



Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών

Πολυπρακτορική Διαχείριση Κρίσεων: Η περίπτωση της πυρόσβεσης

Multiagent Crisis Management: A case study in firefighting

Διπλωματική Εργασία

ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΛΙΑΚΟΣ

Επιβλέπουσα
Δασκαλοπούλου Ασπασία
Επίκουρος Καθηγήτρια

Βόλος, Ιούλιος 2019



Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών

Πολυπρακτορική Διαχείριση Κρίσεων: Η περίπτωση της πυρόσβεσης

Multiagent Crisis Management: A case study in firefighting

Διπλωματική Εργασία

ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΛΙΑΚΟΣ

Επιτροπή επίβλεψης

Επιβλέπουσα

Δασκαλοπούλου Ασπασία

Επίκουρος Καθηγήτρια

Συνεπιβλέπων

Βασιλακόπουλος Μιχαήλ

Αναπληρωτής Καθηγητής

Συνεπιβλέπων

Τσουκαλάς Ελευθέριος

Καθηγητής

Βόλος, Ιούλιος 2019



Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή που την εκπόνησε. Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα.

Το περιεχόμενο αυτής της εργασίας δεν απηχεί απαραίτητα τις απόψεις του Τμήματος, του Επιβλέποντα, ή της επιτροπής που την ενέκρινε.

Ο συγγραφέας αυτής της εργασίας βεβαιώνει ότι κάθε βοήθεια την οποία είχε για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης βεβαιώνει ότι έχει αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανε χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται επακριβώς, είτε παραφρασμένες.

Περίληψη

Η ανάγκη ορθής επικοινωνίας και συντονισμού είναι επιτακτική σε όλες τις συλλογικές δράσεις. Ο τρόπος με τον οποίο κάθε ομάδα οφείλει να διαχειρίζεται τις αποφάσεις της είναι μείζονος σημασίας για την ομαλή λειτουργία της και την επίτευξη των στόχων της. Η μελέτη αυτού του αντικειμένου εκτιμάται περισσότερο όταν τα περιθώρια σκέψης και σχεδιασμού πλάνων είναι περιορισμένα όπως οι καταστάσεις άμεσης δράσης, όπου εκεί η παραμικρή αστοχία συντονισμού μπορεί αποβεί μοιραία. Παράλληλα, με την άνθηση του τομέα της τεχνητής νοημοσύνης η μελέτη αυτή μπορεί να συνδυαστεί πάνω σε ευφυή συστήματα, εκμεταλλευόμενοι πολλά οφέλη τόσο σε πρακτικό επίπεδο όσο και σε επίπεδο μελέτης. Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε η πολυπρακτορική διαχείριση κρίσεων στην περίπτωση της πυρόσβεσης για μία ομάδα ευφών πρακτόρων καθώς και η δημιουργία μίας πλατφόρμας προσομοίωσης πολυπρακτορικών συστημάτων για σκοπούς μελέτης και εξαγωγής πληροφοριών τέτοιων καταστάσεων.

Abstract

The need for proper communication and coordination is imperative for all collective actions. The way in which each group has to manage its decisions is of major importance for its smooth operation and the achievement of its objectives. The study of this subject is most appreciated when the limits of thought and plan design are limited, such as emergency situations, where the smallest coordination failure can be fatal. At the same time, with the booming of the field of artificial intelligence, this study can be combined on intelligent systems, taking advantage of many benefits at both a practical and a study level. In this diploma thesis we studied the multiagent crisis management in the case of firefighting for a group of intelligent agents as well as the creation of a platform for simulation of multiagent systems for the purpose of studying and extracting information of such situations.

Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την καθηγήτρια κα. Δασκαλοπούλου Ασπασία όπως και τους συνεπιβλέποντες καθηγητές κ. Βασιλακόπουλο Μιχαήλ και κ. Τσουκαλά Ελευθέριο για τις καίριες συμβουλές και την καθοδήγηση που μου παρείχαν σε όλα τα στάδια της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την υποστήριξη που μου προσέφερε σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Πρόλογος

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε ως το τελευταίο βήμα για την απόκτηση διπλώματος και την ολοκλήρωση των σπουδών μου στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στην πόλη του Βόλου υπό την επίβλεψη της Επίκουρου καθηγήτριας κα. Δασκαλοπούλου Ασπασίας.

Περιεχόμενα

| | |
|--------------------------------------------------|-------------|
| Περίληψη | i |
| Abstract | iii |
| Ευχαριστίες | v |
| Πρόλογος | vii |
| Περιεχόμενα | x |
| Κατάλογος σχημάτων | xi |
| Κατάλογος πινάκων | xiii |
| 1 Εισαγωγή | 1 |
| 1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής | 1 |
| 1.1.1 Συνεισφορά | 1 |
| 1.2 Οργάνωση του τόμου | 2 |
| 2 Θεωρητικό Υπόβαθρο | 3 |
| 2.1 Έννοιες Τεχνητής Νοημοσύνης | 3 |
| 2.1.1 Πράκτορας | 3 |
| 2.1.2 Περιβάλλον | 6 |
| 2.2 Βασικές Έννοιες Πυρόσβεσης | 7 |
| 2.2.1 Τρόποι κατάσβεσης | 8 |
| 2.2.2 Μέσα κατάσβεσης πυρκαγιών | 8 |
| 2.2.3 Βασικές ενέργειες στην κατάσβεση | 8 |
| 3 Περιβάλλον Πυρόσβεσης | 11 |
| 3.1 Η Φύση του Περιβάλλοντος | 11 |
| 3.2 Προσβασιμότητα | 11 |
| 3.3 Γεωγραφική Έκταση | 11 |
| 3.4 Άνεμος και Καιρικές Συνθήκες | 12 |
| 3.5 Καύσιμη Ύλη και Εκλυόμενα Αέρια | 12 |

| | | |
|----------|----------------------------------------------------------|-----------|
| 4 | Σχεδιασμός Πράκτορα Πυρόσβεσης | 13 |
| 4.1 | Χρήση Τεχνητής Νοημοσύνης στην Πυρόσβεση | 13 |
| 4.2 | Χαρακτηριστικά Πράκτορα | 13 |
| 4.2.1 | Ρομποτική Ταχύτητα | 14 |
| 4.2.2 | Περιοχή Αντίληψης (Region of Perception – ROP) | 14 |
| 4.2.3 | Χωρητικότητα Αποθήκευσης Πόρων | 18 |
| 4.2.4 | Διάρκεια Δράσης και Μπαταρία | 19 |
| 4.3 | Ρεπερτόριο Ενεργειών και Μηχανισμοί Δράσης | 20 |
| 4.4 | Αισθητήρες | 21 |
| 5 | Προτεινόμενη Υλοποίηση | 23 |
| 5.1 | Περιγραφή Περιβάλλοντος / Κόσμου Υλοποίησης | 23 |
| 5.1.1 | Χαρακτηριστικά Συστήματος | 23 |
| 5.1.2 | Παράμετροι Περιβάλλοντος | 24 |
| 5.1.3 | Αντικείμενα και Οντότητες | 24 |
| 5.2 | Περιγραφή Πράκτορα | 26 |
| 5.2.1 | Αρχιτεκτονική | 26 |
| 5.2.2 | Ρεπερτόριο Ενεργειών | 27 |
| 5.3 | Πρόγραμμα Πράκτορα | 35 |
| 5.3.1 | Βάση Γνώσης | 36 |
| 5.3.2 | Δομή του Προγράμματος | 38 |
| 6 | Πλατφόρμα Προσομοίωσης | 49 |
| 6.1 | Μοντέλα Βασισμένα σε Πράκτορες | 49 |
| 6.2 | Γλώσσα Προγραμματισμού και Εργαλεία Υλοποίησης | 50 |
| 6.3 | Οδηγίες Πλατφόρμας | 50 |
| 6.4 | Αποτελέσματα Προτεινόμενης Υλοποίησης | 56 |
| 7 | Επίλογος | 57 |
| 7.1 | Σύνοψη και συμπεράσματα | 57 |
| 7.2 | Μελλοντικές επεκτάσεις | 58 |
| | Βιβλιογραφία | 59 |
| | Συντομογραφίες | 61 |
| | Ορολογία - Γλωσσάρι | 63 |

Κατάλογος σχημάτων

| | | |
|------|----------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1 | Σχηματική απεικόνιση πράκτορα [5] | 3 |
| 2.2 | Ο πράκτορας ως συνάρτηση | 4 |
| 2.3 | Σχηματικό διάγραμμα απλού αντανακλαστικού πράκτορα [7] | 4 |
| 2.4 | Σχηματικό διάγραμμα πράκτορα με μοντέλο [7] | 5 |
| 2.5 | Σχηματικό διάγραμμα πράκτορα βασισμένου σε στόχο [7] | 5 |
| 2.6 | Σχηματικό διάγραμμα πράκτορα χρησιμότητας [7] | 6 |
| 2.7 | Το τρίγωνο και η πυραμίδα της φωτιάς [6] | 7 |
| 4.1 | ROP ακτίνας κύκλου $R = 2$ | 15 |
| 4.2 | ROP τετραγώνου πλευράς $a = 3$ | 15 |
| 5.1 | Στιγμιότυπο του Περιβάλλοντος Υλοποίησης | 25 |
| 5.2 | The WALK-MAN robot. Δημιουργία του IIT-Istituto Italiano di Tecnologia [8] | 26 |
| 5.3 | Η ROP του πράκτορα υλοποίησης για πλευρά $a = 3$ τετράγωνα | 26 |
| 5.4 | Οι δράσεις κίνησης του πράκτορα | 27 |
| 5.5 | Η ενέργεια κίνησης Move XY | 27 |
| 5.6 | Κυρτότητα Συναρτήσεων | 28 |
| 5.7 | Τοπικό ελάχιστο κατά την Move XY | 28 |
| 5.8 | Use Water Jet | 32 |
| 5.9 | Use Water Jet XY | 32 |
| 5.10 | Βαθμιαία μετάβαση καταστάσεων | 34 |
| 5.11 | Ο πράκτορας ως συνάρτηση | 36 |
| 5.12 | Πίνακας G | 39 |
| 5.13 | Πίνακας C | 39 |
| 5.14 | Επιλογή του πράκτορα να κινηθεί δεξιά | 40 |
| 5.15 | Η νέα τρέχουσα κατάσταση | 40 |
| 5.16 | Βέλτιστη επιλογή η δράση κατάσβεσης στο (2, 3) | 41 |
| 5.17 | Τοπικό ελάχιστο της συνάρτησης H | 42 |
| 5.18 | Εύρεση εγγύτερου 1 | 43 |
| 5.19 | Σχεδιασμός ROP | 43 |
| 5.20 | Παράδειγμα συνδυασμού | 45 |
| 5.21 | Σχηματικά το πρόγραμμα του πράκτορα | 47 |

| | | |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.1 | Στιγμιότυπο Προσομοίωσης | 49 |
| 6.2 | Απλή σχεδίαση | 50 |
| 6.3 | Σχεδίαση με γραφικά | 50 |
| 6.4 | Αρχικό παράθυρο πλατφόρμας | 51 |
| 6.5 | Περιγραφή επιλεγμένου περιβάλλοντος | 51 |
| 6.6 | Παράθυρο επιλογής παραμέτρων | 52 |
| 6.7 | ROP για είσοδο 1 | 53 |
| 6.8 | Επεξήγηση κεντρικού παραθύρου | 54 |
| 6.9 | Επεξήγηση παραθύρου πληροφοριών | 55 |
| 6.10 | Εμφάνιση απόδοσης χρόνου σε τερματικό | 55 |
| 6.11 | Η απόδοση της υλοποίησης για διαφορετικό αριθμό πρακτόρων και δυσκολίας περιβάλλοντος | 56 |

Κατάλογος πινάκων

| | | |
|-----|--------------------------------------------------|----|
| 4.1 | Στιγμιότυπο πίνακα πόρων | 19 |
| 4.2 | Στιγμιότυπο ομαδικού πίνακα πόρων | 20 |
| 4.3 | Καταχώρηση ενέργειας στον πίνακα πόρων | 20 |
| 5.1 | Στιγμιότυπο πίνακα μονοπατιών | 30 |
| 5.2 | Πίνακας ομάδας του πράκτορα 1 | 44 |

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η μελέτη της διαχείρισης κρίσεων σε πολυπρακτορικά συστήματα. Η μελέτη αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί από επικεφαλής ομάδων για τον συντονισμό των δράσεων μιας ομάδας, με σκοπό την επίτευξη της βέλτιστης λειτουργίας της, καθώς και από απλά μέλη της ομάδας για την αποτελεσματικότερη επικοινωνία εντός αυτής. Η αξία της μελέτης αυτής διαφαίνεται περισσότερο σε καταστάσεις άμεσης δράσης όπως η αναζήτηση και διάσωση ανθρώπων όπου το παραμικρό δευτερόλεπτο έλλειψης συντονισμού της αποστολής μπορεί να κοστίζει ανθρώπινες ζωές. Το συγκεκριμένο αντικείμενο εμπλουτίζεται με το τομέα της τεχνητής νοημοσύνης ο οποίος μπορεί να συμβάλει στη δημιουργία μια ομάδας ευφυών συστημάτων η οποία θα λάμβανε τις ίδιες αποφάσεις ή ακόμα και καλύτερες από αυτές μιας ομάδας ανθρώπων.

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής επιλέχθηκε να μελετηθεί η περίπτωση της πυρόσβεσης για μια ομάδα ευφυών πρακτόρων. Επίσης, για τους σκοπούς της συγκεκριμένης εργασίας, δημιουργήθηκε μια πλατφόρμα προσομοίωσης πολυπρακτορικών συστημάτων στην οποία μπορούν μελετητές, να εξάγουν σημαντικά συμπεράσματα για την λειτουργία μιας ομάδας κάτω από διάφορες συνθήκες.

1.1.1 Συνεισφορά

Η συνεισφορά της διπλωματικής συνοψίζεται ως εξής:

1. Σχεδίαση αλγορίθμων επικοινωνίας και συντονισμού σε περιβάλλοντα άμεσης δράσης τόσο για ανθρώπινες ομάδες διάσωσης όσο και ομάδων ευφυών συστημάτων.
2. Εισαγωγή εννοιών του τομέα της τεχνητής νοημοσύνης σε συνθήκες άμεσης δράσης.
3. Υλοποίηση λογισμικού για μια ομάδα πυρόσβεσης ευφυών συστημάτων.
4. Δημιουργία πλατφόρμας προσομοίωσης πολυπρακτορικών συστημάτων για μελέτη και εξαγωγή συμπερασμάτων.

1.2 Οργάνωση του τόμου

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο της διπλωματικής εργασίας με την περιγραφή εννοιών του τομέα της τεχνητής νοημοσύνης καθώς και βασικές έννοιες και αρχές που τηρούνται σε θέματα πυρόσβεσης. Στο Κεφάλαιο 3 μελετώνται και επισημαίνονται σημαντικές παράμετροι ενός περιβάλλοντος πυρόσβεσης ενώ στο Κεφάλαιο 4 περιγράφονται τα απαραίτητα χαρακτηριστικά και προϋποθέσεις που θα πρέπει να πληρούνται για τον σχεδιασμό ενός πράκτορα που θα δρα σε αυτό. Η προτεινομένη σχεδίαση του πράκτορα δίνεται στο Κεφάλαιο 5 όπου αρχικά περιγράφεται το περιβάλλον για το οποίο αυτός σχεδιάστηκε, καθώς και όλες οι λεπτομέρειες τόσο για την αρχιτεκτονική του όσο και για το πρόγραμμά του. Το Κεφάλαιο 6 περιγράφει την πλατφόρμα προσομοίωσης πολυπρακτορικών συστημάτων που υλοποιήθηκε για τους σκοπούς της παρούσας διπλωματικής εργασίας και μέσω αυτής εξάγουμε μερικά αποτελέσματα για να ελέγξουμε την απόδοση της προτεινόμενης υλοποίησης. Τέλος, το Κεφάλαιο 7 συζητά τα κύρια συμπεράσματα που εξάγονται σε αυτή την διπλωματική καθώς και μελλοντικές της επεκτάσεις.

Κεφάλαιο 2

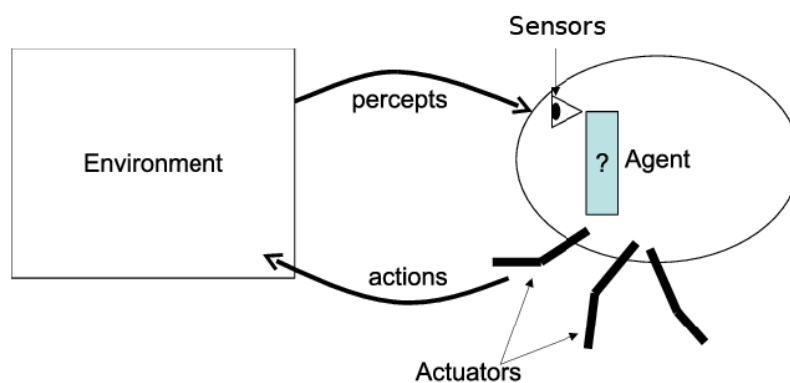
Θεωρητικό Υπόβαθρο

Στο πρώτο μέρος του κεφαλαίου αυτού, περιγράφονται ακροθιγώς κάποιες βασικές έννοιες και ορισμοί από τον τομέα της Τεχνητής Νοημοσύνης και συγκεκριμένα αυτών του *πράκτορα (agent)* και του *περιβάλλοντος (environment)*. Το δεύτερο μέρος του κεφαλαίου αφορά τον τομέα της Πυρόσβεσης και δίνονται συνοπτικά κάποιες βασικές έννοιες και αρχές που θα πρέπει τηρούνται κατά την εκτέλεση πυροσβεστικών αποστολών. Η ανάγνωση του κεφαλαίου αυτού βοηθάει στην κατανόηση αρκετών εννοιών που ακολουθούν σε επόμενα κεφάλαια της διπλωματικής εργασίας.

2.1 Έννοιες Τεχνητής Νοημοσύνης

2.1.1 Πράκτορας

Πράκτορας είναι οτιδήποτε μπορεί να θεωρηθεί ότι αντιλαμβάνεται το *περιβάλλον* του (environment) μέσω *αισθητήρων* (sensors), και επενεργεί σε αυτό το περιβάλλον μέσω *μηχανισμών δράσης* (actuators) [7].



Σχήμα 2.1: Σχηματική απεικόνιση πράκτορα [5]

Τα ερεθίσματα που λαμβάνει ο πράκτορας από τους αισθητήρες του ονομάζονται *αντιλήψεις (percepts)* [7].

Πιο αφαιρετικά ο πράκτορας μπορεί να αναπαρασταθεί ως μια συνάρτηση η οποία δέχεται ως είσοδο αντιλήψεις E από το περιβάλλον και παράγει μια έξοδο δράσης Ac σε αυτό:



Σχήμα 2.2: Ο πράκτορας ως συνάρτηση

$$Agent : E \rightarrow Ac$$

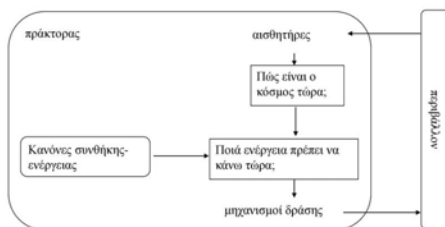
Η δομή ενός πράκτορα αποτελείται από δύο μέρη, το πρόγραμμα πράκτορα (*agent program*) το οποίο υλοποιεί τη συνάρτηση πράκτορα που αντιστοιχίζει τις αντιλήψεις σε ενέργειες και την αρχιτεκτονική (*architecture*) του που αποτελείται από τους φυσικούς αισθητήρες και μηχανισμούς δράσης[7].

$$\text{πράκτορας} = \text{αρχιτεκτονική} + \text{πρόγραμμα}$$

Παρακάτω σκιαγραφούνται τα τέσσερα βασικά είδη προγραμμάτων πράκτορα που ενσωματώνουν τις αρχές στις οποίες βασίζονται σχεδόν όλα τα ευφυή συστήματα.

Απλοί αντανakλαστικοί πράκτορες

Το απλούστερο είδος πράκτορα είναι ο απλός αντανakλαστικός πράκτορας (*simple reflex agent*). Αυτοί οι πράκτορες επιλέγουν ενέργειες με βάση μόνο την τρέχουσα αντίληψη, αγνοώντας το υπόλοιπο ιστορικό αντιλήψεων. Η ενέργεια που θα εκτελεστεί επιλέγεται από έναν πίνακα κανόνων-συνθηκών ενέργειας [7].



Σχήμα 2.3: Σχηματικό διάγραμμα απλού αντανakλαστικού πράκτορα [7]

Αν και η δομή τους είναι πολύ απλή οι πράκτορες αυτοί λειτουργούν σωστά μόνο όταν η σωστή απόφαση μπορεί να παρθεί μόνο από την τρέχουσα αντίληψη.

Απλοί αντανακλαστικοί πράκτορες με μοντέλο

Οι απλοί αντανακλαστικοί πράκτορες με μοντέλο (model-based agent) επιλέγουν ποια ενέργεια θα εκτελέσουν σε μια δεδομένη χρονική στιγμή με βάση το **ιστορικό** των αντιλήψεων τους. Το ιστορικό των αντιλήψεων αυτών χρησιμοποιείται για να φτιάξει ο πράκτορας ένα **μοντέλο** για το πως λειτουργεί ο κόσμος [7].

