων πλοήγησης, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε στην εργασία.

Πίνακας 6. Κλίμακα ρίσκου για βοηθήματα πλοήγησης

Παράγοντας Ρίσκου	Κλίμακα Ρίσκου	Κριτήριο Αξιολόγησης
-------------------	----------------	----------------------

On board navigation aids	[8,10] Low Risk	Υπάρχει κατάλληλος εξοπλισμός αλλά δεν υπάρχει εξοικείωση του πληρώματος με αυτόν.
	[5,8] Moderate Risk	Ο εξοπλισμός είναι απαρχαιωμένος και παλαιάς τεχνολογίας.
	[0,5] High Risk	Απουσιάζει ή δυσλειτουργεί ένα σημαντικό ηλεκτρονικό ή μη εξάρτημα.

- Πολυπλοκότητα Διαδρομής

Η πολυπλοκότητα διαδρομής είναι επίσης ένας παράγοντας που δεν μπορεί να μετρηθεί χρησιμοποιώντας ένα συγκεκριμένο φυσικό μέγεθος, αλλά είναι ένα αποτέλεσμα πολλών παραμέτρων. Οι Montewka και Manderbaka στην έρευνά τους, [37], χρησιμοποίησαν τον παράγοντα της πολυπλοκότητας της διαδρομής. Τα μεγέθη που διαμόρφωναν την πολυπλοκότητα ήταν ο χρόνος και η απόσταση από την ακτή. Στον Πίνακα 7 απεικονίζονται οι τιμές του εν προκειμένω παράγοντα ανάλογα με τα μεγέθη που τον επηρεάζουν.

Πίνακας 7. Κλίμακα ρίσκου πολυπλοκότητας διαδρομής

Distance / Time	Waterway Complexity for shallow waters on one side	Waterway Complexity for shallow waters on both sides
>3 nm / (20-40) min	Low (0,2)	Low (1,3)
(2-3) nm / (10-20) min	Moderate (3,5)	High (5,6)
(1-2) nm / (6-10) min	High (6,7)	High (7,8)
(0-1) nm / (0-6) min	Very High (8,9)	Very High (9,10)

Επιπροσθέτως, οι Mazaheri και Montewka [38] ζητώντας από ειδικούς να βαθμολογήσουν συγκεκριμένες διαδρομές κατέληξαν στους εξής σημαντικότερους παράγοντες:

- 1) «Βύθισμα και μέγεθος πλοίου σε σχέση με τον διαθέσιμο χώρο
- 2) Η ανάγκη για μείωση ταχύτητας του πλοίου κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες
- 3) Πλάτος διαδρομής, ειδικά όταν είναι διπλής κατεύθυνσης
- 4) Αριθμός στροφών και το μέγεθος της αλλαγής πορείας
- 5) Το πλάτος της διαδρομής αμέσως μετά τη στροφή

6) *Υπαρξη σήμανση διαδρομής ιδίως όταν απαιτείται αλλαγή πορείας»*

Αποφασίστηκε στην παρούσα εργασία να χρησιμοποιηθεί η λογική της πρώτης μελέτης [37] κατά κύριο λόγο, ενώ οι παράγοντες της δεύτερης θα λαμβάνονται υπόψιν σε ένα γενικότερο πλαίσιο. Αν για παράδειγμα μια διαδρομή έχει πολλές στροφές ή αν παρατηρείται σημαντική έλλειψη σήμανσης, θα εξετάζεται το ενδεχόμενο αύξησης της τιμής του παράγοντα (επιλογή της μεγαλύτερης τιμής εκ των δύο, Πίνακας 7).

- Κόπωση

Σύμφωνα με τον κώδικα STCW, πρέπει κάθε μέλος του πληρώματος να έχει 10 ώρες ξεκούρασης την ημέρα για να αποφεύγονται λάθη λόγω εξάντλησης. [39]

Τέλος, στον Πίνακα 8 αναγράφονται τα συνδυαστικά όρια των κατηγοριών Δ και Ε, ενώ στο Παράρτημα Α παρουσιάζονται οι πίνακες ρίσκου για τις 5 κατηγορίες.

Πίνακας 8. Κατηγορίες Δ και Ε

Συνδυαστικά Κατηγορίες	Συνδυαστικά όρια	
A + B	$Av\ 5 \leq WCI \leq 7$ $\&\&$ $22 \leq W \leq 33$ H	Restricted Waters + High Winds H
	$Av\ 5 \leq WCI \leq 7$ $\&\&$ $3,5 \leq Wa \leq 5,5$ $Danger$	Restricted Waters + High Waves
	$Av\ 5 \leq WCI \leq 7$ $\&\&$ $0,5 \leq Curr \leq 1,5$ $Danger$	Restricted Waters + High Currents
	$Av\ 5 \leq WCI \leq 7$ $\&\&$ $5 \leq TD \leq 7$ $Danger$	Restricted Waters + Heavy Traffic
	$Av\ 22 \leq W \leq 33$ H	High Winds H

	$3,5 \leq Wa \leq 5,5$ && $0,5 \leq Curr \leq 1,5$ Danger	High Waves + High Currents
	$Av \ 5 \leq TD \leq 7$ && $22 \leq W \leq 33$ H $Av \ 5 \leq TD \leq 7$ && $3,5 \leq Wa \leq 5,5$ Danger	Heavy Traffic + High Winds H Heavy Traffic + High Waves
	$Av \ 5 \leq TD \leq 7$ && $0,5 \leq Curr \leq 1,5$ Danger	Heavy Traffic + High Currents
A + Visibility	$Av \ Vis < 2$ && $TD \geq 7$ Danger	Restricted Visibility + Very Heavy/ Heavy Traffic (Limit 1)
	$Av \ Vis < 2$ && $TD \geq 5$ && $WCI \geq 5$ Danger	Restricted Visibility + Moderate/Heavy Traffic + Restricted Waters (Limit 2)
	$Av \ 2 < Vis < 4$ && $TD \geq 7$ && $WCI \geq 5$ Danger	Limited Visibility + Very Heavy/ Heavy Traffic + Restricted Waters (Limit 3)
	$Av \ Vis < 2$ && $WCI \geq 7$ Danger	Restricted Visibility + Enclosed Waters (Limit 4)

	$Av\ 2 < Vis < 4$ && $TD \geq 5$ && $WCI \geq 7$ Danger	Limited Visibility + Moderate/Heavy Traffic + Enclosed Waters (Limit 5)
	$Av\ TD \geq 7$ && $WCI \geq 7$ Danger	Unlimited Visibility + Very Heavy/ Heavy Traffic + Restricted or Enclosed Waters (Limit 6)
	$Av\ Vis < 1$ Danger	Extremely Low Visibility (Limit 7)
	$Av\ WCI \geq 9$ Danger	Extremely Dangerous Waterway (Limit 8)
	$Av\ TD \geq 9$ Danger	Extremely High Traffic (Limit 9)

Κανονικοποίηση σημείων self

Ένα τελευταίο ζήτημα πριν την εισαγωγή των σημείων self στο σύστημα είναι το γεγονός ότι οι τιμές των παραγόντων κινούνται σε τελείως διαφορετικά διαστήματα με αποτέλεσμα να υπάρχει πρόβλημα κατά την εφαρμογή, ιδίως όταν για παράδειγμα οι παράγοντες στο ίδιο σύστημα έχουν διαφορετικά πεδία ορισμού. Ωστόσο, η λύση του θέματος είναι εύκολη, καθώς μπορεί να γίνει κανονικοποίηση και οι παράγοντες να ορίζονται στα ίδια διαστήματα. Με κατάλληλο πολλαπλασιασμό γίνεται αντιστοίχιση κάθε τιμής κάθε παράγοντα στο επιλεγθέν διάστημα εφαρμογής. Αποφασίστηκε να γίνει η εφαρμογή στο διάστημα [0-10]. Για παράδειγμα, αν ένας παράγοντας ορίζεται στο διάστημα [0-5], κάθε τιμή του θα πολλαπλασιάζεται επί 2, ενώ αντίστοιχα αν ορίζεται στο [0-20] θα διαιρείται με το 2. Με την ολοκλήρωση της κανονικοποίησης, είναι εφικτό πλέον να γίνει η εισαγωγή των σημείων self στον αλγόριθμο.

Έχοντας παρουσιάσει όλους τους παράγοντες, τις κατηγορίες στις οποίες υπάγονται αλλά και όλα τα κριτήρια κατασκευής του self, μπορεί πλέον να κατασκευαστεί η περιοχή του self. Ο καθορισμός των υπολοίπων παραμέτρων, της ακτίνας του self και του coverage, δεν είναι δεδομένος εκ των προτέρων και πρέπει να γίνει επαναληπτική βελτιστοποίηση με κάποιες αρχικές τιμές με τη βοήθεια των κριτηρίων αξιολόγησης του αλγορίθμου.

4.3.3 Προσδιορισμός της περιοχής self και κατασκευή ανιχνευτών

Στην πραγματικότητα, η ιδανική εφαρμογή επιζητά είτε πραγματικά δεδομένα ασφαλών καταστάσεων από πλοίο εν πλω είτε δεδομένα από κάποια προσομοίωση. Στην εργασία, λόγω έλλειψης δεδομένων, τα δείγματα self κατασκευάστηκαν μέσω τυχαίας δειγματοληψίας, με βάση τα κριτήρια που αναλύθηκαν στην υποενότητα 4.3.2.2, ώστε το επίπεδο του ρίσκου να μη χαρακτηρίζεται ως «danger». Ωστόσο, τονίζεται ότι η κατασκευή του self είναι αναγκαστική λύση. Συνεπώς, αν και στην εργασία τα δεδομένα κατασκευάζονται και μπορούν να είναι όσα χρειάζονται, στην πραγματικότητα δεν ισχύει αυτό και γι' αυτό το λόγο θεωρούνται πεπερασμένα.

Καθορισμός ακτίνας self και ορίων ακτίνας ανιχνευτών

Η ακτίνα του self συνήθως λαμβάνει μικρές τιμές, στο διάστημα [0.05-0.5], αν και η επιλογή της τιμής σχετίζεται άμεσα με την εκάστοτε εφαρμογή. Σε άλλες εφαρμογές γίνεται μια απλή υπόθεση, με επικρατέστερη την επιλογή του 0.1, ενώ σε άλλες όπως για παράδειγμα στην [32] εξετάζονται τα αποτελέσματα για διάφορες τιμές. Στη παρούσα διπλωματική, επειδή κάθε εφαρμογή γίνεται σε άλλες διαστάσεις έγινε βελτιστοποίηση των τιμών. Τα κριτήρια βελτιστοποίησης και οι επιθυμητές τιμές τους είναι τα παρακάτω:

- **Detection rate:** Απαιτούνται όσο το δυνατόν υψηλότερες τιμές.
- **False alarm rate:** Απαιτούνται μικρές τιμές, όσο πιο κοντά στο 0.
- **Έκταση self περιοχής και αριθμός δειγμάτων:** Τα δείγματα self πρέπει να καλύπτουν ικανοποιητικά την self περιοχή. Αν έχουμε μεγάλη περιοχή self αναφορικά με τα διαθέσιμα δείγματα τότε θα υπάρχουν κενά στη self περιοχή, επομένως η χρήση μεγαλύτερης ακτίνας θα καλύπτει τα κενά και θα μειώνει το false alarm rate (παράλληλα μικρή μείωση του detection rate). Στην αντίθετη περίπτωση, ενδείκνυται η επιλογή μικρότερης ακτίνας προκειμένου να μην γίνεται υπερεκτίμηση του self, [32]. Με άλλα λόγια, τα δείγματα που

βρίσκονται στα σύνορα φέρουν μεγαλύτερο σφάλμα στο σύστημα, καθώς υπερπηδούν στην nonself περιοχή, ιδίως όταν έχουν μεγάλη ακτίνα.

Παραδοχές

1. Κατασκευάστηκαν 3000 δείγματα self.
2. Θεωρήθηκε ικανοποιητικό 99,9% coverage.
3. Εξετάστηκαν ακτίνες self στο διάστημα [0,1-0,5].

Βελτιστοποίηση μεγέθους και ορίου ακτίνας

Η βελτιστοποίηση έγινε ξεχωριστά για κάθε κατηγορία.

4.3.3.1 Κατηγορία Α – Δυσκολία διαδρομής

Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει 2 διαστάσεις. Στον Πίνακα 9 απεικονίζονται τα αποτελέσματα για τις διάφορες τιμές των παραμέτρων που μας ενδιαφέρουν, ενώ ακολουθούν τα σχετικά διαγράμματα.

Πίνακας 9. Παράμετροι, Κατηγορία Α

Αριθμός δειγμάτων self	rs	coverage	Αριθμός ανιχνευτών	Detection rate	False alarm rate	Κάτω όριο ακτινών ανιχνευτών	Άνω όριο ακτινών ανιχνευτών
3000	0,1	0,999	100	90,50	0,27	[1-5]	[3-10]
3000	0,1	0,999	65	89,45	0,31	[1-5]	[4-12]
3000	0,1	0,999	49	87,38	0,26	[1-5]	[5-15]
3000	0,2	0,999	28	86,44	0	[1-5]	[3-10]
3000	0,3	0,999	15	79,67	0	[1-5]	[3-10]

Όρια ακτινών

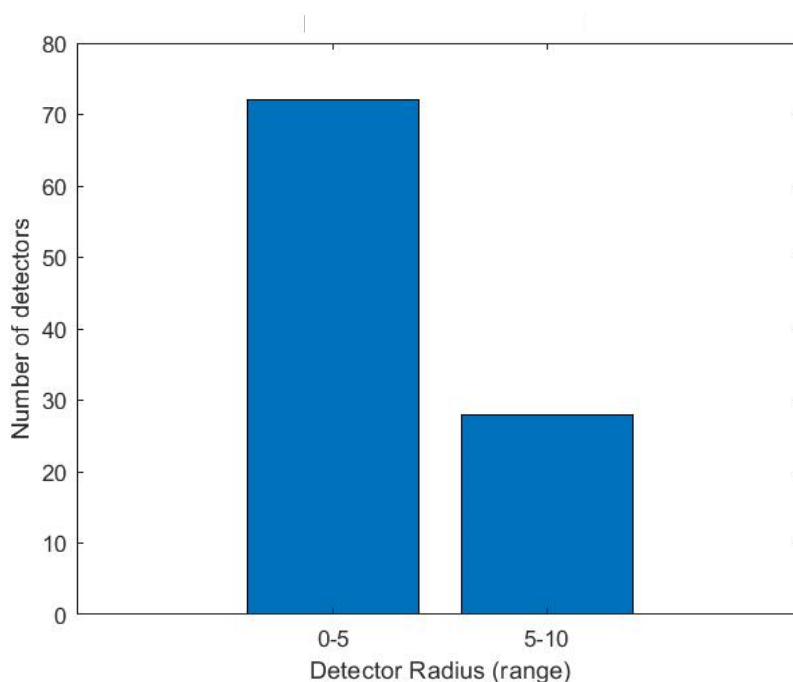
1. Αρχικά, οι αριθμοί που φαίνονται στα 2 διαστήματα είναι ως προς την ακτίνα του self. Για παράδειγμα, το διάστημα [1-5] σημαίνει ότι η επιτρεπόμενη ακτίνα του ανιχνευτή είναι από $1 * r_s = 1 * 0.1 = 0.1$ μέχρι $5 * r_s = 5 * 0.1 = 0.5$. Άρα, το πραγματικό διάστημα είναι το [0.1-0.5], ενώ το [1-5] είναι οι συντελεστές του r_s .
2. Επιπλέον, στον Πίνακα 9 φαίνονται δύο όρια ως διαστήματα. Το πρώτο διάστημα αφορά την περιοχή κοντά στα σύνορα του self με το nonself και το δεύτερο τις περιοχές μακριά. Είναι σκόπιμο, οι ανιχνευτές στα σύνορα να είναι

μικρότεροι για να καλύπτουν καλύτερα τις περιοχές οριακού κινδύνου. Αντιθέτως, μακριά από τα σύνορα απαιτούνται μεγαλύτεροι ανιχνευτές για την ευκολότερη κάλυψη του nonself χώρου.

3. Είναι σαφές ότι όσο μικρότερα όρια χρησιμοποιηθούν, τόσο περισσότεροι ανιχνευτές θα απαιτούνται για τη κάλυψη της nonself περιοχής.
4. Τέλος, εξετάστηκαν 3 επιλογές για όρια ανιχνευτών μακριά από τα σύνορα. Δεν φαίνεται να υπάρχουν μεγάλες διαφορές. Επιλέχθηκε το όριο [3-10], διότι έχει ελαφρώς καλύτερο detection rate αλλά και false alarm rate.

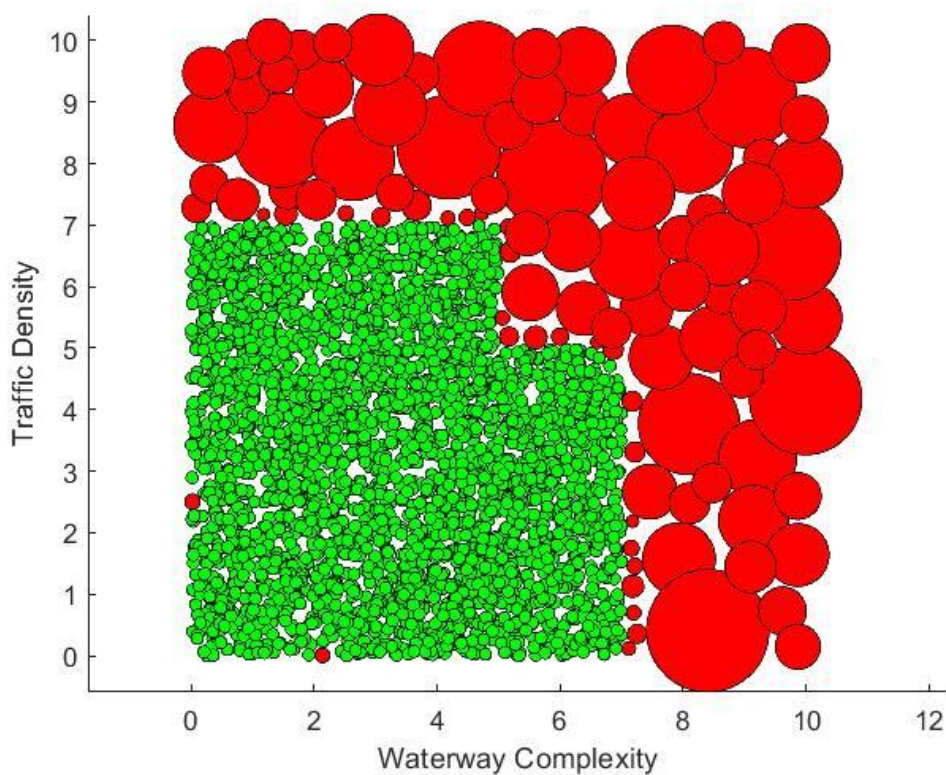
Γενικώς, προτιμάται η χρήση της μικρότερης δυνατής ακτίνας r_s . Ο λόγος είναι ότι όσο μεγαλύτερη είναι, τόσο χειρότερη συμπεριφορά υπάρχει στα σύνορα. Άμεσο αποτέλεσμα είναι η πτώση του detection rate, όπως φαίνεται στον Πίνακα 9.

Ακολούθως, στο Σχήμα 4 φαίνονται τα μεγέθη των ακτίνων των ανιχνευτών που τελικά κατασκευάστηκαν και χρησιμοποιήθηκαν στην εφαρμογή. Σημειώνεται ότι τα διαστήματα του άξονα x είναι οι συντελεστές της τιμής του r_s , δηλαδή το πρώτο διάστημα είναι ουσιαστικά το διάστημα $[0,5] * r_s = [0,0.5]$, ενώ το δεύτερο διάστημα είναι αντίστοιχα το $[5,10] * r_s = [0.5,1]$, κ.ο.κ. Συνεπώς, κατασκευάστηκαν 72 ανιχνευτές με ακτίνες μεταξύ $[0,0.5]$ και 28 ανιχνευτές στο $[0.5,1]$.



Σχήμα 4. Κατηγορία A, Εύρος ακτίνων των ανιχνευτών

Τέλος, στο Σχήμα 5 έχουμε μια απεικόνιση του συστήματος. Οι σχετικά μικροί πράσινοι κύκλοι αναπαριστούν τα δείγματα self, ενώ οι κόκκινοι είναι οι ανιχνευτές.



Σχήμα 5. Κατηγορία A, Self + Detectors

4.3.3.2 Κατηγορία B – Ατμοσφαιρικοί και Περιβαλλοντικοί παράγοντες

Στη δεύτερη κατηγορία υπάρχουν 3 παράγοντες, επομένως έχουμε 3 διαστάσεις. Όμοια με την πρώτη κατηγορία, ακολουθούν ο Πίνακας 10, τα σχετικά διαγράμματα και στη συνέχεια οι παρατηρήσεις.

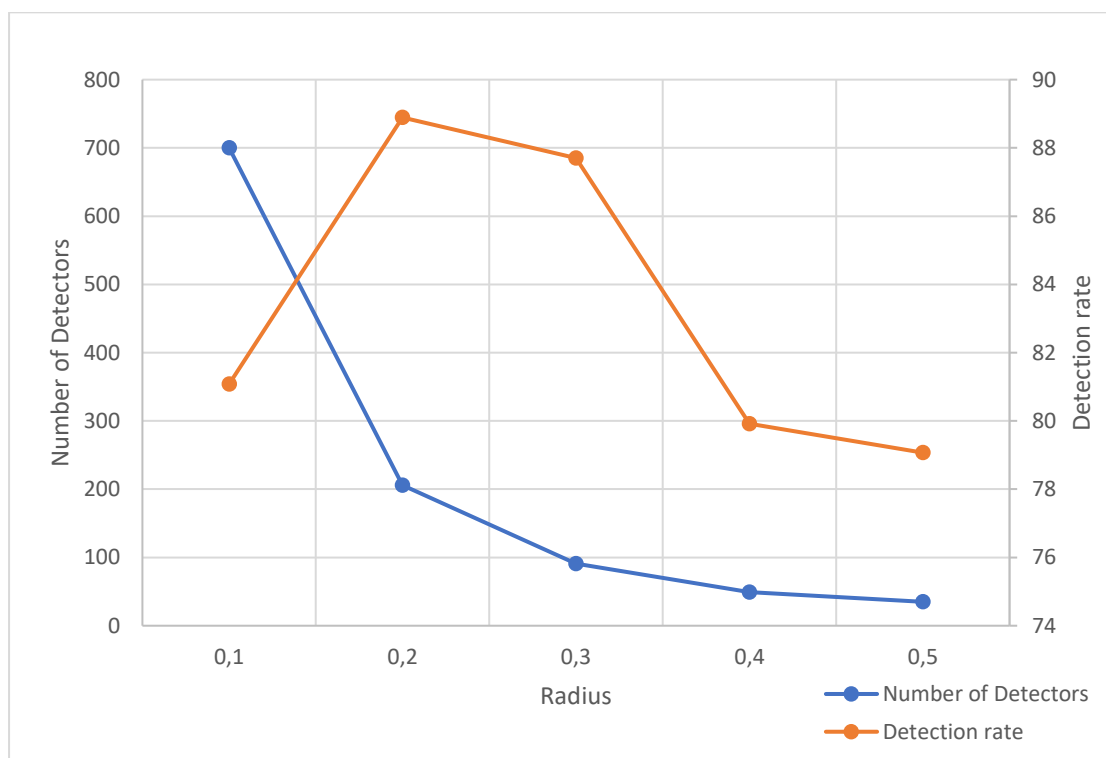
Πίνακας 10. Παράμετροι, Κατηγορία B

Αριθμός δειγμάτων self	rs	coverage	Αριθμός ανιχνευτών	Detection rate	False alarm rate	Κάτω όριο ακτινών ανιχνευτών	Άνω όριο ακτινών ανιχνευτών
3000	0,1	0,999	700	50,43	2,3	[1-5]	[3-10]
3000	0,1	0,999	700	81,08	5,74	[1-5]	[5-20]
3000	0,2	0,999	206	88,89	0,52	[1-5]	[5-20]

3000	0,3	0,999	91	87,7	0	[1-5]	[5-20]
3000	0,4	0,999	49	79,92	0	[1-5]	[5-20]
3000	0,5	0,999	35	79,07	0	[1-5]	[5-20]

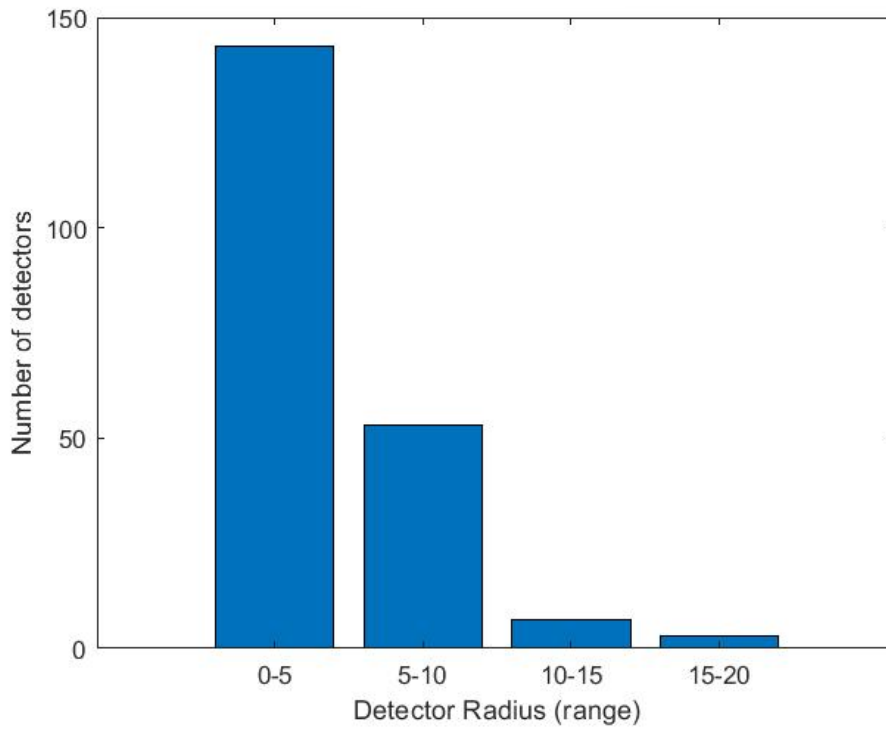
Στη πρώτη γραμμή του πίνακα 10 έχει γίνει η εφαρμογή με τις τιμές που χρησιμοποιήθηκαν στο δισδιάστατο χώρο. Παρατηρείται ότι το detection rate λαμβάνει πολύ χαμηλές τιμές, το false alarm rate είναι κοντά στο 2, ενώ οι ανιχνευτές έφτασαν το άνω όριο (700), κριτήριο τερματισμού του αλγορίθμου. Η τιμή του detection rate δείχνει ότι απαιτείται η κατασκευή πολλών περισσότερων ανιχνευτών για την κάλυψη της nonself περιοχής. Είναι σαφές ότι οι ανιχνευτές είναι πολύ μικροί αναλογικά με τον 3-διάστατο χώρο που πρέπει να καλύψουν. Συνεπώς, αποφασίστηκε η εφαρμογή με μεγαλύτερα όρια και ακτίνες.

Η χρήση μεγαλύτερης ακτίνας φέρνει σαφώς καλύτερα αποτελέσματα. Ο καλύτερος συνδυασμός φάνηκε να προκύπτει με ακτίνα self ίση με 0.2 και όρια τα διαστήματα [1-5] , [5-20]. Οι μεγαλύτερες ακτίνες οδηγούν στην πτώση των δημιουργηθέντων ανιχνευτών, αλλά παράλληλα πέφτει το detection rate που είναι πιο σημαντικό, (Σχήμα 6).



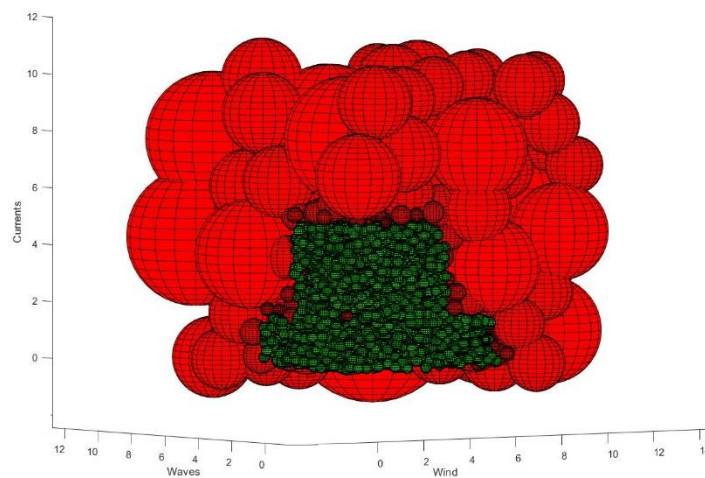
Σχήμα 6. Κατηγορία Β, Αριθμός ανιχνευτών - Ακτίνα

Στο Σχήμα 7, φαίνονται τα μεγέθη των ακτίνων των ανιχνευτών που τελικά κατασκευάστηκαν και χρησιμοποιήθηκαν στην εφαρμογή. Σημειώνεται ότι τα διαστήματα στον άξονα της ακτίνας είναι συντελεστές της ακτίνας r_s .



Σχήμα 7. Κατηγορία Β, Εύρος ακτίνων των ανιχνευτών

Τέλος, στο Σχήμα 8 απεικονίζεται όλο το σύστημα. Οι κόκκινες σφαίρες αποτελούν τους ανιχνευτές, ενώ οι πράσινες τα δείγματα self.



Σχήμα 8. Κατηγορία Β, Self + Detectors

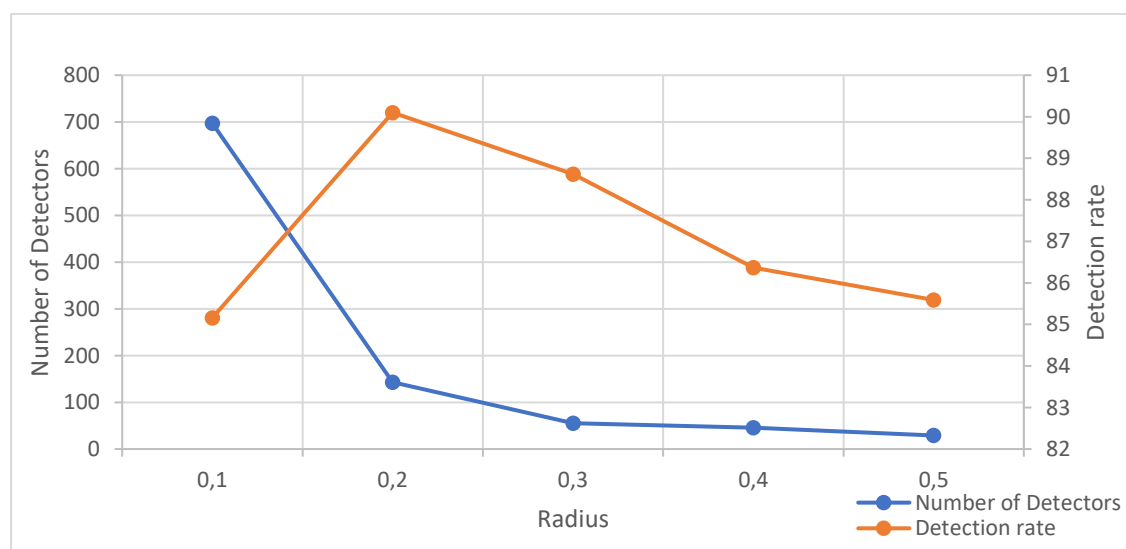
4.3.3.3 Κατηγορία Γ – Ανίχνευση κινδύνου

Η κατηγορία Γ περιλαμβάνει 3 παράγοντες όπως και η κατηγορία Β. Κατά συνέπεια, η διαδικασία είναι αντίστοιχη.

Πίνακας 11. Παράμετροι, Κατηγορία Γ

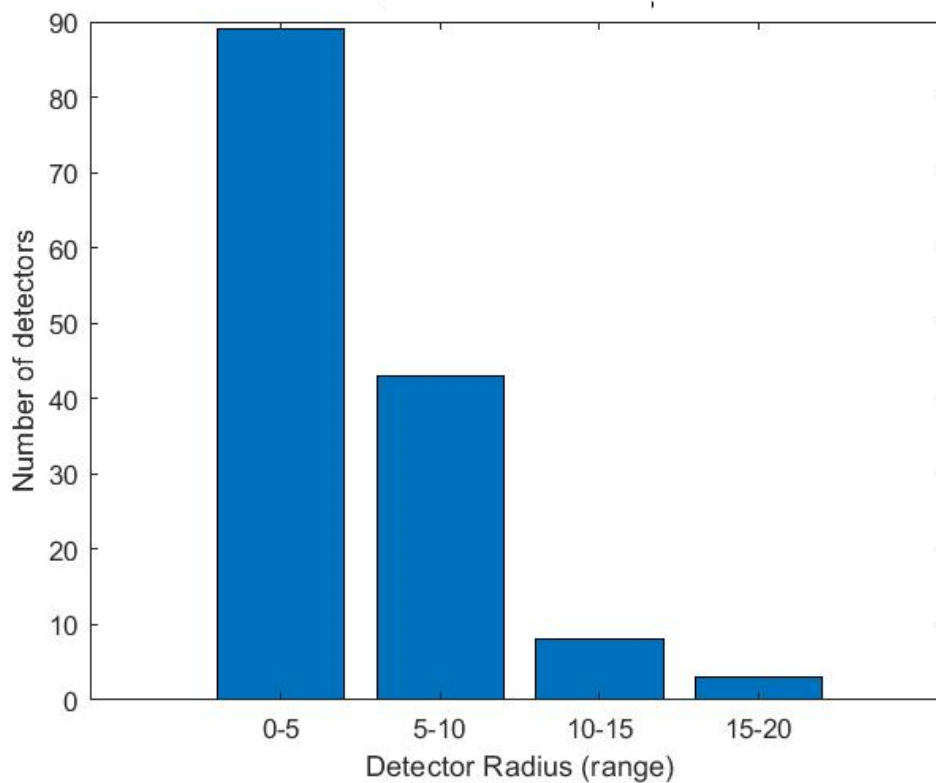
Αριθμός δειγμάτων self	rs	coverage	Αριθμός ανιχνευτών	Detection rate	False alarm rate	Κάτω όριο ακτινών ανιχνευτών	Άνω όριο ακτινών ανιχνευτών
3000	0,1	0,999	697	85,16	6,35	[1-5]	[5-20]
3000	0,2	0,999	143	90,1	0	[1-5]	[5-20]
3000	0,3	0,999	55	88,62	0	[1-5]	[5-20]
3000	0,4	0,999	46	86,37	0	[1-5]	[5-20]
3000	0,5	0,999	29	85,59	0	[1-5]	[5-20]

Εξετάστηκαν τα όρια ακτινών που χρησιμοποιήθηκαν στην Β κατηγορία. Τα αποτελέσματα είναι παρόμοια. Η ακτίνα 0,1 απαιτεί τη δημιουργία πολλών ανιχνευτών και έχει το μεγαλύτερο false alarm rate, ενώ παράλληλα έχει το μικρότερο detection rate. Οι μεγαλύτερες ακτίνες οδηγούν στην κατασκευή λιγότερων ανιχνευτών, όμως παράλληλα το detection rate μειώνεται (Σχήμα 9). Η βέλτιστη επιλογή φαίνεται να προκύπτει με ακτίνα 0,2, καθώς έχει το μεγαλύτερο detection rate και ο αριθμός των ανιχνευτών είναι ικανοποιητικός.