Το μοντέλο αυτό βοηθάει στον πράκτορα να απαντάει ερωτήματα όπως:

- Πως εξελίσσεται ο κόσμος ανεξάρτητα από αυτόν (νόμοι περιβάλλοντος)
- Πως αλλάζει ο κόσμος εξαιτίας των ενεργειών του

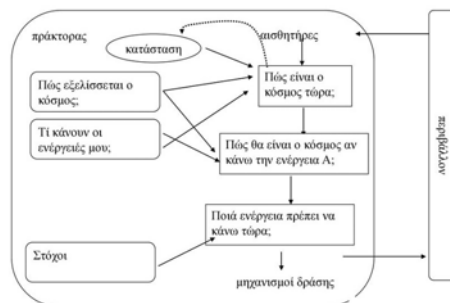


Σχήμα 2.4: Σχηματικό διάγραμμα πράκτορα με μοντέλο [7]

Πράκτορες βασισμένοι στο στόχο

Σε πολλές περιπτώσεις η τρέχουσα αντίληψη (ή και το ιστορικό) δεν επαρκούν σε μερικές περιπτώσεις για να λάβει ο πράκτορας τις σωστές αποφάσεις γι' αυτό πολλές φορές δίνουμε στον πράκτορα μια επιπλέον πληροφορία για το ποιος είναι ο **στόχος** του (goal) ή με άλλα λόγια σε ποια κατάσταση θα πρέπει να φέρει το περιβάλλον.

Οι πράκτορες αυτοί ονομάζονται **πράκτορες βασισμένοι στο στόχο** (goal-based agents) και είναι εφοδιασμένοι με τεχνικές **αναζήτησης** και **σχεδιασμού** για να μπορούν να βρουν μια ακολουθία ενεργειών που πετυχαίνουν το στόχο του [7].



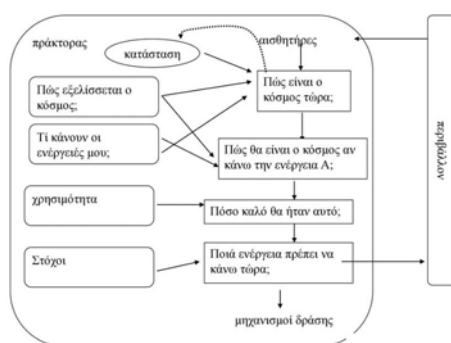
Σχήμα 2.5: Σχηματικό διάγραμμα πράκτορα βασισμένου σε στόχο [7]

Πράκτορες βασισμένους στη χρησιμότητα

Ενδέχεται ένας πράκτορας να επιτυγχάνει τον στόχο του μέσα από ένα πλήθος εναλλακτικών σχεδιασμών. Κάθε ένας τέτοιος σχεδιασμός μπορεί να ικανοποιεί σε διαφορετικό βαθμό διάφορες μετρικές του περιβάλλοντος. Για παράδειγμα σε έναν πράκτορα οδηγό ταξι τέτοιες μετρικές μπορεί να είναι η ασφάλεια του δρομολογίου, η ταχύτητα, οι απολαβές κ.α.

Για να μπορεί να αποφασίζει ο πράκτορας ποια είναι η καλύτερη επιλογή όλων των εναλλακτικών του εφαρμόζει μια *συνάρτηση χρησιμότητας (utility function)* για κάθε μια κατάσταση του περιβάλλοντος. Η συνάρτηση αυτή απεικονίζει κάθε κατάσταση σε έναν πραγματικό αριθμό u . Όσο μεγαλύτερος ο αριθμός τόσο πιο επιθυμητή η κατάσταση για τον πράκτορα. Επομένως ο πράκτορας δεν μένει παρά να επιλέγει τις καταστάσεις οι οποίες μεγιστοποιούν την χρησιμότητά του.

Οι πράκτορες που βασίζονται σε αυτή τη λογική ονομάζονται *πράκτορες βασισμένοι στη χρησιμότητα (utility based agent)* [7].



Σχήμα 2.6: Σχηματικό διάγραμμα πράκτορα χρησιμότητας [7]

Τέλος κάθε ένας από τους παραπάνω τύπους πρακτόρων μπορεί να μετατραπεί σε ένα *πράκτορα που μαθαίνει (learning agents)*. Αυτοί οι πράκτορες έχουν την ικανότητα να μαθαίνουν μέσα από τις ενέργειες τους και να αποκτούν πείρα όσο περισσότερο δρουν στο περιβάλλον [7].

2.1.2 Περιβάλλον

Το *περιβάλλον (environment)* στο οποίο δρα ένας πράκτορας, το οποίο ονομάζεται επίσης και *περιβάλλον εργασιών (task environment)*, είναι τα “προβλήματα” για τα οποία οι ορθολογικοί πράκτορες είναι οι “λύσεις”. Κάποιες από τις ιδιότητες των περιβαλλόντων αυτών είναι [7]:

- **Πλήρως Παρατηρήσιμο ή Μερικώς Παρατηρήσιμο:** Αν οι αισθητήρες του πράκτορα του παρέχουν πρόσβαση στην πλήρη κατάσταση του περιβάλλοντος.
- **Αιτιοκρατικό ή Στοχαστικό:** Αν η επόμενη κατάσταση του περιβάλλοντος προσδιορίζεται πλήρως από την τρέχουσα κατάσταση και από την ενέργεια που εκτελείται από τον πράκτορα. Αν ένα περιβάλλον είναι αιτιοκρατικό με εξάρτηση τις ενέργειες άλλων πρακτόρων τότε είναι **στρατηγικό (strategic)**.

- **Στατικό ή Δυναμικό:** Αν το περιβάλλον μπορεί να αλλάζει ενώ ένας πράκτορας σκέπτεται. Αν το ίδιο το περιβάλλον δεν αλλάζει με το πέρασμα του χρόνου, όμως αλλάζει η βαθμολογία απόδοσης του πράκτορα τότε το περιβάλλον είναι **ημιδυναμικό (semidynamic)**
- **Διακριτό ή Συνεχές:** Αν οι καταστάσεις ενός περιβάλλοντος, ο χρόνος που κυλάει σε αυτό καθώς και οι αντιλήψεις και οι ενέργειες του πράκτορα είναι διακριτοποιημένες.
- **Μονοπρακτορικό ή Πολυπρακτορικό** Ανάλογα με τον αριθμό των πρακτόρων που βρίσκονται στο περιβάλλον. Αν σε ένα πολυπρακτορικό σύστημα οι στόχοι των πρακτόρων είναι κοινοί, το περιβάλλον είναι **συνεργατικό (cooperative)**. Από την άλλη πλευρά αν οι στόχοι των πρακτόρων είναι αντικρουόμενοι τότε το περιβάλλον είναι **ανταγωνιστικό (competitive)**

2.2 Βασικές Έννοιες Πυρόσβεσης

Καύση: Καύση είναι η χημική ένωση μιας ουσίας με το οξυγόνο ή με άλλο οξειδωτικό αέριο που συνοδεύεται συνήθως από έκλυση θερμότητας και φωτός [6].

Πυρκαγιά: Πυρκαγιά είναι η ανεξέλεγκτη καύση ενός σώματος, η οποία συνοδεύεται από έκλυση θερμότητας, εμφάνιση φλογών και προκαλεί την καταστροφή αυτού. Για τη δημιουργία μιας καύσης ή πυρκαγιάς πρέπει να συνυπάρχουν τρεις παράγοντες:

1. Καύσιμη ύλη
2. Οξυγόνο
3. Θερμοκρασία

Η επιστημονική έρευνα έχει δείξει ότι υπάρχει ένα τέταρτο απαραίτητο στοιχείο για την ανάπτυξη της πυρκαγιάς, οι ελεύθερες ρίζες του καυσίμου που ενώνονται (αντιδρούν χημικά) με το οξυγόνο ως αλυσιδωτή (αλυσωτή) αντίδραση και έτσι δημιουργείται η πυραμίδα (τετράεδρο) της πυρκαγιάς [6].



Σχήμα 2.7: Το τρίγωνο και η πυραμίδα της φωτιάς [6]

Για την κατάσβεση της πυρκαγιάς αρκεί να εξουδετερωθεί ένας ή περισσότεροι από τους παραπάνω παράγοντες.

2.2.1 Τρόποι κατάσβεσης

Αναφέραμε προηγουμένως ότι για να έχουμε πυρκαγιά, πρέπει να συνυπάρχουν τρεις παράγοντες (τρίγωνο/τετράεδρο πυρκαγιάς). Αν λείπει ένας μόνο από τους παράγοντες αυτούς, η πυρκαγιά δεν μπορεί να συνεχισθεί. Κατά συνέπεια η κατάσβεση μιας πυρκαγιάς μπορεί να γίνει με τρεις τρόπους:

1. Με την αφαίρεση της καύσιμης ύλης.
2. Με τη μείωση της θερμοκρασίας κάτω από το σημείο ανάφλεξης (ψύξη).
3. Με την αποστέρηση του οξυγόνου (απομόνωση).

Όπως αναμένεται, αποτελεσματικότερη κατάσβεση θα έχουμε με συνδυασμό δύο ή και τριών τρόπων μαζί. Τέλος κατάσβεση μερικών πυρκαγιών, ιδιαίτερα των υγρών και αερίων καυσίμων, μπορεί να γίνει είτε με τη *βίαιη αποκοπή της φλόγας* είτε με τη *διακοπή της αλυσωτής (αλυσιδωτής) αντίδρασης* [6].

2.2.2 Μέσα κατάσβεσης πυρκαγιών

Τα κυριότερα κατασβεστικά μέσα (υλικά) είναι [6] :

- Νερό
- Αφρός
- Διοξείδιο του άνθρακα (CO_2)
- Κατασβεστικές ξηρές σκόνες
- Υδρατμός
- Άμμος, χώμα, καλύμματα

2.2.3 Βασικές ενέργειες στην κατάσβεση

- Αναγνώριση του καιόμενου χώρου: Προσδιορίζονται η ακριβής εστία και έκταση της πυρκαγιάς, η ύπαρξη ή μη κινδυνευόντων ατόμων και η φύση/όγκος των καιόμενων υλικών.
- Διάσωση κινδυνευόντων - εγκλωβισμένων ατόμων: Η διάσωση περιλαμβάνει τις εργασίες εκείνες που απαιτούνται για τον εντοπισμό ανθρώπων ή ζώων ή ακόμα και αντικειμένων από ένα καίόμενο κτήριο ή άλλη επικίνδυνη κατάσταση και τη μεταφορά τους σε ασφαλές σημείο.
- Εγκατάσταση - προσβολή της πυρκαγιάς: Η διαδικασία της τοποθέτησης των απαιτούμενων πυροσβεστικών μέσων και υλικών για την εξυπηρέτηση του πυροσβεστικού έργου.

- Εκκαθάριση και αερισμός του χώρου: Μετά την κατάσβεση της πυρκαγιάς γίνεται η εκκαθάριση του χώρου από υλικά τα οποία φαινομενικά έπαψαν να καίγονται, υποκρύπτουν όμως λανθάνουσα πυράκτωση.
- Αναζήτηση αιτίων πυρκαγιάς: Η ασφαλής εξακρίβωση των αιτίων τα οποία προκάλεσαν την πυρκαγιά.
- Εκτίμηση ζημιών: Καταγράφονται στοιχεία/ζημιές/καμένες εκτάσεις κ.α σε δελτία [6].

Κεφάλαιο 3

Περιβάλλον Πυρόσβεσης

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφουμε τα κύρια χαρακτηριστικά ενός περιβάλλοντος πυρόσβεσης καθώς επίσης και παραμέτρους που μπορούν να επηρεάσουν σε μεγάλο βαθμό την κατάστασή του.

3.1 Η Φύση του Περιβάλλοντος

Εστίες φωτιάς μπορεί να προκληθούν σε οποιοδήποτε μέρος, από οικιακούς χώρους, δασικές περιοχές μέχρι και σε θαλάσσιες πλατφόρμες γεωτρήσεων. Κάθε περιοχή έχει τις δικές της ιδιαιτερότητες και χρειάζεται ειδικούς σχεδιασμούς για την αντιμετώπισή τους. Την ιδιαιτερότητα αυτού του μέρους στην οποία ξεσπά μια πυρκαγιά την αναφέρουμε ως *ρύση* του περιβάλλοντος πυρόσβεσης.

3.2 Προσβασιμότητα

Η φύση του περιβάλλοντος καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την προσβασιμότητά του, δηλαδή το κατά πόσο μπορούν να κινηθούν οι πυροσβέστες μέσα σε αυτό. Αντικατοπτρίζει το πόσο εύκολα μπορούν να βρουν διαδρόμους και διεξόδους για να απεγκλωβίσουν ανθρώπους ή να βρουν ένα καλύτερο σημείο για να κατασβέσουν τη φωτιά. Τα σπίτια και οι οικιακοί χώροι είναι ίσως τα περιβάλλοντα με την μικρότερη προσβασιμότητα καθώς υπάρχουν πολλοί λίγοι διάδρομοι και χώροι στους οποίους μπορεί να δράσει η πυροσβεστική ομάδα. Οι εναέριοι συνήθως τρόποι καταστολής είναι αυτοί που βοηθούν στην δραστική αντιμετώπιση μιας πυρκαγιάς όταν το περιβάλλον δεν είναι εύκολα προσβάσιμο.

3.3 Γεωγραφική Έκταση

Η έκταση μιας πυρκαγιάς δηλαδή το μέγεθος που καταλαμβάνει αποτελεί έναν βασικό παράγοντα για τον τρόπο αντιμετώπισης της. Συνήθως η παράμετρος αυτή χαρακτηρίζει τα δασικά περιβάλλοντα πυρόσβεσης όπου η φωτιά παίρνει έκταση στρεμμάτων. Η πυροσβεστική ομάδα θα πρέπει να σχεδιάσει μια γεωγραφική περιοχή στην οποία θα πρέπει να δράσει λαμβάνοντας πάντα υπόψη

την κατεύθυνση του ανέμου και την εκκένωση των κατοικημένων περιοχών που βρίσκονται εντός της επικίνδυνης ζώνης.

3.4 Άνεμος και Καιρικές Συνθήκες

Ο μεγαλύτερος σύμμαχος μια πυρκαγιάς είναι ο άνεμος. Αυτός είναι ο ζωοδότης της και αυτός που καθορίζει την κλιμάκωση που μπορεί αυτή να πάρει. Επιπρόσθετα, ο άνεμος είναι αυτός που καθορίζει την κατεύθυνση στην οποία αυτή θα εξαπλωθεί δίνοντάς έτσι αρκετές πληροφορίες στην κατασβεστική ομάδα για το πως θα πρέπει να δράσει ανά πάσα στιγμή. Τέλος, όχι μόνο ο άνεμος, αλλά και γενικότερα οι καιρικές συνθήκες παίζουν καταλυτικό ρόλο στη συμπεριφορά μιας πυρκαγιάς όπως η υγρασία ή η βροχή που μπορούν να κάνουν ευνοϊκότερο το έργο των πυροσβεστών.

3.5 Καύσιμη Ύλη και Εκλύόμενα Αέρια

Το είδος της καύσιμης ύλης μπορεί πολλές φορές να εκλύσει αέρια τα οποία είναι επικίνδυνα για τους πυροσβέστες και τους ανθρώπους που βρίσκονται τριγύρω. Αν κατά τη διάρκεια κατάσβεσης εντοπιστούν τέτοια αέρια, η ομάδα πυρόσβεσης θα πρέπει να εφοδιαστεί με κατάλληλο εξοπλισμό και να καταστρώσει νέα σχέδια για την διασφάλιση των ανθρώπων που βρίσκονται στη γύρω περιοχή. Τέτοια σενάρια συμβαίνουν συνήθως σε ατυχήματα και εκρήξεις εργοστάσιων.

Κεφάλαιο 4

Σχεδιασμός Πράκτορα Πυρόσβεσης

4.1 Χρήση Τεχνητής Νοημοσύνης στην Πυρόσβεση

Ένα από τα πρώτα πράγματα που θα πρέπει να παρατεθεί, είναι το ερώτημα του γιατί να εισάγουμε την τεχνητή νοημοσύνη σε ένα τόσο σοβαρό θέμα όπως αυτό της πυρόσβεσης. Ευλογοφανώς η εισαγωγή τέτοιων ευφυών συστημάτων δείχνει να είναι επικίνδυνη σε ένα τέτοιο ευαίσθητο ζήτημα, όμως με τον ορθό σχεδιασμό και την όλο και αυξανόμενη γνώση που υπάρχει στον συγκεκριμένο τομέα μπορούμε να υλοποιήσουμε ασφαλή συστήματα προσκομίζοντας πολλά οφέλη από αυτά:

- Ασφάλεια για τους πυροσβέστες σε δύσκολα πύρινα μέτωπα και αποστολές. Οι πράκτορες θα αναλαμβάνουν τις άκρως επικίνδυνες ενέργειες.
- Πράκτορες φτιαγμένους από πυρίμαχα υλικά όπου θα μπορούν να διαπεράσουν εύκολα τις φωτιές.
- Πράκτορες με υδραυλικούς μηχανισμούς για μεγαλύτερη δύναμη στην μετακίνηση αντικείμενων, κορμών δέντρων και εύκολη προσκόμιση τραυματιών σε αντίθεση με ανθρώπους όπου θα χρειαζόντουσαν εργαλεία.
- Μεγαλύτερη ακρίβεια υπολογισμών και εκτιμήσεων εν ώρα δράσης (υπολογισμός κατεύθυνσης ανέμου, θερμικό φορτίο, κ.α)
- Άμεση αναγνώριση της σύστασης εκλυόμενων αερίων.

Συμπεραίνουμε επομένως ότι μια τέτοια σχεδίαση όχι μόνο δεν είναι επικίνδυνη αλλά και *απαραίτητη* στην σημερινή εποχή.

4.2 Χαρακτηριστικά Πράκτορα

Τα *χαρακτηριστικά* ενός πράκτορα (*agent attributes*) αποτελούν τις ιδιότητες της αρχιτεκτονικής του. Αφορούν τον πράκτορα ως “μηχανή” και είναι ανεξάρτητα από το πρόγραμμα πράκτορα (*agent program*) το οποίο είναι υπεύθυνο για την λήψη αποφάσεων. Μπορούμε να φανταστούμε

τα χαρακτηριστικά αυτά ως τα βιομετρικά χαρακτηριστικά που έχει ο άνθρωπος. Παρακάτω περιγράφονται μερικά βασικά χαρακτηριστικά που παίζουν καταλυτικό ρόλο στο σχεδιασμό ενός πράκτορα πυρόσβεσης.

4.2.1 Ρομποτική Ταχύτητα

Η αντιμετώπιση πυρκαγιών απαιτεί ραγδαία ταχύτητα. Όχι μόνο στο σχεδιασμό πλάνου αντιμετώπισης τους, αλλά και στην εκτέλεση των ενεργειών που θα χρειαστούν ώστε αυτό να επιτευχθεί. Η δράση κατάσβεσης εστιών φωτιάς, η εξερεύνηση του χώρου, η προσκόμιση τραυματιών, η μεταφορά νερού καθώς και η εκκένωση περιοχών είναι ενέργειες που θα πρέπει να γίνουν άμεσα και γρήγορα. Όμως, όσο γρήγορα και αν σκέφτεται ένας πράκτορας για την ενέργεια που θα πρέπει να κάνει, θα πρέπει και η αρχιτεκτονική του ως μηχανήμα να τον υποστηρίξει. Επομένως ένα χαρακτηριστικό που θα πρέπει να συμπεριλάβουμε σίγουρα στο σχεδιασμό και τη μελέτη ενός πράκτορα πυρόσβεσης είναι η *ταχύτητα που μπορεί να αναπτύξει ο πράκτορας ως μηχανή*, είτε αυτή είναι χερσαία είτε εναέρια (π.χ. drone).

Ορισμός

Η ρομποτική ταχύτητα εκφράζει της απόσταση που διανύει ο πράκτορας στην μονάδα του χρόνου και περιγράφεται από την ίδια μαθηματική γλώσσα που περιγράφεται στο κλάδο της φυσικής. Αυτή μπορεί να εκφράζει την μέση ή την στιγμιαία ταχύτητα που έχει ο πράκτορας.

4.2.2 Περιοχή Αντίληψης (Region of Perception – ROP)

Ορισμός

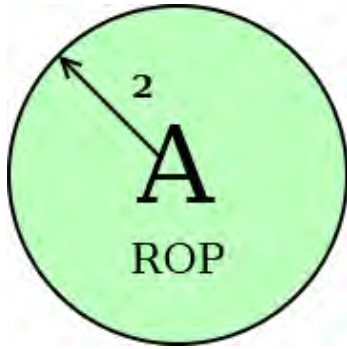
Η περιοχή αντίληψης ενός πράκτορα (region of perception ή για συντομία ROP) ορίζεται ως ο χώρος του περιβάλλοντος στον οποίο ο πράκτορας μπορεί να λάβει ερεθίσματα.

Τα χαρακτηριστικά που ορίζουν την περιοχή αντίληψης είναι τρία:

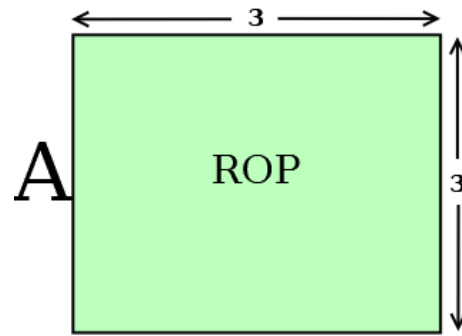
- οι *γεωμετρικές παράμετροι (geometric parameters)* που προσδιορίζουν το σχήμα και το μέγεθος της,
- ένα *σημείο αναφοράς (reference point)* το οποίο είναι ένα οποιοδήποτε σημείο του χώρου της,
- η *γεωγραφική της θέση (stigma)* που προσδιορίζει το ακριβές σημείο (στίγμα) της στο περιβάλλον.