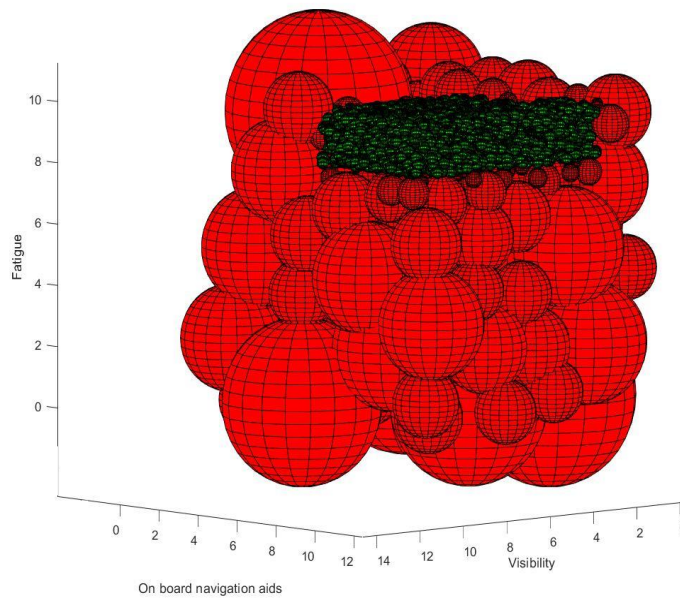
Σχήμα 9. Κατηγορία Γ, Αριθμός ανιχνευτών & Ρυθμός ανίχνευσης - Ακτίνα

Στο Σχήμα 10 απεικονίζονται τα μεγέθη των ακτίνων που κατασκευάστηκαν και χρησιμοποιήθηκαν στην εφαρμογή. Σημειώνεται ότι τα διαστήματα στον άξονα της ακτίνας είναι συντελεστές της ακτίνας $r_s = 0,2$.



Σχήμα 10. Κατηγορία Γ, Εύρος ακτίνων των ανιχνευτών

Τέλος, στο Σχήμα 11 απεικονίζεται συνολικά το σύστημα. Όμοια με την κατηγορία Β, οι μεγάλες κόκκινες σφαίρες είναι οι ανιχνευτές, ενώ οι μικρές πράσινες είναι τα δείγματα self.



Σχήμα 11. Κατηγορία Γ, Self + Detectors

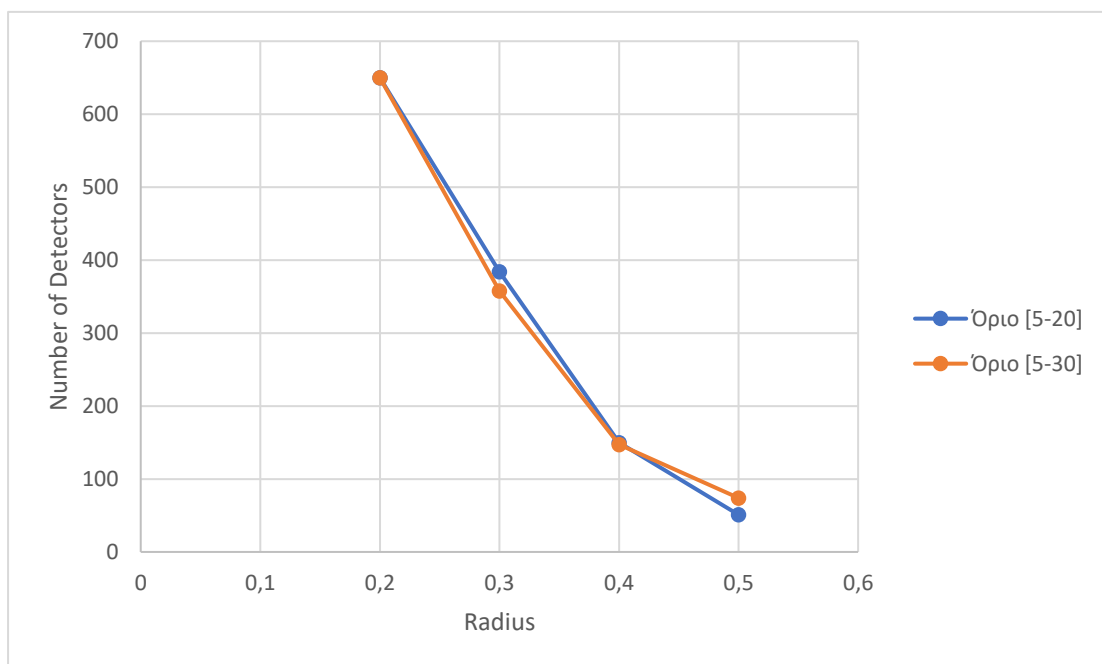
4.3.3.4 Κατηγορία Δ – Δυσκολία διαδρομής και Ατμοσφαιρικοί παράγοντες

Η τέταρτη κατηγορία έχει 5 διαστάσεις. Εδώ πλέον οι διαστάσεις είναι αρκετές και συνεπώς αναμένεται λιγότερη ακρίβεια, δηλαδή χειρότερες τιμές για τα κριτήρια αξιολόγησης detection rate και false alarm rate. Ακολουθούν οι σχετικοί πίνακες και τα σχήματα με τα αποτελέσματα.

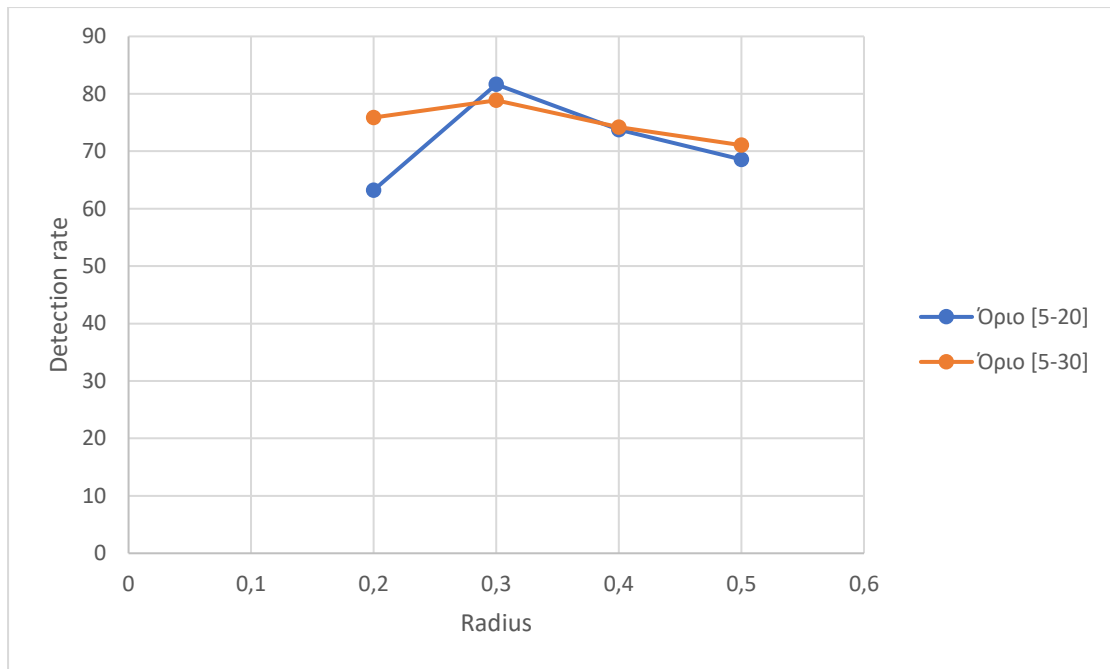
Πίνακας 12. Παράμετροι, Κατηγορία Δ

Αριθμός δειγμάτων self	rs	coverage	Αριθμός ανιχνευτών	Detection rate	False alarm rate	Όριο ακτινών ανιχνευτών
3000	0,2	0,999	650	63,24	0	[5-20]
3000	0,3	0,999	384	81,65	0	[5-20]
3000	0,4	0,999	150	73,75	0,53	[5-20]
3000	0,5	0,999	51	68,56	0	[5-20]
3000	0,2	0,999	650	75,89	0,54	[5-30]
3000	0,3	0,999	358	78,87	0	[5-30]
3000	0,4	0,999	147	74,19	0	[5-30]
3000	0,5	0,999	74	71,06	0	[5-30]

Στον Πίνακα 12 παρατίθενται τα αποτελέσματα για διάφορες ακτίνες, $[0,2-0,5]$, και για δύο όρια ακτινών των ανιχνευτών, $[5-20] * rs$ και $[5-30] * rs$. Στα σχήματα 12 και 13 απεικονίζονται τα διαγράμματα της μεταβολής των αριθμών των ανιχνευτών και των detection rate αναφορικά με την ακτίνα rs . Σύμφωνα αυτά, τα καλύτερα αποτελέσματα προκύπτουν για ακτίνα rs ίση με 0,3. Ανάμεσα στα δύο όρια δεν φαίνονται μεγάλες διαφορές. Επιλέχθηκε το μικρότερο όριο, $[5-20]$, διότι καταλήγει στη δημιουργία μικρότερων ανιχνευτών οι οποίοι ευνοούν την ιδέα ότι το κέντρο του ανιχνευτή μπορεί να περιγράψει κατά προσέγγιση όλα τα σημεία του.

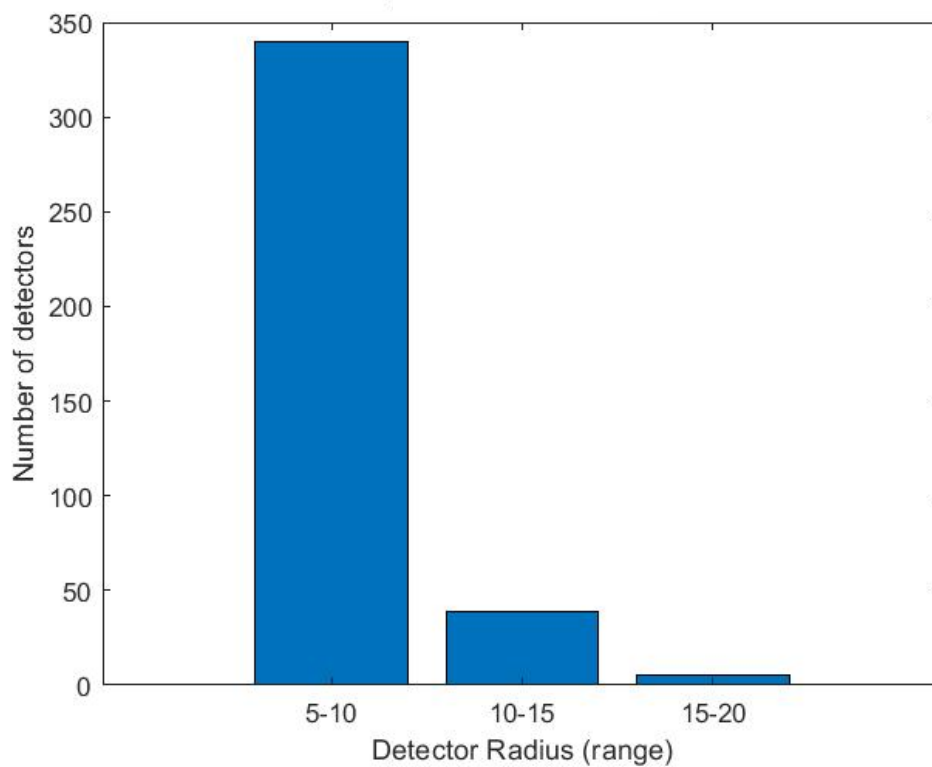


Σχήμα 12. Κατηγορία Δ, Αριθμός ανιχνευτών - Ακτίνα



Σχήμα 13. Κατηγορία Δ, Ρυθμός ανίχνευσης - Ακτίνα

Στο Σχήμα 14 απεικονίζονται τα μεγέθη των ακτινών που κατασκευάστηκαν και χρησιμοποιήθηκαν στην εφαρμογή. Σημειώνεται ότι τα διαστήματα στον άξονα της ακτίνας είναι συντελεστές της ακτίνας $r_s = 0,3$.



Σχήμα 14. Κατηγορία Δ, Εύρος ακτινών των ανιχνευτών

4.3.3.5 Κατηγορία E – Δυσκολία διαδρομής και ορατότητα

Τέλος, η κατηγορία E περιλαμβάνει 3 παράγοντες και συνεπώς η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι ίδια με αυτή των κατηγοριών B και Γ. Ακολουθούν οι σχετικοί πίνακες και τα διαγράμματα.

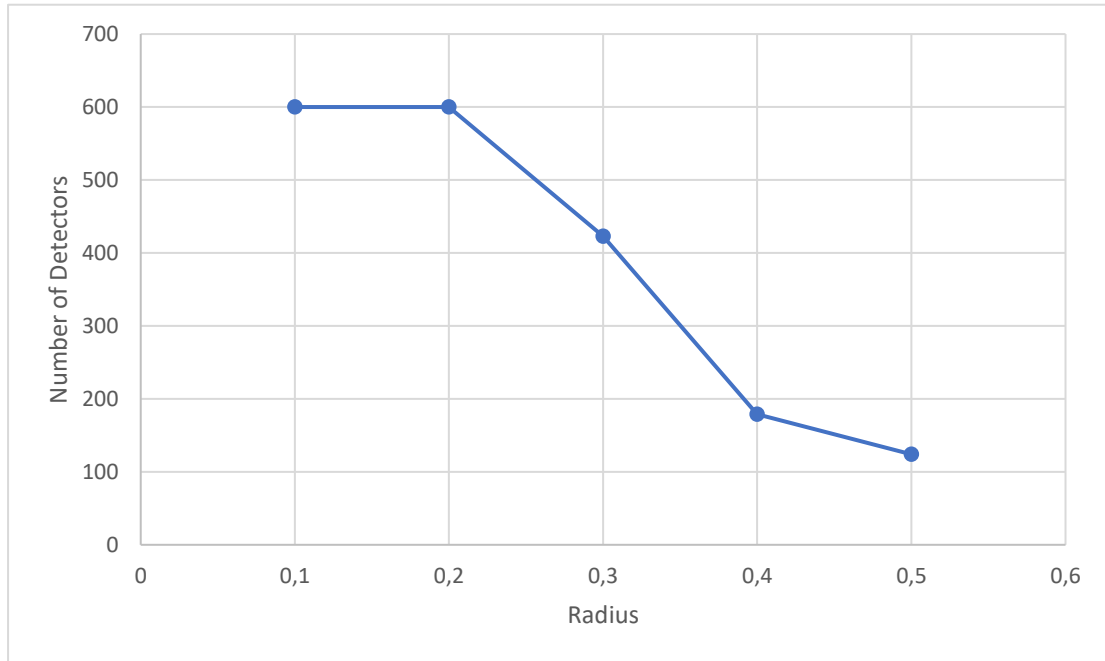
Πίνακας 13, Παράμετροι, Κατηγορία E

Αριθμός δειγμάτων self	rs	coverage	Αριθμός ανιχνευτών	Detection rate	False alarm rate	Κάτω όριο ακτινών ανιχνευτών	Άνω όριο ακτινών ανιχνευτών
3000	0,1	0,999	600	44,02	7,72	[1-5]	[5-20]
3000	0,2	0,999	600	64,33	6,48	[1-5]	[5-20]
3000	0,3	0,999	423	77,44	4,13	[1-5]	[5-20]
3000	0,4	0,999	179	67,75	0,5	[1-5]	[5-20]
3000	0,5	0,999	124	60,57	0,07	[1-5]	[5-20]

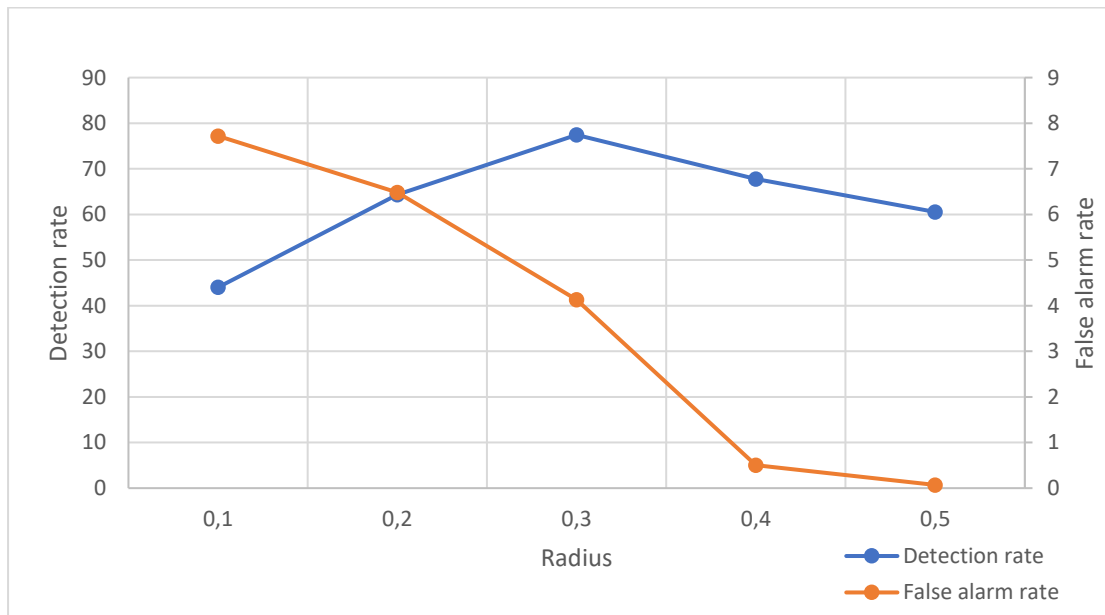
Παρατηρείται ότι γενικά κατασκευάζονται πολύ περισσότεροι ανιχνευτές από ότι στις κατηγορίες B και Γ παρ' όλο που οι διαστάσεις, οι ακτίνες και τα όρια των ανιχνευτών λαμβάνουν τις ίδιες τιμές. Επιπλέον, το detection rate λαμβάνει φανερά χαμηλότερες τιμές, ενώ παράλληλα υπάρχει ένα σημαντικό false alarm rate. Ο λόγος των προβλημάτων είναι ότι το self είναι πολύ μεγαλύτερο σε αυτή τη κατηγορία από ότι στις άλλες και ο αλγόριθμος αντιμετωπίζει προβλήματα όταν η self περιοχή είναι πολύ μεγάλη. Οι βασικοί λόγοι είναι οι εξής:

- Τα όρια των ακτινών των αλγορίθμων δεν αφήνουν την κατασκευή μικρών ανιχνευτών για να καλύψουν τα κενά ανάμεσα στους ανιχνευτές.
- Όσο μικρότερη είναι η περιοχή nonself τόσο μεγαλύτερο ποσοστό αυτής συνθέτουν τα κενά ανάμεσα στους ανιχνευτές. Η μη κάλυψη αυτών των κενών οδηγεί στη πτώση του detection rate.
- Η μεγάλη περιοχή self χρειάζεται περισσότερα δείγματα self για την κάλυψη του. Από την άλλη πλευρά, αν δεν καλυφθεί η περιοχή τότε θα κατασκευαστούν λανθασμένα ανιχνευτές στην εν λόγω περιοχή και κατά συνέπεια το false alarm rate αυξάνεται.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 13 και τα Σχήματα 15 και 16 η βέλτιστη επιλογή είναι με την ακτίνα στο 0,3 λόγω της σχετικά υψηλής τιμής του detection rate.