Οι παραπάνω ορισμοί μας βοηθάνε να ορίσουμε εύκολα την περιοχή αντίληψης ενός πράκτορας μέσα στο περιβάλλον του. Ισχύει μάλιστα, ότι κάθε περιοχή αντίληψης μπορεί να περιγραφεί από τα τρία αυτά χαρακτηριστικά με μοναδικό τρόπο

Για παράδειγμα ένας πράκτορας του δισδιάστατου κόσμου που αντιλαμβάνεται ερεθίσματα εντός ενός κύκλου 2 μονάδων γύρω από τον εαυτό του Σχήμα 4.1 ορίζεται από την ROP :



Σχήμα 4.1: ROP ακτίνας κύκλου $R = 2$



Σχήμα 4.2: ROP τετραγώνου πλευράς $a = 3$

- γεωμετρικές παράμετροι: [κύκλος, ακτίνα $R = 2$ μονάδες]
- σημείο αναφοράς: το κέντρο του κύκλου
- γεωγραφική θέση: η θέση του πράκτορα

Ένα άλλο παράδειγμα ενός πράκτορα του δισδιάστατου κόσμου που αντιλαμβάνεται ερεθίσματα που βρίσκονται μπροστά του σε ένα τετράγωνο πλευράς 3 μονάδων Σχήμα 4.2 είναι:

- γεωμετρικές παράμετροι: [τετράγωνο, πλευρά $a = 3$ μονάδες]
- σημείο αναφοράς σχήματος: το μέσο μίας πλευράς (έστω της αριστερής)
- γεωγραφική θέση: η θέση του πράκτορα

Παρατηρούμε ότι το σημείο αναφοράς της περιοχής αντίληψης είναι αυτό που “καρφιτσώνεται” στη γεωγραφική της θέση.

Είθισται να ταυτίζουμε τη γεωγραφική θέση της περιοχής αντίληψης με την θέση του πράκτορα στο περιβάλλον αφού οι αισθητήρες που την ορίζουν πηγάζουν από αυτόν.

Σε ένα συνεχές περιβάλλον η περιοχή αντίληψης μπορεί να έχει ένα οποιοδήποτε γεωμετρικό σχήμα, σε αντιδιαστολή με τα διακριτά περιβάλλοντα όπου η ROP θα έχει “ψηφιδωτή” μορφή, αφού θα αποτελείται από πεπερασμένες διακριτές ποσότητες (π.χ. τετράγωνα (tiles) ή εξάγωνα (hexagons) σε 2D κόσμους ή κύβους (cubes) σε 3D κόσμους). Επίσης για διακριτά περιβάλλοντα το σημείο αναφοράς της ROP αποτελεί μία διακριτή μονάδα (tile, hexagon, cube, κλπ).

Τέλος, δύο περιοχές αντίληψης ROP_1 και ROP_2 είναι ίδιες αν και μόνο αν τα χαρακτηριστικά τους είναι ίδια:

$$ROP_1.\text{geometric parameters} = ROP_2.\text{geometric parameters}$$

$$ROP_1.\text{reference point} = ROP_2.\text{reference point}$$

$$ROP_1.\text{stigma} = ROP_2.\text{stigma}$$

Περιοχή Αντίληψης και Αισθητήρες

Ας προσπαθήσουμε να προσδιορίσουμε την περιοχή αντίληψης του ανθρώπου. Ποιο σχήμα θα είχε μια ανθρώπινη ROP; Μέχρι πόσο μακριά μπορούμε να δεχθούμε ερεθίσματα από το περιβάλλον γύρω μας; Αν φιλοσοφήσουμε την ερώτηση θα καταλάβουμε ότι η απάντηση δεν είναι και τόσο προφανής. Μπορεί να στεκόμαστε στη κορυφή ενός βουνού και να αγναντεύουμε χιλιόμετρα μακριά λαμβάνοντας συνεχώς τα μάτια μας ερεθίσματα, αλλά δυστυχώς, δεν μπορούμε να αφουγκραστούμε παράλληλα τους ήχους που εκπέμπονται στις παρυφές του ορίζοντα.

Αυτή η διαφορετικότητα ευαισθησίας και βεληνεκούς των αισθήσεων δημιουργεί διαφορετικές περιοχές αντίληψης για κάθε αίσθηση του ανθρώπου. Κατα αναλογία, το ίδιο συμβαίνει και για τους αισθητήρες του πράκτορα. Δηλαδή, η περιοχή αντίληψης δεν ορίζεται στην ουσία από τον πράκτορα ως οντότητα αλλά από τους αισθητήρες που διαθέτει. Πιο συγκεκριμένα, κάθε αισθητήρας του πράκτορα έχει την δικιά του ROP όπου λαμβάνει συγκεκριμένα ερεθίσματα.

Μπορούμε να φανταστούμε μια συνάρτηση με όνομα SR (sensor to region) η οποία δέχεται ως είσοδο έναν αισθητήρα ενός πράκτορα A και αυτή επιστρέφει την περιοχή αντίληψης που έχει ο συγκεκριμένος αισθητήρας:

$$SR : \text{sensor of agent } A \longrightarrow ROP$$

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η περιοχή αντίληψης ενός πράκτορα ορίζεται ως η συνολική κάλυψη των περιοχών αντίληψης όλων των αισθητήρων του πράκτορα. Μαθηματικά, αυτό ισοδυναμεί με την ένωση των περιοχών αυτών ως σύνολα του χώρου. Συγκεκριμένα, για έναν πράκτορα m αισθητήρων:

$$ROP_{agent} = ROP_{sensor_1} \cup ROP_{sensor_2} \cup \dots \cup ROP_{sensor_m}$$

$$ROP_{agent} = \bigcup_{i=1}^m ROP_{sensor_i}$$

Ισχύει ότι,

$$\forall sensor_i \in agent, \quad ROP_{agent} \geq ROP_{sensor_i} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Είναι σημαντικό να κατανοήσουμε ότι εν γένει $ROP_{agent} \neq ROP_{sensor_i}$ όπου ο $sensor_i$ είναι ένας αισθητήρας του agent. Αν ο αισθητήρας $sensor_i$ λαμβάνει ερεθίσματα τύπου f_i τότε, κάθε ερέθισμα f_i που εκπέμπεται στην περιοχή $ROP_{agent} - ROP_{sensor_i}$, η οποία είναι μια περιοχή που ανήκει στην ROP_{agent} , δεν θα αντιλαμβάνεται από τον πράκτορα!

Αυτή η διαφορετικότητα των περιοχών αντίληψης κάθε πράκτορα θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψιν κατά τον σχεδιασμό, έτσι ώστε ο πράκτορας να πετυχαίνει τη καλύτερη δυνατή λειτουργία του.

Απλοποίηση της ROP και αφαιρετικότητα

Για πιο αφαιρετικούς και απλούς σχεδιασμούς μας βολεύει να θεωρούμε την περιοχή αντίληψης του πράκτορα ενιαία, χωρίς να μπλέκουμε με τις λεπτομέρειες των σχημάτων κάθε αισθητήρα:

$$ROP_{agent} = ROP_{sensor_1} = ROP_{sensor_2} = ROP_{sensor_m}$$

Κάτι τέτοιο απλοποιεί αρκετά τον σχεδιασμό, καθώς πλέον η περιοχή αντίληψης εκφράζει τον χώρο όπου ο πράκτορας μπορεί να αντιληφθεί *οποιοδήποτε* ερέθισμα εκπέμπεται μέσα σε αυτόν. Ένας απλός τρόπος για να απλοποιήσουμε την περιοχή αντίληψης ενός πράκτορα είναι να πάρουμε την τομή των περιοχών αντίληψης των αισθητήρων του ή με άλλα λόγια την κοινή τους επικάλυψη στον χώρο. Κατά αυτόν τον τρόπο βρίσκουμε την ελάχιστη περιοχή στην οποία είναι αποτελεσματικοί όλοι οι αισθητήρες του. Την απλοποίηση αυτή την ονομάζουμε *ελάχιστης ενιαίας περιοχής αντίληψης (minimum united ROP)* και τη συμβολίζουμε με *muROP*. Συγκεκριμένα για έναν agent, *m* αισθητήρων:

$$muROP_{agent} = ROP_{sensor_1} \cap ROP_{sensor_2} \cap \dots \cap ROP_{sensor_m}$$

$$muROP_{agent} = \bigcap_{i=1}^m ROP_{sensor_i}$$

Αυτή η προσέγγιση θυσιάζει την ακρίβεια και το βεληνεκές ισχυρών αισθητήρων για χάρη της απλούστευσης.

Περιοχή Αντίληψης και Παρατηρησιμότητα

Ένα περιβάλλον είναι πλήρως παρατηρήσιμο αν οι αισθητήρες του πράκτορα ανιχνεύουν όλες τις απόψεις του περιβάλλοντος που είναι *συναφείς* με την επιλογή των ενεργειών του.

Διαισθητικά λοιπόν θα λέγαμε ότι το μέγεθος της περιοχής αντίληψης ενός πράκτορα αντικατοπτρίζει κατά έναν βαθμό την παρατηρησιμότητα που έχει ο πράκτορας στο περιβάλλον που δρα.

Όσο πιο μικρό χώρο καταλαμβάνει η περιοχή αντίληψης ενός πράκτορα τόσο πιο “άγνωστο” είναι το περιβάλλον για αυτόν. Αν ο χώρος της ελάχιστης ενιαίας περιοχής αντίληψης είναι ίσος ή μεγαλύτερος από τον χώρο του περιβάλλοντος τότε το περιβάλλον είναι *πλήρως παρατηρήσιμο (fully observable)* για τον πράκτορα.

Η Περιοχή Αντίληψης στα Πολυπρακτορικά Συστήματα

Οι έννοιες που έχουμε αναφέρει μέχρι στιγμής για την περιοχή αντίληψης σε ένα μονοπρακτορικό σύστημα, δεν διαφέρουν από αυτές που ισχύουν σε ένα πολυπρακτορικό σύστημα. Ίσα ίσα που αυτές εμπλουτίζονται από το στοιχείο της επικοινωνίας και της διαμοιραζόμενης γνώσης μεταξύ των πρακτόρων.

Σ' ένα συνεργατικό πολυπρακτορικό σύστημα όπως αυτό μίας ομάδας πυρόσβεσης, οι πληροφορίες που ανταλλάσσουν μεταξύ τους οι πράκτορες περιλαμβάνουν τις πεποιθήσεις που έχει σχηματίσει ο κάθε πράκτορας για το περιβάλλον γύρω τους. Πολλές από αυτές τις πεποιθήσεις, έχουν σχηματιστεί από τα ερεθίσματα που έλαβε ο κάθε πράκτορας από την περιοχή αντίληψής του. Επομένως, κατά κάποιο τρόπο η επικοινωνία μεταξύ των πρακτόρων επιτρέπει στους πράκτορες να δουν "πέρα" από την περιοχή αντίληψής τους, και τις περιοχές αντίληψής των άλλων πρακτόρων σχηματίζοντας έτσι μια πληρέστερη άποψη για το περιβάλλον γύρω τους. Μπορούμε να πούμε για τα συνεργατικά πολυπρακτορικά περιβάλλοντα ότι "κάθε πράκτορας δρα ως αισθητήρας του άλλου"

Επομένως βλέποντας τα πράγματα λίγο πιο αφαιρετικά, για μια αξιόπιστη επικοινωνία σε ένα συνεργατικό πολυπρακτορικό σύστημα που αποτελείται από n πράκτορες ισχύει:

$$ROP_{MAS} = ROP_{agent_1} \cup ROP_{agent_2} \cup \dots \cup ROP_{agent_n}$$

Μπορούμε να ορίσουμε την παραπάνω περιοχή αντίληψης ως την *ομαδική περιοχή αντίληψης* (*team ROP*) η οποία δεν είναι απαραίτητο να είναι σε ενιαία-συνεχόμενη γεωμετρική μορφή στο περιβάλλον.

Όλες οι έννοιες που αναφέραμε παραπάνω για την περιοχή αντίληψης ενός πράκτορα ισχύουν και για την ομαδική περιοχή αντίληψης. Για παράδειγμα, η ομαδική περιοχή αντίληψης αποτελείται και αυτή από συνιστώσες. Τις συνιστώσες των ROP αισθητήρων κάθε πράκτορα. Έτσι για ένα πολυπρακτορικό σύστημα n πρακτόρων οι οποίοι έχουν συνολικά m αισθητήρες (όχι απαραίτητα τους ίδιους σε είδος και αριθμό ο καθένας) ισχύει:

$$ROP_{MAS_{sensor_i}} = \bigcup_{j=1}^n ROP_{agent_j_{sensor_i}} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

4.2.3 Χωρητικότητα Αποθήκευσης Πόρων

Όπως προαναφέραμε, για την καταστολή μιας πυρκαγιάς χρειαζόμαστε *κατασβεστικά μέσα* (υλικά) όπως το νερό, ο αφρός, οι κατασβεστικές ξηρές σκόνες κ.α. Δυστυχώς, τα υλικά αυτά δεν βρίσκονται σε αφθονία εν ώρα δράσης. Για παράδειγμα σε μια δασική πυρκαγιά όπου ένα πυροσβεστικό όχημα δεν έχει άμεση πρόσβαση στο μέτωπο της φωτιάς, οι πυροσβέστες θα πρέπει να κουβαλάνε μαζί τους τα υλικά αυτά και να τα χρησιμοποιούν με τον καλύτερο δυνατό και οικονομικότερο τρόπο. Η προσκόμιση των υλικών αυτών γίνεται συνήθως σε φιάλες ή δοχεία που δένονται στις πλάτες των πυροσβεστών. Επομένως, αυτός ο περιορισμός χρήσης υλικών αποτελεί άλλη μια σχεδιαστική παράμετρο που θα πρέπει να συμπεριλάβουμε σε έναν πράκτορα πυρόσβεσης.

Ορισμός

Ορίζουμε ως αποθήκες πράκτορα τον χώρο (ενσωματωμένο ή μη) στον οποίο ο πράκτορας μπορεί να αποθηκεύσει τους πόρους που χρειάζεται. Η χωρητικότητα αυτών των αποθηκών εκφράζει τη μέγιστη ποσότητα πόρων που μπορεί να έχει ο πράκτορας μαζί του.

Είναι πολύ σημαντικό η αρχιτεκτονική του πράκτορα να σχεδιαστεί με δύο βασικές κατευθύνσεις όσο αναφορά την χωρητικότητα αποθήκευσης πόρων του.

Η πρώτη αφορά την κατασκευαστική υλοποίηση των αποθηκών και την ενσωμάτωση τους στον πράκτορα. Αυτές οι δύο διαδικασίες θα πρέπει να γίνουν με τέτοιο τρόπο ώστε να μην επιβραδύνουν τις κινήσεις του πράκτορα όταν αυτές θα είναι γεμάτες. Ο δεύτερος αφορά τους αισθητήρες που θα υπάρχουν σε αυτές τις αποθήκες. Αυτοί θα πρέπει να εκτιμούν με μεγάλη ακρίβεια τα αποθέματα που υπάρχουν κάθε χρονική στιγμή έτσι ώστε ο πράκτορας να γνωρίζει επακριβώς τις προμήθειες που έχει.

Τέλος, πράκτορας μπορεί να αναπαριστά όλες τις πληροφορίες των υλικών που έχει σε έναν *πίνακα πόρων (resource table)* ώστε να αποφασίζει μέσω αυτού για την καταλληλότερη διαχείριση τους. Ένα στιγμιότυπο του πίνακα πόρων ενός πράκτορα:

| Agent Resource Table | | | |
|----------------------|----------------------|-----------------------|-------------|
| Πόρος | Τρέχουσα Ποσότητα | Συνολική Χωρητικότητα | Ποσοστό (%) |
| Νερό | 12.2 L | 20 L | 61 |
| Αφρός | 1.7 L | 10 L | 17 |
| CO ₂ | 0 | 8 gal | 0 |
| Άμμος/Χώμα | 0.004 m ³ | 0.005 m ³ | 80 |

Πίνακας 4.1: Στιγμιότυπο πίνακα πόρων

Αποθήκευση Πόρων στα Πολυπρακτορικά Συστήματα

Σε ένα συνεργατικό πολυπρακτορικό σύστημα η χωρητικότητα αποθήκευσης πόρων για έναν πράκτορα θα είναι στη πραγματικότητα πολύ μεγαλύτερη, αφού οι πράκτορες μέσω συνεργασίας μπορούν να διαμοιράζονται τα αποθέματα που έχουν κάθε στιγμή. Αυτή η ικανότητα ανταλλαξιμότητας μετατρέπει τις αποθήκες ενός μόνο πράκτορα σε μία ενιαία αποθήκη πόρων για όλη την ομάδα.

Το κόστος αυτής της λειτουργικότητας, είναι η μεγαλύτερη πολυπλοκότητα αρχιτεκτονικής των πρακτόρων αφού σε αυτή θα πρέπει να συμπεριλάβουμε μηχανισμούς ανταλλαγής καθώς και επιπλέον δράσεις στο ρεπερτόριο τους. Στον Πίνακα 4.2 φαίνεται η μορφή ενός πίνακα πόρων για ένα πολυπρακτορικό σύστημα (team resource table):

4.2.4 Διάρκεια Δράσης και Μπαταρία

Η σημαντικότερη παράμετρος για τον σχεδιασμό ενός πράκτορα πυρόσβεσης είναι η διάρκεια δράσης του. Ο χρόνος δηλαδή για τον οποίο μπορεί να παραμείνει ενεργός χωρίς την παροχή κάποιας επιπλέον ενέργειας. Ο χρόνος αυτός αντανακλάται μέσα από την μπαταρία που έχει ο πράκτορας και το ρυθμό με τον οποίο αυτή εκφορτίζεται.

Η φυσική ποσότητα που περιγράφει τη διάρκεια ζωής μιας μπαταρίας είναι η Αμπερώρα (*Ah*) και στην ουσία εκφράζει τη ποσότητα της ενέργειας που η μπαταρία μπορεί να αποθηκεύσει.

| Team Resource Table | | | |
|---------------------|-------------------|-----------------------|-------------|
| Agent 1 | | | |
| Πόρος | Τρέχουσα Ποσότητα | Συνολική Χωρητικότητα | Ποσοστό (%) |
| Νερό | 12.2 L | 20 L | 61 |
| Άμμος/Χώμα | 0.004 m^3 | 0.005 m^3 | 80 |
| Agent 2 | | | |
| Πόρος | Τρέχουσα Ποσότητα | Συνολική Χωρητικότητα | Ποσοστό (%) |
| Νερό | 7.2 L | 20 L | 36 |
| Άμμος/Χώμα | 0.001 m^3 | 0.005 m^3 | 20 |
| Team | | | |
| Πόρος | Τρέχουσα Ποσότητα | Συνολική Χωρητικότητα | Ποσοστό (%) |
| Νερό | 19.4 L | 40 L | 48.5 |
| Άμμος/Χώμα | 0.005 m^3 | 0.01 m^3 | 50 |

Πίνακας 4.2: Στιγμιότυπο ομαδικού πίνακα πόρων

Ισχύει ότι ο ρυθμός εκφόρτισης της μπαταρίας είναι ανάλογος των ενεργειών που εκτελεί ο πράκτορας κάθε φορά. Παράδειγμα, για τον πράκτορα πυρόσβεσης, αλλά ποσά ενέργειας απαιτούνται για μια ενέργεια απλής μετακίνησής του και άλλα για την χρήση του μηχανισμού εκτόξευσης νερού.

Μπορούμε να δούμε την μπαταρία ή αλλιώς την ενέργεια που διαθέτει ένας πράκτορας ως μια ακόμη καταχώρηση στο το πίνακα πόρων του.

| Πόρος | Τρέχουσα Ποσότητα | Συνολική Χωρητικότητα | Ποσοστό (%) |
|----------|-------------------|-----------------------|-------------|
| Ενέργεια | 80 Ah | 270 Ah | 29.62 |

Πίνακας 4.3: Καταχώρηση ενέργειας στον πίνακα πόρων

4.3 Ρεπερτόριο Ενεργειών και Μηχανισμοί Δράσης

Το ρεπερτόριο ενεργειών ενός πράκτορα είναι το σύνολο των δυνατών δράσεων που μπορεί αυτός να εκτελέσει. Για ένα πράκτορα πυρόσβεσης θα θέλαμε να έχουμε το παρακάτω ρεπερτόριο:

- Δράσεις κίνησης: μετακινήσου βόρεια, στρίψε 30 μοίρες, κ.λπ.
- Δράσεις διάσωσης: απεγκλωβισμός ανθρώπων, προσκόμιση τραυματιών κ.λπ.
- Δράσεις χρήσης των πόρων του: ψέκασε νερό, πήγαινε για φόρτιση, κ.λπ.
- Δράσεις επικοινωνίας: κάλεσμα για βοήθεια, συντονισμός.

Αναφορικά μερικοί *μηχανισμοί δράσης (actuators)* που μπορούν να υποστηρίξουν καθεμιά από τις παραπάνω ενέργειες είναι: ρομποτικοί αρθρωτοί βραχίονες και πόδια, περιστροφικός μηχανικός άξονας, φτερά ή έλικες, έλεγχος κινητήρα, αεροδυναμικός μηχανισμός, μηχανικός πίδακας, συνθεσάιζερ φωνής, μηχανισμοί ασύρματης επικοινωνίας κ.α.