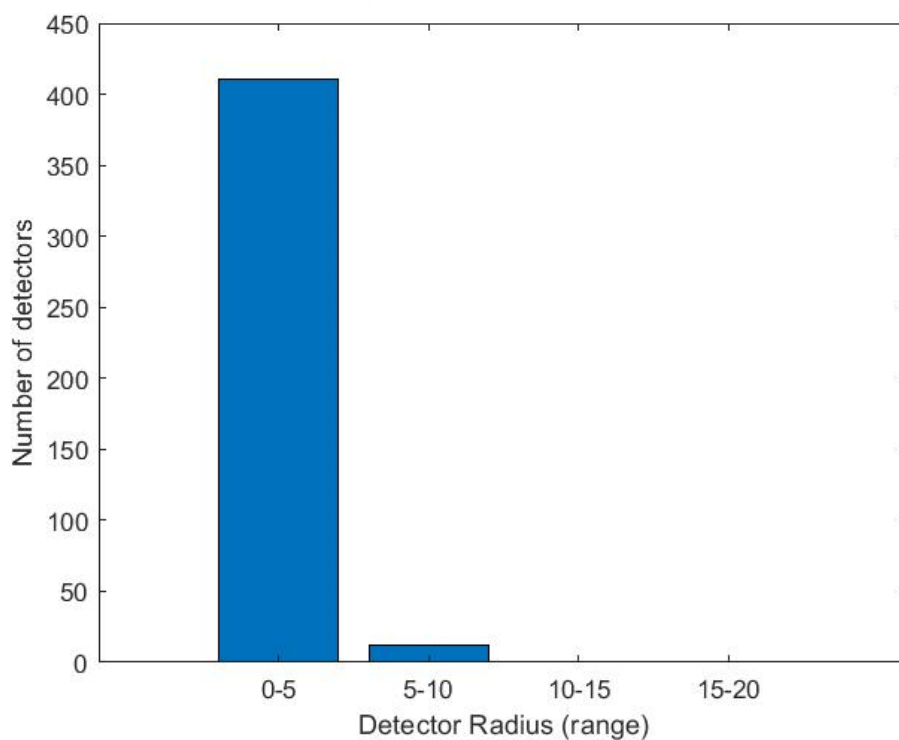
Σχήμα 15. Κατηγορία E, Αριθμός ανιχνευτών – Ακτίνα



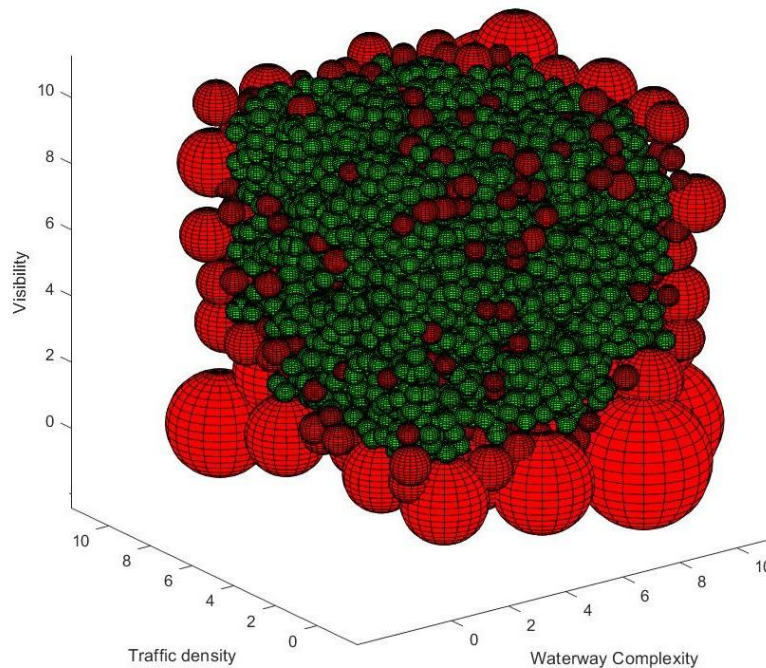
Σχήμα 16. Κατηγορία E, Ρυθμός ανίχνευσης Ρυθμός λανθασμένης ένδειξης κινδύνου - Ακτίνα

Ακολουθώς, στο Σχήμα 17 απεικονίζονται τα μεγέθη των ακτίνων των ανιχνευτών που τελικά κατασκευάστηκαν. Οι περισσότεροι βρίσκονται στο διάστημα [0-5]. Αυτό συμβαίνει λόγω της έκτασης της self περιοχής. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 18, που απεικονίζεται συνολικά το σύστημα της κατηγορίας E, ο χώρος που καταλαμβάνει το self είναι πολύ μεγάλος και συνεπώς δεν υπάρχουν περιθώρια για την κατασκευή μεγάλων σχετικά ανιχνευτών. Επιπλέον, στο Σχήμα 18 φαίνεται ότι έχουν

κατασκευαστεί λανθασμένα, αρκετοί ανιχνευτές μέσα στην περιοχή του self. Η έκβαση αυτή, οφείλεται και πάλι στην μεγάλη έκταση του self και υποδεικνύει ότι τα 3000 δείγματα δεν ήταν αρκετά για την σωστή περιγραφή της ασφαλούς περιοχής. Εκ πρώτης όψεως, μία εύκολη λύση θα ήταν η κατασκευή περισσότερων δειγμάτων. Ωστόσο, έχει επιλεχθεί εξαρχής να κατασκευαστεί ένας συγκεκριμένο αριθμός δειγμάτων, καθώς σε περίπτωση που γινόταν η εφαρμογή ιδανικά με χρήση πραγματικών δεδομένων δεν θα υπήρχε η δυνατότητα κατασκευής δεδομένων. Επιπλέον, η κάλυψη της self περιοχής δύσκολα θα είναι τέλεια, καθώς αυτή απαιτεί πολλά δεδομένα και μάλιστα διασκορπισμένα στην self περιοχή με τέτοιο τρόπο ώστε να καταφέρνουν ικανοποιητική κάλυψη. Συνεπώς, έχει ενδιαφέρον να εξεταστεί ένα σύστημα του οποίου το self δεν είναι ιδανικό.



Σχήμα 17. Κατηγορία E, Εύρος ακτινών των ανιχνευτών



Σχήμα 18. Κατηγορία E, Self + Detectors

4.3.4 Πρόσδοση πληροφοριών στους ανιχνευτές

Οι Perhinschi et al. [34] απέδωσαν πληροφορίες στους ανιχνευτές κάνοντας την παραδοχή ότι όλη η περιοχή ενός ανιχνευτή συμπεριφέρεται με τον ίδιο τρόπο με το κέντρο του. Αντίστοιχα με τη μελέτη αυτή, με την προϋπόθεση του περιορισμού των μέγιστων επιτρεπόμενων ακτινών των ανιχνευτών, δόθηκαν πληροφορίες στους ανιχνευτές σχετικά με τα παρακάτω θέματα.

1. **Σοβαρότητα κινδύνου:** Η απόσταση από το κοντινότερο self αποθηκεύεται και αξιολογείται. Έτσι δίνεται μια εικόνα για το πόσο επικίνδυνη είναι μια κατάσταση.
2. **Αιτία κινδύνου:** Ενδιαφέρον αποτελεί η ταξινόμηση των ανιχνευτών ανάλογα με το είδος του προβλήματος που εντοπίζουν. Κανονικά, ο εν λόγω διαχωρισμός γίνεται μέσω προσομοίωσης γνωστών σφαλμάτων οπότε οι ανιχνευτές που ενεργοποιούνται εξειδικεύονται ως προς την ανίχνευση αυτών των σφαλμάτων. Εδώ δεν υπήρχε αυτή η δυνατότητα, συνεπώς, η διαδικασία της εξειδίκευσης έγινε με τη βοήθεια των κριτηρίων που ορίστηκαν στην ενότητα 4.3.2.2.

Ουσιαστικά, ελέγχθηκαν οι τιμές των συντεταγμένων των κέντρων των ανιχνευτών, δηλαδή των παραγόντων ρίσκου, ως προς τα κριτήρια.

Με αυτόν τον τρόπο, οι ανιχνευτές είναι σε θέση να ειδοποιούν ότι μια κατάσταση είναι επικίνδυνη, να υποδεικνύουν την σοβαρότητά της και να συνιστούν την προσοχή στην αιτία του κινδύνου. Εξειδικεύονται δηλαδή ως προς τα δύο παραπάνω ζητήματα. Παρακάτω ακολουθεί αναλυτικότερα ο τρόπος εφαρμογής της πρόσδοσης πληροφοριών στους ανιχνευτές.

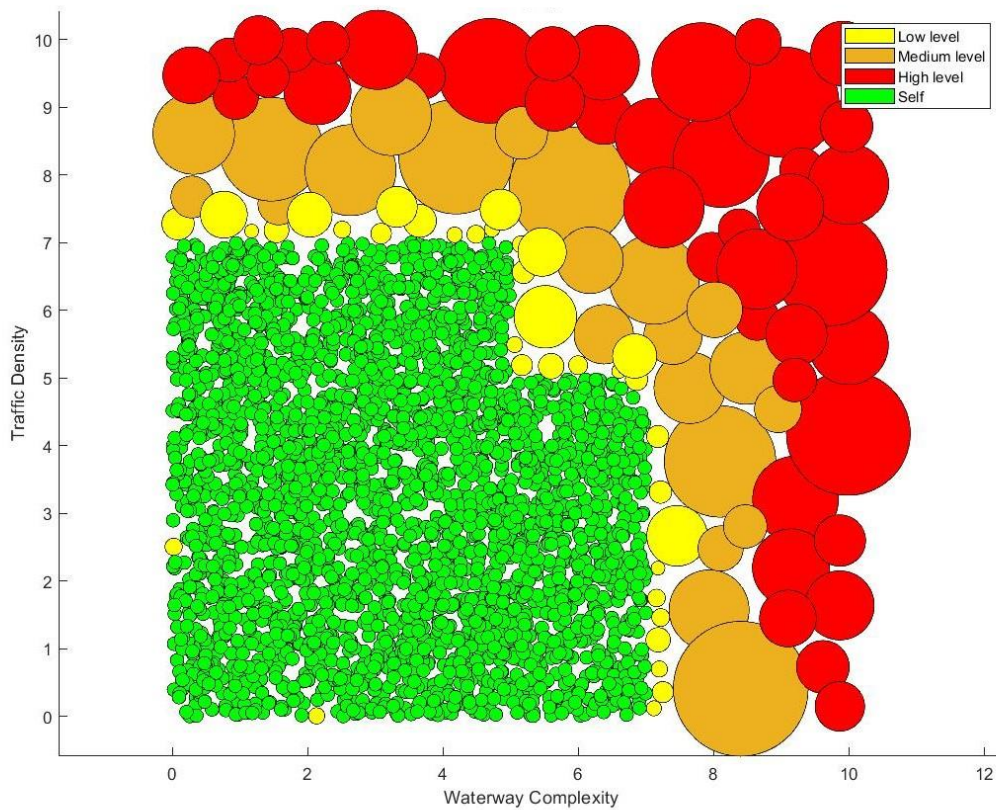
Σοβαρότητα κινδύνου

Ένας τρόπος για να γίνεται μια εκτίμηση του ρίσκου και να αναδεικνύεται πόσο επικίνδυνη είναι μια τυχαία κατάσταση, είναι να αξιολογείται η απόσταση από την κοντινότερη ασφαλή κατάσταση (self). Έχοντας κάνει τη παραδοχή ότι όλα τα σημεία ενός ανιχνευτή εντοπίζουν, κατά προσέγγιση, το ίδιο ή τα ίδια προβλήματα, μπορεί να γίνει ένας διαχωρισμός των ανιχνευτών σε «ζώνες» σοβαρότητας κινδύνου ή αλλιώς επικινδυνότητας.

Ωστόσο, η απόσταση θα πρέπει να εκφρασθεί αναλογικά με τα δεδομένα και το πεδίο εφαρμογής, αλλιώς θα αποτελεί ένα νούμερο άνευ σημασίας. Γι' αυτό το λόγο, εκφράστηκε ως προς την ακτίνα r_s . Εν κατακλείδι, η nonself περιοχή χωρίστηκε σε 3 υποπεριοχές. Η πρώτη αφορά τα σημεία που βρίσκονται κοντά στο self, ορίζουν οριακά επικίνδυνες καταστάσεις και προκύπτουν για απόσταση μικρότερη από $5 * r_s$, η δεύτερη περιλαμβάνει τα σημεία που περιγράφουν ιδιαίτερα επικίνδυνες καταστάσεις με απόσταση μεγαλύτερη από $5 * r_s$ και μικρότερη από $20 * r_s$, ενώ η τρίτη αφορά είτε ακραίες καταστάσεις που το πλοίο δύσκολα θα συναντήσει είτε πολύ συγκεκριμένες περιπτώσεις που χρήζουν ιδιαίτερη προσοχή και ορίζεται για αποστάσεις μεγαλύτερες από $20 * r_s$. Τέλος, τονίζεται ότι, λόγω των ανωτέρω εκτιμήσεων και παραδοχών, η συγκεκριμένη πληροφορία είναι ενδεικτική και σχετίζεται με το εκάστοτε σύστημα. Με άλλα λόγια, δίνει μια εικόνα στο ρίσκο χωρίς να είναι απόλυτα ακριβές και επιβεβαιωμένο το αποτέλεσμα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι ο γεωμετρικός τρόπος προσέγγισης του διαχωρισμού των ανιχνευτών σε «ζώνες» σοβαρότητας κινδύνου, με χρήση της ακτίνας r_s , δεν είναι ο μοναδικός τρόπος προσέγγισης. Εναλλακτικά, η διαδικασία θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας κριτήρια αποδοχής ρίσκου.

Ενδεικτικά, στο Σχήμα 19 απεικονίζεται το σύστημα δειγμάτων self και ανιχνευτών της κατηγορίας A και παράλληλα φαίνεται ο διαχωρισμός ανάλογα τη σοβαρότητα του κινδύνου.



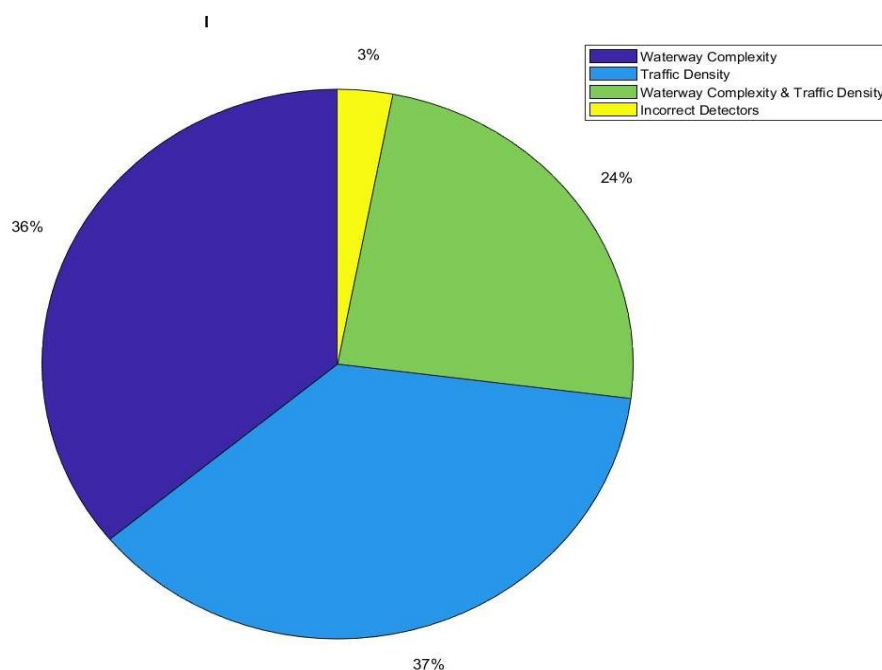
Σχήμα 19. Κατηγορία A, Σοβαρότητα κινδύνου

Παρατηρείται ότι λόγω του overlapping υπάρχουν σημεία που υπάγονται σε 2 κατηγορίες και αυτό μοιάζει λάθος εκ πρώτης όψεως. Ωστόσο, τα σημεία αυτά θ' ανιχνευτούν από περισσότερο από έναν ανιχνευτή με αποτέλεσμα να εξάγονται περισσότερες πληροφορίες γι' αυτά. Για παράδειγμα, αν ένα σημείο ελέγχου ανιχνεύεται από δύο ανιχνευτές, έναν του 1^{ου} και έναν του 2^{ου} επιπέδου, τότε η σοβαρότητα κινδύνου είναι ανάμεσα σε αυτά τα 2 επίπεδα.