4.4 Αισθητήρες

Η συλλογή των δεδομένων και οι αποφάσεις των πρακτόρων λαμβάνονται ανάλογα με τις ενδείξεις των αισθητήρων τους. Ενδεικτικά ένας πράκτορας πυρόσβεσης χρειάζεται να διαθέτει τα παρακάτω είδη αισθητήρων:

- *Αισθητήρες αποθήκευσης πόρων*: Είναι οι αισθητήρες που βρίσκονται στις αποθήκες του πράκτορα και ενημερώνουν ανά πάσα στιγμή τον ίδιο για την διαθεσιμότητα των πόρων του (π.χ. αισθητήρες υγρών, στάθμης, βάρους).
- *Αισθητήρες απόστασης/χώρου*: Οι αισθητήρες αυτοί βοηθούν στον πράκτορα να γνωρίζει ανά πάσα στιγμή σε ποιο γεωγραφικό σημείο βρίσκεται μέσα στο περιβάλλον, σε τι απόσταση βρίσκεται από άλλα σημεία καθώς και στη χαρτογράφηση περιοχών (π.χ. GPS).
- *Αισθητήρες ήχου/φωνής*: Ο πράκτορας χρειάζεται να αναγνωρίζει ήχους εν ώρα δράσης, με σημαντικότερο αυτόν του καλέσματος βοήθειας από ανθρώπους.
- *Αισθητήρες περιβάλλοντος*: Οι αισθητήρες αυτοί απεικονίζουν την κατάσταση στην οποία βρίσκεται το κατασβεστέο περιβάλλον. Όλες οι εστίες φωτιάς και οι καιρικές συνθήκες που μπορούν να επηρεάσουν τα σχέδια των πρακτόρων εκτιμώνται από αυτούς (π.χ. αισθητήρες θερμότητας, ανεμόμετρο).
- *Αισθητήρες αερίων*: Είναι οι αισθητήρες που μπορούν να συλλάβουν τα είδη των αερίων που εκπέμπονται κατά την καύση. Κάτι τέτοιο είναι αρκετά σημαντικό μιας και τα αέρια που εκλύονται μπορούν μονοξειδίου του άνθρακα κ.λπ.
- *Αισθητήρες κίνησης*: επιταχυνσιόμετρο κ.α.

Κεφάλαιο 5

Προτεινόμενη Υλοποίηση

Αφού μελετήσαμε σε θεωρητικό επίπεδο τα χαρακτηριστικά και τις ιδιαιτερότητες ενός περιβάλλοντος πυρόσβεσης καθώς και τις προϋποθέσεις που θα πρέπει να πληρεί ένας πράκτορας πυρόσβεσης, είμαστε έτοιμοι να σχεδιάσουμε αυτόν τον πράκτορα και να προταθεί μια υλοποίηση που θα μπορούσε να αντεπεξέλθει σε αυτές τις καταστάσεις.

Για την προτεινόμενη υλοποίηση θα πρέπει πρώτα να δώσουμε ένα πλαίσιο του περιβάλλοντος ή αλλιώς ένα μοντέλο στο οποίο θα δρα ο πράκτορας μας. Δηλαδή να περιγράψουμε τον “κόσμο” για τον οποίο η συγκεκριμένη υλοποίηση έχει σχεδιαστεί.

5.1 Περιγραφή Περιβάλλοντος / Κόσμου Υλοποίησης

5.1.1 Χαρακτηριστικά Συστήματος

Η προτεινόμενη υλοποίηση αφορά ένα δισδιάστατο δασικό περιβάλλον πυρόσβεσης σε μια απλοποιημένη μορφή του προβλήματος, σ' ένα διακριτό, ημιδυναμικό και στρατηγικό περιβάλλον. Η τεχνική αυτή είναι συνηθισμένη στους σχεδιαστές. Ξεκινώντας από απλές μορφές του προβλήματος μπορούμε πολύ πιο εύκολα, να φτάσουμε σε πιο πολύπλοκες εκδοχές αυτού αντί να ξεκινήσουμε απευθείας με μια πολύπλοκη υλοποίηση. Η παρατηρησιμότητα του πράκτορα καθώς και ο αριθμός των πρακτόρων που απαρτίζουν την πυροσβεστική ομάδα είναι παραμετροποιημένοι ως προς τον αλγόριθμο που προτείνεται.

Περιβάλλον/Σύστημα:

- Φύση Περιβάλλοντος: Δασικό Περιβάλλον
- Δισδιάστατος Κόσμος (2D)
- Διακριτό (Τετράγωνο)
- Ημιδυναμικό
- Στρατηγικό
- Παρατηρησιμότητα (Παραμετροποιημένη)

- Αριθμός Πρακτόρων (Παραμετροποιημένος)

5.1.2 Παράμετροι Περιβάλλοντος

Οι παράμετροι του περιβάλλοντος που λαμβάνονται υπόψιν στη συγκεκριμένη υλοποίηση είναι η έκταση της φωτιάς ή με άλλα λόγια το μέγεθος της γεωγραφικής περιοχής που θα πρέπει να δράσουν οι πράκτορες, η πυκνότητα του δάσους που αντανακλά την προσβασιμότητα του περιβάλλοντος καθώς και ο αριθμός των εστιών φωτιάς που έχουν ξεσπάσει σε αυτό.

Παράμετροι Περιβάλλοντος:

- Έκταση/ Μέγεθος Περιοχής
- Πυκνότητα Δάσους (Προσβασιμότητα)
- Αριθμός Εστιών Φωτιάς

5.1.3 Αντικείμενα και Οντότητες

Με τον όρο *αντικείμενα* (*objects*) ορίζουμε οτιδήποτε βρίσκεται στο περιβάλλον ως ύπαρξη. Για παράδειγμα σε ένα δασικό περιβάλλον πυρόσβεσης αντικείμενα είναι τα δέντρα, οι φωτιές, το πυροσβεστικό όχημα κ.α. Με τον όρο *οντότητα* (*entity*) ορίζουμε οποιοδήποτε αντικείμενο μπορεί επιπλέον να λάβει δράση και να συλλογίζεται. Για παράδειγμα οι πράκτορες πυρόσβεσης, οι άνθρωποι και τα ζώα που κατοικούν στο δάσος είναι οντότητες ενός περιβάλλοντος δασοπυρόσβεσης.

Στο κόσμο της δικής μας υλοποίησης υπάρχουν τα παρακάτω αντικείμενα - οντότητες.

Οντότητες:

- *Πράκτορας Πυρόσβεσης* : Ο πράκτορας καταλαμβάνει ένα τετραγώνκι στο διακριτό περιβάλλον. Δεν γίνεται δύο πράκτορες να βρίσκονται στο ίδιο τετράγωνο. Όλες οι λεπτομέρειες για τον πράκτορα πυρόσβεσης αναλύονται στην επόμενη ενότητα.

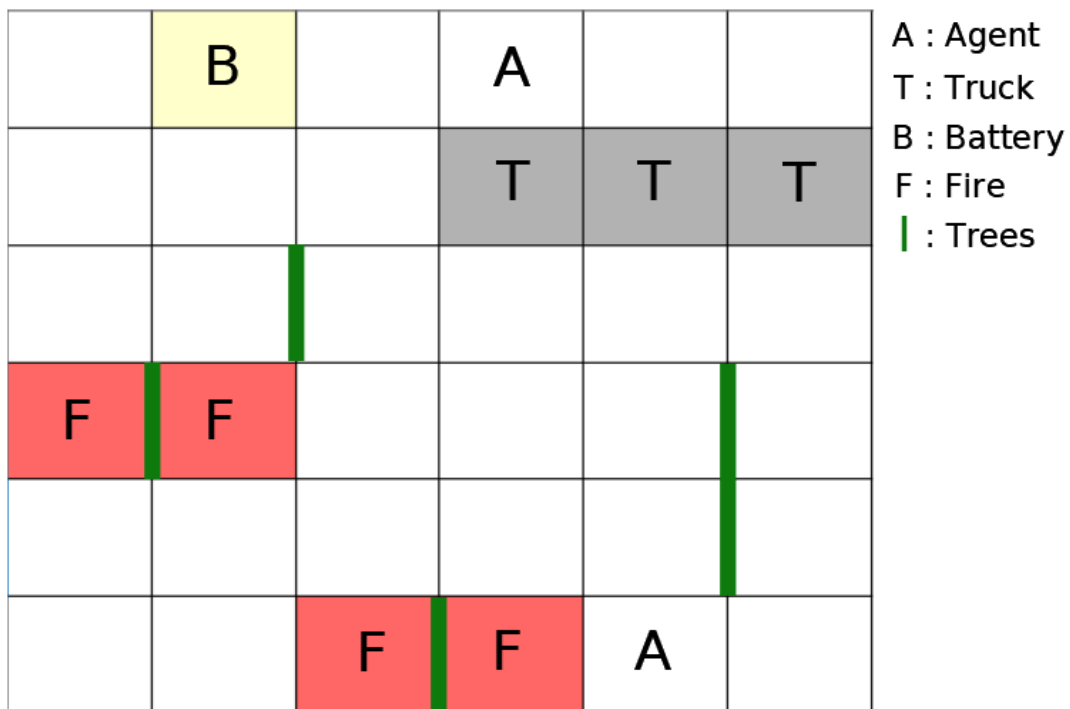
Αντικείμενα:

- *Πυροσβεστικό Όχημα*: Είναι το όχημα με το οποίο έχει μεταφερθεί η πυροσβεστική ομάδα. Είναι σταθμευμένο και είναι το σημείο αφετηρίας της αποστολής. Είναι υδροφόρο και περιέχει μια δεξαμενή αρκετών λίτρων νερού. Το πυροσβεστικό όχημα καταλαμβάνει τρία τετράγωνα οριζοντίως στον διακριτό κόσμο και είναι *αντικείμενο εμπόδιο* (*obstacle*) για τις κινήσεις του πράκτορα. Αυτό σημαίνει ότι ο πράκτορας δεν μπορεί να περάσει μέσα από το όχημα ούτε να βρεθεί πάνω σε αυτό.
- *Μπαταρία Φόρτισης*: Λίγο πριν την έναρξη της αποστολής η πυροσβεστική ομάδα τοποθετεί κοντά στο πυροσβεστικό όχημα μια μπαταρία φόρτισης αρκετών αμπερών. Το σημείο της μπαταρίας είναι γνωστό σε όλους τους πράκτορες. Όταν κάποιος από τους πράκτορες

χρειαστεί φόρτιση, ο πράκτορας πηγαίνει στο συγκεκριμένο σημείο για να φορτίσει την δικιά του μπαταρία. Η μπαταρία φόρτισης καταλαμβάνει ένα τετράγωνο στο περιβάλλον και δεν θεωρείται αντικείμενο εμπόδιο, πράγμα που σημαίνει ότι ο πράκτορας μπορεί να περάσει μέσα από αυτή και να σταθεί πάνω στο τετράγωνο που αυτή βρίσκεται.

- *Δέντρα*: Στο συγκεκριμένο κόσμο η γλωρίδα του δάσους αποτελείται μόνο από δέντρα. Τα δέντρα στον διακριτό κόσμο δεν καταλαμβάνουν ένα ολόκληρο τετράγωνο αλλά μια πλευρά του τετραγώνου. Αποτελούν και αυτά εμπόδια για τις κινήσεις του πράκτορα, καθώς δεν μπορεί να περάσει μέσα από τον κορμό τους.
- *Φωτιές*: Οι εστίες φωτιάς καταλαμβάνουν δύο τετράγωνα στο περιβάλλον και εμφανίζονται μόνο στα τετράγωνα όπου υπάρχουν δέντρα. Αν και θεωρητικά ο πράκτορας με κάποιον πυρίμαχο εξοπλισμό θα μπορούσε να περάσει δια μέσου της φωτιάς, στη συγκεκριμένη υλοποίηση θεωρούμε ότι δεν υπάρχει τέτοιος εξοπλισμός και επομένως οι φωτιές θεωρούνται και αυτές εμπόδια. Οι φωτιές επίσης στην συγκεκριμένη έκδοση της υλοποίησης δεν μπορούν να εξαπλώνονται.

Ένα στιγμιότυπο του κόσμου που περιγράψαμε δίνεται παρακάτω:



Σχήμα 5.1: Στιγμιότυπο του Περιβάλλοντος Υλοποίησης

5.2 Περιγραφή Πράκτορα

5.2.1 Αρχιτεκτονική

Η αρχιτεκτονική του πράκτορα υλοποίησης μας βασίζεται σε ανθρωποειδές μοντέλο. Αυτή περιέχει μηχανικά άκρα τα οποία μιμούνται την ανθρώπινη κινησιολογία. Τα άκρα αυτά περιέχουν υδραυλικούς μηχανισμούς για να παράγουν περισσότερη δύναμη στις δράσεις του.

Ο πράκτορας λειτουργεί με χρήση μίας μπαταρίας κάποιων αμπερών την οποία μπορεί να φορτίσει ανά πάσα στιγμή στην μπαταρία φόρτισης της πυροσβεστικής ομάδας. Η μπαταρία του πράκτορα εκφορτίζει με έναν ρυθμό dQ/dt κάθε χρονική στιγμή. Ισχύει ότι κάθε ενέργεια i που εκτελεί ο πράκτορας έχει ένα επιπρόσθετο κόστος c_i μονάδων στα αποθέματα της μπαταρίας.

Επίσης, η συγκεκριμένη υλοποίηση του πράκτορα περιέχει μια αποθήκη νερού στη πλάτη του V λίτρων. Ένας ενσωματωμένος μηχανικός πίδακας επιτρέπει στον πράκτορα την χρήση νερού από την υδροφόρο αυτή αποθήκη. Κάθε χρονική στιγμή που κάνει χρήση αυτού του μηχανισμού τα αποθέματα νερού μειώνονται κατά dV/dt .

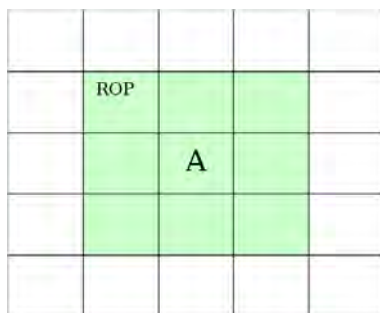
Οι αισθητήρες που διαθέτει ο πράκτορας είναι κάμερες (υπολογιστική όραση), αισθητήρες θερμότητας, GPS, αισθητήρες στάθμης για την αποθήκη νερού και αισθητήρες μέτρησης ταχύτητας. Για απλοποίηση θεωρούμε ότι η περιοχή αντίληψης του πράκτορα είναι ενιαία για όλους τους αισθητήρες. Αυτή η ενιαία ROP έχει γεωμετρικό σχήμα τετραγώνου παραμετροποιημένης πλευράς, σημείο αναφοράς το κεντρικό τετράγωνο και στίγμα την θέση του πράκτορα (Σχ. 5.3).

Τέλος ο πράκτορας περιέχει μηχανισμούς ασύρματης επικοινωνίας για αποστολή μηνυμάτων με τους υπόλοιπους πράκτορες της πυροσβεστικής ομάδας.

Στο Σχήμα 5.2 παρουσιάζεται ένα προσεγγιστικό μοντέλο για το πως περίπου μοιάζει ο πράκτορας υλοποίησής μας. Το συγκεκριμένο ρομπότ είναι ο WALK-MAN και δημιουργήθηκε από ερευνητές του IIT-Istituto Italiano di Tecnologiias για σκοπούς πυρόσβεσης επίσης.



Σχήμα 5.2: The WALK-MAN robot. Δημιουργία του IIT-Istituto Italiano di Tecnologia [8]



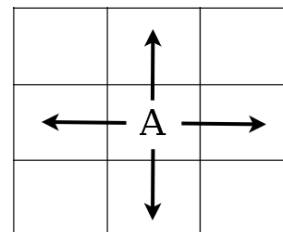
Σχήμα 5.3: Η ROP του πράκτορα υλοποίησης για πλευρά $a = 3$ τετράγωνα

5.2.2 Ρεπερτόριο Ενέργειών

Απλές Δράσεις Κίνησης

Οι πιο απλές κινήσεις που μπορεί να κάνει ο πράκτορας της υλοποίησης μας είναι:

- **Move Up**: Ο πράκτορας μετακινείται ένα τετράγωνο βόρεια
- **Move Right** : Ο πράκτορας μετακινείται ένα τετράγωνο ανατολικά
- **Move Down**: Ο πράκτορας μετακινείται ένα τετράγωνο νότια
- **Move Left**: Ο πράκτορας μετακινείται ένα τετράγωνο δυτικά



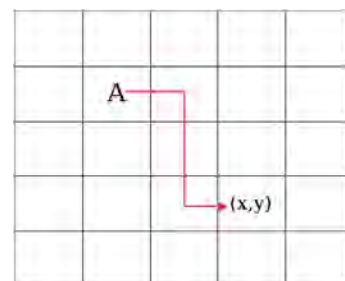
Σχήμα 5.4: Οι δράσεις κίνησης του πράκτορα

Η δράση κίνησης Move XY

Μία επιπλέον ενέργεια κίνησης που μπορεί να κάνει ο πράκτορας είναι η **Move XY**. Η ενέργεια αυτή μετακινεί τον πράκτορα από την θέση που βρίσκεται, στο τετράγωνο με συντεταγμένες (x, y) .

Είναι μια σύνθετη ενέργεια καθώς ο πράκτορας χρησιμοποιεί την αντίληψη της θέσης του μέσω GPS και τις απλές ενέργειες κίνησης για να φτάσει στο τετράγωνο προορισμού.

Μπορούμε να την φανταστούμε ως μια συνάρτηση η οποία δέχεται ως εισόδους την αντίληψη θέσης Pos και τις συντεταγμένες προορισμού (x, y) και δίνει ως έξοδο μια ακολουθία S ενεργειών απλής κίνησης που αν τις εκτελέσουμε διαδοχικά οδηγούμαστε στο τετράγωνο (x, y) .



Σχήμα 5.5: Η ενέργεια κίνησης Move XY

$$MoveXY : (Pos, (x, y)) \longrightarrow S$$

Ο αλγόριθμος με τον οποίο λειτουργεί η **Move XY** βασίζεται στην ελαχιστοποίηση του μέτρου απόστασης *Manhattan* από το σημείο Pos που βρίσκεται ο πράκτορας και το σημείο (x, y) . Η απόσταση αυτή στον δισδιάστατο χώρο μας υπολογίζεται ως:

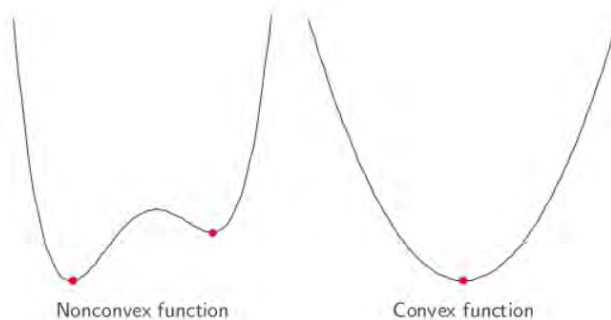
$$Manhattan\ Distance\ (Pos, (x, y)) = |Pos.x - x| + |Pos.y - y|$$

Η επιλογή της ενέργειας που ελαχιστοποιεί το παραπάνω μέτρο γίνεται με *άπληστο τρόπο (greedy)*. Αυτό σημαίνει ότι ο πράκτορας σε κάθε τετραγωνάκι που διανύει κατά την εκτέλεση της ενέργειας **Move XY**, επιλέγει την δράση κίνησης που ελαχιστοποιεί την απόσταση Manhattan κατά τον μέγιστο βαθμό. Στην προτεινόμενη υλοποίηση, αν υπάρχουν περισσότερες από μία τέτοιες ενέργειες

ο πράκτορας επιλέγει μία στην τύχη. Όταν η απόσταση μηδενιστεί, ο πράκτορας θα έχει φτάσει στο τετράγωνο προορισμού του.

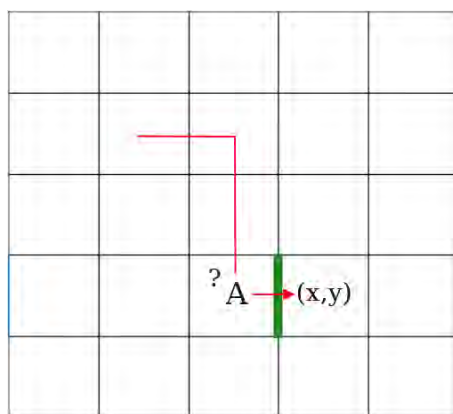
Ο αλγόριθμος αυτός είναι ένας αλγόριθμος *τοπικής αναζήτησης* (*local search*) που ομοιάζει με αυτόν του *Hill Climbing*, μόνο που στην περίπτωση μας αναζητούμε κοιλάδες και όχι κορυφές.

Το μεγαλύτερο μειονέκτημα του αλγορίθμου αυτού, όπως και όλων των αλγορίθμων τοπικής αναζήτησης, είναι ότι δεν υπολογίζει σε “βάθος χρόνου” τις επιλογές του. Λαμβάνει την καλύτερη απόφαση μόνο για τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή (τοπικά). Οι συγκεκριμένες άπληστες υλοποιήσεις δρουν βέλτιστα σε *κυρτά προβλήματα* (*convex problems*) όμως, όταν το πρόβλημα δεν παρουσιάζει κυρτότητα, ενδέχεται να οδηγηθούμε σε μη βέλτιστες λύσεις παγιδευμένοι σε τοπικά βέλτιστα.