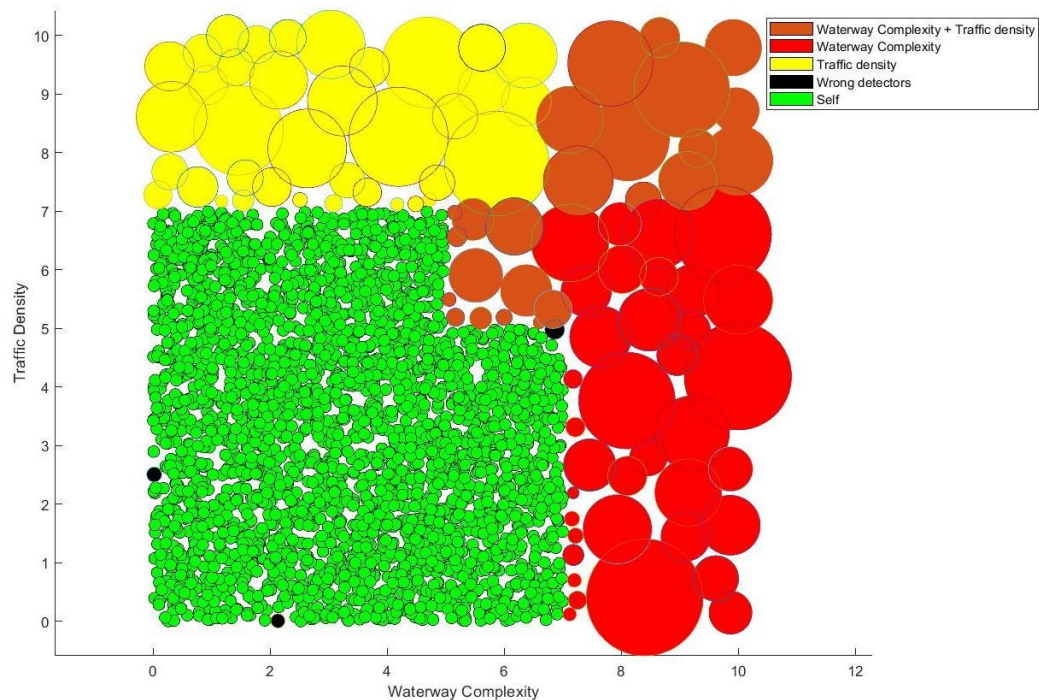
Με αφορμή τη παραπάνω παρατήρηση, τελικά, συμπεραίνεται ότι αν και το overlapping θεωρείται αποτέλεσμα κακής προγραμματιστικής τεχνικής σε τέτοιες εφαρμογές, στο ζήτημα της πρόσδοσης των πληροφοριών συμφέρει, όχι μόνο για τη σοβαρότητα κινδύνου αλλά και την αιτία κινδύνου. Οι περισσότερες πληροφορίες από ανιχνευτές δίνουν καλύτερη εικόνα της κατάστασης λειτουργίας που ελέγχεται.

Αιτία κινδύνου

Παρακάτω παρουσιάζονται ενδεικτικά δύο κυκλικά διαγράμματα, των κατηγοριών Α και Γ, με τους ανιχνευτές ανάλογα με τον κίνδυνο που εντοπίζουν. Αρχικά, το Σχήμα 20 αφορά την κατηγορία Α και δείχνει το ποσοστό των ανιχνευτών που κατασκευάστηκαν ανάλογα με το πρόβλημα που εντοπίζουν. Συγκεκριμένα φαίνεται ότι το 36% εντοπίζει αποκλειστικά πρόβλημα στην πυκνότητα κυκλοφορίας, το 37% φανερώνει ότι η πολυπλοκότητα διαδρομής είναι ιδιαίτερος υψηλή, το 24% που υποδηλώνει ότι και οι δύο παράγοντες λαμβάνουν τιμές που χαρακτηρίζουν μια επικίνδυνη κατάσταση, ενώ φαίνεται ότι κακώς κατασκευάστηκαν μόνο 3 ανιχνευτές, 3%. Το ποσοστό είναι χαμηλό, οπότε το αποτέλεσμα είναι αποδεκτό. Τέλος, στο σχήμα 21 φαίνεται ο διαχωρισμός των ανιχνευτών και η αντίστοιχη θέση τους στην απεικόνιση.



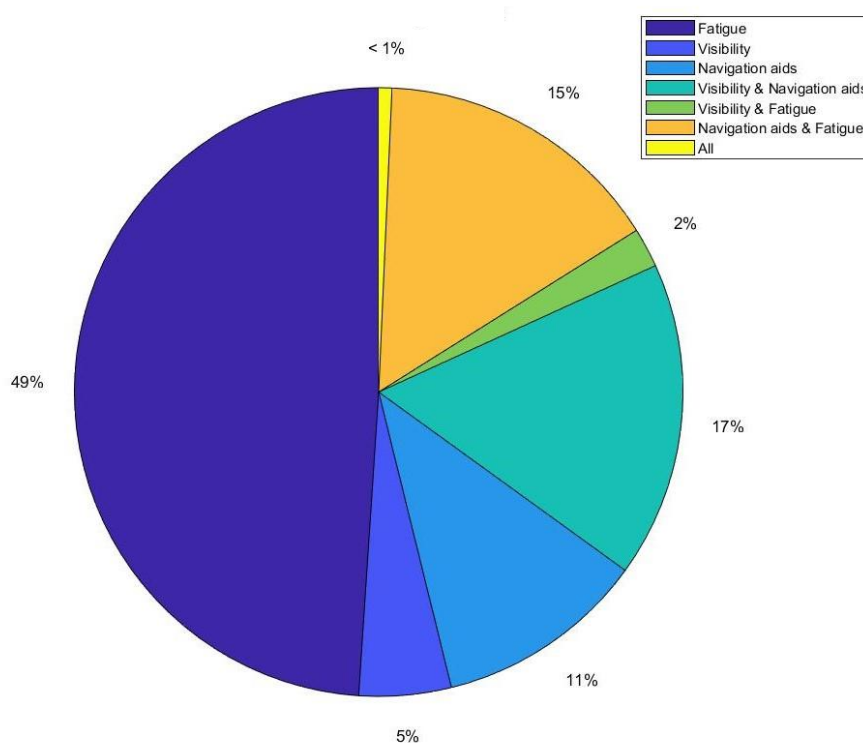
Σχήμα 20. Κατηγορία Α, Ποσοστιαία κατανομή ανιχνευτών για την αιτία κινδύνου



Σχήμα 21. Αιτία κινδύνου, κατηγορία Α

Στη συνέχεια, στο Σχήμα 22 απεικονίζεται ο διαχωρισμός των ανιχνευτών για την κατηγορία Γ. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο αριθμός των ανιχνευτών που δημιουργούνται για κάθε αιτία κινδύνου, εξαρτάται από το συνολικό σύνολο τιμών του παράγοντα αλλά και από την «έκταση» των υποσυνόλων που ορίζουν την ασφαλή και επικίνδυνη περιοχή. Για παράδειγμα, στο Σχήμα 22 φαίνεται ότι το 49% των ανιχνευτών (συνολικά 70) ανιχνεύουν επικίνδυνες καταστάσεις λόγω κόπωσης, το 11% (16 ανιχνευτές) ανιχνεύει προβλήματα στα βοηθήματα πλοήγησης και μόλις το 5% (7 ανιχνευτές) ανιχνεύουν επικίνδυνες καταστάσεις λόγω κακής ορατότητας. Ωστόσο, η αναλογία αυτή είναι λογική, καθώς ο παράγοντας της κόπωσης εκτείνεται στο διάστημα [0-12] από το οποίο το υποσύνολο [0-10] ανήκει στην nonself περιοχή και το κατά πολύ μικρότερο διάστημα [10-12] ανήκει στην self περιοχή. Κατά συνέπεια, η κάλυψη της παραπάνω σχετικά μεγάλης nonself περιοχής απαιτήσε τη δημιουργία πολλών ανιχνευτών. Η αντίστοιχη αναλογία στους άλλους δύο παράγοντες είναι διαφορετική. Εκεί, οι ασφαλείς τιμές ενός παράγοντα ορίζουν μεγαλύτερη περιοχή και συνεπώς χρειάζονται λιγότεροι ανιχνευτές για την κάλυψη της αντίστοιχης nonself περιοχής.

Τέλος, παρατηρείται ότι στη κατηγορία Γ δεν έχουν κατασκευαστεί λανθασμένοι ανιχνευτές.



Σχήμα 22. Κατηγορία Γ, Ποσοστιαία κατανομή ανιχνευτών για την αιτία κινδύνου

Κεφάλαιο 5

Στο παρόν κεφάλαιο έγινε μια εφαρμογή του αλγορίθμου σε 4 πραγματικές καταστάσεις λειτουργίας και κατόπιν εξετάστηκαν τα αποτελέσματα. Η περιγραφή των καταστάσεων δόθηκε από επαγγελματία ναυτικό ο οποίος εργάζεται σε πλοίο με κύριο περιβάλλον εργασίας του, τη γέφυρα. Τα χαρακτηριστικά του επαγγελματία φαίνονται στον Πίνακα 14.

Πίνακας 14. Χαρακτηριστικά επαγγελματία

Χαρακτηριστικά επαγγελματία	
Βαθμός	Πλοίαρχος Γ'
Χρόνια εμπειρίας	4 χρόνια
Καθήκον / Θέση εργασίας	Αξιωματικός φυλακής
Τύπος πλοίου	Δεξαμενόπλοιο

Στο πλαίσιο της εφαρμογής εξετάστηκαν τρεις επικίνδυνες καταστάσεις λειτουργίας και μία ασφαλής κατάσταση. Αναφορικά με τις επικίνδυνες, επιλέχθηκε να εξεταστούν καταστάσεις των οποίων η αιτία κινδύνου είναι διαφορετική. Στη συνέχεια, ακολουθεί η αναλυτική περιγραφή τους, η εφαρμογή στον αλγόριθμο και τα αποτελέσματά του.

5.1 Ασφαλής κατάσταση λειτουργίας

Η ασφαλής κατάσταση που εξετάστηκε δεν πρόκειται για μία συγκεκριμένη κατάσταση που βίωσε ο επαγγελματίας αλλά για μία τυπική κατάσταση λειτουργίας χωρίς προβλήματα. Σύμφωνα με εκείνον, τα χαρακτηριστικά μια τέτοιας κατάστασης είναι τα παρακάτω:

- Πλεύση σε ανοιχτή θάλασσα, μακριά από ακτή,
- Απουσία άλλων πλοίων γύρω από το υπό μελέτη πλοίο.
- Ήπιοι άνεμοι της τάξης των 5 κόμβων,
- Μικρά κύματα κάτω του ενός μέτρου,
- Ελάχιστη έως μηδενική επιρροή από θαλάσσια ρεύματα,
- Υψηλή ορατότητα, άνω των 5 ναυτικών μιλίων
- Υψηλής τεχνολογίας βοηθήματα πλοήγησης στη γέφυρα και το πλήρωμα πλήρως εξοικειωμένο στη χρήση τους
- Τήρηση των κανονισμών όσο αναφορά τις ώρες ξεκούρασης του πληρώματος και συνεπώς απουσία κόπωσης των εργαζομένων

Στον Πίνακα 18 απεικονίζονται οι τιμές των δεικτών των παραγόντων ρίσκου, οι οποίες είναι βασισμένες στα παραπάνω χαρακτηριστικά.

Πίνακας 15. Ασφαλής κατάσταση λειτουργίας

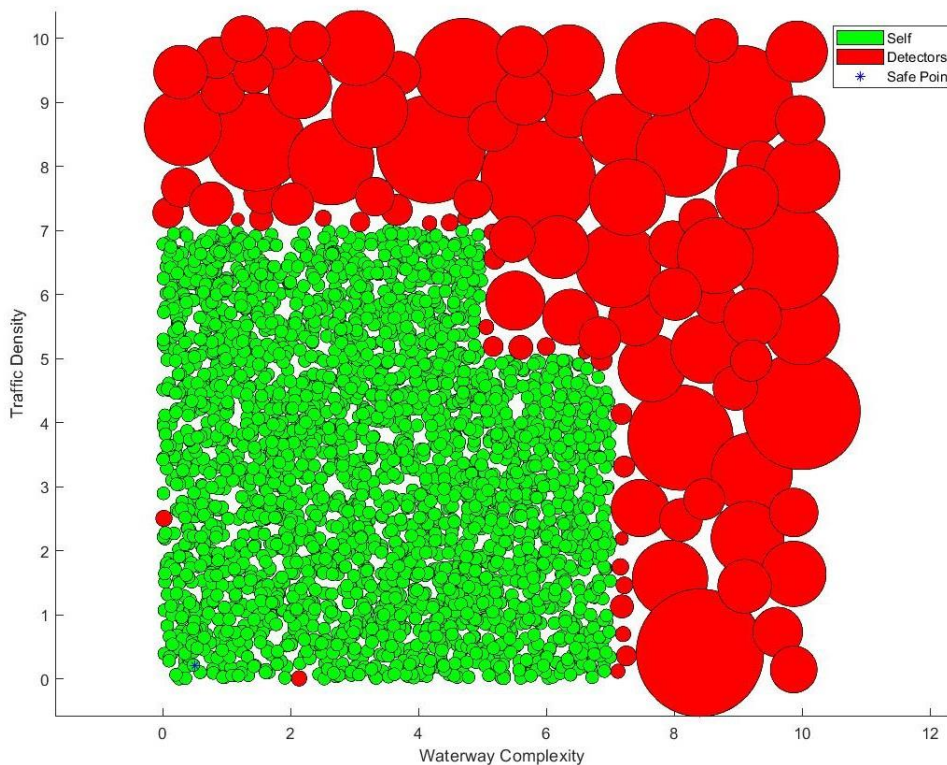
Κατηγορία	Παράγοντας ρίσκου	Μονάδα μέτρησης	Τιμή παράγοντα
A	Πολυπλοκότητα διαδρομής	-	0,5
	Πυκνότητα κυκλοφορίας	-	0,2
B	Άνεμος	knots	5
	Κύματα	m	0,6

	Ρεύματα	m/s	0,08
Γ	Ορατότητα	km	8
	Βοηθήματα πλοήγησης	-	9,8
	Κόπωση	Rest hours	11,5

Οι τιμές των παραγόντων δόθηκαν βάσει των χαρακτηριστικών της κατάστασης που αναφέρεται παραπάνω αλλά και με χρήση λογικής.

Είναι σαφές ότι η συγκεκριμένη κατάσταση δεν βρίσκεται στην επικίνδυνη ζώνη nonself και συνεπώς αναμένεται από τον αλγόριθμο να μην ανιχνεύσει κίνδυνο σε καμία κατηγορία.

Πράγματι, ο αλγόριθμος δεν ανιχνεύει το σημείο σε καμία κατηγορία. Γενικώς, το false alarm rate ήταν πολύ χαμηλό σε όλες τις κατηγορίες. Κατά συνέπεια, η ορθή λειτουργία του αλγορίθμου σε αυτή την περίπτωση ήταν αναμενόμενη. Στο σχήμα 23 φαίνεται το σημείο λειτουργίας στην κατηγορία A.



Σχήμα 23. Ασφαλές σημείο λειτουργίας, κατηγορία A

5.2 Επικίνδυνη κατάσταση λειτουργίας 1

Η πρώτη κατάσταση λειτουργίας που εξετάστηκε, έλαβε χώρα στο κανάλι του Suez. Το πλοίο είχε 275 μέτρα μήκος και 105.000 τόνους DWT. Ο καιρός κατά την διέλευση ήταν καλός. Ο άνεμος ήταν ήπιος, 4-6 κόμβους, τα κύματα μικρά της τάξης των 0,2 – 0,3 μέτρων και τα ρεύματα μικρών ταχυτήτων 0,2 – 0,3 κόμβους. Η ορατότητα ήταν ικανοποιητική, άνω των 5 ναυτικών μιλίων. Ωστόσο, σημειώνεται ότι τα βοηθήματα πλοήγησης ήταν παλαιάς τεχνολογίας καθώς το πλοίο ήταν αρκετά μεγάλο ηλικιακά και δεν ήταν συντηρημένο καταλλήλως. Τέλος, η διέλευση από το κανάλι συνέβη στην αρχή του ταξιδιού, συνεπώς δεν υπήρχαν ζητήματα κόπωσης του πληρώματος.

Αναφορικά με το Suez, η έκταση του καναλιού είναι περίπου 193,3 χιλιόμετρα . Η διαδρομή είναι μονής κατεύθυνσης και περιέχει μεγάλες στροφές οι οποίες απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή. Επιπλέον, η απόσταση του πλοίου από την ακτή είναι περίπου 0,1 ναυτικά μίλια και από τις δύο πλευρές και συνεπώς η ταχύτητα των πλοίων πρέπει να μειώνεται στους 7 κόμβους. Σχετικά με την πυκνότητα κυκλοφορίας, το κανάλι εξυπηρετεί 56 πλοία την ημέρα κατά μέσο όρο, ενώ τη στιγμή της διέλευσης στη διάωρυγα περνούσαν 15 πλοία σύμφωνα με τους πιλότους ανά 7 μίλια απόσταση περίπου. Επιπροσθέτως, συχνά είναι απαραίτητη η παρουσία ενός ανθρώπου στη πλώρη του πλοίου με σκοπό να απελευθερώσει την άγκυρα σε περίπτωση υψηλού κινδύνου. Τέλος, είναι απαραίτητη η παρουσία όλων των υπεύθυνων στην γέφυρα αλλά και η παρουσία έμπειρου πιλότου.

Σύμφωνα με την περιγραφή του επαγγελματία θεωρήθηκαν οι παρακάτω τιμές για τους δείκτες των παραγόντων ρίσκου (Πίνακας 15).

Πίνακας 16. Επικίνδυνη κατάσταση λειτουργίας 1

Κατηγορία	Παράγοντας ρίσκου	Μονάδα μέτρησης	Τιμή παράγοντα
A	Πολυπλοκότητα διαδρομής	-	9.5
	Πυκνότητα κυκλοφορίας	-	0.5
B	Άνεμος	knots	5
	Κύματα	m	0,3

	Ρεύματα	m/s	0,3
Γ	Ορατότητα	km	5
	Βοηθήματα πλοήγησης	-	6
	Κόπωση	Rest hours	11,5

Σχόλια – Διευκρινίσεις

- Οι τιμές των παραγόντων του ανέμου, κυμάτων, ρευμάτων, ορατότητας προσδιορίστηκαν επαρκώς από τον επαγγελματία ναυτικό, ενώ οι τιμές των υπόλοιπων παραγόντων θεωρήθηκαν με βάση τις πληροφορίες που δόθηκαν από εκείνον.
- Τα βοηθήματα πλοήγησης ήταν παλαιάς τεχνολογίας και συνεπώς σύμφωνα με τον Πίνακα 6, ο παράγοντας θα πρέπει να λάβει τιμή στο διάστημα [5-8]. Θεωρήθηκε η τιμή 6, διότι παράλληλα αναφέρθηκε ότι δεν είχαν προηγηθεί οι προβλεπόμενες διαδικασίες συντήρησης του εξοπλισμού.
- Η κόπωση δεν αποτέλεσε πρόβλημα, συνεπώς δόθηκε μια ασφαλής τιμή.
- Για την πολυπλοκότητα διαδρομής θεωρήθηκε υψηλή τιμή, συγκεκριμένα 9,5, καθώς αναφέρθηκε ότι στο κανάλι του Suez η απόσταση από την ακτή ήταν περίπου 0,1 ναυτικά μίλια και από τις δύο πλευρές, ενώ παράλληλα η διαδρομή έχει αρκετές μεγάλες και δύσκολες στροφές.
- Η πυκνότητα κυκλοφορίας έλαβε χαμηλή τιμή, καθώς δεν υπήρχαν άλλα πλοία σε απόσταση 7 ναυτικών μιλίων γύρω από το πλοίο.

Στην συγκεκριμένη κατάσταση αναμένεται να υπάρχει υπόδειξη κινδύνου σχετικά με την δυσκολία της διαδρομής. Κανονικά αναμένεται να ανιχνευθούν τα σημεία λειτουργίας στις κατηγορίες Α,Δ και Ε. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του αλγορίθμου.

Κατηγορία Α, Δυσκολία διαδρομής

Στην κατηγορία Α η εν προκειμένω κατάσταση λειτουργίας κρίθηκε επικίνδυνη. Ο ανιχνευτής, που ανίχνευσε το σημείο λειτουργίας, έχει ειδικευτεί στην ανίχνευση κινδύνων λόγω πολυπλοκότητας διαδρομής και έχει ταξινομηθεί στην τρίτη και υψηλότερη κλίμακα ως προς τη σοβαρότητα του κινδύνου.

Πράγματι, η αιτία του κινδύνου στην παραπάνω κατάσταση είναι η δυσκολία της διαδρομής, καθώς η διώρυγα του Suez πρόκειται για στενό πέρασμα με πολλές στροφές. Όσο αναφορά τη σοβαρότητα του κινδύνου, η πλευση σε αυτές τις περιοχές χρήζει πράγματι πολύ προσοχή, γι' αυτό και υπάρχουν διάφοροι κανονισμοί σχετικοί με τη διέλευση, όπως περιορισμένος αριθμός πλοίων που περνούν ημερησίως, μείωση ταχύτητας και τήρηση αποστάσεων μεταξύ των πλοίων που διέρχονται, υποχρεωτική ύπαρξη πιλότου και των υπόλοιπων ναυτικών στη γέφυρα.

Κατηγορία Β, Ατμοσφαιρικοί – περιβαλλοντικοί παράγοντες

Στην κατηγορία Β, δεν υπήρχε κάποια ανίχνευση. Συνεπώς, η κατάσταση θεωρήθηκε ασφαλής. Το αποτέλεσμα του αλγορίθμου κρίθηκε σωστό, αφού στην ανωτέρω κατάσταση δεν υπάρχει κάποιο ζήτημα σχετικά με τους ατμοσφαιρικούς παράγοντες.

Κατηγορία Γ, Ανίχνευση κινδύνου

Όμοια με την κατηγορία Β, δεν ανιχνεύθηκε κίνδυνος. Πράγματι, δεν υπήρχε κάποιο σοβαρό πρόβλημα στην ανίχνευση του κινδύνου. Το αποτέλεσμα του αλγορίθμου κρίνεται ορθό.

Κατηγορία Δ, Δυσκολία διαδρομής & Ατμοσφαιρικοί – περιβαλλοντικοί παράγοντες

Αντίθετα, στη κατηγορία Δ ανιχνεύθηκε κίνδυνος από έναν ανιχνευτή, ο οποίος έχει ειδικευτεί στην ανίχνευση κινδύνων αποκλειστικά λόγω πολυπλοκότητας διαδρομής. Ως προς τη σοβαρότητα του κινδύνου, ο ανιχνευτής έχει καταταχιστεί στη πρώτη και χαμηλότερη κλίμακα.

Σε πρώτη φάση, παρατηρείται ότι υπάρχει αντίθεση με την κατηγορία Α ως προς τη σοβαρότητα του κινδύνου. Ωστόσο, η κατηγορία Δ περιλαμβάνει 5 παράγοντες από τους οποίους ο ένας βρίσκεται στην επικίνδυνη ζώνη. Συνεπώς, θεωρώντας ότι μόνο ένας παράγοντας αυξάνει το ρίσκο και οδηγεί στον κίνδυνο, ενώ οι υπόλοιποι βρίσκονται σε αποδεκτές τιμές, ο αλγόριθμος θεωρεί ότι η σοβαρότητα είναι μικρή. Τελικά, σκεπτόμενοι συλλογικά τα δύο συστήματα/κατηγορίες δεν αντιφάσκουν τα αποτελέσματα. Αντιθέτως, η αντίθεση αυτή δίνει πληροφορίες.

Κατηγορία Ε, Δυσκολία διαδρομής & Ορατότητα

Στην κατηγορία Ε δεν ανιχνεύθηκε κίνδυνος. Κανονικά θα περιμέναμε να ανιχνευθεί κίνδυνος λόγω πολυπλοκότητας διαδρομής. Ενδεχομένως, λόγω του ότι οι ανιχνευτές είναι μικροί σχετικά, υπάρχει «τρύπα» στην nonself περιοχή, μέσα στην οποία βρίσκεται το σημείο της προς μελέτη κατάστασης. Πράγματι, παρατηρείται ότι αν τροποποιηθεί ελαφρώς το σημείο λειτουργίας (αλλαγή της τιμής της πυκνότητας κυκλοφορίας από 0,5 σε 1,5), τότε ο αλγόριθμος ανιχνεύει το σημείο, με ειδικευμένο ανιχνευτή στη πολυπλοκότητα διαδρομής και σοβαρότητα κινδύνου στο πρώτο επίπεδο.

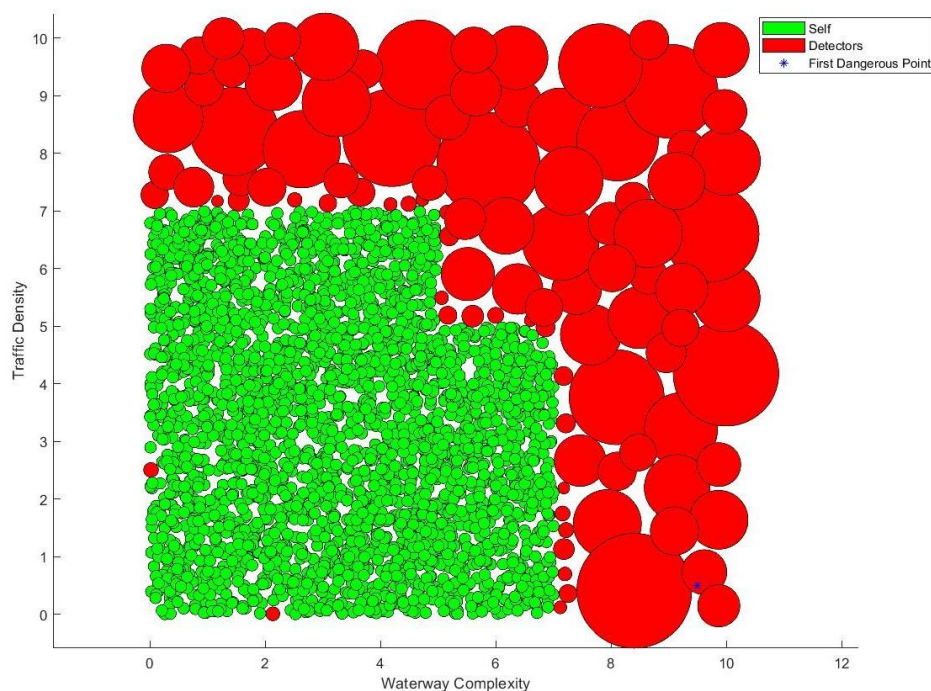
Στον πίνακα 17 απεικονίζονται συλλογικά τα αποτελέσματα.

Πίνακας 17. Αποτελέσματα επικίνδυνης κατάστασης 1

Κατηγορία	Ανίχνευση	Αιτία κινδύνου	Επίπεδο Σοβαρότητας κινδύνου
A	☑	Πολυπλοκότητα διαδρομής	3
B	✗	-	-
Γ	✗	-	-
Δ	☑	Πολυπλοκότητα διαδρομής	1
E	✗	-	-

Συνολικά, τα αποτελέσματα του αλγορίθμου φανερώνουν ότι υπάρχει κίνδυνος λόγω πολυπλοκότητας διαδρομής. Στην κατηγορία Α, το επίπεδο σοβαρότητας δείχνει ότι ο παράγοντας παίρνει πολύ υψηλές τιμές, ενώ στη κατηγορία Δ το αντίστοιχο επίπεδο δείχνει ότι υπάρχει πρόβλημα μόνο σε έναν παράγοντα και συνεπώς προκύπτει χαμηλό επίπεδο σοβαρότητας. Γενικώς, τα αποτελέσματα συνάδουν με την πραγματικότητα και θεωρήθηκαν ικανοποιητικά. Με εξαίρεση την κατηγορία Ε, στις υπόλοιπες κατηγορίες γίνεται η ανίχνευση και κατόπιν δίνονται σωστές πληροφορίες στον χρήστη αναφορικά με την κατάσταση λειτουργίας.

Τέλος, στο σχήμα 24 φαίνεται η θέση του επικίνδυνου σημείου λειτουργίας για την κατηγορία Α.



Σχήμα 24. Επικίνδυνο σημείο λειτουργίας 1, κατηγορία Α

5.3 Επικίνδυνη κατάσταση λειτουργίας 2

Η δεύτερη κατάσταση λειτουργίας που εξετάστηκε, έλαβε χώρα στο κανάλι του Houston. Το πλοίο είχε 275 περίπου μέτρα μήκος και 157.954 τόνους DWT. Αναφορικά με τον καιρό, ο άνεμος ήταν μηδαμινός, 1-3 κόμβους, τα κύματα επίσης μικρά της τάξης των 0,2 – 0,3 μέτρων και τα ρεύματα μικρών ταχυτήτων 0,3 – 0,6 κόμβους. Ωστόσο, η ορατότητα ήταν άκρως περιορισμένη, καθώς υπήρχε έντονη ομίχλη, ενώ παράλληλα τα βοηθήματα πλοήγησης ήταν παλαιάς τεχνολογίας και το ραντάρ ήταν εκτός λειτουργίας. Τέλος, δεν υπήρχαν ζητήματα κόπωσης του πληρώματος την στιγμή της διέλευσης.

Αναφορικά με το Houston, η έκταση του καναλιού είναι περίπου 50 ναυτικά μίλια. Η διαδρομή είναι διπλής κατεύθυνσης και η απόσταση του πλοίου από την ακτή είναι περίπου 100 μέτρα και από τις δύο πλευρές. Σχετικά με την κυκλοφορία, το κανάλι εξυπηρετεί κατά μέσο όρο 50 πλοία μεγάλου βυθίσματος, ενώ γενικώς κυκλοφορούν πολλά ρυμουλκά τα οποία μεταφέρουν φορτηγίδες ή βοηθούν τη διέλευση των μεγάλων πλοίων. Το χρονικό διάστημα της διέλευσης του υπό μελέτη πλοίου δεν υπήρχε κινητικότητα πλοίων λόγω της πολύ περιορισμένης ορατότητας.

Τέλος, σημειώνεται ότι, για τη διέλευση του καναλιού, είναι εν γένει απαραίτητη η παρουσία όλων των υπεύθυνων στην γέφυρα αλλά και η παρουσία έμπειρου πιλότου.

Κατά την είσοδο στο κανάλι, ξεκίνησε να εμφανίζεται ομίχλη η οποία σταδιακά αυξανόταν. Ακόμα και με τη βοήθεια του πιλότου, η διέλευση του καναλιού ήταν πολύ επικίνδυνη. Τελικά, η περιορισμένη ορατότητα σε συνδυασμό με τη δυσλειτουργία του ραντάρ οδήγησε τον πιλότο στην απόφαση της έκτακτης αγκυροβόλησης σε εγκεκριμένο αγκυροβόλι ασφαλούς βάθους.

Σύμφωνα με την περιγραφή του επαγγελματία θεωρήθηκαν οι παρακάτω τιμές για τους δείκτες των παραγόντων ρίσκου (Πίνακας 16).

Πίνακας 18. Επικίνδυνη κατάσταση λειτουργίας 2

Κατηγορία	Παράγοντας ρίσκου	Μονάδα μέτρησης	Τιμή παράγοντα
Α	Πολυπλοκότητα διαδρομής	-	9,8
	Πυκνότητα κυκλοφορίας	-	2
Β	Άνεμος	knots	2
	Κύματα	m	0,3
	Ρεύματα	m/s	0,45
Γ	Ορατότητα	km	0,8
	Βοηθήματα πλοήγησης	-	2
	Κόπωση	Rest hours	10,5

Σχόλια – Διευκρινίσεις

- Τα βοηθήματα πλοήγησης ήταν παλαιάς τεχνολογίας και επιπλέον επισημάνθηκε δυσλειτουργία σε σημαντικό εξάρτημα της γέφυρας, του ραντάρ. συνεπώς σύμφωνα με τον Πίνακα 6, ο παράγοντας θα πρέπει να λάβει τιμή στο διάστημα [0-5]. Θεωρήθηκε η τιμή 2.
- Δεν υπήρχαν ζητήματα κόπωσης στη συγκεκριμένη περίπτωση. Κατά συνέπεια, δόθηκε μια ασφαλής τιμή.
- Για την πολυπλοκότητα διαδρομής θεωρήθηκε υψηλή τιμή σύμφωνα με τον Πίνακα 7, καθώς αναφέρθηκε ότι στο κανάλι του Houston η απόσταση από την

ακτή ήταν περίπου 100 μέτρα και από τις δύο πλευρές, ενώ παράλληλα η διαδρομή είναι διπλής κατεύθυνσης.

- Η πυκνότητα κυκλοφορίας έλαβε χαμηλή τιμή, καθώς δεν υπήρχαν άλλα πλοία γύρω από το πλοίο λόγω δυσμενών συνθηκών. Ο παράγοντας ωστόσο έλαβε τιμή, από τον Πίνακα 5, για χαμηλό ρίσκο στο διάστημα [1-3], διότι ενδεχομένως να υπήρχαν άλλα πλοία στο κανάλι μακριά από το πλοίο.

Στην συγκεκριμένη κατάσταση αναμένεται να υπάρχει υπόδειξη κινδύνου σχετικά με την δυσκολία της διαδρομής και την ανίχνευση του κινδύνου. Ουσιαστικά αναμένεται να ανιχνευτεί το σημείο λειτουργίας στις κατηγορίες Α,Γ,Δ και Ε. Τέλος, η σοβαρότητα αναμένεται γενικώς να είναι υψηλή, ιδίως ως προς την ανίχνευση. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του αλγορίθμου.

Κατηγορία Α, Δυσκολία διαδρομής

Στην κατηγορία Α ο αλγόριθμος υπέδειξε επικίνδυνη κατάσταση. Ο ανιχνευτής, που ανίχνευσε το σημείο λειτουργίας, έχει ειδικευτεί στην ανίχνευση κινδύνων λόγω πολυπλοκότητας διαδρομής και έχει ταξινομηθεί στην τρίτη και υψηλότερη κλίμακα ως προς τη σοβαρότητα του κινδύνου.

Πράγματι, μία σημαντική αιτία του κινδύνου στην παραπάνω κατάσταση είναι η δυσκολία της διαδρομής, λόγω των χαρακτηριστικών του καναλιού του Houston. Όσο αναφορά τη σοβαρότητα του κινδύνου, η πλεύση σε αυτές τις περιοχές χρήζει πράγματι πολύ προσοχή. Γι' αυτό το λόγο, όπως αναφέρθηκε και για τη διέλευση στη διώρυγα του Suez, σε τέτοια περάσματα έχουν θεσπιστεί διάφοροι κανονισμοί με στόχο την επίτευξη μιας ασφαλούς διέλευσης.

Κατηγορία Β, Ατμοσφαιρικοί – περιβαλλοντικοί παράγοντες

Στην κατηγορία Β, όπως αναμενόταν, δεν ανιχνεύθηκε το σημείο λειτουργίας ως επικίνδυνο.

Κατηγορία Γ, Ανίχνευση κινδύνου

Αντιθέτως, στην κατηγορία Γ, ο αλγόριθμος υπέδειξε επικίνδυνη κατάσταση. Ο ανιχνευτής που εντόπισε το σημείο είναι ειδικευμένος στην ανίχνευση καταστάσεων με προβλήματα στον εξοπλισμό των βοηθημάτων πλοήγησης και σε προβλήματα λόγω

κακής ορατότητας. Επιπλέον, ο βαθμός της σοβαρότητας του κινδύνου έχει οριστεί στο επίπεδο 2.

Το αποτέλεσμα είναι σωστό, καθώς ο κίνδυνος έγκειται στην κακή ορατότητα και στην δυσλειτουργία του ραντάρ. Η σοβαρότητα του κινδύνου θα μπορούσε να θεωρηθεί και υψηλότερη, στο επίπεδο 3, αλλά και το επίπεδο 2 υποδηλώνει υψηλό κίνδυνο γενικώς.

Κατηγορία Δ, Δυσκολία διαδρομής & Ατμοσφαιρικοί – περιβαλλοντικοί παράγοντες

Στην κατηγορία Δ η κατάσταση κρίθηκε επικίνδυνη από έναν ανιχνευτή, ο οποίος έχει ειδικευτεί στην ανίχνευση επικίνδυνων καταστάσεων λόγω πολυπλοκότητας διαδρομής και βρίσκεται στο επίπεδο 1 σοβαρότητας κινδύνου.

Το αποτέλεσμα είναι αναμενόμενο, καθώς η κατηγορία Δ δεν περιλαμβάνει τους παράγοντες της ανίχνευσης κινδύνου. Συνεπώς, ο κίνδυνος έγκειται μόνο στην πολυπλοκότητα διαδρομής στο συγκεκριμένο σύστημα. Όσο αναφορά το επίπεδο σοβαρότητας, το αποτέλεσμα είναι σωστό καθώς μόνο ένας παράγοντας βρίσκεται στην επικίνδυνη ζώνη.

Η διαφορά στην εκτίμηση της σοβαρότητας κινδύνου μεταξύ των κατηγοριών Α και Δ έγκειται στο γεγονός, ότι στην δεύτερη συνυπολογίζονται πέντε παράγοντες από τους οποίους μόνο ο ένας βρίσκεται στην επικίνδυνη ζώνη, ενώ στην πρώτη υπάρχουν μόνο δύο παράγοντες. Στην κατηγορία Δ εκτιμάται πιο συλλογικά η κατάσταση, ενώ στην Α γίνεται αξιολόγηση μονάχα δύο παραγόντων.