Σχήμα 5.6: Κυρτότητα Συναρτήσεων

Σ’ ένα δισδιάστατο περιβάλλον στο οποίο υπάρχει μόνο ένας πράκτορας και όποια άλλα αντικείμενα υπάρχουν δεν αποτελούν εμπόδια για τις κινήσεις πράκτορα, η άπληστη αναζήτηση του αλγορίθμου θα μας οδηγήσει πάντα στο τετράγωνο (x, y) που θέλει να μετακινηθεί ο πράκτορας. Τι συμβαίνει όμως όταν στο περιβάλλον υπάρχουν εμπόδια;



Σχήμα 5.7: Τοπικό ελάχιστο κατά την Move XY

Στο σενάριο του περιβάλλοντος που φαίνεται στο Σχήμα 5.7 ο πράκτορας θέλει να μετακινηθεί στο τετράγωνο (x, y) . Δυστυχώς η ενέργεια του να μετακινηθεί δεξιά δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί

καθώς υπάρχει δέντρο. Από την άλλη πλευρά κάθε άλλη κίνηση που μπορεί να κάνει, απλά αυξάνει την απόσταση του από το τετράγωνο προορισμού του. Αυτό οδηγεί τον πράκτορα σε αδιέξοδο ή με άλλα λόγια έχει πέσει σε ένα τοπικό ελάχιστο.

Ισχύει ότι σε περιβάλλοντα χωρίς εμπόδια η συνάρτηση της απόστασης Manhattan παρουσιάζει κυρτότητα και οι αλγόριθμοι τοπικής αναζήτησης μπορούν να βρουν εγγυημένα το τοπικό ελάχιστο. Σε αντίθετη περίπτωση, η συνάρτηση απόστασης είναι μη κυρτή (non-convex function) και δεν είναι εγγυημένο ότι θα βρουν την βέλτιστη λύση ή αλλιώς το τετράγωνο προορισμού.

Για να αντιμετωπίσουμε το παραπάνω πρόβλημα χρησιμοποιούμε στον πράκτορα **μνήμη**. Κάνοντας χρήση της μνήμης ο πράκτορας μπορεί να εκτιμά τη *πραγματική απόσταση* που χρειάζεται για να φτάσει σε ένα τετράγωνο και όχι την απλή “γεωγραφική” απόσταση Manhattan.

Το πραγματικό κόστος που χρειάζεται στην ουσία ο πράκτορας για να φτάσει από τη θέση του Pos σε ένα τετράγωνο (x, y) είναι ο αριθμός των κινήσεων που έχει εκτελέσει μέχρι να φτάσει από το Pos στο (x, y) .

Αν ο πράκτορας αποθηκεύσει τα πραγματικά κόστη μεταξύ δύο τετραγώνων, τότε θα μπορεί σε μελλοντικές μετακινήσεις του να βρίσκει τα σωστά μονοπάτια και μάλιστα τα συντομότερα.

Για να κατανοήσουμε τη βοήθεια της μνήμης στο συγκεκριμένο πρόβλημα ας δούμε πως θα μπορούσε ο πράκτορας να δραπετεύσει από αυτό το τοπικό ελάχιστο στο Σχήμα 5.7:

1. Ο πράκτορας υπολόγισε ότι η απόσταση από το τετράγωνο του είναι 1 μονάδα με βάση την απόσταση Manhattan. Ο πράκτορας συμπεραίνει ότι έχει πέσει σε τοπικό ελάχιστο αφού δεν μπορεί να εκτελέσει καλύτερη ενέργεια.
2. Εκτιμά ποια από τις υπόλοιπες ενέργειες του (που δυστυχώς αυξάνουν την απόσταση Manhattan) είναι η καλύτερη. Αν αυτές είναι περισσότερες από μία, τότε ο πράκτορας επιλέγει μια στην τύχη.
3. Στη περίπτωση μας έχουμε αναμενόμενο κόστος Move Up = 2, Move Down = 2 και Move Left = 2. Έστω λοιπόν ότι ο πράκτορας μετακινείται βόρεια
4. Εφόσον το τετράγωνο που μετακινήθηκε ο πράκτορας απέχει απόσταση Manhattan 2 και έχει εκτελέσει ο πράκτορας ήδη μια ενέργεια (την Move Up) για να μετακινηθεί σε αυτό το πραγματικό κόστος από το τετραγώνάκι που βρισκόταν πριν δεν είναι 1 αλλά 3.
5. Ο πράκτορας καταγράφει το συγκεκριμένο κόστος στη μνήμη του και έτσι σε μελλοντικές μετακινήσεις του θα ξέρει ότι τα δυο τετράγωνα δεν απέχουν μεταξύ τους την πολύ αισιόδοξη απόσταση 1 μονάδας αλλά 3.
6. Στην συνέχεια η διαδικασία επαναλαμβάνεται αναδρομικά είτε προσθέτοντας νέα ζευγάρια τετραγώνων στη μνήμη του είτε ενημερώνοντας τα ήδη υπάρχοντα κόστη.

Αποδεικνύεται ότι αν υπάρχει όντως μονοπάτι από το Pos στο (x, y) τότε σίγουρα ο συγκεκριμένος αλγόριθμος θα το βρει.

Ο πίνακας που είναι αποθηκευμένος στη μνήμη του πράκτορα για να διατηρεί τα πραγματικά κόστη μεταξύ δύο τετραγώνων ονομάζεται *πίνακας μονοπατιών (path table)*. Ένα στιγμιότυπο του πίνακα μονοπατιών φαίνεται παρακάτω:

| Path Table | | |
|------------|--------|----|
| s | t | C |
| (1, 2) | (3, 4) | 8 |
| (2, 2) | (2, 3) | 3 |
| (4, 5) | (7, 5) | 11 |

Πίνακας 5.1: Στιγμιότυπο πίνακα μονοπατιών

Ισχύει ότι ο πράκτορας δεν χρειάζεται να αποθηκεύει για όλα τα ζεύγη των τετραγώνων τα πραγματικά κόστη. Κάτι τέτοιο θα γέμιζε τετραγωνικά τον πίνακα μονοπατιών ως προς το μέγεθος του περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα για έναν κόσμο n τετραγώνων θα είχαμε $O(n^2)$ εγγραφές. Συνεπώς, ο πράκτορας αρκεί να κρατάει πληροφορίες μόνο για τα τετράγωνα που τον οδηγούν σε αδιέξοδους μιας και μόνο γι' αυτά χρειάζεται να θυμάται πράγματα. Τέλος, αν:

- s : το τετράγωνο του τοπικού ελαχίστου,
- s' : το νέο τετράγωνο μετακίνησης,
- t : το τετράγωνο προορισμού,
- H : η συνάρτηση απόστασης,
- C : το πραγματικό κόστος μεταξύ δύο τετραγώνων,
- c : το κόστος της ενέργειας μετακίνησης,

τότε θα ισχύει για το κόστος ενημέρωσης ότι:

$$C(s, t) = H(s', t) + c \quad (5.1)$$

Στη συγκεκριμένη υλοποίηση θεωρούμε ότι το $c = 1$ για απλές δράσεις κίνησης.

Συνθήκες Τερματισμού Move XY

Από την παραπάνω ανάλυση, έχουμε αφήσει ένα πολύ σημαντικό ζήτημα όσο αναφορά την ενέργεια Move XY αυτό μιας επιπλέον συνθήκης τερματισμού. Αυτή η επιπλέον συνθήκη είναι απαραίτητη μιας και αν ο πράκτορας προσπαθήσει να μετακινηθεί σε ένα τετράγωνο το οποίο τελικά δεν είναι προσβάσιμο, ο πράκτορας θα μετακινείται αέναα στο περιβάλλον ενημερώνοντας τον

πίνακα μονοπατιών του συνεχώς με όλο και αυξανόμενα κόστη. Επομένως πρέπει να αποφασίζει πότε πραγματικά μπορεί να φτάσει στο τετράγωνο προορισμού (x, y) και ανάλογα να συνεχίζει ή να σταματάει την διαδικασία.

Το καίριο ζήτημα είναι ποια είναι κατάλληλη συνθήκη. Από τη μία πλευρά, η συνθήκη αυτή δεν θα πρέπει να είναι πολύ “αυστηρή” καθώς το τετράγωνο προορισμού μπορεί πράγματι να είναι προσβάσιμο μέσω ενός πολύπλοκου μονοπατιού, το οποίο μπορεί σε βάθος χρόνου να εντοπίσει ο πράκτορας. Από την άλλη πλευρά δεν θα πρέπει να είναι και πολύ “χαλαρή” διότι τότε ο πράκτορας θα σπαταλάει άσκοπα χρόνο στην εύρεση ενός μονοπατιού που ενδεχομένως να μην υπάρχει.

Η προσέγγιση που ακολουθήθηκε είναι ότι ορίζουμε ένα κατώφλι κόστους K που μόλις το ξεπεράσει ο πράκτορας, τότε θα σταματάει την διαδικασία αναζήτησης. Δηλαδή, μόλις ο πράκτορας ενημερώσει μια νέα καταχώρηση μεταξύ δυο τετραγώνων σε μια τιμή μεγαλύτερη από το K τότε ο πράκτορας διαγράφει όλες τις εγγραφές του πίνακα μονοπατιών και αποφασίζει να σταματήσει τη ενέργεια Move XY.

Η τιμή του K προκύπτει από μια συνάρτηση πολλών παραγόντων, όπως αυτών της προσβασιμότητας του περιβάλλοντος, της ενέργειας που διαθέτει ο πράκτορας κ.α.

Ανανέωση του Πίνακα Μονοπατιών

Πολλές φορές τα κόστη μεταξύ δύο τετραγώνων που έχει αποθηκεύσει ο πράκτορας μπορεί να μην ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το σύστημα μας αλλάζει με την εκτέλεση των ενεργειών. Με άλλα λόγια ένα μη προσβάσιμο τετράγωνο λόγω φωτιάς, μπορεί σε μια μελλοντική στιγμή να γίνει προσβάσιμο, αν η φωτιά που βρίσκεται σε αυτό έχει κατασβεστεί. Επίσης ένα τετράγωνο στο οποίο στέκεται ένας πράκτορας για πολύ ώρα δεν είναι προσβάσιμο για τους υπόλοιπους πράκτορες της ομάδας. Αν στο μέλλον όμως ο πράκτορας αυτός αποφασίσει να μετακινηθεί από το τετράγωνο, τότε αυτό καθίσταται προσβάσιμο για τους υπόλοιπους πράκτορες.

Αυτή η δυναμικότητα που παρουσιάζει τελικά το περιβάλλον δημιουργεί μια ασυνέπεια μεταξύ του πίνακα μονοπατιών και των πραγματικών τιμών κόστους μεταξύ των τετραγώνων.

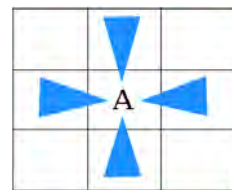
Για να αντιμετωπίσουμε αυτή την ασυνέπεια οι πράκτορες *ανανεώνουν* (*refresh*) τον πίνακα μονοπατιών τους. Σβήνουν όλες τις εγγραφές που έχουν καταχωρημένες και ο πίνακας τους γεμίζει εκ νέου με νέους υπολογισμούς ευελπιστώντας αυτοί να ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα.

Η *περίοδος ανανέωσης* $T_{refresh}$ των πρακτόρων είναι μια παράμετρος που εξαρτάται από τον αριθμό των εστιών φωτιάς και τον αριθμό των πρακτόρων που απαρτίζουν την πυροσβεστική ομάδα.

Η δράση Use Water Jet

Η δράση **Use Water Jet** είναι αυτή που επιτρέπει στο πράκτορα να κάνει χρήση του νερού που είναι αποθηκευμένο στην πλάτη του. Για να εκτελεστεί η δράση αυτή ο πράκτορας χρειάζεται ένα όρισμα, τη γωνία ψεκασμού, δηλαδή το πόσο θα πρέπει να στρίψει πριν αρχίσει να ρίχνει νερό από τον μηχανικό του πίδακα.

Η γωνία αυτή ορίζεται με άξονα αναφοράς τον θετικό νοητό άξονα y . Δηλαδή για γωνία 0° η δράση ψεκασμού πραγματοποιείται ακριβώς βόρεια. Για τον δικό μας κόσμο η γωνία ψεκασμού εκφράζει σε ποιο τετράγωνο από τα γειτονικά του θέλει να ρίξει νερό ο πράκτορας.

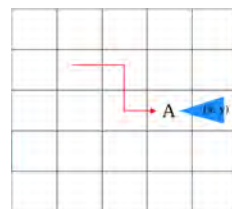


Σχήμα 5.8: Use Water Jet

Θεωρούμε ότι ο πράκτορας μπορεί να ρίξει νερό μόνο στα τετράγωνα που απέχουν απόσταση Manhattan ίση με 1 από το σημείο που βρίσκεται. Αρά τα δυνατά ορίσματα γωνιών που μπορούμε να δώσουμε στον πράκτορα μας είναι 0° (πάνω τετράγωνο), 90° (δεξί τετράγωνο), 180° (κάτω τετράγωνο), 270° (αριστερό τετράγωνο). Αν στο τετράγωνο αυτό υπάρχει φωτιά, τότε αυτή κατασβένεται.

Η δράση Use Water Jet XY

Η ενέργεια Use Water Jet XY είναι και αυτή μια σύνθετη ενέργεια του πράκτορα καθώς χρησιμοποιεί άλλες απλούστερες ενέργειες για την επίτευξη της. Η ενέργεια αυτή δεν είναι τίποτε άλλο από τον συνδυασμό των ενεργειών Move XY και Use Water Jet με κατάλληλη γωνία. Στην ουσία η δράση αυτή υπαγορεύει στον πράκτορα να ψεκάσει το τετράγωνο (x, y) του περιβάλλοντος.



Σχήμα 5.9: Use Water Jet XY

Η διαδικασία με την οποία επιτυγχάνεται αυτή η ενέργεια είναι:

1. Ο πράκτορας εκτελεί Move XY στο εγγύτερο τετράγωνο που απέχει απόσταση Manhattan 1 από το (x, y) . Αν το τετράγωνο αυτό είναι προσβάσιμο τότε εκτελεί την δράση Use Water Jet κατάλληλη γωνία.
2. Αν το τετράγωνο αυτό δεν είναι προσβάσιμο ο πράκτορας με βάση τον αλγόριθμο Move XY θα προσπαθήσει να βρει άλλα μονοπάτια.
3. Αν κατά την αναζήτηση νέων μονοπατιών ο πράκτορας εντοπίσει ότι βρίσκεται σε απόσταση Manhattan 1 από το (x, y) τότε κάνει χρήση της δράσης Use Water Jet αφού και από αυτό το τετράγωνο μπορεί να σβήσει τη φωτιά.
4. Αν κατά την αναζήτηση ο πράκτορας δεν βρεθεί σε κάποιο τέτοιο τετράγωνο και έχει ξεπεράσει το κατώφλι K , τότε δυστυχώς ο πράκτορας δεν μπορεί να ρίξει νερό στο τετράγωνο (x, y) και εγκαταλείπει την διαδικασία.

Ο υπολογισμός της κατάλληλης γωνίας στην δράση Use Water Jet γίνεται εύκολα με βάση τη θέση του πράκτορα και το τετράγωνο (x, y)

Η δράση φόρτισης Charging

Η δράση **Charging** οδηγεί τον πράκτορα στην μπαταρία φόρτισης της πυροσβεστικής ομάδας για να γεμίσει την μπαταρία του. Είναι και αυτή μία σύνθετη ενέργεια καθώς χρησιμοποιεί την

αντίληψη για το που βρίσκεται η μπαταρία και την ενέργεια Move XY για να οδηγηθεί στο συγκεκριμένο σημείο.

Με το που φτάσει ο πράκτορας στη μπαταρία, με κατάλληλους μηχανισμούς δράσης συνδέει τα καλώδια και μπαίνει σε κατάσταση φόρτισης όπου μένει ακίνητος στο συγκεκριμένο σημείο. Η μόνη ενέργεια που μπορεί να κάνει παράλληλα είναι ενέργειες επικοινωνίας.

Αν κατά την μετακίνηση του ο πράκτορας εντοπίσει άλλο μέλος της ομάδας να είναι για φόρτιση τότε μπαίνει σε ουρά αναμονής και παραμένει στο σημείο του ακίνητος. Οι πράκτορες επικοινωνούν μεταξύ τους κατά τη φάση αυτή και αν κριθεί απαραίτητο η μπαταρία παραχωρείτε στον πράκτορα που την έχει περισσότερο ανάγκη.

Η δράση εφοδιασμού Water Supply

Η δράση αυτή είναι πανομοιότυπη με την δράση Charging που περιγράψαμε παραπάνω μόνο που στην περίπτωση αυτή ο πράκτορας θα πρέπει να μετακινηθεί στο πυροσβεστικό όχημα για να γεμίσει την υδροφόρο αποθήκη που έχει στη πλάτη του. Ο ίδιος αλγόριθμος και οι ίδιες συμβάσεις που ισχύουν για την δράση Charging ισχύουν και εδώ.

Η δράση επικοινωνίας Broadcast State

Η μόνη δράση επικοινωνίας που υπάρχει στο ρεπερτόριο ενεργειών του πράκτορα είναι η ενέργεια **Broadcast State**. Κατά την ενεργεία αυτή ο πράκτορας εκπέμπει την ένα μέρος της εσωτερική του κατάσταση και ενημερώνει τους υπόλοιπους πράκτορες για τις προθέσεις του σε μία δομημένη μορφή μηνύματος την οποία μπορεί να αποκωδικοποιήσουν εύκολα οι υπόλοιποι πράκτορες-δέκτες της ομάδας.

Η δράση αδράνειας Idle

Ο πράκτορας μπορεί να βρεθεί σε κάποιο σενάριο του περιβάλλοντος όπου να μην χρειάζεται ή να μην μπορεί να εκτελέσει κάποια από τις παραπάνω δράσεις. Σε ένα τέτοιο σενάριο ο πράκτορας μπορεί να εκτελεί την δράση αδράνειας **Idle** όπου για την επόμενη χρονική στιγμή παραμένει αδρανής. Μόλις το χρονικό διάστημα αδράνειας εξαντληθεί, ο πράκτορας εξετάζει εκ νέου αν μπορεί να εκτελέσει κάποια ενέργεια και ποια από αυτές αποτελεί τη βέλτιστη επιλογή.

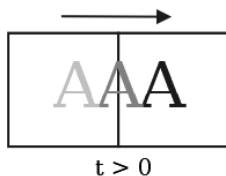
Προϋποθέσεις Δράσεων

Για να εκτελέσει ο πράκτορας κάθε μια από τις παραπάνω ενέργειες που αναλύσαμε, θα πρέπει να ισχύουν κάποιες απαραίτητες συνθήκες, γνωστές και ως *προϋποθέσεις (preconditions)* ενεργειών.

Πρώτη και κυριότερη προϋπόθεση για την εκτέλεση οποιασδήποτε δράσης, είναι να υπάρχουν τα αποθέματα ενέργειας, όχι μόνο για να την εκτέλεση της συγκεκριμένης δράσης αλλά και για να μπορέσει ο πράκτορας να γυρίσει με ασφάλεια στη μπαταρία φόρτισης.

Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να ορίσουμε την έννοια της ταχύτητας σε ένα διακριτό περιβάλλον. Όταν ο πράκτορας μετακινείται από ένα τετραγωνάκι σε ένα άλλο, στην πραγματικότητα

δεν μετακινείται άμεσα, αλλά διανύει μια *διακριτοποιημένη ποσότητα (κβάντο)* του περιβάλλοντος. Αν αυτή η ποσότητα είναι συγκρίσιμη με την ταχύτητα που έχει ο πράκτορας σημαίνει ότι αυτός θα σπαταλήσει κάποιο χρόνο μέχρι να διανύσει αυτήν την ποσότητα. Ο χρόνος αυτός θα είναι αντιστρόφως ανάλογος της ταχύτητάς του.



Σχήμα 5.10: Βαθμιαία μετάβαση καταστάσεων

Έστω λοιπόν ότι:

- dQ/dt : ο ρυθμός μεταβολής της μπαταρίας του πράκτορα κάθε χρονική στιγμή
- c_i : το κόστος της ενέργειας i
- v : η ταχύτητα του πράκτορα
- q : το μέγεθος κβάντου
- s : το νέο τετράγωνο μετακίνησης του πράκτορα μετά την εκτέλεση της ενέργειας i
- $C(s, b)$: Το κόστος μετακίνησης από το τετράγωνο s στο τετράγωνο της μπαταρίας b όπως αυτό ορίστηκε στην δράση της ενέργειας Move XY
- N : ο αριθμός των τετραγώνων που θα διανύσει ο πράκτορας μέχρι να φτάσει στην μπαταρία
- δ : μια θετική σταθερά

τότε τα αποθέματα P που θα πρέπει να υπάρχουν στην μπαταρία του πράκτορα για να εκτελέσει την ενέργεια i θα πρέπει να πληρούν την παρακάτω συνθήκη:

$$P \geq c_i + C(s, b) + N \left| \frac{dQ}{dt} \right| t_{tile} + \delta \quad (5.2)$$

όπου t_{tile} ο χρόνος μετακίνησης ενός τετραγώνου. Όπως προαναφέραμε ο χρόνος αυτός ισούται με $t_{tile} = \frac{q}{v}$ και άρα η σχέση μας γίνεται:

$$P \geq c_i + C(s, b) + N \left| \frac{dQ}{dt} \right| \frac{q}{v} + \delta \quad (5.3)$$

Αν επίσης θεωρήσουμε ότι οι απλές δράσεις κίνησης έχουν κόστος $c = 1$ μονάδα, τότε ο αριθμός των τετραγώνων N θα ισούται με το κόστος $C(s, b)$. Οπότε η σχέση 5.2 μπορεί να γίνει:

$$P \geq c_i + C(s, b) \left(1 + \left| \frac{dQ}{dt} \right| \frac{q}{v} \right) + \delta \quad (5.4)$$

Έτσι αν πληρείτε η παραπάνω σχέση τότε ο πράκτορας μπορεί ελεύθερα να εκτελέσει την ενέργεια i .