Κατηγορία Ε, Δυσκολία διαδρομής & Ορατότητα

Στην κατηγορία Ε το σημείο ανιχνεύθηκε από έναν ανιχνευτή, ο οποίος εντοπίζει καταστάσεις με περιορισμένη ορατότητα και «κλειστά» νερά (enclosed waters) και βρίσκεται στο επίπεδο 2 σοβαρότητας κινδύνου.

Στον πίνακα 19 απεικονίζονται συλλογικά τα αποτελέσματα.

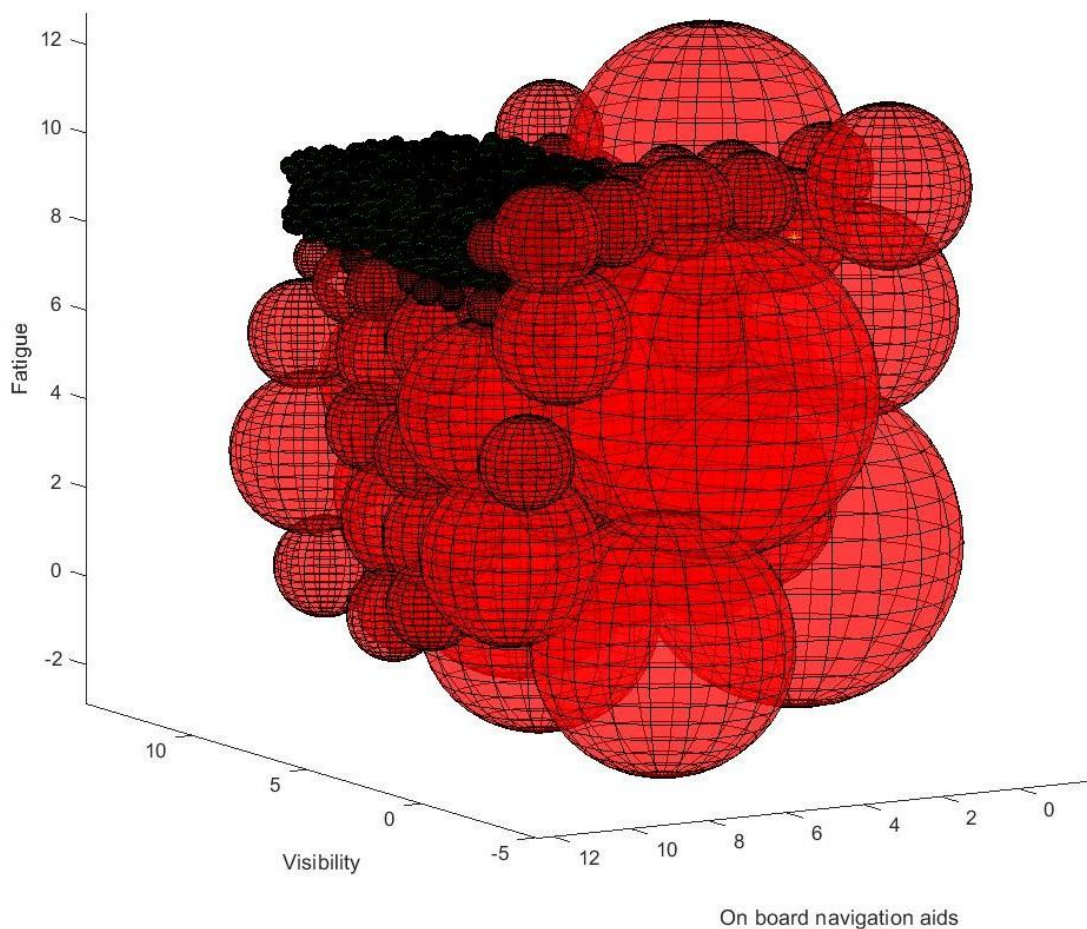
Πίνακας 19. Αποτελέσματα επικίνδυνης κατάστασης 2

Κατηγορία	Ανίχνευση	Αιτία κινδύνου	Επίπεδο Σοβαρότητας κινδύνου
A	<input checked="" type="checkbox"/>	Πολυπλοκότητα διαδρομής	3

B	✗	-	-
Γ	☑	Ορατότητα, Βοηθήματα πλοήγησης	2
Δ	☑	Πολυπλοκότητα διαδρομής	1
E	☑	Περιορισμένη ορατότητα Enclosed waters	2

Τέλος, τα αποτελέσματα του αλγορίθμου είναι τα αναμενόμενα. Πρωτίστως, υπάρχει επικίνδυνη κατάσταση η οποία ορθώς ανιχνεύεται και δευτερευόντως ο ανιχνευτής δίνει σωστές πληροφορίες για την υπό εξέταση κατάσταση, ως προς την αιτία κίνδυνου και την σοβαρότητά του.

Εν κατακλείδι, τα αποτελέσματα όλων των κατηγοριών είναι αυτά που επιζητούνταν αρχικά. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή ο αλγόριθμος λειτούργησε ικανοποιητικά. Τέλος, στο σχήμα 25 φαίνεται η θέση του επικίνδυνου σημείου λειτουργίας για την κατηγορία Γ (κίτρινος αστερίσκος, πάνω δεξιά στο σχήμα).



Σχήμα 25. Επικίνδυνο σημείο λειτουργίας 2, κατηγορία Γ

5.4 Επικίνδυνη κατάσταση λειτουργίας 3

Η τρίτη κατάσταση λειτουργίας που εξετάστηκε, έλαβε χώρα σε αγκυροβόλιο στο Rotterdam. Το πλοίο είχε 245 περίπου μέτρα μήκος και 103.194 τόνους DWT. Ο καιρός ήταν ιδιαίτερα κακός και σταδιακά χειρότερου. Οι άνεμοι ήταν ισχυροί, κοντά στους 35 κόμβους και τα κύματα είχαν ύψος άνω των 4 μέτρων. Αντιθέτως, τα ρεύματα είχαν χαμηλή ταχύτητα της τάξης των 0,2 – 0,5, ενώ η ορατότητα ήταν μέτρια προς καλή (3 – 4 ναυτικά μίλια). Η περιοχή του αγκυροβολίου απέχει αρκετή απόσταση από την ακτή (περίπου 5 ναυτικά μίλια). Επιπλέον, πρέπει να τονισθεί ότι σε ακτίνα 6 ναυτικών μιλίων γύρω από το πλοίο, ήταν αγκυροβολημένα τουλάχιστον 15 πλοία τα οποία περίμεναν τον ελλιμενισμό. Παράλληλα, το κοντινότερο σε απόσταση πλοίο βρισκόταν σε απόσταση περίπου 0,5 ναυτικά μίλια. Τέλος, ο εξοπλισμός στη γέφυρα

ήταν υψηλής τεχνολογίας και το πλήρωμα δεν αντιμετώπιζε πρόβλημα κατά τη χρήση του, ενώ γενικώς δεν υπήρχε κάποιο ζήτημα κόπωσης των εργαζομένων.

Το πλοίο ήταν αγκυροβολημένο περιμένοντας την άδεια ελλιμενισμού. Ο καιρός άρχισε να χειροτερεύει προκαλώντας προβλήματα στην ευστάθεια του πλοίου. Ο άνεμος είχε αρχίσει οριακά να παρασέρνει το πλοίο, καθώς η άγκυρα πλέον δεν κρατούσε το πλοίο σε σταθερή θέση. Τελικά, ο καπετάνιος υποχρεώθηκε να διατάξει αποχώρηση από το επίμαχο σημείο, με προορισμό μια περιοχή ηπιότερων ανέμων.

Σύμφωνα με την περιγραφή του επαγγελματία θεωρήθηκαν οι παρακάτω τιμές για τους δείκτες των παραγόντων ρίσκου (Πίνακας 17).

Πίνακας 20. Επικίνδυνη κατάσταση λειτουργίας 3

Κατηγορία	Παράγοντας ρίσκου	Μονάδα μέτρησης	Τιμή παράγοντα
Α	Πολυπλοκότητα διαδρομής	-	1,5
	Πυκνότητα κυκλοφορίας	-	8
Β	Άνεμος	knots	35
	Κύματα	m	4,5
	Ρεύματα	m/s	0,2
Γ	Ορατότητα	km	3,8
	Βοηθήματα πλοήγησης	-	9,7
	Κόπωση	Rest hours	11

Σχόλια – Διευκρινίσεις

- Τα βοηθήματα πλοήγησης ήταν υψηλής τεχνολογίας και σύμφωνα με τον Πίνακα 6, ο παράγοντας θα πρέπει να λάβει τιμή στο διάστημα [8-10]. Θεωρήθηκε η τιμή 9,7.
- Δεν υπήρχαν ζητήματα κόπωσης στη συγκεκριμένη περίπτωση. Κατά συνέπεια, δόθηκε μια ασφαλής τιμή.
- Για την πολυπλοκότητα διαδρομής θεωρήθηκε χαμηλή τιμή, καθώς η ακτή απείχε απόσταση περίπου 5 ναυτικά μίλια και μόνο από τη μία πλευρά του πλοίου.

- Η πυκνότητα κυκλοφορίας έλαβε υψηλή τιμή, καθώς υπήρχε πλοίο σε απόσταση σχεδόν 0,5 ναυτικά μίλια. Θεωρήθηκε από τον Πίνακα 4, ότι το LoD είναι στο επίπεδο 3 και από τον Πίνακα 5, ότι η συγκεκριμένη περίπτωση βρίσκεται στην κλίμακα πολύ υψηλού ρίσκου λόγω της παρουσίας 15 πλοίων σε ακτίνα 6 ναυτικών μιλίων. Ωστόσο, δόθηκε η χαμηλότερη τιμή του διαστήματος [8-10], καθώς τα πλοία είναι ακινητοποιημένα.

Στην συγκεκριμένη κατάσταση αναμένεται να υπάρχει υπόδειξη κινδύνου λόγω δυσμενών καιρικών συνθηκών. Ουσιαστικά αναμένεται να ανιχνευτεί το σημείο λειτουργίας στις κατηγορίες Β και Δ. Τέλος, η σοβαρότητα αναμένεται γενικώς να είναι χαμηλή προς μέτρια και η αιτία κινδύνου να είναι οι ατμοσφαιρικοί παράγοντες. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του αλγορίθμου.

Κατηγορία Α, Δυσκολία διαδρομής

Στην κατηγορία Α ανιχνεύθηκε κίνδυνος από ειδικευμένο ανιχνευτή για υψηλή πυκνότητα κυκλοφορίας, με βαθμό σοβαρότητας στο επίπεδο 2. Η πληροφορία που αποσπάται από τον ανιχνευτή για την αιτία του κινδύνου δεν είναι εντελώς λανθασμένη, καθώς γενικώς γύρω από το πλοίο υπήρχαν πολλά αγκυροβολημένα πλοία προς ελλιμενισμό, περιορίζοντας τις κινήσεις του υπό εξέταση πλοίου. Ωστόσο, η βασική αιτία του κινδύνου, όπως αναφέρεται στην περιγραφή της συγκεκριμένης περίπτωσης, ήταν οι ατμοσφαιρικοί παράγοντες.

Κατηγορία Β, Ατμοσφαιρικοί – περιβαλλοντικοί παράγοντες

Στην κατηγορία Β το σημείο ανιχνεύθηκε επίσης από έναν ανιχνευτή, ο οποίος είναι ειδικευμένος για ανίχνευση επικίνδυνων καταστάσεων λόγω ανέμου και βρίσκεται στο πρώτο επίπεδο σοβαρότητας. Το αποτέλεσμα είναι το αναμενόμενο, καθώς πράγματι το βασικό πρόβλημα είναι ο άνεμος και το επίπεδο της σοβαρότητας είναι οριακά στην επικίνδυνη ζώνη.

Κατηγορία Γ, Ανίχνευση κινδύνου

Στην κατηγορία Γ, όπως αναμενόταν, δεν ανιχνεύθηκε το σημείο λειτουργίας ως επικίνδυνο.

Κατηγορία Δ, Δυσκολία διαδρομής & Ατμοσφαιρικοί – περιβαλλοντικοί παράγοντες

Στην κατηγορία Δ η κατάσταση αναδείχθηκε ως επικίνδυνη από δύο ανιχνευτές. Ο ένας είναι ειδικευμένος να ανιχνεύει επικίνδυνες καταστάσεις λόγω αυξημένης πυκνότητας κυκλοφορίας και υψηλών ανέμων και βρίσκεται στο επίπεδο 2 σοβαρότητας κίνδυνου, ενώ ο δεύτερος είναι ειδικευμένος αντίστοιχα για καταστάσεις που αφορούν τους παράγοντες της πυκνότητας κυκλοφορίας, των ανέμων και των κυμάτων και βρίσκεται στο επίπεδο 1.

Τα αποτελέσματα δείχνουν μία κατάσταση χαμηλής-μέτριας επικινδυνότητας και οι αιτίες κίνδυνου είναι η πυκνότητα κυκλοφορίας και κυρίως ο άνεμος από τα ατμοσφαιρικά φαινόμενα, ενώ και τα κύματα φαίνεται να παίρνουν οριακά επικίνδυνες τιμές. Αναφορικά με τα επιζητούμενα αποτελέσματα, ο αλγόριθμος μοιάζει να είναι συνεπής και να προσφέρει ικανοποιητική εικόνα για την κατάσταση, καθώς πράγματι, η παρουσία πολλών πλοίων στην εμβέλεια του υπό εξέταση πλοίου σε συνδυασμό με τους υψηλούς ανέμους, αυξάνει σημαντικά το ρίσκο ατυχήματος.

Κατηγορία Ε, Δυσκολία διαδρομής & Ορατότητα

Στην κατηγορία Ε δεν πραγματοποιήθηκε ανίχνευση κινδύνου, όπως αναμενόταν. Η υψηλή σχετικά πυκνότητα κυκλοφορίας από μόνη της δεν οδηγεί σε μεγάλο κίνδυνο. Μόνο ο συνδυασμός με τους ισχυρούς ανέμους κάνει επικίνδυνη τη κατάσταση. Στην κατηγορία Ε όμως, δεν περιλαμβάνονται οι ατμοσφαιρικοί παράγοντες.

Στον πίνακα 21 απεικονίζονται συλλογικά τα αποτελέσματα.

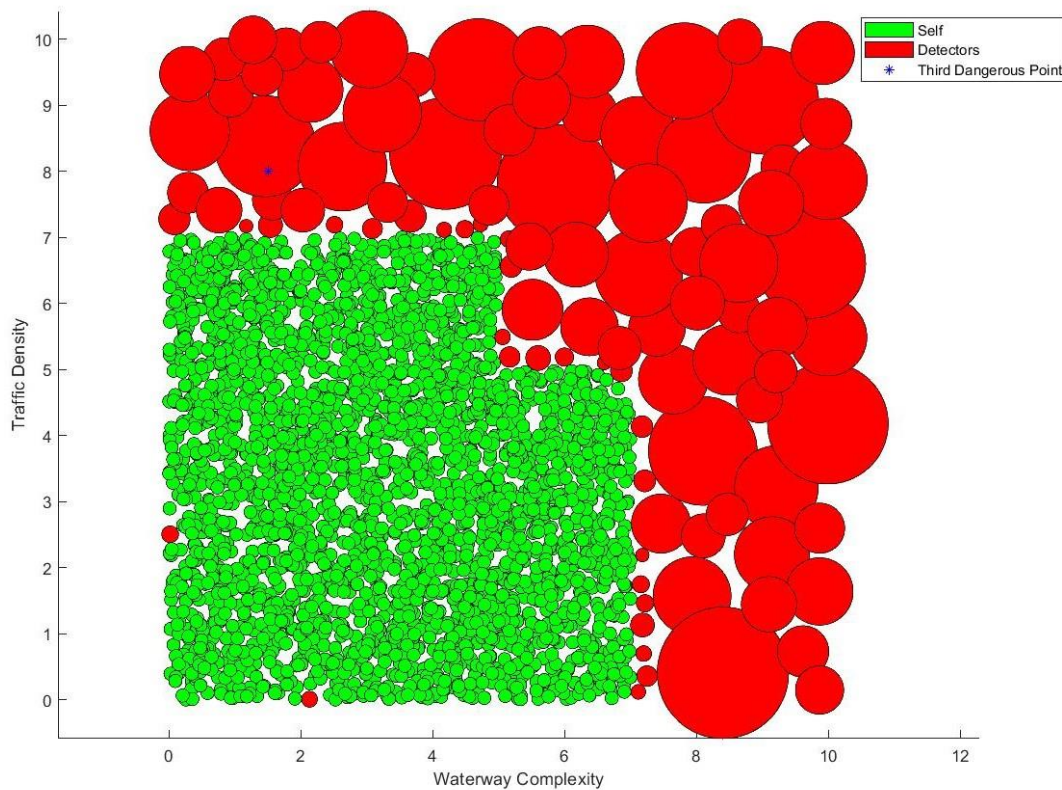
Πίνακας 21. Αποτελέσματα επικίνδυνης κατάστασης 3

Κατηγορία	Ανίχνευση		Αιτία κινδύνου		Επίπεδο Σοβαρότητας κινδύνου	
A	☑		Πυκνότητα κυκλοφορίας		2	
B	☑		Άνεμος		1	
Γ	✗		-		-	
Δ	☑	☑	Πυκνότητα κυκλοφορίας Άνεμοι	Πυκνότητα κυκλοφορίας	2	1

				Άνεμοι, Κύματα		
Ε	×		-		-	

Συνολικά, τα αποτελέσματα του αλγορίθμου είναι ικανοποιητικά. Από την εφαρμογή στην κατηγορία Α φαίνεται η σχετικά υψηλή πυκνότητα κυκλοφορίας, από την κατηγορία Β φαίνεται η παρουσία ισχυρών ανέμων και από τη κατηγορία Δ φαίνεται ότι ο συνδυασμός αυτών των παραγόντων δυσχεραίνει τη κατάσταση.

Τέλος, στο σχήμα 26 φαίνεται η θέση του επικίνδυνου σημείου λειτουργίας για την κατηγορία Α.