Αν παρατηρήσουμε τη σχέση, θα δούμε ότι προσθέτουμε στους υπολογισμούς μας επιπλέον δ μονάδες ενέργειας που στην πραγματικότητα δεν χρειάζονται για την επιστροφή του πράκτορα στο σημείο της μπαταρίας. Αυτή τη ποσότητα την ονομάζουμε *σταθερά ασφαλείας*.

Την σταθερά αυτή την προσθέτουμε για να μην “παίζει” ο πράκτορας στο όριο με τα αποθέματα ενέργειας του. Για παράδειγμα μπορεί κατά την επιστροφή του για φόρτιση ο πράκτορας να χρειαστεί να αλλάξει μονοπάτι και να πρέπει να διανύσει περισσότερα τετράγωνα από αυτά που είχε υπολογίσει αρχικά. Αν αυτή η σταθερά δεν υπήρχε τότε ο πράκτορας μας θα είχε σβήσει.

Η τιμή του δ είναι εμπειρική και δίνεται έπειτα από πειράματα και μετρήσεις. Παρ’ όλα αυτά ο πράκτορας μας μπορεί να φτιάξει ένα μοντέλο που να προσαρμόζει την τιμή αυτή ανάλογα με τις συνθήκες τις αποστολής χωρίς όμως να ξεπεράσει ένα ελάχιστο όριο δ_0 .

Πέρα από τις προϋποθέσεις αποθεμάτων ενέργειας κάθε δράση θα πρέπει να πληρεί κάποιες επιπλέον προϋποθέσεις. Αναλυτικά για την κάθε μία έχουμε:

- Απλές δράσεις κίνησης: *Να μην υπάρχει αντικείμενο-εμπόδιο ή άλλος πράκτορας στο τετράγωνο προορισμού του.*
- Move XY: *Να μπορεί να εκτελεστεί έστω και μία απλή δράση κίνησης*
- Use Water Jet: *Να υπάρχουν αποθέματα νερού, $V_{water} > 0$.*
- Use Water Jet XY: *Να μπορούν να εκτελεστούν οι δράσεις Move XY και Use Water Jet.*

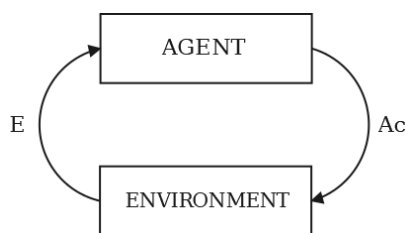
Για την δράση Broadcast State δεν απαιτείται κάποια επιπλέον συνθήκη. Το κόστος μάλιστα της δράσης αυτής θεωρείται αμελητέο μιας και δεν περιλαμβάνει μηχανικές κινήσεις για την εκτέλεση της.

5.3 Πρόγραμμα Πράκτορα

Το πρόγραμμα πράκτορα (*agent program*) είναι το λογισμικό χάρης στο οποίο ο πράκτορας σκέφτεται και λαμβάνει αποφάσεις. Δεν αποτελεί μέρος της αρχιτεκτονικής δομής του πράκτορα και είναι κάτι σαν αυτό που ονομάζουμε “νους” στον άνθρωπο. Υπενθυμίζεται το αφαιρετικό μοντέλο ενός προγράμματος πράκτορα που δόθηκε στο Κεφάλαιο 2:

Το πρόγραμμα πράκτορα δεν είναι τίποτα άλλο από μια συνάρτηση η οποία δέχεται ως είσοδο, ερεθίσματα από το περιβάλλον E και μας δίνει ως έξοδο μια ενέργεια εκτέλεσης Ac που δρα σε αυτό.

$$Agent : E \longrightarrow Ac$$



Σχήμα 5.11: Ο πράκτορας ως συνάρτηση

Ο πράκτορας υλοποίησης μας, είναι ένας πράκτορας βασισμένος σε στόχο. Ο στόχος αυτός είναι η πλήρης εξερεύνηση του περιβάλλοντος και η κατάσβεση όλων των πυρκαγιών που βρίσκονται σε αυτό.

Θεωρούμε επίσης ότι ο πράκτορας μας γνωρίζει τι κάνουν οι ενέργειες του, δηλαδή έχει ένα μοντέλο που ξέρει πως θα επηρεάσει το περιβάλλον κάθε του ενέργεια.

Τέλος, ο πράκτορας αυτός διαθέτει μια *εσωτερική κατάσταση* (*internal state*) για να περιγράψει το κόσμο γύρω του έτσι ώστε να λαμβάνει κάθε φορά ορθολογικές αποφάσεις ακόμα και αν δεν έχει πλήρη παρατηρησιμότητα στο περιβάλλον.

Την εσωτερική κατάσταση αυτή μαζί με όλες τις άλλες πληροφορίες που χρειάζεται ο πράκτορας τις συνθέτουμε σε μια ενιαία δομή την οποία ονομάζουμε *βάση γνώσης* (*knowledge base*) και είναι ένα από τα κυριότερα στοιχεία ενός προγράμματος πράκτορα.

5.3.1 Βάση Γνώσης

Με τον όρο βάση γνώσης ορίζουμε μια δομή που αναπαριστά τη γνώση που έχει ο πράκτορας για τον κόσμο γύρω του. Αυτή περιλαμβάνει την εσωτερική κατάσταση του πράκτορα για το περιβάλλον, πληροφορίες για τον ίδιο τον πράκτορα (π.χ. το αναγνωριστικό του) και όλα τα μοντέλα που μπορούν να περιγράψουν το πως επηρεάζουν οι ενέργειες του το περιβάλλον.

Ο τρόπος που μπορεί να αναπαρασταθεί αυτή η γνώση ποικίλει από υλοποίηση σε υλοποίηση. Για παράδειγμα στους λογικούς πράκτορες η βάση γνώσης αναπαρίσταται από λογικές προτάσεις ενώ σε άλλους τύπους πρακτόρων, οι δομές αυτές μπορεί είναι πιο κοντά σε επίπεδο υλοποίησης και να εκφράζονται με απλές δομές δεδομένων.

Η βάση γνώσης του πράκτορα υλοποίησης μας, αναπαρίσταται από μία σύνθετη δομή δεδομένων. Επειδή η υλοποίηση αυτή έγινε με αντικειμενοστραφές μοντέλο, η δομή αυτή είναι μια κλάση την οποία την ονομάζουμε *KB* (**K**nowledge **B**ase).

Παρακάτω δίνονται μερικά από τα πεδία που έχει αποθηκευμένα ο πράκτορας στην *KB*:

Class KB

- **ID**: Το αναγνωριστικό του πράκτορα
- **Position**: Η θέση του πράκτορα στο περιβάλλον. Έχει τη μορφή ενός ζεύγους συντεταγμένων (x, y)

- **Truck Position:** Η θέση του φορτηγού στο περιβάλλον. Έχει τη μορφή ενός ζεύγους συντεταγμένων (x, y) . Επειδή το φορτηγό καταλαμβάνει τρία τετράγωνα οριζοντίως στον κόσμο μας, οι συντεταγμένες αυτές αναφέρονται μόνο στην μπροστινή όψη του οχήματος ενώ ο πράκτορας γνωρίζει ότι και τα τετράγωνα $(x+1, y)$ και $(x+2, y)$ είναι κατειλημμένα επίσης από το φορτηγό.
- **Battery Position:** Η θέση της μπαταρίας φόρτισης της πυροσβεστικής ομάδας.
- **Water Litres:** Τα αποθέματα νερού σε λίτρα (L) που έχει κάθε χρονική στιγμή ο πράκτορας στην υδροφόρο αποθήκη του.
- **Energy:** Το ποσοστό μπαταρίας του πράκτορα.
- **Speed:** Η ταχύτητα του πράκτορα. Στο συγκεκριμένο κόσμο η στιγμιαία και η μέση ταχύτητα ταυτίζονται μιας και ο πράκτορας δεν μπορεί να αυξομειώσει την ταχύτητά του. Την πληροφορία αυτή μπορεί να την δίνουμε εξαρχής στον πράκτορα από μετρήσεις που έχουμε κάνει κατά την λειτουργία του είτε μπορεί ο ίδιος να μετρά την ταχύτητα που έχει από τους αντίστοιχους αισθητήρες.
- **ROP:** Η περιοχή αντίληψης του πράκτορα. Είναι και αυτή μια σύνθετη δομή η οποία περιέχει τα πεδία geometry parameters, reference point και stigma . Η απεικόνιση της περιοχής αντίληψης στο περιβάλλον είναι μια χρήσιμη πληροφορία για τον πράκτορα καθώς τον βοηθάει να γνωρίζει ποιους χώρους και τετράγωνα έχει εξερευνήσει στο περιβάλλον.
- **Agent Team Position:** Οι θέσεις των άλλων πρακτόρων στο περιβάλλον. Είναι μια λίστα απο τριάδες της μορφής (ID, x, y) .
- **Exploration Borders:** Είναι τα όρια μέχρι τα οποία πρέπει να εξερευνήσει ο πράκτορας στο περιβάλλον. Στον δικό μας διδιάστατο κόσμο τα όρια είναι X_{min} , X_{max} , Y_{min} και Y_{max} . Για αυτά τα όρια, η εξερεύνηση θα πρέπει να γίνει σε όλα τα τετράγωνα (x, y) για τα οποία ισχύει:

$$X_{min} \leq x \leq X_{max} \quad \text{και} \quad Y_{min} \leq y \leq Y_{max}$$

- **Trees:** Είναι μια λίστα που περιέχει τις συντεταγμένες των δέντρων που έχει εντοπίσει ο πράκτορας. Επειδή τα δέντρα βρίσκονται στην πλευρά ενός τετραγώνου και όχι πάνω σε ένα τετράγωνο, αποθηκεύεται ως σύμβαση πάντα το τετράγωνο που έχει στη δεξιά του πλευρά το δέντρο. Στην συγκεκριμένη υλοποίηση ο πράκτορας δεν χρειάζεται να θυμάται όλα τα δέντρα που υπάρχουν στον χάρτη. Επομένως η λίστα Trees περιέχει μόνο τα δέντρα που βρίσκονται κάθε φορά στην ROP του πράκτορα.
- **Fires:** Είναι η λίστα που περιέχει τις συντεταγμένες των εστιών φωτιάς που έχει εντοπίσει ο πράκτορας. Επειδή οι φωτιές καταλαμβάνουν δύο τετράγωνα οριζοντίως στον κόσμο μας, αποθηκεύεται πάντα ως σύμβαση το αριστερότερο τετράγωνο της φωτιάς στη λίστα Fires. Στη λίστα αυτή ο πράκτορας χρειάζεται να έχει πάντα όλες τις φωτιές που βρίσκονται στον χάρτη και όχι μόνο αυτές που βρίσκονται στην περιοχή αντίληψης του.

- **Goal State:** Είναι η αναπαράσταση της κατάστασης στόχου την οποία επιδιώκει να φέρει ο πράκτορας στο περιβάλλον. Η δομή της είναι ένας πίνακας ίδιων διαστάσεων με αυτόν του περιβάλλοντος. Κάθε κελί δηλαδή του πίνακα αντιπροσωπεύει ένα τετραγωνάκι του περιβάλλοντος.
- **Current State:** Είναι η αναπαράσταση της τρέχουσας κατάστασης του περιβάλλοντος από την σκοπιά του πράκτορα. Είναι και αυτή μια δομή πίνακα ίδιας λογικής με την κατάσταση στόχου.
- **H-function:** Η συνάρτηση αυτή δείχνει στον πράκτορα πόσο απέχει η τρέχουσα κατάσταση από την κατάσταση στόχου.
- **Quantum:** Το κβάντο του περιβάλλοντος ή αλλιώς η ποσότητα διακριτοποίησης. Η ποσότητα αυτή χρειάζεται να την γνωρίζει ο πράκτορας για να υπολογίζει σωστά τα αποθέματα ενέργειας και τους χρόνους που κάνει για να διανύσει ένα τετράγωνο στο περιβάλλον.
- **Team Table:** Ένας πίνακας με τις αναμενόμενες καταστάσεις των υπόλοιπων πρακτόρων. Αναμενόμενες καταστάσεις εννοούμε το πως πιστεύει ο κάθε πράκτορας ότι θα αλλάξει το περιβάλλον αποκλειστικά από τον ίδιο μετά την εκτέλεση μίας ενέργειας. Είναι μια δομή τετραδιάστατου πίνακα όπου η πρώτη του διάσταση αντιπροσωπεύει το αναγνωριστικό ενός πράκτορα, η δεύτερη την ενέργεια που έχει επιλέξει ο πράκτορας (κωδικοποιημένα) με το συγκεκριμένο αναγνωριστικό και οι δύο τελευταίες ένα δισδιάστατος πίνακας ο οποίος αντιπροσωπεύει την πεποίθηση αυτού του πράκτορα για το πως θα αλλάξει το περιβάλλον γύρω του.

5.3.2 Δομή του Προγράμματος

Το πρόγραμμα του πράκτορα που υλοποιήθηκε χωρίζεται σε τρία βασικά σκέλη ή συναρτήσεις. Οι συναρτήσεις αυτές είναι η *see*, *preconditions* και *selectAction*.

Η συνάρτηση *see*

Η συνάρτηση αντίληψης *see* είναι αυτή που λαμβάνει τα ερεθίσματα που βρίσκονται στην περιοχή αντίληψης του πράκτορα, τα μεταφράζει σε πληροφορία και ενημερώνει την βάση γνώσης του. Αν E τα ερεθίσματα της ROP και D η νέα ενημερωμένη βάση του πράκτορα τότε η συνάρτηση *see* απεικονίζεται ως:

$$see : E \longrightarrow D$$

Το D δεν είναι τίποτε άλλο από ένα νέο στιγμιότυπο της κλάσης KB .

Η συνάρτηση *preconditions*

Η συνάρτηση *preconditions* καλείται από τον πράκτορα για να ελέγξει ποιες ενέργειες μπορεί να εκτελέσει την συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Η συνάρτηση αυτή λαμβάνει ένα στιγμιότυπο

της βάσης γνώσης D και επιστρέφει ένα σύνολο $V_{actions}$ με τις έγκυρες δράσεις που μπορεί να εκτελέσει ο πράκτορας. Προγραμματιστικά, η συνάρτηση ελέγχει κατά πόσο οι προϋποθέσεις που ορίσαμε στο τέλος της ενότητας 5.2 μπορούν να εξαχθούν από το την τρέχουσα βάση γνώσης D .

$$preconditions : D \longrightarrow V_{actions}$$

Στο σύνολο ενεργειών $V_{actions}$ περιέχεται πάντα η ενέργεια *Idle*.

Η συνάρτηση *selectAction*

Η συνάρτηση *selectAction* είναι ο πυρήνας του προγράμματος πράκτορα. Είναι η συνάρτηση που δίνει ως έξοδο την καταλληλότερη ενέργεια που πρέπει να εκτελέσει ο πράκτορας κάθε χρονική στιγμή ώστε να φτάσει πιο κοντά στον στόχο του. Η ενέργεια αυτή, έστω Ac , είναι ένα στοιχείο του συνόλου $V_{actions}$:

$$selectAction : V_{actions} \longrightarrow Ac$$

Η συνάρτηση *selectAction* είναι και αυτή ένας άπληστος αλγόριθμος τοπικής αναζήτησης όπως αυτός που περιγράψαμε στην δράση κίνησης *Move XY* στην ενότητα 5.2.2. Αυτή τη φορά όμως, η συνάρτηση ελαχιστοποίησης είναι η *H-function* η οποία δείχνει κάθε φορά στο πράκτορα πόσο μακριά βρίσκεται η τρέχουσα κατάσταση του περιβάλλοντος από την κατάσταση στόχου.

Για να απεικονίσει μαθηματικά ο πράκτορας την συνάρτηση *H-function* χρησιμοποιεί τους δύο πίνακες *Goal State* και *Current State* της βάσης γνώσης του. Υπενθυμίζουμε ότι κάθε κελί των πινάκων αυτών αντιπροσωπεύει ένα τετραγώνάκι του κόσμου. Ας ονομάσουμε τους πίνακες αυτούς G και C αντίστοιχα.

Έστω μια δίτιμη μεταβλητή η οποία δείχνει για κάθε τετράγωνο του περιβάλλοντος αν είναι εξερευνημένο από τον πράκτορα ή όχι. Αν η τιμή 0 αντιπροσωπεύει ότι το τετράγωνο είναι εξερευνημένο και “υπό έλεγχο” τότε η κατάσταση που θέλει να επιδιώξει ο πράκτορας είναι ένας μηδενικός πίνακας. Από την άλλη πλευρά αν το 1 συμβολίζει το ακριβώς αντίθετο, τότε ο πίνακας που έχει σε όλα του τα στοιχεία 1 αντιπροσωπεύει ένας πλήρως άγνωστο περιβάλλον.

Επομένως ο πίνακας στόχου G του πράκτορα είναι ένας μηδενικός πίνακας ενώ αντίστοιχα η αρχικοποίηση του πίνακα C θα είναι πίνακας που έχει σε όλα τα στοιχεία του την τιμή 1.

$G =$

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Σχήμα 5.12: Πίνακας G

$C =$

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Σχήμα 5.13: Πίνακας C

Καθώς ο πράκτορας εκτελεί ενέργειες, εξερευνεί το περιβάλλον, γεμίζοντας τον πίνακα C με μηδενικά στα τετράγωνα τα οποία έχει εξερευνήσει. Κυρίαρχο ρόλο για την ενημέρωση του πίνακα C παίζει η ROP του πράκτορα αφού αυτή είναι που δείχνει ποιοι χώροι έχουν εξερευνηθεί. Επομένως ο πράκτορας δεν αρκεί παρά να θέλει να “σαρώσει” τη ROP του σε όλα τα τετράγωνα του περιβάλλοντος.

| | | | | |
|---|-------|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 0 | A → 0 | 1 | 1 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Σχήμα 5.14: Επιλογή του πράκτορα να κινηθεί δεξιά

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | A | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Σχήμα 5.15: Η νέα τρέχουσα κατάσταση

Με βάση την παραπάνω περιγραφή καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι:

“Η απόσταση της τρέχουσας κατάστασης του περιβάλλοντος από την κατάσταση στόχου εκφράζεται από την απόσταση που έχουν οι πίνακες G και C ”

Υπάρχουν πολλοί μαθηματικοί τρόποι για να μετρήσουμε την απόσταση μεταξύ δύο πινάκων. Για τους σκοπούς μας χρειαζόμαστε έναν υπολογισμό γρήγορο και απλό, μιας και ο πράκτορας θα κάνει τους υπολογισμούς αυτούς κάθε φορά πριν επιλέξει μια ενέργεια. Ο τρόπος που επιλέχθηκε είναι αυτός του υπολογισμού της $L1$ νόρμας μεταξύ των δύο πινάκων. Αυτή η απόσταση για έναν κόσμο $n \times m$ τετραγώνων υπολογίζεται ως:

$$H = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m |G_{ij} - C_{ij}|$$

Τέλος, ο αλγόριθμος τοπικής αναζήτησης δεν μένει παρά να επιλέξει την ενέργεια που ελαχιστοποιεί στο μεγαλύτερο βαθμό την συνάρτηση H μέχρι αυτή να μηδενιστεί.

Στον συγκεκριμένο αλγόριθμο ο πράκτορας ελέγχει μόνο τις δράσεις απλής κίνησης για να δει πως επηρεάζουν την συνάρτηση H και όχι την δράση Move XY και αυτό διότι ο πράκτορας θα έπρεπε να κάνει υπολογισμούς για όλα τα ανεξερευνητα τετράγωνα (x, y) συν το ότι δεν ξέρει αν πραγματικά μπορεί να πατήσει σε αυτά.

Ισχύει ότι ο πράκτορας δεν έχει μόνο ως έργο την εξερεύνηση των τετραγώνων αλλά και την κατάσβεση των πυρκαγιών που εντοπίζει. Έτσι θα χρειαστεί να ορίσουμε μία ακόμα τιμή στον

πίνακα C η οποία θα σηματοδοτεί ότι στο τετράγωνο περιέχεται μια εστία φωτιάς. Το ερώτημα που γεννάται είναι ποια είναι αυτή η κατάλληλη αριθμητική τιμή.

Στο συγκεκριμένο περιβάλλον ισχύει ότι ο πράκτορας θα πρέπει να επιλέγει πάντα την κατάσβεση της φωτιάς έναντι της εξερεύνησης του χώρου, μιας και δεν υπάρχουν ούτε άνθρωποι ούτε ζώα. Για να γίνεται πάντα αυτή η επιλογή θα πρέπει να δώσουμε στα τετράγωνα φωτιάς μια τιμή τέτοια ώστε η δράση κατάσβεσης να μειώνει πάντοτε σε μεγαλύτερο βαθμό την συνάρτηση H από ότι οι δράσεις κίνησης. Συμπεραίνετε εύκολα ότι:

“Αν η ROP έχει σε κάθε της πλευρά n τετράγωνα, τότε αν θέσουμε στα τετράγωνα φωτιάς οποιαδήποτε τιμή μεγαλύτερη από $\lceil \frac{n}{2} \rceil$ τότε πάντοτε ο πράκτορας θα επιλέγει την δράση κατάσβεσης έναντι οποιασδήποτε άλλης ενέργειας”.

Η ισχύς του παραπάνω συμπεράσματος έγκειται στο γεγονός ότι κάθε φωτιά καταλαμβάνει δύο τετράγωνα στο κόσμο, επομένως η κατάσβεση τους θα μας φέρει $n + 1$ μονάδες τουλάχιστον πιο κοντά στην κατάσταση στόχου. Αν από την άλλη πλευρά κάθε δράση κίνησης μειώνει την συνάρτηση ακριβώς n μονάδες. Επομένως αποδεικνύεται ότι πράγματι ο πράκτορας θα επιλέγει πάντα την κατασβεστική δράση.

Συνοπτικά οι ενέργειες που ελέγχει ο πράκτορας για να δει πως επηρεάζουν την συνάρτηση H είναι οι απλές δράσεις κίνησης και η Use Water Jet XY για κάθε ζεύγος (x, y) που βρίσκεται στο σύνολο Fires. Φυσικά αυτές θα πρέπει να βρίσκονται στο σύνολο $V_{actions}$.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|------------------------------------------------|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | F = 100 Use Water Jet XY (2,3) dH = -200 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | |
| 1 | 0 | A | F | F | |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

Σχήμα 5.16: Βέλτιστη επιλογή η δράση κατάσβεσης στο (2, 3)

Ένα εύλογο ερώτημα που μπορεί να γίνει σε αυτό το σημείο είναι γιατί δεν επιλέχθηκε απλά ως σύμβαση, όποτε ο πράκτορας βρίσκει μια φωτιά να την σβήνει χωρίς να χρειάζεται να αποθηκεύσει ένα νούμερο στον πίνακα C για να την αναπαραστήσει

Η απάντηση είναι ότι σε μελλοντικές εκδοχές του περιβάλλοντος κάθε φωτιά μπορεί να μην έχει την ίδια σημαντικότητα με τις υπόλοιπες. Ο πράκτορας μέσω της παραπάνω αναπαράστασης θα μπορούσε να ορίσει μια κλίμακα και να δώσει μικρά νούμερα για ασήμαντες φωτιές και αρκετά υψηλά για φωτιές που θα πρέπει να σβήσουν άμεσα.

Τέλος θα πρέπει να αναφέρουμε πότε ο πράκτορας θα πρέπει να εκτελέσει τις δράσεις Charging και Water Supply διότι αυτές δεν αντικατροπτίζονται μέσα από τον πίνακα C .

Η ενέργεια Water Supply εκτελείται από τον πράκτορα όποτε έχει μηδενικά αποθέματα νερού και η λίστα Fires δεν είναι κενή. Αυτό σημαίνει ότι ένας πράκτορας που δεν έχει αποθέματα νερού δεν χρειάζεται να πάει να εφοδιαστεί άμεσα αν δεν έχει εντοπίσει φωτιές στο περιβάλλον αλλά προτιμάει να συνεχίσει την εξερεύνηση του περιβάλλοντος.

Η ενέργεια Charging εκτελείται όποτε η ανίσωση 5.3 δεν ικανοποιείται για την ενέργεια A_c που έχει δώσει η συνάρτηση `selectAction`.

Τοπικά Ελάχιστα στην `selectAction`

Δυστυχώς ο αλγόριθμος `selectAction` παρουσιάζει και αυτός τις ίδιες δυσκολίες που παρουσιάζει και η δράση `MovexY`. Είναι και αυτός ένας αλγόριθμος τοπικής αναζήτησης ο οποίος δρα άπληστα και δεν βλέπει σε “βάθος χρόνου” τα αποτελέσματα των επιλογών του.

| | | | | |
|---|----|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | A? | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |

Σχήμα 5.17: Τοπικό ελάχιστο της συνάρτησης H

Από το παραπάνω σχήμα βλέπουμε ότι ο πράκτορας δεν ξέρει ποια ενέργεια να επιλέξει καθώς καμία από της δυνατές του δράσεις δεν τον φέρνουν πιο κοντά στο στόχο του.

Η διαδικασία που ακολουθείται για να δραπετεύσει ο πράκτορας από τα παραπάνω τοπικά ελάχιστα είναι η εκτέλεση της δράσης `MovexY` σε ένα τετράγωνο (x, y) τέτοιο ώστε οι παρυφές της ROP του να καλύψουν τα κοντινότερα άγνωστα τετράγωνα.

Οι συντεταγμένες του τετράγωνου (x, y) υπολογίζονται ως εξής:

1. Βρίσκει ο πράκτορας το εγγύτερο άγνωστο τετράγωνο σε αυτόν μέσω του πίνακα C (Σχήμα 5.18).
2. Ο πράκτορας σχεδιάζει την δικιά του ROP γύρω από το τετράγωνο αυτό. Το συγκεκριμένο κόλπο μας δείχνει σε ποια τετράγωνα θα πρέπει να βρεθεί ο πράκτορας ώστε να εντοπίσει το 1 (Σχήμα 5.19).
3. Ο πράκτορας προσπαθεί να κάνει `movexY` στο εγγύτερο 0 που περικλείεται από την παραπάνω ROP .

4. Αν ο πράκτορας καθώς μετακινείται για αυτό το τετράγωνο εντοπίσει ότι η συνάρτηση H μεταβλήθηκε πριν φτάσει σε αυτό, τότε σταματάει η διαδικασία και το νέο τετράγωνο (x, y) είναι αυτό που μόλις εντοπίστηκε η μείωση.
5. Αν η H μεταβλήθηκε με το που φτάσει ο πράκτορας στο συγκεκριμένο τετράγωνο τότε το (x, y) είναι οι συντεταγμένες του εγγύτερου 0 που έκανε Move XY.
6. Αν ο πράκτορας δεν καταφέρει να φτάσει στο (x, y) (ξεπέρασε το όριο K) χωρίς να εντοπίσει κάποια μείωση της H τότε ο πράκτορας σταματάει τη διαδικασία και παραμένει παγιδευμένος

| | | | | |
|---|----|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | A? | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |

Σχήμα 5.18: Εύρεση εγγύτερου 1

| | | | | |
|---|----|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | A? | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |

Σχήμα 5.19: Σχεδιασμός ROP

Μόλις ο πράκτορας φτάσει στο παραπάνω τετράγωνο (x, y) , ο αλγόριθμος τοπικής αναζήτησης μπορεί να συνεχιστεί κανονικά όπως πριν.

Επικοινωνία και Συντονισμός

Η παραπάνω περιγραφή του αλγορίθμου παρουσιάζει μια μονοπρακτορική κατεύθυνση αφού τα στοιχεία επικοινωνίας και συντονισμού δράζουν απουσιάζουν από αυτόν. Στην ενότητα αυτή εμπλουτίζεται ο αλγόριθμος υλοποίησης για ένα πολυπρακτορικό σύστημα.

Για να πετύχουν οι πράκτορες της πυροσβεστικής ομάδας συντονισμό, χρησιμοποιούν τη δράση *Broadcast State* και τη δομή του πίνακα ομάδας *Team Table*.

Συγκεκριμένα όταν ο πράκτορας εκτελεί τη δράση *Broadcast State* εκπέμπει ένα μήνυμα που περιέχει την ενέργεια που έχει επιλεγεί να εκτελέσει ο πράκτορας πομπός καθώς και την αναμενόμενη κατάσταση του περιβάλλοντος που αυτή θα επιφέρει. Η δομή ενός μηνύματος *Broadcast State* φαίνεται παρακάτω:

Broadcast State Message :

- *Sender ID:* Αναγνωριστικό αποστολέα
- *Action:* Επιλεγμένη δράση του αποστολέα (κωδικοποιημένη)
- *Expected State:* Η αναμενόμενη κατάσταση του κόσμου μετά την επίτευξη της ενέργειας *Action* από την σκοπιά του πράκτορα αποστολέα

Από την άλλη πλευρά οι πράκτορες δέκτες, όταν λάβουν αυτό το μήνυμα ενημερώνουν τον πίνακα Team Table στον οποίο καταγράφεται η δράση κάθε πράκτορα και η αναμενόμενη κατάστασή τους.

| Team Table ID:1 | | |
|-----------------|---------------|----------------|
| ID | Action | Expected State |
| 2 | Use Water Jet | C'_2 |
| 3 | Move Up | C'_3 |
| 4 | Water Supply | C'_4 |

Πίνακας 5.2: Πίνακας ομάδας του πράκτορα 1

Η χρήση αυτής της δομής είναι καίριας σημασίας μίας και ο πράκτορας πριν επιλέξει την δικιά του ενέργεια μπορεί να συμβουλευτεί τις δράσεις των υπόλοιπων πρακτόρων. Ειδικότερα ο πράκτορας μπορεί να επιλέξει την επόμενη δράση του ευελπιστώντας ότι οι δράσεις των υπόλοιπων πρακτόρων θα ολοκληρωθούν με επιτυχία. Κάτι τέτοιο θα επιφέρει καλύτερο καταμερισμό δράσεων μεταξύ των πρακτόρων καθώς οι δράσεις που θα πρέπει να γίνουν θα εκτελεστούν παράλληλα.

Το ερώτημα είναι πως μπορεί ο πράκτορας όμως να υπολογίσει πως θα είναι συνολικά ο κόσμος μετά την επίτευξη των ενεργειών όλης της ομάδας; Για να απαντήσουμε στο ερώτημα θα πρέπει να δούμε πως μπορούν n πράκτορες να συσχετίσουν τους πίνακες C κατάστασης τους μαθηματικά.

Έστω οι πίνακες τρέχουσας κατάστασης C_1, C_2, \dots, C_n οι οποίοι είναι αποθηκευμένοι στη βάση γνώσης των πρακτόρων A_1, A_2, \dots, A_n αντίστοιχα. Τότε για το τετράγωνο του κόσμου W_{ij} θα ισχύει ότι:

- Αν υπάρχει τουλάχιστον ένα στοιχείο $C_{kij} = 0$, τότε $W_{ij} = 0$
 - Αν ισχύει ότι $C_{kij} = 1$ για όλα τα k , τότε $W_{ij} = 1$
 - Αν υπάρχουν στοιχεία τέτοια ώστε $C_{kij} = 1$ είτε $C_{kij} = F$ για όλα τα k , τότε $W_{ij} = F$
 - Αν υπάρχουν στοιχεία τέτοια ώστε $C_{kij} = F$ για όλα τα k , τότε $W_{ij} = F$
- όπου $k = 1, 2, \dots, n$ σε όλες τις σχέσεις

Παρατηρώντας την σχέση που υπάρχει μεταξύ των επιμέρους πινάκων και των αποτελεσμάτων, συμπεραίνετε ότι κάθε στοιχείο του ενιαίου πίνακα W προκύπτει από το γινόμενο όλων των αντίστοιχων στοιχείων των επιμέρους πινάκων. Συγκεκριμένα για έναν κόσμο διαστάσεων p, q :

$$W_{ij} = \prod_{k=1}^n C_{kij} \quad (5.5)$$

όπου $i = 0, \dots, p - 1$ και $j = 0, \dots, q - 1$

Το μόνο πρόβλημα στη συγκεκριμένη πράξη είναι η περίπτωση όπου όλα τα στοιχεία ενός τετραγώνου περιέχουν την τιμή F . Αν ο πράκτορας όριζε μια τιμή f για τα τετράγωνα της φωτιάς με βάση τη συζήτηση στην υποενότητα `selectAction` τότε η τιμή του αντίστοιχου τετραγώνου θα προέκυπτε f^n για μία πυροσβεστική ομάδα n πρακτόρων. Κάτι τέτοιο θα σήμαινε ότι η συγκεκριμένη φωτιά αποκτά περισσότερη σημαντικότητα, και μάλιστα με εκθετικό τρόπο, για την πυροσβεστική ομάδα. Επειδή κάτι τέτοιο όμως δεν ισχύει στο συγκεκριμένο περιβάλλον εκτελούμε την επιπλέον πράξη:

$$W_{ij} = \min(f, \prod_{k=1}^n C_{kij}) \quad (5.6)$$

όπου $i = 0, \dots, p - 1$ και $j = 0, \dots, q - 1$

Αυτή η πράξη έχει ως αποτέλεσμα να διατηρεί όλες τις φωτιές που ξεπερνάνε το όριο στην τιμή f ενώ παράλληλα δεν επηρεάζει τα προηγούμενα μικρότερα αποτελέσματα.

Την παραπάνω μαθηματική πράξη την ονομάζουμε *συνδυασμό* (*combine*) καταστάσεων

$$\text{combine} \left(\begin{array}{|c|c|c|} \hline 0 & 0 & 1 \\ \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline 1 & F & F \\ \hline \end{array}, \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline 1 & F & F \\ \hline 1 & 0 & 0 \\ \hline \end{array}, \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 1 & 0 \\ \hline 1 & F & F \\ \hline 1 & 1 & 0 \\ \hline \end{array} \right) = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline 1 & F & F \\ \hline 1 & 0 & 0 \\ \hline \end{array}$$

Σχήμα 5.20: Παράδειγμα συνδυασμού

Με βάση την μαθηματική πράξη του συνδυασμού, ο πράκτορας μπορεί να εξάγει μια ενιαία αναμενόμενη κατάσταση για το περιβάλλον. Για να το πετύχει αυτό αρκεί να *συνδυάσει* όλες τις εγγραφές της τρίτης στήλης του πίνακα ομάδας μαζί με την δικιά του τρέχουσα κατάσταση.

Έτσι για τον καλύτερο συντονισμό πράξεων δεν μένει παρά ο πράκτορας να αποφασίσει την επόμενη ενέργεια του με βάση τον προκύπτον πίνακα. Η ευελιξία της συγκεκριμένης υλοποίησης είναι ότι ο αλγόριθμος επιλογής ενέργειας `selectAction` παραμένει *απαράλλαχτος* όπως ακριβώς περιγράφηκε στην συγκεκριμένη ενότητα.

Ένα πολύ σημαντικό σημείο που θα πρέπει να επισημάνουμε στο συγκεκριμένο αλγόριθμο συντονισμού είναι ότι ο κάθε πράκτορας λαμβάνει αποφάσεις *ευελπιστώντας* ότι στο μέλλον οι δράσεις των υπόλοιπων πρακτόρων θα εκτελεστούν με επιτυχία. Κάτι τέτοιο όμως δεν είναι εγγυημένο, ειδικά σε ένα περιβάλλον πυρόσβεσης.

Επομένως θα πρέπει να βρεθεί μια σύμβαση επικοινωνίας για να επιβεβαιώνει κάποιος πράκτορας το πότε η δράση του έχει πράγματι τελεσφορήσει. Η σύμβαση που ακολουθεί το συγκεκριμένο πρόγραμμα είναι η εξής:

1. Ένας πράκτορας δέκτης A_{recv} λαμβάνει ένα μήνυμα Broadcast State από ένα πράκτορα πομπό A_{send} για την εκτέλεση μίας ενέργειας
2. Ο πράκτορας A_{recv} ελέγχει να δει αν υπάρχει το αναγνωριστικό του A_{send} ήδη καταχωρημένο στον πίνακα ομάδας του Team Table.
3. Αν ο πράκτορας A_{recv} δεν εντοπίσει το αναγνωριστικό τότε απλά εισάγεται μία νέα εγγραφή στον πίνακα ομάδας για το αναγνωριστικό του A_{send} .
4. Αν ο πράκτορας εντοπίσει ότι το αναγνωριστικό υπάρχει στον πίνακα, τότε βάσει πρωτοκόλλου, θεωρείται ότι η ενέργεια που ήταν ήδη καταγεγραμμένη εκτελέστηκε με επιτυχία. Επομένως ο πράκτορας A_{recv} ενημερώνει την τρέχουσα κατάσταση του και εκτελώντας πράξη συνδυασμού μεταξύ της τρέχουσας κατάστασης του και της αποθηκευμένης αναμενόμενης κατάστασης του A_{send} . Τέλος, ο πράκτορας A_{recv} διαγράφει την παλιά καταχώρηση του A_{send} και εισάγει τη νέα που έλαβε.
5. Αν ο πράκτορας A_{recv} λάβει μια ειδική κωδικοποίηση στο μήνυμα της Broadcast State τότε σημαίνει ότι ο A_{send} απέτυχε να ολοκληρώσει την ενέργεια του. Σε αυτή την περίπτωση ο A_{recv} απλά διαγράφει την καταχώρηση του A_{send} από τον πίνακα ομάδας του.

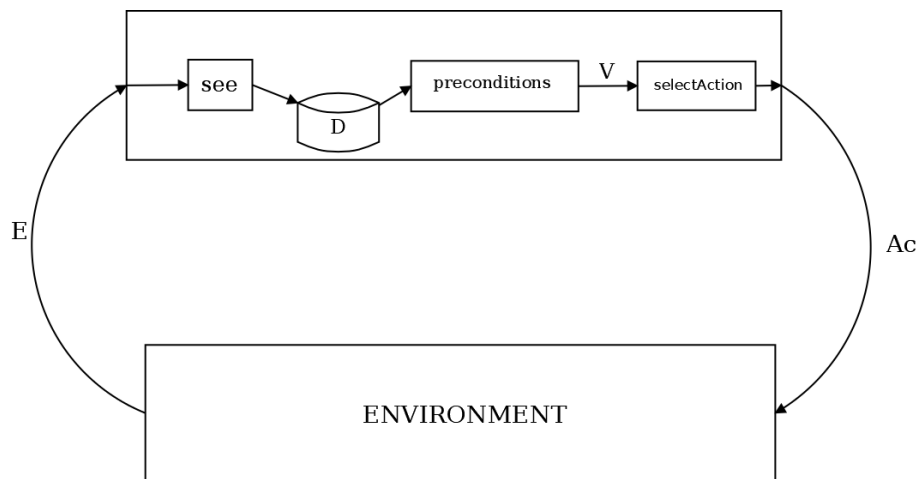
Με βάση την παραπάνω διαδικασία ο πράκτορας ενημερώνεται με συνέπεια από τους άλλους πράκτορες για την πραγματική κατάσταση που επικρατεί στο περιβάλλον. Αποδεικνύεται μάλιστα ότι ακόμη και για μη αξιόπιστα δίκτυα επικοινωνίας η συγκεκριμένη υλοποίηση θα επιφέρει την κατάσταση στόχου.

Είναι αρκετά σημαντικό για τον πράκτορα να ξεχωρίζει την αναμενόμενη κατάσταση του περιβάλλοντος από την τρέχουσα κατάσταση του. Αυτές οι δύο δεν είναι πάντα συνεπείς και δεν θα πρέπει να συγχέονται.

Η αναμενόμενη κατάσταση περιβάλλοντος που εξάγει ο πράκτορας τον βοηθάει να λάβει πιο συντομισμένες αποφάσεις ενώ η τρέχουσα κατάσταση του το πότε έχει φτάσει πραγματικά στην κατάσταση στόχου.

Τέλος όταν κάποιος από τους πράκτορες υπολογίσει ότι έχει φτάσει στην κατάσταση στόχου εκτελεί την δράση Broadcast State με ειδική κωδικοποίηση στο πεδίο της δράσης η οποία σηματοδοτεί ότι η αποστολή εξετελέσθη.

Παρακάτω φαίνεται συνοπτικά το πρόγραμμα του πράκτορα:



Σχήμα 5.21: Σχηματικά το πρόγραμμα του πράκτορα

Κεφάλαιο 6

Πλατφόρμα Προσομοίωσης



Σχήμα 6.1: Στιγμιότυπο Προσομοίωσης

6.1 Μοντέλα Βασισμένα σε Πράκτορες

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας υλοποιήθηκε ένα πρόγραμμα προσομοιώσεων πολυπρακτορικών συστημάτων. Τέτοιες προσομοιώσεις είναι γνωστές ως *μοντέλα βασισμένα σε πράκτορες (agent based models)*. Στην ουσία τα μοντέλα αυτά προσομοιώνουν τη συμπεριφορά που θα είχε ένας πράκτορα μέσα σε ένα συγκεκριμένο εικονικό περιβάλλον βοηθώντας τους σχεδιαστές να βγάλουν σημαντικά συμπεράσματα τόσο για τον πράκτορα όσο και για το ίδιο το περιβάλλον.

Η ισχύς και η μελέτη των μοντέλων αυτών δεν περιορίζεται μόνο στα πλαίσια της τεχνητής νοημοσύνης και των πρακτόρων αλλά έχει εφαρμογές και στις κοινωνικές επιστήμες μελετώντας ως πράκτορες τους ίδιους τους ανθρώπους σε διάφορα κοινωνικά πειράματα.

Συνήθως οι πλατφόρμες αυτές έχουν ένα ευρύ φάσμα περιβαλλόντων για μελέτη σχεδόν από όλους τους κλάδους των επιστημών. Κάθε τέτοιο μοντέλο ονομάζεται *κλάση περιβαλλόντων* (*environment class*) καθώς μπορεί να προσομοιώσει μια οικογένεια ίδιων προβλημάτων κάτω από διαφορετικές συνθήκες και παραμέτρους. Το πρόγραμμα που δημιουργεί μια τέτοια προσομοίωση ονομάζεται *γεννήτρια περιβαλλόντων* (*environment generator*).