Σχήμα 26. Επικίνδυνο σημείο λειτουργίας 3, κατηγορία Α

Κεφάλαιο 6

Συμπεράσματα και μελλοντική έρευνα

Ανακεφαλαιώνοντας, στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε μια εφαρμογή ενός αλγορίθμου τεχνητής νοημοσύνης, εμπνευσμένου από κάποιες λειτουργίες του ανοσοποιητικού συστήματος του ανθρώπου. Ο στόχος της εργασίας ήταν η εκτίμηση κινδύνου διαφόρων καταστάσεων λειτουργίας πλοίων αναφορικά με έναν τύπο ατυχημάτων πλοίου, τα ατυχήματα προσάραξης. Συγκεκριμένα, εξετάστηκαν τέσσερις διαφορετικές καταστάσεις λειτουργίας και κατόπιν μελετήθηκαν και αξιολογήθηκαν τα αποτελέσματα του αλγορίθμου.

Σε γενικότερο πλαίσιο παρατηρήθηκε ότι ο αλγόριθμος λειτούργησε σωστά στις καταστάσεις λειτουργίας που εξετάστηκαν. Σε όλες, έγινε ανίχνευση του κινδύνου, όπου χρειαζόταν, τουλάχιστον σε κάποια από τις 5 κατηγορίες και παράλληλα αποδόθηκαν πληροφορίες στους ανιχνευτές οι οποίες εν γένει έδωσαν σωστή εικόνα για το πρόβλημα στην εκάστοτε κατάσταση.

Παρ' όλ' αυτά, είναι σαφές ότι η εφαρμογή δεν είναι άριστη και επιδέχεται αρκετές βελτιώσεις. Παρακάτω συνοψίζονται ορισμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου και της εφαρμογής.

Πλεονεκτήματα μεθόδου

Αρχικά, ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι αποφεύγεται ο υπολογισμός πιθανοτήτων κατά την αναγνώριση, ταυτοποίηση και εκτίμηση του κινδύνου. Συχνά, ο υπολογισμός αυτός είναι ιδιαίτερα δύσκολος, ενώ ταυτόχρονα το αποτέλεσμα είναι αμφισβητούμενο. Επιπλέον, ένα προτέρημα της μεθόδου είναι ότι απαιτείται η γνώση μόνο των ασφαλών καταστάσεων λειτουργίας ενός συστήματος για τον προσδιορισμό των επικίνδυνων. Πρόκειται για πολύ σημαντικό πλεονέκτημα, καθώς αφενός δεν απαιτούνται δεδομένα από βάσεις ατυχημάτων πλοίων, οι οποίες εν γένει είναι περιορισμένες, και αφετέρου δίνεται η δυνατότητα της αναγνώρισης μεγαλύτερου φάσματος πιθανών επικίνδυνων καταστάσεων σε σχέση με τις τεχνικές για την αναγνώριση κινδύνων, οι οποίες περιορίζονται από τη «φαντασία του αναλυτή». Με άλλα λόγια, δεν χρειάζεται να πραγματοποιηθεί ανάλυση και ταυτοποίηση πιθανών κινδύνων προκειμένου να γίνει

μια συνολική εκτίμηση της εκάστοτε κατάστασης. Αντιθέτως, χρειάζονται δεδομένα από κανονικές – ασφαλείς καταστάσεις λειτουργίας.

Μειονεκτήματα μεθόδου

Το πιο σημαντικό ίσως μειονέκτημα της μεθόδου είναι ο περιορισμός στις διαστάσεις, ο οποίος αναγκαστικά οδήγησε στην απλοποίηση της εφαρμογής αγνοώντας κάποιους παράγοντες ρίσκου. Επιπλέον, πρέπει να σημειωθεί ότι η ένταξη των ανθρώπινων παραγόντων δεν είναι εύκολη, λόγω της δυσκολίας στην ποσοτικοποίησή τους μέσω συγκεκριμένων παραμέτρων, ενώ παράλληλα επίσης δύσκολη αποτελεί η ένταξη παραγόντων που παίρνουν αποκλειστικά διακριτές τιμές, όπως για παράδειγμα ο παράγοντας της ημέρας/νύχτας.

Επίσης, σχετικά με την εφαρμογή και τον αλγόριθμο υπάρχουν διάφορα μικρότερα ζητήματα, τα οποία χρήζουν προσοχή προκειμένου να επιτευχθεί ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Αρχικά, θα πρέπει να υπάρχει κατάλληλος αριθμός δειγμάτων self διασκορπισμένος στην self περιοχή με τέτοιο τρόπο, ώστε να καλύπτεται ικανοποιητικά η περιοχή. Σε αντίθετη περίπτωση, θα κατασκευαστούν ανιχνευτές στην self περιοχή και θα υπάρχει αύξηση του false alarm rate. Παράλληλα η εφαρμογή είναι δύσκολη όταν η self περιοχή είναι μεγάλη ως προς την συνολική υπό εξέταση περιοχή, λόγω της λογικής και των ειδικών περιορισμών του αλγορίθμου. Αυτά τα δύο ζητήματα προέκυψαν στην κατηγορία E και γι' αυτό οι δείκτες αξιολόγησης, detection rate και false alarm rate, έλαβαν τις χειρότερες τιμές σε σχέση με τις άλλες κατηγορίες.

Γενικότερα, παρατηρείται ότι η μέθοδος στηρίζεται σε μεγάλο βαθμό στα δεδομένα και στις παραδοχές που γίνονται, καθώς παρατηρείται ότι σε οποιαδήποτε αλλαγή ή τροποποίηση αυτών, το σύστημα αποκρίνεται διαφορετικά και συχνά απαιτούνται διάφορες αλλαγές. Για παράδειγμα, έστω ότι ένας παράγοντας ορίζεται στο [0-50], τότε θα κατασκευαστεί ένα σύστημα με βάση αυτό το δεδομένο αλλά και τα υπόλοιπα. Εάν στη συνέχεια αποφασιστεί ο μετασχηματισμός του πεδίου ορισμού του παράγοντα από το [0-50] στο [0-10], διαιρώντας κάθε τιμή του πρώτου με το 5, τότε πρέπει να γίνει εκ νέου βελτιστοποίηση στις τιμές των παραμέτρων του αλγορίθμου. Κατά συνέπεια, σημειώνεται ότι οι προεργασίες που σχετίζονται με τις επιλογές των self, των παραγόντων ρίσκου και των παραμέτρων του αλγορίθμου

αποτελούν βασική προϋπόθεση για τη σωστή λειτουργία του αλγορίθμου και χρήζουν ιδιαίτερη προσοχή.

Ωστόσο, παρά τα μειονεκτήματα της μεθόδου, η εφαρμογή μπορεί να έχει εξαιρετικά αποτελέσματα εφόσον υπάρχουν κατάλληλα δεδομένα, προσεγμένη επιλογή των παραμέτρων και παρθούν κατάλληλες αποφάσεις/παραδοχές. Παράλληλα η ιδέα των πολλών συστημάτων αντιμετωπίζει ικανοποιητικά το πρόβλημα των διαστάσεων.

Μελλοντική έρευνα

Αρχικά, θα παρουσίαζε ενδιαφέρον η πραγματοποίηση της εφαρμογής είτε σε πραγματικά δεδομένα είτε σε δεδομένα μίας προσομοίωσης. Επιπλέον, με παρόμοια λογική, η παραπάνω μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί για την αναγνώριση και ταυτοποίηση των κινδύνων και στα υπόλοιπα είδη ατυχημάτων της ναυτιλίας. Για παράδειγμα, θα μπορούσε να λειτουργήσει ένα σύστημα το οποίο θα εκτιμά τον κίνδυνο σύγκρουσης πλοίων ή τη δημιουργία φωτιάς στο πλοίο εξετάζοντας φυσικά τους κατάλληλους παράγοντες ρίσκου.

Τέλος, τονίζεται ότι στη παρούσα διπλωματική εργασία δεν έχει πραγματοποιηθεί εκτίμηση ρίσκου καθώς δεν έχει συμπεριληφθεί η επίδραση των συνεπειών των ατυχημάτων. Ωστόσο, σε μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να εξεταστεί η ένταξη του ζητήματος των συνεπειών και τελικά, θα μπορούσε να κατασκευαστεί ένα συνολικό σύστημα, το οποίο να περιλαμβάνει υποσυστήματα που να εκτιμούν το ρίσκο για κάθε πιθανό ατύχημα και στο τέλος να υπάρχει μια συνολική εκτίμηση για την κατάσταση λειτουργίας.

Παράρτημα Α

Πίνακας 22. Πίνακας Ρίσκου Κατηγορίας Α

Waterway Complexity	Traffic density			
	Low	Moderate	High	Very High
Low				
Moderate				
High				
Very High				

Πίνακας 23. Πίνακας Ρίσκου Κατηγορίας Β

Wind	Waves	Currents			
		Low	Moderate	High	Very High
Low	Low	Green	Green	Yellow	Red
	Moderate	Green	Green	Yellow	Red
	High	Yellow	Yellow	Red	Red
	Very High	Red	Red	Red	Red
Moderate	Low	Green	Green	Yellow	Red
	Moderate	Green	Yellow	Yellow	Red
	High	Yellow	Yellow	Red	Red
	Very High	Red	Red	Red	Red
High	Low	Yellow	Yellow	Red	Red
	Moderate	Yellow	Yellow	Red	Red
	High	Yellow	Yellow	Red	Red
	Very High	Red	Red	Red	Red

Πίνακας 24. Πίνακας Ρίσκου Κατηγορίας Γ

Visibility	On board navigation aids		
	Low	Moderate	High
Unlimited	Green	Yellow	Red
Limited	Yellow	Yellow	Red
Restricted	Yellow	Red	Red
Very Restricted	Red	Red	Red

Πίνακας 25. Πίνακας Ρίσκου Κατηγορίας Δ

Traffic density	Wind	Waves	Currents	Waterway Complexity		
				Low	Moderate	High
Low	Low	Low	Low	Green	Green	Green
			Moderate	Green	Green	Yellow
			High	Green	Yellow	Red
		Moderate	Low	Green	Green	Green
			Moderate	Green	Green	Yellow
			High	Green	Yellow	Red
		High	Low	Green	Green	Red
			Moderate	Green	Yellow	Red
			High	Red	Red	Red
	Moderate	Low	Low	Green	Green	Green
			Moderate	Green	Green	Yellow
			High	Green	Yellow	Red
		Moderate	Low	Green	Green	Yellow
			Moderate	Green	Yellow	Yellow
			High	Yellow	Yellow	Red
		High	Low	Green	Yellow	Red

			Moderate					
			High					
	High	Low		Low				
				Moderate				
				High				
		Moderate			Low			
					Moderate			
					High			
		High			Low			
					Moderate			
					High			
Traffic density	Wind	Waves	Currents	Waterway Complexity				
				Low	Moderate	High		
Moderate	Low	Low		Low				
				Moderate				
				High				
		Moderate			Low			
					Moderate			
					High			
		High			Low			
					Moderate			
					High			
	Moderate	Low			Low			
					Moderate			
					High			
		Moderate			Low			
					Moderate			
					High			
		High			Low			
					Moderate			
					High			
	High	Low			Low			
					Moderate			
					High			
		Moderate			Low			
					Moderate			
					High			
High				Low				
				Moderate				
				High				

Traffic density	Wind	Waves	Currents	Waterway Complexity		
				Low	Moderate	High
High	Low	Low	Low	Green	Yellow	Red
			Moderate	Yellow	Yellow	Red
			High	Red	Red	Red
		Moderate	Low	Green	Yellow	Red
			Moderate	Yellow	Yellow	Red
			High	Red	Red	Red
		High	Low	Red	Red	Red
			Moderate	Red	Red	Red
			High	Red	Red	Red
	Moderate	Low	Low	Yellow	Yellow	Red
			Moderate	Yellow	Yellow	Red
			High	Red	Red	Red
		Moderate	Low	Yellow	Yellow	Red
			Moderate	Yellow	Yellow	Red
			High	Red	Red	Red
		High	Low	Red	Red	Red
			Moderate	Red	Red	Red
			High	Red	Red	Red
	High	Low	Low	Red	Red	Red
			Moderate	Red	Red	Red
			High	Red	Red	Red
		Moderate	Low	Red	Red	Red
			Moderate	Red	Red	Red
			High	Red	Red	Red
High		Low	Red	Red	Red	
		Moderate	Red	Red	Red	
		High	Red	Red	Red	

Πίνακας 26. Πίνακας Ρίσκου Κατηγορίας Ε

Waterway Complexity	Traffic density	Visibility		
		Unlimited	Limited	Restricted
Low Risk Open Waters	Light	Green	Green	Yellow
	Moderate	Green	Yellow	Yellow
	Heavy	Yellow	Yellow	Red
Moderate - High Risk Restricted Waters	Light	Green	Yellow	Yellow
	Moderate	Yellow	Yellow	Red
	Heavy	Yellow	Red	Red
High – Very High Risk Enclosed Waters	Light	Yellow	Yellow	Red
	Moderate	Yellow	Red	Red

Βιβλιογραφία

- [1] Κ. Σπύρου, «Μέρος Β: Μεθοδολογία αξιολόγησης ασφαλείας μηχανικών συστημάτων,» σε *Μελέτη και εξοπλισμός πλοίου II*, 2017.
- [2] A. Mazaheri, «Probabilistic Modeling of Ship Grounding – A review of the literature,» 2009.
- [3] A. Mazaheri, J. Montewka και P. Kujala, «Towards an evidence-based probabilistic risk model for ship-grounding,» 2016.
- [4] D. Dasgupta, K. KrishnaKumar και M. B. D. Wong, «Negative Selection Algorithm for Aircraft Fault Detection,» 2004.
- [5] D. Corne, «An Investigation of the Negative Selection Algorithm for Fault Detection in Refrigeration Systems,» 2003.
- [6] J. J. Jebsen and V. C. Papakonstantinou, *Evaluation of the Physical Risk of Ship Grounding*, Massachusetts Institute of Technology, 1997.

- [7] C. Macrae, «Human factors at sea: common patterns of error in groundings and collisions,» 2009.
- [8] N. P. Ventikos, G. V. Lykos και I. I. Padouva, «How to achieve an effective behavioral-based safety plan: the analysis of an attitude questionnaire for the maritime industry,» *WMU Journal of Maritime Affairs*, 2014.
- [9] Marine Accident Investigation Branch, "Grounding of K-WAVE," 2011.
- [10] M. S. Samuelides and N. P. Ventikos, "Study of grounding incidents: description of contact and frequency of occurrence," 2007.
- [11] Paris MoU, «<https://parismou.org/Statistics%26Current-Lists/white-grey-and-black-list>,» [Ηλεκτρονικό].
- [12] ABS, «Bridge Design and Navigational Equipment/Systems,» 2021.
- [13] Marine Accident Investigation Branch., «Report on the investigation of the grounding of mv Maersk Kendal,» 2009.
- [14] F. Huacan and D. Menglan, "The Environment and Environmental Load of Offshore Oil Engineering," in *Offshore Operation Facilities*, 2014.
- [15] H. L. Kite-Powell, D. Jin, V. P. Johan Jebesen and N. Patrikalakis, "Investigation of Potential Risk Factors for Groundings of Commercial Vessels in U.S. Ports," 1999.
- [16] R. J. Bye and L. Asbjorn, *Maritime navigation accidents and risk indicators: An exploratory statistical analysis using AIS data and accident reports*, 2018.
- [17] M. R. Malim και F. A. Halim, «Immunology and artificial immune systems,» 2012.
- [18] R. Mark, P. Andrews και J. Timmis, *Artificial Immune Systems*, 2009.
- [19] Wikipedia, «Ανοσοποιητικό σύστημα,» [Ηλεκτρονικό].
- [20] B. H. Ulutas and Sadan Kulturel-Konak, "A review of clonal selection algorithm and its applications," 2011.
- [21] A. Acan, «Clonal Selection Algorithm with Operator,» 2004.
- [22] U. Garain, M. P. Chakraborty and D. Dasgupta, "Recognition of Handwritten Indic Script Using Clonal," 2006.
- [23] A. Akdagli, K. Guney and B. Babayigit, "Clonal Selection Algorithm for Design of Reconfigurable," *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, 2012.
- [24] S. Darmoul, H. Pierreval and S. H. Gabouj, "Scheduling Using Artificial Immune System Metaphors: A Review," 2006.
- [25] Y. Zhu, S. Gao, H. Dai, F. Li and Z. Tang, "Improved Clonal Algorithm and Its Application to Traveling," *International Journal of Computer Science and Network Security*, 2007.

- [26] F. Campelo, F. G. Guimarães, H. Igarashi, J. A. Ramírez and S. Noguchi, "A Modified Immune Network Algorithm for Multimodal Electromagnetic Problems," 2006.
- [27] L. N. De Castro and J. Timmis, "An Artificial Immune Network for Multimodal Function Optimization," 2002.
- [28] D. Dasgupta and F. González, "An Immunity-Based Technique to Characterize Intrusions in Computer Networks," 2002.
- [29] F. A. Gonzalez και D. Dasgupta, «Anomaly Detection Using Real-Valued Negative,» 2003.
- [30] F. González, D. Dasgupta and L. F. Niño, "A Randomized Real-Valued Negative Selection," 2003.
- [31] L. J. Gonzalez, «A Self-Adaptive Evolutionary Negative Selection Approach for Anomaly Detection,» Nova Southeastern University, 2005.
- [32] Z. Ji and D. Dasgupta, "Augmented Negative Selection Algorithm with Variable-Coverage Detectors," 2004.
- [33] Z. Ji and D. Dasgupta, "Applicability Issues of the Real-Valued Negative Selection Algorithms," 2006.
- [34] M. G. Perhinschi, H. Moncayo and D. Al Azzawi, "Integrated Immunity-Based Framework for Aircraft Abnormal Conditions Management," 2014.
- [35] H. Moncayo, M. G. Perhinschi and J. Davis, "Aircraft Failure Detection and Identification Using and Immunological Hierarchical Multiself Strategy," 2010.
- [36] Wikipedia, «Beaufort scale».
- [37] J. Montewka, T. Manderbacka, P. Ruponen, M. Tompuri, M. Gil and S. Hirdaris, "Accident susceptibility index for a passenger ship-a framework and case study," 2022.
- [38] A. Mazaheri, J. Montewka, P. Kotilainen, O.-V. E. Sormunen and P. Kujala, "Assessing Grounding Frequency using Ship Traffic and Waterway Complexity," 2015.
- [39] STCW Convention Section A-VIII/1.