Τέλος, τα εικονικά αυτά περιβάλλοντα θα πρέπει να σχεδιάζονται με αρκετή λεπτομέρεια ώστε να προσεγγίζουν επακριβώς το αντίστοιχο πραγματικό περιβάλλον καθώς επίσης και να υλοποιούνται με ωραία γραφικά για να βοηθούν τους μελετητές στην κατανόηση τους.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |
| F | F | F | F | F | F |
| | B | | A | | |
| | | | T | T | T |
| | | | | | |
| | | A | | | |

Σχήμα 6.2: Απλή σχεδίαση



Σχήμα 6.3: Σχεδίαση με γραφικά

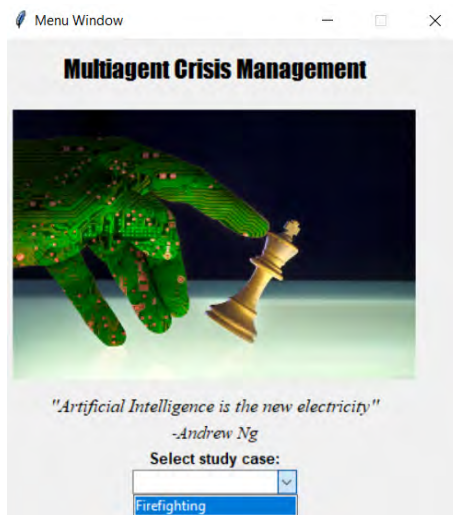
6.2 Γλώσσα Προγραμματισμού και Εργαλεία Υλοποίησης

Η πλατφόρμα που υλοποιήθηκε σχεδιάστηκε και προγραμματίστηκε σε περιβάλλον γλώσσας προγραμματισμού Python. Χρησιμοποιήθηκαν γνώσεις ανάπτυξης παιχνιδιών μέσω της βιβλιοθήκης Pygame [2] καθώς και του εργαλείου Tiled [3] για την σχεδίαση του διακριτού κόσμου. Τέλος για το γραφικό περιβάλλον διεπαφής χρήστη (GUI) χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη TkInter [4] ενώ τα γραφικά επιλέχθηκαν από την ιστοσελίδα OpenGameArt.org [1].

Στην συγκεκριμένη πλατφόρμα σχεδιάστηκε η προτεινομένη υλοποίηση που περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 5. Ο χρήστης της πλατφόρμας μπορεί να τρέξει την προσομοίωση για διάφορες παραμέτρους του περιβάλλοντος καθώς και για διαφορετικά χαρακτηριστικά πρακτόρων πυρόσβεσης.

6.3 Οδηγίες Πλατφόρμας

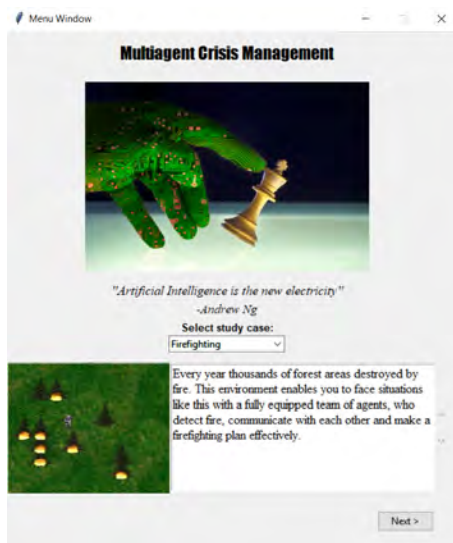
Κατά την έναρξη του προγράμματος εμφανίζεται το παρακάτω αρχικό παράθυρο (Σχήμα 6.4):



Σχήμα 6.4: Αρχικό παράθυρο πλατφόρμας

Στο αρχικό παράθυρο ο χρήστης επιλέγει τη κλάση περιβάλλοντος που θέλει να προσομοιώσει και να μελετήσει. Στην συγκεκριμένη έκδοση του προγράμματος η μόνη κλάση περιβάλλοντος είναι αυτό της δασοπυρόσβεσης.

Εν συνεχεία, αφού ο χρήστης επιλέξει τη κλάση που θέλει να μελετήσει, αναδύεται ένα πλαίσιο περιγραφής της προσομοίωσης (Σχήμα 6.5).



Σχήμα 6.5: Περιγραφή επιλεγμένου περιβάλλοντος

Στο λευκό αυτό πλαίσιο περιγραφής, υπάρχουν επίσης αναλυτικές οδηγίες πλήκτρων για το πως ο χρήστης μπορεί να εμφανίζει επιπρόσθετες πληροφορίες στο περιβάλλον προσομοίωσης οι οποίες περιγράφονται και παρακάτω στον παρόν κεφάλαιο.

Αφού ο χρήστης μελετήσει την περιγραφή μπορεί να πατήσει το κουμπί **Next** που βρίσκεται κάτω δεξιά για να προχωρήσει στην προσομοίωση του.

Το νέο παράθυρο είναι το παράθυρο επιλογής των παραμέτρων προσομοίωσης. Στο συγκεκριμένο παράθυρό επιλέγεται κάτω υπό ποιες συνθήκες θέλουμε να τρέξει η προσομοίωση.



Σχήμα 6.6: Παράθυρο επιλογής παραμέτρων

Όπως φαίνεται από το παραπάνω Σχήμα 6.6 οι επιλογές των παραμέτρων χωρίζονται σε αυτές του περιβάλλοντος αριστερά και αυτές του πράκτορα στα δεξιά. Επιπλέον, οι παράμετροι του περιβάλλοντος χωρίζονται εκ νέου σε αυτές του συστήματος και σε αυτές της φύσης του περιβάλλοντος.

Παράμετροι Συστήματος

Οι επιλογές για το σύστημα του περιβάλλοντος χωρίζονται σε:

- **Continuous / Discrete**
- **Stochastic / Deterministic (Strategic)**
- **Dynamic / Static (Semidynamic)**

Στην συγκεκριμένη έκδοση της πλατφόρμας έχει υλοποιηθεί μόνο η Discrete, Deterministic και Static περίπτωση.

Η επιλογή του αριθμού των πρακτόρων καθορίζει αντίστοιχα αν το σύστημα μας θα είναι μονοπρακτορικό ή πολυπρακτορικό. Ο μέγιστος αριθμός πρακτόρων είναι 4.

Παράμετροι Περιβάλλοντος

- **Difficulty:** Καθορίζει τον αριθμό εστιών φωτιάς στο περιβάλλον. Έχει τρία επίπεδα Easy, Moderate και Hard
- **Forest Density:** Καθορίζει την πυκνότητα του δάσους. Μέσω αυτής της παραμέτρου αντανακλάται η προσβασιμότητα του περιβάλλοντος προσομοίωσης. Έχει τρία επίπεδα Low, Medium και High

- **Map Size:** Καθορίζει το μέγεθος του περιβάλλοντος προσομοίωσης. Έχει τρία επίπεδα: Small (10 × 10), Medium (12 × 14) και Large (12 × 18)
- **Beaufort Scale:** Η κλίμακα Μποφόρ του ανέμου. Παίρνει τιμές από 0-12. Στην συγκεκριμένη έκδοση, δεν παίζει κάποιο ρόλο στην προσομοίωση

Χαρακτηριστικά Πράκτορα

Τα χαρακτηριστικά του πράκτορα που μπορούμε να καθορίσουμε στην προσομοίωση είναι:

- **Speed:** Είναι η ταχύτητα που έχει ο πράκτορας. Στην συγκεκριμένη έκδοση μετριέται σε εικονική ταχύτητα παιχνιδιού. Σε μελλοντικές εκδόσεις της πλατφόρμας μπορεί να γίνει αναγωγή σε κλίμακα μέτρων ανά δευτερολέπτων ώστε ο σχεδιαστής να δίνει άμεσα την επιθυμητή ταχύτητα. Όσο μεγαλύτερη η τιμή τόσο γρηγορότερος και ο πράκτορας.
- **ROP:** Η περιοχή αντίληψης όπως περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 4. Ο αριθμός που ορίζεται εδώ είναι τα πόσα τετράγωνα απέχει η παρυφή της ROP από τον πράκτορα



Σχήμα 6.7: ROP για είσοδο 1

- **Water Capacity:** Ορίζει τη μέγιστη χωρητικότητα της υδροφόρου αποθήκης του σε λίτρα.
- **Energy:** Ορίζουμε τις μονάδες της μπαταρίας του πράκτορα. Όσες περισσότερες μονάδες τόσο περισσότερο χρόνο μπορεί να αντέξει ο πράκτορας χωρίς φόρτιση. Στην συγκεκριμένη έκδοση δεν αναπαριστούν άμεσα μια συγκεκριμένη φυσική ποσότητα.

Επιλογή Προγράμματος Πράκτορα

Τέλος, αφού επιλέξουμε όλες τις παραμέτρους της προσομοίωσής, μας μένει να επιλέξουμε τον αλγόριθμο που θέλουμε να εφαρμόσουν οι πράκτορες κατά το τρέξιμο της. Οι επιλογές που υπάρχουν στη συγκεκριμένη έκδοση είναι δύο:

- **Thesis Algorithm:** Είναι ο αλγόριθμος της προτεινόμενης υλοποίησης ακριβώς όπως περιγράφηκε στην ενότητα 5.3.

- **Manual:** Είναι η χειροκίνητη επιλογή τρεξίματος. Στην ουσία τους πράκτορες τους χειρίζεται ο χρήστης και υπαγορεύει σε αυτούς τι ενέργεια να κάνουν κάθε φορά. Τα πλήκτρα για την χειροκίνητη εκτέλεση του αλγορίθμου είναι:
 - Move Up: Up Arrow ↑
 - Move Right: Right Arrow →
 - Move Down: Down Arrow ↓
 - Move Left: Left Arrow ←
 - Use Water Jet: Num8, Num6, Num2 και Num4 όπου αντιστοιχίζονται στο πάνω, δεξιά, κάτω και αριστερά τετράγωνο.
 - Water Supply: W
 - Charging: Z
 - TAB: Εναλλαγή πράκτορα χειρισμού σε πολυπρακτορική προσομοίωση.

Αφού επιλέξουμε τον αλγόριθμο που θέλουμε να εφαρμόσουμε το κουμπί **Start** κάτω δεξιά ξεκινάει την προσομοίωση.

Παράθυρα Προσομοίωσης

Κατά το τρέξιμο της προσομοίωσης μας το περιβάλλον χωρίζεται σε δύο παράθυρα. Το *κεντρικό παράθυρο* και το *παράθυρο πληροφοριών πρακτόρων*.

Στο κεντρικό παράθυρό απεικονίζεται η προσομοίωση μέσω γραφικών ανάπτυξης παιχνιδιών. Η απεικόνιση αυτή είναι πιο φιλική προς τον χρήστη από το αν είχαμε μια πλατφόρμα που απλά μας εκτύπωνε νούμερα και αλφαριθμητικά στην οθόνη. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένα στιγμιότυπο του κεντρικού παραθύρου επισημαίνοντας τα σημαντικά στοιχεία που φαίνονται σε αυτό.



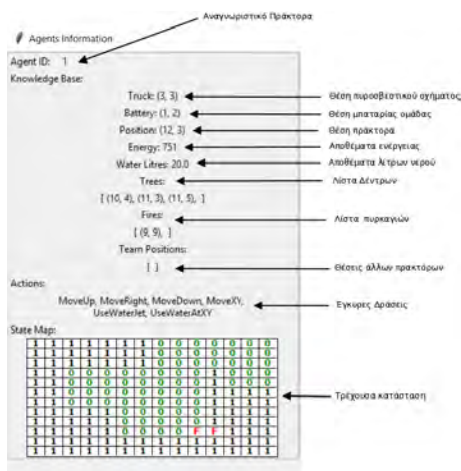
Σχήμα 6.8: Επεξήγηση κεντρικού παραθύρου

Για το κεντρικό παράθυρο υπάρχουν κάποια επιπλέον πλήκτρα ενεργοποίησης/απενεργοποίησης επιπρόσθετων πληροφοριών:

- G: Εμφάνιση/Απόκρυψη πλέγματος διακριτού κόσμου

- C: Εμφάνιση/Απόκρυψη συντεταγμένων κάθε τετραγώνου
- I: Εμφάνιση/Απόκρυψη αναγνωριστικών κάθε πράκτορα

Το παράθυρο πληροφοριών είναι ο πίνακας ελέγχου της προσομοίωσης. Στην ουσία απεικονίζει τις σημαντικότερες πτυχές της βάσης γνώσης κάθε πράκτορα καθώς τρέχει η προσομοίωση. Μέσω του παραθύρου αυτού μπορούμε να μελετήσουμε με ακρίβεια την προσομοίωση, και να συμπεράνουμε για το αν οι πράκτορες δρουν ορθολογικά ή για το αν πράγματι επιτυγχάνεται ομαδική επικοινωνία και συντονισμός. Στο παρακάτω σχήμα περιγράφεται η δομή του παραθύρου.



Σχήμα 6.9: Επεξήγηση παραθύρου πληροφοριών

Μέτρα Απόδοσης Πλατφόρμας

Η επίδοση του κάθε αλγορίθμου θα πρέπει να ελέγχεται μέσα από διάφορα μέτρα απόδοσης. Στην συγκεκριμένη έκδοση, υπάρχει ένα μοναδικό μέτρο απόδοσης που είναι ο χρόνος διεκπεραίωσης της αποστολής. Αυτός μετά το πέρας της αποστολής εκτυπώνεται στο τερματικό εκτέλεσης του προγράμματος.

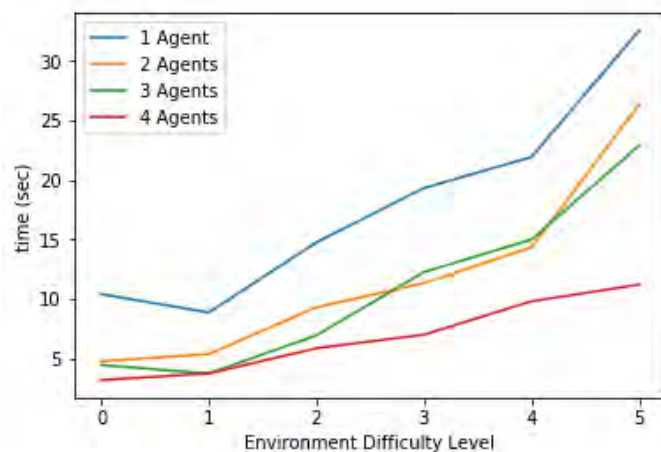
```

END OF SIMULATION
Time Score:
20.89 sec
  
```

Σχήμα 6.10: Εμφάνιση απόδοσης χρόνου σε τερματικό

6.4 Αποτελέσματα Προτεινόμενης Υλοποίησης

Στο παρακάτω Σχήμα 6.11 απεικονίζεται η απόδοση της προτεινόμενης υλοποίησης για διαφορετικό αριθμό πρακτόρων καθώς η δυσκολία του περιβάλλοντος αυξάνεται:



Σχήμα 6.11: Η απόδοση της υλοποίησης για διαφορετικό αριθμό πρακτόρων και δυσκολίας περιβάλλοντος

Παρατηρούμε από τα αποτελέσματα την αξία της ορθής επικοινωνίας και συντονισμού. Καθώς η δυσκολία των περιβαλλόντων αυξάνεται παρατηρείται σχεδόν όλο και ένα αυξανόμενο κέρδος στο χρόνο διεκπεραίωσης της αποστολής.

Προφανώς σε κάθε τρέξιμο της προσομοίωσης εμπεριέχεται και ο παράγοντας της τύχης αφού τα σενάρια της προσομοίωσης γεννιούνται τυχαία σε κάθε τρέξιμο της. Για ακριβέστερη απεικόνιση των αποτελεσμάτων θα πρέπει να τρέξουμε την προσομοίωση για έναν αρκετά μεγάλο αριθμό προσομοιώσεων ώστε να λάβουμε όλο και ακριβέστερα αποτελέσματα.

Κεφάλαιο 7

Επίλογος

Παρακάτω, ακολουθεί μια σύνοψη των σημαντικότερων θεμάτων που αναλύθηκαν στην διπλωματική εργασία. Επίσης θα συζητηθούν ορισμένες ιδέες για μελλοντικές επεκτάσεις της εργασίας.

7.1 Σύνοψη και συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αναλύσαμε τη πολυπρακτορική διαχείριση κρίσεων. Συγκεκριμένα μελετήθηκε η περίπτωση της πυρόσβεσης όπου αναλύθηκαν εκτενώς όλες οι δυσκολίες και οι αρχές που θα πρέπει να τηρούνται σε μια τέτοια κατάσταση (Κεφάλαιο 3). Στην συνέχεια περιγράφηκαν οι γνώμονες με τους οποίους θα πρέπει να σχεδιαστεί ένας πράκτορας για να δρα σε ένα τέτοιο περιβάλλον καθώς και όλες οι προϋποθέσεις που θα πρέπει αυτός να πληρεί (Κεφάλαιο 4). Έπειτα προτάθηκε μια υλοποίηση μιας τέτοιας ομάδας πρακτόρων κάτω από ένα συγκεκριμένο περιβάλλον πυρόσβεσης παραθέτοντας όλες τις λεπτομέρειες σχεδίασης τόσο από αρχιτεκτονικής σκοπιάς όσο και από σκοπιάς λογισμικού (Κεφάλαιο 5). Τέλος περιγράφηκε η πλατφόρμα προσομοίωσης πολυπρακτορικών συστημάτων που δημιουργήθηκε για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας την οποία χρησιμοποιήσαμε για να εκτιμήσουμε την απόδοση της προτεινομένης υλοποίησης (Κεφάλαιο 6).

Τα συμπεράσματα που εξάγονται από την παρούσα εργασία είναι ότι η ορθή μελέτη των πολυπρακτορικών συστημάτων συνδέεται άρρηκτα με την ομαλή λειτουργία και τον συντονισμό μιας ομάδας. Αποδείχθηκε μάλιστα ότι αν οι αρχές επικοινωνίας και συντονισμού είναι σωστά θεμελιωμένες, δεν υπάρχει καμία διάκριση μεταξύ μιας ομάδας ανθρώπων και μιας ομάδας πρακτόρων για το ποια είναι αποτελεσματικότερη να φτάσει στον στόχο της, ακόμη και αν αυτός ο στόχος είναι η αντιμετώπιση μιας κατάστασης πυρόσβεσης. Οι έννοιες και τα αποτελέσματα που εξάγονται από την μελέτη τέτοιων συστημάτων δεν έχουν αντίκτυπο μόνο στο τομέα της τεχνητής νοημοσύνης αλλά αποτελούν γνώση και για τον ίδιο τον άνθρωπο, ώστε να δρα αντίστοιχα σε παρόμοιες καταστάσεις.

7.2 Μελλοντικές επεκτάσεις

Μερικές από τις επεκτάσεις που μπορεί να γίνουν στη διπλωματική εργασία είναι:

- Εμπειριστατομένη μελέτη διαφορετικών καταστάσεων άμεσης δράσης όπως σεισμοί, ναυάγια, πυρηνικά ατυχήματα κ.α.
- Λεπτομερέστερη σχεδίαση πρακτόρων πυρόσβεσης τόσο από αρχιτεκτονικής πλευράς όσο και από πλευράς λογισμικού.
- Μια λύση πολυπρακτορικού συστήματος πυρόσβεσης σε ένα περιβάλλον πιο κοντά στο πραγματικό (στοχαστικό/ δυναμικό/ συνεχές).
- Υλοποιήσεις πρακτόρων πυρόσβεσης που θα λάβουν υπόψιν τους περιστάσεις εκκένωσης κατοικημένων περιοχών και απεγκλωβισμό ανθρώπων και ζώων.
- Υλοποιήσεις πρακτόρων με στοιχεία μάθησης (learning agents).
- Βελτίωση της πλατφόρμας προσομοίωσης, εμπλουτισμένη με περισσότερες κλάσεις περιβαλλόντων, βελτίωση γραφικών, εμφάνιση περισσότερων πληροφοριών και μέτρων απόδοσης.

Βιβλιογραφία

- [1] Opengameart.org. <https://opengameart.org/>.
- [2] Pygame. <https://www.pygame.org/>.
- [3] Tiled. <https://www.mapeditor.org/>.
- [4] Tkinter. <https://wiki.python.org/moin/TkInter>.
- [5] Abdelkader Gouaich and Fabien Michel. “Towards a Unified View of the Environment(s) within Multi-Agent Systems”. *Informatica International Journal*, May 2005.
- [6] Hellenic Fire Service Ministry of Internal. “Εγχειρίδιο εκπαίδευσης εθελοντών πυροσβεστών”. ΠΟΛΙΤΕΙΑ, 2009.
- [7] Stuart J. Russell, Peter Norvig, and Ernest Davis. “*Artificial intelligence: a modern approach*”. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall., 3 edition, 2010.
- [8] IIT Istituto Italiano Tecnologia. Walk-man humanoid robot. <https://www.eurekalert.org/multimedia/pub/163634.php>.

Συντομογραφίες

| | |
|-------|----------------------------|
| κ.λπ. | και λοιπά |
| κ.ο.κ | και ούτω καθεξής |
| κ.α. | και άλλα |
| π.χ. | παραδείγματος χάριν |
| GPS | Geographic Position System |
| ROP | Region of Perception |
| KB | Knowledge Base |
| MAS | Multiagent System |

Ορολογία - Γλωσσάρι

Ελληνικός όρος

πράκτορας
περιβάλλον
πρόγραμμα πράκτορα
απλός αντανακλαστικός πράκτορας
πράκτορας με μοντέλο
πράκτορας βασισμένοι σε στόχο
πράκτορας χρησιμότητας
πράκτορας μάθησης
περιοχή αντίληψης
ελάχιστη ενιαία περιοχή αντίληψης
αντικείμενο περιβάλλοντος
οντότητα περιβάλλοντος
πίνακας μονοπατιών
κυρτότητα
πίνακας πόρων
πίνακας πόρων ομάδας
βάση γνώσης
πίνακας ομάδας
συνδυασμός καταστάσεων
μοντέλα βασισμένα σε πράκτορες
κλάση περιβαλλόντων
γεννήτρια περιβαλλόντων

Αγγλικός όρος

agent
environment
agent program
simple reflex agent
model based agent
goal-based agent
utility-based agent
learning agent
region of perception - ROP
minimum united ROP
environment objects
environment entity
path table
convexity
resource table
team resource table
knowledge base
team table
combine
agent based models
environment class
environment generator

